

Universidad Politécnica de Valencia

Departamento de Proyectos de Ingeniería



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

TESIS DOCTORAL
Ampliación del Modelo de Diseño
Axiomático para el Desarrollo de
Productos con Equipos
Multidisciplinarios

Presentada por:
Jaime Alberto Aguilar Zambrano

Dirigida por:
Dr. Da. Maria del Carmen González Cruz

Valencia - España, 2009

Resumen

En esta tesis se propone un modelo ampliado del Diseño Axiomático para diseño de productos con equipos multidisciplinares. El Diseño Axiomático fue escogido después de hacer un análisis comparativo entre las teorías clásicas del diseño tomando como referencia el modelo de proyecto de Gómez-Senent. El Diseño Axiomático es una teoría basada en la interacción de dominios a diferencia de otras teorías las cuales son basadas en fases. Existen cuatro dominios definidos: el del cliente, el funcional, el físico y el de proceso. Algunas de las dificultades de la teoría del Diseño Axiomático son: la orientación exclusivamente funcional y la ausencia de equipos multidisciplinares durante todo el proceso de diseño.

Esta tesis propone un proceso de trabajo multidisciplinar con el Diseño Axiomático, incluyendo requerimientos subjetivos de producto como elementos de diseño intencional y utiliza una métrica del nivel de cumplimiento para el segundo axioma que está asociado con el contenido de información.

La tesis plantea inicialmente un modelo de colaboración entre la Universidad, el Estado, el Usuario y la Empresa: tanto la consolidada como la pequeña de base tecnológica. El punto de convergencia, en el diseño de producto para los actores, es la Necesidad Social asociada con el usuario. Este punto de encuentro permite una amplia perspectiva de análisis diferente a la tradicional del mercado. En el modelo propuesto de diseño de producto se involucran en forma sinérgica el Diseño Axiomático, la Teoría de Soluciones Inventivas TRIZ, la lógica fuzzy y la técnica de análisis multicriterio AHP. También, se provee un análisis del desempeño de equipos multidisciplinares en la fase creativa del diseño y se sugiere algunas características de composición de este tipo de equipos de diseño.

Abstract

An expanded model of Axiomatic Design for product design with multidisciplinary teams is proposed in this Thesis. The Axiomatic Design was chosen after doing a comparative analysis between classical theories using as reference the multidimensional Gómez-Senent project model. Axiomatic Design is a theory based in domain interactions unlike the other theories which are phases based. There are four domains defined: Customer, functional, physical and process. Some difficulties in Axiomatic Design theory are: the functional orientation and the absence of multidisciplinary teams during the whole process of design.

This Thesis proposes a multidisciplinary work process with Axiomatic Design, including subjective requirements of product as intentional design elements and uses a metric of level of compliance for the second axiom which is about information content.

This thesis initially presents a model of collaboration between the University, the State, the User and the Enterprise: the consolidate one and the small technology-based one. The point of convergence in product design for the actors is the Social Need associated with the user. This convergence point allows a broad product perspective, different from the traditional analysis of market. In the proposed model, Axiomatic Design, the theory of inventive solutions, TRIZ, fuzzy logic and AHP multicriteria analysis technique are synergistically engaged. Also, it provides an analysis of the performance of multidisciplinary teams in the creative phase of design and suggests some composition characteristics of this type of design teams.

Resum

En esta tesi es proposa un model ampliat del Disseny Axiomàtic per a disseny de productes amb equips multidisciplinaris. El Disseny Axiomàtic va ser triat després de fer una anàlisi comparativa entre les teories clàssiques del disseny prenent com a referència el model de projecte de Gómez-Senent. El Disseny Axiomàtic és una teoria basada en la interacció de dominis a diferència d'altres teories les quals són basades en fases. Hi ha quatre dominis definits: el del client, el funcional, el físic i el de procés. Algunes de les dificultats de la teoria del Disseny Axiomàtic són: l'orientació exclusivament funcional i l'absència d'equips multidisciplinaris durant tot el procés de disseny.

Esta tesi proposa un procés de treball multidisciplinari amb el Disseny Axiomàtic, incloent requeriments subjectius de producte com a elements de disseny intencional i utilitza una mètrica del nivell de compliment per al segon axioma que està associat amb el contingut d'informació.

La tesi planteja inicialment un model de col·laboració entre la Universitat, l'Estat, l'Usuari i l'Empresa: tant la consolidada com la xicoteta de base tecnològica. El punt de convergència, en el disseny de producte per als actors, és la Necessitat Social associada amb l'usuari. Este punt de trobada permet una àmplia perspectiva d'anàlisi diferent de la tradicional del mercat. En el model proposat de disseny de producte s'involucren en forma sinèrgica el Disseny Axiomàtic, la Teoria de Solucions Inventives TRIZ, la lògica fuzzy i la tècnica d'anàlisi multicriterio AHP. També, es proveïx una anàlisi de l'exercici d'equips multidisciplinaris en la fase creativa del disseny i se suggerix algunes característiques de composició d'este tipus d'equips de disseny.

Agradecimiento

Para el desarrollo de este trabajo de tesis, el autor ha contado con la valiosa colaboración de varias instituciones: la Pontificia Universidad Javeriana en Cali, Colombia, la Universidad Politécnica de Valencia, la Universidad del Valle, en Cali, Colombia, la pequeña empresa Rehabitec en Cali, Colombia, y el Departamento Nacional de Ciencia y Tecnología en Colombia, a quienes el autor expresa sus más sinceros agradecimientos.

La Pontificia Universidad Javeriana de Cali, donde el autor es profesor, ha provisto las condiciones para desarrollar los estudios de doctorado. La Universidad Politécnica de Valencia a través del Departamento de Proyectos de Ingeniería y la Oficina de cooperación internacional, han acompañado el proceso investigativo. El departamento ha brindado su orientación con la directora de tesis y la asesoría de sus profesores, y la Oficina ha apoyado la realización de una de las fases experimentales de la tesis llevada a cabo en Colombia. La Universidad del Valle, se ha vinculado en las fases experimentales con estudiantes y profesores de los Departamentos de Diseño y de Ingeniería Mecánica. De igual forma, han participado en el proyecto que está en curso del diseño productos para personas en situación de discapacidad motora para favorecer su inclusión social, aplicando el modelo propuesto en la tesis. La pequeña empresa Rehabitec se ha unido a la propuesta de trabajo Universidad-Empresa del proyecto antes mencionado. Por último, el Departamento Nacional de Ciencia y Tecnología de Colombia, Colciencias, ha financiado el proyecto que ha permitido finalizar el trabajo de tesis y el trabajo actual en el diseño conceptual de productos utilizando el modelo propuesto en la tesis.

A nivel personal, debo agradecer a la directora del proyecto Dra. Da. María del Carmen González Cruz, quien siempre ha estado atenta a prestar su orientación en el desarrollo de esta tesis, me ha brindado su amistad y ha apoyado incondicionalmente todo el desarrollo investigativo. A los asistentes de investigación y profesores del proyecto actual en Colombia quienes han capturado la esencia de la propuesta y han brindado su apoyo y conocimiento. Para finalizar, y quizá el más importante, un agradecimiento muy especial a mi familia, a mi esposa Adriana y a mis hijos Diana y Daniel, quienes tuvieron que modificar su rutina en nuestro país de origen para acompañarme en esta empresa de crecimiento personal y que espero contribuya desde la Universidad al desarrollo de mi país.

Índice general

1. Introducción	25
1.1. Contexto de la Investigación	25
1.2. Objetivos de la tesis	27
1.3. Hipótesis de la tesis	28
1.4. Alcance de la tesis	28
1.5. Estructura del documento	29
2. El Diseño Axiomático y las teorías clásicas del Diseño de producto: Características e introducción al estado del arte	33
2.1. El Diseño Axiomático	33
2.1.1. El Contenido de Información	36
2.1.2. Tipos de diseño con base en la matriz de diseño	36
2.1.3. Las restricciones en el Diseño Axiomático	42
2.1.4. La reangularidad y la semangularidad	42
2.1.5. El proceso de Diseño en el Diseño Axiomático	43
2.1.6. Los corolarios	45
2.1.7. Teoremas del Diseño Axiomático	46
2.2. Análisis del Diseño Axiomático desde las Teorías Clásicas del Diseño y el Modelo Multidimensional de Gómez-Senent	51

2.2.1. Las seis dimensiones del Proyecto de Gómez-Senent	51
2.2.2. Estudio de las teorías clásicas para el diseño de productos respecto al modelo multidimensional de Gómez-Senent	56
2.3. Identificación de áreas de investigación en el Diseño Axiomático a partir del análisis multidimensional	62
2.4. El Diseño Axiomático y sus implicaciones con los Factores del Entorno y el Metaproyecto	64
2.4.1. El Diseño Axiomático y la Dimensión Metaproyecto	64
2.4.2. Diseño Axiomático y Factores del entorno	66
2.5. Otros aportes relevantes en torno al Diseño Axiomático	67
2.6. Conclusiones del Capítulo	67
3. El trabajo multidisciplinar con el Diseño Axiomático	69
3.1. Estado del arte del Diseño Axiomático y el trabajo cooperativo multidisciplinar	71
3.2. Estrategias para el diseño de producto que favorecen el trabajo cooperativo y la asociación con el Diseño Axiomático	74
3.3. El Diseño Six Sigma y su asociación con el Diseño Axiomático	76
3.3.1. Características generales del Diseño Six Sigma en el diseño de producto	76
3.3.2. El trabajo actual del Diseño Six Sigma y el Diseño Axiomático	77
3.4. Las lógicas para-formales y el Diseño Axiomático	79
3.4.1. Características de la lógica difusa en el diseño de producto	79
3.4.2. Aportes actuales de las lógicas paraformales con el Diseño Axiomático	92
3.5. El Diseño Axiomático y TRIZ	97
3.5.1. Características de TRIZ	97
3.5.2. El proceso de resolución de problemas con TRIZ	98
3.5.3. Definiciones en el lenguaje TRIZ en un ambiente sistémico	103

3.5.4. Aportaciones recientes del uso de TRIZ en el Diseño Axiomático	104
3.6. Conclusiones del Capítulo	108
4. Propuesta de un modelo ampliado del Diseño Axiomático con equipos multidisciplinares	111
4.1. Estructura del modelo para el trabajo multidisciplinar	112
4.2. La presencia de las técnicas creativas en el Modelo Ampliado del Diseño Axiomático	116
4.3. Características del modelo ampliado del Diseño Axiomático en el trabajo con equipos multidisciplinares en el diseño de productos	119
4.4. Método de trabajo del equipo multidisciplinar para el diseño de producto con el modelo ampliado del Diseño Axiomático	123
4.5. Conclusiones del capítulo	132
5. Aplicación experimental del modelo ampliado del Diseño Axiomático	135
5.1. Primer experimento: La estrategia sistemática de creatividad TRIZ con equipos multidisciplinares de diseño de producto	138
5.1.1. Proceso para evaluación del proceso creativo en el primer experimento	138
5.1.2. Proceso para evaluación del producto creativo en el primer experimento	141
5.1.3. Resultados obtenidos en el primer experimento	143
5.2. Segundo experimento: Evaluación del proceso creativo utilizando TRIZ con equipos multidisciplinares agrupados según diferentes tipologías utilizando el test de Myers-Briggs	148
5.2.1. Hipótesis planteadas para el segundo experimento	148
5.2.2. El test de Myers-Briggs	149
5.2.3. El test NEO	151

5.2.4. Proceso de trabajo para la evaluación del Proceso y el Producto creativo	152
5.3. Tercer experimento: Evaluación del Producto Creativo con diferentes estrategias de creatividad con equipos multidisciplinares	162
5.3.1. Hipótesis planteadas para el tercer experimento	163
5.3.2. Conformación de los grupos de trabajo	164
5.3.3. Resultados encontrados del tercer experimento	165
5.4. Cuarto experimento: Selección de una familia de productos para personas en situación de discapacidad que favorezca la inclusión social con la participación de un equipo multidisciplinar.	170
5.4.1. Hipótesis planteadas	170
5.4.2. Método seguido	171
5.4.3. Resultados obtenidos	174
5.5. Quinto experimento: Diseño conceptual de un producto utilizando el modelo ampliado del Diseño Axiomático.	178
5.5.1. Método de experimentación	178
5.5.2. Aplicación del modelo ampliado del Diseño Axiomático en el diseño conceptual de un producto	180
5.5.3. Resultados obtenidos para el quinto experimento	203
5.6. Conclusiones del capítulo	204
6. Discusión sobre los resultados encontrados en el trabajo con equipos multidisciplinares	207
6.1. Discusión de los resultados del primer experimento de la fase creativa: La estrategia sistemática de creatividad TRIZ con equipos multidisciplinares de diseño de producto	207

6.2. Discusión de los resultados del segundo experimento: Evaluación del proceso creativo utilizando TRIZ con equipos multidisciplinarios agrupados según diferentes tipologías utilizando el test de Myers-Briggs	211
6.3. Discusión de los resultados del tercer experimento: Evaluación de la estrategia de creatividad TRIZ con otras estrategias de generación de ideas en equipos multidisciplinarios	215
6.4. Discusión de los resultados del cuarto experimento: Selección de una familia de productos para personas en situación de discapacidad que favorezca la inclusión social con la participación de un equipo multidisciplinario	217
6.5. Discusión de los resultados del quinto experimento: Diseño conceptual de un producto utilizando un modelo ampliado del diseño axiomático	221
6.6. Conclusiones del capítulo	223
7. Conclusiones y Trabajo Futuro	225
7.1. Trabajo Futuro	229
Bibliografía	237
A. Instrucciones para los experimentos de generación de ideas	239
B. Cuestionario para evaluación de la variable Novedad del Producto Creativo en el segundo experimento	245
C. Cuestionario para evaluación de la variable Calidad del Producto Creativo en el segundo experimento	253

Índice de figuras

2.1. Dominios del Diseño Axiomático. (Fuente: Elaboración propia con base en [Suh, 1990])	34
2.2. Rango del sistema y del diseño para evaluar el contenido de información en el Diseño Axiomático. (Fuente: Elaboración propia con base en [Suh, 1990])	37
2.3. Desacople intuitivo de un diseño cuasiacoplado con dos Requerimientos Funcionales. (Fuente: Elaboración propia)	38
2.4. Diseño cuasiacoplado con dos Requerimientos Funcionales. Análisis estructurado. (Fuente: Elaboración propia)	39
2.5. Diseño acoplado con dos Requerimientos Funcionales. Proceso para alcanzar el punto óptimo. (Fuente: Elaboración propia)	40
2.6. Relación entre corolarios y axiomas en el Diseño Axiomático. (Fuente: [Suh, 1990])	46
2.7. Representación del modelo multidimensional de Gómez-Senent. (Fuente: [Gómez-Senent, 1998])	52
3.1. Diagrama del proceso Six Sigma. (Fuente: [Dickinson, 2006])	77
3.2. Dos situaciones de diseño con igual contenido de información. (Fuente: [Oh, 2006])	78
3.3. Representación con números fuzzy de una opinión general o deseo GD . (Fuente: [Ullah, 2005])	85
3.4. Toma de decisiones en el diseño de producto en un ambiente fuzzy utilizando posiciones definidas. (Fuente: [Ullah, 2005])	91

ÍNDICE DE FIGURAS

3.5. Toma de decisiones utilizando clusters de posiciones definidas. (Fuente: [Ullah, 2005])	92
3.6. Descripción del trabajo de Altshuller. (Fuente: [Cavallucci, 2002])	98
3.7. Formulación y solución de un problema con TRIZ. (Fuente: [Cavallucci, 2002])	99
3.8. Análisis de un problema utilizando las nueve ventanas en TRIZ. (Fuente: Elaboración propia)	100
3.9. Muestra parcial de la matriz de contradicciones en TRIZ y su uso. (Fuente: Elaboración propia)	102
3.10. Estrategia de trabajo en TRIZ utilizando las nueve ventanas y la matriz de contradicciones. (Fuente: Elaboración propia)	103
3.11. Representación de un Sistema Técnico. (Fuente: Elaboración propia)	104
3.12. Diagrama de flujo para diseño utilizando diseño axiomático y TRIZ. (Referencia: [Shin and Park, 2006])	105
3.13. Aproximación integrada de creatividad e innovación con la metodología del Diseño Axiomático. (Fuente: [Dickinson, 2006])	107
4.1. Modelo de gestión de la innovación para diseño de producto (Fuente: Elaboración propia)	113
4.2. Bucle de diseño según la propuesta del Diseño Axiomático (Fuente: [Suh, 1990])	117
4.3. Estado hipotético futuro de las nueve ventanas TRIZ que debe utilizarse con Brainstorming (Fuente: Elaboración propia)	118
4.4. Característica del modelo ampliado de diseño con equipos multidisciplinares utilizando el Diseño Axiomático. (Fuente: Elaboración propia)	120
4.5. Esquema general de la propuesta original del Diseño Axiomático (Fuente: Elaboración propia)	121
4.6. Modelo general para el diseño de producto con el modelo ampliado del Diseño Axiomático (Fuente: Elaboración propia)	122
4.7. Modelo de diseño de producto con participación multidisciplinar. (Fuente: Elaboración propia)	123

ÍNDICE DE FIGURAS

4.8. Propiedades de un Sistema técnico con base en el modelo de Hubka y Eder (Fuente: [Hubka and Eder, 1988])	127
5.1. Método seguido en el primer experimento de creatividad con equipos multidisciplinares utilizando TRIZ. (Fuente: Elaboración propia) . . .	139
5.2. Método seguido para el trabajo con el panel de expertos en el primer experimento de ideación con TRIZ. (Fuente: Elaboración propia) . . .	141
5.3. Diagrama jerárquico AHP para determinar la Novedad de las ideas para el primer experimento con equipos multidisciplinares utilizando TRIZ. (Fuente: Elaboración propia)	142
5.4. Diagrama jerárquico AHP para determinar la Calidad de las ideas para el primer experimento con equipos multidisciplinares utilizando TRIZ. (Fuente: Elaboración propia)	142
5.5. Bocetos del primer experimento de la fase creativa con equipos multidisciplinares utilizando TRIZ. (Fuente: Elaboración propia)	145
5.6. Resultados del primer experimento de evaluación de la Novedad con equipos multidisciplinares, utilizando AHP. (Fuente: Elaboración propia)	146
5.7. Resultados del primer experimento de evaluación de la Calidad con equipos multidisciplinares, utilizando AHP. (Fuente: Elaboración propia)	147
5.8. Conjunto de 16 tipologías diferentes utilizando el test de Myers-Briggs. (Fuente: Elaboración propia)	150
5.9. Método seguido para evaluación del Proceso Creativo en el segundo experimento. (Fuente: Elaboración propia)	152
5.10. Método seguido para la evaluación del Producto Creativo en el segundo experimento. (Fuente: Elaboración propia)	152
5.11. Bocetos del trabajo de ideación para el segundo experimento de la fase creativa con equipos multidisciplinares. (Fuente: Elaboración propia) .	155
5.12. Diagrama jerárquico AHP para determinar la novedad de las ideas para el segundo experimento con equipos multidisciplinares con tipologías diferentes. (Fuente: Elaboración propia)	158
5.13. Diagrama jerárquico AHP para determinar la calidad de las ideas para el segundo experimento con equipos multidisciplinares y tipologías diferentes. (Fuente: Elaboración propia)	158

ÍNDICE DE FIGURAS

5.14. Resultados de la evaluación de la Novedad y la Calidad para el segundo experimento de ideación con TRIZ. (Fuente: Elaboración propia) . . .	159
5.15. Diagrama jerárquico AHP para determinar la novedad de las ideas para el tercer experimento de ideación con equipos multidisciplinares con diferentes técnicas. (Fuente: Elaboración propia)	163
5.16. Diagrama jerárquico AHP para determinar la calidad de las ideas para el tercer experimento de ideación con equipos multidisciplinares con diferentes técnicas. (Fuente: Elaboración propia)	163
5.17. Bocetos del trabajo de ideación para el tercer experimento de la fase creativa con equipos multidisciplinares con diferentes técnicas de ideación. (Fuente: Elaboración propia)	166
5.18. Resultado de la evaluación de la Novedad para el tercer experimento de ideación con diferentes técnicas. (Fuente: Elaboración propia) . . .	167
5.19. Resultado de la evaluación de la Calidad para el tercer experimento de ideación con diferentes técnicas. (Fuente: Elaboración propia)	168
5.20. Clasificación de la norma ISO9999:2007. (Fuente: Elaboración propia con base en la norma ISO9999)	171
5.21. Fases del proceso de selección de una clase de productos para diseño para personas en situación de discapacidad. (Fuente: Elaboración propia)	172
5.22. Diagrama jerárquico para la selección de una familia de productos que sea objeto de diseño en el cuarto experimento. (Fuente: Elaboración propia)	173
5.23. Resultados de la selección de la clase de productos que deben ser diseñados que favorezcan la inclusión social en el cuarto experimento. (Fuente: Elaboración propia)	174
5.24. Resultado parcial, desde el Diseño Industrial, de la selección de una clase de productos que favorezcan la inclusión social de personas en situación de discapacidad en el cuarto experimento. (Fuente: Elaboración propia)	175
5.25. Resultado parcial, desde la Ingeniería, de la selección de una clase de productos que favorezcan la inclusión social de personas en situación de discapacidad en el cuarto experimento. (Fuente: Elaboración propia)	176
5.26. Método para aplicación del modelo ampliado del Diseño Axiomático en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)	180

5.27. Análisis del problema, en el quinto experimento, para evitar sedentarismo en la oficina con la técnica de las nueve ventanas de TRIZ. (Fuente: Elaboración propia)	182
5.28. Bocetos para el Requerimiento Funcional de variar altura utilizando el principio de dinamicidad de TRIZ en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)	189
5.29. Bocetos para el Requerimiento Funcional de variar el área de la superficie utilizando el principio de volver lo nocivo un bien de TRIZ en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)	190
5.30. Boceto de utilización del principio de separación para satisfacer el Requerimiento Funcional de contener los elementos de trabajo del quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)	190
5.31. Bocetos para el Requerimiento Funcional de soportar los elementos de trabajo utilizando el principio de universalidad de TRIZ en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)	191
5.32. Alternativas de uso del principio de “otra manera” para satisfacer el Requerimiento No Funcional de permitir la manipulación intuitiva de las partes de trabajo en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)	192
5.33. Primer boceto elaborado por el equipo de diseño para el problema planteado en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia) . . .	193
5.34. Bocetos de la segunda propuesta para el problema de diseño del quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)	194
5.35. Tercer boceto elaborado por el equipo de diseño para el problema planteado en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia) . . .	195
5.36. Jerarquía del modelo propuesto en AHP para ponderar a los decisores del Requerimiento no Funcional en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)	200
5.37. Imagen del software diseñado en Matlab para ingresar la información de los evaluadores para caracterizar el cumplimiento de los Requerimientos no Funcionales a través de los parámetros de diseño en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)	202
5.38. Resultado de los valores de verdad para las proposiciones de deseo y de las funciones G y D	202

5.39. a. Visualización de los valores de G y D para el requerimiento no funcional analizado b. Valor de la función de agregación en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)	203
6.1. Resultados de la evaluación de la Novedad y la Calidad para el Experimento 1 dado por una de las diseñadoras y por una ingeniera. (Fuente: Elaboración propia)	210
6.2. Resultados del proceso de selección de una ayuda técnica para diseño por cada uno de los evaluadores en el cuarto experimento. (Fuente: Elaboración propia)	220

Índice de cuadros

2.1. Teoremas del Diseño Axiomático. (Fuente: [Suh, 1990])	50
2.2. Relación de las Dimensiones Intrínsecas del proyecto con las teorías clásicas de diseño. Fuente: Elaboración propia	60
2.3. Relación de las Dimensiones Extrínsecas del proyecto con las teorías clásicas de diseño. (Fuente:Elaboración propia)	61
3.1. Teorías y técnicas de diseño que se han relacionado con el Diseño Axiomático para favorece el trabajo cooperativo con otras disciplinas. (Fuente: Elaboración propia)	75
3.2. Descripción lingüística para una opinión general bajo una proposición fuzzy. (Fuente: Elaboración propia basado en [Ullah, 2005])	80
3.3. Descripción lingüística para una opinión general de forma numérica bajo una proposición fuzzy. (Fuente: Elaboración propia basado en [Ullah, 2005])	81
3.4. Lista de parámetros TRIZ. (Fuente: [Savransky, 2000])	101
3.5. Lista de 40 principios TRIZ. (Fuente: [Savransky, 2000])	101
4.1. Fortalezas y debilidades de las empresas que se involucran en la propuesta del modelo ampliado del Diseño Axiomático. Fuente: Elaboración propia	115
4.2. Fortalezas y debilidades de la Universidad, el Usuario y el Estado que se involucran en la propuesta del modelo ampliado del Diseño Axiomático. Fuente: Elaboración propia	116

5.1. Conformación de equipos de trabajo multidisciplinares para el primer experimento de ideación con equipos multidisciplinares utilizando TRIZ. (Fuente: Elaboración propia)	140
5.2. Contradicciones encontradas y principios sugeridos para el primer experimento con equipos multidisciplinares utilizando TRIZ. (Fuente: Elaboración propia)	144
5.3. Resultados de la evaluación de la variedad del primer experimento de la fase creativa con equipos multidisciplinares usando TRIZ. (Fuente: Elaboración propia)	144
5.4. Equipos y tipologías de los participantes del segundo experimento. (Fuente: Elaboración propia)	154
5.5. Cálculo de la Variedad para el segundo experimento. (Fuente: Elaboración propia)	156
5.6. Contradicciones encontradas y principios sugeridos para el segundo experimento utilizando TRIZ con equipos multidisciplinares y diferentes tipologías. (Fuente: Elaboración propia)	157
5.7. Resultados de la Variedad, Novedad y Calidad para el segundo experimento de ideación con equipos multidisciplinares y tipologías diferentes utilizando TRIZ. (Fuente: Elaboración propia)	160
5.8. Resultados de evaluación de hipótesis del tercer experimento. (Fuente: Elaboración propia)	161
5.9. Conformación de equipos de trabajo multidisciplinares con diferentes técnicas en el tercer experimento. (Fuente: Elaboración propia)	165
5.10. Resultados de evaluación de hipótesis del tercer experimento. (Fuente: Elaboración propia)	169
5.11. Resultados de evaluación de las hipótesis del cuarto experimento. (Fuente: Elaboración propia)	177
5.12. Conformación del equipo de diseño para el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)	181
5.13. Determinación de Rangos de Diseño para el quinto experimento de validación del modelo ampliado del Diseño Axiomático. (Fuente: Elaboración propia)	185

ÍNDICE DE CUADROS

5.14. Determinación de cuantificadores para el requerimiento Fuzzy y determinación del deseo con base en el problema de diseño en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)	185
5.15. Enunciación de contradicciones con base en los Requerimientos Funcionales (FRs) de un problema de diseño en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)	187
5.16. Principios sugeridos para los Requerimientos Funcionales de primer nivel a partir del análisis de nueve ventanas TRIZ en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)	188
5.17. Asociación de Parámetros de Diseño a los Requerimientos Funcionales con base en los bocetos elaborados para solución en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)	196
5.18. Matriz de diseño para la primera propuesta de diseño en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)	196
5.19. Matriz de diseño para la tercera propuesta de diseño en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)	198
5.20. Ponderación de los participantes del equipo de diseño para evaluar la función de agregación para los Requerimientos no Funcionales en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)	200
5.21. Calificación inicial, sin ponderación, de la primera alternativa de diseño frente al requerimiento de Manipulación intuitiva de las partes en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)	201
5.22. Calificación ponderada, de la primera alternativa de diseño frente al requerimiento de Manipulación intuitiva de las partes en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)	201
6.1. Resultados de evaluación de hipótesis del tercer experimento. (Fuente: Elaboración propia)	214
6.2. Resultados de evaluación de las hipótesis del tercer experimento. (Fuente: Elaboración propia)	215
6.3. Resultados de evaluación de hipótesis del cuarto experimento. (Fuente: Elaboración propia)	218

Capítulo 1

Introducción

1.1. Contexto de la Investigación

El diseño de producto es una temática que ha sido abordada ampliamente desde mediados del siglo XX [Hubka and Eder, 1988]. Existen muchas teorías asociadas con el diseño, algunas de tipo metodológico, otras de tipo conceptual y otras de tipo integrador. Cross se refiere a las primeras como teorías prescriptivas y descriptivas a las segundas [Cross, 1998], sin embargo, no existe una sola teoría *cross-disciplinar* asociada con el diseño [Love, 2002]. De otra parte, las teorías de diseño son poco utilizadas a nivel empresarial como lo demuestran los estudios en varios países [Fujita and Matsuo, 2005, Araujo et al., 1996, Botana and Sábato, 1993] y cuando se usan no se siguen en forma estricta sino que se adaptan a las características del diseñador [González-Cruz et al., 2007, Eisentraut, 1999].

El proceso de diseño es realizado por las personas, con sus características personales y motivaciones, donde se busca satisfacer las necesidades que le plantea la sociedad. De esta forma, las profesiones han abordado el problema del diseño del producto desde sus fortalezas disciplinares. Así, el Diseño Industrial se ha centrado en la interacción del producto con el usuario, en la forma, la estética y el color, como también del análisis de la percepción y la sensación que tienen alta incidencia en la decisión de compra [Petitota and Yannou, 2004]. También, en el Diseño Industrial, se destaca la importancia del boceto en el proceso del diseño. Por su parte, la ingeniería ha desarrollado un conjunto de teorías y técnicas a partir del uso de las ciencias naturales y las matemáticas que ha permitido un trabajo robusto de la función en el diseño de productos. El trabajo conjunto de diseñadores industriales e ingenieros se considera

complementario de acuerdo a las diferentes aproximaciones desde la forma a la función, en el diseño industrial, y de la función a la forma en la ingeniería [Hosnedl and Dvorak, 2008]. Existen estudios que resaltan las virtudes del trabajo multidisciplinar, sin embargo se reconoce que hacen falta más experiencias empíricas que demuestren tales virtudes [Rafols and Meyer, 2006a].

Junto a las profesiones, Ingeniería y Diseño, que podrían ubicarse en el campo del conocimiento con una fortaleza reconocida por parte de la Universidad, existe otra aproximación que es la del diseño de producto como un elemento fundamental del mercado. En la visión del mercado [Pugh, 1990], el diseño de producto se convierte en un elemento de transacción comercial que es generado por una empresa y del que se espera obtener un beneficio económico. Los estudios de mercado se generan desde las empresas para fortalecer su negocio y presentan el limitante de observar las necesidades sociales sólo desde su campo de actuación productiva que restringe muchas de las posibilidades del producto.

Por último, en la actualidad ha tomado auge la teoría de la innovación y los sistemas nacionales de innovación [Freeman, 1995]. En esta área son importantes los modelos y análisis del trabajo Universidad-Estado-Empresa como el triángulo de Sábato [Botana and Sábato, 1993] y la triple hélice [Etzkowitz and Leydesdorff, 2000]; también, los caminos de la innovación ya sea desde la ciencia o desde el mercado, las innovaciones radicales o incrementales, las tensiones que se presentan en las relaciones entre los actores [Hayrinen-Alestalo and Peltola, 2006] y la evaluación de las características de empresas y las universidades propensas a la innovación [Azagra-Caro et al., 2006]. De igual forma, dentro de la innovación, se analizan las estructuras de soporte para fortalecer las relaciones de la Universidad-Estado-Empresa y el análisis de las motivaciones de los actores [Fontana et al., 2006]. Las teorías de innovación, al igual como lo hacen las empresas, centran su análisis en el mercado y sus modelos son similares al de diseño de producto como lo propone Pahl y Beitz [Pahl and Beitz, 1996].

Con base en lo anterior, en esta tesis se propone un modelo de trabajo para el diseño de producto con la participación de la Universidad-Empresa-Estado y el Usuario tomando la Necesidad Social como punto de convergencia. En este modelo, la joven empresa de base tecnológica es fundamental por sus virtudes organizacionales y de aplicación del conocimiento actualizado, y la empresa consolidada por su experiencia productiva y conocimiento del mercado. En el modelo, el Usuario se vuelve protagonista del proceso y el mercado no es el único elemento de convergencia entre los actores. Cuando el mercado es el centro de convergencia, la relación con la universidad tropieza porque se puede limitar el conocimiento y excluir a las Ciencias Sociales que parecen no responder a esos intereses [Hayrinen-Alestalo and Peltola, 2006].

Para el trabajo de síntesis del producto se ha seleccionado el Diseño Axiomático como teoría de soporte del diseño, después de un análisis comparativo de las teorías clásicas [Pahl and Beitz, 1996, Asimow, 1968, Hubka and Eder, 1988, Pugh, 1990, Cross, 1998] con base en el modelo de Gómez-Senent [Gómez-Senent, 1998]. El modelo base del Diseño Axiomático se ha ampliado para manipular intencionalmente los requerimientos subjetivos y para el trabajo con equipos multidisciplinares. Se ha sugerido el uso de la Teoría de las Soluciones Inventivas, TRIZ [Cavallucci, 2002, Salamatov, 1999, Savransky, 2000], tanto para la fase de análisis del problema como para la fase creativa del proceso de diseño. Algunas de las razones de esta escogencia han sido las características de análisis sistémico y la búsqueda de soluciones convergentes acudiendo al conocimiento y experiencia acumulada de otras personas [Gonzalez-Cruz et al., 2008]. En el modelo, para involucrar dentro del Diseño Axiomático los requerimientos cualitativos o subjetivos, se ha sugerido el uso de la lógica Fuzzy para manipular este tipo de información [Zadeh, 1999]. Por último, para la conformación de los equipos multidisciplinares se ha sugerido una agrupación por tipología de personalidad utilizando la teoría de Jung que se encuentra con el uso del test de Myers-Briggs [Shen et al., 2007].

1.2. Objetivos de la tesis

El objetivo general de la tesis es:

Proponer y aplicar un modelo ampliado del Diseño Axiomático que permita involucrar los requerimientos cualitativos y perceptuales de un producto a través de un trabajo multidisciplinar.

Los objetivos específicos son:

1. Evaluar la participación multidisciplinaria en las metodologías de diseño de productos para involucrarla en el Diseño Axiomático
2. Proponer y evaluar modelos alternativos para involucrar requerimientos perceptuales y cualitativos del producto dentro de la propuesta del Diseño Axiomático.
3. Proponer y evaluar métricas alternativas al contenido de información como las lógicas paraformales y las técnicas multicriterio, para evaluar la calidad del diseño de un producto.
4. Contrastar la efectividad de la estrategia de creatividad sistemática TRIZ con otras estrategias para desacoplar diseño en el modelo del Diseño Axiomático.
5. Evaluar y utilizar estrategias como QFD para determinar requerimientos del producto para afianzar la asociación del Dominio del Usuario y Funcional del Diseño Axiomático.

6. Evaluar la participación del sector de manufactura en el equipo proyectual para fortalecer el enlace del Dominio Físico y el Dominio del Proceso del Diseño Axiomático.

1.3. Hipótesis de la tesis

1. En el diseño de productos se puede plantear de forma alternativa, bajo la estructura del diseño axiomático, un conjunto de requerimientos cualitativos y perceptuales del producto con la participación de un equipo de proyecto multidisciplinar.
2. Se puede plantear una métrica para evaluar el Contenido de Información en el diseño de un producto para Parámetros de Diseño que atiendan a Requerimientos Perceptuales y Cualitativos bajo una visión multidisciplinaria del producto
3. La estrategia de creatividad TRIZ es la más apropiada para desacoplar sistemas bajo el modelo del diseño axiomático

1.4. Alcance de la tesis

La tesis propone un modelo de relación y de acción, en el Diseño de Producto, con la participación de la Universidad (de característica multidisciplinaria), la Empresa, el Usuario y el Estado. En este modelo, los actores se integran a través de la Necesidad Social, un concepto más amplio que el mercado, y el proceso de diseño se articula a través de un modelo ampliado del Diseño Axiomático. El modelo Ampliado es una estrategia que permite manejar de manera intencional los requerimientos cualitativos del producto dentro de la propuesta original del Diseño Axiomático [Suh, 1990], que simplemente los considera como restricciones. En el modelo se sugiere utilizar, junto al Diseño Axiomático, la Teoría de Soluciones Inventivas, TRIZ [Salamatov, 1999, Savransky, 2000], y la lógica fuzzy [Zadeh, 1999, Ullah, 2005].

La integración de TRIZ en el modelo ayuda en el proceso de análisis del problema, en la formulación de Requerimientos Funcionales y No Funcionales, como en la generación de ideas. Para evaluar la efectividad del proceso de ideación con TRIZ con equipos multidisciplinarios, se han realizado un conjunto de experimentos para medir el Producto y el Proceso creativo [Shah et al., 2003a, Shah et al., 2003b]. El producto creativo ha sido medido a través de las variables Novedad y Calidad, mientras que el proceso creativo se ha evaluado a través de la variable Variedad. Se ha sugerido una forma novedosa para la medida de estas variables a través del Proceso Analítico

Jerárquico, AHP [Saaty, 1994].

La lógica fuzzy ha sido involucrada en el proceso de diseño para el manejo de los Requerimientos subjetivos del producto, conservando la Ecuación de Diseño que propone el Diseño Axiomático. Se ha introducido un Rango de Diseño perceptual para los Requerimientos No Funcionales y el Contenido de Información se mide a través de la función de Opinión General y Deseo que es una Función de Agregación en el Dominio Fuzzy. La Función de Agregación, al igual que el Contenido de Información de los Requerimientos Funcionales, es una entidad adimensional que mide la entropía del sistema para determinar la calidad del diseño. Con el valor del Contenido de Información mas el valor de la Función de Agregación se mide la calidad total del producto en el proceso de diseño.

De otra parte, dado que la sola agrupación de diferentes disciplinas no garantiza el éxito de un proyecto, se trabajó en la forma de componer equipos de diseño a través de perfiles de personalidad. Para este propósito se utilizó el test de personalidad de Myers-Briggs, basado en el modelo de Jung [Shen et al., 2007] y se evaluaron algunas hipótesis teóricas con el test NEO [Reilly et al., 2002].

En el análisis del Diseño Axiomático, bajo la propuesta de Suh [Suh, 1990], se encontró que este tiene dificultades para ser aplicado directamente en el diseño de productos con equipos multidisciplinarios. Algunas de estas dificultades provienen de la naturaleza técnica del diseño, puesto que emerge de la ingeniería mecánica; del privilegio de un solo diseñador, de la orientación al mercado y que no brinda estrategias explícitas para el proceso de diseño. Por último, en la propuesta básica del Diseño Axiomático los Requerimientos No Funcionales no son trabajados de manera intencional puesto que forman parte de las restricciones. Sin embargo, el Diseño Axiomático es la teoría que presenta una organización estructurada del proceso de diseño, desde la primera fase de conceptualización hasta el final, a través del Primer Axioma de Independencia e involucra el proceso analítico a través del Segundo Axioma de Información.

1.5. Estructura del documento

El documento se ha organizado de la siguiente forma:

- El Capítulo 2 es una presentación del Diseño Axiomático y una justificación

de su escogencia en esta tesis. El capítulo se inicia con los fundamentos del Diseño Axiomático [Suh, 1990, Suh, 2005, Suh, 2001]. Posteriormente, se realiza una breve descripción del Modelo Multidimensional del proyecto propuesto por Gómez-Senent [Gómez-Senent, 1998]. Luego, se realiza un análisis de las teorías clásicas del diseño de producto tomando como referencia el modelo integrador de Gómez-Senent. El resultado del análisis sirvió para la selección del Diseño Axiomático como estrategia de diseño en esta tesis. Finalmente, se presentan los aportes recientes al Diseño Axiomático en las dimensiones Factores y Metaproyecto, del modelo de Gómez-Senent, que fueron identificadas como débiles en dicha teoría.

- El capítulo tres es la presentación del trabajo actual de un conjunto de técnicas que se han utilizado con el Diseño Axiomático para fortalecer el trabajo organizacional y multidisciplinar en el diseño. En particular se hace referencia al uso de la Teoría de Soluciones Inventivas, TRIZ, el Diseño Six Sigma, y la lógica Fuzzy. TRIZ permite la integración de varias disciplinas en el análisis de un proceso de diseño y el desacople de la matriz de diseño del Diseño Axiomático [Shirwaiker and Okudan, 2008]. La lógica Fuzzy en el diseño de productos permite la manipulación de requerimientos cualitativos [Ullah, 2005]. El diseño Six Sigma, a través de los análisis de calidad, permite justificar en el Diseño Axiomático el uso de otras estrategias al Contenido de Información [Oh, 2006].
- El Capítulo 4 presenta el modelo ampliado del Diseño Axiomático para trabajo multidisciplinar. En el modelo sugerido se involucran la Universidad con las diversas disciplinas, el Estado, la Empresa consolidada y la de base tecnológica y el Usuario. La convergencia de los actores es la Necesidad Social y la articulación del proceso de diseño se realiza con el Diseño Axiomático. En el capítulo se muestra la forma de involucrar en forma intencional los Requerimientos No Funcionales en la Ecuación de Diseño y la forma de medir el Contenido de Información para dichos requerimientos. Para esta medida, se utiliza la Función de Agregación que es el cálculo de la Función de la Opinión General y Deseo que se utiliza para evaluar los requerimientos cualitativos del producto [Ullah, 2005].
- El Capítulo 5 es la presentación y análisis de un conjunto de experimentos, tanto de la fase creativa como de la fase analítica del proceso de diseño con equipos multidisciplinarios de diseño y la aplicación del modelo propuesto en la tesis. Se presenta un conjunto de cinco experimentos, los tres primeros están asociados al estudio del proceso de Ideación con equipos multidisciplinarios utilizando TRIZ [Gonzalez-Cruz et al., 2008] y su comparación otras técnicas de ideación. El cuarto experimento consiste en el análisis del proceso de toma de decisiones en la fase preliminar del proceso de diseño [González-Cruz et al., 2009] y el quinto experimento, es la aplicación del modelo ampliado del Diseño Axiomático propuesto en la tesis.

- El Capítulo 6 corresponde a la discusión del trabajo experimental a partir de las hipótesis planteadas en los experimentos que han estado alineadas con los objetivos e hipótesis de la tesis.
- Finalmente, el Capítulo 7 corresponde a las Conclusiones y al trabajo futuro alrededor del proceso de diseño con equipos multidisciplinares.

Capítulo 2

El Diseño Axiomático y las teorías clásicas del Diseño de producto: Características e introducción al estado del arte

2.1. El Diseño Axiomático

El Diseño Axiomático, propuesta de Nam P. Suh [Suh, 1990], define una estrategia para el diseño de productos con dos propósitos fundamentales: el primero, que el diseño de productos pueda ser transferido fácilmente a otros diseñadores y el segundo, que exista una forma para decidir sobre la calidad de un diseño. En esta propuesta, el diseño debe ir acompañado con una firme base científica para asegurar su éxito.

Dentro del Diseño Axiomático se definen cuatro dominios: El Dominio del Cliente, el Dominio Funcional, el Dominio Físico y el Dominio del Proceso. En el primer dominio, el Dominio del Cliente, los atributos y las necesidades de los clientes son caracterizadas como los Atributos del Cliente (CAs). En el segundo dominio, el Dominio Funcional, los atributos y las necesidades descritas en el primer dominio son trasladadas en un conjunto de Requerimientos Funcionales, FRs. En el tercer dominio, el Dominio Físico, un conjunto de Parámetros de Diseño (DPs) son escogidos para satisfacer los FRs. En el último dominio, el Dominio del Proceso, un conjunto de variables del proceso (PVs) deben ser seleccionadas para crear los DPs del tercer

dominio. La descomposición de los FRs y los DPs se lleva a cabo zigzagueando entre el Dominio Funcional y el Dominio Físico. Puesto que existirán muchos DPs que satisfarán un Requerimiento Funcional dado, es importante que el mejor DP sea escogido para producir el diseño más robusto [Suh, 2001]. La Figura 2.1 presenta los cuatro dominios para el diseño propuesto por Suh.

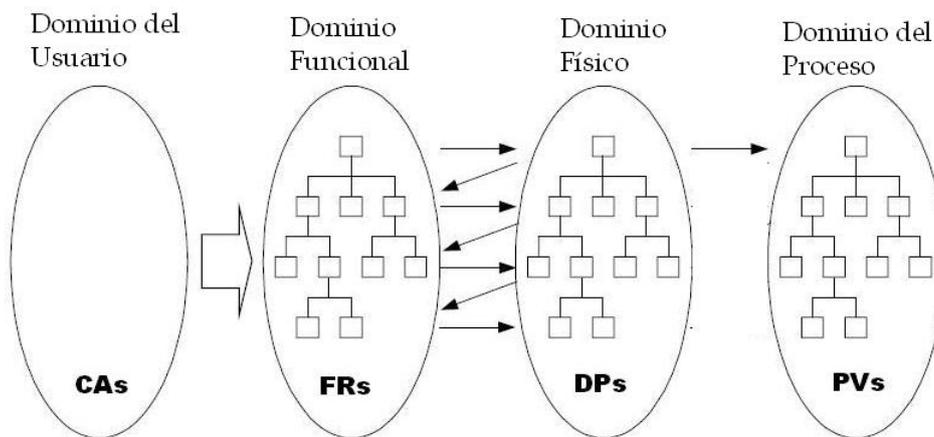


Figura 2.1: Dominios del Diseño Axiomático. (Fuente: Elaboración propia con base en [Suh, 1990])

En el Diseño Axiomático se definen dos axiomas: *el Axioma de Independencia y el Axioma de Información* que se enuncian así:

Axioma 1: El Axioma de Independencia. Mantener la independencia de los Requerimientos Funcionales.

Axioma 2: El Axioma de Información. Minimizar el contenido de la información.

El Axioma 1 está asociado a la relación entre el Dominio Funcional y el Dominio Físico, con los Requerimientos Funcionales y los Parámetros de Diseño, respectivamente. En esta relación, por el Axioma 1, una perturbación en un Parámetro de Diseño particular, DP, debe afectar solamente su Requerimiento Funcional asociado. El Axioma 2 establece, entre todos los diseños que satisfacen el Axioma 1 de independencia, que el mejor diseño es aquel que posee el mínimo Contenido de Información. El término "mejor" es utilizado en un sentido relativo, puesto que hay potencialmente un número infinito de diseños que pueden satisfacer un conjunto dado de Requerimientos

Funcionales.

Los Requerimientos Funcionales, FRs, pueden ser tratados como un vector **FR** con m componentes. Similarmente, los Parámetros de Diseño en el Dominio Físico también constituyen un vector **DP** con n componentes. Lo anterior se expresa con la ecuación de diseño:

$$\{FR\} = [A] \{DP\} \quad (2.1)$$

donde $\{FR\}$ es el vector de Requerimientos Funcionales, $\{DP\}$ es el vector Parámetros de Diseño y $[A]$ es la matriz de diseño.

La matriz de diseño $[A]$ es de la forma:

$$[A] = \left\{ \begin{array}{cccc} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ A_{m1} & A_{m2} & \dots & A_{mn} \end{array} \right\} \quad (2.2)$$

Cada elemento A_{ij} de la Matriz de Diseño, relaciona un componente del vector **FR** con un componente del vector **DP**. En general, el elemento A_{ij} puede ser expresado como:

$$A_{ij} = \partial FR_i / \partial DP_j \quad (2.3)$$

A_{ij} debe ser evaluado en el punto del diseño específico en el espacio físico a menos que A_{ij} sea una constante. En casos no lineales, A_{ij} varía con FR_i y DP_j . Cuando el número de DPs es igual al número de FRs, $m = n$, y entonces $[A]$ es una matriz cuadrada.

El planteamiento de la ecuación de diseño para evaluar el primer Axioma permite seleccionar los Parámetros de Diseño en una forma adecuada para evitar las dependencias de los Requerimientos Funcionales y por tanto el problema del ensayo y el error cuando no se tiene una estructura de soporte para el diseño [Salamatov, 1999].

2.1.1. El Contenido de Información

En el Diseño Axiomático, la información es la medida del conocimiento requerido para satisfacer un Requerimiento Funcional FR dado, en un nivel de la jerarquía de los Requerimientos Funcionales. El contenido de información de un diseño puede ser definido cuantitativamente como el logaritmo de la probabilidad de satisfacer el Requerimiento Funcional FR especificado y es de naturaleza adimensional.

$$\text{Informacion} = I = \log_2(1/p) \quad (2.4)$$

La definición de información dada por la ecuación (2.4) es similar a la que se utiliza en la Teoría de la Información. El Contenido de Información en el Diseño Axiomático representa una clase de entropía que mide la incertidumbre [Kulak et al., 2005].

El contenido de información es cero cuando el desempeño del sistema (dado por el Rango del Sistema) está siempre dentro del rango de variación permitido (dado por el Rango del Diseño). En caso contrario la razón de traslape entre el Rango del Diseño y el Rango del Sistema determina el contenido de la información como se muestra en la figura 2.2.

El contenido de información I de un sistema con n Requerimientos Funcionales FRs está definido como:

$$I_{sys} = -\log_2 P_{\{n\}} \quad (2.5)$$

donde $P_{\{n\}}$ es la probabilidad conjunta que todos los n FRs estén satisfechos. Cuando los FRs son independientemente satisfechos, la ecuación anterior debe ser escrita como:

$$I = -\sum_{i=1}^n \log_2 P_i \quad (2.6)$$

donde P_i es la probabilidad del Rango del Sistema de FR_i estando dentro del Rango del Diseño para el FR.

2.1.2. Tipos de diseño con base en la matriz de diseño

Al resolver un problema de diseño se pueden presentar los siguientes casos: Un diseño desacoplado (uncoupled), un diseño acoplado (coupled) y un diseño cuasia-

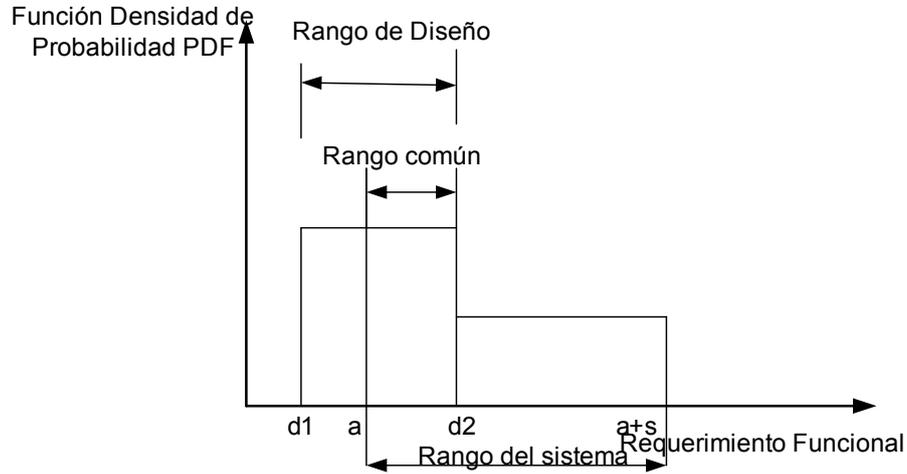


Figura 2.2: Rango del sistema y del diseño para evaluar el contenido de información en el Diseño Axiomático. (Fuente: Elaboración propia con base en [Suh, 1990])

coplado (decoupled).

Diseño desacoplado:

El diseño desacoplado generalmente es un caso excepcional del diseño en una primera aproximación a la solución. Es la situación en que se garantiza en forma absoluta la independencia de los Requerimientos Funcionales lo cual es consistente con el Axioma 1. Esta situación se expresa matemáticamente con la ecuación de diseño que se muestra en la Ecuación (2.7)

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \\ \vdots \\ FR_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & A_{22} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & A_{33} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & A_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \\ \vdots \\ DP_n \end{Bmatrix} \quad (2.7)$$

Diseño cuasiacoplado (matriz triangular)

Este diseño se reconoce en la matriz de diseño correspondiente a una matriz triangular como se indica en la ecuación (2.8). En esta formulación, el sistema puede considerarse con los Requerimientos Funcionales (FRs) independientes si se realiza una adecuada selección de los Parámetros de Diseño (DPs). Para el caso mostrado en la ecuación (2.8), la escogencia del DP debe iniciarse desde el Parámetro de Diseño que no produce acoplamiento de los Requerimientos Funcionales, en este caso DP_1 y se debe seguir con los inferiores en forma secuencial para evitar el acople.

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 \\ A_{21} & A_{22} & 0 \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{Bmatrix} \quad (2.8)$$

Cuando se desconoce la ecuación de diseño, lo que significa que no hay un proceso racional del diseño, se presentan situaciones en que el diseño no converge a pesar de que este sea cuasiacoplado puesto que los procesos de ensayo y error son arbitrarios. La Figura 2.3 muestra una situación de un sistema cuasiacoplado con dos requerimientos funcionales en el cual se busca ajustar los parámetros de diseño, DPs, en forma intuitiva por desconocimiento de la ecuación de diseño.

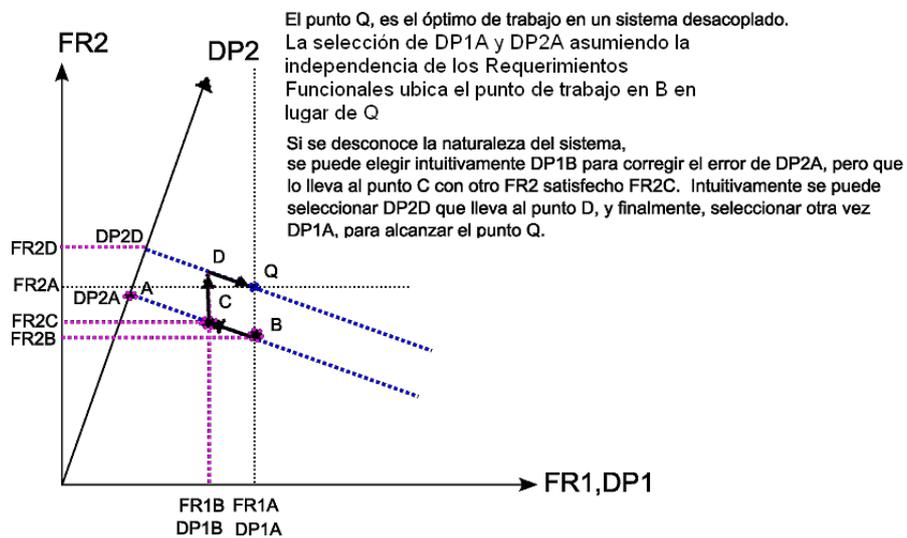


Figura 2.3: Desacople intuitivo de un diseño cuasiacoplado con dos Requerimientos Funcionales. (Fuente: Elaboración propia)

La Figura 2.4 muestra el proceso de selección de DPs del sistema cuasiacoplado con dos requerimientos funcionales cuando se analiza el problema en función de la ecuación de diseño. En este caso el proceso es directo y estructurado.

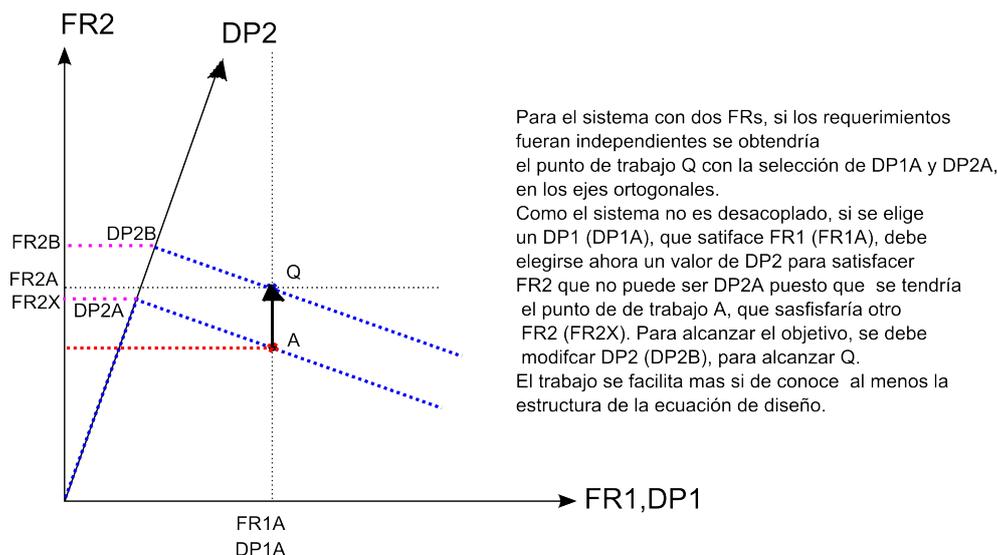


Figura 2.4: Diseño cuasiacoplado con dos Requerimientos Funcionales. Análisis estructurado. (Fuente: Elaboración propia)

Diseño acoplado

Se caracteriza porque en la Matriz de Diseño $A_{ij} \neq 0$ y no es matriz triangular. El caso acoplado es un diseño que no tiene solución bajo el planteamiento dado y debe buscarse alternativas de solución del problema para llevarlo a un caso al menos cuasiacoplado.

$$\begin{pmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \\ \vdots \\ FR_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{m1} & A_{m2} & \dots & A_{mn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \\ \vdots \\ DP_n \end{pmatrix} \quad (2.9)$$

La figura 2.5 muestra el caso de un diseño con dos Requerimientos Funcionales con una propuesta de diseño acoplada. Para alcanzar el punto de trabajo se requiere un proceso de prueba y ensayo que posiblemente no alcance la solución. Lo anterior sugiere un replanteamiento del problema de diseño.

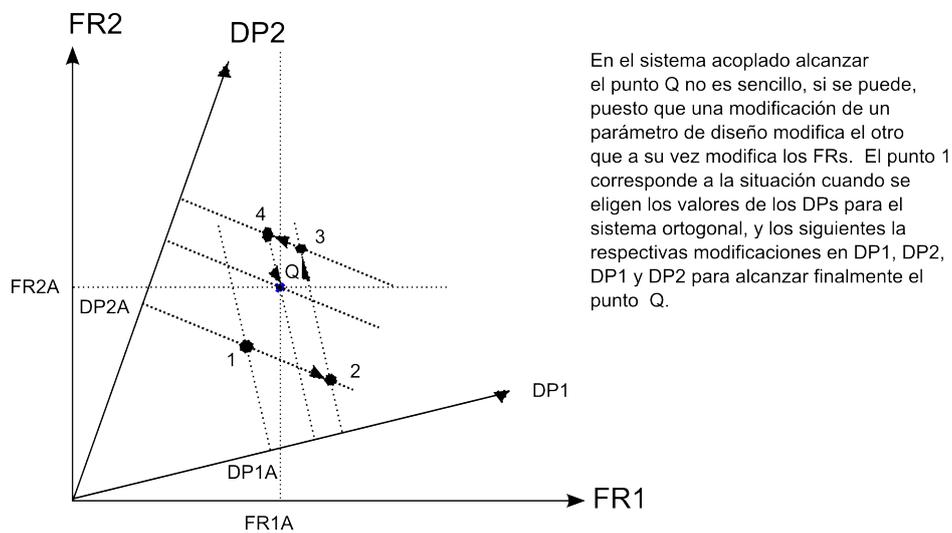


Figura 2.5: Diseño acoplado con dos Requerimientos Funcionales. Proceso para alcanzar el punto óptimo. (Fuente: Elaboración propia)

Otras situaciones de diseño a partir del análisis de la matriz de diseño

Los casos presentados asumen que cada elemento A_{ij} de la matriz de diseño es una constante y que el diseño representa un sistema lineal. En muchos diseños reales A_{ij} no son constantes; ellos a menudo describen componentes no lineales. En este caso el diseño debe ser evaluado en un valor específico de los Parámetros de Diseño DPs; esto es, un diseño que es desacoplado en un cierto rango de operación puede ser acoplado en otro régimen de operación si el diseño es no lineal.

Caso de la matriz de diseño no cuadrada

Cuando $m \neq n$, el diseño propuesto es un diseño acoplado o un diseño redundante. Este caso puede ser considerado mirando dos casos simples. Considere el caso de $m=3$ y $n=2$. La relación entre los Requerimientos Funcionales FRs y los Parámetros de Diseño puede ser escrita así:

$$\begin{aligned} FR_1 &= A_{11}DP_1 + A_{12}DP_2 \\ FR_2 &= A_{21}DP_1 + A_{22}DP_2 \\ FR_3 &= A_{31}DP_1 + A_{32}DP_2 \end{aligned} \quad (2.10)$$

Suponga que cada elemento de la matriz de diseño es cero excepto A_{11} y A_{22} . Entonces no se puede satisfacer FR_3 variando DP_1 o DP_2 . Por otra parte, si A_{31} o A_{32} son diferentes de cero, entonces la independencia de los Requerimientos Funcionales es comprometida, resultando un diseño acoplado. Las características especiales de la Ecuación de Diseño, llevan a la enunciación de los dos primeros teoremas, que se muestran más adelante en el Cuadro 2.1.

Una situación diferente resulta cuando $m < n$. Por ejemplo, cuando $m=2$ y $n=3$, la relación entre los Requerimientos Funcionales FRs y los Parámetros de Diseño DPs puede ser escrita como:

$$\begin{aligned} FR_1 &= A_{11}DP_1 + A_{12}DP_2 + A_{13}DP_3 \\ FR_2 &= A_{21}DP_1 + A_{22}DP_2 + A_{23}DP_3 \end{aligned} \quad (2.11)$$

En este caso, si todos los elementos de la Matriz de Diseño son iguales a cero excepto A_{11} y A_{22} , entonces resulta un diseño desacoplado, y el Parámetro de Diseño DP_3 no afecta el diseño. Sin embargo, si $A_{12} = A_{21} = A_{23} = 0$, entonces resulta un diseño redundante, puesto que FR_1 es controlable cambiando ya sea DP_1 o DP_3 mientras se mantiene la independencia funcional. Además, si A_{13} y A_{23} son elementos diferentes de cero, entonces resulta un diseño acoplado. Con el análisis anterior se enuncian los Teoremas 3 y 4 que se muestran más adelante en el Cuadro 2.1.

Cuando un diseño es redundante debido a que hay más Parámetros de Diseño DPs que Requerimientos Funcionales FRs, puede ser posible combinar algunos de los Parámetros de Diseño DPs que afectan un requerimiento funcional FR dado para formar un grupo adimensional. Por ejemplo en el caso de $A_{12} = A_{21} = A_{23} = 0$ discutido en relación con la ecuación (2.11), DP_1 y DP_3 pueden ser también combinados (por ejemplo tomando su cociente DP_1/DP_3 tal que el efecto de cambiar DP_1 tiene el mismo efecto que cambiar DP_3 . Otra posibilidad es simplemente fijar DP_3 como un valor constante, y variar solo DP_1 . En algunos casos especiales la redundancia puede ser requerida para aumentar la confiabilidad de un subsistema particular, y por lo tanto

aumentar la seguridad del sistema total. En algunos casos la redundancia puede ser utilizada para minimizar el contenido de la información y mejorar la manufacturabilidad de un diseño.

2.1.3. Las restricciones en el Diseño Axiomático

Las restricciones en el Diseño Axiomático se definen como las fronteras de una solución aceptable. Las restricciones se clasifican en restricciones de entrada, asociadas con las especificaciones del diseño, y en restricciones del sistema, impuestas por el sistema en el cual la solución de diseño debe funcionar. Las restricciones de entrada están expresadas como fronteras o límites sobre tamaño, peso, materiales y coste, mientras que las restricciones del sistema son límites interfaciales tales como forma geométrica, capacidad de las máquinas y aún las leyes de la naturaleza [Suh, 1990].

En la propuesta original del Diseño Axiomático [Suh, 1990] se reconoce la dificultad de determinar cuando un cierto requerimiento del producto debe ser clasificado como un Requerimiento Funcional o como una restricción. Por definición una restricción no debe ser independiente de otra restricción ni tampoco de los Requerimientos Funcionales. Otra característica distintiva de las restricciones es que normalmente no tienen tolerancias asociadas con ellas, mientras que los Requerimientos Funcionales típicamente tienen tolerancias.

2.1.4. La reangularidad y la semangularidad

En el Diseño Axiomático se definen las expresiones de Reangularidad y Semangularidad [Suh, 2001] que son medidas convenientes, pero no únicas, para reconocer diseños acoplados y cuasiacoplados. La reangularidad mide la relación angular entre los ejes de los DPs, mientras que la semangularidad mide la magnitud de los elementos de la diagonal de una Matriz de Diseño, $A_{n \times n}$, normalizada.

La reangularidad se expresa así:

$$R = \prod_{\substack{i=1, n-1 \\ j=1+i, n}} \left[1 - \frac{(\sum_{k=1}^n A_{ki} A_{kj})^2}{(\sum_{k=1}^n A_{ki}^2) (\sum_{k=1}^n A_{kj}^2)} \right] \quad (2.12)$$

La semangularidad se expresa así:

$$S = \prod_{j=1}^n \left[\frac{|A_{ij}|}{(\sum_{k=1}^n A_{kj}^2)^{1/2}} \right] \quad (2.13)$$

Si un sistema es desacoplado tanto la reangularidad como semangularidad es igual a 1. Cuando $R=S$ pero diferente a 1 el diseño se aproxima a un sistema cuasiacoplado.

2.1.5. El proceso de Diseño en el Diseño Axiomático

En el Diseño Axiomático [Suh, 2001], el proceso de diseño depende de las tareas específicas involucradas y el campo de aplicación. Independiente de ello, se destacan los siguientes pasos generales importantes en el proceso de diseño.

1. Entender a los clientes: escuchar sus intereses y necesidades, juntar datos relevantes e historia pasada.
2. Formular los FRs y Cs (restricciones) basadas en un juicio de las necesidades del cliente. Generalmente, es mejor considerar las entradas de cada parte interesada en relación con el producto propuesto, incluyendo mercados, ingeniería, servicio y grupos de confiabilidad. Siempre deben ser establecidos los valores objetivo de los FRs y las Cs.
3. Acordar con el equipo los requerimientos funcionales, FRs, que sean formulados. De esta forma, cada vez que la Administración formule dichos requerimientos, los grupos de marketing y servicio deben estar de acuerdo que los entienden y que son correctos. Si hay desacuerdo, los FRs no pueden ser procesados hasta que sean definidos con un acuerdo colectivo. Esto es importante hacerlo porque el producto final será diferente, dependiente del conjunto de FRs y Cs que quieran ser satisfechos.

4. Relacionar, con la participación del diseñador, los FRs en el Dominio Físico viniendo con ideas de diseño e identificando DPs. En el diseño de un FR, muchos DPs posibles deben ser considerados antes de descartar cualquiera. Algunas veces, para generar nuevas ideas para un potencial DP, es necesario considerar casos extremos, casos contradictorios, ejemplos previos de otros campos, y ejemplos análogos. Algunas veces es útil jugar con la pregunta “Qué pasa si” para generar ideas.
5. Escribir la ecuación de diseño cada vez que un DP sea escogido para analizar la relación FR y DP. En un diseño de un FR, no se requiere pensar en el Primer Axioma porque no hay posibilidad de acoplamiento. El diseñador debe ver que no se están violando las leyes de la naturaleza.
6. Comparar el diseño propuesto con las restricciones para verificar que ellas no han sido violadas.
7. Dibujar y hacer bocetos, si es posible, para capturar los DPs escogidos en forma gráfica en cada nivel de la jerarquía de diseño, adicionalmente a la escritura de las ecuaciones de diseño.
8. Documentar por qué ciertos DPs son escogidos y otros descartados. La historia del proceso permite evitar los mismos errores en el futuro.
9. Volver al Dominio Funcional si el DP escogido no es la solución final y por lo tanto debe haber mayor descomposición. Considere el siguiente nivel de FRs que son consistentes con el DP escogido y el FR padre. Cuando hay mas de un FR en este nivel, lo cual es muy probable, asegúrese que los FRs de más bajo nivel permanezcan funcionalmente independientes por la apropiada selección de los parámetros de diseño, DPs, que no violen el Axioma de Independencia.
10. Considerar los problemas de manufactura en términos de PVs, ya sea durante la etapa de diseño de producto o después.
11. Cambiar en cualquier momento durante el proceso de diseño y volver a hacer otra vez el diseño completo, incluyendo modificación de FRs, DPs y PVs cuando sea necesario.
12. Implementar incluyendo el detalle del método de manufacturabilidad, agenda, costes y recursos humanos necesarios.
13. Estimar, en alguna parte del diseño, el Rango del Diseño y el Rango del Sistema para determinar cual DP es la selección más adecuada. Algunas veces es casi imposible estimar el Rango del Sistema sin la construcción de un prototipo, pero el esfuerzo gastando estimando el Rango del Sistema puede enriquecer el pensamiento detrás del diseño. Si el Rango del Diseño no puede ser establecido, trabaje con el valor objetivo y la varianza aceptable de FR, la cual es equivalente al Rango del Diseño.

14. Volver, después de que el diseño ha sido completado, a las necesidades originales del cliente (o atributos) y evalúe el diseño desde el punto de vista del cliente.
15. Realizar el benchmarking es una buena práctica si el producto será vendido competitivamente con productos existentes en un mercado dado. Se recomienda que el benchmarking sea hecho durante las últimas etapas del proceso de diseño si el objetivo es desarrollar un producto innovador, pero antes para un diseño más estático.

2.1.6. Los corolarios

De los dos axiomas de diseño se derivan los corolarios que son consecuencias de dichos axiomas. Los corolarios son útiles en la toma de decisiones específicas del diseño y pueden ser aplicados a situaciones reales más rápidamente, que los axiomas originales. Los corolarios también podrían llamarse reglas de diseño.

- Corolario 1. (Desacoplar un diseño acoplado). Desacoplar o separar partes o aspectos de una solución si los Requerimientos Funcionales son acoplados o son interdependientes en el diseño propuesto.
- Corolario 2. (Minimizar los Requerimientos Funcionales FRs) Minimizar el número de Requerimientos Funcionales y de restricciones.
- Corolario 3. (Integrar partes físicas). Integrar características de diseño en una sola parte física si los Requerimientos Funcionales FRs pueden ser satisfechos independientemente en la solución propuesta.
- Corolario 4. (Usar estándares) Usar partes estandarizadas o intercambiables si el uso de esas partes es consistente con los Requerimientos Funcionales y las restricciones.
- Corolario 5. (Usar simetría) Usar formas y/o arreglos simétricos si ellos son consistentes con los Requerimientos Funcionales FRs y las restricciones.
- Corolario 6. (Ampliar tolerancia) Especificar la mayor tolerancia permitida en la enunciación de los Requerimientos Funcionales FRs.
- Corolario 7. (Desacoplar con mínima información) Buscar un diseño desacoplado que requiera menos información que diseños acoplados en la satisfacción de un conjunto de Requerimientos Funcionales FRs.
- Corolario 8. (Reangularidad efectiva de un escalar) La reangularidad efectiva R para una matriz acoplada escalar o elemento es unitaria.

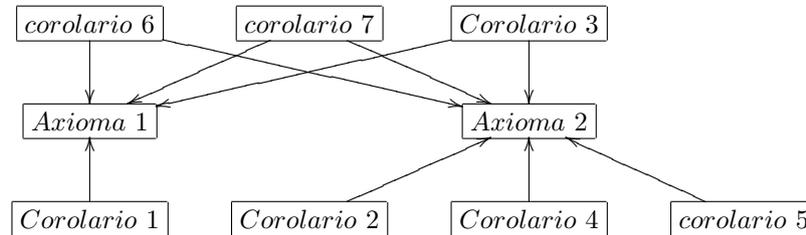


Figura 2.6: Relación entre corolarios y axiomas en el Diseño Axiomático. (Fuente: [Suh, 1990])

La figura 2.6 muestra la relación entre esos corolarios y los axiomas.

En la figura se muestra que el corolario 1 es una consecuencia directa del Axioma 1, mientras que los corolarios 3, 6 y 7 son derivados de ambos axiomas. Los corolarios 2, 4 y 5 son derivados del Axioma 2. Algunos de esos corolarios son auto-evidentes, pero otros tienen implicaciones más profundas de lo que es aparente.

2.1.7. Teoremas del Diseño Axiomático

El Diseño Axiomático, bajo la propuesta de Nam Suh, establece los teoremas que se muestran en el Cuadro 2.1

Teorema	Nombre y enunciado
Teorema 1.	<p>Acoplamiento debido a un número insuficiente de Parámetros de Diseño DPs.</p> <p>Cuando el número de Parámetros de Diseño es menor que el número de Requerimientos Funcionales, resulta un diseño acoplado o los Requerimientos Funcionales no pueden ser satisfechos.</p>
Teorema 2.	<p>Cuasi-acople o Diseño Acoplado.</p> <p>Cuando un diseño es acoplado debido al mayor número de Requerimientos Funcionales que Parámetros de Diseño (esto es $m > n$), este puede ser cuasiacoplado por la adición de nuevos DPs para hacer iguales el número de Requerimientos Funcionales FRs y Parámetros de Diseño DPs iguales. De esta forma, la nueva Matriz de Diseño que contiene $n \times n$ elementos se convierte en una matriz triangular.</p>
Teorema 3.	<p>Diseño redundante</p>

Teorema	Nombre y enunciado
	Cuando hay más Parámetros de Diseño DPs que Requerimientos Funcionales FRs, el diseño es un diseño redundante o un diseño acoplado.
Teorema 4.	Diseño ideal En un diseño ideal, el número de Parámetros de Diseño DPs es igual al número de Requerimientos Funcionales FRs.
Teorema 5.	Necesidad para un nuevo diseño Cuando un conjunto dado de Requerimientos Funcionales es cambiado, la solución del diseño, dada por los Parámetros de Diseño DPs originales, no puede satisfacer el nuevo conjunto de Requerimientos Funcionales FRs. El cambio de FRs se puede presentar por la adición de otros FRs , ya sea por la adición de un nuevo requerimiento funcional FR, la sustitución de uno de los Requerimientos Funcionales FRs por uno nuevo, o por la selección de un conjunto completo diferente de Requerimientos Funcionales FRs. Por lo tanto, una nueva solución de diseño debe ser pensada.
Teorema 6	Independencia de paso de diseño desacoplado El contenido de información de un diseño desacoplado es independiente de la secuencia por la cual los Parámetros de Diseño DPs son cambiados para satisfacer el conjunto dado de Requerimientos Funcionales FRs.
Teorema 7	Dependencia de paso de diseños acoplados y cuasi-acoplados Los contenidos de información de diseños acoplados y cuasi-acoplados dependen de la secuencia por la cual los Parámetros de Diseño DPs son cambiados y sobre los pasos específicos de cambio de esos Parámetros de Diseño DPs.
Teorema 8	Independencia y rango de diseño Un diseño es desacoplado cuando el rango especificado por el diseñador es mayor que la expresión que se muestra en la siguiente ecuación :
	$\left(\sum_{i \neq j=1}^n \frac{\partial FR_i}{\partial DP_j} \Delta DP_j \right) \quad (2.14)$
	en tal caso, los elementos fuera de la diagonal de la matriz de diseño pueden ser despreciados de la consideración del diseño.
Teorema 9.	Diseño para manufacturabilidad

Teorema	Nombre y enunciado
	<p>Para que un producto sea manufacturado con confiabilidad y robustez, la matriz de diseño para el producto, [A] (la cual relaciona el vector FR para el producto al vector DP del producto), por la matriz de diseño para el proceso de manufactura, [B] (la cual relaciona el vector DP al vector PV del proceso de manufactura), deben llevar a una matriz diagonal o triangular. Por lo tanto, cuando [A] o [B] representen un diseño acoplado, la independencia de los FRs y el diseño robusto no puede ser garantizado.</p>
Teorema 10.	<p>Modularidad de la medida de independencia Suponga que una matriz de diseño [DM] puede ser particionada en submatrices cuadradas que son diferentes de cero solamente a lo largo de la diagonal principal. Entonces la reangularidad y la semangularidad para [DM] son iguales al producto de sus correspondientes medidas para cada una de las submatrices diferentes de cero.</p>
Teorema 11.	<p>Invarianza La reangularidad y la semangularidad para una matriz de diseño [DM] son invariantes bajo ordenamientos alternativos de las variables FR y DP, tanto como el ordenamiento preserve la asociación de cada FR con su correspondiente DP.</p>
Teorema 12.	<p>Suma de información La suma información para un conjunto de eventos es también información, si las probabilidades condicionales apropiadas son usadas cuando los eventos no son estadísticamente independientes.</p>
Teorema 13.	<p>Contenido de información del sistema total Si cada DP es probabilísticamente independiente de otros DPs, el contenido de información del sistema total es la suma de la información de todos los eventos individuales asociados con el conjunto de FRs que deben ser satisfechos.</p>
Teorema 14.	<p>Contenido de información de diseños acoplados versus diseños desacoplados Cuando el estado de los FRs es cambiado de un estado a otro en el Dominio Funcional, la información requerida para el cambio es mayor para un diseño acoplado que para un diseño desacoplado.</p>
Teorema 15.	<p>Interface Diseño-Manufactura</p>

Teorema	Nombre y enunciado
	<p>Cuando el sistema de manufactura compromete la independencia de los FRs del producto, el diseño del producto debe ser modificado o un nuevo proceso de manufactura debe ser diseñado y/o usado para mantener la independencia de los FRs de los productos.</p>
Teorema 16.	<p>Igualdad del Contenido de Información Todos los contenidos de información que son relevantes a la tarea de diseño son igualmente importantes independientemente de su origen físico, y no deben ser aplicados factores de pesos asociados con ellos.</p>
Teorema 17.	<p>Diseño en ausencia de información completa El diseño puede continuar en ausencia de información completa solo en el caso de un diseño cuasiacoplado si la información perdida está relacionada con los elementos que no pertenecen a la diagonal.</p>
Teorema 18.	<p>Existencia de un diseño desacoplado o cuasiacoplado Siempre existe un diseño desacoplado o cuasiacoplado que tiene menor información que un diseño acoplado.</p>
Teorema 19.	<p>Robustez del diseño Un diseño desacoplado y un diseño cuasiacoplado son más robustos que un diseño acoplado en el sentido que es más fácil reducir el contenido de información de los diseños que satisfagan el Axioma de Independencia.</p>
Teorema 20	<p>Rango de diseño y acoplamiento Si los rangos de diseño de diseños desacoplados o cuasiacoplados son estrechos, ellos pueden llegar a ser diseños acoplados. Inversamente, si los rangos de diseño de algunos diseños acoplados son relajados, los diseños puede llegar a ser desacoplados o cuasiacoplados.</p>
Teorema 21.	<p>Diseño Robusto cuando el sistema tiene una función densidad de probabilidad pdf no uniforme Si la función de distribución de probabilidad (pdf) del requerimiento funcional en el rango de diseño no es uniforme, la probabilidad de éxito es igual a uno cuando el Rango del Sistema está dentro del rango de diseño.</p>
Teorema 22.	<p>Robustez comparativa de un diseño cuasiacoplado</p>

Teorema	Nombre y enunciado
	<p>Dado el máximo rango de diseño para un conjunto dado de FRs, los diseños cuasiacoplados no pueden ser tan robustos como los diseños desacoplados. Las tolerancias permitidas para los DPs de un diseño cuasiacoplado son menores que las de un diseño desacoplado.</p>
Teorema 23.	<p>Disminución de la robustez de un diseño cuasiacoplado La tolerancia permitida y por lo tanto la robustez de un diseño cuasiacoplado con un matriz triangular completa disminuye con un aumento en el número de Requerimientos Funcionales.</p>
Teorema 24.	<p>Planificación óptima Antes que una planeación para un robot o empresa pueda ser optimizada, el diseño de las tareas debe ser hecho para que satisfaga el Axioma de Independencia adicionando desacopladores para eliminar acoplamiento. Los desacopladores pueden estar en la forma de una cola o de un hardware separado o un buffer.</p>
Teorema 25.	<p>“Empujar” sistemas versus “Halar” sistemas Cuando partes idénticas son procesadas a través de un sistema, un sistema que “empuja” puede ser diseñado con el uso de desacopladores para maximizar la productividad, mientras que cuando partes irregulares requiriendo operaciones diferentes son procesadas, un sistema de “halar” es el sistema más efectivo.</p>
Teorema 26.	<p>Conversión de un sistema con complejidad combinatoria dependiente del tiempo infinita a un sistema con complejidad periódica La incertidumbre asociada con un diseño (o un sistema) puede ser reducida significativamente cambiando el diseño de una complejidad combinatoria serial a una complejidad periódica.</p>

Cuadro 2.1: Teoremas del Diseño Axiomático. (Fuente: [Suh, 1990])

2.2. Análisis del Diseño Axiomático desde las Teorías Clásicas del Diseño y el Modelo Multidimensional de Gómez-Senent

En esta tesis se han comparado un conjunto de teorías clásicas de Diseño de Producto, tomando como referencia concepto de proyecto y el modelo integrador propuesto por Gómez-Senent. El Proyecto, tal como lo es el Diseño de Producto, es una entidad de característica multidimensional que ha sido abordada de esa manera por muchos autores desde mediados del siglo XX [Pugh, 1990, Asimow, 1968, Jones, 1992, Pahl and Beitz, 1996, Cross, 1998]. El proyecto se está volviendo el eje central de las actividades en todos los órdenes de trabajo de la sociedad y algunos autores afirman que actualmente existe una sociedad con estructura proyectual, que significa que el proyecto mismo genera a la empresa en lugar que las empresas generen proyectos [Packendorff, 1995]. Gómez-Senent [Gómez-Senent, 1998] propone un modelo del proyecto con base en seis dimensiones (Proceso, Factores, Metaproyecto, Técnicas, Herramientas y Fases) que ayudan a su análisis y ejecución. El modelo sugiere un trabajo conjunto pero independiente de las dimensiones que lo componen. Esta característica de abordar el proyecto permite tener una estructuración independiente respetando la unidad total del proyecto y ha servido de base para analizar bajo una referencia común la teorías clásicas de diseño de producto donde se ha incluido el Diseño Axiomático. Se realiza a continuación un análisis de un conjunto de teorías clásicas de diseño con base en el modelo multidimensional de Gómez-Senent. Este análisis brinda un aporte al análisis global de estas teoría dada la complejidad del proyecto, otros autores [Howard et al., 2008] han realizado comparaciones de las teorías de diseño pero sólo considerando la dimensión fases (o proceso del diseño).

2.2.1. Las seis dimensiones del Proyecto de Gómez-Senent

La teoría de Gómez-Senent [Gómez-Senent, 1998] se basa en la concepción del proyecto como un conjunto de actividades intelectuales relacionadas entre sí denominadas dimensiones. El modelo propuesto exige dos condiciones, la primera que cada dimensión esté presente en cualquier tipo de proyecto y la segunda que la presencia debe ser continua a lo largo del mismo. Las dimensiones propuestas son:

1. La dimensión Factores, asociada con el entorno en que el cual se desarrolla todo proyecto.
2. La dimensión Proceso relacionada con la actividad del pensamiento en la resolución de problemas.

3. La dimensión Fases referida a la morfología del proyecto.
4. La dimensión Metaproyecto asociada con la organización y la comunicación del proyecto.
5. La dimensión Técnicas relacionada con las metodologías tomadas de la ciencias y las disciplinas que ayudan a resolver problemas específicos
6. La dimensión Instrumentos referida a los elementos físicos que permiten soportar las técnicas.

A su vez, Gómez-Senent agrupa las dimensiones como de tipo intrínseco, propias del diseño, y de tipo extrínseco propias del entorno del diseño. En el primer grupo, intrínsecas, se encuentran el Proceso y las Fases y en el segundo grupo, extrínsecas, los factores, el metaproyecto, las técnicas y los instrumentos. La figura 2.7 muestra un aspecto global del modelo. Cada porción de la esfera corresponde a una dimensión y, en el desarrollo del proyecto, cada una de ellas debe considerarse permanentemente. Un diseñador o un equipo de diseño entra a uno de los niveles de la esfera de acuerdo a su grado de conocimiento. El diseñador estará en una etapa divergente en el proceso de resolución si está bajo el eje ecuatorial o en una etapa convergente si se encuentre arriba del eje ecuatorial.

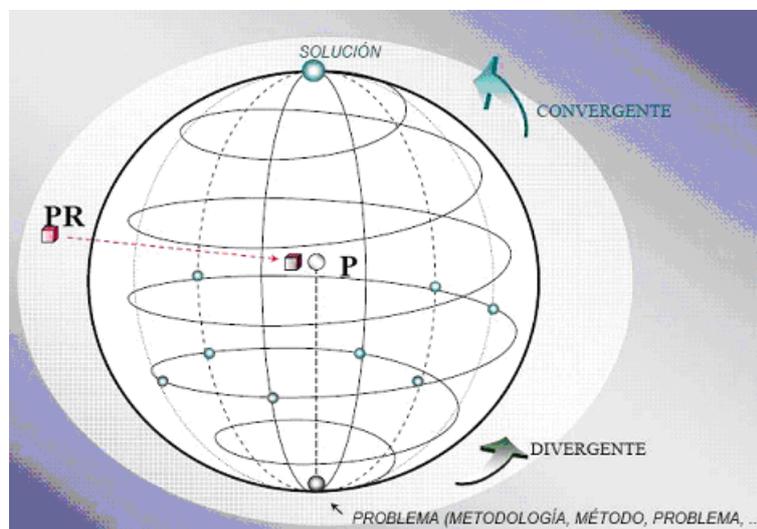


Figura 2.7: Representación del modelo multidimensional de Gómez-Senent. (Fuente: [Gómez-Senent, 1998])

La Dimensión Proceso del modelo multidimensional de Gómez-Senent

El Proceso se considera como el conjunto de actividades intelectuales que lleva a cabo un ser humano en la búsqueda de la solución del problema (problem solving).

En la propuesta se parte de la existencia de la dimensionalidad: problema \rightarrow subproblema, y la decantación de los subproblemas lleva a lo que se conoce como un problema simple. En el problema simple para su resolución se encuentran seis actividades que tienen relación con las seis dimensiones del proyecto que se conocen como: relacionar (Proceso), ordenar (fases), considerar (factores), coordinar (meta-proyecto), seleccionar (técnicas) y aplicar (instrumentos). En la dimensión Proceso dentro de esta microestructura aparece la importancia de la mente para dirigir el pensamiento, evaluar las ideas y decidir continuar o abandonar una estrategia. Pero también la mente se ocupa de las labores de Ordenar para componer la información, de Considerar con el propósito de analizar y hacer divergir el pensamiento, de Coordinar en cuanto a la comunicación propia y con los otros, de seleccionar en cuanto a la búsqueda en la propia memoria o en la extendida de información relevante a las técnicas que ayudan a resolver el problema y en la aplicación para utilizar adecuadamente las técnicas. El proceso no es estático sino de característica dinámica y evolutiva sin un orden preestablecido pero que requiere de tomar todos los elementos como referencia a partir de las exigencias que propone la teoría de las dimensiones.

La Dimensión Fases del modelo multidimensional de Gómez-Senent

Las dimensión Fases se consideran como el conjunto de actividades intelectuales dirigidas a dividir, ordenar y reagrupar el proyecto para hacer posible y más simple su resolución.

Se asume que el proyecto es complejo, lo cual requiere de la organización para resolverlo que es lo que representa la dimensión Fases. En todo proyecto se busca minimizar costes, reducir tiempo de realización y disminuir fallos. La solución de un problema se plasma en un objeto de característica material o inmaterial. Todos los objetos presentan una estructura sistémica lo que permite descomponerlos en subsistemas con sus respectivas relaciones. Esta fragmentación, respetando los enlaces entre los subsistemas, facilita abordar la solución del proyecto. Ahora bien, el problema se puede dividir en fases y cada fase a su vez en subproblemas para aproximarse de la mejor manera a la solución. A su vez, se pueden agrupar los objetos en distintos niveles funcionales a través de una jerarquización, lo que favorece por la semejanza la elaboración de metodologías específicas para ciertas familias de proyectos. Dependien-

te del nivel de la jerarquía se pueden establecer metodologías genéricas que apuntan hacia lo que hay que hacer y metodologías específicas que concretan cómo hacerlo.

Las fases de un proyecto pueden clasificarse como previas, conceptuales y de detalle, que se conocen como fases creativas. Las fases previas permiten acotar el problema en magnitud y en ocasiones, en los llamados estudios preliminares del proyecto, pueden ser realizadas por personas diferentes a las encargadas de las siguientes etapas. Estas fases previas son básicamente de tipo divergente. Las fases conceptuales son de tipo convergente con el propósito de fijar soluciones únicas a las partes principales del proyecto y debe llegar a definir el objeto en sus partes fundamentales. Por último, las fases de detalle son las correspondientes a la resolución del proyecto en sus pormenores con el mayor coste en la estructura total del proyecto. Se destaca en esta etapa las características tecnológicas de la actividad con un aporte significativo de la experiencia de los participantes.

El objeto del proyecto tiene una vida con las siguientes fases: transformación (de proyecto a objeto), de producción, de comercialización, de uso y de retirada (del producto). La fase de transformación, que es propia del proyecto mismo no las otras, puede depender de varios actores que antiguamente trabajan por separado pero en la actualidad trabajan integrados en lo que se conoce como ingeniería simultánea o concurrente. El proceso de fases no es lineal y puede tener realimentaciones, algunas saludables para fortalecer el proyecto pero si son accidentales pueden reflejarse en aumento de costes del proyecto.

La Dimensión Metaproyecto del modelo multidimensional de Gómez-Senent

Esta dimensión hace referencia al conjunto de actividades intelectuales dirigidas a correlacionar todos los sistemas que intervienen o influyen en la resolución del proyecto desde el punto de vista humano. Esto involucra entonces la comunicación, la coordinación y las estrategias de planificación, programación, ejecución y control de las personas que participan en el proyecto. La ausencia de esta dimensión deja el proyecto a la deriva. Se destaca aquí la importancia del entorno representado por los sistemas humano-organizativos, los sistemas de conocimiento y los sistemas físicos. Del conjunto mencionado los sistemas humano-organizativos son los de mayor incidencia en el proyecto dado que en ellos se involucran los aspectos de comunicación y de coordinación de las personas (aspectos metaproyectuales). Se reconoce la presencia de diferentes sistemas que hacen que esta dimensión tenga su complejidad. Por ejemplo, en estos sistemas se encuentra la ingeniería asociada con la ejecución del proyecto y el sistema cliente quien plantea las necesidades. A los anteriores se unen, en ocasiones con menor incidencia, los sistemas institucionales en situaciones de regulación

proyectual como son las administraciones públicas, las agrupaciones sociales y los proveedores de quienes dependen muchos de los recursos materiales del proyecto. La comunicación juega un rol imprescindible en el proyecto desde los inicios del proyecto en la relación preliminar con el cliente para entender los deseos, entre el equipo proyectual, en la búsqueda de información, en el planteamiento de soluciones y en la presentación final del objeto del proyecto. Por su parte la coordinación es un aspecto relevante del proyecto para trabajar bajo una estructura organizada y una coordinación de actividades de la administración del proyecto.

La Dimensión Factores del modelo multidimensional de Gómez-Senent

Esta dimensión se refiere al conjunto de actividades intelectuales encaminadas a adquirir una completa panorámica o perspectiva de todos los aspectos que inciden en el proyecto. Esta panorámica es tanto global como parcial en el proyecto respecto a cada uno de los subproblemas que encierra. De esta manera, todo ese conocimiento se puede convertir, tras su ponderación, ordenación y transformación, en solución a todos y cada uno de los problemas del proyecto. La dimensión Factores, lleva asociado el concepto de análisis caracterizado por la actividad divergente que luego se complementa con la dimensión Técnicas para garantizar la convergencia. Los factores son los elementos que en diversas formas afectan al proyecto desde los sistemas externos, el entorno. En el proyecto, con relación a esta dimensión, se deben considerar todos los aspectos del proyecto, analizar las condiciones del proyecto y los subproblemas, investigar inconsistencias, tener en cuenta todos los puntos de vista posibles, agrupar y desagregar factores, comparar unos factores con otros y ponderar la importancia de cada aspecto en cada instante del proyecto. Por otra parte, los factores pueden organizarse con relación a su procedencia, su especificidad, su presencia o continuidad, su comportamiento, su medición, su importancia y su solapamiento.

Se consideran tres factores globales fundamentales que son: el tecnológico, el humano y el económico que se ubican en los vértices del denominado triángulo de oro. En este triángulo se pueden ubicar otros factores como el estético, el factor ambiental, el factor ergonómico, el factor seguridad, el factor funcionalidad, el factor peso, el factor calidad, el factor coste-beneficio, factores de mano de obra, factores de relaciones humanas, el factor usuario, el factor normativo legal y el factor ético.

La Dimensión Técnicas del modelo multidimensional de Gómez-Senent

Esta dimensión hacer referencia al conjunto de actividades intelectuales encaminadas a manipular los problemas proyectuales y encontrar su solución con la ayuda de los conocimientos existentes que sean útiles y estén disponibles para el caso en estudio. Se puede referir, también, al conjunto de conocimientos de la memoria interna (conocimientos propios de la personas) y la memoria externa (conocimientos que se toman del entorno) del equipo proyectual para resolver un proyecto. El conocimiento está estructurado y lleva asociado unas técnicas. En el proyecto, cuanto mayor sea el conocimiento de las técnicas se espera mejores resultados, si estas técnicas son adecuadamente seleccionadas y usadas.

La Dimensión Instrumentos del modelo multidimensional de Gómez-Senent

Esta dimensión está asociada con el conjunto de actividades intelectuales dirigidas a seleccionar los útiles, equipos y elementos materiales más convenientes y a emplearlos en el proyecto en todo aquello que éste precise para su resolución. Está relacionada con los sistemas físicos que es un conjunto complementario de los sistemas organizativos y científico-tecnológicos. El desarrollo de programas (técnicas con soporte informático) han transformado la manera de enfocar el proyecto. El cuerpo humano con sus propiedades para realizar operaciones de proyectar, construir y comunicar conocimientos es un instrumento especial dentro de esta categoría y sobre el que se apoyan todos los demás. Las técnicas, por su parte, se soportan en elementos físicos para aplicación en la resolución de un problema.

2.2.2. Estudio de las teorías clásicas para el diseño de productos respecto al modelo multidimensional de Gómez-Senent

La teoría de Gómez-Senent [Gómez-Senent, 1998] brinda una visión amplia, integral y organizada del proyecto a partir de la definición y análisis de sus dimensiones, las cuales siempre deben estar presentes en todo proyecto. De este modo, la teoría de Gómez-Senent ha servido de referencia para un análisis de las teorías clásicas del diseño de producto. Dos objetivos tiene este análisis, el primero consiste en la identificación de oportunidades de investigación en esta área con base en las dimensiones ausentes de las teorías clásicas y el segundo es la selección de una teoría para trabajar con ella en las dimensiones ausentes detectadas. El resultado del segundo objetivo ha sido la elección del Diseño Axiomático y en esta tesis se ha trabajado en el fortaleci-

miento de las dimensiones ausentes.

Para el análisis fueron consideradas las teorías de Asimow [Asimow, 1968], Jones [Jones, 1992], Pahl y Beitz [Pahl and Beitz, 1996], Pugh [Pugh, 1990], denominada Diseño Total, Cross [Cross, 1998], Hubka y Eder [Hubka and Eder, 1988] con la Teoría General de los Sistemas Técnicos y Suh [Suh, 1990] con el Diseño Axiomático. A continuación se presenta brevemente las características fundamentales de las teorías.

- El modelo de Asimow [Asimow, 1968] propone una teoría del proyecto resumida en una serie de principios fácticos, reales o comprobables empíricamente y de principios éticos los cuales son relaciones del proyecto con el entorno. En su propuesta se plantea la bidimensionalidad del proyecto, como una estructura horizontal o proceso del proyecto (mecanismos de resolución de cada problema) y una estructura vertical o morfología (fases), lo que hace que el proyecto no sea lineal y exista la retroalimentación constante. En el proceso del proyecto se realiza una acción continua de resolución de problemas en tres momentos: Análisis, Síntesis y Evaluación. Las fases que realiza el diseñador en el proceso de desarrollo del proyecto van desde la factibilidad del producto hasta el retiro del producto del mercado.
- El modelo de Jones [Jones, 1992] considera el diseño de productos como un procedimiento que involucran todos los procesamientos que éste debe sufrir para llegar a su materialización final. Se reconoce la complejidad del proyecto, la necesidad de la división del problema en subproblemas con miras a la optimización del tiempo y a la disminución de las acciones repetitivas. Se refiere al diseñador como un sistema autoorganizado en el cual aparecen los conceptos de caja transparente (pensamiento consciente, controlado, lógico) y de caja negra (pensamiento subconsciente, incontrolado) donde la suma de estos dos conducen a la resolución de todo tipo de problemas. De otro lado, se considera la interrelación entre la Sociedad, Usuarios, Compradores, Distribuidores, Productores, Suministradores y Equipo de diseño en trabajo en equipo que implican una correcta comunicación y coordinación.
- El modelo de Pahl y Beitz [Pahl and Beitz, 1996] está planteado de forma operativa como el desarrollo de tareas concretas, que permiten abordar la creación de nuevos productos técnicos (artefactos). En este proceso mental se hace distinción entre la ciencia del proyecto y la metodología del diseño, se afirma que en la primera se utiliza métodos científicos para analizar la estructura de los sistemas técnicos y sus relaciones con el entorno bajo el principio de la teoría sistémica, y la segunda como una vía de acción para el diseño de dichos sistemas derivada del conocimiento de la ciencia del proyecto y de la psicología cognitiva. En el proceso de resolución de problemas se involucra las cualidades, las capacidades y las limitaciones del ser humano y se enuncian tres actividades centrales

de planeación, ejecución y control sumadas a la experiencia del ingeniero del proyecto. Las fases corresponden a los momentos de Planificación, Conceptualización, Materialización y Detalle. Los conceptos de colaboración y trabajo en equipo no adquieren tanto peso como otras de las estructuras que configuran el proyecto. Las relaciones entre las personas y las disciplinas solo aparecen en un aparte del componente del proceso de resolución de problemas como un factor a tomar en cuenta.

- El modelo de Pugh [Pugh, 1990] considera el proyecto es una actividad sistémica, en la cual la interacción multidisciplinar en la concepción de productos permite coordinar y articular información de diversas disciplinas integrándolas en un modelo definido como Diseño Total. El Diseño Total implica la colaboración de múltiples integrantes en el proyecto, independiente de la disciplina, los cuales se van integrando de manera progresiva adicionando sus conocimientos, experiencias y técnicas. El modelo permite establecer correlaciones entre actores externos (como son los usuarios), y actores internos (el equipo proyectual y la organización) bajo modelos de coordinación y optimización. Una de las características del modelo son las fases, las que enuncia como competencias centrales del modelo. El modelo establece una relación de las actividades centrales o fases centrales del proceso con sistemas de asistencia computarizada que operan como extensiones de memoria a través de bases de datos y soporte en el procesamiento de información. (CAMA - Computer aids market analysis, CASP - Computer aids specification product, CACD - Computer aids conceptual design, CADD - Computer aids detail design, y CASE - Computer aids to selling).
- El modelo de Cross [Cross, 1998] es una propuesta metodológica para afrontar el problema de diseño de productos. La propuesta se caracteriza por tomar simultáneamente en el problema de diseño una aproximación al problema y a la solución. Con base en esta concepción es posible plantear y replantear los problemas y los subproblemas con sus soluciones y subsoluciones en una forma organizada. El método simétrico sugerido por Cross sugiere un equilibrio entre los métodos descriptivos, los cuales describen la secuencia de actividades que ocurren en el diseño (enfocados a la solución) y los métodos prescriptivos, los cuales sugieren un mejor o mas apropiado patrón de actividades (enfocados al problema). De esta forma se toman los descriptivos para el trabajo conjunto de problema - solución y de los prescriptivos respecto a la formalidad racional (trabajo sistemático).
- El modelo de Hubka y Eder [Hubka and Eder, 1988] es una teoría general de los Sistemas Técnicos. Afirman que el ser humano, al diseñar, trata de definir un proceso técnico o un sistema técnico, con base en un conjunto de necesidades identificadas. De tal forma que el proyecto es un proceso de transformación artificial que se concreta en el producto. En el proceso de transformación se deben

resolver los problemas de su producción física e implementación, su justificación económica y financiera, y su aceptación política, social y moral. Se considera el proyecto como la suma de las actividades del diseñador, y al diseño como un proceso de transformación de información.

- El modelo de Suh [Suh, 1990], presentado en detalle en la sección anterior, afirma que el proceso de diseño se inicia con el reconocimiento de la necesidad social desde una visión del mercado. La necesidad es formalizada a través de un conjunto de Requerimientos Funcionales FRs. La selección de los Requerimientos Funcionales, los cuales definen el problema del diseño, los identifica el diseñador. Cada vez que la necesidad es formalizada, las ideas son generadas para crear un producto (o una estructura organizacional). Este producto es entonces analizado y comparado con el conjunto de Requerimientos Funcionales originales a través de un bucle de realimentación. Cuando el producto no satisface los Requerimientos Funcionales especificados, entonces se debe traer una nueva idea o cambiar los Requerimientos Funcionales para reflejar la necesidad original más adecuadamente. Este proceso iterativo continua hasta que el diseñador produce un resultado aceptable. La salida del diseño, el producto, es medido a través del Contenido de Información (Segundo Axioma) y el proceso de diseño es controlado a través del cumplimiento de la independencia funcional (Primer Axioma).

En los Cuadros 2.2 y 2.3 se muestra en forma resumida la relación de las dimensiones intrínsecas y extrínsecas del proyecto, como lo define Gómez-Senent, y las teorías clásicas de diseño de producto. A partir del análisis comparativo se deduce que ninguno de los autores reconoce la multidimensional en una forma equitativa con las seis dimensiones. Las teorías hacen énfasis principalmente en los aspectos relacionados con la composición morfológica del proceso de diseño, en sus fases de desarrollo y en los diferentes métodos y técnicas relacionados con cada fase. Los autores reconocen el diseño como un proceso de resolución de problemas el cual involucra las capacidades intelectuales del diseñador, y enuncian someramente la influencia de entorno y la gestión del proyecto. De esta forma se detecta un campo de desarrollo interesante para la investigación en diseño, relacionado con la definición, caracterización y profundización en los aspectos relacionados con las dimensiones Factores y Metaproyecto.

Teoría	Dimensión Proceso	Dimensión Fases
Modelo de Jones (1978)	Actividades intelectuales; subdivisión del problema.	Organización por fases; Divergencia y convergencia
Modelo de Suh, 1990	Proceso de resolución de problemas; Proceso evolutivo e iterativo.	Fases de desarrollo; Fases previas, conceptuales y de detalle
Modelo Pahl y Beitz (1995)	Resolución de problemas; Conjunto de actividades intelectuales.	Fases y subfases interrelacionadas; Planificación, Conceptualización, Materialización y Detalle
Modelo de Pugh(1991)	No aplica	Organización por fases; Elementos centrales del proceso
Modelo de Hubka y Eder (1996)	Habilidades mentales; Transformación de la información; Resolución de problemas; Proceso iterativo y sistémico	Dos tipos de fases las propias del diseño y generales
Modelo de Cross (1998)	División del problema en subproblemas; Característica evolutiva	Fases y subfases; Organización del problema a la solución

Cuadro 2.2: Relación de las Dimensiones Intrínsecas del proyecto con las teorías clásicas de diseño. Fuente: Elaboración propia

Teoría	Dimensión Metaproyecto	Dimensión Factores	Dimensión Técnicas	Dimensión Instrumentos
Modelo de Jones (1978)	Reconocimiento de comunicación entre actores	Reconocimiento de influencia del entorno	Conocimiento estructurado; Extensión de memoria	No aplica
Modelo de Suh, 1990	No aplica	Influencia del entorno, mercado	Herramientas matemáticas, ciencias naturales e ingeniería.	Uso de ordenadores y herramientas informáticas
Modelo Pahl y Beitz (1995)	No aplica	Valoración parcial del entorno	Herramientas sistemáticas apropiadas	No aplica
Modelo de Pugh(1991)	Rol multidisciplinar; Circulación de información constante	El mercado principal factor	Selección adecuada de técnicas de acuerdo a fases	Herramientas informáticas de soporte a las fases.
Modelo de Hubka y Eder (1996)	Gestión del diseño; Conexiones entre áreas de conocimiento	Dependiente del desarrollo de ciencias y tecnología	Métodos y recursos dentro del diseño	No aplica
Modelo de Cross (1998)	No aplica	El mercado y aspectos asociados a soluciones	Herramientas asociadas a las fases	No aplica

Cuadro 2.3: Relación de las Dimensiones Extrínsecas del proyecto con las teorías clásicas de diseño. (Fuente:Elaboración propia)

2.3. Identificación de áreas de investigación en el Diseño Axiomático a partir del análisis multidimensional

La elección del Diseño Axiomático como la estrategia de diseño de soporte en esta tesis, obedece a que es la única teoría que presenta una forma analítica de calificar la salida de una propuesta de diseño y que mantiene una estructura uniforme en todo el proceso de diseño con el seguimiento continuo de dos axiomas. Sin embargo, estas cualidades no están exentas de críticas, básicamente para aquellos que argumentan que en el mundo de lo artificial los axiomas no son posibles porque este mundo es *arbitrario y subjetivo*, mientras que el mundo natural es *real y definitivo*, y también para aquellos que consideran la teoría como solo una estrategia de toma de decisiones [Hubka and Eder, 1988]. Para los de la primera opinión, Suh niega que el mundo natural sea real y definitivo [Suh, 1990], puesto que en la misma naturaleza las entidades como la fuerza, la energía y la entropía no son cantidades primarias que se puedan medir directamente. Sin embargo, estas variables son producto de los axiomas que describen la naturaleza. La energía se mide indirectamente ya sea a través de la primera ley de la termodinámica, el trabajo hecho, la velocidad de la masa o el incremento de la temperatura. Lo anterior da una validez a la racionalidad del diseño, sin embargo, como se ha descrito en el análisis de la teorías clásicas, el Diseño Axiomático adolece de un trabajo intencional en los aspectos asociados a las Dimensiones Metaproyecto y Factores que se han definido a través del modelo multidimensional de Gómez-Senent [Gómez-Senent, 1998].

La Dimensión Metaproyecto está ausente en la propuesta original del Diseño Axiomático [Suh, 1990], puesto que no se habla de un equipo de diseño sino de un diseñador con capacidades extraordinarias. Esas capacidades son: tener la habilidad para solo identificar los requerimientos más importantes de un producto e ignorar esos de importancia secundaria para considerarlos en una etapa posterior; ser familiar a los procesos de manufactura, las leyes de la naturaleza y los principios científicos básicos; Ser creativo, con cualidades como la de tomar riesgos y aceptar fallos; tener buena memoria; poseer un vasto almacén de conocimientos básicos en muchos campos; Poseer capacidad para usar analogías y para extrapolar e interpolar desde aplicaciones conocidas a una nueva situación y otras más. Este conjunto de capacidades es difícil de conseguir en una sola persona y si así fuera, la visión del producto se considera limitada, puesto que la experiencia de un solo diseñador puede restringir la visión del problema [Chakrabarti et al., 2004].

En el trabajo más reciente de Suh [Suh, 2005] se destacan los aspectos de negociación en el trabajo colectivo a través de su teoría de la complejidad, sin embargo

esta participación solo es en los niveles superiores de la jerarquía del diseño.

En la Dimensión Factores, la ausencia de esta dimensión en el Diseño Axiomático radica en la característica puramente funcional de la propuesta. Esta orientación funcional deja a un lado los demás requerimientos del producto, que no lo son, algunos los llaman requerimientos subjetivos [Ullah, 2004], como la seguridad, la ergonomía, la estética y todos aquellos que están asociados con la interacción usuario-producto. En el Diseño Axiomático todo aquel requerimiento que no se funcional debe ser incluido en las restricciones y no es un elemento intencional de diseño sino una frontera que debería no excederse.

En esta tesis, con base en las debilidades del Diseño Axiomático en las dimensiones Factores y Metaproyecto, se han identificado los siguientes problemas de la propuesta original de diseño:

- No se puede garantizar que el mejor diseño propuesto por un diseñador experto alcance las expectativas del usuario, pese a que tenga diseño tenga el mínimo Contenido de Información. La razón de esta afirmación se basa en que la visión del diseñador es sesgada. Unos autores afirman que cuanto mayor experticia tenga un diseñador mayor es el número de simplificaciones al problema real [Chakrabarti et al., 2004].
- El Contenido de Información no es un índice comparable entre diferentes propuestas de diseño generadas por varios equipos de diseño. El Contenido de Información de un problema de diseño responde a la jerarquía particular de un producto dado que puede ser diferente a la establecida por otro equipo de diseño bajo una misma necesidad.
- El producto que tenga el menor Contenido de Información no tiene asegurado una aceptación del mercado, puesto que los aspectos asociados a un producto no son solo funcionales y la intención de compra de un producto va más allá de lo funcional.
- Si el problema de diseño se deja a un solo diseñador inexperto, la mejor propuesta, aquella que contenga el mínimo Contenido de Información, puede ser un mal diseño por las limitaciones del análisis [Chun-Heng, 2001].
- No se puede decidir cual es la mejor propuesta de diseño de varias alternativas con igual Contenido de Información [Oh, 2006].

2.4. El Diseño Axiomático y sus implicaciones con los Factores del Entorno y el Metaproyecto

Nam P. Suh afirma que el Diseño Axiomático tiene aplicación en productos, sistemas, organizaciones y software [Suh, 1990, Suh, 2001]. En esta tesis, se ha realizado un análisis de la literatura más reciente en torno al Diseño Axiomático, que evidencia diversas aportaciones en el ámbito de las dimensiones detectadas como debilidades. A continuación se describen algunas que son más relevantes y, en el siguiente capítulo, se describirán con mayor detalles aquellas utilizadas efectivamente en el modelo planteado de la tesis.

2.4.1. El Diseño Axiomático y la Dimensión Metaproyecto

Suh, en los trabajos recientes alrededor de la complejidad [Suh, 2005], reconoce la importancia de la negociación entre las partes involucradas dentro del proceso de diseño y habla de tener unificados los criterios frente a los Requerimientos Funcionales con personas de la administración, la mercadotecnia y el servicio, antes de continuar con el trabajo del diseño. En esta nueva apreciación del Diseño Axiomático se amplía el papel del diseñador y se acepta que un pequeño grupo diseña la arquitectura para luego trabajar con otras personas. De esta forma, la matriz de diseño puede ser utilizada como un camino de gobierno para la colaboración y negociación. Cuando los colaboradores en un proyecto de desarrollo de sistemas de ingeniería entienden el proceso del diseño axiomático, ellos conocerán lo que constituye unas buenas decisiones en diseño. Bajo esta apreciación, se introduce el tema de la complejidad que es definida como “una medida de la incertidumbre en satisfacer los Requerimientos Funcionales”. Según la propuesta de Suh, en la colaboración y la negociación se involucran seres humanos teniendo emoción y auto-interés, que según su percepción introduce otra dimensión de complicación a los procesos de colaboración y negociación, pero no establece estrategias dentro del modelo para involucrarla dentro del trabajo de diseño sino que lo considera un aspecto secundario.

Las propuestas actuales asociadas con el diseño axiomático no hacen referencia a un trabajo de modificación de la propuesta del Diseño Axiomático con equipos de diseño, en lugar de ello acuden a otras estrategias de diseño para trabajarlas en forma conjunta, específicamente se trabaja con con el Diseño Robusto y el Diseño Concurrente.

El uso del Diseño Robusto y el Diseño Concurrente, no soluciona el problema de

la ausencia de la Dimensión Metaproyecto en el Diseño Axiomático puesto que estas estrategias están más orientadas a asegurar la calidad de un producto en cuanto a su proceso de fabricación y a manipular sistemáticamente la información dentro del proyecto, pero no están contemplando la interacción de las personas que se involucran en el proceso, desde la proposición de ideas y en la formulación del diseño conceptual del producto. Por otra parte, la argumentación de la negociación, independiente de la naturaleza de las personas, como lo sugiere Suh [Suh, 1996], es un punto de vista puramente técnico del diseño del producto que se aparta de los procesos organizativos actuales donde se reconoce el comportamiento de los equipos de trabajo de alta incidencia en los resultados de su trabajo [Peeters et al., 2007].

Existen otros aportes dentro del Diseño Axiomático para superar el problema de un solo diseñador, como la presencia de expertos que ayudan a interpretar los rangos del diseño para los requerimientos de característica perceptual, que se ayudan para su representación de las lógicas para-formales [Cappetti et al., 2004b, Naddeo, 2006, Ullah, 2005]. Si bien estas presencias no se pueden considerar como trabajo con equipos multidisciplinares, si son un elemento de fortalecimiento de la rigidez del Diseño Axiomático en cuanto al manejo de los requerimientos del producto.

También, dentro de propuestas metodológicas en el diseño de producto, una propuesta denominada el Diseño de Nuevo Producto NPD [Aoussat et al., 2000] reconoce la presencia del equipo multidisciplinar y lo asocia con el Diseño Axiomático. En dicha propuesta se da importancia al pluralismo y a las interacciones internas que tienden a ampliar la visión efectiva del Dominio Funcional, a través del uso de herramientas metodológicas y procesos para habilitar la colaboración. Este tipo de colaboración se sugiere que se establezca desde las etapas tempranas del diseño, en lugar de una integración progresiva que disminuye el grado de libertad de los participantes como lo reconocen otros autores [Evrard et al., 2006]. Sin embargo, en la formulación del método NPD se ve que estos equipos obedecen a la estructura rígida empresarial que limita su interacción. Se reconoce en la propuesta la participación de equipos creativos de varias disciplinas, porque se afirma que no solo se busca generar ideas sino también interpretarlas y explorarlas. De otra parte, en el trabajo de Deciu [Deciu et al., 2005] se afirma que, el Diseño Axiomático está enfocado a los dominios, mientras que el NPD a las transiciones de dichos dominios. En el NPD se reconoce la fortaleza del análisis y la flexibilidad del Diseño Axiomático y destacan de su propuesta lo procedimental.

2.4.2. Diseño Axiomático y Factores del entorno

En el Diseño Axiomático la consideración del entorno está referida al trabajo realizado por unidades funcionales dentro de una organización como son la administración, la mercadotecnia (marketing) y el servicio. La evaluación del entorno delegado a unidades dentro de las empresas segmenta el desarrollo del producto, donde algunas unidades actúan como elementos que suministran información pero no tienen incidencia en los aspectos posteriores del diseño. Se considera perjudicial el divorcio entre las unidades de mercadotecnia (marketing) y de diseño, debido a que los lenguajes que se utilizan son diferentes y por lo tanto las soluciones que se conciben pueden ser inaceptadas por los usuarios. Por lo tanto, la evaluación del contexto y la respuesta efectiva a las necesidades que éste plantea es de vital importancia para las organizaciones y en particular para el Diseño Axiomático debe ser un punto de interés relevante, tanto en la comunicación del dominio de usuario y funcional, como el del Dominio Funcional y físico.

Una forma de acercamiento al contexto en la interpretación de las necesidades de los usuarios es el uso de las lógicas para-formales, a través de la lógica difusa. La lógica difusa se utiliza para manejar los rangos de diseño de los requerimientos funcionales cuando la descripción de este aspecto es de tipo cualitativo perceptual [Ullah, 2004]. Se utilizan para tal propósito las funciones de pertenencia y la participación de expertos dentro del proceso de configuración de dichas funciones. Algunos autores trabajan con la ecuación de diseño incluyendo la lógica difusa con el ánimo de encontrar un diseño desacoplado [Naddeo, 2006]. A través de un análisis detallado en esta tesis, se considera que la aproximación es adecuada, sin embargo, se encuentra una falta de ortodoxia en el planteamiento de la Ecuación de Diseño la cual se transforma a lo largo del proceso para ajustar su validez.

Otros autores, acuden al Diseño por Restricciones para la selección de los Parámetros de Diseño. Las restricciones sirven para limitar el campo de posibilidades de propuestas de diseño y por lo tanto se asocian a las limitaciones de los Parámetros de Diseño [Lin and Chen, 2002]. En esta tesis se considera que esta aproximación puede limitar la variedad en las propuestas porque el proceso de creación se inicia desde la limitación en lugar de las posibilidades y la evolución. Esto puede restringir al diseñador en su proceso creativo si la elaboración de dichas restricciones no es adecuada.

Por último, en la propuesta del Diseño Robusto asociada con el Diseño Axiomático, se valora la voz del cliente. El análisis hecho en esta tesis no identifica claramente la forma de manipular los requerimientos cualitativos del producto que siempre están presentes en las necesidades del usuario [Dickinson, 2006].

2.5. Otros aportes relevantes en torno al Diseño Axiomático

La técnica de creatividad sistemática TRIZ, en el Diseño Axiomático, se utiliza para el desacople de la matriz de diseño. Unos autores utilizan la matriz de contradicciones para enfrentar el problema de acople [Kang, 2004] y otros utilizan un conjunto de estándares de inventiva [Salamatov, 1999] dependiendo de cada uno de los seis tipos de acoplamiento que ellos han identificado [Pappalardo, 2006]. El trabajo sigue siendo de tipo técnico en torno a la ingeniería. Esta situación ha sido una oportunidad para el trabajo de tesis para involucrar equipos interdisciplinarios dado que ni los problemas del diseño de producto son de tipo unidisciplinar ni las mejores soluciones se consiguen de la misma área donde ha nacido el problema [Savransky, 2000].

Se encuentran formas alternativas para trabajar los requerimientos cualitativos y perceptuales de un producto, haciéndolos parte de los Requerimientos Funcionales. Unos autores los definen como requerimientos subjetivos, afirmando que no son directos en su planteamiento para lo cual se requiere un grado de extensión tanto en su especificación como en su solución, utilizando para ello las lógicas para-formales [Cappetti et al., 2004b]. Esta aproximación, si bien permite la manipulación de requerimientos subjetivos manteniendo la estructura del Diseño Axiomático, no es rigurosa en su aplicación.

2.6. Conclusiones del Capítulo

En este Capítulo se ha presentado una revisión del Diseño Axiomático [Suh, 1990] desde un punto de vista multidimensional con base en el modelo de Gómez-Senent [Gómez-Senent, 1998]. El Diseño Axiomático, llamado método de diseño científico [Evrard et al., 2006], permite considerar y evaluar analíticamente el problema del diseño mediante dos Axiomas: de Independencia y de Información. A partir de un trabajo comparativo de algunas de las teorías clásicas del Diseño de Producto tomando como referencia el modelo multidimensional, se ha detectado una ausencia en el trabajo de las Dimensiones Metaproyecto y Factores en la mayoría de dichas teorías, incluido el Diseño Axiomático. El Diseño Axiomático se ha tomado como referente dentro de esta tesis por su cualidad de tener una estrategia de control del proceso de diseño a partir del cumplimiento del Primer Axioma de Independencia y de tener

un mecanismo analítico para cuantificar la calidad del diseño a través del Segundo Axioma de información. Los trabajos actuales en torno al Diseño Axiomático han acudido a relacionar otras estrategias de diseño como el Diseño Robusto, la Ingeniería Concurrente, las lógicas paraformales y la Teoría de las Soluciones Inventivas TRIZ, entre otras, para fortalecer el modelo, pero sigue existiendo un vacío en el trabajo dentro de las dos dimensiones: Metaproyecto y Factores. Se concluye con base en las ausencias detectadas en los citados dominios que existe la necesidad de formar equipos de proyecto multidisciplinarios centrados en el producto con diferentes actores, desde el usuario hasta la manufactura y se debe proponer estrategias alternativas para manipular información de tipo perceptual y cualitativa dentro de la propuesta del Diseño Axiomático.

Parte del contenido expuesto en este capítulo ha sido publicado en:

- Aguilar-Zambrano, J., Prada-Molina, M., Gomez-Senent, E., and González-Cruz, M. (2006). La multidimensionalidad del proyecto: análisis histórico y perspectivas. En el libro de resúmenes, X International Congress on project engineering, 2006, Valencia (Spain), páginas 764-765.
- Aguilar-Zambrano, J., Prada-Molina, M., Gomez-Senent, E., and González-Cruz, M. (2008). Analysis and identification of research opportunities in product design using the multidimensional project model. In Proceedings of the DESIGN 2008, 10th International Design Conference, Dubrovnik (Croatia), pages 89-96.

Capítulo 3

El trabajo multidisciplinar con el Diseño Axiomático

Se afirma que el Diseño es ubicuo, sin embargo su conceptualización no tiene una estructura uniforme ni tampoco existe una sola teoría “cross-disciplinar” que lo integre [Love, 2002]. Para el Diseño de Producto, existen diferentes formas de abordar el problema del diseño en función de la disciplina, una desde la concepción del Diseño de Ingeniería (Engineering Design) y otra a partir del Diseño Industrial [Love, 2002]. Junto a la Ingeniería y al Diseño, ha emergido también la psicología que se ha ocupado básicamente del análisis del problema creativo del diseño y su relación con el proceso de diseño [Gero and Kannengiesser, 2004, Howard et al., 2008]. Este aspecto, trabajado por la psicología, se puede ubicar dentro de la dimensión Proceso del modelo de Gómez-Senent.

Algunos autores afirman que aunque los diseñadores industriales y los diseñadores de ingeniería (engineering designers) deben responder conjuntamente a la estructura del diseño de un producto técnico, ellos tienen prioridades opuestas de como abordar el problema, los diseñadores de ingeniería desarrollan un producto de dentro hacia afuera (desde la función hacia la apariencia), mientras que los diseñadores industriales lo hacen en sentido opuesto [Hosnedl and Dvorak, 2008]. De esta forma, el Diseño de Ingeniería (engineering design) aborda el diseño de producto básicamente a partir del aspecto técnico funcional, donde se destaca el funcionamiento interno, la fabricación, el análisis de ciclo de vida y los fallos del producto, mientras que desde el Diseño Industrial existe principalmente una preocupación por las propiedades de los artefactos, haciendo énfasis en los elementos artísticos, la apariencia externa, la ergonomía, el marketing, el gusto y la satisfacción del cliente [Hosnedl and Dvorak, 2008]. Se espera

que el trabajo cooperativo y en particular el trabajo interdisciplinario genere mejores resultados en el diseño de productos puesto que se ampliaría la mirada del producto y se podrían concebir soluciones que sean tanto funcionalmente buenas como socialmente bien aceptadas y adquiridas por el usuario.

Desde la Ingeniería existen propuestas de trabajo cooperativo como la Ingeniería Concurrente [Xu et al., 2007, Haoa et al., 2006] y el Diseño Optimo multidisciplinar [Tovar et al., 2007]. Estas estrategias son aproximaciones empresariales al trabajo colectivo de un conjunto de entidades o dependencias de las empresas, básicamente de la ingeniería y la producción, para agilizar los procesos, evitar actividades redundantes, sincronizar la comunicación y coordinar a los agentes del sistema productivo, entre otros, pero no da cuenta de las características de las dinámicas de interacción de los equipos participantes, ni si existe en realidad un proceso de toma de decisiones cooperativa. Su trabajo está centrado en coordinar actividades de las diferentes entidades en torno de un proyecto que tienen objetivos ya establecidos. En este mismo sentido, a partir de la división del diseño y la manufactura, se busca la optimización de un proceso que se supone estandarizado.

En esta tesis se considera que la agilidad de los procesos y su sincronía no puede interpretarse estrictamente como un trabajo colaborativo sino como una mejor organización del proceso productivo que procura su eficiencia y la optimización de recursos, en actividades que se asumen bien definidas. En el diseño, el problema de la colaboración requiere de la interacción de las personas, mediada o no mediada por recursos informáticos, donde se establezcan puntos de vista y criterios para elegir alternativas y tomar decisiones en forma colectiva [Peeters et al., 2007]. Este trabajo no debe verse como una estrategia competitiva entre los participantes, que si fuera así podría abordarse desde la teoría de juegos [Badhrinath and Rao, 1996], ni tampoco como un simple agregado de disciplinas sin una estrategia definida de trabajo. Así mismo, desde el punto de vista de la innovación, el trabajo cooperativo es visto como deseable por todas la organizaciones para aprender, usar y compartir las lógicas de otros saberes [Rafols and Meyer, 2006a]. Por lo tanto, se busca potenciar la relación Universidad-Estado-Empresa, y en este sentido, algunos estudios reconocen que las jóvenes empresas de base tecnológica poseen estructuras organizativas flexibles, son mas propensas a integrar más rápidamente los nuevos conocimientos de investigación teórica y tienen relaciones fluidas con la Universidad, porque generalmente de allí han emergido [Roijsackers and Hagedoom, 2006]. Sin embargo, varios estudios coinciden que se requiere de mayor número de experiencias prácticas documentadas que den cuenta de las dinámicas de los grupos participantes y de las relaciones Universidad-Empresa-Usuario [Peeters et al., 2007, Rafols and Meyer, 2006a]. La fase experimental de esta tesis es un aporte en ese sentido.

3.1. Estado del arte del Diseño Axiomático y el trabajo cooperativo multidisciplinar

En la propuesta original del Diseño Axiomático [Suh, 1990], Suh se refiere al diseñador como una sola persona con unas cualidades excepcionales que es poco probable encontrar en la cotidianidad. Sin embargo, el mismo Suh en un trabajo posterior [Suh, 1996] reconoce la importancia del proceso de colaboración y negociación dentro de un equipo de proyecto aunque sigue considerando la estrategia de tipo procedimental donde las características personales de los integrantes pasan a un segundo plano.

Para Suh [Suh, 1996], el propósito de la colaboración es enriquecer la calidad del diseño y el proceso de desarrollo, que es particularmente importante en aquellos proyectos que involucran muchos ingenieros y administradores. Se advierte que esa colaboración ha estado regida sin una estructura racional lo cual no permite asegurar una salida deseada y robusta. Adicionalmente, se ha acudido en la empresa a las prácticas DBTF (siglas del inglés para diseño, construcción, prueba e identificación de errores) que es costosa y no confiable. Las personas que trabajan en un proyecto deben tener claro un objetivo común. La propuesta de Suh se caracteriza por ser muy técnica puesto que las razones que expone sobre la importancia de la colaboración son mejorar la productividad de la empresa de ingeniería y la calidad de los productos.

En ese marco de referencia, se sugiere que un pequeño grupo diseñe la arquitectura del sistema en el más alto nivel, esto es un cambio frente al diseñador que trabaja en solitario. Esta estructura dentro del árbol jerárquico del Diseño Axiomático son los niveles superiores de la jerarquía. Para una adecuada colaboración y negociación se debe buscar un sistema desacoplado o cuasiacoplado, de tal forma que cuando se presentan dependencias estas favorecen el proceso de comunicación y negociación.

Se exponen tres razones técnicas para colaborar y negociar: la primera es la complejidad del desarrollo del proyecto, la segunda los aspectos financieros y de recursos del proyecto y la última la necesidad de reducir los riesgos de fallo debido a la escasez de suficientes entradas para la toma de decisiones. Estas características, según Suh, se pueden trabajar en un trabajo en equipo conociendo la estructura del Diseño Axiomático.

Suh realiza una asociación de la complejidad con el Contenido de Información [Sahlin, 2000]. Se asume que un producto o un proceso es más complejo en cuanto el Contenido de Información sea mayor. La complejidad se ha definido como una medida de la incertidumbre para satisfacer los requerimientos funcionales. De esta forma, la

complejidad se convierte en una medida de lo que puede ser alcanzado de un Requerimiento Funcional dentro de un Rango de Diseño, a partir de los DPs escogidos, que establecen el Rango del Sistema de los Requerimientos Funcionales. Con base en la definición de complejidad, el proceso de colaboración y negociación busca eliminar dicha complejidad o al menos reducirla. La complejidad puede ser dependiente del tiempo o independiente del tiempo. A su vez, se identifican cuatro tipos de complejidades: la complejidad real y la complejidad imaginaria que son independientes del tiempo y la complejidad combinacional y la complejidad periódica que son dependientes del tiempo.

La complejidad real es la misma medida del Contenido de Información. La complejidad imaginaria se presenta cuando se ignora que se está frente a un sistema cuasiacoplado, por el desconocimiento de la relación entre FRs y DPs. La selección aleatoria de los DPs puede dar la sensación de tener un sistema complejo pero que en realidad no lo es. Sin embargo, puede tener un Contenido de Información mínimo si los Parámetros de Diseño son adecuadamente seleccionados. Entonces, la complejidad imaginaria es la presencia de incertidumbre por la escasez de entendimiento del sistema diseñado.

Las otras dos complejidades son dependientes del tiempo y significan que el Rango del Sistema cambia en función del tiempo y se presentan básicamente en el análisis de procesos.

Para Suh, las características humanas en los trabajos en grupo, tales como la seguridad laboral, la carga de trabajo, los problemas, el ego individual y otros, son asuntos secundarios que pueden volverse factores dominantes en la colaboración y deben ser adecuadamente manejados. Sin embargo, en el Diseño Axiomático no son considerados explícitamente. Esta situación debe ser trabajada, puesto que dichos aspectos son motivo de análisis de las tendencias actuales investigativas en el trabajo grupal [Peeters et al., 2007, Wilde, 2004].

Se sugiere un conjunto de reglas para la colaboración y la negociación:

1. Todos los participantes deben estar de acuerdo sobre las necesidades del cliente y los atributos del producto que éste busca, antes de continuar con el proceso de diseño.
2. Todos los participantes deben estar de acuerdo con los Requerimientos Funcionales de alto nivel.

3. Cuando se establezcan los Requerimientos Funcionales, se debe evaluar que ellos sean diferentes.
4. La independencia de los Requerimientos Funcionales no es negociable.
5. La Matriz de Diseño debe ser chequeada para garantizar la independencia de los Requerimientos Funcionales.
6. Si es posible, chequee el Rango del Sistema de los FRs escogidos contra el Rango del Diseño para escoger los mejores Parámetros de Diseño.
7. En la selección de los PVs, para crear los DPs, elija los PVs que mantengan la independencia de los DPs.
8. La Variable de Proceso escogida debe ser chequeada para evaluar si está dentro de la tolerancia que se exige para el DP. En el diseño de producto los PVs son los procesos de manufactura.
9. La complejidad debe ser minimizada o reducida.
10. El esfuerzo colaborativo debe ser evaluado para determinar si este tiene características de complejidad combinatorial, lo cual está indicado por el continuo deterioro de la salida con el tiempo.
11. Una periodicidad funcional debe ser introducida en la colaboración y negociación forzando a que todos los participantes revisen los FRs establecidos en todos los niveles. Se reinicialice el proyecto para el siguiente periodo como un medio de prevenir que la colaboración llegue a ser un proceso de complejidad combinatorial.
12. La Matriz de Diseño debe ser chequeada periódicamente para asegurar que el proyecto colaborativo no esté trabajando sobre un problema de complejidad imaginaria.
13. El impacto de los cambios debe ser juzgado y todos los FRs afectados y DPs deben ser modificados.
14. Las decisiones en el más alto nivel deben ser bien hechas por todos los participantes. Si en los niveles inferiores se encuentra un fallo de los niveles superiores, entonces las decisiones de los niveles superiores deben ser revisadas y corregidas.
15. Las decisiones negociadas deben ser autoconsistentes a través de la jerarquía.
16. Las restricciones deben ser evaluadas continuamente y no deberían ser violadas.

3.2. Estrategias para el diseño de producto que favorecen el trabajo cooperativo y la asociación con el Diseño Axiomático

Algunas de las estrategias que se proponen para el trabajo cooperativo y que ha sido relacionadas con el Diseño Axiomático son:

- Diseño Robusto [Hu et al., 2000]
- Diseño Six Sigma [Arcidiacono et al., 2006, Oh, 2006, Dickinson, 2006]
- Lógica difusa con participación de expertos [Naddeo, 2006, Cappetti et al., 2004a]
- Matriz de Pugh, TRIZ y QFD [Dickinson, 2006, Hu et al., 2000, Goel and Singh, 1998, Kang, 2004, Shin and Park, 2006]
- Teoría del desarrollo de nuevo producto propuesta por Aoussat [Aoussat et al., 2000]
- Diseño Concurrente [Suh, 1990, Sahlin, 2000].

Dichas estrategias están dirigidas al entorno empresarial, generalmente estructurado por funciones, y no consideran un trabajo colectivo con otras entidades como las Universidades. De otra parte, cuando se presentan varias disciplinas, ellas se integran en diferentes momentos dentro de modelos concebidos por fases siendo imposible realizar cambios cuando se detectan en las etapas finales del proyecto. Por su parte, la presencia del usuario permanece en los extremos del proceso de diseño, como elemento de consulta inicial y de evaluación final pero no aparece en otros momentos como un elemento de realimentación del proceso.

El Cuadro 3.1 muestra una descripción de la literatura que se ha asociado con el Diseño Axiomático y que tiene una relación con el trabajo cooperativo.

Teoría, método o técnica	Características	Autores
Six Sigma	Se sugiere una expresión alternativa al Contenido de Información debido a su dificultad de cálculo y a la imposibilidad de decidir con funciones de probabilidad contenidas en el rango de diseño. Complemento al diseño axiomático en la relación entre el dominio físico y de proceso. Fortalecimiento de la primera fase del proceso six sigma correspondiente a la Identificación, Definición y Desarrollo, junto con el método Taguchi para Optimizar y Verificar	[Oh, 2006] [Dickinson, 2006]

CAPÍTULO 3. EL TRABAJO MULTIDISCIPLINAR CON EL DISEÑO ...

Teoría, método o técnica	Características	Autores
Ingeniería Concurrente	Se sugiere un modelo paralelo al diseño axiomático referido como un sistema de innovación que consta de dos procesos, el Desarrollo y la Realización. El Desarrollo se compone de las etapas de preparación, desarrollo y validación. La realización se compone en fuente, fabricación y entrega. De esta forma se integra el desarrollo de producto y el de proceso. La propuesta es teórica con dificultad de aplicación, sin embargo sugiere una estructura de trabajo empresarial basada en procesos y no en funciones con una comunicación basada en restricciones. Se plantea un modelo bajo una visión administrativa del proceso de diseño, el modelo es una estructura paralela a los dominios del diseño axiomático asociado con el Canal de Suministro donde existen coincidencias frente al dominio del usuario y del proceso. Se sugiere un trabajo conjunto con estos flujos paralelos para una mejor adecuación al mercado y con un ciclo de vida superior	[Fagerström et al., 2002] [Sahlin, 2000]
TRIZ	Se sugiere el uso de la matriz de contradicciones para desacoplar la matriz de diseño dentro de un problema de tipo técnico. Uso del análisis campo-sustancia y de los estándares inventivos para desacoplar sistemas.	[Kang, 2004] [Shin and Park, 2006]
El Diseño Robusto	Se establece una relación entre el contenido de información del Diseño Axiomático con la Función Pérdida de calidad del método Taguchi junto con la relación señal ruido. Se argumenta que maximizar la relación señal ruido se traduce en una minimización del contenido de información. Reconocimiento de la claridad de los dominios del diseño axiomático, el cual se lo involucra junto con TRIZ en la teoría del diseño robusto	[Kar, 2000] [Hu et al., 2000]
Lógica Fuzzy	Se propone el trabajo con los requerimientos subjetivos del producto los cuales requieren un grado de extensión tanto en su definición como en su solución a través de los parámetros de diseño. Se utilizan las funciones de pertenencia con participación de expertos. Se plantea un método alternativo para la descripción de diseños y toma de decisiones acerca de diseños a partir de una formulación axiomática del proceso.	[Capretti et al., 2004a, Naddo, 2006] [Ullah, 2004, Ullah, 2005]
Diseño de nuevo producto NPD	Se realiza una comparación entre los dominios del diseño axiomático y los de la teoría NPD. Se afirma que NPD se concentra en las transiciones más que en los dominios y se involucra al usuario en todo el proceso. Se afirma que NPD ayuda al procedimiento mas que al análisis.	[Evrard et al., 2006]

Cuadro 3.1: Teorías y técnicas de diseño que se han relacionado con el Diseño Axiomático para favorecer el trabajo cooperativo con otras disciplinas. (Fuente: Elaboración propia)

En las secciones siguientes se detallan aspectos relevantes de tres teorías que han sido seleccionadas para el soporte de la tesis: el diseño six sigma, la lógica difusa y las

herramientas de creatividad inventiva TRIZ. El diseño six sigma se ha tomado como referencia porque brinda los argumentos para el uso de formas de evaluación alternas o complementarias al Contenido de Información. La lógica difusa es la estrategia que será utilizada para manejar los requerimientos cualitativos y perceptuales del producto. Dichos requerimientos parten de su proposición lingüística, en un lenguaje natural, que generalmente no es preciso y requiere de estrategias matemáticas para su manipulación. Por último, la Teoría de Soluciones Inventivas TRIZ será integrada al diseño de productos con equipos multidisciplinares con tres propósitos fundamentales: el primero, para el análisis del problema de una manera sistémica a través de la técnica de las nueve ventanas; el segundo, para evaluar productos existentes a partir de la evolución de los sistemas técnicos y por último, como una estrategia de creatividad convergente dentro del Diseño Axiomático a través de la técnica de la matriz de contradicciones. En cada sección se hace una presentación general de la técnica o estrategia, una descripción de su relación con el diseño de producto, luego su relación con el diseño axiomático y por último, un análisis crítico.

3.3. El Diseño Six Sigma y su asociación con el Diseño Axiomático

El Diseño Six Sigma es un conjunto de herramientas dentro del proceso de diseño y manufactura que busca alcanzar una alta calidad del producto desde una visión de la ingeniería. Se sugiere el uso del Diseño Axiomático para fortalecer las etapas del proceso Six Sigma dada la racionalidad del proceso. De la misma forma, como lo afirma Suh [Suh, 2001], los trabajos de Six Sigma consideran que un diseño mal definido y mal concebido nunca puede ser mejorado a través de optimizaciones subsecuentes [Dickinson, 2006].

3.3.1. Características generales del Diseño Six Sigma en el diseño de producto

El Diseño Six Sigma es una metodología con varias herramientas analíticas para diseñar productos, servicios y procesos. El nombre de six sigma proviene de la representación con esa letra griega de la relación estadística de la desviación estándar y está relacionado con obtener un desempeño de un proceso en un 99,9999998 dentro de los límites especificados [Arcidiacono et al., 2006], lo que se significa que prácticamente no tiene errores. El objetivo de esta metodología consiste en reducir el tiempo de desarrollo y el tiempo de ciclo a través de esfuerzos combinados de muchos recursos y a través de procesos de diseño, dentro de la especificación del objetivo, en cumpli-

miento de la excelencia. En la metodología no se separa el diseño y la producción, y se requiere de la participación de expertos interdisciplinarios y clientes prospectivos, especialmente uno interno, lo que permite abordar el problema en una forma global. La metodología sigue dos clases de aproximaciones, si es un proceso DMADV (Definir, Medir, Analizar, Diseñar, Verificar) y si es un producto IDOV (Identificar, Diseñar, Optimizar, Verificar/Validar) [Arcidiacono et al., 2006] o también IDDOV (Identificar, Definir, Desarrollar, Optimizar y verificar) [Dickinson, 2006]. En la Figura 3.1 se muestra el conjunto de actividades y herramientas asociadas con la aproximación IDDOV [Dickinson, 2006]. Otros autores agrupan las actividades en definición de requerimientos, concepción de soluciones de diseño, optimización del concepto y validación del diseño [Oh, 2006]. Se reconoce que las actividades de definición y concepción del producto son las que tienen menor desarrollo y esa es otra de las razones del presente trabajo de tesis.

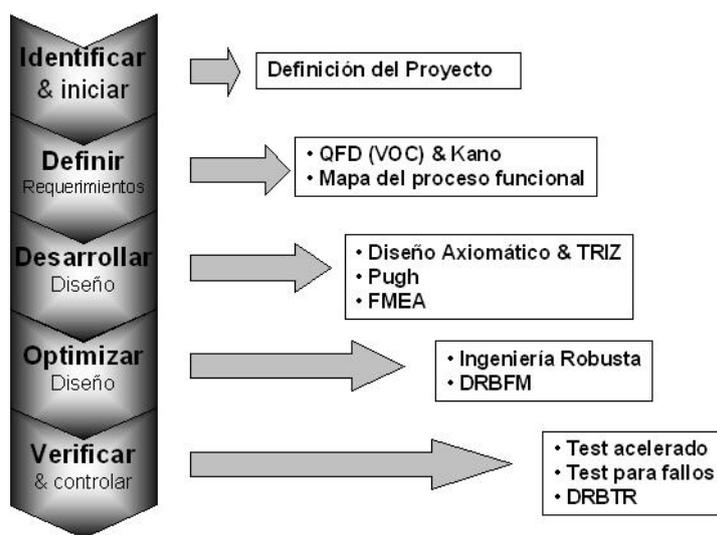


Figura 3.1: Diagrama del proceso Six Sigma. (Fuente: [Dickinson, 2006])

3.3.2. El trabajo actual del Diseño Six Sigma y el Diseño Axiomático

Se identifican dos aportes del Diseño Six Sigma con el Diseño Axiomático. El primero es la presencia de la ingeniería en el desarrollo del producto para enfrentar el problema del Contenido de Información [Oh, 2006]. El segundo es la apuesta administrativa de integrar el Diseño Axiomático junto a las herramientas Six Sigma [Dick-

inson, 2006].

Se afirma que el cálculo del Contenido de Información es tedioso y complicado de calcular [Oh, 2006], especialmente cuando un diseño consta de múltiples Requerimientos Funcionales y es de naturaleza cuasiacoplada. Adicionalmente, dos productos que tengan igual contenido de información con funciones de densidad de probabilidad diferentes tienen igual validez bajo el segundo Axioma del Diseño Axiomático, siendo intuitivamente incorrecto dado que la inmunidad a fallo de una función de densidad de probabilidad más estrecha es mejor que otra que esté justo en el rango de diseño. La figura 3.2 ilustra esta situación donde el contenido de información es cero para ambos diseños, sin embargo, el Rango del Sistema B es más adecuado que el A lo cual no se evidencia a través del cálculo del Contenido de Información.

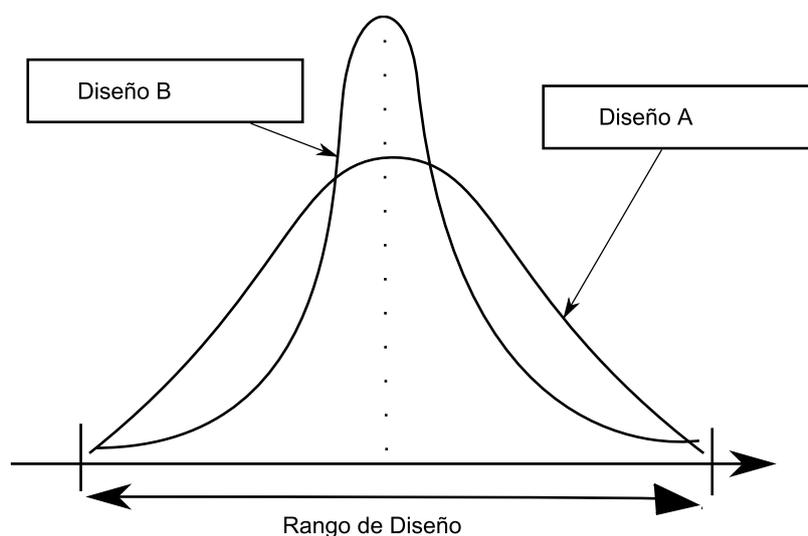


Figura 3.2: Dos situaciones de diseño con igual contenido de información. (Fuente: [Oh, 2006])

Desde el punto de vista organizacional, se sugieren cinco etapas para involucrar el Diseño Axiomático en una empresa consolidada [Dickinson, 2006]:

1. Encontrar el experto adecuado
2. Conseguir el apoyo de la administración con experiencia y dirección.
3. Ejecutar un piloto

4. Integrarse en un programa existente
5. Adquirir autosuficiencia

En la primera etapa, de encontrar al experto adecuado, se busca una persona que pueda entrenar y motivar en el Diseño Axiomático a los ingenieros de la empresa y que se puedan obtener logros internos con su uso; La segunda etapa consiste en ganar la confianza de los directores de la empresa, en particular de la administración de la ingeniería, para que la estrategia sea aceptada de lo contrario la estrategia fallará; La prueba piloto se sugiere que sea un entrenamiento en el Diseño Axiomático soportado por herramientas informáticas y con ejemplos que puedan obtener rápidos resultados para favorecer la motivación; Integrar en un programa existente es encontrar la forma para que el Diseño Axiomático se inserte en las metodologías ya establecidas por la empresa para evitar que sea considerado otra técnica más dentro de las múltiples que pueden tenerse; Para adquirir autosuficiencia, se requiere generar grupos de Diseño Axiomático en la empresa, que permanentemente capaciten al personal y se adquiera una cultura de uso de la estrategia. Se sugiere también el uso de las herramientas como TRIZ y la matriz de Pugh.

3.4. Las lógicas para-formales y el Diseño Axiomático

Las lógicas para-formales aparecen en el mundo de la lógica para considerar al tercer excluido, es decir, aquellas alternativas que no se pueden encasillar en la dicotomía absoluta cierto o falso, de la lógica booleana. La lógica difusa [Zadeh, 1999] permite de esta forma trabajar aspectos cualitativos del producto asociados con características de percepción que se expresan en forma lingüística y permite su manipulación matemática para la toma de decisiones.

3.4.1. Características de la lógica difusa en el diseño de producto

En el diseño de producto, la información que se recibe de los usuarios está expresada en términos lingüísticos los cuales no tienen una definición precisa. De esta forma, uno de los problemas en el diseño viene a ser la formulación de unos objetivos precisos, los Requerimientos Funcionales y las restricciones, los cuales son inciertos y no están en lo que podría considerarse preciso y definitivo. La lógica fuzzy, basada en la teoría de Zadeh [Zadeh, 1999], permite expresar en términos matemáticos varios

conceptos de este tipo. La lógica fuzzy, a diferencia de la lógica binaria, no requiere que una proposición asuma un valor definido de verdad, verdadero o falso, sino que permite asignar un valor de una función de pertenencia (entre 0 y 1) para su verdad. Ullah [Ullah, 2005] propone una estrategia para manipular la información cualitativa utilizando la lógica fuzzy.

En la propuesta de Ullah, que se ha tomado como referencia en esta tesis, se sugiere un modelo de información lingüística estructurada para codificar varios aspectos como el juicio humano, la preferencia y la intuición entre otros [Ullah, 2005]. El modelo se define como “Una opinión general y deseo” **GD**, donde la opinión general es un juicio descriptivo de una alternativa con base en un criterio, y el deseo es lo que se busca para un producto valorado a partir de la opinión general, denominado requerimiento. La **GD** utiliza una secuencia de proposiciones (p1, p2, p3, p4,..., pn) para codificar la opinión general en torno a una alternativa para un criterio. La opinión está basada en un conjunto de cuantificadores. Cada proposición tiene un valor de verdad, o juicio, expresado por un número en el intervalo [0,1] o por una expresión lingüística. De esta forma, cada proposición se compone de un **criterio, una alternativa, un cuantificador, un valor de verdad y unas frases sintácticas**.

Por ejemplo, en el Cuadro 3.2 se presenta la primera parte de una GD, correspondiente a la opinión general sobre una alternativa de diseño (El Diseño Z que puede estar representado en un boceto), para un criterio (la comodidad), utilizando unos cuantificadores (mala, regular, buena, excelente). Cada proposición tiene un valor de verdad expresado en este caso por una expresión lingüística (Absolutamente falso, poco falso, muy cierto, algo cierto).

Opinión general =(p1,p2,p3,p4,p5)								
Criterio	...	Alternativa	...	Cuantificador	...	Valor verdad	de	Proposición
La comodidad	del	Diseño Z	es	mala	es	Absolutamente falso		p1
La comodidad	del	Diseño Z	es	regular	es	falso		p2
La comodidad	del	Diseño Z	es	media	es	Poco falso		p3
La comodidad	del	Diseño Z	es	buena	es	Cierto		p4
La comodidad	del	Diseño Z	es	excelente	es	Muy cierto		p5

Cuadro 3.2: Descripción lingüística para una opinión general bajo una proposición fuzzy. (Fuente: Elaboración propia basado en [Ullah, 2005])

En el Cuadro 3.3 se muestra una forma alternativa de definición de la opinión general en forma cuantitativa para los valores de verdad en el rango $[0,1]$. Para esta asignación, se define una operación de ValordeVerdad como se indica en la ecuación (3.1).

$$\text{ValordeVerdad}(p_i) = TV_i \quad (3.1)$$

Criterio	...	Alternativa	...	Opinión general = (p1,p2,p3,p4,p5)			de	Proposición
				Cuantificador	...	Valor de verdad		
La comodidad	del	Diseño Z	es	mala	es	0		p1
La comodidad	del	Diseño Z	es	regular	es	0		p2
La comodidad	del	Diseño Z	es	media	es	0.1		p3
La comodidad	del	Diseño Z	es	buenas	es	0.8		p4
La comodidad	del	Diseño Z	es	excelente	es	0.2		p5

Cuadro 3.3: Descripción lingüística para una opinión general de forma numérica bajo una proposición fuzzy. (Fuente: Elaboración propia basado en [Ullah, 2005])

El sentido de estas asignaciones significa que la comodidad del diseño Z es percibida como buena, puesto que esta opinión tiene la mayor valoración (0.8). Esto significa, a su vez, que si alguien está buscando un diseño con buenas características de comodidad, entonces el Diseño Z es una alternativa adecuada. Sin embargo, si alguien está buscando un diseño con una comodidad regular, el Diseño Z no es una alternativa aceptable porque “La comodidad del diseño Z es regular” es absolutamente falsa ($\text{ValordeVerdad}(p_2) = 0$).

Con lo anterior, el vector de proposiciones \mathbf{P} se expresa con las ecuación (3.2)

$$\mathbf{P} = (p_1, \dots, p_n), \quad n \geq 2 \quad (3.2)$$

Las siguientes notaciones pueden ser usadas para representar la alternativa, el criterio, el vector de cuantificadores y el número de proposiciones en \mathbf{P} :

$$\begin{aligned}
 \textit{Alternativa}(\mathbf{P}) &= A, \\
 \textit{Criterio}(\mathbf{P}) &= C \\
 \textit{Cuantificador}(\mathbf{P}) &= (Q_1, \dots, Q_n) \\
 \textit{Tamano}(\mathbf{P}) &= n (\geq 2)
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

De tal forma que una proposición puede ser representada como se muestra en la ecuación (3.4):

$$p_i = (A, C, Q_i, SP), \quad i = 1, \dots, n \tag{3.4}$$

El deseo o requerimiento, expresado en el GD, utiliza una proposición p_d . Esta proposición se compone de los siguientes elementos: criterio, índice, cuantificador, valor de verdad y frases sintácticas. El criterio y el cuantificador del deseo se toman de las proposiciones de la parte de la opinión general como se mostró en el ejemplo de el Cuadro 3.2. De este modo, el valor de verdad de la proposición deseada se calcula a partir de los valores de verdad de las proposiciones generales de la opinión utilizando la lógica fuzzy. De esta forma, una proposición $P_d \in \{P_{d1}, P_{d2}\}$ puede ser utilizada para expresar el requerimiento o deseo. La definición de P_d se muestra en la ecuación (3.5).

$$\begin{aligned}
 P_{d1} &= (\textit{Criterio}(\mathbf{P}), \textit{Indice}, \textit{Cuantificador}(p_j), SP_d) \\
 P_{d2} &= (\textit{Criterio}(\mathbf{P}), o, \textit{Cuantificador}(p_k), \textit{Cuantificador}(p_{k+1}), SP_d)
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

En la ecuación (3.5):

Indice \in {ninguno, a lo más , al menos, algo, más o menos}

Cuantificador(p_j), Cuantificador(p_k), Cuantificador(p_{k+1}) \in Cuantificador(\mathbf{P})

$\exists j \in \{1, \dots, n\}$ y

$\exists k \in \{1, \dots, n - 1\}$.

P_{d2} tiene un índice definido, “o”, mientras que P_{d1} tiene un índice tomado del conjunto “Índice”. También, P_{d1} tiene un solo cuantificador, mientras que P_{d2} tiene dos cuantificadores. S_{pd} es un conjunto de frases sintácticas. De esta forma, utilizando la notación indicada en la ecuación (3.5), si el deseo o requerimiento es “La comodidad debe ser más o menos buena”, esta formulación se refiere a $P1_d = P1_{d1} = (\textit{Criterio}(\mathbf{P}) = \textit{La comodidad}, \textit{Cuantificador}(p_j) = \textit{buena} (\in \textit{Cuantificador}(\mathbf{P}1)))$,

Indice="mas o menos", SP_d =debería ser).

El valor de verdad de P_d depende de los valores ya asignados a las proposiciones en \mathbf{P} . Esto significa que $\text{ValordeVerdad}(P_d)$ es una función de TV_i , lo cual lleva a la expresión (3.6)

$$\begin{aligned} \text{ValordeVerdad}(P_d) &\in \{\text{ValordeVerdad}(P_{d1}), \text{ValordeVerdad}(P_{d2})\} \\ \text{donde} \\ \text{ValordeVerdad}(P_{d1}) &= \left\{ \begin{array}{ll} TV_j & \text{si Indice} = \text{" Ninguno"} \\ \max(TV_j, TV_{j+1}, \dots, TV_n) & \text{si Indice} = \text{" al menos"} \\ \max(TV_1, \dots, TV_j) & \text{si Indice} = \text{" a lo ms"} \\ \sqrt{TV_j} & \text{si Indice} = \text{" algo"} \\ & \text{o "mas o menos"} \end{array} \right\} \\ \text{ValordeVerdad}(P_{d2}) &= \max(TV_k, TV_{k+1}) \end{aligned} \quad (3.6)$$

Para el uso de la expresión, suponga que se está interesado en un requerimiento: "La comodidad del diseño Z debería ser al menos buena", que corresponde, según la notación establecida a: $P1_d = P_{d1} = (\text{Criterio}(\mathbf{P1}) = \text{"La comodidad"}, \text{Indice} = \text{"al menos"}, \text{Cuantificador}(p_4) = \text{"buena"}, SP_d = \text{"debería ser"})$. Aplicando la ecuación (3.6) el valor de verdad de $P1_d$ es $\text{ValordeVerdad}(P1_d) = \max(TV_4, TV_5)$, puesto que el cuantificador (j) es el cuarto elemento en el conjunto de los cinco cuantificadores, así pues $\text{ValordeVerdad}(P1_d) = \max(TV_4, TV_5) = \max(0,8, 0,2) = 0,8$. Si el requerimiento fuera "La comodidad del diseño Z debería ser algo buena", que en la notación sería $P1_d = P_{d1} = (\text{Criterio}(\mathbf{P1}) = \text{"La comodidad"}, \text{Indice} = \text{"algo"}, \text{Cuantificador}(p_4) = \text{"Buena"}, SP_d = \text{"debería ser"})$, el $\text{ValordeVerdad}(P_d) = \sqrt{0,8} = 0.894$.

Puesto que no es fácil asignar valores numéricos a los Valores-de-Verdad, TV_i , una forma conveniente es asignar valores-de-verdad lingüísticos, en este caso un vector adecuado de valores difusos puede ser asociado dentro del universo del discurso [0,1]. Posteriormente, esos números fuzzy pueden ser computados asignando un valor numérico de Valor-de-verdad como TV_i , reemplazando los valores de verdad lingüísticos usados. Para este propósito se usan los operadores lógicos mostrados en las ecuación (3.7) [Ullah, 2005].

$$\begin{aligned}
 & p_i \models LT_i, LT_i \rightarrow E(LT_i), p_i \models E(LT_i) \\
 & \text{donde} \\
 & \forall LT_i \in LT = (LT_1, \dots, LT_m), i = 1, \dots, m \\
 & \text{así que} \\
 & LT_l = \{(x, \mu_{LT_l}(x)) \mid x \in [0, 1], \mu_{LT_l} \in [0, 1]\}, \forall l \in \{1, \dots, m\} \quad (3.7) \\
 & E(LT_l) = \frac{\int_{[0,1]} x \cdot \mu_{LT_l}(x) dx}{\int_{[0,1]} \mu_{LT_l}(x) dx} \quad \forall l \in \{1, \dots, m\} \\
 & E(LT_q) < E(LT_{q+1}), \forall q \in \{1, \dots, m-1\}
 \end{aligned}$$

Los valores esperados que se calculan a partir de los valores de verdad lingüísticos usados, por método del centroide denotado por $E(LT_i)$, toma el lugar del TV_i . Con lo anterior, una función ValordeVerdadLingüístico(p_i)= $E(LT_i)$ se puede considerar que expresa el hecho que un valor de verdad lingüístico se convierte en un valor de verdad numérico.

Por ejemplo, considere los siguientes valores de verdad lingüísticos LT1=(Absolutamente cierto (AT), Muy cierto (MT), Casi cierto (QT), Probablemente verdadero (PT), Algo verdadero (ST), No seguro (NS), Algo Falso (SF), Probablemente falso (PF), Algo falso (QF), Muy falso (MF), Absolutamente falso (AF)). En este ejemplo $m=11$. Los elementos pueden ser representados por números Fuzzy trapezoidales (a,b,c,d) o triangulares (a,b,c) de acuerdo a las condiciones expresadas en la ecuación (3.7) en el universo del discurso [0,1].

Suponga una representación de LT1 así: AF=(0, 0, 0.05, 0.1), MF=(0, 0.1, 0.2), QF=(0.1, 0.2, 0.3), PF=(0.2, 0.3, 0.4), SF=(0.3, 0.4, 0.5), NS=(0.4, 0.5, 0.6), ST=(0.5, 0.6, 0.7), PT=(0.6, 0.7, 0.8), QT=(0.7, 0.8, 0.9), MT=(0.8, 0.9, 1.0), AT=(0.9,0.95,1,1).

La representación de LT1 con base en los números fuzzy asignados, se muestra en la Figura 3.3.

Ahora, de acuerdo a la expresión (3.7), los valores esperados de esos números fuzzy son $E(AF)= 0.039$, $E(MF)= 0.1$, $E(QF)= 0.2$, $E(PF)= 0.3$, $E(SF)= 0.4$, $E(NS)= 0.5$, $E(ST)= 0.6$, $E(PT)= 0.7$, $E(QT)= 0.8$, $E(MT)= 0.9$ y $E(AT)= 0.961$.

Con esta formulación los valores de verdad de la proposición **P1** podrían ser expresados así:

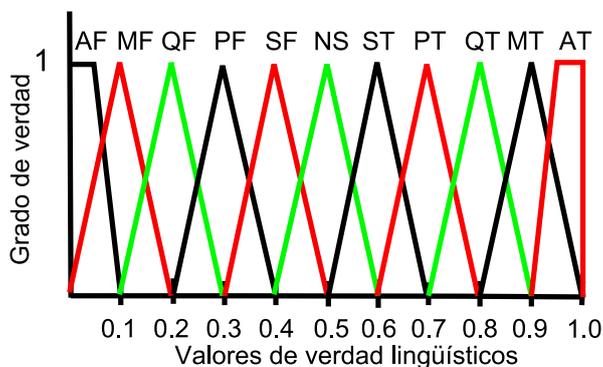


Figura 3.3: Representación con números fuzzy de una opinión general o deseo **GD**. (Fuente: [Ullah, 2005])

$$\text{ValordeVerdadLingüístico}(p_1) = E(\text{AF}) = 0.039,$$

$$\text{ValordeVerdadLingüístico}(p_2) = E(\text{QF}) = 0.2,$$

$$\text{ValordeVerdadLingüístico}(p_3) = E(\text{MF}) = 0.1,$$

$$\text{ValordeVerdadLingüístico}(p_4) = E(\text{QT}) = 0.8,$$

$$\text{ValordeVerdadLingüístico}(p_5) = E(\text{QF}) = 0.2$$

El modelo formal de GD que propone Ullah [Ullah, 2005] se muestra en la ecuación (3.8):

$$\Omega = ((\mathbf{P} | = \mathbf{TV}), (P_d | = TV_d), G, D) \quad (3.8)$$

En la ecuación (3.8):

$\mathbf{P} | = \mathbf{TV}$ es la parte de la opinión general

$P_d | = TV_d$ es el deseo o requerimiento

G representa una función que mide el cumplimiento de la Alternativa(\mathbf{P})

para el criterio (\mathbf{P}) basado sobre el cuantificador(\mathbf{P}). Esto significa qué tan claro se conoce la Alternativa(\mathbf{P})

D representa una función que mide el cumplimiento del deseo de la Alternativa(\mathbf{P}) para el Criterio(\mathbf{P}) basado en el Cuantificador(P_d). Esto significa qué tan deseable o que tan fuerte cumple el requerimiento la Alternativa(\mathbf{P})

\mathbf{P} representa un vector de proposiciones como se definió en la ecuación (3.2) y (3.3)

\mathbf{TV} representa el vector de valores de verdad definidos por la ecuación (3.1) o (3.7), esto es, $\mathbf{TV}=(TV_i | TV_i \in \{ValordeVerdad(p_i), ValordeVerdadLinguistico(p_i)\}, i=1, \dots, Tama\tilde{n}o(\mathbf{P})=n)$

P_d representa una proposición definida por la ecuación (3.5)

TV_d representa el valor de verdad definido por la expresión (3.6) o (3.7),

esto es $TV_d \in \{ValordeVerdad(P_d), ValordeVerdadLinguistico(P_d)\}$

$G: \{[0, 1]^n, n\} \rightarrow [0, 1]$

$D: [0, 1]^3 \rightarrow [0, 1]$

Para la definición de las funciones G y D deben evaluarse tres características de las semánticas fuzzy, establecidas en cuatro axiomas: el axioma de definición local, el axioma de definición global, el axioma de gránulo y el axioma de deseo. Los tres primeros axiomas trabajan con \mathbf{P} y sus valores de verdad \mathbf{TV} (la parte de la opinión general de GD), el otro axioma trabaja con P_d y su valor de verdad TV_d (esto es la parte del requerimiento o deseo de GD). Se presenta a continuación cada uno de los axiomas para entender el proceso de toma de decisiones utilizando la formalidad sugerida por Ullah [Ullah, 2005].

El Axioma de definición local

Este axioma se refiere a la definición de la Alternativa(p_i) en términos de su valor de verdad TV_i , $\exists i = \{1, \dots, Tama\tilde{n}o(\mathbf{P}) = n\}$. Si $TV_i=0$ o 1, esto significa que p_i es completamente falso o verdadero; por lo tanto el conocimiento es completo de la Alternativa(p_i) para el Criterio(p_i) sobre la base del Cuantificador(p_i). Esto se denomina una información “local definida”. Por otra parte, si $TV_i=0.5$ esto significa que p_i no es ni cierto ni falso. Por lo tanto, el conocimiento no es completo para la Alternativa(p_i) para el Criterio(p_i) sobre la base del Cuantificador(p_i). A esta situación se refiere como una información “local indefinida”. Por otra parte, si $TV_i=(0,0.5) \cup (0.5,1)$, esto significa que p_i es parcialmente cierto o falso; el conocimiento es parcialmente completo observando la Alternativa(p_i) para el Criterio(p_i) sobre la base del Cuantificador(p_i). A esta situación se la conoce como información “local parcial definida”.

La información relacionada al axioma de definición local se asocia a la entropía de las proposiciones fuzzy. Por lo tanto, la siguiente función puede ser usada para medir la información local definida, local indefinida y la local parcial definida.

$$\begin{aligned} \pi(p_i) &: [0, 1] \rightarrow [0, 1] \\ TV_i &\mapsto \max \left(\min \left(\left(\frac{TV_i - 0}{0,5 - 0} \right), \left(\frac{1 - TV_i}{1 - 0,5} \right) \right), 0 \right) \\ TV_i &\in \{ValordeVerdad(p_i), ValordeVerdadLinguistico(p_i)\} \end{aligned} \quad (3.9)$$

De acuerdo a la expresión (3.9), para una información definida local $\pi(p_i)=0$, para la información indefinida local $\pi(p_i)=1$ y para la información local parcial definida $\pi(p_i)=(0,1)$.

El Axioma de definición global

Este axioma se refiere a la definición de la Alternativa(**P**) en términos de todos los $TV_i, \forall i \in \{1, \dots, Tamano(\mathbf{P})\}$ si uno de los valores de verdad es uno y los otros son cero, esto es: $\exists i \bullet TV_i = 1 \wedge \forall j \bullet TV_j = 0, j \in \{1, \dots, Tamano(\mathbf{P})\} - \{i\}$ esto significa que la Alternativa(**P**) es claramente conocida desde el punto de vista del Criterio(**P**) con respecto al Cuantificador(**P**). Esto se denomina una información “definida global”. Si todos los valores son 0.5, para todo $i=1, \dots, Tamano(\mathbf{P})$ esto significa que la Alternativa(**P**) es completamente desconocida para el Criterio(**P**) sobre la base del Cuantificador(**P**) y a esto se le denomina información “global indefinida”. Si la información no es ni global definida ni global indefinida, entonces es una información “global parcial definida”.

Considere la función Π de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \Pi &: [0, 1]^n \rightarrow [0, 1] \\ ((\pi(p_1), \dots, \pi(p_n))) &\mapsto \sum_{i=1}^n \pi(p_i) \end{aligned} \quad (3.10)$$

La función Π es capaz de medir todos los aspectos del Axioma de definición global. Si la información es global definida, entonces $\Pi = 0$, si la información es global indefinida entonces $\Pi = n$ y si la información es global parcial definida, entonces $\Pi = (0, n)$.

El Axioma de definición granular

El Axioma de definición granular se refiere a la definición de la Alternativa(**P**) que es (o debería ser) afectada por el Tamaño(**P**)=n, esto es, por el número de cuantificadores en **P**. Generalmente, el Tamaño(**P**) depende de la importancia o significancia del Criterio(**P**), cuanto más importante o significativo es el Criterio(**P**), es mayor el Tamaño(**P**). Por ejemplo, para dos vectores **P1** y **P2** con Criterio(**P1**)=Criterio(**P2**) y donde Tamaño(**P2**)>Tamaño(**P1**), se puede afirmar que el criterio es más importante en **P2** que en **P1**. Ahora, la definición granular debería aumentarse si un gran Tamaño(**P**) ayuda a producir más información definida local. De otro modo, la definición granular debería disminuir con un incremento del tamaño de **P** o debería permanecer igual. Por ejemplo si **TV1**=(0, 0, 0.1, 0.8, 0.2) y **TV2**=(0, 0, 0.1, 0.8, 0.2, 0), entonces **TV2** tiene información definida local adicional que **TV1** (tres valores de cero de **TV2**, frente a dos de **TV1**). Por lo tanto, **P2** porta una pieza adicional de información definida granular que **P1**.

Para medir los aspectos del Axioma de definición granular, Π debería ser modificado de tal forma que el número de cuantificadores, Tamaño(**P**)=n pueda jugar su rol. Particularmente, si se divide por n, entonces la función modificada es capaz de medir los aspectos de los Axiomas de definición Local, Global y Granular juntos. Esto se representa en la ecuación (3.11) de G.

$$\begin{aligned} G : [0, 1] &\rightarrow [0, 1], \\ (\Pi, n) &\mapsto \frac{\Pi \sum_{i=1}^n \pi(p_i)}{n} \end{aligned} \quad (3.11)$$

De acuerdo a la ecuación (3.11), si la información es global definida (todos los $\pi(p_i) = 0$), entonces $G=0$; si la información es global indefinida (todos los $\pi(p_i) = 1$), entonces $G=1$. Adicionalmente, G disminuye si un aumento del Tamaño(**P**) ayuda a producir más información definida local (esto es si el número $\pi(p_i) = 0$ aumenta con el Tamaño(**P**)) y G aumentará o permanecerá igual si un aumento en el Tamaño(**P**) ayuda a producir información parcial local definida o indefinida local (esto es si el número diferente de cero $\pi(p_i)$ aumenta con el Tamaño(**P**)).

El Axioma de definición del deseo

Se refiere a la definición del deseo de P_d en función de sus valores de verdad TV_d , ya sea que la Alternativa(**P**) cumpla o no cumpla los requerimientos establecidos por P_d y en qué grado. La definición del deseo puede ser medida calculando la distancia entre TV_d los valores de verdad máximo o mínimo en **TV**. Si TV_d es igual o mayor

que el valor de verdad máximo de \mathbf{TV} entonces el deseo o requerimiento es satisfecho en su totalidad. En forma alternativa, si TV_d es menor o igual que el valor de verdad mínimo en \mathbf{TV} , entonces el deseo o requerimiento no es completamente satisfecho en su totalidad. Por lo tanto, para derivar la ecuación para D , considere dos valores extremos (máximo y mínimo) de valor de verdad, TV_s y TV_t respectivamente, donde $TV_s = \max(TV_i | \forall i \in \{1, \dots, n\})$ y $TV_t = \min(TV_i | \forall i \in \{1, \dots, n\})$. Tal que $\text{Cuantificador}(p_s)$, donde $p_s \rightarrow TV_s, \exists p_s \in \mathbf{P}$ es el punto importante o la característica más apropiada de la Alternativa(\mathbf{P}). Si te toma el caso de $\mathbf{P1}$ que tiene unos valores de verdad $\mathbf{TV1}=(0,0,0.1,0.8,0.2)$, siendo el $\text{Cuantificador}(\mathbf{P1})=(\text{mala, regular, media, buena, excelente})$, en este caso $TV_s=\max(0,0,0.1,0.8,0.2)=0.8$, $p_s=\text{"La comodidad del Diseño Z es buena"} \rightarrow TV_s$, por lo tanto el $\text{Cuantificador}(p_s)=\text{"buena"}$ es el punto importante del Diseño Z. En otras palabras si alguien está buscando un diseño con buenas características de comodidad, entonces el Diseño Z es absolutamente una alternativa preferida. Similarmente, $TV_t=\min(0,0,0.1,0.8,0.2)$, $p_t=\text{"La comodidad del Diseño Z es regular"} \rightarrow TV_t$ (aunque también se puede decir que es mala, por tener ese cuantificador el mismo mínimo), $\text{Cuantificador}(p_t)=\text{"regular"}$ es un punto débil del Diseño Z. Si alguien está buscando un diseño con características de comodidad regular, el Diseño Z no una alternativa preferida porque la "Comodidad del Diseño Z es regular" es su punto débil, que quiere decir $\text{ValordeVerdad(Comodidad del Diseño Z es regular)}=0$.

Por lo tanto D puede ser calculado utilizando la ecuación (3.12)

$$D : [0, 1]^3 \rightarrow [0, 1],$$

$$(TV_s, TV_t, TV_d) \mapsto \max \left(\min \left(\frac{TV_s - TV_d}{TV_s - TV_t}, 1 \right), 0 \right) \quad (3.12)$$

Con la expresión D de la ecuación (3.12), si la información deseada es definida $D=0$, si es indefinida $D=1$ y si la información de deseo es parcialmente definida, entonces $D \in (0,1)$. Por ejemplo, considerando $\mathbf{P1}$, $TV_s=0.8$ y $TV_t=0$. Si $P_d=P_{d1}=\text{"La comodidad del diseño debe ser masa o menos buena"}$, entonces $TV_d=0.894$, acudiendo a la ecuación (3.6). Como resultado:

$$D = \max \left(\min \left(\frac{0.8-0.894}{0.8-0}, 1 \right), 0 \right) = \max(-0.117, 0) = 0$$

Esto significa que el Diseño Z es una alternativa absolutamente deseable bajo esa consideración de "La comodidad del diseño debe ser mas o menos buena".

Si la situación fuera que "La comodidad del diseño debería ser algo excelente",

entonces $TV_d = 0.447$ (acudiendo a la expresión (3.6)) lo cual lleva como resultado a:

$$D = \max \left(\min \left(\frac{0.8 - 0.447}{0.8 - 0}, 1 \right), 0 \right) = \max (0.441, 0) = 0.441$$

lo cual significa que el Diseño Z es menos deseable frente al enunciado: “La comodidad del diseño debería ser algo excelente”.

El proceso de decisión en el diseño de producto a partir de las funciones de definición G y de deseo D

Ullah [Ullah, 2005] define la función Ω asociada con el par ordenado (G,D) que ayuda al proceso de toma de decisiones. Particularmente, (G,D) cuantifica el contenido de información o entropía de la información portada por Ω . If (G,D)=(0,0) esto significa que la alternativa asociada es completamente conocida y completamente deseable (no entropía o contenido de información medio). Por otra parte, hay una cantidad de entropía o contenido de información promedio dado por (G,D). Con las posiciones definidas de un conjunto dado de alternativas, uno puede seleccionar la alternativa preferida de acuerdo a su posición más cercana al origen. En la figura 3.4 hay dos posiciones definidas (0.2,0) y (0.3,0.33) para dos alternativas diferentes para el mismo criterio y para el mismo conjunto de cuantificadores. Esas dos posiciones de definición implican que la primera alternativa es más claramente conocida comparada con la otra (observe el eje G) y también la primera es más deseable que la otra (observe el eje D). Por lo tanto la primera alternativa es la alternativa preferida.

El proceso de decisión arriba mencionado es aplicable si la decisión está basada en un solo criterio. Si la decisión es basada en múltiples criterios (una situación de decisión más realista), entonces se forma un cluster de posiciones definidas como se muestra en la Figura 3.5. En la Figura 3.5 se muestran dos clusters de posiciones definidas. En este caso el balance o la coherencia juegan un rol importante en la selección de la alternativa preferida. Por ejemplo no sería una alternativa balanceada o coherente aquella que tenga dispersos los valores definidos en el espacio. La escasez de coherencia ocurre si la alternativa no es claramente conocida para todos los criterios o es parcialmente conocida para unos criterios y parcialmente desconocida para otros o no cumple los requerimientos para algunos criterios y los cumple parcialmente para otros. Para asegurar la selección de una alternativa teniendo el más alto nivel de coherencia, se necesita una función de agregación como se muestra en la ecuación (3.13).

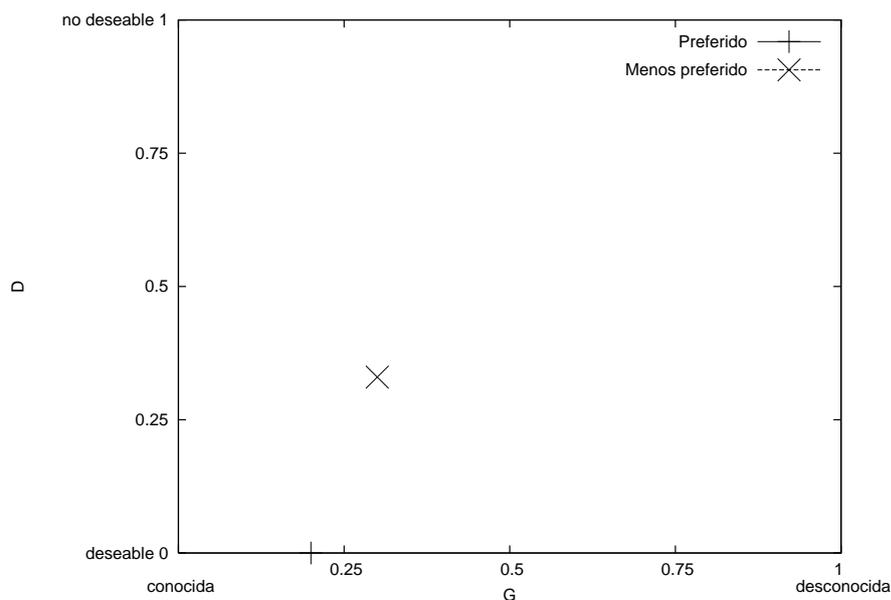


Figura 3.4: Toma de decisiones en el diseño de producto en un ambiente fuzzy utilizando posiciones definidas. (Fuente: [Ullah, 2005])

$$\begin{aligned}
 \chi : [0, 1]^5 &\rightarrow [0, 5] \\
 (\min(G_i), \max(G_i), \min(D_i), \max(D_i), \alpha) &\mapsto \min(G_i) \\
 &+ \max(G_i) + \min(D_i) + \max(D_i) + \alpha, \\
 \text{donde } \alpha &= [\max(G_i) - \min(G_i)] \times [\max(D_i) - \min(D_i)]
 \end{aligned}
 \tag{3.13}$$

En la ecuación (3.13) $(G_i, D_i) \in [0, 1] \times [0, 1] \forall i \in \{1, \dots, \nu\}$, “ ν ” es el número de criterios. El valor de χ es grande si (G_i, D_i) está alejado del origen y está ampliamente disperso (esto significa que no es coherente) y es pequeño en caso contrario. Por ejemplo, al comparar los valores de χ de los dos clusters que se muestran en la figura 3.5 el primero (Cluster 1) corresponde a $\chi=1.362$ y el segundo a $\chi=1.848$, lo que

significa que el cluster 1 es más coherente que el cluster 2.

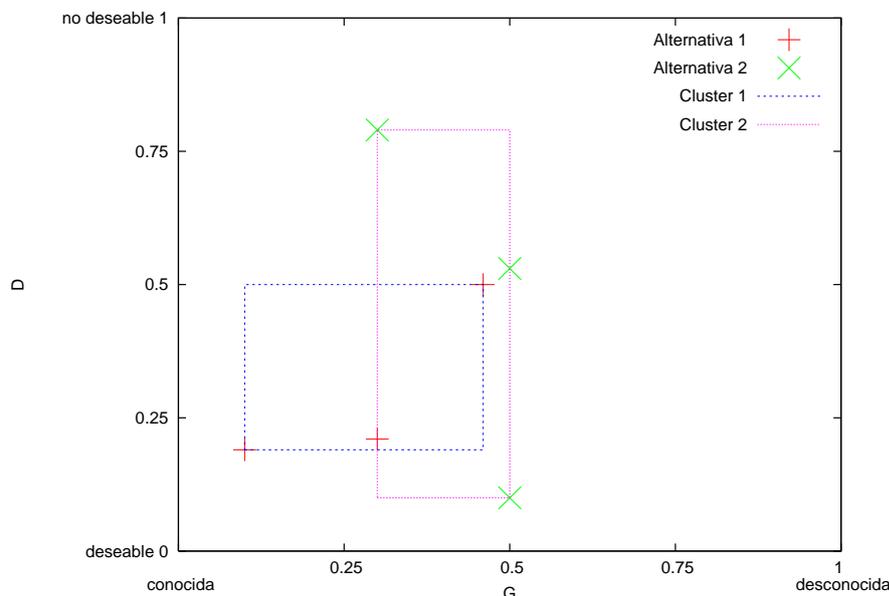


Figura 3.5: Toma de decisiones utilizando clusters de posiciones definidas. (Fuente: [Ullah, 2005])

3.4.2. Aportes actuales de las lógicas paraformales con el Diseño Axiomático

La propuesta del trabajo de Ullah [Ullah, 2005], que ha sido presentada en el apartado anterior, es un recurso para la toma de decisiones en el diseño de productos con el uso de las lógicas paraformales. La propuesta permite manipular los requerimientos cualitativos y perceptuales del producto, para realizar un trabajo de descripción y selección de alternativas en el proceso del Diseño. El mismo autor, en otro artículo realiza una asociación de estas características de descripción junto con el Diseño Axiomático [Ullah, 2004], sin embargo advierte que no es posible utilizar directamente la expresión del contenido de información, como se sugiere en la propuesta original del Diseño Axiomático, porque la probabilidad aplicada para elementos numéricos definidos no puede ser aplicable en términos de información difusa

a partir de una descripción lingüística. Por otra parte, la formulación de la ecuación de diseño a partir de términos perceptuales y cualitativos, lleva a una ecuación de diseño que podría interpretarse como un sistema acoplado por las características de la información que se debe manipular. A continuación se presenta la formulación la ecuación de diseño con base en un ejemplo para verificar el argumento expresado.

El diseñador en este caso provee una formulación de diseño lingüístico (LDF) que está basada en su percepción. Esta información implícitamente está asociada con los FRs y DPs del Diseño Axiomático. Lo anterior se enuncia en la ecuación (3.14).

$$LDF \equiv FR1, FR2, \dots, DP1, DP2.. \quad (3.14)$$

Un ejemplo de LDF es LDF= “Diseñar un dispositivo rotatorio pequeño y liviano en el cual el peso es menos crítico que las dimensiones”. En este enunciado se encuentran implícitamente las informaciones de FRs y DPs. Se propone entonces una forma de representación atómica de los LDFs así:

$$\{LDF\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{c} ALDF1 \\ ALDF2 \\ \vdots \end{array} \right\} \quad (3.15)$$

De esta forma la expresión del diseño se puede expresar así:

$$\left\{ \begin{array}{c} \textit{Dispositivo rotatorio pequeno y liviano} \\ \textit{donde el peso es menos critico que otras dimensiones} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{c} \textit{Dispositivo rotatorio pequeno} \\ \textit{Dispositivo rotatorio liviano} \\ \textit{Peso menos critico que otras dimensiones} \end{array} \right\} \quad (3.16)$$

Con la expresión anterior se pueden identificar parámetros de solución del diseño (no exactamente los DPs) que se llamarán DSP1, DSP2,..., que permiten encontrar una adecuada solución del diseño. Esto se plantea en la siguiente ecuación con estructura similar a la ecuación de diseño.

$$\begin{Bmatrix} ALDF1 \\ ALDF2 \\ \vdots \end{Bmatrix} = [LM] \begin{Bmatrix} DSP1 \\ DSP2 \\ \vdots \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} LM_{11} & LM_{12} & \dots \\ LM_{21} & LM_{22} & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DSP1 \\ DSP2 \\ \vdots \end{Bmatrix} \quad (3.17)$$

En la ecuación (3.17) LM_{ij} define la relación entre los $ALDF_I$ y los DSP_j , el cual podría ser una frase, una palabra o un número. Ullah la denomina a esta ecuación Ecuación de Diseño Lingüístico (LDE), que aplicada para el caso del ejemplo se muestra en la ecuación (3.18).

$$\begin{Bmatrix} \textit{Dispositivo rotatorio pequeno} \\ \textit{Dispositivo rotatorio liviano} \\ \textit{Peso menos critico que dimensiones} \end{Bmatrix} = [LM] \begin{Bmatrix} \textit{Diametro(D)} \\ \textit{Longitud(L)} \\ \textit{Peso(W)} \\ \textit{Universo para dimensiones} \\ \textit{Universo para peso} \\ \textit{Granulos para dimensiones} \\ \textit{Granulos para peso} \end{Bmatrix} \quad (3.18)$$

donde [LM] se expresa así:

$$[LM] = \begin{bmatrix} \textit{corto} & \textit{largo} & 0 & \textit{rango fijo} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \textit{liviano} & 0 & \textit{rango fijo} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \textit{mas} & \textit{menos} \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

La ecuación anterior no puede ser comparada con la ecuación de diseño formal del Diseño Axiomático, por varias razones: la primera por la presencia de elementos numéricos y no numéricos en el vector de de requerimientos, la segunda por la inclusión de rangos de diseño flexibles de acuerdo a la percepción y por último, la imposibilidad de utilizar la probabilidad clásica para evaluar el contenido de información con información difusa. Adicionalmente, el sistema se puede percibir siempre como acoplado por la característica de la matriz de diseño y como fue presentado en el apartado anterior, depende el proceso de decisión de un solo diseñador que como lo reconoce el mismo autor debe mejorarse para involucrar la participación del equipo de diseño [Ullah, 2005]. Con todo, esta forma de manejo de la información del diseño es una representación válida de una situación real que permite valorar el uso de las

lógicas paraformales en la representación de los requerimientos cualitativos y la valoración de las alternativas de diseño de una manera formal como ya se estableció en el apartado anterior.

Dentro del uso de las lógicas paraformales, otros autores buscan una relación entre los Requerimientos Funcionales (FRs) y los Parámetros de Diseño (DPs) de una forma más flexible [Cappetti et al., 2004a]. La estrategia consiste en definir inicialmente un conjunto de requerimientos del producto, llamados por ellos funcionales, que son algunos de naturaleza cualitativa y perceptual. Posteriormente se propone un alternativa de diseño y con ella se construye la ecuación de diseño. Si el diseño es acoplado se usa la lógica fuzzy que relaciona los FRs con los DPs para desacoplar el sistema. En este caso se plantean funciones de pertenencia que formarán parte de una ecuación alternativa de diseño y mediante un proceso de análisis con base en los requerimientos y el análisis de los Parámetros de Diseño se busca la independencia funcional. Se sugiere para el uso de esta esta estrategia los siguientes pasos:

1. Proponer los Requerimientos Funcionales
2. Escoger de los Parámetros de Diseño
3. Construir la matriz de diseño
4. Definir las funciones de pertenencia $m_{f_{ij}}$ para cada pareja de FR_i y DP_j
5. Elaborar la matriz **MF**
6. Idependizar los rangos de los DPs cuasiacoplados (Aquellos que m_{ij} con $i \neq j$ con valor igual a 1)
7. Definir las restricciones fuzzy sobre el dominio de los DPs
8. Desacoplar en el dominio fuzzy el problema y reorganizar la matriz de diseño
9. “De-fuzzificar” el problema y transformar las restricciones del dominio DP en restricciones físicas
10. Verificar la compatibilidad de la restricciones físicas con el objetivo del diseño y desarrollo

Para la definición de los rangos de los Parámetros de Diseño en el dominio fuzzy se debe contar con la participación de un experto. El problema de esta forma es redefinido y se puede llegar a un sistema desacoplado.

Bajo este esquema, los autores [Naddeo, 2006] plantean el diseño del capó de un automóvil con tres requerimientos: el estilo, la accesibilidad al compartimento y la seguridad para los peatones. El primero, el estilo, es un requerimiento cualitativo de valoración perceptual; el segundo, la accesibilidad, es de naturaleza cuantitativa y el tercero, es de naturaleza mixta porque depende de la interpretación del requerimiento pero puede estar cuantificado, si por ejemplo está asociado con la norma de seguridad para los vehículos. Los requerimientos cualitativos también son conocidos como requerimientos subjetivos [Naddeo, 2006]. Los Parámetros de Diseño que se sugieren, tomados a partir del análisis de un capó convencional, son DP1= Rigidez, DP2= Forma y DP3= Sistema de apertura. Se plantea la ecuación una ecuación de diseño como se muestra en la ecuación (3.20).

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & X & X \\ 0 & X & X \\ X & X & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{Bmatrix} \quad (3.20)$$

Posteriormente, se establece la ecuación alternativa de diseño por la presencia de los requerimientos cualitativos como se muestra en la ecuación (3.21)

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 - mf_{12} & 1 - mf_{13} \\ 0 & 1 - mf_{22} & 1 - mf_{23} \\ 1 - mf_{31} & 1 - mf_{32} & 1 - mf_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{Bmatrix} = [MF] \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{Bmatrix} \quad (3.21)$$

Una vez analizada la estrategia descrita, cabe señalar que si bien la estrategia presentada puede lograr un diseño desacoplado, tiene los siguientes inconvenientes: el primero es que no usa el “zigzaguo” entre los dominios funcional y físico en el proceso de diseño que asegura la relación entre los dominios, el segundo es que no presenta objetivos claros en el planteamiento del diseño por la flexibilidad de los rangos de diseño y por último, se puede alcanzar un diseño desacoplado con una relación FR-DP diferente a la inicialmente planteada. Finalmente, frente al último inconveniente mencionado, el proceso deja de ser sistemático en la relación de dominios lo cual puede llevar a una confusión en el proceso de diseño que se busca que sea organizado y definido.

3.5. El Diseño Axiomático y TRIZ

TRIZ es un conjunto de herramientas de ayuda para el proceso de invención. Los conceptos básicos de la teoría TRIZ son la evolución, la contradicción y la idealidad. Esta teoría favorece el proceso de generación de ideas acudiendo al conocimiento de miles de inventores del pasado y evita de esta forma una formulación puramente intuitiva que puede estar apartada del proceso de evolución tecnológica. TRIZ se propone como una estrategia de soporte con el Diseño Axiomático tanto para desacoplar la matriz de diseño como herramienta de ayuda para la consecución de una propuesta de diseño con el mínimo contenido de información.

3.5.1. Características de TRIZ

La Teoría de Solución de Problemas Inventivos TRIZ fue desarrollada por Genrich Altshuller y sus colegas en la antigua Unión Soviética desde el año de 1946, esta metodología es actualmente utilizada en todo el mundo. La investigación de TRIZ parte de la hipótesis que hay principios universales de invención, los cuales son la base para las innovaciones creativas que favorecen el avance de la tecnología [Salamatov, 1999]. Cuando esos principios son identificados y codificados, los procesos de invención pueden ser más predecibles. La investigación del equipo de Altshuller ha analizado a través de 50 años más de dos millones de patentes, las ha clasificado por el nivel de inventiva y los ha analizado por mirar los principios de innovación. TRIZ combina principios y algoritmos. Los conceptos claves son la Idealidad, ARIZ, las Contradicciones, el Análisis Campo-Sustancia, las leyes de Evolución de los Sistemas y la Base de Conocimiento de los Efectos y Principios Inventivos [Goel and Singh, 1998].

En el trabajo de Altshuller se presenta un conjunto de herramientas para resolver problemas donde la noción de contradicción es el punto clave de la teoría TRIZ. Se afirma que mediante el análisis profundo de un problema se pueden identificar sus contradicciones inherentes. Las herramientas deben ser aplicadas cada vez que una contradicción ha sido identificada y dependen del tipo de contradicción [Cavallucci, 2002]. En la Figura 3.6 se muestra un panorama general del trabajo de Altshuller.

En la Figura 3.6 se encuentra como punto de partida, para la clasificación del trabajo de Altshuller, el análisis de los productos a través de las Leyes de Evolución de los Sistemas Técnicos. Este análisis corresponde al análisis de los productos como un proceso evolutivo, similar a los seres vivos, dentro de su contexto técnico. Analizar el estado de evolución de un sistema técnico permite identificar oportunidades de innovación técnica para la generación de productos novedosos. Cuando una ley tiene mayor avance que otra, esto implica que existe una contradicción. La evolución es la superación de dichas contradicciones. Existen ocho leyes de evolución de los sistemas

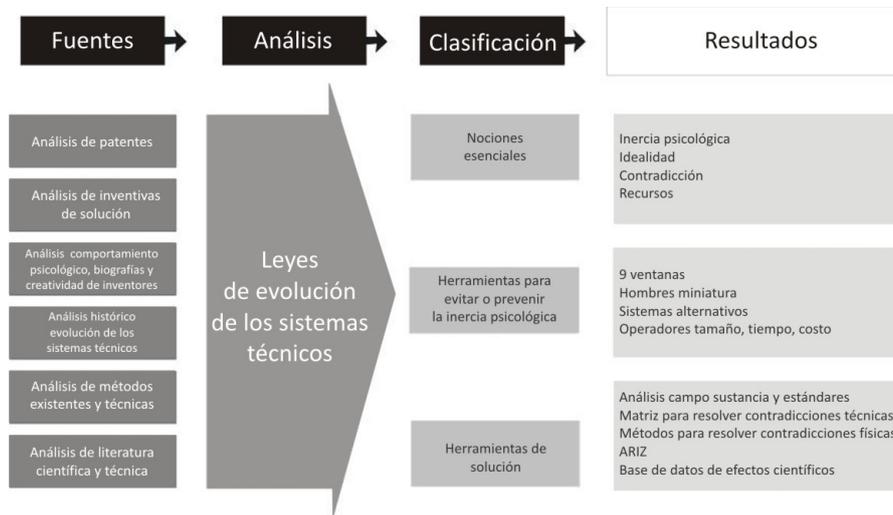


Figura 3.6: Descripción del trabajo de Altshuller. (Fuente: [Cavallucci, 2002])

técnicos, las cuales están clasificadas en tres tipos de leyes, las leyes estáticas, cinemáticas y dinámicas. Las leyes estáticas son una visión estructural del sistema técnico y son tres: la totalidad de las partes, el flujo de energía y la coordinación del ritmo de las partes. Las leyes cinemáticas son una visión más amplia espacio-temporal; al igual que las leyes estáticas son tres: el incremento en la idealidad, el desarrollo desigual de las partes y la transición a supersistema. Las leyes dinámicas representan la tendencia futura del sistema; las leyes dinámicas son dos: la transición de macro nivel a micro nivel y el aumento en las dinámicas y la controlabilidad [Cavallucci, 2002]. Cuando se evalúa un sistema técnico se debe verificar el cumplimiento de siete leyes, puesto que los dos últimas leyes son excluyentes.

3.5.2. El proceso de resolución de problemas con TRIZ

A través de la metodología, un diseñador que utiliza TRIZ convierte un problema específico de diseño en un problema general de diseño TRIZ como se muestra en la figura 3.7. Un problema TRIZ está basado sobre el análisis y la clasificación de un gran número de problemas en diversos campos de la ingeniería. El problema general de diseño TRIZ sugiere las soluciones generales de diseño desde las cuales el equipo de diseño puede derivar soluciones para su problema específico. Por lo tanto la potencia de TRIZ está en su inherente habilidad para traer soluciones desde diferentes, y aparentemente campos inconexos, para llevarlas a un problema de diseño particular

de tipo innovador. Salamatov [Salamatov, 1999] afirma que los ingenieros usualmente piensan en forma concreta pero no en forma sistémica. De esto modo, los ingenieros después de establecer un problema, a menudo concentran su atención sobre un objeto particular que debe ser mejorado. Por ejemplo: si el problema describe un árbol, sólo considera el árbol. En el pensamiento de sistema es necesario imaginar no solo el árbol en sí mismo sino simultáneamente el bosque (supersistema) y separar las ramas y las hojas (subsistemas). Posiblemente la madera, el clima las células de las hojas. Alrededor de este aspecto que impide tener una visión amplia del problema, aparece el concepto de inercia mental que se refiere a las características internas y externas que impiden salir de una forma predefinida de pensamiento convencional para acceder a operaciones mentales no convencionales.

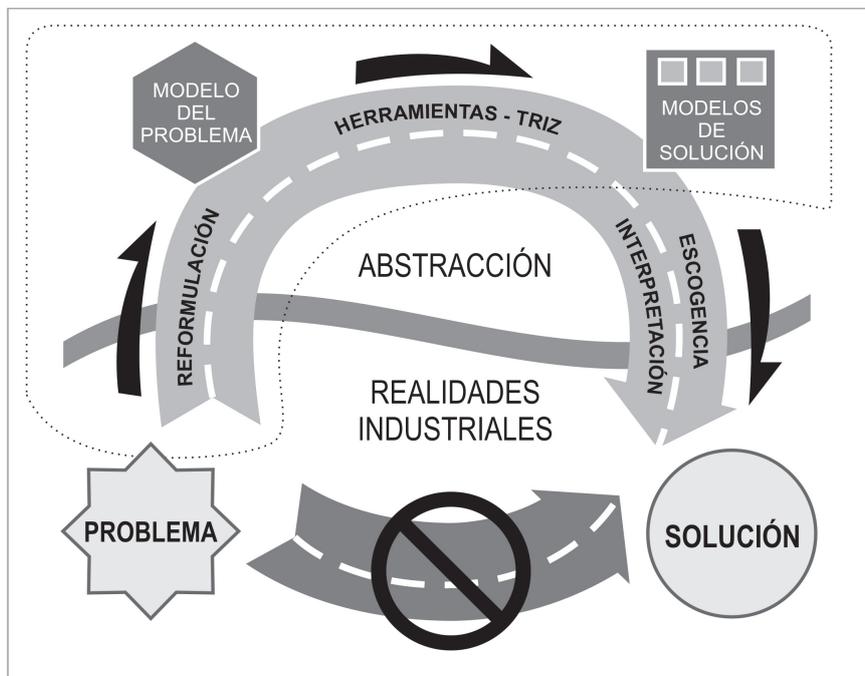


Figura 3.7: Formulación y solución de un problema con TRIZ. (Fuente: [Cavallucci, 2002])

Las nueve ventanas permiten ampliar la visión del problema, para vencer la inercia mental y a su vez, permite identificar las contradicciones en el análisis. La Figura 3.8 muestra el diagrama de las nueve ventanas o multiventana, se sugiere hacer un seguimiento de la estrategia según la numeración indicada en las ventanas para identificar las contradicciones.

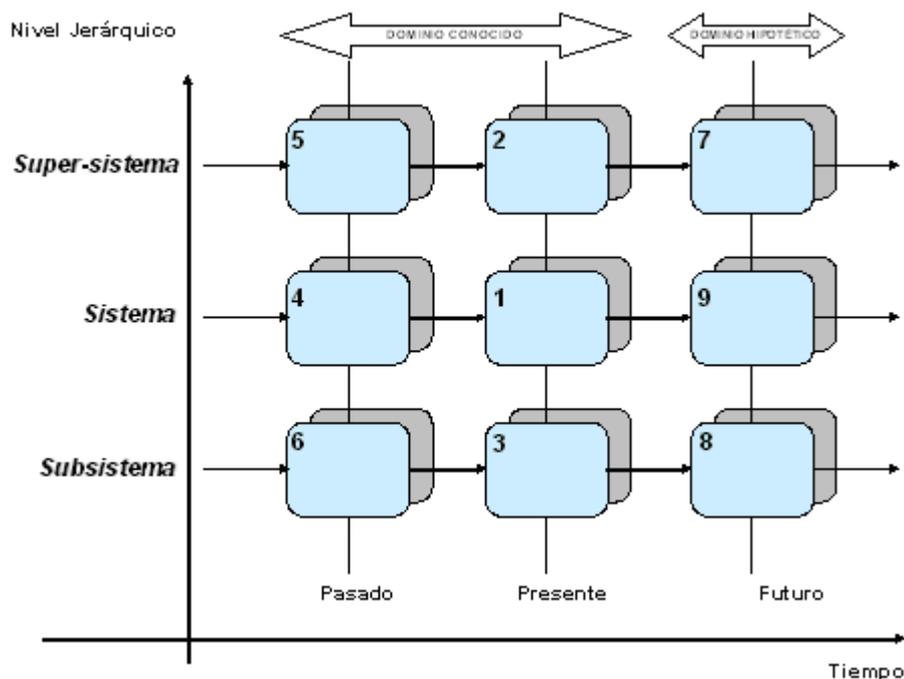


Figura 3.8: Análisis de un problema utilizando las nueve ventanas en TRIZ. (Fuente: Elaboración propia)

En TRIZ, una contradicción es una situación en la cual un determinado parámetro se ve afectado negativamente por querer mejorar otro en el proceso de análisis de un problema. Altshuller sugirió una Matriz de Contradicciones de parámetros, que cuando son identificadas en el análisis de un problema, sugieren una lista de principios inventivos que orientan a la solución del problema particular. Los parámetros originalmente propuestos fueron 39 y los principios inventivos 40. Los parámetros se pueden clasificar en tres grupos [Savransky, 2000]: Parámetros comunes físicos y geométricos, parámetros negativos independientes de la técnica y parámetros positivos independientes de la técnica. En el Cuadro 3.4 se muestran los parámetros TRIZ y en el Cuadro 3.5 se presentan los 40 principios, originalmente sugeridos por Altshuller.

Por su parte, las contradicciones se clasifican en contradicciones técnicas y contradicciones físicas. Una contradicción técnica es aquella que tiene los dos parámetros diferentes y una física es aquella que los tiene iguales. Para el uso de la matriz de contradicciones debe identificarse inicialmente la Función Principal del sistema que

CAPÍTULO 3. EL TRABAJO MULTIDISCIPLINAR CON EL DISEÑO ...

Parámetros TRIZ	
1. Peso del objeto móvil	20. Gasto energético de objeto inmóvil
2. Peso del objeto inmóvil	21. Potencia
3. Longitud del objeto móvil	22. Pérdida de energía
4. Longitud del objeto inmóvil	23. Pérdida de sustancia
5. Area del objeto móvil	24. Pérdida de información
6. Area del objeto inmóvil	25. Pérdida de tiempo
7. Volumen del objeto móvil	26. Cantidad de sustancia
8. Volumen del objeto inmóvil	27. Confiabilidad
9. Velocidad	28. Precisión de medida
10. Fuerza	29. Precisión de fabricación
11. Tensión, presión	30. Factores nocivos actuando sobre el objeto
12. Forma	31. Efectos laterales perjudiciales
13. Estabilidad del objeto	32. Manufacturabilidad
14. Fortaleza	33. Conveniencia de uso
15. Durabilidad del objeto móvil	34. Reparabilidad
16. Durabilidad del objeto inmóvil	35. Adaptabilidad
17. Temperatura	36. Complejidad del dispositivo
18. Brillo	37. Complejidad del control
19. Gasto energético de objeto móvil	38. Nivel de automatización
	39. Productividad

Cuadro 3.4: Lista de parámetros TRIZ. (Fuente: [Savransky, 2000])

Principios TRIZ	
1. Segmentación	21. Apresurarse, aumentar velocidad.
2. Separación	22. Convertir el perjuicio en beneficio
3. Calidad local	23. Realimentación
4. Asimetría	24. Intermediario
5. Combinación	25. Auto servicio
6. Multifuncionalidad	26. Utilizar copias
7. Anidación	27. Objetos desechables
8. Contrapesar	28. Reemplazar sistemas mecánicos
9. Reacción previa	29. Neumática e hidráulica
10. Acción previa	30. Membranas flexibles y películas
11. Compensar de antemano	31. Uso materiales porosos
12. Equipotencialidad	32. Cambios de color (propiedades ópticas)
13. Inversión	33. Homogeneidad
14. Incremento de curvatura	34. Rechazar y reponer
15. Dinamizar	35. Cambio de parámetros (estados físicos)
16. Acciones por exceso o defecto	36. Transiciones de fase
17. Cambio dimensional	37. Expansión térmica
18. Vibraciones mecánicas	38. Oxidantes fuertes
19. Acción periódica	39. Atmósfera inerte
20. Acción continua	40. Utilizar materiales compuestos.

Cuadro 3.5: Lista de 40 principios TRIZ. (Fuente: [Savransky, 2000])

se quiere diseñar. A partir del análisis de la Función Principal y con ayuda de las nueve ventanas se encuentran las contradicciones. El proceso para encontrar las contradicciones es a partir del análisis de la transición entre las ventanas del sistema del

CAPÍTULO 3. EL TRABAJO MULTIDISCIPLINAR CON EL DISEÑO ...

presente al futuro.

Con las contradicciones identificadas, se busca, en una matriz diseñada para tal propósito, la celda con los principios inventivos sugeridos para superar dicha contradicción. La celda resulta de la intersección del parámetro que se favorece con el parámetro que se desfavorece. En la Figura 3.9 se muestra el uso de la matriz de contradicciones. En este caso, el parámetro que se desea favorecer es el esfuerzo (Parámetro 14), pero el parámetro que se desfavorece es el peso del objeto fijo (Parámetro 2). La intersección de estos dos parámetros indica los principios inventivos sugeridos, en este caso los principios 40, 26, 27 y 1.

Factor que se desfavorece ->	Peso del Objeto móvil	Peso del Objeto fijo	Longitud del Objeto móvil
Factor que se mejora	1	2	3
1 Peso del objeto móvil			15,8,29,34
2 Peso del objeto fijo			
3 Longitud del objeto móvil	8,15,29,34		
4 Longitud del objeto fijo		35,28,40,29	
5 Área del objeto móvil	2,17,29,4		14,15,18,4
6 Arrea del objeto fijo		30,2 14,18	
7 Volumen del objeto móvil	2,26,29,40		1,7,4,35
8 Volumen del objeto fijo		35,10,19,14	19,14
9 Rapidez	2,28,13,38		13,14,8
10 Fuerza	8,1,37,18	18,13,1,28	17,19,9,36
11 Esfuerzo de presión	10,36,37,40	13,29,10,18	35,10,36
12 Forma	8,10,29,40	15,10,26,3	29,34,5,4
13 Estabilidad de la composición del objeto	21,35,2,39	26,39,1,40	13,15,1,28
14 Esfuerzo	1,8,40,15	40,26,27,1	1,15,8,35
15 Duración de la acción del objeto móvil	19,5,34,31		2,19,9
16 Duración de la acción del objeto estacionario		6,27,19,16	
17 Temperatura	36,22,6,38	22,35,32	15,19,9
18 Intensidad de la iluminación	19,1,32	2,35,32	19,32,16
19 Uso de energía por el objeto móvil	12,18,28,31		12,28
20 Uso de energía por el objeto fijo		19,9,6,27	
21 Potencia	8,36,38,31	19,26,17,27	1,10,35,37
22 Pérdida de energía	15,6,19,28	19,6,18,9	7,2,6,13
23 Pérdida de sustancia	35,623,40	35,6,22,32	14,29,10,39

Figura 3.9: Muestra parcial de la matriz de contradicciones en TRIZ y su uso. (Fuente: Elaboración propia)

Los principios inventivos son las bases para que el diseñador genere ideas de solución para su problema particular de diseño. La estrategia general para el uso de las nueve ventanas junto con la matriz de contradicciones se muestra en la Figura 3.10. Inicialmente, el equipo de diseño realiza el análisis del problema en una visión sistémica y temporal. Posteriormente, con el escenario presente a nivel de sistema y el escenario hipotético futuro en el mismo nivel, se plantean las contradicciones del sistema. Con las contradicciones identificadas, se acude a la matriz de contradicciones para interpretar los principios sugeridos y proponer soluciones para el problema específico.

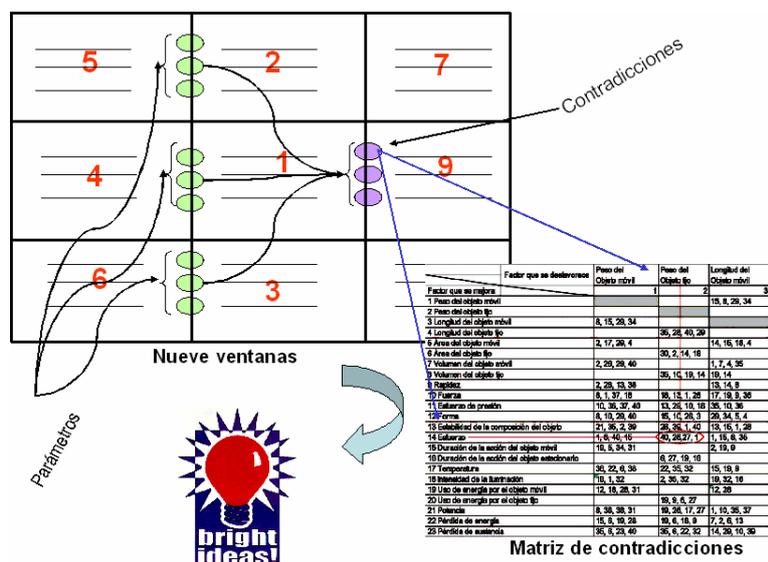


Figura 3.10: Estrategia de trabajo en TRIZ utilizando las nueve ventanas y la matriz de contradicciones. (Fuente: Elaboración propia)

3.5.3. Definiciones en el lenguaje TRIZ en un ambiente sistémico

La forma estructurada del análisis de problemas con TRIZ se realiza a partir de los sistemas técnicos. Se describen a continuación unas definiciones claves dentro de este proceso [Savransky, 2000].

Sistema técnico (TS): Cualquier objeto artificial dentro de una infinita diversidad de artículos, independiente de su naturaleza o grado de complejidad. Un sistema técnico se puede representar como un conjunto de elementos que interactúan para realizar una función sobre un producto y que requieren una entrada de energía, como se muestra en la figura 3.11

Proceso tecnológico (TP): Cualquier acción individual o consecuencia de procedimientos para realizar una actividad con la asistencia de un sistema técnico o un objeto natural.

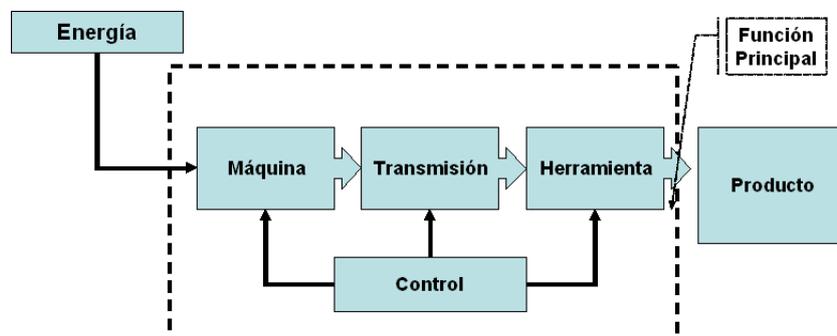


Figura 3.11: Representación de un Sistema Técnico. (Fuente: Elaboración propia)

La técnica: El grupo unificado de Sistemas Técnicos y Procesos Tecnológicos.

Los sistemas técnicos participan en los procesos tecnológicos para satisfacer las necesidades de los seres humanos o de otro sistema técnico. También, cualquier proceso tecnológico (TP) ocurre debido a la existencia de uno o varios sistemas técnicos (TS). Entonces TS y TP están relacionados y son complementarios. Las partes de los sistemas técnicos tienen una relación en el espacio (la mínima se llama elemento) y las partes de los procesos técnicos tienen una relación en el tiempo (la mínima se llama operación).

3.5.4. Aportaciones recientes del uso de TRIZ en el Diseño Axiomático

TRIZ se utiliza junto con el Diseño Axiomático para desacoplar la matriz de diseño porque se afirma que en la teoría del Diseño Axiomático no se establecen estrategias para este desacoplamiento [Shin and Park, 2006]. En la figura 3.12 se muestra el diagrama de flujo sugerido para desacoplar sistemas acoplados utilizando simultáneamente el Diseño Axiomático y TRIZ.

Algunos autores [Shin and Park, 2006, Kang, 2004] han utilizado las herramientas de solución de TRIZ tanto para desacoplar la ecuación de diseño como para reformularla. A partir de un análisis de la ecuación de diseño, Shin y Park (2006) identifican seis patrones de acople en la Ecuación del Diseño y sugieren unas estrategias, utilizando TRIZ, para desacoplarlo [Shin and Park, 2006].

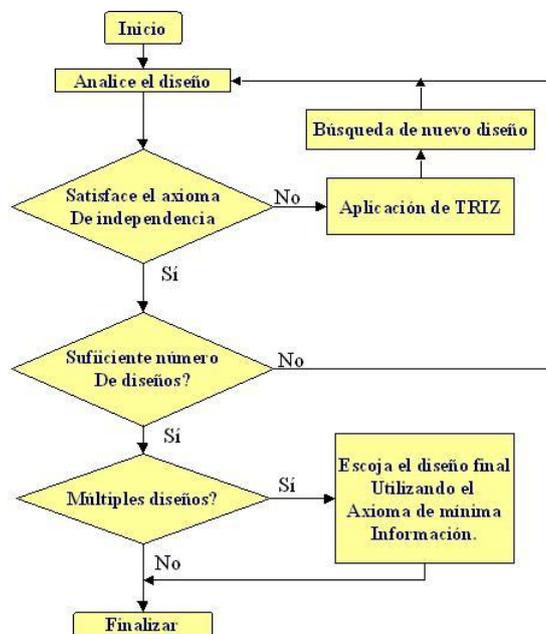


Figura 3.12: Diagrama de flujo para diseño utilizando diseño axiomático y TRIZ. (Referencia: [Shin and Park, 2006])

- El primer patrón llamado AD1, corresponde a un diseño desacoplado con insuficientes Parámetros de Diseño. Este caso corresponde a una matriz de diseño de la forma indicada en la ecuación (3.22). En este caso debe encontrarse un nuevo parámetro de diseño, para lo cual sugieren el uso de dos herramientas TRIZ. La primera es la Base de Datos de Efectos Científicos y la segunda corresponde a los Estándares Inventivos que están asociados al análisis Campo- Sustancia de un problema. Para este patrón en particular, se sugiere la clase 5 del conjunto los 76 Estándares Inventivos. La clase 5 describe como introducir sustancias o campos en el sistema técnico.

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 \\ 0 & X \\ 0 & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \end{Bmatrix} \quad (3.22)$$

- El siguiente patrón es llamado AD2 que es la adición de Requerimientos Funcionales. Se sugiere el uso de la base de datos científicos y las Clases 1 y 2 del grupo de los 76 estándares inventivos del modelo campo-sustancia. La Clase

1 hace referencia a construir o destruir el campo sustancia dependiendo del propósito y la Clase 2 a desarrollar un campo sustancia desde el comienzo.

- El tercer patrón, denominado AD3, es un diseño cuasiacoplado con grandes términos fuera de la diagonal principal. Esta situación se representa en la ecuación (3.23). Se sugiere el uso las Clase 3 y Clase 5 del conjunto de los 76 estándares inventivos del modelo campo-sustancia. La Clase 3 es la transición de un sistema base a un supersistema o de un subsistema a micronivel. La Clase 5 describe como introducir sustancias o campos en el sistema técnico.

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 \\ 0 & X & x \end{bmatrix} = \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{Bmatrix} \quad (3.23)$$

- El patrón AD6 corresponde al diseño cuasiacoplado con contradicciones tecnológicas. Se hace referencia aquí a la presencia de contradicciones técnicas, que sugieren representarla como en la ecuación (3.24) y se sugiere utilizar la matriz de contradicciones para encontrar otro parámetro de diseño.

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & X \\ 0 & X & X \end{bmatrix} = \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{Bmatrix} \quad (3.24)$$

- El patrón AD5, es el diseño cuasiacoplado con contradicciones tecnológicas. Se hace referencia aquí a la presencia de contradicciones físicas, con igual representación de la ecuación (3.24) y se sugiere utilizar las estrategias establecidas para tal propósito en TRIZ como la separación en el tiempo, en el espacio y las otras del conjunto de once que fueron presentadas previamente.
- Por último, el patrón AD6, se refiere a otros diseños acoplados. Cuando existe una situación que no se puede encasillar en las anteriores y se sugiere utilizar el modelo campo-sustancia en forma general y el algoritmo ARIZ.

Analizada la información presentada por los autores, se considera que la estrategia es adecuada en la resolución de problemas de naturaleza puramente técnica correspondientes a los patrones de AD3 a AD5. Para el patrón AD1 la solución no sólo debe plantearse con la adición de un nuevo parámetro de diseño sino con el replanteamiento de la Ecuación de Diseño. Del mismo modo, para el patrón AD2, debe tenerse cuidado en adicionar Requerimientos Funcionales porque la metodología en el Diseño Axiomático exige un planteamiento desde el inicio del problema cuando se cambian los Requerimientos Funcionales de niveles superiores.

Otra propuesta [Dickinson, 2006], sugiere el uso conjunto del Diseño Axiomático y TRIZ para favorecer el cumplimiento de los dos axiomas del diseño axiomático. Se destacan tres procesos de TRIZ, el primero el modelamiento funcional a través del modelo campo-sustancia; el segundo, la búsqueda de la solución ideal y el análisis de los recursos; el tercero, las técnicas para mejorar el concepto de diseño con la matriz de contradicciones, los patrones de evolución o los efectos físicos. La relación se presenta desde el primer proceso de análisis funcional, donde se realiza un análisis de sujeto-acción-objeto, que ayuda en el proceso de relación de los Dominios Funcional y Físico. Para el segundo proceso, de la búsqueda de la función ideal, este trabajo está en concordancia con el Segundo Axioma puesto que la idealidad sugiere el mínimo contenido de información y permite simplificar el diseño. Por último, el tercer proceso soporta el Primer Axioma, puesto que la búsqueda un acoplamiento puede interpretarse como una contradicción. De esta forma, el usosinérgico de las dos estrategias con el propósito de generar ideas para evitar acoplamientos.

También se incluye a TRIZ en la fase de búsqueda del proceso creativo y de innovación. En ese sentido se identifican tres etapas: Definición, búsqueda y evaluación. La asociación de estas tres etapas con el Diseño Axiomático se muestra en la figura 3.13 y se consideran de presencia permanente en un proceso generalizado de desarrollo de producto que involucra cinco etapas: Recolección de información y análisis, definición de objetivos y requerimientos, selección y desarrollo de conceptos, diseño detallad y optimización, y validación y verificación.

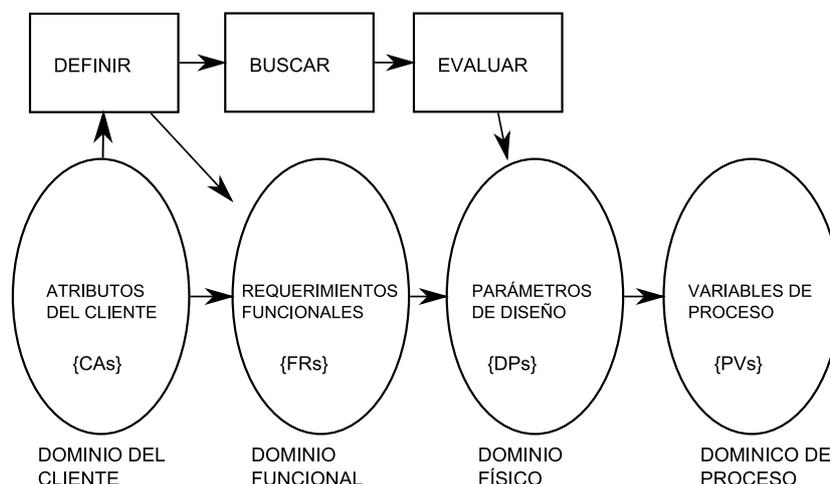


Figura 3.13: Aproximación integrada de creatividad e innovación con la metodología del Diseño Axiomático. (Fuente: [Dickinson, 2006])

3.6. Conclusiones del Capítulo

El Diseño Axiomático brinda una estructura para el diseño de producto que considera en forma conjunta el proceso creativo y el proceso analítico. El proceso analítico es una de las características relevantes del Diseño Axiomático que lo diferencia de otras teorías en torno al diseño de producto. Sin embargo, el Diseño Axiomático no brinda técnicas explícitas para las etapas de asociación de los dominios. De otra parte, las características de las personas que se involucran en dicho proceso tienen importancia secundaria. Esta última característica debe ser trabajada, y es uno de los motivos de esta tesis, puesto que la eficacia de los equipos de diseño dependen de factores que superan los procesos técnicos.

En el capítulo se han analizado un conjunto de teorías y técnicas del Diseño de Producto que trabajan en forma conjunta con el Diseño Axiomático. Estas teorías y técnicas, buscan fortalecer las dimensiones Factores y Metaproyecto, con base en el modelo multidimensional de Gómez-Senent, que fueron detectadas con debilidades en el análisis del Diseño Axiomático.

Los siguientes son los aspectos que fueron tratados en el análisis, clasificados según la teoría o técnica particular:

- Aplicación del Diseño Axiomático para la Colaboración y la Negociación en ingeniería [Suh, 1996]. En esta aproximación propuesta por Suh, de igual forma como se plantea en su libro Complexity [Suh, 2005] se sugiere utilizar el Diseño Axiomático para disminuir la complejidad de un problema. La complejidad se asocia con el Contenido de Información de un problema. Cuanto mayor Contenido de Información tenga un problema, es mayor su complejidad. De cierta forma la definición técnica de la complejidad, a través del contenido de información, tiene relación con el uso cotidiano dado al concepto de complejidad. Por ejemplo, si un problema tiene dificultad en solución se dice que tiene alta complejidad lo cual significa que hay dificultad en satisfacer los Requerimientos Funcionales. Desde el aspecto técnico, la complejidad es sinónimo de alcanzar la solución de una forma simple. En el lenguaje del Diseño Axiomático, esto significa llevar un sistema acoplado a un sistema que sea cuasiacoplado o desacoplado, y que tenga el menor Contenido de Información.
- El Diseño Robusto. Corresponde a una metodología eficiente y sistemática que aplica el diseño de experimentos para mejorar el diseño del producto. Se detectan similitudes con el Diseño Axiomático en el primer Axioma con la Función Ideal y se propone una alternativa a través del uso de la razón señal ruido para el

contenido de información.

- El Diseño Six Sigma y el Diseño Axiomático [Arcidiacono et al., 2006].
El objetivo de Six Sigma es reducir el tiempo de desarrollo del diseño de un producto. Para este propósito se debe contar con la participación de esfuerzos combinados de muchos recursos y con un proceso acorde con la especificación del objetivo del diseño. El Diseño Six Sigma, con estas características, busca la excelencia del proceso y del producto. Esta aproximación busca superar la brecha entre diseño y producción. Se sugiere un grupo de expertos interdisciplinarios: know-how holders, expertos en métodos estadísticos y clientes prospectivos, especialmente uno interno, para atacar el problema en una visión global. La estrategia Six Sigma, propone una forma de actuar proactiva y no reactiva. En este sentido se recomienda que se entienda primero lo que desea el cliente, controlar los parámetros críticos del diseño, calcular la capacidad del diseño y por último, medir y probar en calidad, mas que predecir y diseñar en calidad. Se propone un trabajo conjunto de Six Sigma con el Diseño Axiomático, donde se asocia a cada conjunto de actividades del proceso Six Sigma con la relación de los dominios del Diseño Axiomático. Se exige, para un efectivo uso de la estrategia, la aprobación de las instancias superiores de la empresa y tener un programa de formación permanente en Diseño Axiomático para que se convierta parte de la cultura empresarial. También, se propone una forma alternativa para calcular el Contenido de Información, del cual se afirma que es tedioso y complicado de calcular, a través de la matriz de sensibilidad. Por otra parte, se destaca la importancia del Diseño Axiomático en las primeras etapas del proceso que incluye: Identificar, Definir y Desarrollar, puesto que un sistema mal diseñado no puede ser optimizado con mejoras subsecuentes.
- La lógica Fuzzy. Esta teoría permite expresar en términos matemáticos varios conceptos que no están precisamente definidos. A diferencia de la lógica binaria, la lógica fuzzy no requiere que una proposición asuma un valor definido de verdad. La lógica fuzzy es una herramienta útil para el manejo de requerimientos cualitativos y perceptuales para el diseño de producto y presenta una estructura coherente en su formulación. El uso de la lógica fuzzy en procesos de decisión del diseño, permite generar clusters de las características de los productos y tomar decisiones bajo un análisis cuantitativo de esos clusters.
- La Teoría de Solución de Problemas Inventivos, TRIZ. Esta teoría es un conjunto de herramientas para resolver problemas donde la noción de contradicción, evolución e idealidad, son los puntos claves de la teoría. Se pueden utilizar múltiples herramientas de TRIZ con el Diseño Axiomático para evitar la inercia psicológica. La inercia psicológica es la característica personal que impide salirse de un pensamiento predeterminado. A su vez, TRIZ ha sido utilizado para desacoplar la Ecuación de Diseño con el fin de dar cumplimiento al Primer Axioma. También, con TRIZ, se puede trabajar en la minimización del Contenido de In-

formación I(Segundo Axioma) haciendo uso de los principios fundamentales en la línea de la evolución de la tecnología .

Parte del contenido expuesto en este capítulo ha sido publicado en:

- Aguilar-Zambrano, J., Valencia, A., Casanova, F., Leyton, A., Valencia, M., Gonzalez, M., and Riveros, D. (2009). Analysis of mobility support products under the evolution laws of technical systems for detecting opportunities of innovation. In Proceedings of IDEMI09, Portugal, páginas 113-114
- Gonzalez-Cruz, M., Aguilar-Zambrano, J., Aguilar-Zambrano, J. J., and Gardoni, M. (2008). La estrategia de creatividad sistemática TRIZ con equipos multidisciplinares de diseño de producto. DYNA, 83(6):337-350.

Capítulo 4

Propuesta de un modelo ampliado del Diseño Axiomático con equipos multidisciplinarios

La proposición de un modelo ampliado del Diseño Axiomático con equipos multidisciplinarios requiere de dos tareas. La primera, caracterizar y conformar el equipo de diseño, y la segunda, plantear un modelo que involucre los Requerimientos no Funcionales del producto. Para la primera tarea se propone una relación de cinco actores organizacionales: Universidad, Empresa Consolidada, joven Empresa de base tecnológica, Usuario y Estado. En es equipo de diseño el punto de convergencia es la Necesidad Social que la posee el Usuario. Para la segunda tarea, se propone un modelo ampliado del Diseño Axiomático, que involucra explícitamente los Requerimientos No Funcionales del producto en la Ecuación de Diseño y se establece una estrategia de trabajo con el equipo de diseño tanto para el análisis como para la fase creativa, utilizando varias técnicas, tales como la Teoría de Soluciones Inventivas, TRIZ, la lógica fuzzy, la técnica de análisis multicriterio AHP y brainstorming. El modelo ampliado conserva el cumplimiento de los dos axiomas, el Axioma de Independencia y el Axioma de Información.

4.1. Estructura del modelo para el trabajo multidisciplinar

La proposición de un modelo de actuación multidisciplinaria, debe contar la presencia de varios actores organizacionales para ampliar la visión del problema. Esto significa, que el modelo debe contemplar a la Empresa, la Universidad y al Usuario. Junto a ellos, se encuentra el Estado. La presencia del Estado tiene el propósito de fortalecer este tipo de relaciones que se reconocen como adecuadas en la sociedad del conocimiento y porque se puede obtener beneficio de sus resultados para la sociedad en su conjunto.

La ventaja de ampliar la visión del problema, con la participación de varias disciplinas, es que se consideran un mayor número de aspectos relacionados con el problema y, a su vez, se aumenta el número de restricciones. Desde el punto de vista de la resolución de problemas, esto significa que inicialmente el campo de búsqueda de las soluciones por las diferentes visiones se amplía, pero, a su vez, con las restricciones se disminuye. Las soluciones en ese nuevo espacio de búsqueda se supone que satisfacen de mejor manera la Necesidad Social porque han considerado el problema desde una amplia visión. Sin embargo, esto no significa que las soluciones sean más fáciles de encontrar. Por dicha razón, se requiere de una estrategia de diseño, que en esta tesis es el Diseño Axiomático para tener un mecanismo racional y convergente para la consecución de las soluciones.

De esta manera, los actores que se sugieren como partícipes de este modelo son: La Universidad, la Empresa consolidada, la Joven empresa de base tecnológica, el Estado y el Usuario. La empresa ha sido intencionalmente dividida en dos tipos: la consolidada y la joven de base tecnológica. Las razones de esta división son varias, una de ellas es que la empresa consolidada conoce muy bien el mercado y la producción, pero es reacia a involucrar nuevas teorías y técnicas [Fujita and Matsuo, 2005]. Otra razón, es que el diálogo de la Universidad con la joven empresa de base tecnológica es más fluido porque generalmente han emergido de su seno [Roijsackers and Hagedoom, 2006], pero tienen poca experiencia y desconocen las cadenas de mercado. Por último, la administración de las jóvenes empresas es más flexible, pueden relacionarse en forma más adecuada con las grandes empresas y pueden llevar más fácilmente el nuevo conocimiento a la aplicación [Roijsackers and Hagedoom, 2006].

En el modelo propuesto de interacción de los actores, que muestra en Figura 4.1, el punto de convergencia es la Necesidad Social que está asociada con el usuario. La Necesidad Social no sólo es un problema de mercado ni tampoco es un problema científico, sino que es una combinación de ambos. Desde el punto de vista del diseño

CAPÍTULO 4. PROPUESTA DE UN MODELO AMPLIADO DEL DISEÑO ...

del producto, la Necesidad Social va a ser atendida a través de la materialización de un objeto, sin embargo, se pueden generar otros productos desde la visión particular de cada uno de los actores. Esos productos adicionales van a fortalecer las funciones particulares de conocimiento y mercado, para la Universidad y la Empresa.

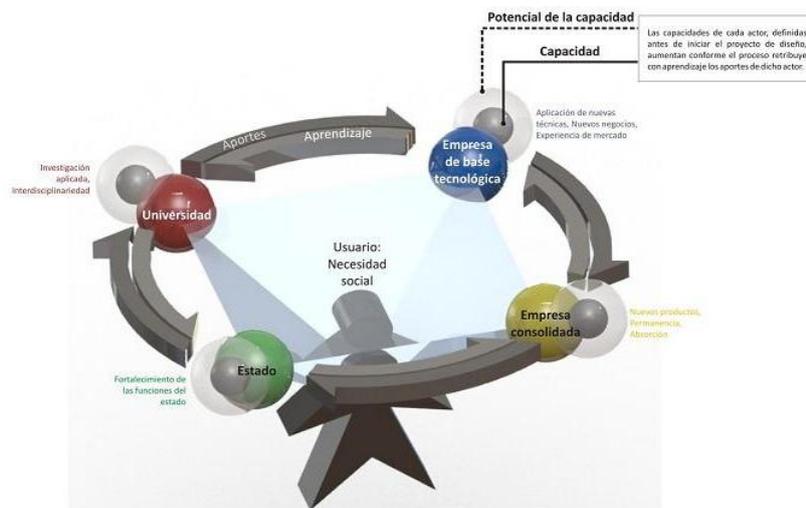


Figura 4.1: Modelo de gestión de la innovación para diseño de producto (Fuente: Elaboración propia)

Este modelo puede interpretarse como un modelo de gestión de la innovación. Muchos autores han expresado la necesidad del trabajo Universidad-Estado-Empresa, tanto en el modelo de Sábato [Garraway, 2006], como en la triple hélice [Leydesdorff et al., 2006]. También, se han analizado los problemas que encierran estas relaciones debido a los intereses diferentes de cada uno de los actores y su relación con el contexto [Azagra-Caro et al., 2006].

De otro parte, el modelo busca respetar las identidades de cada uno de los actores puesto que los objetivos son diferentes en cada uno de ellos. El conocimiento para la Universidad y el mercado para la Empresa. A su vez, existen un conjunto de dificultades que deben superarse, por ejemplo, el concepto del tiempo tiene una percepción diferente entre la Universidad y la Empresa, y por otro lado, se manejan lenguajes diferentes entre las dos entidades [Garraway, 2006,]. Entonces, si existe tal disparidad de elementos, el punto de encuentro no debe ser ni el Mercado ni el Conocimiento, porque la relación basada en objetivos institucionales disímiles no encontraría conciliación. Entonces, la convergencia debe ser en torno al Usuario, que en modo general

es la sociedad, sobre el cual deben orientarse los esfuerzos en la superación de lo que se ha llamado la Necesidad Social.

Cuando la Necesidad Social se encuentra como centro de convergencia, esta se vuelve el problema común para los actores. Cada uno, desde su perspectiva, puede abordarlo y dar su aporte diferenciador desde su mirada disciplinar u organizacional. Los problemas de la sociedad son, en su mayoría, de característica multidisciplinar y deberían trabajarse en esa misma forma. Por esta razón, se busca un trabajo sinérgico de los actores involucrados en el modelo puesto que existe complementariedad entre sus actuaciones. El Cuadro 4.1 muestra las fortalezas y debilidades de las empresas en este proceso.

Actor	Fortalezas	Debilidades
La Empresa consolidada	Posee conocimientos asociados a la manufactura y producción.	Poca flexibilidad de las estructuras organizativas [Arocena and Sutz, 2005].
	Posee infraestructura para la manufactura y la producción.	Poco uso de métodos y técnicas de diseño [Araujo et al., 1996, Jauregui and Lozano, 2008, Lin et al., 2006].
	Posee conocimientos y fidelidad del mercado por su tradición.	Separación de personas y acciones en el proceso de diseño que no favorece la concepción de nuevos productos ni la comunicación. Marketing, Diseño, Ingeniería y manufactura [Pugh, 1990, Suh, 2001, Dickinson, 2006].
	Conoce y utiliza los canales de suministro y producción. Experiencia acumulada en la industria específica.	Débil interacción con la Universidad [Azagra-Caro et al., 2006].
Joven empresa de base tecnológica	Existe la tendencia mundial a las organizaciones temporales que existen por los proyectos [Packendorff, 1995, Blindenbach-Driessen and der Ende, 2006, de Jong and Marsili, 2006].	Falta de experiencia en el mercado.
	Rápida aplicación de nuevas metodologías y técnicas de la ciencia [Roijakkers and Hagedoom, 2006].	Poca experiencia en manufactura y producción.
	Fácil interacción con la Universidad [Roijakkers and Hagedoom, 2006]. Estructuras administrativas flexibles [Roijakkers and Hagedoom, 2006].	Pocos recursos económicos [Roijakkers and Hagedoom, 2006].

Actor	Fortalezas	Debilidades
Cuadro 4.1: Fortalezas y debilidades de las empresas que se involucran en la propuesta del modelo ampliado del Diseño Axiomático. Fuente: Elaboración propia		

En el Cuadro 4.2 se muestran las fortalezas y las debilidades de los otros actores que se involucran en la propuesta del modelo ampliado del Diseño Axiomático, la Universidad, el Estado y el Usuario.

Actor	Fortalezas	Debilidades
Universidad	<p>Posee un amplio conocimiento en diferentes campos de la ciencia.</p> <p>Posee diferentes disciplinas que difícilmente se encuentran en una empresa tradicional.</p> <p>Desarrolla nuevas metodologías y técnicas que pueden tener aplicación en diferentes campos de la industria.</p> <p>Posee recursos de laboratorio especializado.</p> <p>Tiene acceso a gran cantidad de recursos científicos.</p>	<p>Enfoque, particularmente en ingeniería, al análisis en los niveles inferiores de los Requerimientos Funcionales, y no en la síntesis [Suh, 2001,].</p> <p>El mercado no es el principal objetivo de su acción y causa cierto rechazo su consideración como eje de acción de la actividad universitaria [Hayrinen-Alestalo and Peltola, 2006,].</p> <p>Escaso trabajo multidisciplinar. En los grupos de investigación se observa el uso de técnicas de otras disciplinas pero no hay interacción de las disciplinas sino aprovechamiento de sus resultados [Rafols and Meyer, 2006b].</p> <p>Escasos estímulos institucionales a los profesores que trabajan con la empresa [Azagra-Caro et al., 2006]. Se percibe ausencia de investigación en necesidades locales, particularmente en países en vía de desarrollo [Arocena and Sutz, 2005].</p>
El Usuario	Posee la necesidad y las aspiraciones.	En muchos casos, sólo participa en los extremos del proceso de diseño como elemento de consulta inicial y de evaluación final [Aoussat et al., 2000].

Actor	Fortalezas	Debilidades
	Compra y usa el producto.	La expresión de los deseos es cualitativa y variada, con elementos asociados con características físico-psicológicas de los usuarios, condiciones de uso y usabilidad que da mayor complejidad al problema del diseño.
	Acepta o rechaza el producto dando sentido al mercado.	
El Estado	Debe propiciar las condiciones para el mejoramiento de la calidad de vida de las personas. Debe propiciar políticas para fortalecer la economía.	Puede generar políticas y destinar recursos dirigidos exclusivamente al mercado que restringe otro tipo de investigación [Häyrinen-Alestalo and Peltola, 2006].
	Posee recursos y entidades para favorecer la interacción Universidad-Empresa.	Intermitencia de las políticas de apoyo empresarial que limita la cultura de innovación.

Cuadro 4.2: Fortalezas y debilidades de la Universidad, el Usuario y el Estado que se involucran en la propuesta del modelo ampliado del Diseño Axiomático. Fuente: Elaboración propia

4.2. La presencia de las técnicas creativas en el Modelo Ampliado del Diseño Axiomático

El modelo general del Diseño Axiomático considera la presencia tanto del proceso creativo como del proceso analítico, en el diseño de producto, como se muestra en la Figura 4.2. El proceso creativo está asociado con la generación de ideas que permitan sintetizar las propuestas de diseño y el proceso analítico está asociado con la verificación de la calidad del diseño a través del Contenido de Información.

En el Diseño Axiomático, el proceso creativo tiene una presencia permanente en el Diseño. El proceso creativo permite generar ideas globales de solución en los niveles superiores de la jerarquía del diseño y permite también, la proposición de nuevas formas de síntesis para desacoplar la matriz de diseño en los niveles inferiores de la jerarquía.

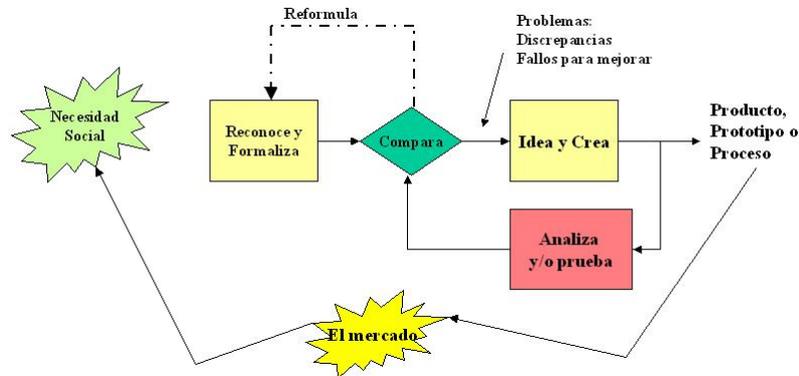


Figura 4.2: Bucle de diseño según la propuesta del Diseño Axiomático (Fuente: [Suh, 1990])

Para el modelo ampliado propuesto del Diseño Axiomático, se sugiere que el Brainstorming sea utilizado en forma conjunta con TRIZ para el análisis y síntesis del problema de diseño. En particular, se debe utilizar la técnica de las nueve ventanas de TRIZ, en la primera fase de análisis sistémico del problema. Y dentro de dicha técnica, el brainstorming deber ser incluido, en el planteamiento del escenario ideal de las características futuras del sistema. Las ventanas del futuro, en la técnica TRIZ, describen los escenarios hipotéticos ideales del sistema como se muestra en la Figura 4.3. La idealidad es la búsqueda de aquel sistema técnico que cumple la Función Principal del sistema sin consumo de materia ni energía. El proceso de análisis del problema con la técnica de las nueve ventanas debe contar con la participación del usuario que es parte integral del modelo.

La teoría de soluciones inventivas, TRIZ, también se utilizará con el Diseño Axiomático para el proceso de síntesis a través del uso de la matriz de contradicciones. La Matriz de Contradicciones sugiere un conjunto de principios inventivos para plantear soluciones a las contradicciones técnicas encontradas en el análisis de un problema. Para las contradicciones físicas, se hace uso de las recomendaciones de separación, que para tal propósito, fueron mostradas en el capítulo anterior.

En el análisis de un problema, a través de las nueve ventanas, las contradicciones surgen del análisis de la transición de las ventanas del presente y el futuro del nivel sistema. Dichas contradicciones, permiten el planteamiento de los Requerimientos del Producto, ya sean Funcionales o no Funcionales. De esta forma, con las contradicciones encontradas, se plantean los Requerimientos de primer nivel del Diseño Axiomático, y con los principios inventivos, se proponen los Parámetros de Diseño para dichos

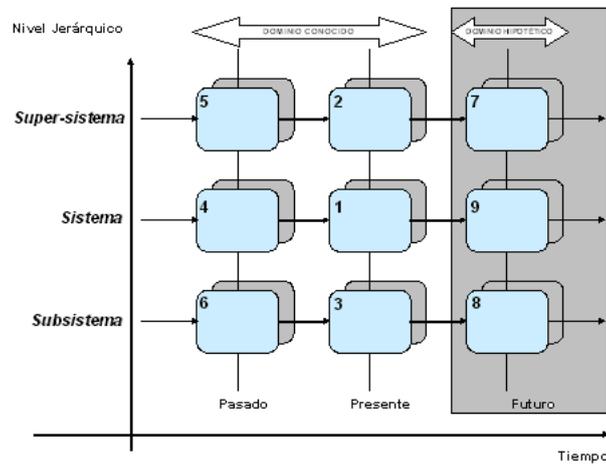


Figura 4.3: Estado hipotético futuro de las nueve ventanas TRIZ que debe utilizarse con Brainstorming (Fuente: Elaboración propia)

requerimientos.

4.3. Características del modelo ampliado del Diseño Axiomático en el trabajo con equipos multidisciplinares en el diseño de productos

En las secciones anteriores, se ha considerado la conformación de un equipo de diseño cuyo punto de encuentro sea la Necesidad Social y el método de diseño es la propuesta ampliada del Diseño Axiomático acompañada con TRIZ. El equipo de diseño cuenta con la participación de cinco actores: Universidad, Estado, Empresa consolidada, joven Empresa de base tecnológica y Usuario.

El producto que se diseñe, es el artefacto que ayuda, en parte, a la solución de la Necesidad Social, y el trabajo multidisciplinario posibilita la generación de otros productos, propios de los enfoques particulares de cada actor. La Figura 4.4 muestra una representación del modelo de interacción de los diferentes actores en el proceso del diseño de producto.

Cuando la Necesidad Social es el referente para la interacción de los actores (Universidad, Empresa Consolidada, Empresa de base tecnológica, Estado y Usuario) se potencia el trabajo conjunto y se fortalecen sus propias funciones sin que riñan con sus objetivos. Así, la Universidad puede potenciar su trabajo investigativo y el trabajo interdisciplinar. Esto permite la consolidación de su fortaleza en conocimiento y su presencia en todo el proceso del diseño del producto; la empresa consolidada puede ampliar su visión de mercado, mantener su vigencia empresarial y mejorar su capacidad de absorción [Fontana et al., 2006]; la empresa de base tecnológica puede identificar y trabajar en nuevas alternativas potenciales de negocio e identificar nuevas oportunidades de aplicación de conocimiento; el Estado, como un elemento promotor de estas alianzas, puede fortalecer sus funciones constitucionales frente a la sociedad; por último, el Usuario, se vuelve protagonista de esta estrategia porque su necesidad es analizada en una forma sistémica y ya no es meramente un asunto de análisis de mercado. Una ventaja adicional, para las empresas es que podría servir para generar innovaciones radicales [Freeman, 1995] que le permiten ir más allá de la tradición de trabajo empresarial.

El Diseño Axiomático será el eje de relación de los diferentes actores, con una modificación frente a la propuesta clásica propuesta por Suh [Suh, 1990] que se muestra en la figura 4.5. En dicha propuesta también se encuentra la Necesidad Social pero como un elemento interno dentro del Mercado desde una visión empresarial. Adicionalmente, se preferencia a un solo diseñador y la propuesta es básicamente funcional con los demás requerimientos del producto agrupados en las restricciones del producto. Por último, el Contenido de Información es dependiente exclusivamente de

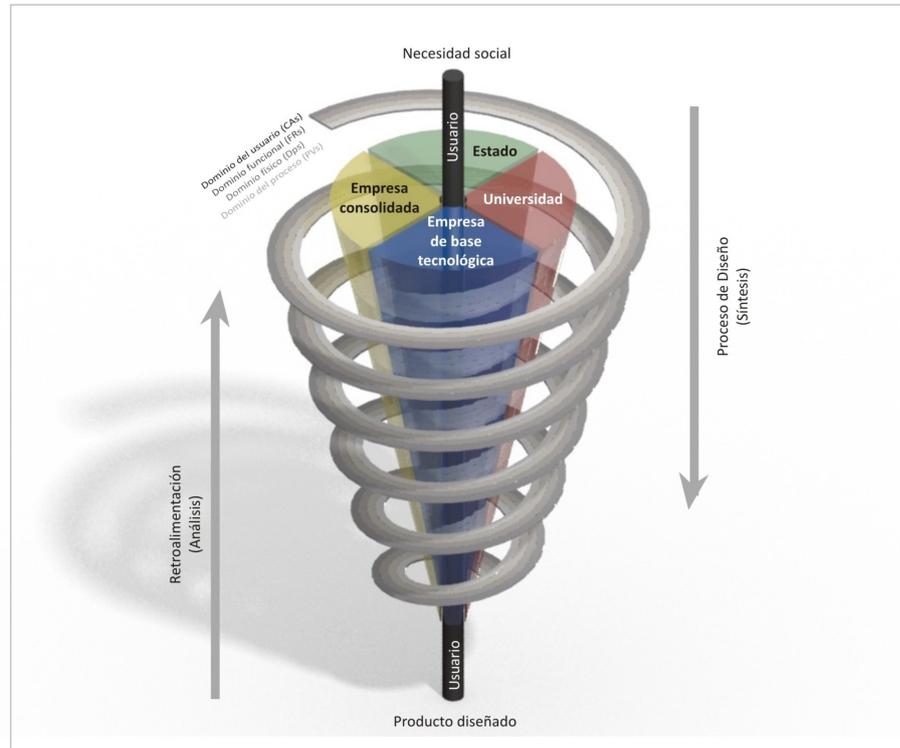


Figura 4.4: Característica del modelo ampliado de diseño con equipos multidisciplinares utilizando el Diseño Axiomático. (Fuente: Elaboración propia)

los Requerimientos Funcionales.

El modelo que se propone, mostrado en la Figura 4.6, es una ampliación de la propuesta clásica del Diseño Axiomático. Una de las primeras diferencias es que la Necesidad Social, que la posee el Usuario, es una situación global dominante que debe verse desde múltiples puntos de vista, incluido el mercado. En este sentido, todos los actores que se han involucrado en el modelo, analizan la situación desde sus diferentes puntos de vista conformando el equipo de diseño. El equipo de diseño lo conforman el Usuario, la Universidad, con sus múltiples disciplinas incluyendo el Diseño Industrial y la Ingeniería, la Empresa consolidada y la joven Empresa de base tecnológica. Otro aspecto de diferencia es la presencia de TRIZ para el proceso de formulación de los requerimientos del producto y, finalmente, el uso de la Función de Agregación y el análisis multicriterio, para el cálculo del Contenido de Información para los requeri-

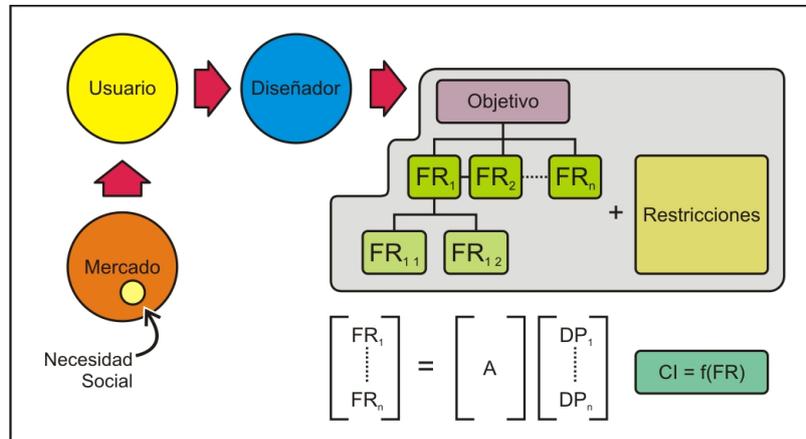


Figura 4.5: Esquema general de la propuesta original del Diseño Axiomático (Fuente: Elaboración propia)

mientos cualitativos del producto.

De esta forma, en el modelo propuesto, la Ecuación de Diseño del Diseño Axiomático se amplía. En este caso, se proponen en forma explícita los Requerimientos no Funcionales del producto para que sean manipulados intencionalmente en el proceso de diseño. En este sentido, los Requerimientos no Funcionales (NFRs) se vuelven parte de la Ecuación de Diseño y tienen asociados Parámetros de Diseño como los tienen los Requerimientos funcionales (FRs). Por último, se amplía la medida del Contenido de Información a través de la función Opinión General y Deseo, la cual se valora con una función de Agregación utilizando la lógica Fuzzy. La Función de Agregación es una medida de la entropía del sistema como lo es el Contenido de Información en los Requerimientos Funcionales de tal forma que puede adicionarse para medir la calidad del producto.

En el modelo planteado, algunas de las características que se sugieren para el equipo de diseño, de acuerdo a los actores involucrados son las siguientes: el Estado puede participar dentro del equipo de diseño con personas expertas en la necesidad social o sólo se vincula como un soporte económico para este tipo de alianzas. El Usuario puede ser una persona o un conjunto de personas seleccionadas a partir de un trabajo de segmentación a través de un estudio basado en la necesidad. Se pueden agrupar, por ejemplo, según su estrato económico, ubicación geográfica, intereses comunes y otros. La Empresa consolidada se vincula con personas del área de mercadeo, diseño e ingeniería de producción. La Empresa de base tecnológica participa con personas

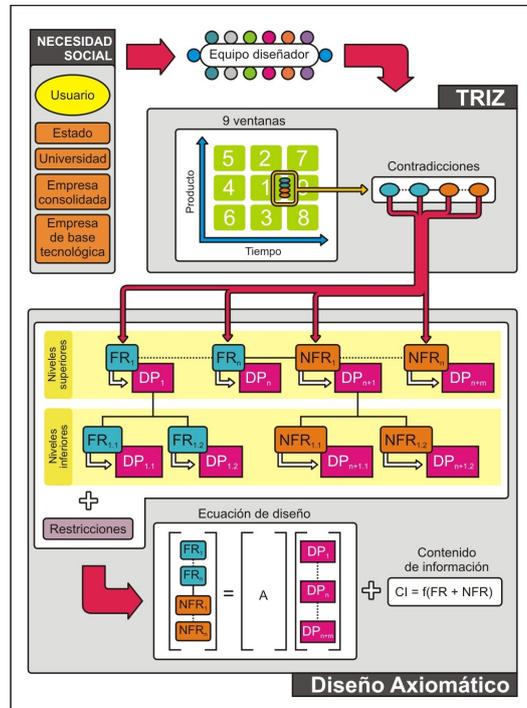


Figura 4.6: Modelo general para el diseño de producto con el modelo ampliado del Diseño Axiomático (Fuente: Elaboración propia)

afines con la necesidad identificada y la Universidad se vincula con profesionales de diferentes disciplinas, técnicas y no técnicas con incidencia en la necesidad (se sugiere la presencia permanente de la ingeniería y el Diseño industrial). Con este equipo de proyecto, la situación del diseño del producto, tomando como referencia la propuesta original de Suh, se muestra en la Figura 4.7.

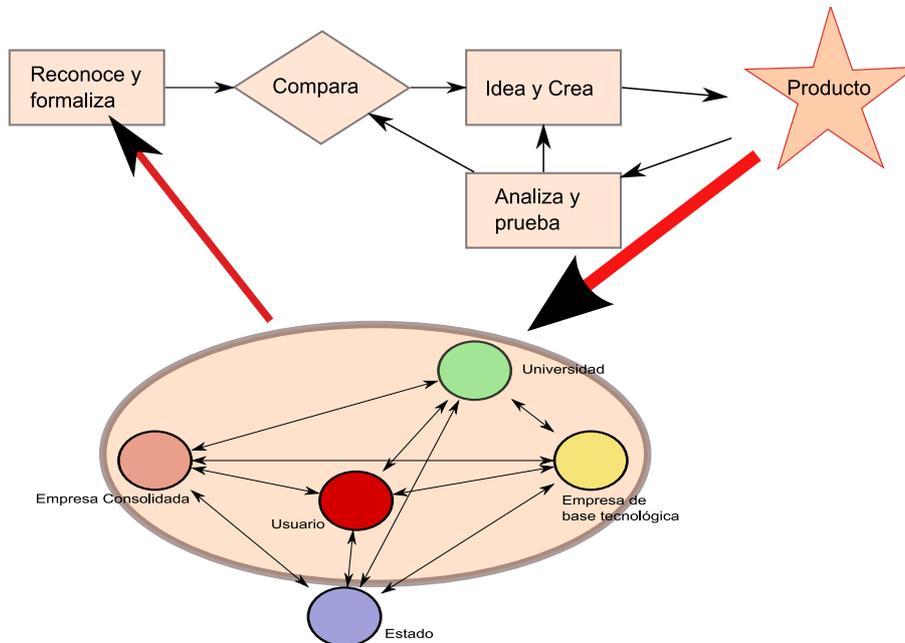


Figura 4.7: Modelo de diseño de producto con participación multidisciplinaria. (Fuente: Elaboración propia)

4.4. Método de trabajo del equipo multidisciplinaria para el diseño de producto con el modelo ampliado del Diseño Axiomático

En el modelo propuesto, se parte de un punto de convergencia que es la Necesidad Social; se conforma un equipo de diseño con la participación de cinco actores: Universidad, Estado, Empresa consolidada, joven Empresa de base tecnológica y Usuario; se involucran en la Ecuación de Diseño los Requerimientos Cualitativos o no Funcionales; se utiliza TRIZ tanto para el análisis como para la generación de ideas junto con brainstorming; y finalmente, se calcula el Contenido de Información como la suma del propio Contenido de Información aplicado a los Requerimientos Funcionales, mas el resultado de la Función de Agregación de los Requerimientos no Funcionales.

Para el diseño conceptual del producto, con el equipo multidisciplinaria y multi-organizacional, se sugiere un método de trabajo con las siguientes etapas:

CAPÍTULO 4. PROPUESTA DE UN MODELO AMPLIADO DEL DISEÑO ...

1. Identificar la Necesidad Social que requiera del diseño de producto para su atención.
2. Conformar el equipo multidisciplinar del diseño de producto.
3. Acotar los alcances del diseño con la participación del equipo multidisciplinar en torno a la Necesidad Social.
4. Capacitar al equipo de diseño sobre los conceptos fundamentales del Diseño Axiomático y TRIZ.
5. Indagar al usuario en torno a la Necesidad Social.
6. Analizar productos comerciales y patentes en torno a la Necesidad Social.
7. Analizar el problema en forma sistémica utilizando la técnica de las nueve ventanas de TRIZ.
8. Elaborar un listado general de requerimientos del producto.
9. Plantear en forma colectiva los Requerimientos Funcionales de primer nivel dentro del Diseño Axiomático.
10. Determinar los rangos de diseño para los Requerimientos Funcionales.
11. Plantear en forma colectiva los Requerimientos no Funcionales del producto.
12. Determinar el *Rango de Diseño* de los Requerimientos no Funcionales.
13. Plantear restricciones del diseño para los Requerimientos Funcionales y no Funcionales.
14. Proponer los Parámetros de Diseño y escribir la ecuación de Diseño.
15. Calcular el Contenido de Información de los Requerimientos Funcionales en cada nivel de la jerarquía
16. Calcular la Función de Agregación de los Requerimientos no Funcionales con base en las funciones de Opinión General y Deseo.
17. Cálculo del Contenido de Información Total del diseño.
18. Evaluar los diseños propuestos con el equipo de diseño y otros usuarios.
19. Repetir el proceso
20. Materialización y documentación

Cada una de las etapas mencionadas se describen a continuación:

1. Identificar la necesidad social que requiera del diseño de producto para su atención. Para esta acción se necesita la participación de un equipo gestor de proyectos donde que tenga cabida la Empresa, la Universidad y el Estado; En general, estos son organismos facilitadores de las relaciones Universidad-Estado-Empresa como las OTRI (Oficinas de Transferencia de Resultados de Investigación). Las propuestas de necesidades sociales, para el trabajo de diseño de producto, pueden provenir de las políticas del Estado, la necesidad del mercado o intereses de investigación universitario, de esta forma no solo el mercado es el elemento que guía el trabajo del equipo.
2. Conformar el equipo de proyecto de diseño de producto. El equipo debe ser de naturaleza multidisciplinar, compuesto por ingenieros de diferentes disciplinas (de la Universidad y la Empresa), de profesionales de áreas empresariales como diseño, producción y mercadeo; Diseñadores Industriales y profesionales de disciplinas asociadas a la necesidad (de las Humanidades y Ciencias Sociales de la Universidad). El equipo debe ser coordinado por un profesional que conozca del Diseño Axiomático y técnicas de creatividad, con especial conocimiento de TRIZ. Las personas que conforman el equipo deben ser preferiblemente de tipología de personalidad diferente. Se sugiere aplicar el test de personalidad de Myers-Briggs. Con el test de Myers-Briggs, se deben preferir equipos con tipologías diferentes (ver experimentos del siguiente capítulo). Por último, se debe procurar la participación conjunta de profesionales con experiencia junto con profesionales sin experiencia. Puede existir un equipo de soporte con jóvenes de último año de carrera.
3. Acotar los alcances del diseño con la participación del equipo multidisciplinar en torno a la Necesidad Social. Utilizar clasificaciones estándares de producto como referencia, generar en forma conjunta criterios de decisión y alternativas de áreas de trabajo para el diseño de producto. Para la toma de decisiones en los niveles superiores del diseño, asociados más a la necesidad que al producto específico, se sugiere utilizar las técnicas de decisión como AHP o ANP [Saaty, 1994].
4. Capacitar al equipo de diseño sobre los conceptos fundamentales del Diseño Axiomático y TRIZ. Dada la diversidad de profesiones se sugiere una capacitación que fortalezca el aspecto conceptual. Desde el Diseño Axiomático, se debe buscar el entendimiento en la definición de los axiomas y de los cuatro dominios de la propuesta. En cuanto a TRIZ, se debe hacer especial énfasis en las técnicas para vencer la inercia psicológica (particularmente válido para los ingenieros), las leyes de evolución y el manejo de la matriz de contradicciones.
5. Indagar al usuario en torno a la Necesidad Social. Esta actividad corresponde al trabajo en el Dominio de Usuario del modelo del Diseño Axiomático, en lo que se conoce como los atributos del cliente. En lo posible debe elaborarse un

estudio de caracterización de la población y su relación con productos actuales existentes en el mercado que contribuyan a superar la Necesidad Social. Para el estudio se puede utilizar las encuestas, los grupos focales y las entrevistas. En la elaboración de la encuesta debe participar la mayoría de los integrantes del equipo proyectual. La ventaja de esta participación es volver protagonista a los profesionales que no son de ingeniería en el proceso de desarrollo técnico del producto y a los ingenieros para que entiendan el problema desde el nivel superior de conceptualización del problema de diseño.

6. Analizar productos comerciales y patentes en torno a la Necesidad Social. Esta labor incluye las siguientes actividades:
 - Clasificación de los productos, si existe una norma, hacerla con base en ella.
 - Elaboración de diagramas jerárquicos funcionales del Diseño Axiomático para los equipos existentes en el mercado, al menos para el nivel superior.
 - Elaboración de diagramas del estado de las leyes de evolución de los sistemas técnicos de TRIZ, para definir la situación actual de los productos [Cavallucci, 2002].
 - Revisión de patentes asociadas con los productos. Cada patente debe estar asociada con la función del modelo jerárquico planteado.
 - Evaluación preliminar de los productos existentes con base en el cumplimiento del primer Axioma de los productos comerciales y de las leyes de evolución tecnológica.
7. Analizar el problema en forma sistémica utilizando la técnica de las nueve ventanas de TRIZ. Para diligenciar las nueve ventanas, en una forma organizada aprovechando de mejor forma las disciplinas, se sugiere utilizar las propiedades de un Sistema Técnico dadas por Hubka-Eder [Hubka and Eder, 1988] y que se muestra en la Figura 4.8. Estas propiedades son: 1. Funcionales, 2. Determinadas funcionalmente, 3. Operacionales, 4. de Manufactura, 5. de Distribución, 6. de Entrega y planeación, 7. de Liquidación y medio ambiente, 8. Ergonómicas, 9. Estéticas, 10. Legales y de conformación, 11. Económicas e 12. Internas. Las disciplinas son afines a ciertas propiedades de las mencionadas, por ejemplo el Diseño Industrial con las propiedades: 1, 3, 5, 7, 9 y 12; La ingeniería en general con las propiedades: 1,2,8 y 12. Los insumos para las nueve ventanas, tanto para el presente como para el pasado, son los resultados previos de análisis de la problemática descritos previamente. Para las ventanas del futuro, se sugiere que se utilice la técnica de Brainstorming para formular el escenario hipotético y las expectativas planteadas por los usuarios en los procesos de indagación.
8. Elaborar un listado general de requerimientos del producto. Los requerimientos se hacen a partir de las contradicciones identificadas con el análisis de la transición del presente al futuro en nivel de sistema de las nueve ventanas. También

CAPÍTULO 4. PROPUESTA DE UN MODELO AMPLIADO DEL DISEÑO ...



Figura 4.8: Propiedades de un Sistema técnico con base en el modelo de Hubka y Eder (Fuente: [Hubka and Eder, 1988])

se generan por los resultados del estado de la evolución técnica del sistema, del análisis general del problema y del uso de técnicas de indagación de la competencia de productos como puede ser QFD.

9. Plantear en forma colectiva los Requerimientos Funcionales de primer nivel dentro del Diseño Axiomático. Los Requerimientos Funcionales se derivan del listado elaborado en el punto anterior. El Requerimiento Funcional es aquel que se enuncia en forma de acción y se puede asignar un rango de diseño asociado con variables físicas. Se sugiere seguir los corolarios o reglas de diseño propuestas por Suh que fueron indicadas en el segundo capítulo. Cuando se utilice la técnica QFD, esta debe ser tomada con precaución puesto que al estar relacionada con productos existentes, su uso favorece la mejora de un producto [Suh, 2001], que en términos de innovación se conoce como una innovación incremental, pero no contribuye a las innovaciones radicales.
10. Determinar los rangos de diseño para los Requerimientos Funcionales. El rango de diseño corresponde a los límites de la Función que se ha enunciado en los Requerimientos Funcionales. Se sugieren amplios rangos de diseño para minimizar el Contenido de Información en el momento que se seleccionen los Parámetros

de Diseño.

11. Plantear en forma colectiva los Requerimientos no Funcionales del producto. En este conjunto se encuentran los Requerimientos asociados con uso, forma, seguridad, ergonomía y estética, u otras variaciones de acuerdo a las decisiones del equipo de diseño. Los Requerimientos no Funcionales, se declaran en forma lingüística, como podría ser: **Permitir la manipulación intuitiva de las partes.**
En ocasiones, es posible asociar características funcionales a ciertos atributos del producto, para convertirlos, ya sea en Requerimientos Funcionales o en parte del Rango de Diseño de un Requerimiento Funcional. Por ejemplo, si los usuarios alrededor de la necesidad de un sistema de apoyo dicen que buscan que el producto sea seguro. Este atributo, seguro, puede ser planteado en forma verbal como SOPORTAR (tener rigidez), ESTABILIZAR (garantizar equilibrio) y de esta forma puede tomarse como un Requerimiento Funcional.
12. Determinar el *Rango de Diseño* de los Requerimientos no Funcionales. El rango de diseño no funcional, se estima a través de un cuantificador y un modificador, que también son de característica lingüística. Por ejemplo, los cuantificadores (que los elige el equipo de diseño) pueden ser: *escasamente, poco, suficiente, muy y totalmente*; y los modificadores (o índices) pueden ser: *nada, al menos, a lo más y mas o menos*. Continuando con el ejemplo, el Rango del Diseño para el Requerimiento no Funcional, permitir la manipulación intuitiva de las partes, podría ser “al menos muy” intuitivo. En otras palabras, el deseo es “*permitir al menos una manipulación muy intuitiva de las partes*”.
13. Plantear restricciones del diseño para los Requerimientos Funcionales y no Funcionales. Estas son las fronteras de los Requerimientos Funcionales como se declara en el Diseño Axiomático.
14. Proponer los Parámetros de Diseño y escribir la ecuación de Diseño. Determinar los Parámetros de Diseño para el primer nivel de la jerarquía, tanto para los Requerimientos Funcionales como para los Requerimientos no Funcionales. A partir de los Parámetros de Diseño, determinar los Requerimientos Funcionales de bajo nivel y continuar con el proceso de zigzag. Para los Requerimientos Funcionales que surgieron de las contradicciones encontradas en el análisis de las nueve ventanas (transición presente-futuro a nivel sistema), generar los Parámetros de Diseño usando la matriz de contradicciones para las contradicciones técnicas o las sugerencias para resolver contradicciones físicas. Verificar frecuentemente el cumplimiento del Axioma de Independencia. Utilizar bocetos para la representación de las ideas, y en lo posible imágenes en tres dimensiones elaboradas por ordenador para el proceso de comunicación con el usuario y el equipo de diseño.

15. Calcular el Contenido de Información de los Requerimientos Funcionales en cada nivel de la jerarquía. El Contenido de información para un Requerimiento Funcional se calcula con la expresión que se muestra en la Ecuación (4.1).

$$Informacion = I = \log_2(1/p) \quad (4.1)$$

Para el caso de n Requerimientos Funcionales, se utilizan las ecuaciones (4.2) y (4.3).

$$I_{sys} = -\log_2 P_{\{n\}} \quad (4.2)$$

donde $P_{\{n\}}$ es la probabilidad conjunta que todos los n FRs estén satisfechos. Cuando los FRs son independientemente satisfechos, la ecuación anterior debe ser escrita como:

$$I = -\sum_{i=1}^n \log_2 P_i \quad (4.3)$$

donde P_i es la probabilidad del Rango del Sistema de FR_i estando dentro del Rango del Diseño para el FR.

Para el cálculo del Contenido de Información se requiere del planteamiento de la función de densidad de probabilidad del Rango de Diseño y del Rango del Sistema. La función de densidad de probabilidad, para el Rango de Diseño, es un estimativo con base en el deseo del diseño; se sugiere que tenga una amplia tolerancia; La función de densidad de probabilidad para el Rango del Sistema, depende de las características de comportamiento de los Parámetros de Diseño, seleccionados para satisfacer los Requerimientos Funcionales.

16. Calcular la Función de Agregación de los Requerimientos no Funcionales con base en las funciones de Opinión General y Deseo. La Función de Agregación se calcula a partir de dos funciones, la Función de la Opinión General (o granularidad) y la Función del Deseo. La Función de Opinión General se mide con los conceptos ponderados del equipo de diseño. La ponderación de los expertos se hace a través de una comparación pareada sobre el nivel de importancia de las disciplinas, utilizando el proceso de análisis jerárquico AHP. El cálculo de la función de agregación, consiste en la evaluación del cumplimiento de los Parámetros de Diseño, respecto a los Requerimientos no Funcionales. Esto se hace evaluando el nivel de satisfacción de los Parámetros de Diseño con base en el cumplimiento de los cuantificadores, en un rango que va de cero a uno. Continuando con el ejemplo propuesto previamente, para un Parámetro de Diseño, un evaluador puede asignar un valor de 0.6 al cuantificador poco intuitivo y un valor de 1 al cuantificador muy intuitivo. Esto representaría, que

el parámetro analizado para satisfacer el Requerimiento no Funcional “manipulación intuitiva de las partes” es para el evaluador muy intuitivo y significa, a su vez, que se tiene un cumplimiento parcial frente al cuantificador poco intuitivo. La función G se calcula a través de los axiomas de definición local, definición global y definición granular, que fueron presentados en el capítulo anterior y se presentan nuevamente aquí, para propósitos de claridad.

El cálculo de la definición local se muestra en la Ecuación (4.4).

$$\begin{aligned} \pi(p_i) &: [0, 1] \rightarrow [0, 1] \\ TV_i &\mapsto \max \left(\min \left(\left(\frac{TV_i - 0}{0,5 - 0} \right), \left(\frac{1 - TV_i}{1 - 0,5} \right) \right), 0 \right) \\ TV_i &\in \{ \text{ValordeVerdad}(p_i), \text{ValordeVerdadLinguistico}(p_i) \} \end{aligned} \quad (4.4)$$

De acuerdo a la expresión (4.4), para una información definida local $\pi(p_i)=0$, para la información indefinida local $\pi(p_i)=1$ y para la información local parcial definida $\pi(p_i)=(0,1)$. Una información definida significa un cumplimiento total o un incumplimiento total, una indefinida local significa que se desconoce el cumplimiento y la parcial es aquella que está entre las dos mencionadas.

Para la definición global se utiliza la expresión que se indica en la Ecuación (4.5).

$$\begin{aligned} \Pi &: [0, 1]^n \rightarrow [0, 1] \\ ((\pi(p_1), \dots, \pi(p_n))) &\mapsto \sum_{i=1}^n \pi(p_i) \end{aligned} \quad (4.5)$$

La función Π es capaz de medir todos los aspectos del Axioma de definición global. Si la información es global definida, entonces $\Pi = 0$, si la información es global indefinida entonces $\Pi = n$ y si la información es global parcial definida, entonces $\Pi = (0, n)$.

Para la definición granular se utiliza la expresión que se muestra en la Ecuación (4.6)

$$\begin{aligned} G &: [0, 1] \rightarrow [0, 1], \\ (\Pi, n) &\mapsto \frac{\Pi \sum_{i=1}^n \pi(p_i)}{n} \end{aligned} \quad (4.6)$$

De acuerdo a la ecuación (4.6), si la información es global definida (todos los $\pi(p_i) = 0$), entonces $G=0$; si la información es global indefinida (todos los $\pi(p_i) = 1$), entonces $G=1$.

Por último, para la Función de Deseo, se debe haber asignado inicialmente con el usuario el rango de diseño del requerimiento no funcional, como se mostró anteriormente (“*permitir al menos una manipulación muy intuitiva de las partes*”).

El valor de la Función de Deseo se calcula con base en la información aportada por los evaluadores y el deseo establecido por el usuario. Para este propósito se hace uso de la ecuación de deseo con base en el axioma de definición de deseo, presentada en el capítulo anterior, y que se vuelve a presentar en la Ecuación EcuacionDcap3, por claridad.

$$D : [0, 1]^3 \rightarrow [0, 1],$$

$$(TV_s, TV_t, TV_d) \mapsto \max \left(\min \left(\frac{TV_s - TV_d}{TV_s - TV_t}, 1 \right), 0 \right) \quad (4.7)$$

Con la expresión D de la ecuación (4.7), si la información deseada es definida D=0, si es indefinida D=1 y si la información de deseo es parcialmente definida, entonces $D \in (0,1)$.

Por último, la Función de Agregación se calcula a través de la Ecuación (4.8) como se presentó en el capítulo anterior.

$$\chi : [0, 1]^5 \rightarrow [0, 5]$$

$$(\min(G_i), \max(G_i), \min(D_i), \max(D_i), \alpha) \mapsto \min(G_i) + \max(G_i) + \min(D_i) + \max(D_i) + \alpha, \quad (4.8)$$

donde $\alpha = [\max(G_i) - \min(G_i)] \times [\max(D_i) - \min(D_i)]$

En la ecuación (4.8) $(G_i, D_i) \in [0,1] \times [0,1] \forall i \in \{1, \dots, \nu\}$, “ ν ” es el número de criterios. El valor de χ es grande si (G_i, D_i) está alejado del origen y está ampliamente disperso (esto significa que no es coherente) y es pequeño en caso contrario. Lo anterior significa que aquel punto (G, D) , más cerca del origen es el mejor Parámetro de Diseño para satisfacer el Requerimiento no Funcional.

17. Cálculo del Contenido de Información Total del diseño. El Contenido de Información de los Requerimientos Funcionales y la Función de Agregación de las funciones de Opinión General y deseo, representan la entropía del sistema y son adimensionales, lo cual permite que se pueda dar un solo índice de medida, que seguirá llamándose Contenido de Información Total, para los Requerimientos Funcionales y no Funcionales.
18. Evaluar los diseños propuestos con el equipo de diseño y otros usuarios. En este proceso se debe redefinir los Requerimientos Funcionales y no Funcionales para repetir el proceso de diseño como se ha indicado en los pasos anteriores.
19. Repetir el proceso. Tras una primera vuelta del proceso, debe evaluarse, con ayuda de los bocetos, los resultados alcanzados y generar nuevos requerimientos y seguir el proceso indicado. Cuando haya satisfacción con el proceso, se selecciona la alternativa de menor Contenido de Información.

20. Materialización y documentación. Este proceso involucra planos y manufactura del producto.

El seguimiento de las actividades que han sido mencionadas no son estrictas, puesto que muchas de ellas se pueden simplificar, dependiendo del tipo de diseño.

4.5. Conclusiones del capítulo

En este capítulo se ha mostrado un modelo ampliado del Diseño Axiomático para el trabajo de diseño de productos con equipos multidisciplinares. Se ha comenzado, la descripción del modelo, analizando la estructura de la gestión de la innovación para el desarrollo de producto. Se ha sugerido una composición del equipo de diseño con la participación de los siguientes actores: Universidad, Empresa Consolidada, Empresa de base tecnológica, Usuario y Estado. El punto de convergencia de este grupo, dados los diferentes objetivos institucionales, es a través del la Necesidad Social que está asociada con el usuario. Cada uno de los actores tiene unos intereses de acuerdo a sus objetivos institucionales para observar y trabajar con la Necesidad Social, lo cual es una condición favorable para evitar el sesgo tradicional del mercado. Adicionalmente, desde la solución de problemas, este trabajo multidisciplinaria amplía la visión del producto, aumenta el número de restricciones y limita el campo de búsqueda de soluciones. Se prevé los nuevos productos generados desde este trabajo estén dentro de las innovaciones radicales.

Puesto que el diseño de producto requiere del proceso creativo y del proceso analítico, se ha sugerido utilizar la Teoría de las Soluciones Inventivas, TRIZ, para el soporte de la fase creativa. En este proceso, se sugiere el uso de un conjunto de técnicas como las Nueve Ventanas, el análisis de evolución de los sistemas técnicos y los métodos para resolver contradicciones físicas. También se sugiere utilizar brainstorming en forma sinérgica con TRIZ en el análisis con las Nueve Ventanas.

El modelo ampliado del Diseño Axiomático, que se ha propuesto en este capítulo de la tesis, añade ciertas características, ausentes en la propuesta original de Suh [Suh, 1990]. Estas son: propone un equipo de diseño multidisciplinar contrario al monodiseñador de la propuesta original, con un punto de encuentro superior al mercado; considera intencionalmente los Requerimientos no Funcionales del producto, que estaban agrupados en las restricciones dentro de la propuesta original del Diseño Axiomático; Involucra una forma alterna para el cálculo del Contenido de Información para este tipo los Requerimientos no Funcionales, que no existía en la propuesta original del Diseño Axiomático, que puede adicionarse al Contenido de Información

de los Requerimientos Funcionales.

Se han involucrado la lógica fuzzy, a través del modelo de Opinión General y Deseo [Ullah, 2004, Ullah, 2005], tanto para el planteamiento estructurado de los Requerimientos no Funcionales, de característica lingüística, como para la medida de su satisfacción. Para la medida se ha utilizado la Función de Agregación con base en las Funciones de Opinión General y Deseo, las cuales están asociadas con la entropía del sistema, del mismo modo que el Contenido de Información.

Se ha propuesto un conjunto de actividades para la aplicación del modelo ampliado del Diseño Axiomático con equipos multidisciplinares, el cual fue aplicado en un experimento en el siguiente capítulo.

Parte del contenido expuesto en este capítulo ha sido publicado en:

- Aguilar-Zambrano, J., Aguilar-Zambrano, J., and González-Cruz, M. (2009). Un modelo de convergencia empresa-usuario-universidad a partir de un modelo ampliado del diseño axiomático. Proceedings de ALTEC, Colombia pp. 75.
- Aguilar-Zambrano, J. and González-Cruz, M. (2009). Equipos multidisciplinares de diseño de producto con el Diseño Axiomático. Resúmenes XIII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, Badajoz (Spain).

Capítulo 5

Aplicación experimental del modelo ampliado del Diseño Axiomático

En la tesis se ha propuesto un objetivo general, seis objetivos específicos y tres hipótesis, que por comodidad de lectura se presentan a continuación:

El objetivo general de la tesis es:

Proponer y aplicar un modelo ampliado del Diseño Axiomático que permita involucrar los requerimientos cualitativos y perceptuales de un producto a través de un trabajo multidisciplinar.

Los objetivos específicos son:

1. Evaluar la participación multidisciplinar en las metodologías de diseño de productos para involucrarla en el Diseño Axiomático.
2. Proponer y evaluar modelos alternativos para involucrar requerimientos perceptuales y cualitativos del producto dentro de la propuesta del diseño axiomático.
3. Proponer y evaluar métricas alternativas al contenido de información como las lógicas paraformales y las técnicas multicriterio, para evaluar la calidad del diseño de un producto.
4. Contrastar la efectividad de la estrategia de creatividad sistemática TRIZ, con

otras estrategias, para desacoplar un diseño planteado según el Diseño Axiomático.

5. Evaluar y utilizar estrategias como QFD para determinar requerimientos del producto para afianzar la asociación del Dominio del Usuario y Funcional del Diseño Axiomático.
6. Evaluar la participación del sector de manufactura en el equipo proyectual para fortalecer el enlace del Dominio Físico y el Dominio del Proceso del Diseño Axiomático.

Las hipótesis planteadas son:

1. En el diseño de productos se puede plantear de forma alternativa, bajo la estructura del diseño axiomático, un conjunto de requerimientos cualitativos y perceptuales del producto con la participación de un equipo de proyecto multidisciplinar.
2. Se puede plantear una métrica para evaluar el Contenido de Información en el diseño de un producto para Requerimientos perceptuales y cualitativos bajo una visión multidisciplinar del producto.
3. La estrategia de creatividad TRIZ es la más apropiada para desacoplar sistemas bajo el modelo del diseño axiomático.

En el capítulo anterior se ha propuesto el modelo de actuación multidisciplinar con el soporte del Diseño Axiomático, TRIZ, la lógica difusa y la técnica de análisis multicriterio AHP. Este modelo está asociado con las dos primeras hipótesis, el objetivo general de la tesis y el tercer objetivo específico.

La fase experimental de la tesis está asociada con la validación del objetivo general del proyecto y con el cumplimiento de los objetivos específicos como se indica más adelante. El proceso de desarrollo de la tesis ha dado la oportunidad de considerar otros objetivos e hipótesis que se comentan en la descripción de los experimentos.

La parte experimental se ha dividido en dos partes, la primera es la evaluación del proceso creativo con equipos multidisciplinarios que consta de tres experimentos. La segunda es el proceso de diseño de productos que consta, por una parte de un experimento para la toma de decisiones colectivas en el diseño y por otra parte de un proyecto de diseño de productos con equipos multidisciplinarios para validar el modelo

propuesto en la tesis.

Experimentos para la fase creativa

1. Fase creativa

- Primer experimento: la estrategia sistemática de creatividad TRIZ con equipos multidisciplinares de diseño de producto. Este experimento está asociado con el primer objetivo específico de la evaluación del aspecto de participación multidisciplinar en las metodologías del desarrollo de producto para involucrarlo en el Diseño Axiomático
- Segundo experimento: evaluación del proceso creativo utilizando TRIZ con equipos multidisciplinares agrupados según diferentes tipologías utilizando el test de Myers-Briggs. Este experimento surge del análisis de la literatura y los resultados obtenidos en el experimento previo soportando el primer objetivo específico.
- Tercer experimento: evaluación de la estrategia de creatividad TRIZ con otras estrategias de generación de ideas en equipos multidisciplinares. Este experimento está asociado con el cuarto objetivo de contrastar la efectividad de la estrategia de creatividad TRIZ con otras estrategias de creatividad para desacoplar diseños en el modelo del Diseño Axiomático.

2. Fase creativa y analítica

- Cuarto experimento: selección de una familia de productos para personas en situación de discapacidad que favorezca la inclusión social con la participación de un equipo multidisciplinar. Este experimento está asociado parcialmente con el tercer objetivo para validar la importancia de utilizar estrategias de juicio más amplias tanto para la selección de tipos de productos como para evaluación de la síntesis.
- Quinto experimento: diseño conceptual de un producto utilizando un modelo ampliado del diseño axiomático. Este experimento está asociado con el objetivo general y las tres hipótesis planteadas.

Se presentan tres experimentos realizados para el análisis de la fase creativa del proceso de diseño. Los tres experimentos parten de una misma enunciación del problema de diseño. El primer experimento corresponde al análisis del proceso y producto creativo con equipos multidisciplinares, ingenieros y diseñadores industriales, aplicando TRIZ. El segundo experimento evalúa también el proceso y producto creativo pero los equipos de trabajo fueron organizados con diferentes tipos de personalidad utilizando el test de Myers-Briggs. El tercer experimento es el análisis del proceso y producto creativo utilizando tres diferentes aproximaciones: TRIZ, brainstorming y ninguna técnica de ayuda a la creatividad.

5.1. Primer experimento: La estrategia sistemática de creatividad TRIZ con equipos multidisciplinares de diseño de producto

Se realizó un experimento de laboratorio, con dos procesos secuenciales para evaluar el Proceso Creativo y el Producto Creativo, en equipos multidisciplinares, utilizando la estrategia de creatividad sistemática, TRIZ. En el primer proceso participaron estudiantes de último curso de carrera de ingeniería, de diversas especialidades, y de Diseño Industrial, a partir del cual, se evaluó el Proceso Creativo. En el segundo, para la evaluación del Producto Creativo, participó un grupo de expertos, formado por un usuario, y profesionales de Ingeniería y de Diseño Industrial. Para conformar el grupo de trabajo se realizó una convocatoria entre los estudiantes que habían ya iniciado su Proyecto Final de Carrera, interesados en una experiencia multidisciplinar con una herramienta de creatividad sistemática (TRIZ). Se conformó un grupo de 16 estudiantes.

El objetivo de este primer experimento fue analizar el comportamiento de los equipos multidisciplinares frente a los equipos monodisciplinares en el proceso de ideación desde el análisis del problema con la técnica de las nueve ventanas de TRIZ, verificar la incidencia de la profesión de los participantes y los evaluadores en la valoración de las alternativas, analizar la aceptación al uso de técnicas sistemáticas de ideación y analizar si la sola participación multidisciplinar favorece el proceso y el producto creativo.

5.1.1. Proceso para evaluación del proceso creativo en el primer experimento

Las actividades llevadas a cabo para la evaluación del Proceso Creativo se muestran en la Figura 5.1. El Proceso Creativo se mide a través de la variable Variedad que es la medida del espacio de exploración durante la generación de ideas [Shah et al., 2003a].

La primera etapa, *Capacitación con TRIZ*, tuvo una duración de 12 horas, y se estructuró en cuatro sesiones. La capacitación se centró en los fundamentos de TRIZ, los principios inventivos, el uso de las nueve ventanas y la matriz de contradicciones. Las razones por las cuales los estudiantes deberían estar en último curso son dos: la

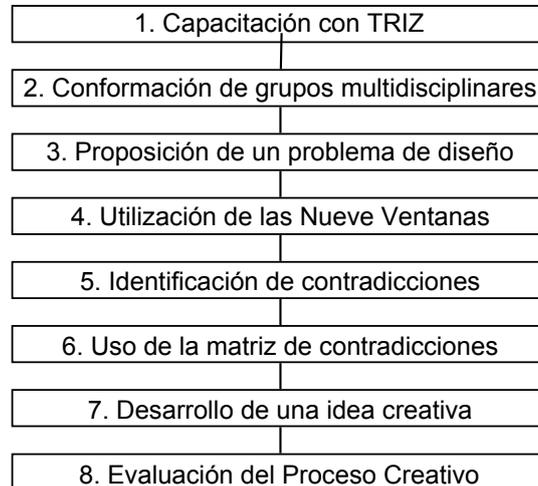


Figura 5.1: Método seguido en el primer experimento de creatividad con equipos multidisciplinarios utilizando TRIZ. (Fuente: Elaboración propia)

primera, el mayor conocimiento de la profesión, respecto a otros estudiantes de cursos inferiores, lo cual favorece la interpretación y uso de los principios inventivos de TRIZ; y la segunda, su madurez, que garantiza cierta agilidad en el proceso de instrucción.

La segunda etapa, *conformación de grupos multidisciplinarios*, consistió en organizar a los estudiantes en 4 grupos de trabajo, todos multidisciplinarios, excepto uno de ellos. Las características de los grupos de trabajo, se detalla en el Cuadro 5.1.

La tercera etapa, *proposición de un problema de diseño*, consistió en la entrega de un mismo problema de diseño para los cuatro grupos participantes. El enunciado del problema se presenta en el Apéndice A. Este experimento correspondió al tercer taller del curso de capacitación en TRIZ. El problema, en forma general, consiste en diseñar una mesa para trabajar tanto de pie como sentado en un ambiente de oficina.

La cuarta etapa, *utilización de las nueve ventanas*, consistió en el trabajo de los equipos utilizando el multi-screen de acuerdo con la metodología que se había presentado en la fase de instrucción.

La quinta etapa, *identificación de contradicciones*, la realizó cada grupo de trabajo a partir del análisis con las nueve ventanas.

Equipo	Número de personas	Disciplinas
Equipo de trabajo 1	4 (Sólo Ingeniería)	Ingeniería Electrónica (3) Ingeniería Mecatrónica (1)
Equipo de trabajo 2	5 (Multidisciplinar)	Diseño Industrial (2), Ingeniería Electrónica (1), Ingeniería de Sistemas (1), Ingeniería Industrial (1)
Equipo de trabajo 3	4 (Multidisciplinar)	Ingeniería Industrial (1), Ingeniería Mecatrónica (1), Ingeniería de Sistemas (1), Diseño Industrial (1)
Equipo de trabajo 4	3 (Multidisciplinar)	Ingeniería Industrial (1), Diseño Industrial (1), Ingeniería Electrónica (1)

Cuadro 5.1: Conformación de equipos de trabajo multidisciplinarios para el primer experimento de ideación con equipos multidisciplinarios utilizando TRIZ. (Fuente: Elaboración propia)

La sexta etapa, *uso de la matriz de contradicciones*, consistió en el trabajo realizado por cada equipo para reconocer los principios inventivos sugeridos por TRIZ, y plantear alternativas de solución al problema.

La séptima etapa, *desarrollo de una idea creativa*, consistió en seleccionar una idea entre las alternativas generadas en la etapa anterior. Cada equipo plasmó en un boceto la idea de producto que solucionaba el problema planteado.

La octava etapa, *evaluación del Proceso creativo*, se realizó a través de la Variedad, que es la medida del espacio de exploración durante la generación de ideas [Shah et al., 2003a]. Con base en este concepto, se propone la ecuación (5.1) para medir la Variedad en el experimento, donde n es el número de contradicciones identificadas en el análisis del problema. El número de contradicciones identificadas es un indicador de la amplitud del campo de búsqueda de soluciones. El número de principios utilizados por cada contradicción es un elemento de control del adecuado uso de la estrategia TRIZ, puesto que la solución debería concebirse con uno sólo de los principios inventivos de solución, para cada una de las contradicciones.

$$Variedad = \sum_{i=1}^n \frac{1}{numero\ principios\ contradiccion_i} \quad (5.1)$$

5.1.2. Proceso para evaluación del producto creativo en el primer experimento

Las actividades seguidas para el segundo proceso se muestran en la Figura 5.2. Los bocetos de las ideas generadas en el primer proceso, son los elementos a evaluar mediante las variables Novedad y Calidad, utilizando la técnica de análisis multicriterio, AHP. La Novedad es la medida de lo no usual o inesperado de la idea propuesta y la Calidad es la medida de qué tan cerca está la solución de lograr las especificaciones del diseño [Shah et al., 2003a].

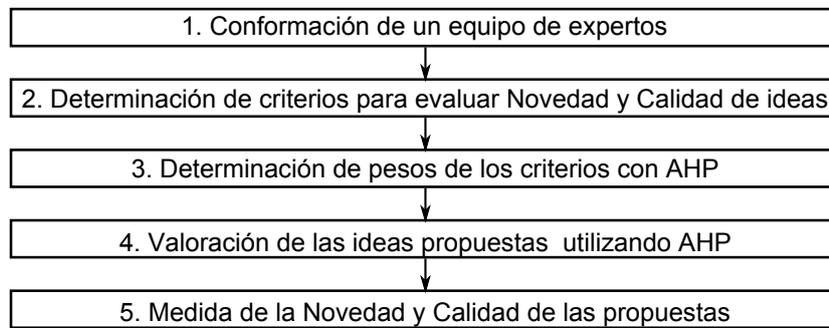


Figura 5.2: Método seguido para el trabajo con el panel de expertos en el primer experimento de ideación con TRIZ. (Fuente: Elaboración propia)

La primera etapa, Conformación de un equipo de expertos, consistió en invitar a participar en el proceso, a un conjunto de profesionales. Se utiliza el término expertos para asociarlo básicamente con la experiencia profesional. Los integrantes del equipo de expertos fueron dos Ingenieros: una Ingeniera Industrial y un Ingeniero Eléctrico, dos Diseñadoras Industriales y una usuaria que trabaja en una oficina de diseño para productos cerámicos.

La segunda etapa, Determinación de los criterios para evaluar la Novedad y la Calidad de las ideas, se realizó a partir de los modelos jerárquicos de cada una de las variables (Figura 5.3 y Figura 5.4). Para la Novedad, se definieron cuatro criterios: El sistema de movimiento de la mesa (subdividido en uso de nuevas tecnologías y bajo consumo de energía), la facilidad de manejo, la superficie de trabajo y su adecuación para oficinas. Básicamente, el modelo jerárquico definido responde a la descomposición de las características principales del problema (Shah et al 2003). Para la Calidad se definieron los criterios: superficie de trabajo, seguridad de operación, facilidad de instalación y la orientación a mobiliario de oficinas, que son características asociadas a las especificaciones del diseño y de interés en el ámbito de la ingeniería (Shah et al 2003).

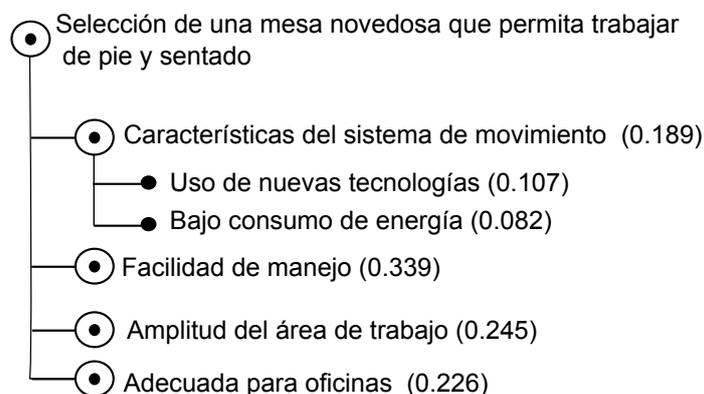


Figura 5.3: Diagrama jerárquico AHP para determinar la Novedad de las ideas para el primer experimento con equipos multidisciplinares utilizando TRIZ. (Fuente: Elaboración propia)

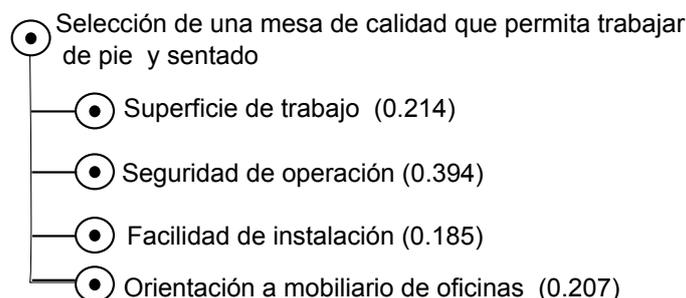


Figura 5.4: Diagrama jerárquico AHP para determinar la Calidad de las ideas para el primer experimento con equipos multidisciplinares utilizando TRIZ. (Fuente: Elaboración propia)

La tercera etapa, Determinación del peso de los criterios, se realizó a partir de aplicación de la técnica de análisis multicriterio, AHP. Cada uno de los expertos realizó una comparación por parejas frente a la importancia relativa de los criterios, posteriormente, se utiliza un proceso de ponderación con los resultados de todos los expertos utilizando la media geométrica, que es la más adecuada para tener en cuenta la decisión en grupo [Saaty, 1994]. Para el proceso de comparación y medida se utilizó el software Expert Choice.

La cuarta etapa, Valoración de las ideas propuestas, se realizó mediante los juicios

de los expertos, utilizando AHP. Esta técnica establece la preferencia de las propuestas (bocetos) a través de comparaciones por parejas. Al igual que en el caso de los criterios, los resultados de la preferencia de las propuestas obtenidas por cada experto se integran con la media geométrica. La quinta etapa, Medida de la Novedad y la Calidad de las propuestas, es el resultado del procesamiento de las matrices de comparación de las dos etapas anteriores.

5.1.3. Resultados obtenidos en el primer experimento

Las contradicciones encontradas y los principios sugeridos para los equipos participantes en el experimento, se muestran en el Cuadro 5.2.

Con base en los resultados obtenidos, del análisis del problema con las nueve ventanas, se calcula la Variedad para cada una de las propuestas. Para este propósito, se utiliza la ecuación (5.1). Los resultados del cálculo de la Variedad se muestran en el Cuadro 5.3.

Para el primer experimento, los bocetos elaborados por los cuatro grupos participantes se muestran en las Figura 5.5.

Para la evaluación del producto creativo, variables Novedad y Calidad, se usó la técnica de análisis multicriterio AHP. Los pesos de cada uno de los criterios de las variables se muestran en la Figura 5.3 para la Novedad y en la Figura 5.4 para la Calidad. La valoración de las alternativas para esas dos variables, se muestran en las Figuras: 5.6 y 5.7.

CAPÍTULO 5. APLICACIÓN EXPERIMENTAL DEL MODELO ...

Grupo	Contradicciones identificadas	Principios sugeridos
Equipo de Trabajo 1	1. Peso del objeto móvil- 13. Estabilidad del objeto 12. Forma- 1. Peso del objeto móvil 35. Adaptabilidad- 19. Gasto energético de objeto móvil	1. Segmentación, 35. Cambio de parámetros (estados físicos), 19. Acción periódica, 39. Atmósfera inerte 8. Contrapesar, 10. Acción previa, 29. Neumática e hidráulica, 40. Utilizar materiales compuestos 19. Acción periódica, 35. Cambio de parámetros (estados físicos), 29. Neumática e hidráulica, 13. Inversión
Equipo de Trabajo 2	5. Area del objeto móvil- 1. Peso del objeto móvil 13. Estabilidad del objeto- 35. Adaptabilidad 1. Peso del objeto móvil- 25. Pérdida de tiempo	2. Separación, 17. Cambio dimensional, 29. Neumática e hidráulica, 4. Asimetría 35. Cambio de parámetros (estados físicos), 30. Membranas flexibles y películas, 34. Rechazar y reponer, 2. Separación 10. Acción previa, 35. Cambio de parámetros (estados físicos), 20. Acción continua, 28. Reemplazar sistemas mecánicos
Equipo de Trabajo 3	36. Complejidad del dispositivo- 32. Manufacturabilidad 34. Reparabilidad- 25. Pérdida de tiempo	27. Objetos desechables, 26. Utilizar copias, 1. Segmentación, 13. Inversión 32. Cambios de color (propiedades ópticas), 1. Segmentación, 10. Acción previa, 25. Auto servicio
Equipo de Trabajo 4	1. Peso del objeto móvil- 23. Pérdida de sustancia 14. Fortaleza- 2. Peso del objeto inmóvil 25. Pérdida de tiempo- 13. Estabilidad del objeto	5. Combinación, 35. Cambio de parámetros (estados físicos), 3. Calidad local, 31. Uso materiales porosos 40. Utilizar materiales compuestos, 26. Cantidad de sustancia, 27. Objetos desechables, 1. Segmentación 35. Cambio de parámetros (estados físicos), 3. Calidad local, 22. Convertir el perjuicio en beneficio, 5. Combinación

Cuadro 5.2: Contradicciones encontradas y principios sugeridos para el primer experimento con equipos multidisciplinares utilizando TRIZ. (Fuente: Elaboración propia)

	Grupo No. 1	Grupo No. 2	Grupo No. 3	Grupo No. 4
Variedad	3/2 (1.5)	7/3 (2.3)	3/2 (1.5)	1 (1)

Cuadro 5.3: Resultados de la evaluación de la variedad del primer experimento de la fase creativa con equipos multidisciplinares usando TRIZ. (Fuente: Elaboración propia)

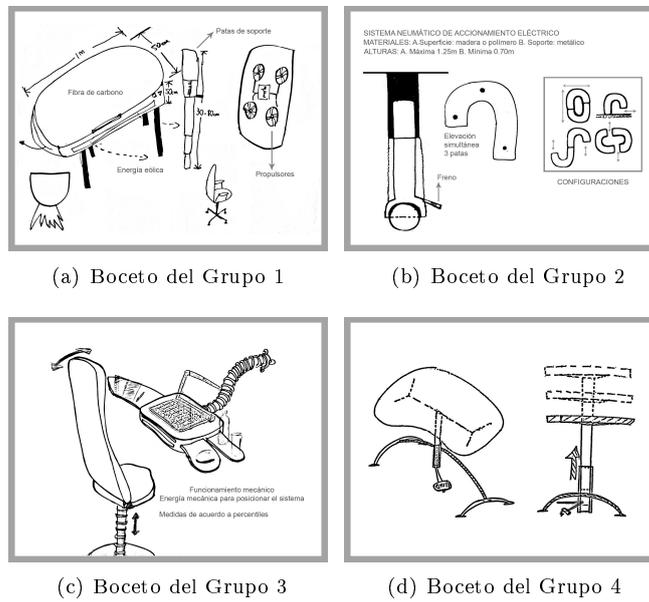


Figura 5.5: Bocetos del primer experimento de la fase creativa con equipos multidisciplinares utilizando TRIZ. (Fuente: Elaboración propia)

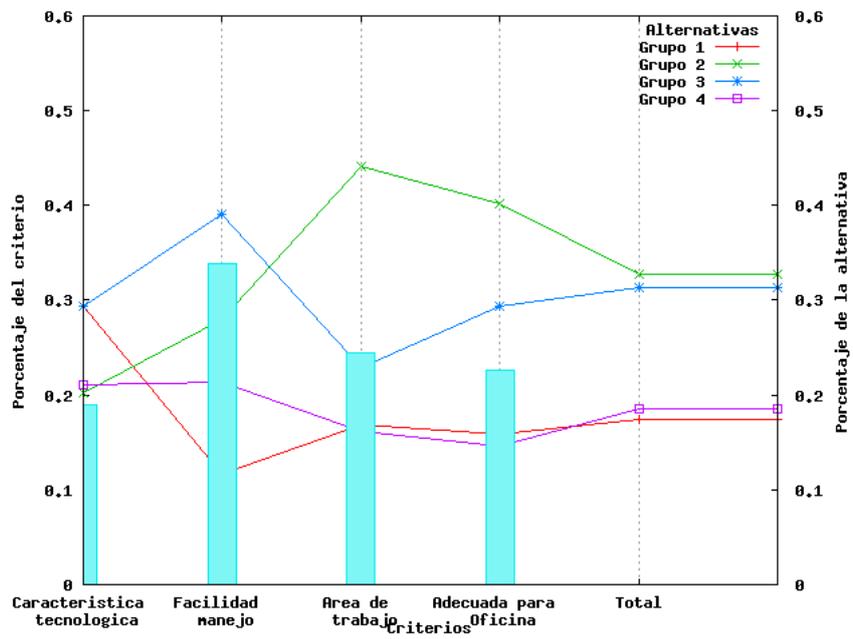


Figura 5.6: Resultados del primer experimento de evaluación de la Novedad con equipos multidisciplinares, utilizando AHP. (Fuente: Elaboración propia)

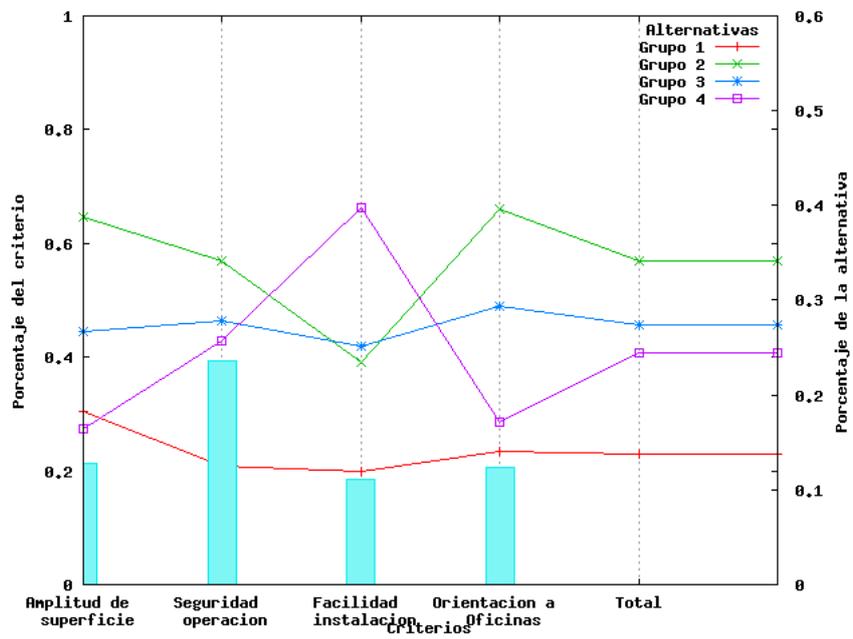


Figura 5.7: Resultados del primer experimento de evaluación de la Calidad con equipos multidisciplinares, utilizando AHP. (Fuente: Elaboración propia)

5.2. Segundo experimento: Evaluación del proceso creativo utilizando TRIZ con equipos multidisciplinares agrupados según diferentes tipologías utilizando el test de Myers- Briggs

Este segundo experimento con equipos multidisciplinares analiza los resultados del producto creativo y del proceso creativo con equipos conformados con diferentes tipologías de personalidad. La literatura reclama más experiencias empíricas en este aspecto, argumenta que los problemas del trabajo cooperativo se presentan por dificultades de comunicación, toma de decisiones colectivas y ausencia de liderazgo que están relacionadas con las características personales más que por las cualidades de formación disciplinar [Peeters et al., 2007]. También, existen análisis teóricos sobre innovación que involucran tipologías personales y que no han sido verificados experimentalmente [Reilly et al., 2002]. Con base en lo anterior, este experimento se construyó con un conjunto de hipótesis, que son de soporte para las planteadas en los objetivos de la tesis, y se utilizaron dos de los test de personalidad más ampliamente utilizados en el ámbito mundial, el test de Myers-Briggs [Shen et al., 2007] y el test NEO [Reilly et al., 2002]. Con el primero, el test de Myers-Briggs, fueron organizados los equipos de trabajo y el segundo test permitió evaluar un conjunto de hipótesis que habían sido planteadas de manera teórica en otros estudios [Reilly et al., 2002].

5.2.1. Hipótesis planteadas para el segundo experimento

Se planteó un conjunto de hipótesis a partir de los resultados del primer experimento y del análisis teórico que asocia la innovación radical con las tipologías a partir del test NEO. De esta forma se plantean las siguientes hipótesis, asociadas con el objetivo específico 1 del trabajo de tesis:

1. El proceso creativo, medido a través de la Variedad, es más amplio (mayor espacio de búsqueda) en equipos multidisciplinares que en monodisciplinares.
2. La Novedad es mayor en equipos multidisciplinares con personalidad diferente que con multidisciplinares de igual personalidad.
3. La Calidad es mayor en equipos multidisciplinares con personalidad diferente que con personalidades similares.

4. La Calidad es mayor en equipos de sólo ingenieros que de otras profesiones donde no se incluyen ingenieros.
5. La novedad es mayor en equipos (mono o multidisciplinares) con altos niveles homogéneos de apertura-NEO.
6. La novedad es menor en equipos heterogéneos de la variable apertura-NEO.
7. La novedad es mayor en equipos (mono o multidisciplinares) con alto nivel de extraversión-NEO homogénea.
8. La novedad es mayor en equipos (mono o multidisciplinares) con amabilidad-NEO alta homogénea.

5.2.2. El test de Myers-Briggs

El indicador MBTI (Myers-Briggs Type Indicator), según Shen et al [Shen et al., 2007], es la herramienta psicológica de tipología mas conocida en el mundo hoy en día. Ningún otro instrumento de prueba ha sido sujeto a pruebas de confiabilidad y validez. Pero también, como todo test, tiene sus detractores. Las raíces de la teoría de tipología comienzan en el siglo XX con el trabajo de Carl Gustav Jung (1875-1961), un psiquiatra suizo contemporáneo de Sigmund Freud y Alfred Adler. Adler y Jung se distanciaron de Freud respecto a la importancia de la sexualidad

El tipo de personalidad, a través del test de Myers-Briggs, representa las preferencias personales en cuatro categorías distintas: El centro de atención, la manera de percibir la información, la manera de tomar decisiones y la manera de tratar con el mundo exterior. Con base en estas preferencias se plantean cuatro conjuntos dicotómicos así:

- El centro de atención:
E(Extroversión (Extraversion)) - I(Introversión (Introversion))
- La manera de percibir la información:
S(Sensación (Sensing)) - N (iNtuición (iNtuition))
- La manera de tomar decisiones:
T (Pensamiento (Thinking)) - F (Sentimiento (Feeling))
- La manera de tratar con el mundo exterior:
J (Juicio (Judging)) - P(Percepción (Perceiving))

Cada persona se ajusta a uno de los 16 tipos de personalidad. Los tipos están basados en cuatro dicotomías cuya combinación da 16 tipos como se muestra en la Figura 5.8

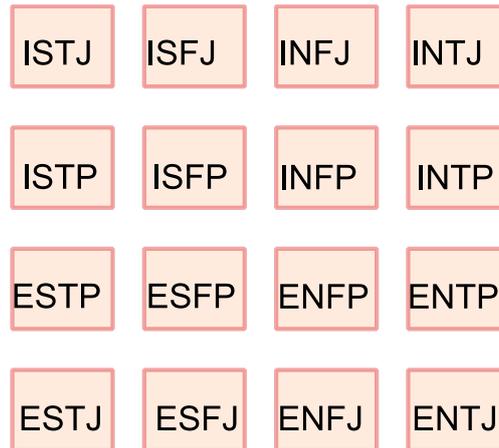


Figura 5.8: Conjunto de 16 tipologías diferentes utilizando el test de Myers-Briggs. (Fuente: Elaboración propia)

El MBTI fue desarrollado específicamente como una herramienta para la población no psiquiátrica y por lo tanto es inherentemente benigno. Como principio básico ningún tipo es mejor o peor que otro y el test, le dice a una persona su designación de tipo.

Para una persona que debe trabajar con equipos el MBTI puede ayudar a:

- Identificar las fortalezas y recursos del equipo, así como sus posibles debilidades
- Maximizar las ventajas naturales que resultan de las similitudes y diferencias de los miembros de su equipo.
- Trabajar o minimizar sus debilidades encontradas.
- Identificar un plan de acción con comportamientos específicos para ayudarlo a mejorar su efectividad en el equipo.

Debe recordarse que el instrumento mide preferencias no habilidades o destrezas. Además debe tenerse en cuenta que hay diferencias individuales en cada tipo. Aunque las similitudes o diferencias en un equipo de trabajo son importantes, el éxito del

equipo de trabajo también depende de la clase de tarea que su equipo debe realizar, con que recursos se cuenta y en qué cultura organizacional se encuentra.

5.2.3. El test NEO

Es un instrumento que brinda una medida de las cinco principales dimensiones o factores de personalidad y de algunos de los más importantes rasgos o facetas que definen cada dimensión. Está constituido de cinco escalas fundamentales y 30 escalas parciales para una evaluación global de la personalidad del adulto. El NEO tiene dos formas: una corta (60 items) llamada NEO-FFI y una larga (240 items) el NEO PI-R. El nombre proviene de las letras iniciales de los tres primeros factores del test (Neuroticismo, Extraversión y Apertura u Openess), los otros dos son A (Amabilidad) y C (Responsabilidad o Conscientiousness).

De manera general, el modelo de cinco factores propone los siguientes tratos de personalidad, como una estructura general explicativa del comportamiento interpersonal [Reilly et al., 2002, Aronson et al., 2006]

- Apertura (Openess): Este grupo de personas son imaginativas, sensibles, intelectuales y refinadas. Estas características están en contraposición con aquellas personas que son pragmáticos, son insensibles, rígidas, toscas y simples.
- Estabilidad (Stability) Este grupo de personas son calmadas, entusiastas, aplomadas y seguras. Estas características están en contraposición con aquellas personas que son depresivas, enfadadas, emocionales e inseguras.
- Amabilidad (Agreeableness) Este grupo de personas son bondadosas por naturaleza, amables, cooperativas, comprensivas, colaboradoras. Estas características están en contraposición con aquellas personas que son irritables, despiadadas, desconfiadas, no cooperativas e inflexibles
- Responsabilidad (Conscientiousness) Este grupo de personas son cuidadosas, rigurosas, orientadas a la tarea, responsables, organizadas, autodisciplinadas y escrupulosas. Estas características están en contraposición con aquellas personas que son irresponsables, desorganizadas, indisciplinadas e inescrupulosas.
- Extraversión (Extraversion) Este grupo de personas son sociables, habladoras, asertivas y activas. Estas características están en contraposición con aquellas personas que son retraídas, soberbias, reservadas y cautelosas.

5.2.4. Proceso de trabajo para la evaluación del Proceso y el Producto creativo

Se realizaron dos procesos de forma similar al primer experimento. El primer proceso se muestra en la Figura 5.9 y el segundo proceso se muestra en la Figura 5.10. Los participantes fueron estudiantes del master universitario el Proyectos de Ingeniería del Departamento de Proyectos de Ingeniería en la Universidad Politécnica de Valencia.

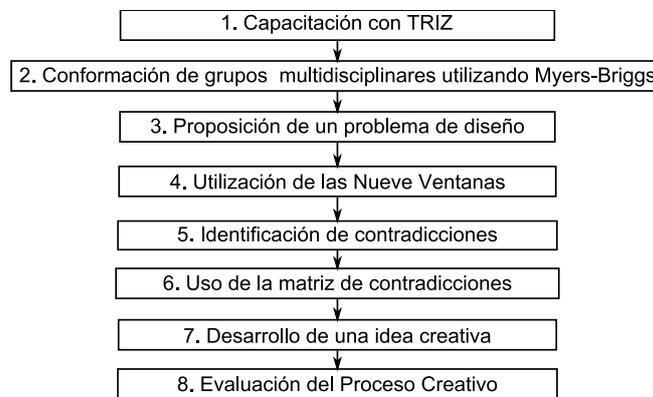


Figura 5.9: Método seguido para evaluación del Proceso Creativo en el segundo experimento. (Fuente: Elaboración propia)

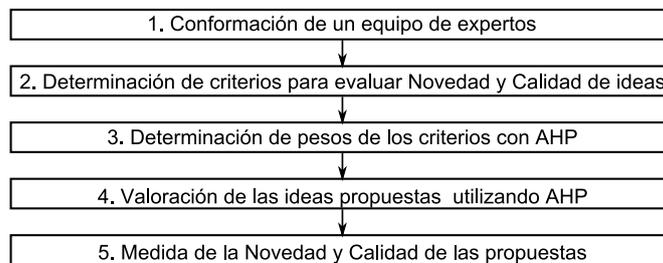


Figura 5.10: Método seguido para la evaluación del Producto Creativo en el segundo experimento. (Fuente: Elaboración propia)

Proceso para la evaluación del Proceso Creativo en el segundo experimento

A continuación se describen cada una de las fases indicadas en la Figura 5.9 para la evaluación del Proceso Creativo.

La primera fase, *Capacitación con TRIZ*, consistió en dos sesiones de instrucción cada una de tres horas con los estudiantes del Master en Proyectos de Ingeniería. En la primera sesión se presentó el panorama general de la teoría TRIZ y el conjunto de técnicas de soporte. También, en esta sesión, se aplicó el test de Myers-Briggs y el test NEO. En la segunda sesión se presentó la técnica de análisis con las nueve ventanas y el uso de la matriz de contradicciones, con las definiciones de los Parámetros y Principios inventivos.

La segunda fase, *Conformación de equipos de trabajo con el test de Myers-Briggs*, consistió en la organización de los equipos de trabajo multidisciplinares con tipologías de personalidad diferente. Existen muchos métodos para formar equipos de trabajo tanto en la educación, como en las organizaciones. Como todos los métodos de organización, algunos tienen ventajas o desventajas, pero parece que la mayor deficiencia de estas estrategias es que no consideran las fortalezas y debilidades de las características de las personas, que están involucradas en estos equipos. Con la ausencia de la evaluación de los diferentes tipos de personalidades, no existe una manera de estructurar la mezcla de esas diferencias, para sacar lo mejor ellas en los equipos de trabajo. En este caso, lo mejor debe ser entendido como el máximo desempeño de las personas involucradas. Un equipo será mejor si es estructurado y a cada miembro del grupo se le asigna un rol, no duplicado, que se adecue mejor a sus habilidades y conocimientos (Shen et al, 2007).

Para el experimento se conformaron unos equipos de trabajo, con base en los resultados del test Myers-Briggs. Esa organización se muestran en el Cuadro 5.4. En ese mismo Cuadro 5.4, también se muestran los resultados del test NEO. Las valoraciones del test NEO están dadas en la siguiente escala: A: Alto, MA: Medio Alto, M: Medio, MB: Medio Bajo y B: Bajo.

Grupo	Tipología Myers-Briggs	Test Neo					Característica de composición
		N	E	O	A	C	
Grupo 1	ENTJ	M	M	M	A	B	Ing. Químico
	ENTJ	MA	A	A	B	M	Ing. Tec. Indus.
	ESTJ	B	MA	MB	A	MA	Ing. Ind. Org.
	ESTJ	A	M	MB	MB	M	Ing. Tec. Indus.
Grupo 2	ENFP	A	A	MA	B	MB	Relac. Intern.
	ESFJ	B	M	A	MA	A	Adm. Emp.
	ESTP	A	A	B	MB	MB	Arquitecto tec.

Grupo	Tipología Myers- Briggs	Test Neo					Característica de composi- ción
		N	E	O	A	C	
Grupo 3	ISFJ	MA	B	A	B	MB	Diseño Ind.
	ENFJ	B	A	A	MB	B	Ing. Tec. Dis.
	ENFP	A	A	A	M	MB	Ing. Tec. Dis.
	ESTJ	M	A	M	M	A	Ing. Tec. Indus.
Grupo 4	ESTJ	B	A	A	B	B	Ing. Ind. Org.
	ENFP	A	M	M	M	MB	Ing. Ind. Org.
	ENTJ	A	M	MA	B	M	Ing. Civil
	ESTJ	A	B	M	B	M	Adm. Emp.
Grupo 5	INTJ	A	B	MA	B	A	Ing. Indus.
	ESTJ	M	MA	M	MB	A	Adm. Emp.
	ESTJ	A	M	M	B	M	Ing. Tec. Tel.
	ESTP	M	MA	M	M	B	Ing. Mec.
Grupo 6	ISTP	MA	B	MA	B	M	Ing. Indus.
	ENFJ	B	M	MA	A	MB	Ing. Tec. Indus.
	ENFP	MA	M	M	MB	MB	Ing. Tec. Tel.
	INTP	M	A	B	A	M	Ing. Tec. El.
Grupo 7	ISTP	A	B	B	B	MB	Ing. Indus.
	ESTJ	MB	A	B	A	A	Ing. Tec. Ag.
	ESTJ	A	MA	B	M	M	Ing. Tec. Tel.
	INTJ	A	M	M	M	B	Ing. Inf.
	ISTJ	M	B	M	M	A	Arq. tec.

Cuadro 5.4: Equipos y tipologías de los participantes del segundo experimento. (Fuente: Elaboración propia)

La tercera fase, *proposición del problema de diseño*, consistió en el planteamiento de un problema de diseño para ser resuelto por cada uno de los equipos conformados utilizando las técnicas TRIZ. El problema planteado, al igual que el primer experimento, fue el de proponer el diseño de un sistema (mesa) que permita trabajar de pie y sentado, con una área amplia de trabajo y orientado a oficinas. Las instrucciones detalladas del experimento se muestran en el Apéndice A.

El conjunto de las tres fases siguiente (4, 5 y 6) del proceso: *utilización de las nueve ventanas, identificación de contradicciones y uso de la matriz de contradicciones*, fue el trabajo con la técnica TRIZ. El proceso incluye, inicialmente un análisis sistémico del problema con la técnica de las nueve ventanas, posteriormente la determinación de contradicciones con el análisis de la transición entre las ventanas presente y futuro del sistema; por último, con las contradicciones encontradas, se usa la matriz de contradicciones y se utilizan los principios inventivos. Las instrucciones del trabajo se

muestran en el Apéndice A.

La séptima etapa del proceso, *desarrollo de una idea creativa*, consistió en la elaboración de un boceto por cada grupo de trabajo utilizando los principios inventivos. Los resultados de los bocetos de los siete grupos participantes se muestran en la Figura 5.11.

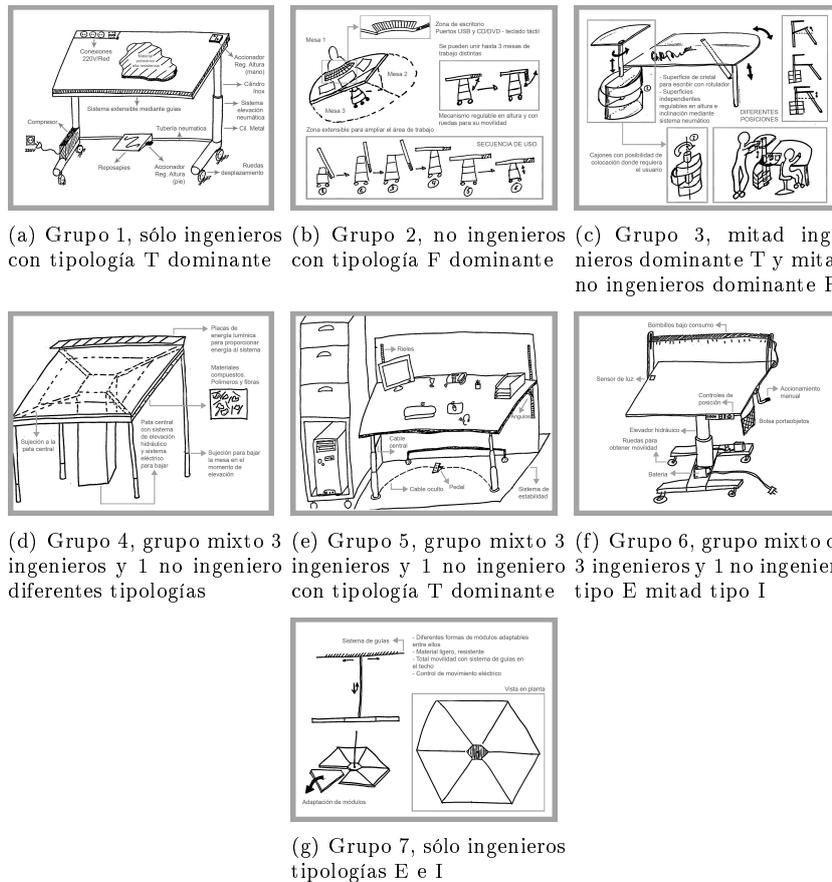


Figura 5.11: Bocetos del trabajo de ideación para el segundo experimento de la fase creativa con equipos multidisciplinares. (Fuente: Elaboración propia)

La octava etapa del proceso, *evaluación del proceso creativo*, se realizó a través del cálculo de la variable Variedad. La Variedad es una medida del espacio de búsqueda de las soluciones. Para el cálculo de esta expresión, se utiliza la ecuación (5.1) que requiere la información del número de contradicciones encontradas y principios inven-

CAPÍTULO 5. APLICACIÓN EXPERIMENTAL DEL MODELO ...

tivos utilizados por cada contradicción. El resultado del cálculo de la Variedad para el segundo experimento se muestra en el Cuadro 5.5.

Número de grupo							
	1	2	3	4	5	6	7
Variedad	1.7	4.0	2.1	3.0	5.0	5.5	2.0

Cuadro 5.5: Cálculo de la Variedad para el segundo experimento. (Fuente: Elaboración propia)

Las contradicciones encontradas como los principios inventivos aplicados en los bocetos de los grupos participantes, se encuentran consignados en el Cuadro 5.6. Esta información fue la base para el cálculo de la Variedad.

Grupo	Contradicciones identificadas	Principios sugeridos	Principios utilizados
Grupo 1	35 - 36	15, 29, 37, 28	15,29,37,28
	1-13	1, 35, 19, 39	1
	1-14	28,27,18,40	27,40
Grupo 2	33 - 35	15,34,1,16	15,34
	36-35	1,15	1
	19 -1	12,18,28,31	28
	7-1	2,26,29,40	40
	12-3	29,34,5,24	29,34
Grupo 3	33-30	2,25,28,39	2,25,28,39
	35-28	35,5,1,10	35,5,1,10
	36-13	2,22,17,19	2,22,17
	28-25	24,28,35,30	24,28,35,30
	18-30	15,19	15
Grupo 4	6-2	30, 2,14,18	30
	25-13	35, 3, 22, 5	35
	19-38	32,2	2
Grupo 5	7-5	1,7,14,17	1,17
	35-6	15,16	15
	35-25	35,28	28
	7-24	2,22	2
	7-1	2,26,29,40	29,40
	8-27	2,35,16	35
Grupo 6	35-2	19, 15, 29, 16	29
	35-27	13, 35, 8, 24	13,24
	35-36	15,29,37,28	28
	33-2	6,13,1,25	13
	18-22	19,16,1,6	19

Grupo	Contradicciones identificadas	Principios sugeridos	Principios utilizados
	18-17	32,35,19	35
Grupo 7	5-1	2,17,29,4	
	12-13	33,1,18,4	33,4
	14-4	40,26,27,1	40,27
	33-35	32,26,12,17	32,17

Cuadro 5.6: Contradicciones encontradas y principios sugeridos para el segundo experimento utilizando TRIZ con equipos multidisciplinarios y diferentes tipologías. (Fuente: Elaboración propia)

Proceso para la evaluación del Producto Creativo en el segundo experimento

La primera fase, *Conformación de un equipo de expertos*, se hizo con la invitación a dos diseñadoras industriales, dos ingenieros y un usuario. Las diseñadoras industriales, fueron profesionales de programas de cinco años de formación, al igual que los ingenieros. El usuario fue una persona que trabaja en una empresa de diseño de artículos cerámicos.

La segunda fase, *determinación de criterios para evaluar la novedad y la calidad de las ideas*, se realizó con base en el enunciado del problema siguiendo los conceptos del trabajo de Shah [Shah et al., 2003b]. En ese sentido, se destacaron propiedades, de tipo perceptual del sistema, para el juicio de la Novedad. Y se destacaron las propiedades técnicas, para la evaluación de la Calidad. Las Figuras 5.12 y 5.13 representan los criterios utilizados para el cálculo de las variables Novedad y Calidad respectivamente.

La tercera y cuarta fase, correspondientes a la *determinación de pesos de los criterios con AHP* y la *valoración de las ideas propuestas utilizando AHP*, se realizó a través del proceso de comparación pareada que sugiere el método por cada uno de los evaluadores. Para este propósito, se elaboraron dos instrumentos, uno para la evaluación de la Novedad y otro para la Calidad. Estos instrumentos se muestran en los Apéndices B y C. El cálculo ponderado de los pesos para los criterios, se muestran con el valor numérico junto al criterio de las Figuras 5.12 y 5.13

La quinta fase, *medida de la Novedad y la Calidad de las propuestas*, consistió en la aplicación de la técnica AHP con base en el juicio de los participantes y se utilizó el software Expert Choice para tal propósito. Los resultados de la evaluación de la

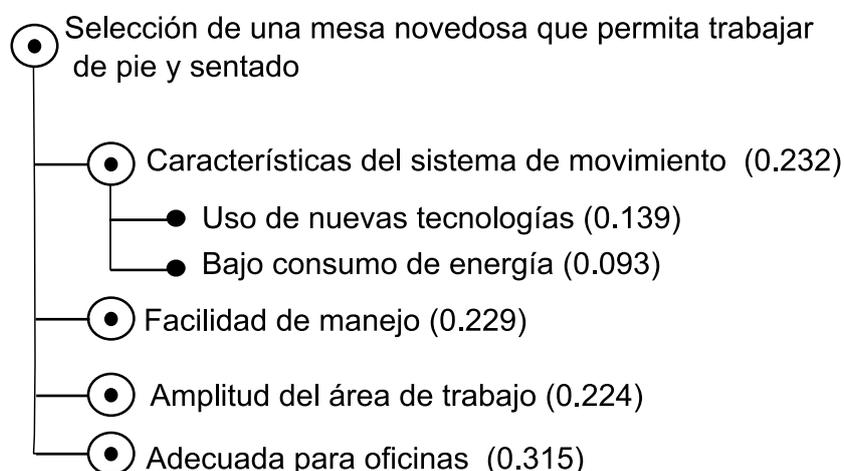


Figura 5.12: Diagrama jerárquico AHP para determinar la novedad de las ideas para el segundo experimento con equipos multidisciplinares con tipologías diferentes. (Fuente: Elaboración propia)

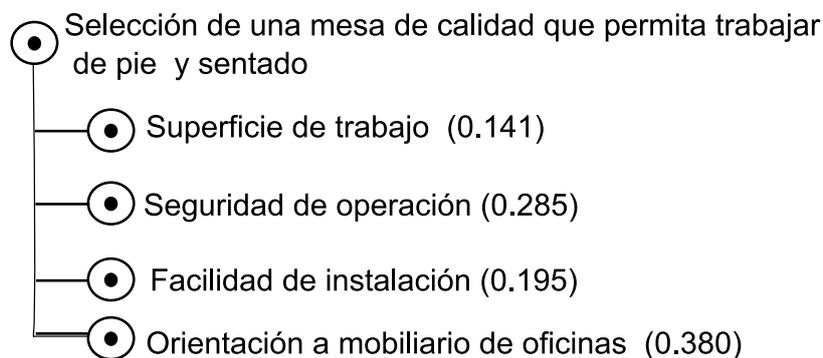
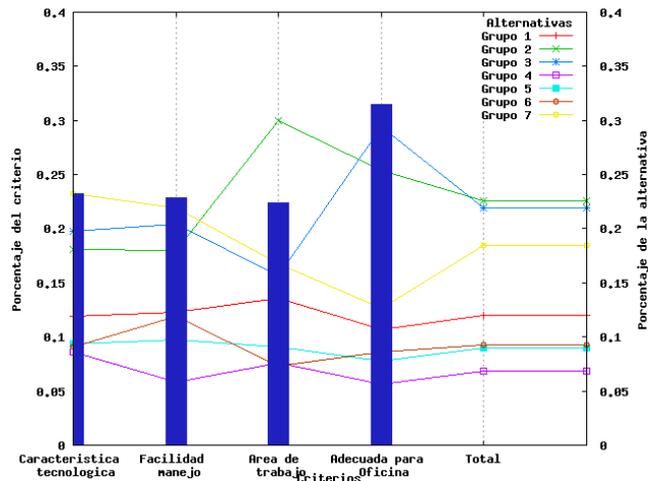


Figura 5.13: Diagrama jerárquico AHP para determinar la calidad de las ideas para el segundo experimento con equipos multidisciplinares y tipologías diferentes. (Fuente: Elaboración propia)

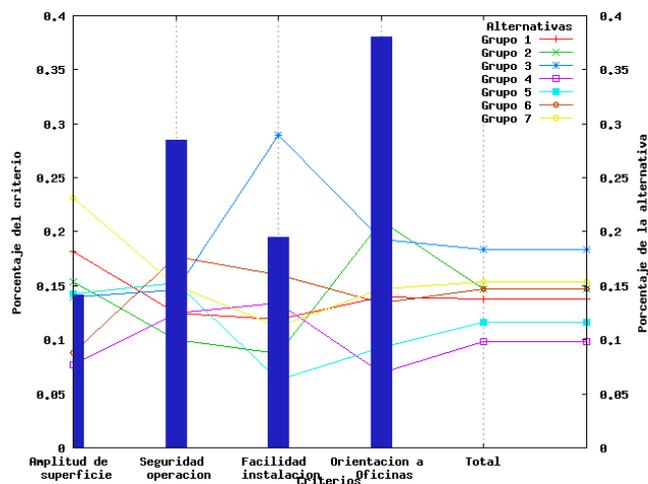
Novedad y la Calidad de las propuestas, para el segundo experimento, se muestran en las Figuras 5.14(a) y 5.14(b).

En cada una de las gráficas, los resultados corresponden al valor ponderado juicios de los evaluadores, a través de la media geométrica. Las barras indican los pesos asignados a los criterios y las líneas son los resultados de la evaluación de cada uno

de los bocetos. La numeración de los grupos de trabajo, corresponde a la clasificación realizada a partir de las tipologías, que se mostró en la Figura 5.11.



(a) Resultado de la evaluación de la Novedad



(b) Resultado de la evaluación de la Calidad

Figura 5.14: Resultados de la evaluación de la Novedad y la Calidad para el segundo experimento de ideación con TRIZ. (Fuente: Elaboración propia)

Un Cuadro de resumen de los resultados de la Variedad, la Novedad y la calidad se muestran en el Cuadro 5.7

	Número de grupo						
	1	2	3	4	5	6	7
Variedad	1.7	4.0	2.1	3.0	5.0	5.5	2.0
Novedad	0.120	0.226	0.219	0.068	0.090	0.093	0.185
Calidad	0.155	0.147	0.184	0.098	0.116	0.147	0.154

Cuadro 5.7: Resultados de la Variedad, Novedad y Calidad para el segundo experimento de ideación con equipos multidisciplinares y tipologías diferentes utilizando TRIZ. (Fuente: Elaboración propia)

Los resultados a partir de las hipótesis generan los resultados que se muestran en el Cuadro 5.8

Hipótesis	Confirma (si/no)	Comentario
H1: El proceso creativo, medido a través de la Variedad, es más amplio (mayor espacio de búsqueda) en equipos multidisciplinares que en monodisciplinares.	NO	Se compara el resultado de Variedad de los grupos multidisciplinares 3,4,5 y 7 contra lo monodisciplinares 1, 2 y 6
H2: La Novedad es mayor en equipos multidisciplinares con personalidad diferente que con multidisciplinares de igual personalidad	NO	Se comparan los grupos multidisciplinares 3 y 4 (heterogeneidad tipología) con los grupos 5 y 7 con variable T dominante
H3: La Calidad es mayor en equipos multidisciplinares con personalidad diferente que con personalidades similares	NO	Se comparan los grupos multidisciplinares 3 y 4 (heterogeneidad tipología) con los grupos 5 y 7 con variable T dominante
H4: La Calidad es mayor en equipos de sólo ingeniería que de otras profesiones sin ingeniería	SI	Se comparan los grupos de ingeniería (G1 y G6) con otras disciplinas
H5: La novedad es mayor en equipos (mono o multidisciplinares) con altos niveles homogéneos de apertura-NEO	SI*	Se comparan los grupos 3, 4 y 5 que poseen niveles altos homogéneos de apertura con 1, 2, 6 y 7 que no los poseen.
H6: La novedad es menor en equipos heterogéneos de la variable apertura-NEO	NO	Se compara el grupo 2 con los otros
H7: La novedad es mayor en equipos (mono o multidisciplinares) con alto nivel de extraversión-NEO homogénea	SI*	Se compara el grupo 3 con los demás grupos
H8: La novedad es mayor en equipos (mono o multidisciplinares) con amabilidad-NEO alta homogénea	NO	Se compara el grupo 7 con los demás grupos
Nota: Los resultados con un SI* significan que se ha dado esta valoración porque si bien el resultado no es absoluto cumple la condición en la mayoría de los casos.		

Cuadro 5.8: Resultados de evaluación de hipótesis del tercer experimento. (Fuente: Elaboración propia)

5.3. Tercer experimento: Evaluación del Producto Creativo con diferentes estrategias de creatividad con equipos multidis- ciplinares

El tercer experimento es la evaluación del Producto Creativo a través de las variables Novedad y Calidad, con diferentes estrategias de ideación. El propósito de este experimento es verificar el potencial de TRIZ, que es una técnica lógica, más que intuitiva de creatividad, frente a las que son intuitivas como brainstorming [Shah et al., 2003a]. Este propósito, a su vez, está asociado con tercer objetivo de la tesis que busca contrastar la efectividad de la estrategia de creatividad sistemática TRIZ, con otras estrategias de creatividad, para desacoplar un diseño acoplado, según el modelo del Diseño Axiomático.

Para el uso de las técnicas de creatividad se realizó un proceso de instrucción. Existe una gran diferencia en la instrucción de TRIZ, que tomó alrededor de 6 horas, frente a las indicaciones de brainstorming que se hicieron en 15 minutos. La diferencia de tiempos se debe a la característica lógica estructura de TRIZ que requiere de un proceso de enseñanza más detallado.

En este experimento se utilizan los resultado, plasmados en bocetos, de dos experiencias realizadas en diferentes Universidades bajo el mismo planteamiento. La primera fue realizada en la Pontificia Universidad Javeriana, en Cali, Colombia, utilizando TRIZ, como se mostró en el primer experimento. La segunda fue realizada en la Universidad Jaume I, en Castellón, España, donde fueron utilizados el método de brainstorming y ninguna estrategia en particular.

Para la evaluación de la Novedad y de la Calidad de las soluciones, al igual que en los experimentos anteriores, se utilizó la técnica de análisis multicriterio AHP y se contó con un equipo de expertos para la evaluación de las alternativas. Participó en este proceso un grupo multidisciplinario con las siguiente composición:

- 1 Diseñador Industrial
- 1 Ingeniero Mecánico
- 1 Usuario (Diseñadora gráfica)

El diagrama que se muestra en la Figura 5.15 muestra los criterios utilizados para la evaluación de la Novedad. Para la Calidad, los criterios se muestran en la Figura 5.16. Los valores que acompañan a los criterios fueron los resultados obtenidos para los pesos esos criterios mediante la aplicación de la técnica de análisis multicriterio AHP.

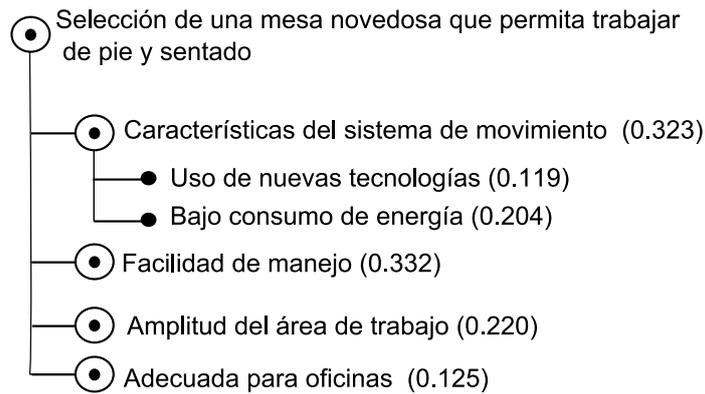


Figura 5.15: Diagrama jerárquico AHP para determinar la novedad de las ideas para el tercer experimento de ideación con equipos multidisciplinares con diferentes técnicas. (Fuente: Elaboración propia)

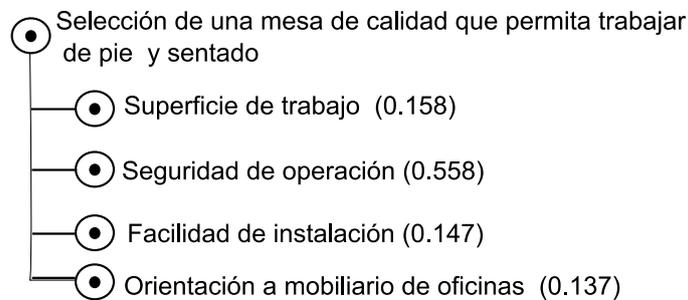


Figura 5.16: Diagrama jerárquico AHP para determinar la calidad de las ideas para el tercer experimento de ideación con equipos multidisciplinares con diferentes técnicas. (Fuente: Elaboración propia)

5.3.1. Hipótesis planteadas para el tercer experimento

Las hipótesis planteadas para este experimento fueron las siguientes:

1. Con equipos multidisciplinares, se obtienen ideas más novedosas utilizando TRIZ que con el uso de otra técnica o ninguna de creatividad.
2. Con equipos multidisciplinares, se obtienen ideas de mejor calidad con TRIZ que con otras técnicas de generación de ideas.
3. Con equipos multidisciplinares, las ideas generadas utilizando brainstorming pueden tener alto nivel de novedad pero no de calidad.
4. Con equipos multidisciplinares, la generación de ideas sin ninguna técnica no es superior en calidad ni novedad que con el uso de alguna técnica para ayuda.

5.3.2. Conformación de los grupos de trabajo

La conformación de los grupos de trabajo se muestra en el Cuadro 5.9

Grupo	Personas	Disciplinas	Técnica aplicada
G1	5	2 Estudiantes de último año de Diseño industrial 1 estudiante de último año de Ingeniería Electrónica 1 estudiante de último año de Ingeniería de sistemas 1 estudiante de último año de Ingeniería Industrial	TRIZ
G2	3	1 Ingeniero Industrial 1 Ingeniero Mecánico 1 Licenciado en Bellas Artes	Sin técnica
G3	3	1 estudiante último año de Ingeniería Industrial 1 estudiante de último año de Diseño Industrial 1 estudiante de último año de Ingeniería Electrónica	TRIZ
G4	3	1 Ingeniero Eléctrico 1 Ingeniera Técnica en Diseño Industrial 1 Licenciado en Diseño	Brainstorming

Grupo	Personas	Disciplinas	Técnica aplicada
-------	----------	-------------	------------------

Cuadro 5.9: Conformación de equipos de trabajo multidisciplinares con diferentes técnicas en el tercer experimento. (Fuente: Elaboración propia)

5.3.3. Resultados encontrados del tercer experimento

En cada uno de los experimentos, fue pedida la elaboración de un boceto que represente la idea generada por el equipo. Los bocetos de los equipos participantes en las dos sesiones, correspondientes al tercer experimento, se muestran en la Figura 5.17.

Los resultados de la evaluación de la Novedad y la Calidad, utilizando AHP, para las propuestas evaluadas, se muestran en las Figuras 5.18 y 5.19

La evaluación de las hipótesis planteadas, con base en los resultados obtenidos, se muestra en el Cuadro 5.10.

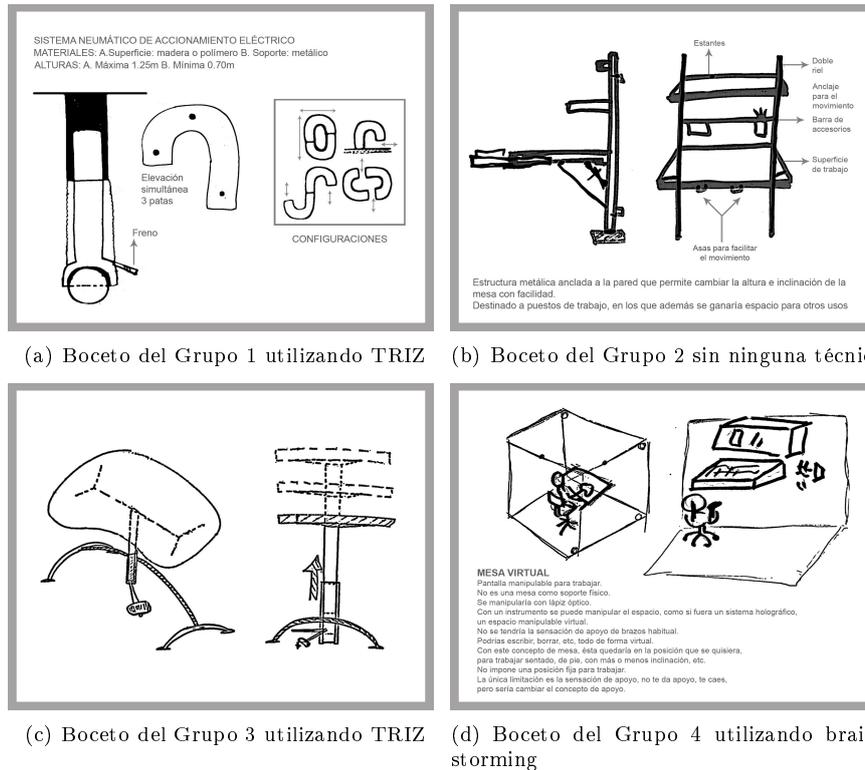


Figura 5.17: Bocetos del trabajo de ideación para el tercer experimento de la fase creativa con equipos multidisciplinares con diferentes técnicas de ideación. (Fuente: Elaboración propia)

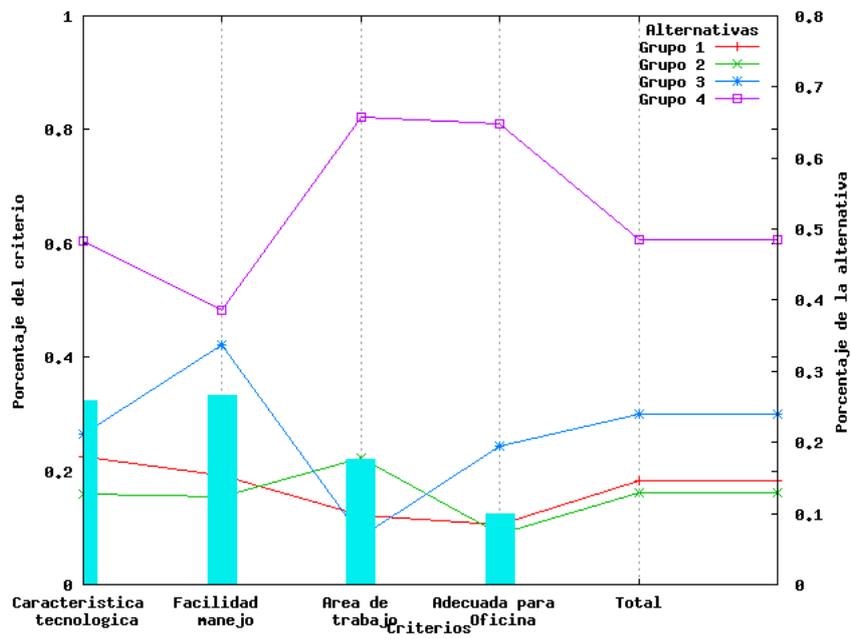


Figura 5.18: Resultado de la evaluación de la Novedad para el tercer experimento de ideación con diferentes técnicas. (Fuente: Elaboración propia)

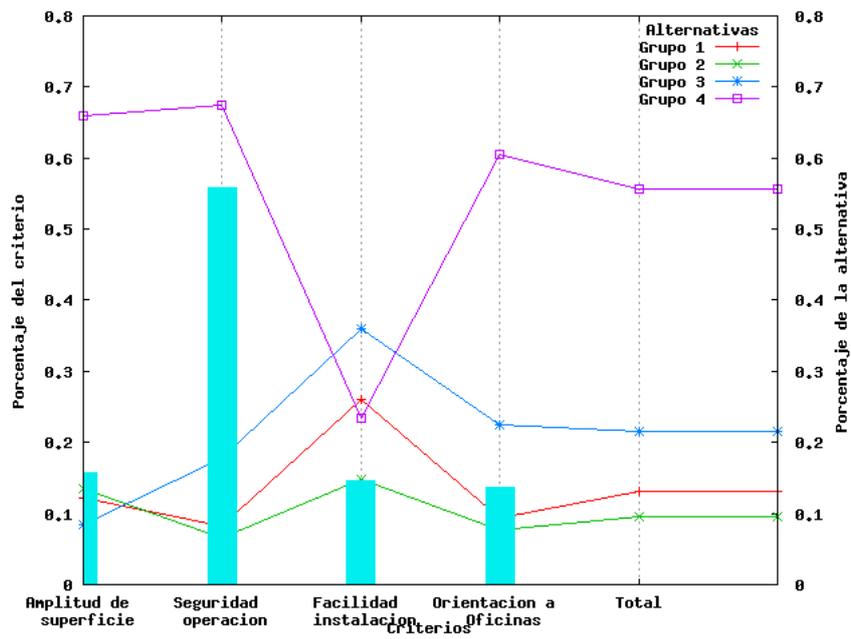


Figura 5.19: Resultado de la evaluación de la Calidad para el tercer experimento de ideación con diferentes técnicas. (Fuente: Elaboración propia)

Hipótesis	Confirm (si/no)	Comentario
H1: Con equipos multidisciplinares, se obtienen ideas más novedosas utilizando TRIZ que con el uso de otra técnica o ninguna de creatividad.	NO	Se compara el resultado de Novedad de los grupos con TRIZ (1,3) con los otros grupos (2,4)
H2: Con equipos multidisciplinares, se obtienen ideas de mejor calidad con TRIZ que con otras técnicas de generación de ideas.	NO	Se compara el resultado de Calidad de los grupos con TRIZ (1,3) con los otros grupos (2,4)
H3: Con equipos multidisciplinares, las ideas generadas utilizando brainstorming pueden tener alto nivel de novedad pero no de calidad.	SI*	Se compara el las variables novedad y calidad de brainstorming con las demás propuestas
H4: Con equipos multidisciplinares, la generación de ideas sin ninguna técnica no es superior en calidad ni novedad que con el uso de alguna técnica para ayuda.	SI	Se compara el grupo 2 que no utilizó técnica con los demás grupos
El SI* significa que mayoritariamente, no absolutamente, se verifica la hipótesis.		

Cuadro 5.10: Resultados de evaluación de hipótesis del tercer experimento. (Fuente: Elaboración propia)

5.4. Cuarto experimento: Selección de una familia de productos para personas en situación de discapacidad que favorezca la inclusión social con la participación de un equipo multidisciplinar.

Este experimento corresponde a la fase inicial del proyecto multidisciplinar del “Diseño Conceptual interdisciplinario, a partir de un modelo ampliado del Diseño Axiomático, de Ayudas Técnicas y Tecnológicas para Movilidad Personal que favorezcan la inclusión social de personas en situación de discapacidad.”. En este proyecto están participando profesionales de diversas disciplinas, Ingeniería Electrónica y Mecánica, Diseño Industrial, Terapia Ocupacional y Psicología. De igual forma, siendo consistentes con el modelo planteado, participa una pequeña empresa y un usuario. En el proyecto participan tres universidades: la Pontificia Universidad Javeriana - Cali, la Universidad del Valle, ambas de Colombia y la Universidad Politécnica de Valencia en España. El proyecto está financiado por la principal entidad estatal de apoyo a la investigación en Colombia, Colciencias, bajo la dirección del autor de esta tesis.

En la tesis se ha argumentado que la forma para tener un trabajo adecuado que lleve a buenos resultados entre la Universidad y la empresa debe tener como centro de convergencia la necesidad social. Para el caso de las ayudas técnicas para las personas en situación de discapacidad, la necesidad social es la Inclusión Social. De forma muy resumida, la inclusión social para personas en situación de discapacidad, es el acceso a los derechos y beneficios que tienen las personas sin limitación. La norma ISO9999:2007 presenta una clasificación de los productos de apoyo a las personas en situación de discapacidad como se muestra en la Figura 5.20.

5.4.1. Hipótesis planteadas

Para el experimento se enunciaron las siguientes hipótesis:

1. El trabajo con equipos multidisciplinarios permite ampliar la visión del problema
2. Las disciplinas ejercen una marcada influencia en el análisis del problema
3. Existe una alineación en la percepción comercial de la Universidad y la empresa

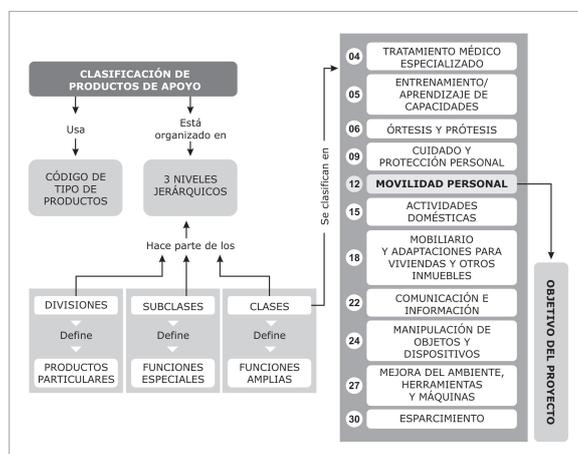


Figura 5.20: Clasificación de la norma ISO9999:2007. (Fuente: Elaboración propia con base en la norma ISO9999)

5.4.2. Método seguido

El experimento, de aplicación de AHP en la selección de una alternativa de diseño, se realizó siguiendo un conjunto de fases como se muestran en Figura 5.21. Este problema particular de toma de decisiones, surge por la situación de exclusión que se encuentra la población en situación de discapacidad en Colombia, y específicamente en la ciudad de Cali, Colombia. La exclusión es la imposibilidad, de las personas en situación de discapacidad, de gozar de los derechos y beneficios con que cuentan las personas sin limitaciones. Esta problemática, tiene también una incidencia a nivel de exclusión con el acompañante, es decir, la persona que asiste a la persona que tiene la limitación. Lo anterior significa, que las cifras de exclusión pueden llegar a ser el doble de las personas en situación de discapacidad. Adicionalmente, las estadísticas muestran que el nivel de ingresos económicos de estas personas son muy bajos, que los ubican en los niveles de pobreza y alta pobreza en la región. Finalmente, esta población presenta una frágil organización lo que impide actuar con mayor decisión frente a las autoridades gubernamentales, y el Estado por su parte ha centrado su labor en la asistencia, con recursos limitados.

La Inclusión Social de las personas en situación de discapacidad, se toma como la Necesidad Social, siguiendo el modelo propuesto en la tesis. Esto significa que la Inclusión Social es el punto de encuentro de las diversas profesiones para trabajar alrededor del diseño de producto. Se conformó un equipo con la participación técnica y humana, para ampliar la visión del problema. El equipo establecido fue el siguiente:

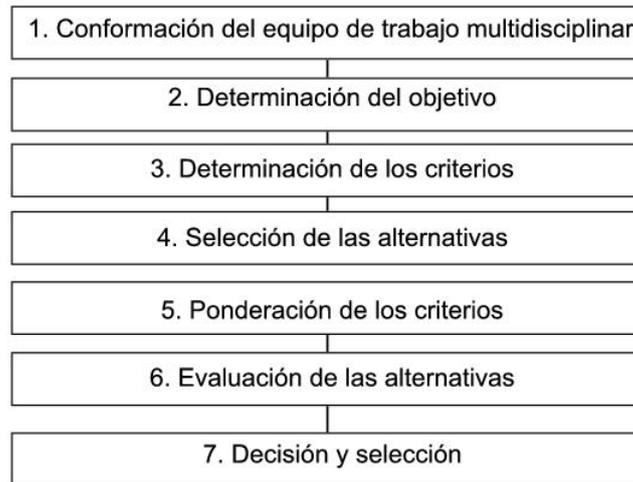


Figura 5.21: Fases del proceso de selección de una clase de productos para diseño para personas en situación de discapacidad. (Fuente: Elaboración propia)

- 1 Ingeniero
- 1 Diseñador
- 1 Terapeuta ocupacional
- 1 Usuario
- 1 Empresario
- 1 Psicóloga

Las alternativas de productos, que deberían ser puestas a consideración, se tomaron de la Norma ISO9999:2007, que ofrece una clasificación de este tipo de productos [ISO, 2007].

Dado que el problema de la inclusión tiene diversos matices, de acuerdo a la visión que se aborde, fue construido un diagrama jerárquico para ser evaluado con el equipo multidisciplinar. El objetivo principal de este proceso fue seleccionar que tipo de productos deberían ser diseñados para contribuir a la Inclusión Social. Con base en esta intención, en forma colectiva fue propuesto el diagrama jerárquico que se muestra en la Figura 5.22

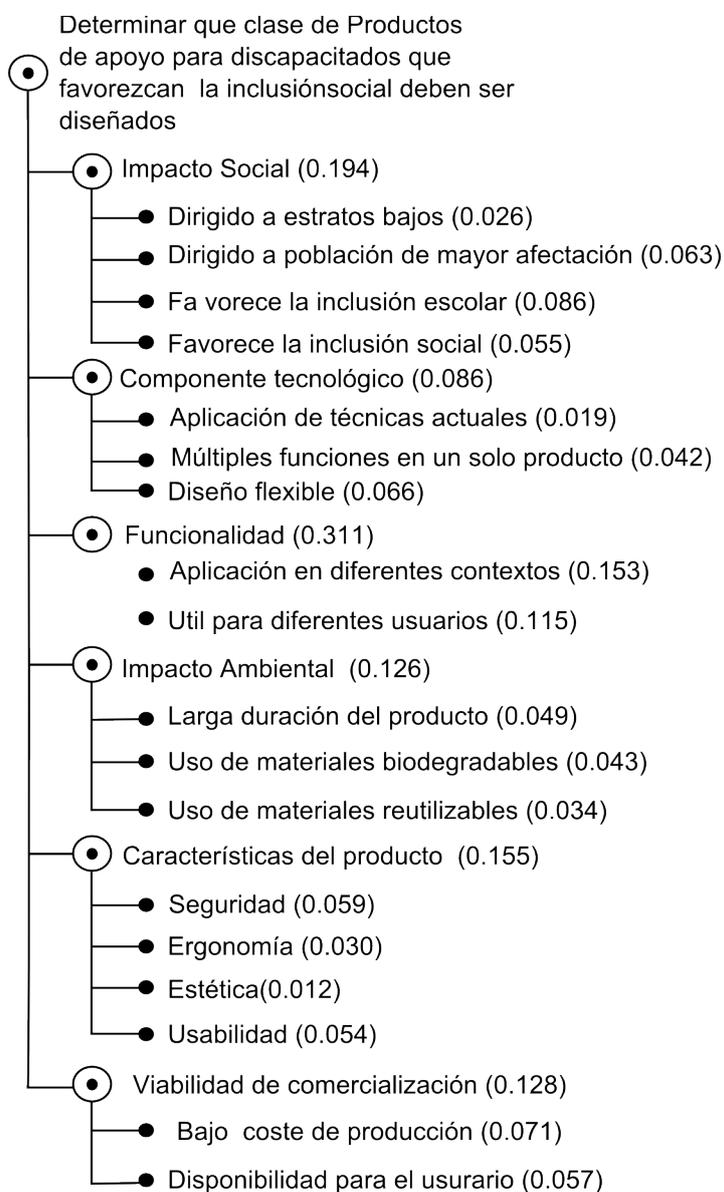


Figura 5.22: Diagrama jerárquico para la selección de una familia de productos que sea objeto de diseño en el cuarto experimento. (Fuente: Elaboración propia)

5.4.3. Resultados obtenidos

El resultado de la clasificación de las clases de productos que deben ser considerados como objeto de diseño a partir de un análisis multidisciplinar se muestra en la Figura 5.23

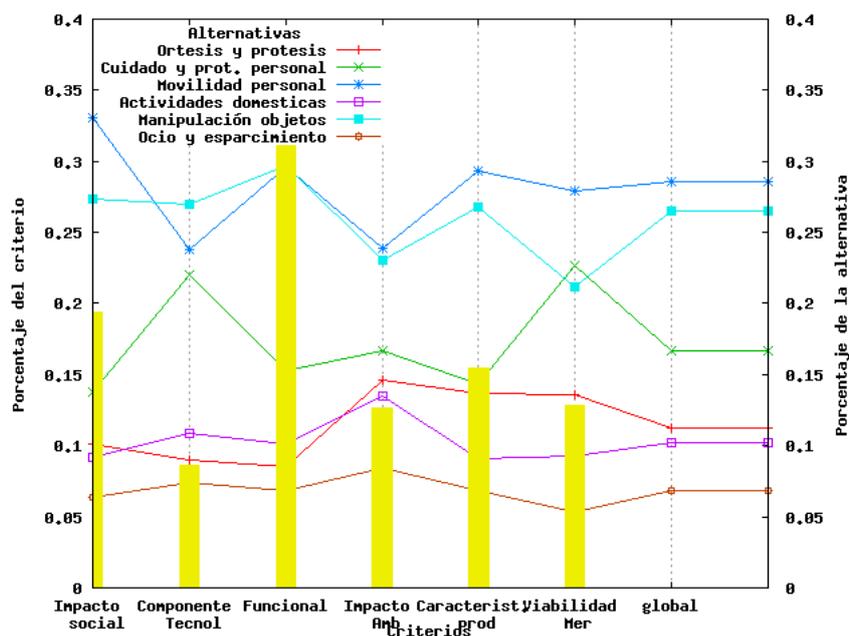


Figura 5.23: Resultados de la selección de la clase de productos que deben ser diseñados que favorezcan la inclusión social en el cuarto experimento. (Fuente: Elaboración propia)

El resultado obtenido, si el análisis hubiera sido hecho sólo desde el Diseño Industrial, se muestra en la Figura 5.24. De otra parte, si dicho análisis hubiera sido hecho desde la ingeniería, el resultado se muestra en la Figura 5.25

El resultado de evaluación de las hipótesis se muestra en el Cuadro 5.11

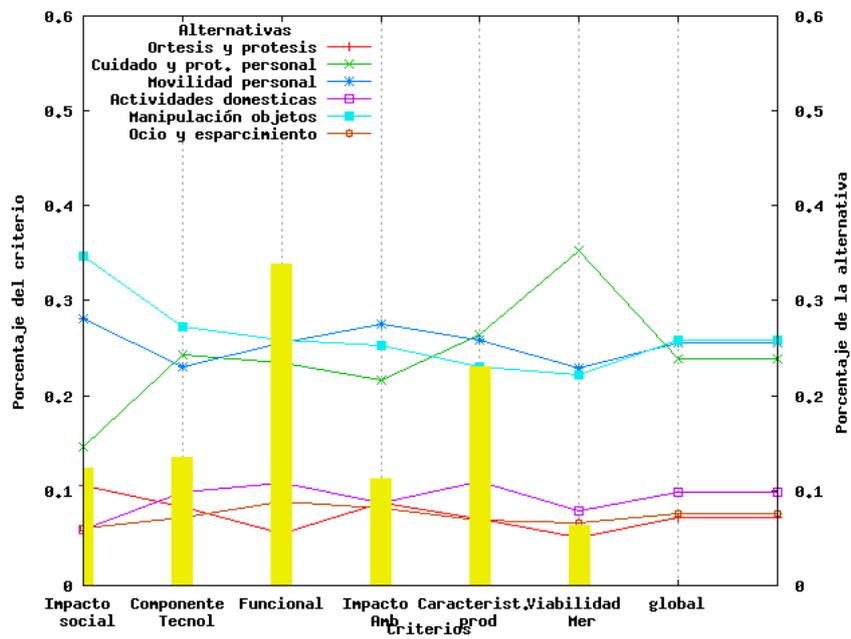


Figura 5.24: Resultado parcial, desde el Diseño Industrial, de la selección de una clase de productos que favorezcan la inclusión social de personas en situación de discapacidad en el cuarto experimento. (Fuente: Elaboración propia)

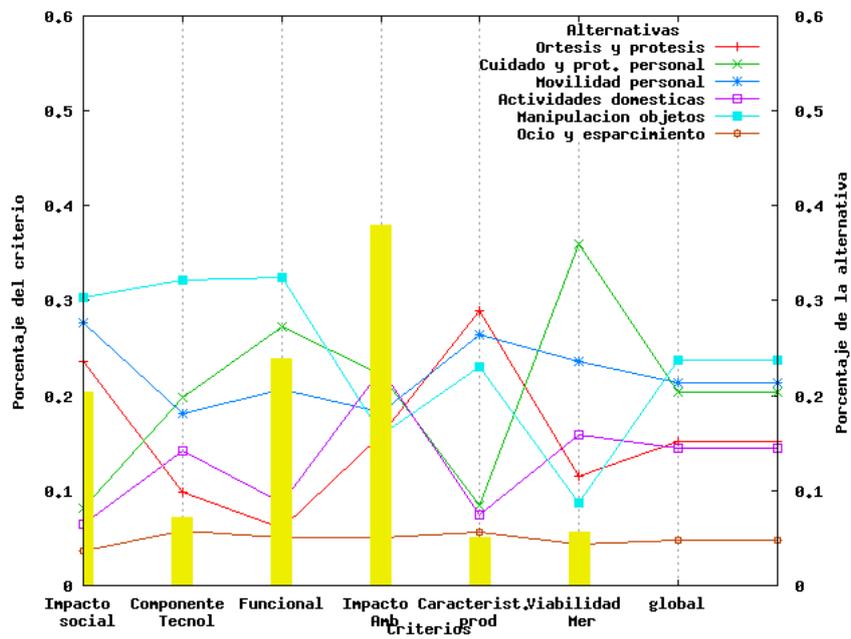


Figura 5.25: Resultado parcial, desde la Ingeniería, de la selección de una clase de productos que favorezcan la inclusión social de personas en situación de discapacidad en el cuarto experimento. (Fuente: Elaboración propia)

Hipótesis	Confirma (si/no)	Comentario
H1: El trabajo con equipos multidisciplinares permite ampliar la visión del problema	SI	Se verifica desde las características del modelo jerárquico planteado y de los diferentes puntos de vista en los resultados parciales de las disciplinas.
H2: Las disciplinas ejercen una marcada influencia en el análisis del problema	NO	No existe una incidencia de las profesiones en la decisión, pero el peso dado a los criterios indica un rasgo de la profesión.
H3: Existe una alineación en la percepción comercial de la Universidad y la empresa.	NO	Las visiones de mercado de la empresa y el usuario, son diferentes a la Universidad. La percepción comercial no coincide.

Cuadro 5.11: Resultados de evaluación de las hipótesis del cuarto experimento. (Fuente: Elaboración propia)

5.5. Quinto experimento: Diseño conceptual de un producto utilizando el modelo ampliado del Diseño Axiomático.

El quinto experimento consiste en la utilización modelo ampliado del Diseño Axiomático planteado en esta tesis. Este modelo es una propuesta para el trabajo multidisciplinar en el diseño conceptual de producto. Este experimento fue realizado con un conjunto de estudiantes de último año de ingeniería (electrónica y mecánica) y dos profesionales recién egresadas de diseño industrial, en Cali, Colombia. Este grupo también forma parte del proyecto de diseño de ayudas técnicas mencionado en el experimento anterior.

Los objetivos para este experimento fueron:

- Verificar la utilidad del modelo de diseño de producto con equipos multidisciplinares a través de una experiencia de diseño conceptual con equipos.
- Evaluar la utilidad de calcular el Contenido de Información para requerimientos no funcionales
- Evaluar la fortaleza de utilizar TRIZ y el Diseño Axiomático en forma conjunta desde el análisis del problema
- Identificar áreas de mejora para el diseño conceptual utilizando el modelo ampliado del Diseño Axiomático

5.5.1. Método de experimentación

Las siguientes fueron las fases del experimento, el cual tuvo una capacitación inicial en TRIZ y Diseño Axiomático. En la Figura 5.26 se muestra a manera de diagrama de flujo el método seguido.

1. Proposición de un problema de diseño.
2. Composición del grupo de trabajo a partir de disciplinas asociadas con el problema y tipologías de personalidad diferentes. Reunión inicial del equipo de diseño.
3. Entrevista a usuarios para contextualizar el problema de diseño.

4. Redefinición del problema de diseño.
5. Análisis del problema a través de las nueve ventanas - TRIZ.
6. Definición de requerimientos del producto a partir de las contradicciones encontradas en la transición de las ventanas y del análisis general del problema.
7. Definición de Requerimientos Funcionales (FRs) y requerimientos subjetivos, o perceptuales del producto, de primer nivel de la jerarquía.
8. Representación de requerimientos subjetivos en una forma estructurada que permita la manipulación Fuzzy con base en una descripción verbal que permita asociar cualidades.
9. Asignación de Rangos de Diseño de los Requerimientos Funcionales.
10. Definición de cuantificadores para caracterizar atributos del producto y para definir el deseo del usuario -FUZZY
11. Definición de restricciones para el problema de diseño. Ventana del subsistema futuro de las nueve ventanas -TRIZ- y consideraciones disciplinares asociadas al problema.
12. Obtención de Parámetros de Diseño para los Requerimientos Funcionales de primer nivel. -Diseño Axiomático y TRIZ.
13. Utilización de bocetos para representar las ideas de los Parámetros de Diseño (DPs) con base en los principios inventivos TRIZ.
14. Elaboración de propuestas conjuntas con base en los bocetos elaborados.
15. Planteamiento de la ecuación de Diseño $[FR]=[A][DP]$ con base en las propuestas elaboradas para evaluar independencia funcional.
16. Planteamiento, a partir de los DPs encontrados, de los Requerimientos Funcionales de niveles inferiores y restricciones.
17. Determinar los DPs de niveles inferiores y seguir con el proceso de zigzaguo. Verificar permanentemente la independencia funcional con la matriz de diseño con la Ecuación de Diseño.
18. Evaluar con el equipo de diseño, incluido el usuario las propuestas elaboradas.
19. Repetir el proceso de determinación de FRs de primer nivel y proceso de diseño.
20. Evaluación de propuestas con base en Contenido de Información y evaluación Fuzzy del sistema en forma complementaria.

5.5.2. Aplicación del modelo ampliado del Diseño Axiomático en el diseño conceptual de un producto

En las siguientes secciones, se muestra el proceso seguido para la aplicación del modelo ampliado del Diseño Axiomático con equipos multidisciplinares, como se ha propuesto en esta tesis. Como fue descrito en la sección anterior, el proceso se inicia con la formulación de un problema, posteriormente se hace un proceso de redefinición y de análisis utilizando TRIZ. Los requerimientos del productos son expresados como Requerimientos Funcionales y no Funcionales. Una vez definidos los Requerimientos, se continua con la fase creativa, en el proceso de definición de Parámetros de Diseño (DPs) y con la fase analítica, planteando la Ecuación de Diseño y el cálculo del Contenido de Información. Un diagrama de flujo del método seguido se muestra en la Figura 5.26.

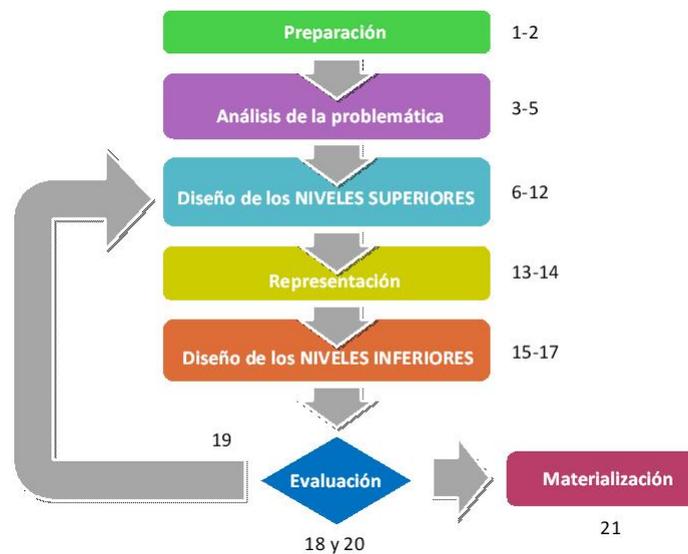


Figura 5.26: Método para aplicación del modelo ampliado del Diseño Axiomático en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)

Proposición de un problema de diseño

El problema de diseño propuesto ha sido el mismo utilizado en los experimentos iniciales de la fase creativa. En forma resumida, se propone el diseño de una mesa que permita trabajar de pie y sentado en un ambiente de oficina. La descripción del

problema se muestra en el Apéndice A.

Composición del grupo de trabajo multidisciplinar con diferentes tipologías y reunión inicial

Se conformó un equipo de 5 personas. La composición del grupo en cuanto a profesión y perfiles de personalidad se muestra en el Cuadro 5.12

Profesión	Tipología
Diseñadora Industrial	ESTJ
Diseñadora Industrial	INTJ
Estudiante de tercer año de Ing. Mecánica	ENTJ
Estudiante de tercer año de Ing. Mecánica	INTP
Estudiante de último año de Ing. Electrónica	INTP

Cuadro 5.12: Conformación del equipo de diseño para el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)

Con el grupo de trabajo, se realizó la presentación general del problema, se informó sobre las características personales bajo el test de Myers-Briggs y se discutió el enunciado. Se sugirió realizar una entrevista a un usuario para contextualizar el problema y redefinirlo puesto que la descripción del problema es general. De otra parte, los ingenieros solicitaron tener información cuantificable de los volúmenes, pesos y dimensiones de un sitio de trabajo para poder caracterizar los requerimientos funcionales.

Indagación a usuarios para contextualizar el problema de diseño

Se tomó como referencia un espacio de trabajo de una secretaria en la Pontificia Universidad Javeriana en Cali, Colombia, quien atiende a estudiantes y profesores. Esta persona, también realiza labores de trabajo administrativo en un departamento de la Facultad de Ingeniería. El grupo también indagó, con otras secretarías de la Facultad, sobre los hábitos diarios, en cuanto a movilidad, en el lugar de trabajo y la importancia que le daban a un sistema con las propiedades del problema.

Redefinición del problema de diseño

Después del análisis preliminar del problema y con base en una entrevista con el usuario, se replanteó el problema de la siguiente forma:

El personal de las oficinas de empresas de servicios colombianas ubicadas en la ciudad de Cali sufren lesiones asociadas al sedentarismo por la nula variabilidad en la altura y poca área de trabajo en sus superficies de trabajo; que también son usadas para el almacenamiento de los elementos de trabajo. Se requiere un sistema que contribuya a disminuir las lesiones por sedentarismo y brinde mejores prestaciones en área y almacenamiento.

Análisis del problema a través de las nueve ventanas - TRIZ

El grupo realizó un análisis del problema utilizando las nueve ventanas de TRIZ tomando como base un sistema actual que se acerca a la solución del problema. El resultado del análisis por las nueve ventanas se muestra en la Figura 5.27



Figura 5.27: Análisis del problema, en el quinto experimento, para evitar sedentarismo en la oficina con la técnica de las nueve ventanas de TRIZ. (Fuente: Elaboración propia)

Definición de requerimientos del producto a partir de las contradicciones encontradas en la transición de las ventanas del sistema en el presente y en el futuro

En las nueve ventanas, la transición del sistema del presente al futuro permite plantear contradicciones, técnicas o físicas, las cuales a su vez permiten definir requerimientos del producto y más adelante a partir de los principios soluciones para el problema. De esta forma, con el análisis de las nueve ventanas de TRIZ y el análisis general del problema, se plantean los siguientes requerimientos del producto:

1. Variar la altura de la superficie de trabajo
2. Variar el área de la superficie de trabajo
3. Contener los elementos de trabajo
4. Soportar los elementos de trabajo
5. Personalizar el color de la superficie de trabajo
6. Las partes del objeto deben manipularse intuitivamente

Definición de Requerimientos Funcionales (FRs) y requerimientos subjetivos, o perceptuales del producto, de primer nivel de la jerarquía

Se plantean los Requerimientos Funcionales del producto para el nivel superior de la jerarquía tomando como base los requerimientos del paso anterior en consonancia con el Diseño Axiomático. También se expresan los Requerimientos No Funcionales para que sean elementos intencionales de diseño como se ha argumentado en la tesis. Los requerimientos funcionales se plantean utilizando verbos activos, es decir, verbos que realizan una acción sobre un objeto y los no funcionales corresponden a expresiones lingüísticas cuyo rango de diseño no es cuantificable directamente sino que se expresa a través de cuantificadores asociados con atributos del requerimiento.

De esta forma se plantean los siguientes Requerimientos Funcionales (FR):

- FR1 Variar la altura de la superficie de trabajo
- FR2 Variar el área de la superficie de trabajo
- FR3 Contener los elementos de trabajo

FR4 Soportar los elementos de trabajo

FR5 Personalizar el color de la superficie

Y el requerimiento no funcional:

NFR6: Las partes del objeto deben manipularse de manera intuitiva.

Desde la teoría del Diseño Axiomático se exige que estos requerimientos sean puestos en común entre las diversas áreas de la empresa y deben ser entendidos por todo el grupo de diseño. La razón de este acuerdo es porque el método exige que no haya modificaciones posteriores de requerimientos superiores y cuando esto se presenta debe repetirse el procedimiento.

Representación de requerimientos subjetivos en una forma estructurada que permita la manipulación Fuzzy con base en una descripción verbal que permita asociar cualidades

El requerimiento no funcional o subjetivo se había planteado así: NFR6: Las partes del objeto deben manipularse de manera intuitiva.

Una reformulación del requerimiento se plantea de la siguiente forma:

NFR6: Permitir la manipulación intuitiva de las partes.

Que básicamente ha adicionado un verbo en la descripción y permite especificar un criterio que en este caso es la **manipulación intuitiva**.

Asignación de Rangos de Diseño de los Requerimientos Funcionales

Para cada uno de los requerimientos funcionales, a partir de estándares, normas o características particulares del problema, se especifican los Rangos de Diseño. Se sugiere especificar rangos amplios de diseño, en cuanto sea posible, para que la manufactura sea factible y se disminuya la complejidad (asociada al Contenido de Información). De esta forma, se plantean los Rangos de Diseño para los requerimientos funcionales como se muestra en el Cuadro 5.13:

Definición de cuantificadores para caracterizar atributos del producto y para definir el deseo del usuario -FUZZY

Con esta fase se busca caracterizar los requerimientos cualitativos que permitan cuantificar la percepción del evaluador respecto al criterio formulado en la enunciación

	FRs	Rango de diseño	Fuente
FR1	Variar la altura de la superficie de trabajo	Sedente 50.29 a 63.79 [cm]; Erguido 89.14 a 102.5 [cm]	[Shah et al., 2003a]
FR2	Variar el área de la superficie de trabajo	0.36 a 0.54 [m ²]	[Shah et al., 2003a]
FR3	Contener los elementos de trabajo	0.96 a 1 [m ³]	Experimental
FR4	Soportar los elementos de trabajo	40 a 45 [Kg]	Experimental
FR5	Personalizar el color de la superficie de trabajo	400 a 700 [nm]	Longitudes de onda de colores visibles por el ojo humano

Cuadro 5.13: Determinación de Rangos de Diseño para el quinto experimento de validación del modelo ampliado del Diseño Axiomático. (Fuente: Elaboración propia)

del requerimiento.

El Cuadro 5.14 muestra un conjunto de cuantificadores para evaluar una alternativa y la característica que debe cumplir el diseño para que se ajuste a la necesidad del problema.

	NFRs	Cuantificadores	Deseo
NFR6	Permitir la manipulación intuitiva de las partes	Muy alta Alta Moderada Baja Muy baja	Al menos moderada

Cuadro 5.14: Determinación de cuantificadores para el requerimiento Fuzzy y determinación del deseo con base en el problema de diseño en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)

Definición de restricciones para el problema de diseño. Se sugiere el uso de la ventana del subsistema futuro de las nueve ventanas -TRIZ- y consideraciones disciplinares asociadas al problema

Las restricciones son las limitaciones del producto que deben ser respetadas en el diseño del producto. Una forma de establecer restricciones es a partir del análisis hecho con las Nueve Ventanas, particularmente, en la ventana correspondiente al subsistema en el futuro. También, las restricciones surgen del análisis general del problema y de los conceptos de las disciplinas que se involucran en el proceso de diseño. Las restricciones son limitaciones o fronteras para los Parámetros de Diseño. Puesto que el espacio de búsqueda de las soluciones puede ser muy amplio, se espera que entre mayor sea el número de restricciones, ese espacio de búsqueda se reduzca y las soluciones que se encuentren sean más efectivas en alcanzar las necesidades del usuario. Las siguientes son las restricciones generadas para el experimento:

- Acabados no reflectantes
- Acabados que no despidan olores molestos
- Acabados de materiales no tóxicos
- Formas redondeadas, superficies suaves
- Mecanismos simples y económicos
- Materiales resistentes al clima tropical
- Larga vida útil
- Variar la altura de la superficie de trabajo sin ruido
- Proveer seguridad a los compartimientos de almacenamiento

Obtención de Parámetros de Diseño para los Requerimientos Funcionales de primer nivel

Los Parámetros de Diseño (DPs) son los elementos físicos que se proponen para la solución de los Requerimientos Funcionales. En el modelo planteado, estos Parámetros de Diseño (DPs) surgen de la aplicación de los principios inventivos TRIZ, sugeridos con el uso de la Matriz de Contradicciones. El uso de la Matriz de Contradicciones consiste en ubicar los parámetros TRIZ que entran en contradicción en el análisis de un problema, es decir, que parámetro se desfavorece por querer mejorar otro. Esas contradicciones surgen del análisis del problema, con la técnica de las nueve ventanas,

cuando se analiza la transición de la ventana sistema del presente con la ventana del sistema futuro. La ventana del sistema en el presente, es lo conocido en la actualidad, y la ventana del sistema en el futuro, es lo hipotético deseado.

Una forma de plantear contradicciones es: “Deseo *una función* pero con el sistema actual no lo puedo hacer porque al querer mejorar *un parámetro*, otro *parámetro* o *el mismo* se desmejora.

El Cuadro 5.15 muestra la forma de expresar las contradicciones:

FRS	Quiero...	Parámetro que se desea mejorar (TRIZ)	Pero no puedo porque...	Parámetro que se afecta al mejorar otro (TRIZ)
FR1	Variar la altura de a superficie	Adaptabilidad (35)	La superficie y los elementos de trabajo son pesados	Peso del objeto móvil (1)
FR2	Mayor área de trabajo	Area del objeto móvil (5)	Ocuparía mayor espacio en el área de trabajo	Efectos laterales nocivos (31)
FR3	Contener los elementos de trabajo	Volumen del objeto móvil (7)	Se aumentaría el peso para mover al variar la altura	Peso del objeto móvil (1)
FR4	Tener muchos elementos de trabajo en la superficie	Complejidad del sistema (36)	Los elementos ocupan mucha área	Area del objeto inmóvil (6)
FR5	Cambiar el color de la superficie de trabajo	Brillo (18)	Tendría que cambiar la mesa completa o pegar algo	Consumo de tiempo (25)
FR6	Un manejo intuitivo de las partes	Confiableidad (27)	Se vuelve más complejo el sistema	Complejidad del sistema (36)

Cuadro 5.15: Enunciación de contradicciones con base en los Requerimientos Funcionales (FRs) de un problema de diseño en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)

Utilización de bocetos para representar las ideas de los Parámetros de Diseño (DPs) con base en los principios.

Los principios sugeridos a partir de las contradicciones planteadas para los requerimientos funcionales se muestran en el Cuadro 5.16

	Requerimientos Funcionales (FRs)	Fun-	Contradicción	Principios
FR1	Variar la altura de a superficie		Adaptabilidad (35) - Peso del objeto móvil (1)	1,6,15,8
FR2	Variar el área de la superficie de trabajo		Area del objeto móvil (5) - Efectos laterales nocivos (31)	22,1,40
FR3	Contener los elementos de trabajo		Volumen del objeto móvil (7) - Peso del objeto móvil (1)	2,26,9,40
FR4	Soportar los elementos de trabajo		Complejidad del sistema (36) - Area del objeto inmóvil (6)	6,36
FR5	Personalizar el color de la superficie de trabajo		Brillo (18) - Consumo de tiempo (25)	19,1,26,7
NFR6	Permitir la manipulación intuitiva de las partes		Confiabilidad (27) - Complejidad del sistema (36)	13,35,17

Cuadro 5.16: Principios sugeridos para los Requerimientos Funcionales de primer nivel a partir del análisis de nueve ventanas TRIZ en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)

Para las primeras ideas que cumplan con los requerimientos funcionales se elaboraron bocetos utilizando un principio de la lista de los sugeridos por TRIZ.

Para el primer Requerimiento Funcional FR1, variar la altura de la superficie, se utilizó el principio 15 TRIZ de *dinamicidad*. El principio de dinamicidad sugiere varias recomendaciones para generar ideas; Una de ellas es convertir un objeto movable si es inmóvil; dividir los objetos en partes capaces de moverse en forma relativa respecto de otras, aumentar el grado de movimiento libre y cambiar el objeto o ambiente dinámicamente. Con base en las recomendaciones el equipo de diseño sugirió dos bocetos que se muestran en las Figuras 5.28(a) y 5.28(b) en los cuales se evidencia el uso del principio en la movilidad de la superficie superior.

Para el segundo Requerimiento Funcional FR2, variar el área de la superficie de

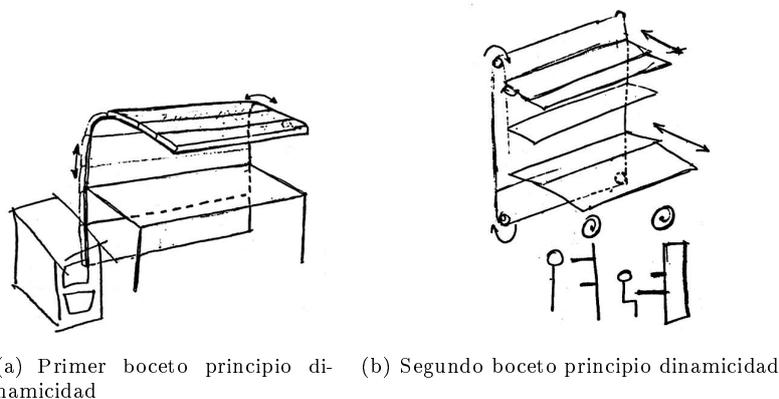
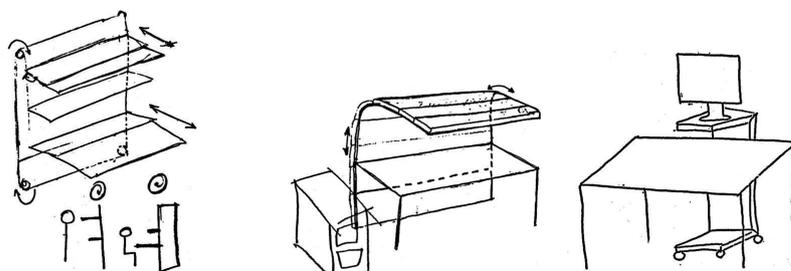


Figura 5.28: Bocetos para el Requerimiento Funcional de variar altura utilizando el principio de dinamicidad de TRIZ en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)

trabajo, fue utilizado el principio 22 de *convertir lo nocivo en un bien*. El principio sugiere las siguiente recomendaciones, usar los factores positivos para llevar a cabo efectos positivos, eliminar el factor nocivo adicionando otro factor nocivo y amplificar el factor nocivo a tal grado que este pueda impedir peligro a su objeto o al entorno. Con base en las recomendaciones indicadas, el equipo de diseño sugirió tres alternativas, las dos primeras que se muestran en las Figuras 5.29(a) y 5.29(b) utilizan el principio de dinamicidad del anterior requerimiento y la Figura 5.29(c) es otra propuesta aplicando el principio.

Para el tercer Requerimiento Funcional FR3, contener los elementos de trabajo, fue utilizado el principio 2 de *separación*. El principio sugiere las siguiente recomendaciones: retire una parte interferente del objeto, si alguna propiedad del objeto es indeseada; identifique que parte del objeto es la portadora de la propiedad indeseada y sepárela del objeto. Con base en las recomendaciones indicadas, el equipo de diseño sugirió la alternativa que se muestra en la figura 5.30.

Para el cuarto Requerimiento Funcional FR4, soportar los elementos de trabajo, fue utilizado el principio 6 de *universalidad*. El principio sugiere la siguiente recomendación, si se tienen dos objetos que entregan diferentes funciones, diseñe un nuevo objeto que pueda ser capaz de realizar ambas funciones. Con base en las recomendaciones indicadas el equipo de diseño sugirió tres tipos de alternativas que se muestran en la figura 5.31.



(a) Primer boceto principio volver lo nocivo un bien (b) Segundo boceto principio volver lo nocivo un bien (c) Tercer boceto principio volver lo nocivo un bien

Figura 5.29: Bocetos para el Requerimiento Funcional de variar el área de la superficie utilizando el principio de volver lo nocivo un bien de TRIZ en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)

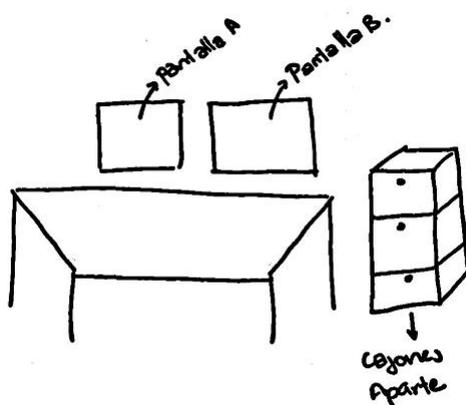
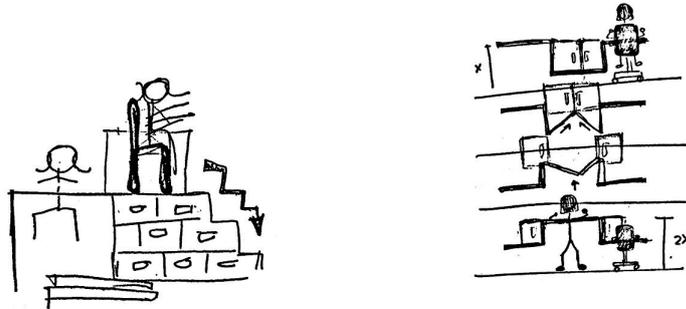
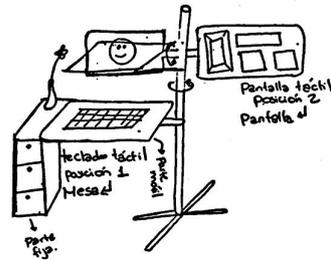


Figura 5.30: Boceto de utilización del principio de separación para satisfacer el Requerimiento Funcional de contener los elementos de trabajo del quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)

Para el quinto Requerimiento Funcional FR5, cambiar la superficie de trabajo, fue utilizado el principio 1 de *segmentación*. El principio sugiere las siguientes recomendaciones, dividir el objeto en partes independientes, dividir el objeto en partes de tal manera que alguna de sus partes pueda ser fácilmente retirada y aumentar el grado de fragmentación de los objetos. Con base en las recomendaciones indicadas el equipo de diseño sugirió tres alternativas.



(a) Primer boceto principio universalidad (b) Segundo boceto principio universalidad



(c) Tercer boceto principio universalidad

Figura 5.31: Bocetos para el Requerimiento Funcional de soportar los elementos de trabajo utilizando el principio de universalidad de TRIZ en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)

- Láminas intercambiables de colores
- Manipulación del color con láminas controlables de cristal líquido o similar
- Sistema de iluminación que cambie el color de la superficie

Para el sexto Requerimiento No Funcional FR6, permitir la manipulación intuitiva de las partes, fue utilizado el principio 13 de *otra manera*. El principio sugiere las siguientes recomendaciones, en lugar de las acciones definidas realice una acción opuesta y hacer la parte móvil de su objeto fija y la parte fija móvil. Con base en las recomendaciones indicadas el equipo de diseño sugirió tres alternativas que se muestran en la figura 5.32.

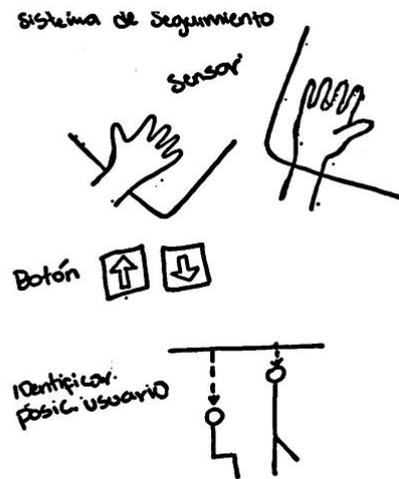


Figura 5.32: Alternativas de uso del principio de “otra manera” para satisfacer el Requerimiento No Funcional de permitir la manipulación intuitiva de las partes de trabajo en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)

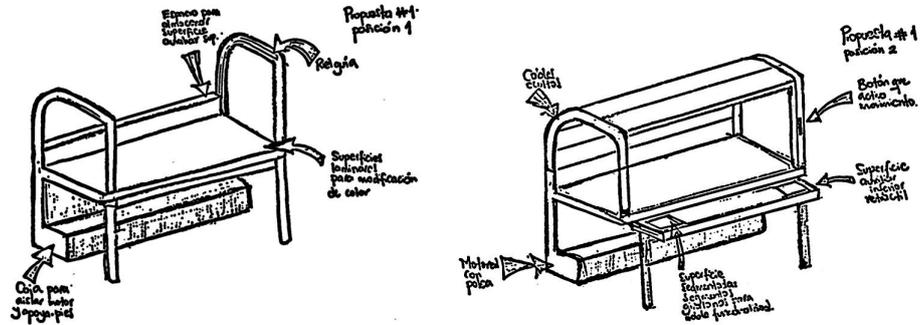
Elaboración de propuestas conjuntas con base en los bocetos elaborados

El equipo de diseño con base en las propuestas elaboradas en forma individual a partir de los requerimientos funcionales y no funcionales planteó tres bocetos para ser desarrollados y confrontados con el usuario.

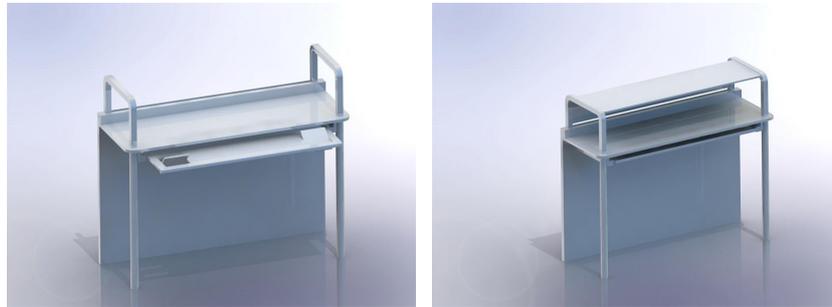
El primer boceto se muestra en la Figura 5.33

Las características de la primera propuesta son las siguientes:

- Caja para aislar motor y el sistema de apoyar los pies
- Espacio para almacenar superficie auxiliar superior
- Riel guía
- Superficies laminares para modificación de color
- Cables ocultos
- Motoreductor con polea



(a) Primer boceto con superficie superior oculta (b) Primer boceto con superficie superior visible



(c) Representación con software 3D del primer boceto con superficie superior oculta (d) Representación con software 3D del primer boceto con superficie superior visible

Figura 5.33: Primer boceto elaborado por el equipo de diseño para el problema planteado en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)

- Botón que activa movimiento
- Superficie auxiliar inferior retráctil
- Superficie segmentada, segmentos giratorios para doble funcionalidad

El segundo boceto se muestra en la Figura 5.34

Las características de la segunda propuesta son las siguientes:

- Superficies de pantalla táctil (servicios, manipulación del color)
- Superficies a diferentes alturas que varían su área (retráctiles)
- Sensor de posición del usuario (si el usuario está de pie la superficie superior sale y la inferior entra. Se alterna entre posición sedente y bípedo)

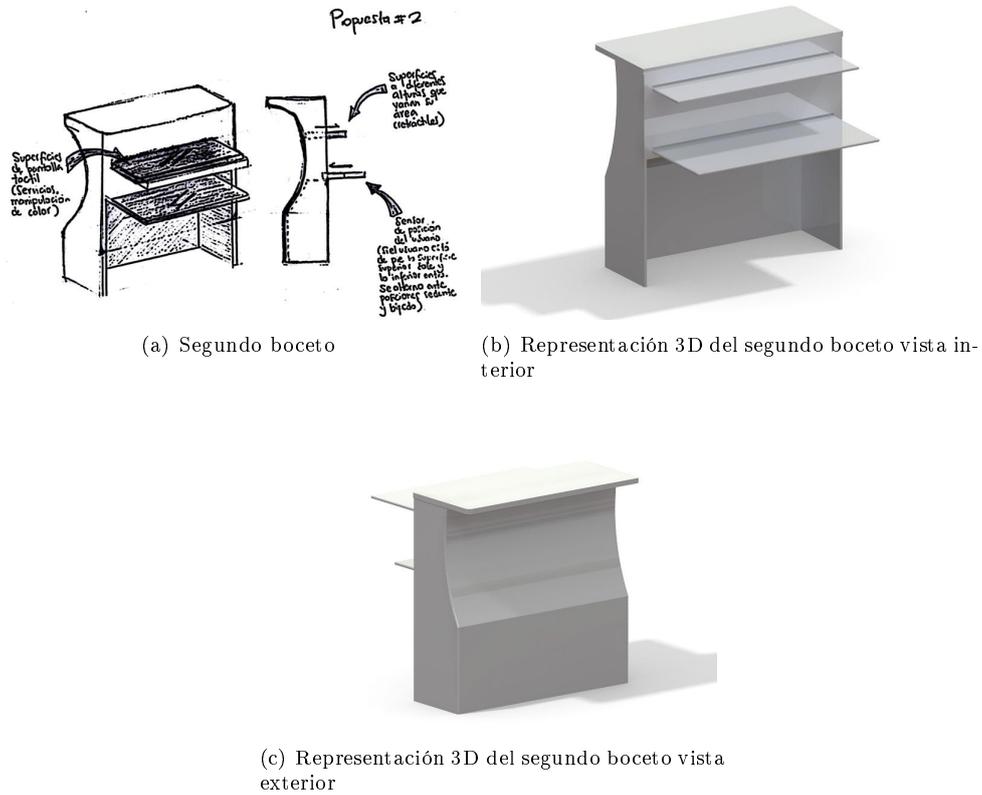
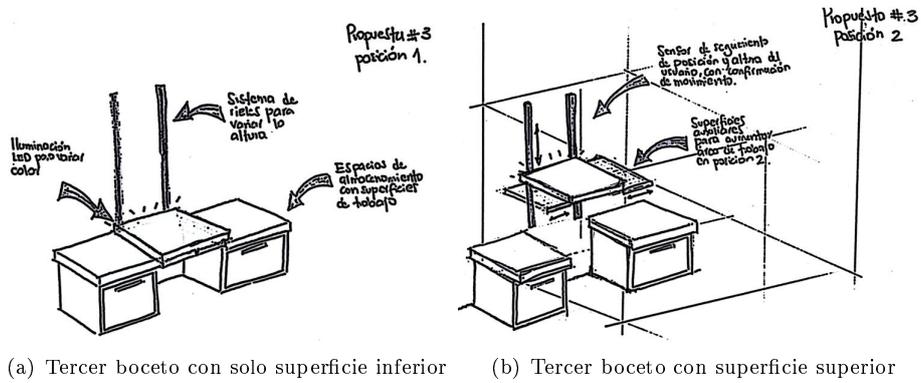


Figura 5.34: Bocetos de la segunda propuesta para el problema de diseño del quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)

El tercer boceto se muestra en la Figura 5.35

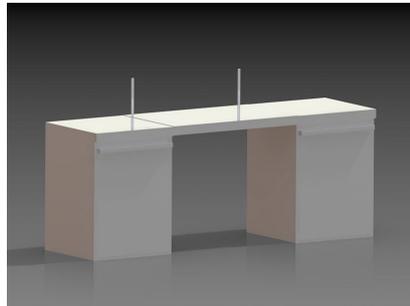
Las características de la tercera propuesta son las siguientes:

- Iluminación LED para variar color
- Sistema de rieles para variar la altura
- Espacio de almacenamiento con superficies de trabajo
- Sensor de seguimiento de posición y altura del usuario con confirmación de movimiento
- Superficies auxiliares para aumentar área de trabajo en la posición 2

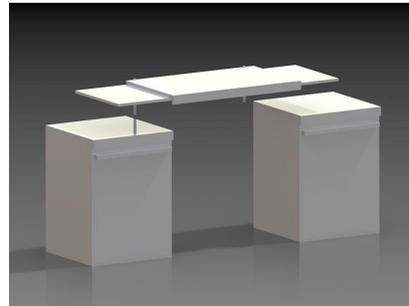


(a) Tercer boceto con solo superficie inferior

(b) Tercer boceto con superficie superior



(c) Representación 3D del tercer boceto con una sola superficie



(d) Representación 3D para el tercer boceto con dos superficies

Figura 5.35: Tercer boceto elaborado por el equipo de diseño para el problema planteado en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)

Planteamiento de la ecuación de Diseño $[FR]=[A][DP]$ con base en las propuestas elaboradas para evaluar independencia funcional

Con base en las propuestas que se han mostrado previamente, se asignaron los parámetros de diseño del primer nivel de la estructura en el Diseño Axiomático los cuales se muestran en el Cuadro 5.17.

Fueron elaboradas las matrices de diseño para las tres propuestas. El Cuadro 5.18 representa la matriz de diseño para la primera propuesta que es similar a las otras dos.

FR	DPs Propuesta 1	DPs Propuesta 2	DPs Propuesta 3
FR1	Dos tornillos de movimiento axial con tuercas giratorias sin translación alimentadas por motor	Dos superficies fijas usadas para posición erguida y sedente	Superficie sujeta a dos guías verticales e impulsadas por tornillo (a su vez impulsado por motor) en la parte inferior
FR2	Superficie auxiliar segmentada articulada	Dos superficies retráctiles anexas a cada superficie fija	Dos superficies laterales auxiliares y retráctiles anexas a la superficie principal
FR3	Contenedores de almacenamiento individuales	Contenedores de almacenamiento individuales	Contenedores de almacenamiento individuales
FR4	Dos superficies que puedan tener un estado plano, horizontal y fijo	Superficies planas y en posición horizontales	Superficies planas con posiciones horizontales
FR5	Láminas de plástico intercambiables de colores que recubren independientemente cada segmento de la superficie auxiliar	Pantalla táctil manipulada por señales	Sistema de iluminación por LEDS cubiertos por una capa traslúcida y mate
NFR6	Botón que activa movimiento	Sistema de control que reacciona al cambio de posición del usuario (erguida y sedente)	Sensor de seguimiento de altura de usuario que pide confirmación de movimiento

Cuadro 5.17: Asociación de Parámetros de Diseño a los Requerimientos Funcionales con base en los bocetos elaborados para solución en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)

	DP1	DP2	DP3	DP4	DP5	DP6
FR1	x	o	o	o	o	x
FR2	o	x	o	o	o	o
FR3	o	o	x	o	o	o
FR4	o	o	o	x	o	o
FR5	o	o	o	o	x	o
NFR6	o	o	o	o	o	x

Cuadro 5.18: Matriz de diseño para la primera propuesta de diseño en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)

Planteamiento de los Requerimientos Funcionales de niveles inferiores, Parámetros de Diseño y restricciones adicionales

Para el planteamiento de los Requerimientos Funcionales de bajo nivel y los Parámetros de Diseño asociados, se lleva a cabo un proceso de zigzagado, donde a partir de los DPs seleccionados, se plantean los nuevos FRs. Tomando como referencia la propuesta 3, en el Cuadro 5.19 se muestran los requerimientos de nivel inferior junto con los parámetros de diseño, que conforman la matriz de diseño. La matriz de diseño es el elemento que permite evaluar el Primer Axioma de la Independencia Funcional. Se ha involucrado, adicionalmente, en esta matriz los requerimientos no funcionales del sistema.

Evaluación del Contenido de Información

El Contenido de información para los requerimientos funcionales se evalúa a través de la expresión presentada para tal propósito en la ecuación (2.4). La expresión evalúa la probabilidad de cumplir con el Rango de Diseño a partir de los parámetros de diseño seleccionados para satisfacer los requerimientos funcionales. El diseño con menor Contenido de Información es el diseño más adecuado.

Evaluación alternativa del Contenido de Información para los requerimientos no funcionales

Para el cálculo del Contenido de Información, asociado a los requerimientos no funcionales, se utiliza la Función de Agregación que es un equivalente para dicha medida. La función de agregación se calcula a partir del resultado de dos funciones, la primera es la función G que describe el conocimiento del parámetro de diseño para satisfacer el Requerimiento no Funcional y la segunda es la función D la cual está asociada al deseo del Requerimiento Funcional. El proceso para el cálculo de la función de agregación se inicia con el establecimiento de la proposición del deseo para el requerimiento no funcional, esta proposición de deseo es el equivalente al Rango de Diseño para los Requerimientos Funcionales.

Para el Requerimiento no Funcional, NFR6: manipulación intuitiva de las partes, el cuantificador deseado es “moderada”. El cuantificador moderada corresponde a un elemento de un conjunto de cuantificadores definidos por el equipo diseñador, que en el ejemplo considera: muy alto, alto, moderado, bajo y muy bajo. El deseo está compuesto por un cuantificador, seleccionado del conjunto, acompañado de un modificador que lo define con mayor precisión, para el ejemplo es “al menos”, lo cual significa que la proposición deseada para el requerimiento no funcional es: la manipulación intuitiva de las partes “debe ser al menos moderada”.

Para la evaluación de la función G se requiere de las opiniones de las personas que conforman el equipo diseñador. Esas opiniones, dependientes del Requerimiento no Funcional, deben ser ponderadas de acuerdo al grado de pertinencia de los integrantes del equipo de diseño con dicho requerimiento. Para el proceso de ponderación se utilizó la técnica AHP, donde el objetivo fue determinar el peso de la contribución de los evaluadores de los Requerimientos no Funcionales. Los criterios del primer nivel fueron el Requerimiento no Funcional y el objetivo general del diseño. Por último, las opciones a evaluar fueron: la ingeniería, el diseño y el usuario. En la Figura 5.36 se muestra el diagrama jerárquico para la ponderación de su participación.

Las personas que emiten los juicios, para el modelo jerárquico propuesto, son los

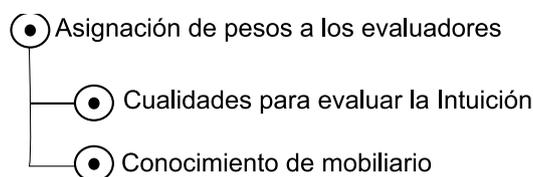


Figura 5.36: Jerarquía del modelo propuesto en AHP para ponderar a los decisores del Requerimiento no Funcional en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)

mismos integrantes del equipo de diseño, asociados con las profesiones que se desean ponderar. En este caso, los evaluadores son un ingeniero, una diseñadora y un usuario. La ponderación de las profesiones es hecha porque la característica del Requerimiento no Funcional puede tener mayor afinidad a una profesión que a otra y eso debe ser valorado para el proceso siguiente de medida de la Función de Agregación. De esta forma, para el cálculo de los pesos se aplicó la técnica AHP a través del software Expert Choice. Los resultados se muestran en el Cuadro 5.20

Disciplina	Peso
Diseño	0.52
Usuario	0.29
Ingeniería	0.18

Cuadro 5.20: Ponderación de los participantes del equipo de diseño para evaluar la función de agregación para los Requerimientos no Funcionales en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)

El cálculo de la Función de Agregación, para el modelo propuesto, requiere del juicio de los diferentes evaluadores en forma ponderada, como se cálculo con la técnica AHP. Esto significa, que el peso del aporte de cada evaluador es diferente según el Requerimiento no Funcional que se esté evaluando. La función de agregación se calcula a través de la ecuación (3.13) que es el equivalente al Contenido de Información.

En este ejemplo, cada Parámetro de Diseño es evaluado por el diseñador, el ingeniero y el usuario. Los Parámetros de Diseño se evalúan respecto al Requerimiento no Funcional con base en el grado de cumplimiento de un conjunto de cuantificadores. Esta evaluación, en el lenguaje Fuzzy, corresponden a la asignación de los valores de verdad para el Requerimiento no Funcional. Para el cálculo unificado de la función de agregación los valores de verdad son asignados de acuerdo al peso relativo de los evaluadores participantes.

En el Cuadro 5.21 se muestran los valores de verdad iniciales dados por cada uno de los participantes y el Cuadro 5.22 se muestra el valor del juicio compensado que servirá para calcular G, D y la función de agregación. El valor de verdad para cada cuantificador obedece a un conjunto de valores de verdad lingüísticos LT1=(Absolutamente cierto (AT), Muy cierto (MT), Casi cierto (QT), Probablemente verdadero (PT), Algo verdadero (ST), No seguro (NS), Algo Falso (SF), Probablemente falso (PF), Algo falso (QF), Muy falso (MF), Absolutamente falso (AF))

Diseño 1	Muy Alta	Alta	Moderada	Baja	Muy baja
Diseño	0.8	0.9	0.7	0.2	0.0039
Ingeniería	0.5	0.6	0.96	0.3	0.2
Usuario	0.7	0.9	0.8	0.2	0.1

Cuadro 5.21: Calificación inicial, sin ponderación, de la primera alternativa de diseño frente al requerimiento de Manipulación intuitiva de las partes en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)

Diseño	0.4184	0.4707	0.3661	0.1046	0.0204
Ingeniería	0.0920	0.1104	0.1766	0.0552	0.0368
Usuario	0.2051	0.2637	0.2344	0.0586	0.0293

Cuadro 5.22: Calificación ponderada, de la primera alternativa de diseño frente al requerimiento de Manipulación intuitiva de las partes en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)

Con los datos obtenidos para las tres alternativas se procede al cálculo de la función de agregación, la cual fue una implementación realizada en Matlab a partir del trabajo de Ullah [Ullah, 2005]. La Figura 5.37 muestra la pantalla de ingreso de los datos para cada alternativa, la Figura 5.38 muestra tanto los valores de verdad del deseo como el cálculo de las funciones G y D, y por último la Figura 5.39 muestra el resultado gráfico de las tres alternativas consideradas junto con el valor de la función de agregación para cada alternativa.

El Contenido de Información total se calcula como la suma del Contenido de Información para los requerimientos funcionales y el valor de la función de agregación. La mejor alternativa desde este punto de vista es aquella que tenga el menor valor de la suma calculada. Para el caso del ejemplo en consideración, el Contenido de Información para los Requerimientos Funcionales es cero debido a que el rango de diseño se encuentra dentro del Rango de Sistema por la simplicidad del Diseño y los valores

Diseño 1			Diseño 2		
Cuantificador	Opinión	Valor de verdad	Cuantificador	Opinión	Valor de verdad
Muy alta	Probablemente cierto	0.7	Muy alta	Algo falso	0.4
Alta	Bastante cierto	0.8	Alta	Algo verdadero	0.6
Moderada	Bastante cierto	0.8	Moderada	Probablemente cierto	0.7
Baja	Bastante falso	0.2	Baja	Probablemente cierto	0.7
Muy baja	Sobre todo falso	0.1	Muy baja	Algo verdadero	0.6

Diseño 3		
Cuantificador	Opinión	Valor de verdad
Muy alta	Probablemente falso	0.3
Alta	Algo verdadero	0.6
Moderada	Bastante cierto	0.8
Baja	Bastante cierto	0.8
Muy baja	Algo falso	0.4

Figura 5.37: Imagen del software diseñado en Matlab para ingresar la información de los evaluadores para caracterizar el cumplimiento de los Requerimientos no Funcionales a través de los parámetros de diseño en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)

TV1(pd)	0.8	TV2(pd)	0.7	TV3(pd)	0.8
G1	0.4	G2	0.72	G3	0.6
D1	0	D2	0	D3	0

Figura 5.38: Resultado de los valores de verdad para las proposiciones de deseo y de las funciones G y D

de la función de agregación para el Requerimiento no Funcional se muestran en la Figura 5.39.

Evaluar con el equipo de diseño, incluido el usuario las propuestas elaboradas

Con el conjunto de bocetos elaborados, se realiza una evaluación de las alternativas con la participación del usuario. Por otra parte, el equipo de diseño analiza la transformación sufrida, de las propuestas bocetadas, sin cálculos, frente a aquellas que tienen los DPs calculados. Con estos dos insumos se redefinen los Requerimientos Funcionales, no funcionales y restricciones, y se repite el proceso hasta llegar a una propuesta conciliada. Es importante destacar que las contradicciones surgidas por

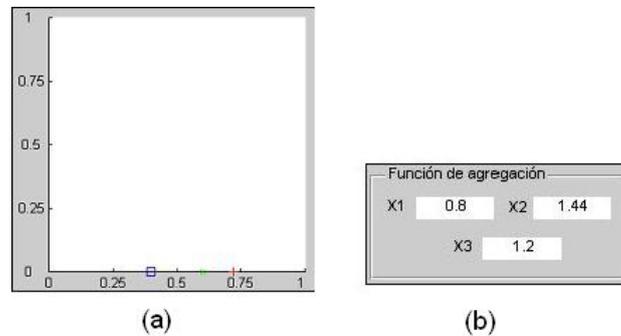


Figura 5.39: a. Visualización de los valores de G y D para el requerimiento no funcional analizado b. Valor de la función de agregación en el quinto experimento. (Fuente: Elaboración propia)

asignación de los DPs frente al deseo planteado en los bocetos se vuelven elementos importantes para la redefinición tanto de los requerimientos como de las restricciones.

5.5.3. Resultados obtenidos para el quinto experimento

El experimento de diseño conceptual aplicando el modelo ampliado del Diseño Axiomático ha mostrado la aplicación del método para una primer ciclo dentro del diagrama de flujo que fue mostrado en la Figura 5.26.

Los resultados obtenidos de esta experimento se pueden resumir de la siguiente manera:

- Planteamiento de un conjunto de requerimientos funcionales y no funcionales para el diseño conceptual de un producto. La novedad consiste en la presencia explícita de los requerimientos no funcionales que en la propuesta original son tratados como restricciones.
- Determinación de un primer conjunto de requerimientos del producto utilizando la estrategia de análisis sistémico de las nueve ventanas de la técnica TRIZ con participación multidisciplinar. Esta característica de análisis amplía la visión del problema, se inserta en el proceso evolutivo del producto a través del manejo de las contradicciones y en la búsqueda de la idealidad.
- Determinación de Parámetros de Diseño utilizando la matriz de contradicciones de la técnica TRIZ.

- Determinación del Rango de Diseño de los Requerimientos no Funcionales a partir de una descripción lingüística en un ambiente Fuzzy.
- Determinación del Contenido de Información para Requerimientos no Funcionales utilizando la Función de Agregación que puede adicionarse al Contenido de Información de los Requerimientos Funcionales.
- Participación colectiva y ponderada de las disciplinas en la determinación
- Interacción con el usuario a través de bocetos e imágenes 3D generadas por software para decantar los requerimientos.
- Verificación del cumplimiento del Primer Axioma del Diseño Axiomático a través de la Ecuación de Diseño
- Conformación de un equipo de diseño con tipologías de personalidad diferente que favorece su interacción.

Frente a los objetivos planteados en el experimento se puede afirmar que:

- Se verificó la utilidad del modelo ampliado del Diseño Axiomático que permitió un trabajo multidisciplinar en torno a un problema de diseño.
- Se utilizó y se comprobó la utilidad de tener un elemento de medida para los requerimientos no funcionales o subjetivos que pudo ser adicionado al Contenido de Información de los Requerimientos Funcionales.
- Se verificó el potencial para el análisis y para la proposición de ideas de la teoría TRIZ la cual fue utilizada en forma conjunta con el Diseño Axiomático.
- Se encontró que una representación 3D mediante software de edición es la forma más adecuada de interactuar con el usuario. Los bocetos elaborados manualmente son ilustrativos para los profesionales del equipo de diseño pero para el usuario una representación más cercana a la realidad facilita la comunicación para conocer sus opiniones.

5.6. Conclusiones del capítulo

En este capítulo se han presentado un conjunto de experimentos y los resultados obtenidos de la fase creativa y la fase analítica del proceso de diseño. La fase creativa y la fase analítica son las dos fases presentes en el proceso de diseño según la propuesta del Diseño Axiomático.

Se realizaron tres experimentos de la fase creativa que han evaluado el proceso creativo y el producto creativo a partir de los bocetos generados por equipos participantes. En el primer experimento se ha realizado una comparación de los resultados obtenidos por los equipos monodisciplinarios versus los multidisciplinarios utilizando TRIZ como estrategia creativa. En el segundo experimento se han comparado los resultados de la efectividad del proceso de diseño con equipos multidisciplinarios, los grupos fueron organizados según diferentes tipologías de personalidad utilizando TRIZ. En el tercer experimento, se han comparado los resultados de las propuestas creativas entre TRIZ, brainstorming y ningún método de diseño.

Respecto a la fase analítica, se han realizado dos experimentos. En el primer experimento se evalúa la participación multidisciplinaria en el análisis preliminar de un problema con equipos multidisciplinarios que involucran al usuario y la segunda para evaluar, en el diseño conceptual con equipos multidisciplinarios, el modelo ampliado del Diseño Axiomático planteado en la tesis.

Parte del contenido expuesto en este capítulo ha sido publicado en:

- Gonzalez-Cruz, M., Aguilar-Zambrano, J., Aguilar-Zambrano, J. J., and Gardoni, M. (2008). La estrategia de creatividad sistemática TRIZ con equipos multidisciplinarios de diseño de producto. *DYNA*, 83(6):337-350.

Capítulo 6

Discusión sobre los resultados encontrados en el trabajo con equipos multidisciplinares

En este capítulo se realiza un análisis de los resultados encontrados en los cinco experimentos, presentados en el capítulo anterior, que involucran tanto la fase creativa como para la fase analítica, del proceso de diseño de productos con equipos multidisciplinares. El último de los experimentos es, a su vez, la aplicación del modelo propuesto en la tesis de ampliación del Diseño Axiomático.

6.1. Discusión de los resultados del primer experimento de la fase creativa:

La estrategia sistemática de creatividad TRIZ con equipos multidisciplinares de diseño de producto

En el experimento se evaluó el producto creativo y el proceso creativo. El producto creativo fue medido a través de las variables Novedad y Calidad de las propuestas utilizando la definición propuesta por Shah. Sin embargo, la forma de medir esas variables, a diferencia del método propuesto por Shah [Shah et al., 2003b], se hizo a

CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN SOBRE LOS RESULTADOS ENCONTRADOS ...

través de la aplicación de la técnica de análisis multicriterio AHP. Son dos las razones de utilizar AHP para el proceso de medida, la primera es porque las propuestas han nacido de una participación multidisciplinar y segundo, porque los criterios para evaluar las características de Novedad y Calidad, tienen diferentes interpretaciones de acuerdo a la profesiones. De esta forma, se requiere un mecanismo que permita conciliar estas diferentes apreciaciones. El proceso creativo fue medido a través de la variable Variedad, utilizando una expresión que fue sugerida en la tesis. Esta expresión tiene en cuenta tanto el espacio de búsqueda para la generación de ideas como del uso riguroso de la técnica de la Matriz de Contradicciones de la teoría TRIZ.

Los objetivos planteados para este experimento fueron:

- Analizar el comportamiento de los equipos multidisciplinarios frente a los equipos monodisciplinarios en el proceso de ideación desde el análisis del problema con la técnica de las nueve ventanas de TRIZ.
- Verificar la incidencia de la profesión de los participantes y los evaluadores tanto en la proposición de soluciones como en la evaluación de las propuestas de profesión de los participantes
- Analizar la aceptación al uso de técnicas sistemáticas de ideación
- Analizar si únicamente es la participación multidisciplinar la que favorece el proceso y el producto creativo.

Con base en esos objetivos y los resultados encontrados que fueron mostrados en el capítulo anterior se afirma lo siguiente:

- El trabajo multidisciplinar lleva parcialmente a mejores resultados en la generación de ideas, en los aspectos de Variedad, Novedad, y Calidad. Esta afirmación se verifica a través de los resultados obtenidos en dichas variables por los equipos participantes, que fueron mostrados en el Cuadro 5.1. De esos grupos, dos de composición multidisciplinar (grupo 2 y grupo 3) obtuvieron valores superiores, en las variables mencionadas, comparado con el resultado obtenido por el grupo de característica monodisciplinar (grupo 1). Los resultados fueron mostrados en el Cuadro 5.3, las Figuras 5.6 y 5.7. Sin embargo, un grupo de característica multidisciplinar (grupo 4), no verificó completamente la afirmación, específicamente en la variable Variedad.
- El inadecuado análisis del problema, a través de las nueve ventanas, parece indicar una limitación en las posibilidades de Variedad de las propuestas. La

afirmación está basada en los resultados obtenidos por el Grupo 4 de característica multidisciplinar. Pueden presentarse varios factores para esta situación, como escasa comunicación de los participantes o la dominancia disciplinar que limita la participación, entre otros. Este tipo de situaciones no favorece participación, y por lo tanto, la generación de ideas con diversas aportaciones. En el experimento, el problema de comunicación en el Grupo 4 fue evidente, como se constató en la sesión de trabajo. Para recordar, la variable Variedad es una medida para el campo de búsqueda de las soluciones, la cual se esperaría que tenga un alto valor con la participación de diversas disciplinas, porque permiten un análisis desde diferentes puntos de vista la problemática.

- Las disciplinas ejercen una influencia notoria en el análisis de un problema de diseño. Esta afirmación pudo ser verificada a través del análisis realizado con el uso de la técnica TRIZ de las Nueve Ventanas. Para el Grupo 1, formado sólo por ingenieros, se observa un alto componente de descripción técnica del sistema; La presencia de Diseñadores Industriales amplía la visión del problema, lo que se verifica en el análisis del supersistema realizado. Dos grupos (2 y 3), que incluyen Diseñadores Industriales, consideraron específicamente aspectos de uso, lo cual no es evidente en el Grupo 1 (de sólo ingenieros).
- En el proceso de evaluación de ideas, las disciplinas ejercen influencia en la importancia de los criterios. En este experimento se pudo evidenciar que las apreciaciones de los criterios tanto para la Novedad como para la Calidad son diferentes en cada disciplina, ingenieros y diseñadores. Los resultados de la Novedad y la Calidad de las propuestas según los juicios de una de las diseñadoras y una ingeniera se muestra en la Gráfica 6.1. Observe que los pesos de los criterios para cada una de ellas es diferente, en ambas variables, sin embargo, para la diseñadora la valoración de los criterios es más homogénea que para la ingeniería. Esto es un indicativo, de la influencia disciplinar en la percepción de un producto y valida la importancia del uso de técnicas para la conciliación de opiniones como AHP.
- Desde el punto de vista de la actitud de los participantes, frente al uso de técnicas sistemáticas de creatividad, los Diseñadores Industriales fueron quienes se mostraron desde el inicio del experimento más escépticos respecto a su uso porque consideraban que restringían la capacidad de expresión creativa. Los ingenieros, por su parte, valoraron positivamente la existencia de este tipo de técnicas para resolver problemas porque les permitió adquirir nuevos elementos para concebir las soluciones. Con todo, se puede afirmar que el trabajo multidisciplinar con la estrategia TRIZ fue adecuado. TRIZ, al tener una orientación al cumplimiento de tareas, favorece la convergencia de los distintos puntos de vista de las diferentes disciplinas y disminuye la presión de los integrantes [Groth and Peters, 1999], de esta forma, cada miembro del equipo se convierte en un orientador del trabajo desde su disciplina.

CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN SOBRE LOS RESULTADOS ENCONTRADOS ...

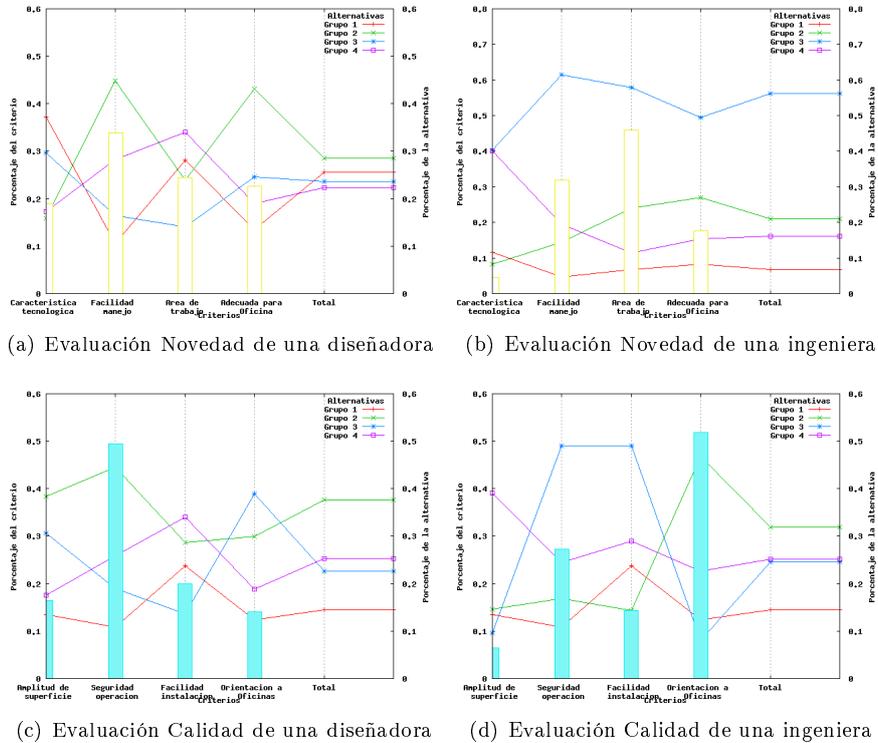


Figura 6.1: Resultados de la evaluación de la Novedad y la Calidad para el Experimento 1 dado por una de las diseñadoras y por una ingeniera. (Fuente: Elaboración propia)

- La sola participación multidisciplinar no favorece el proceso y el producto creativo. De los resultados obtenidos dentro del experimento se encuentra que la sola participación de diferentes disciplinas no permite obtener los mejores resultados en Novedad, Calidad y Variedad de las propuestas, debido a que la proposición de ideas es un proceso de participación colectiva donde se involucra el proceso comunicativo, la cooperación y la toma de decisiones colectivas que requiere de una adecuada disposición de los participantes. Este resultado obtenido dió pie, en el segundo experimento, a la conformación de equipos con diferentes tipologías de personalidad para favorecer el proceso de interacción.

6.2. Discusión de los resultados del segundo experimento:

Evaluación del proceso creativo utilizando TRIZ con equipos multidisciplinares agrupados según diferentes tipologías utilizando el test de Myers-Briggs

Este experimento tuvo como propósito evaluar el proceso creativo y el producto creativo, de igual forma que el primer experimento. Los grupos de trabajo se formaron con diferentes tipologías personales utilizando el test de Myers-Briggs y adicionalmente, se aplicó el test NEO-PI para evaluar experimentalmente un conjunto de afirmaciones que habían sido sugeridas desde el plano teórico [Reilly et al., 2002]. Las hipótesis planteadas en el segundo experimento y su evaluación, como fue presentado en el capítulo anterior, se muestran nuevamente en el Cuadro 6.1.

De los anteriores resultados se argumenta lo siguiente:

- No se puede afirmar con absoluta certeza, por los resultados obtenidos en las tres primeras hipótesis, que el Proceso Creativo (medido a través de la variable Variedad) y el Producto Creativo (medido a través de las variables Novedad y Calidad), sean mejores con los equipos multidisciplinares. Debe aclararse, sin embargo, que la conformación de estos grupos, al ser de manera voluntaria la convocatoria, no puede ser controlada estrictamente. Por ejemplo el Grupo 2 (ver Cuadro 5.4), en el cual se buscaba personas ajenas a la ingeniería, se observa la presencia de un Arquitecto Técnico, que tiene una formación orientada a la ingeniería, mas que al arte, sin embargo se clasifico como grupo monodisciplinar respecto a las otras disciplinas más afines. Este grupo fue el de mejores resultados en cuanto a Novedad.
- A partir de la cuarta hipótesis pudo ser verificada la correlación que existe entre la variable Calidad y la profesión de ingeniería. Puesto que la Calidad es una variable que mide el alcance efectivo de los objetivos del diseño, la ingeniería ayuda significativamente en este aspecto, dada su preocupación permanente de aplicar las ciencias y las técnicas en las soluciones. Este resultado da fuerza al argumento de conformar equipos de diseño que tengan desde sus niveles iniciales de conceptualización la presencia de los ingenieros, puesto que está presencia garantizaría la efectividad del diseño para que las propuestas novedosas sean a su vez realizables.
- Las características imaginativas y de sensibilidad, que poseen aquellas personas

con altos niveles de apertura (test NEO variable Openess), ayudan en el proceso de generación de ideas novedosas. Esta afirmación se basa en el resultado obtenido a partir de la quinta hipótesis, la cual relaciona el nivel alto homogéneo de apertura (Openess) con la variable Novedad. No olvidar, que los niveles de las variables NEO se miden en la escala Alta, Media Alta, Media, Media Baja y Baja, y se tomaron homogéneos altos aquellos que fueran de calificación Alta y Media Alta en dicha variable.

- Se pueden obtener buenos resultados de Novedad en la generación de ideas, con la heterogeneidad de variable Apertura como se deduce de la sexta hipótesis. Debería esperarse, lo cual no fue verificado experimentalmente, que con una homogeneidad baja de la variable apertura, no se puede obtener altos niveles de Novedad.
- A partir de los resultados en la séptima hipótesis se confirma lo que argumentan los autores en cuanto a la importancia de los procesos de comunicación en el trabajo en equipo. En dicha hipótesis se relaciona la variable extraversión del test NEO la cual está asociada con características tales como la sociabilidad y la comunicación con la variable novedad y se obtuvieron resultados mayoritariamente positivos de dicha correlación.
- No se encontró una correlación entre la variable NEO Amabilidad y la variable del producto creativo Novedad como se afirma en los estudios de innovación, que se refieren a innovaciones radicales [Reilly et al., 2002]. Esto parece indicar que las características como la bondad, amabilidad, cooperación, asociadas con la variable Amabilidad no son elementos suficientes para obtener resultados novedosos del producto creativo. Sin embargo, hay que notar que en el experimento hubo un solo grupo que tenía altos niveles de amabilidad, correspondiente al Grupo 4. Esta característica debería ser motivo de evaluación, en otros experimentos, puesto que la literatura argumenta que la colaboración y la cooperación son elementos claves en el resultado del trabajo en grupo [Peeters et al., 2007, Groth and Peters, 1999], lo cual se favorece con la variable Amabilidad del test NEO.
- Con los resultados obtenidos, se puede decir que una adecuada conformación de equipos de diseño, es aquella de característica multidisciplinar con tipologías personales diferentes, respecto al test de Myers-Briggs. Los equipos deben contar con la presencia de diseñadores industriales e ingenieros como base del equipo, junto a las profesiones específicas para las problemáticas a tratar. Finalmente, se debe buscar personas con altos niveles homogéneos de apertura y extraversión que favorecen la comunicación y cooperación del equipo.
- No fue posible verificar una asociación de la variable Variedad, que da cuenta de el espacio de búsqueda de soluciones, con las características de los equipos multidisciplinarios. Para el experimento el espacio de búsqueda fue asociado con las

CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN SOBRE LOS RESULTADOS ENCONTRADOS ...

contradicciones encontradas y los principios utilizados de TRIZ. Estos aspectos deben seguirse indagando puesto que en este tipo de experimentos, de participación voluntaria, se involucran un conjunto de características no controlables tales como el nivel de experiencia profesional de los participantes y el nivel de aprendizaje y uso del conocimiento adquirido, que no han formado parte del estudio. Esas características tienen alta incidencia en los resultados en este tipo de experimentos pero son difíciles de cuantificar dentro de una misma práctica.

Hipótesis	Confirma (si/no)	Comentario
H1: El proceso creativo, medido a través de la Variedad, es más amplio (mayor espacio de búsqueda) en equipos multidisciplinares que en monodisciplinares.	NO	Se compara el resultado de Variedad de los grupos multidisciplinares 3,4,5 y 7 contra lo monodisciplinares 1, 2 y 6
H2: La Novedad es mayor en equipos multidisciplinares con personalidad diferente que con multidisciplinares de igual personalidad	NO	Se comparan los grupos multidisciplinares 3 y 4 (heterogeneidad tipología) con los grupos 5 y 7 con variable T dominante
H3: La Calidad es mayor en equipos multidisciplinares con personalidad diferente que con personalidades similares	NO	Se comparan los grupos multidisciplinares 3 y 4 (heterogeneidad tipología) con los grupos 5 y 7 con variable T dominante
H4: La Calidad es mayor en equipos de sólo ingeniería que de otras profesiones sin ingeniería	SI	Se comparan los grupos de ingeniería (G1 y G6) con otras disciplinas
H5: La novedad es mayor en equipos (mono o multidisciplinares) con altos niveles homogéneos de apertura-NEO	SI*	Se comparan los grupos 3, 4 y 5 que poseen niveles altos homogéneos de apertura con 1, 2, 6 y 7 que no los poseen.
H6: La novedad es menor en equipos heterogéneos de la variable apertura-NEO	NO	Se compara el grupo 2 con los otros
H7: La novedad es mayor en equipos (mono o multidisciplinares) con alto nivel de extraversión-NEO homogénea	SI*	Se compara el grupo 3 con los demás grupos
H8: La novedad es mayor en equipos (mono o multidisciplinares) con amabilidad-NEO alta homogénea	NO	Se compara el grupo 7 con los demás grupos
Nota: Los resultados con un SI* significan que se ha dado esta valoración porque si bien el resultado no es absoluto cumple la condición en la mayoría de los casos.		

Cuadro 6.1: Resultados de evaluación de hipótesis del tercer experimento. (Fuente: Elaboración propia)

6.3. Discusión de los resultados del tercer experimento: Evaluación de la estrategia de creatividad TRIZ con otras estrategias de generación de ideas en equipos multidisciplinares

El tercer experimento buscaba contrastar la efectividad del Proceso y el Producto creativo con TRIZ frente a otra estrategia de creatividad, en este caso Brainstorming, y sin ninguna estrategia de ideación.

El resultado de la evaluación de las hipótesis del tercer experimento se muestra en el Cuadro 6.2.

Hipótesis	Confirma (sí/no)	Comentario
H1: Con equipos multidisciplinares, se obtienen ideas más novedosas utilizando TRIZ que con el uso de otra técnica o ninguna de creatividad.	NO	Se compara el resultado de Novedad de los grupos con TRIZ (1,3) con los otros grupos (2,4)
H2: Con equipos multidisciplinares, se obtienen ideas de mejor calidad con TRIZ que con otras técnicas de generación de ideas.	NO	Se compara el resultado de Calidad de los grupos con TRIZ (1,3) con los otros grupos (2,4)
H3: Con equipos multidisciplinares, las ideas generadas utilizando brainstorming pueden tener alto nivel de novedad pero no de calidad.	SI*	Se compara el las variables novedad y calidad de brainstorming con las demás propuestas
H4: Con equipos multidisciplinares, la generación de ideas sin ninguna técnica no es superior en calidad ni novedad que con el uso de alguna técnica para ayuda.	SI	Se compara el grupo 2 que no utilizó técnica con los demás grupos

Cuadro 6.2: Resultados de evaluación de las hipótesis del tercer experimento. (Fuente: Elaboración propia)

Con base en los resultados obtenidos se puede afirmar lo siguiente:

- Con base en los resultados del experimento, con TRIZ no se asegura que la Novedad y la Calidad de las ideas sea mayor que con otras estrategias de

ideación. Esta afirmación se deduce de los resultados obtenidos para las dos primeras hipótesis del experimento. Sin embargo, como en los experimentos anteriores, este resultado no puede asumirse como absoluto puesto que las características de conformación de los equipos eran disímiles, básicamente en cuanto a la experiencia profesional de los participantes, lo cual no fue motivo de indagación en este experimento. Este resultado se deriva de la primera y la segunda hipótesis del experimento.

- La técnica de brainstorming es útil para explorar ideas no comunes, tal como lo mide la variable Novedad. Sin embargo, puesto que no existe una relación directa entre la Novedad y la Calidad, una idea que se perciba como muy novedosa puede ser irrealizable. Esta afirmación se deriva de la tercera hipótesis.

- El uso de técnicas para ideación, de acuerdo a la cuarta hipótesis, asegura un mejor resultado en la Novedad y en la Calidad de las ideas que la sola generación intuitiva de ideas sin una técnica de por medio. Este resultado permite afirmar que una forma estructurada de generación de ideas es de gran utilidad dentro de un proceso de diseño. Las técnicas permiten organizar el proceso de pensamiento y seleccionar con criterio el mejor conjunto de alternativas, dentro de una infinidad de propuestas que puedan surgir.

- Los resultados de las hipótesis inducen a plantear una estrategia de trabajo conjunto de TRIZ y brainstorming. Tanto en TRIZ como en brainstorming la generación de ideas es personal, pero para TRIZ los mecanismos de inspiración se hacen a partir del conocimiento acumulado de muchas personas que han trabajado en problemas similares. La forma conjunta de trabajar TRIZ y brainstorming estructurado podría hacerse en dos momentos. El primer momento es en la proposición de sistemas ideales en la ventana futura del sistema en técnica de las nueve ventanas y el segundo momento es en la generación de ideas a partir de los principios sugeridos por las contradicciones encontradas. La ventaja de este trabajo sinérgico es que con brainstorming se puede ganar en el aspecto de la Novedad y con TRIZ en la Calidad de las propuestas.

6.4. Discusión de los resultados del cuarto experimento:

Selección de una familia de productos para personas en situación de discapacidad que favorezca la inclusión social con la participación de un equipo multidisciplinar

Este experimento forma parte inicial de un proyecto de trabajo de diseño multidisciplinar para el diseño de ayudas técnicas para personas en situación de discapacidad motora. Es a su vez la primera fase del proceso de diseño colaborativo multidisciplinar que se plantea en esta tesis entre la Universidad, la empresa de base tecnológica y el usuario. La ausencia de la empresa consolidada en este experimento, la cual se requiere según el modelo propuesto, se debe a la ausencia de empresas productoras de este tipo de productos en el contexto particular de aplicación que es la ciudad de Cali en Colombia. En esta ciudad existen empresas comercializadoras de este tipo de productos pero no existen empresas que los produzcan.

El problema se inicia, como lo sugiere el modelo planteado en esta tesis, con un punto de convergencia en el usuario en lo que se ha llamado la Necesidad Social. Observe que no se parte de la visión del mercado ni tampoco de la visión de la ciencia, que estarían asociados a los objetivos de la empresa y la Universidad respectivamente. De esta manera, para este tipo de poblaciones, en situación de discapacidad, la necesidad social es la Inclusión Social. La Inclusión Social es el acceso a servicios y oportunidades que tiene la población sin ninguna limitación.

Puesto que existen diferentes intereses, de los actores involucrados en el modelo, se utilizó la técnica de análisis multicriterio para alcanzar un grado de conciliación frente al conjunto diverso de criterios. Para este propósito fue utilizada la técnica de análisis multicriterio AHP.

Las hipótesis de esta experiencia y su evaluación se muestran en el Cuadro 6.3.

A partir de los resultados de las hipótesis surge el siguiente análisis:

- Los problemas de diseño de producto no son de naturaleza unidisciplinar, sino que involucran un conjunto de disciplinas que deben interactuar para llegar a una mejor solución del problema planteado. En la primera fase del diseño, con-

Hipótesis	Confirma (sí/no)	Comentario
H1: El trabajo con equipos multidisciplinares permite ampliar la visión del problema	SI	Se verifica desde las características del modelo jerárquico planteado y de los diferentes puntos de vista en los resultados parciales de las disciplinas.
H2: Las disciplinas ejercen una marcada influencia en el análisis del problema	SI*	Existen criterios que son propios de las disciplinas que tienen mayor valoración respecto a los otros.
H3: Existe una alineación en la percepción comercial de la Universidad y la empresa.	NO	Las visiones de mercado de la empresa y la Universidad no coinciden frente a los productos.

Cuadro 6.3: Resultados de evaluación de hipótesis del cuarto experimento. (Fuente: Elaboración propia)

sistente en la selección de una familia de productos que debería ser objeto de diseño para personas en situación de discapacidad que favorezca la inclusión social, los criterios planteados fueron diversos puesto que no sólo es un problema técnico, como tradicionalmente se ha enfocado el análisis en este tipo de productos. Ahora bien, existen ciertos criterios en los cuales algunas disciplinas poseen mayor conocimiento y otros que son comunes a todas, tales como los relacionados con la funcionalidad. Los resultados encontrados a partir del modelo jerárquico planteado justifican la primera hipótesis de ampliar la visión del problema de diseño.

- Los resultados de los pesos de los criterios, por parte de cada una de las disciplinas, no permiten afirmar que exista una marcada tendencia de la disciplina para tomar una decisión en el análisis de un problema. De esta manera no se cumple la segunda hipótesis. Sin embargo, se observan unos comportamientos particulares en las valoraciones de los criterios, dadas por las disciplinas. Esta forma de percepción, les conceden cierto grado de identidad. Por ejemplo, en Diseño Industrial hay dos criterios dominantes, la funcionalidad y las características del producto (ver Figura 6.2), pero los demás criterios tienen valoraciones homogéneas lo cual no se presenta en las otras profesiones; esta forma de apreciación del problema, es un indicativo de una visión uniforme del producto por parte de los diseñadores industriales que no es común en las otras disciplinas analizadas.

- Según los resultados obtenidos, en ingeniería, la funcionalidad y el impacto ambiental son los criterios de mayor valoración. Esta valoración está asociada a la característica más aplicada de la ingeniería y la preocupación actual por la preservación del medio ambiente; sin embargo, el componente tecnológico no obtuvo alta valoración como podría esperarse que lo tuviera (ver Figura 6.2). En el mismo sentido, para la Psicología se encontraron tres criterios de alta valoración: la funcionalidad, el impacto social y las características del producto (ver Figura 6.2). Estos criterios tienen relación con la persona y su entorno que son aspectos tratados por la Psicología.
- No existe coincidencia o alineación en la percepción de oportunidad comercial entre el mercado (usuario y empresa) y la universidad (diferentes disciplinas), frente a que tipo de producto debería ser diseñado bajo ese criterio (ver Figura 6.2). Este resultado debe ser un motivo de reflexión universitaria, para evitar que se trabaje en el desarrollo productos con una visión comercial, con una percepción equivocada que se traduciría en una baja demanda. Esta situación también refuerza la necesidad del uso de este tipo de estrategia de toma de decisiones para identificar las mejores oportunidades de mercado con una mirada colectiva del problema.

CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN SOBRE LOS RESULTADOS ENCONTRADOS ...

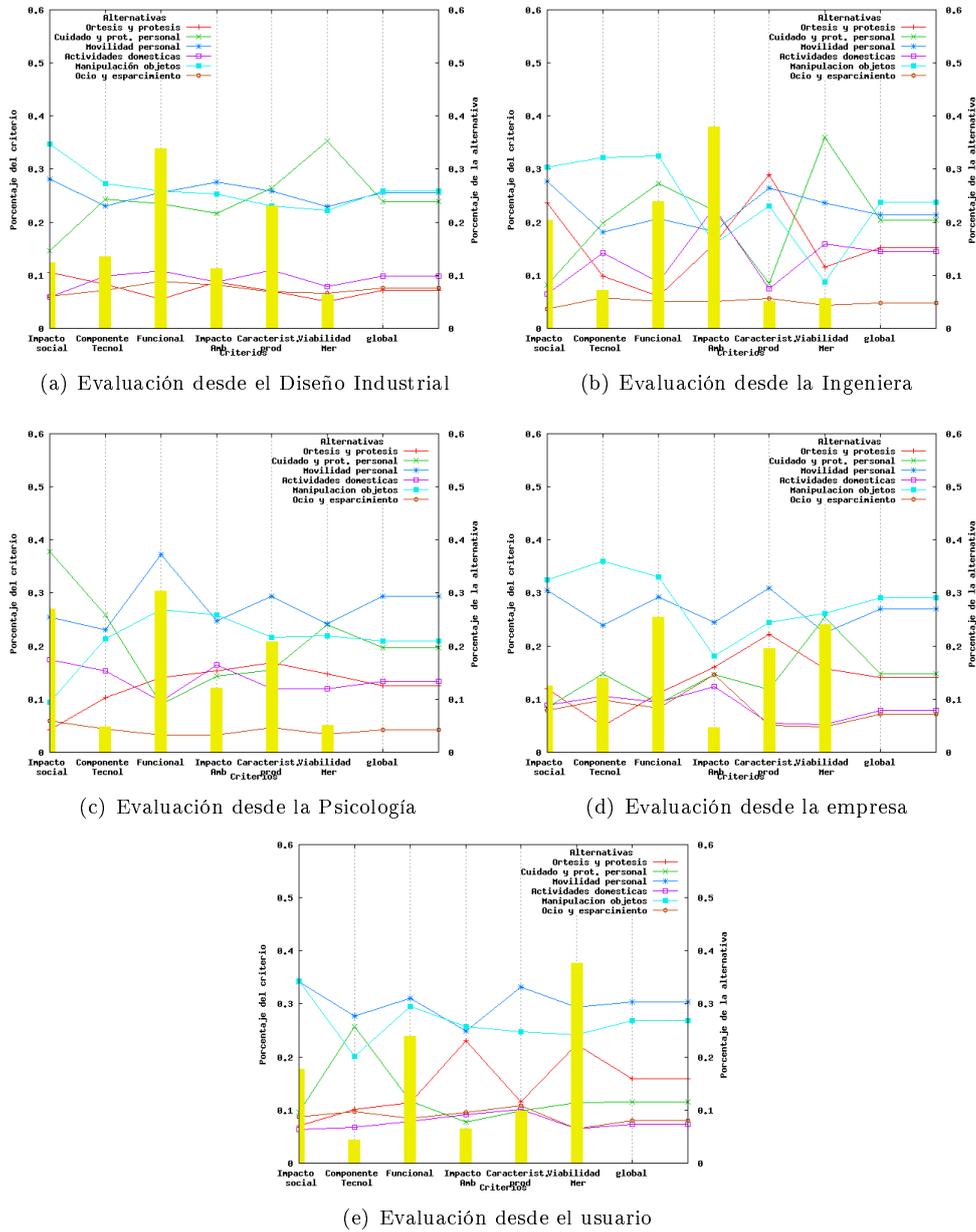


Figura 6.2: Resultados del proceso de selección de una ayuda técnica para diseño por cada uno de los evaluadores en el cuarto experimento. (Fuente: Elaboración propia)

6.5. Discusión de los resultados del quinto experimento: Diseño conceptual de un producto utilizando un modelo ampliado del diseño axiomático

Este experimento de característica multidisciplinar contó con la participación de dos estudiantes de último año de ingeniería mecánica, uno de ingeniería electrónica, dos diseñadoras industriales recién egresadas y tres usuarios, bajo la orientación del autor de la tesis.

Los objetivos planteados para el experimento fueron los siguientes:

- Verificar la utilidad del modelo de diseño de producto con equipos multidisciplinarios a través de una experiencia de diseño conceptual con equipos.
- Evaluar la utilidad de calcular el Contenido de Información para requerimientos no funcionales
- Evaluar la fortaleza de utilizar TRIZ y el Diseño Axiomático en forma conjunta desde el análisis del problema
- Identificar áreas de mejoramiento para el diseño conceptual utilizando el modelo ampliado del Diseño Axiomático

Los resultados obtenidos fueron mostrados en el capítulo anterior y a continuación se formulan un conjunto de aspectos relevantes dentro del trabajo del diseño conceptual.

- El análisis de un problema, como lo reconocen muchos autores [Suh, 1990, Chun-Heng, 2001, Eisentraut, 1999, Asimow, 1968, Bink and Marsh, 2000], es la base para la generación de buenas propuestas de diseño. El uso de la técnica de las nueve ventanas de TRIZ brinda una forma de análisis sistémico del problema y permite ingresar dentro del proceso evolutivo de los productos [Cavallucci, 2002, Salamatov, 1999, Savransky, 2000]. La evolución de los productos es uno de los puntos fundamentales de la teoría TRIZ, junto con el concepto de contradicción e idealidad [Cavallucci and Weill, 2001].
- La participación de las disciplinas, favorece contemplar diferentes aspectos del producto. Esto se evidenció, tomando como referencia los aportes en las nueve ventanas de la técnica TRIZ, los aportes desde el diseño industrial a los aspectos

del supersistema del producto, y de la ingeniería en el análisis del subsistema. El supersistema corresponde al contexto donde se ubica el producto y el subsistema al soporte técnico del producto.

- Se requiere seguir trabajando en los aspectos de interacción del equipo de diseño, esto involucra comunicación, cooperación y liderazgo, entre otros [Peeters et al., 2007, Groth and Peters, 1999, Reilly et al., 2002]. Pese a que el equipo fue organizado con tipologías de personalidad diferentes, utilizando el test de Myers-Briggs, la interacción no es garantizada en todo el grupo. La observación hecha en las sesiones de trabajo, ha permitido detectar que las disciplinas y por tanto la formación universitaria, han hecho que las personas se autolimiten en la participación en el proceso de diseño. Por ejemplo, los ingenieros consideran que su actuación es más de cálculo y de análisis de situaciones específicas dentro del diseño del producto; ellos no se sienten cómodos en las partes iniciales de análisis y de concepción de primeras soluciones. Por su parte, los diseñadores consideran que su trabajo se reduce a la parte inicial del proceso con la generación de conceptos y que su aporte disminuye posteriormente, ignorando, en cierta forma, la materialización y la función técnica.
- El Diseño Axiomático, al ser una estrategia de trabajo de dominios y no secuencial por fases, ayuda al proceso de diseño para que no haya un divorcio entre las ideas preliminares y la salida del producto. Esta característica, de manera experimental, parece ser muy útil porque se conservan los deseos del usuario en un proceso estructurado.
- El plantear en forma explícita los requerimientos subjetivos del producto y la existencia de un mecanismo para su medida, con la participación ponderada de las disciplinas, es un aporte al Diseño Axiomático para el diseño de productos. No debe olvidarse que la decisión de compra de un producto no se realiza únicamente por la funcionalidad del producto que es lo que considera la propuesta original del Diseño Axiomático.
- El boceto tiene gran relevancia en el proceso de diseño para el diálogo del equipo diseñador, pues es más fácil interpretar una imagen que una matriz con requerimientos del producto y parámetros de diseño. Sin embargo, para el diálogo con el usuario el uso de herramientas de software 3D que expongan las ideas más cercanas a la realidad permite emitir juicios más adecuados.
- La aplicación de la lógica difusa para establecer los rangos de diseño de los requerimientos no funcionales y la valoración de dichos requerimientos con una participación multidisciplinar ponderada, es la forma más adecuada de manipular este tipo de información cualitativa del producto. El tener una forma de medir los requerimientos subjetivos es de gran utilidad en el diseño de producto con el Diseño Axiomático, puesto que estos requerimientos subjetivos adquieren gran relevancia cuando la característica del diseño no exige alta complejidad de

manufactura y por tanto el Contenido de Información para los Requerimientos Funcionales es cero y la decisión del producto se tomaría a partir de los requerimientos subjetivos.

- La participación sinérgica de TRIZ, el Diseño Axiomático y la lógica Fuzzy ha permitido realizar un análisis para el diseño de producto en un ambiente evolutivo sistémico, con una forma racional de plantear requerimientos y proponer soluciones, y una forma de medir características subjetivas del producto, respectivamente.

6.6. Conclusiones del capítulo

En este capítulo se ha presentado una discusión de los resultados obtenidos en los experimentos presentados en el capítulo anterior. Los experimentos están asociados a la fase creativa y a la fase analítica del proceso de diseño.

Las siguientes son algunas de las características de discusión planteadas en el capítulo a partir del conjunto de experimentos:

- El trabajo multidisciplinar lleva parcialmente a mejores resultados en la generación de ideas en la efectividad del proceso de diseño.
- Las disciplinas ejercen una influencia notoria en el análisis de un problema de diseño.
- Los Diseñadores Industriales comparados con los Ingenieros son más escépticos frente al uso de la técnica creativa TRIZ porque consideraban que restringían la capacidad de expresión creativa.
- Existe una correlación entre la variable Calidad y la profesión de ingeniería. Puesto que la Calidad es una variable que mide el alcance efectivo de los objetivos del diseño que es un objetivo de esta profesión.
- En los equipos de diseño las características imaginativas y de sensibilidad, que poseen aquellas personas con altos niveles de apertura (test NEO variable Openness), ayudan en el proceso de generación de ideas novedosas.
- Frente a los perfiles de conformación de los equipos de trabajo de característica multidisciplinar se sugiere a aquella con tipologías personales diferentes, respecto al test de Myers-Briggs y se debe buscar personas con altos niveles homogéneos de apertura y extraversión que favorecen la comunicación y cooperación del equipo.

- Los equipos deben contar con la presencia de diseñadores industriales e ingenieros como base del equipo, junto a las profesiones específicas para las problemáticas a tratar.
- No se puede asegurar que la Novedad y la Calidad de las ideas sea mayor con TRIZ que con otras estrategias de ideación.
- La técnica de brainstorming es útil para explorar ideas no comunes, tal como lo mide la variable Novedad.
- TRIZ y brainstorming son complementarios y para el diseño de producto el primero favorece el análisis sistémico y la síntesis; el segundo favorece la novedad que se asocia con TRIZ en la idealidad del diseño.
- El trabajo multidisciplinar amplía la visión de un problema y permite encontrar mejores soluciones de diseño.
- No existe coincidencia o alineación en la percepción de oportunidad comercial entre el mercado (usuario y empresa) y la universidad (diferentes disciplinas), frente a que tipo de producto debería ser diseñado bajo el criterio comercial.
- Para el proceso de análisis en el diseño del producto, el uso de la técnica de las nueve ventanas de TRIZ brinda una forma de análisis sistémico del problema y permite ingresar dentro del proceso evolutivo de los productos.
- La participación de las disciplinas, favorece contemplar diferentes aspectos de un mismo producto. Los Diseñadores Industriales favorecen el análisis a nivel de contexto, supersistema en TRIZ, mientras que los ingenieros tienen fortaleza a nivel de sistema y subsistema.
- El Diseño Axiomático, al ser una estrategia de trabajo de dominios y no secuencial por fases, ayuda al proceso de diseño para que no haya un divorcio entre las ideas preliminares y la salida del producto.

Parte del contenido expuesto en este capítulo ha sido publicado en:

- González-Cruz, M., Aguilar-Zambrano, J., Córdoba, L., Chamorro, C., Hurtado, N., Valencia, A., and Valencia, M. (2009). Equipos multidisciplinarios en el diseño de productos de apoyo para personas con discapacidad. *Ingeniería e Investigación*, 29(3):142-147
- Aguilar, J. (2009). Andar: un proyecto para el diseño multidisciplinario de ayudas para la movilidad que favorezca la inclusión social. *Universitas Xaveriana*, 1(41):18-19.

Capítulo 7

Conclusiones y Trabajo Futuro

El trabajo desarrollado ha permitido elaborar las siguientes conclusiones

- El modelo multidimensional de Gómez-Senent ha permitido evaluar un conjunto de teorías de diseño a partir de su relación con las dimensiones propuestas en dicho modelo. Se encuentra que la mayoría de las teorías analizadas presentan deficiencias en dos dimensiones, la dimensión Factores y la dimensión Metaproyecto. La dimensión Factores, asociada con el contexto, involucra al usuario (cliente) que es el destinatario de los resultados del proceso de diseño. La dimensión Metaproyecto, asociada con los procesos de interacción entre las personas que se involucran en el proceso de diseño, involucra al equipo diseñador, la organización y la manufactura, que requiere de especial atención en este tipo de procesos de diseño de alta incertidumbre de la salida. Uno de los problemas en la Dimensión Factores es que el usuario no es parte integral del equipo de diseño sino que es un elemento en dos extremos del proceso, inicialmente como elemento de consulta y al final como evaluación, pero su interpretación se deja al diseñador generalmente representado en una sola persona. Por su parte, en la Dimensión Metaproyecto las teorías asumen las interacciones del equipo de diseño como un problema ajeno al problema de diseño pero los trabajos de investigación actuales están llamando la atención sobre este aspecto, que es crucial para una adecuada salida.
- Escoger el Diseño Axiomático, como teoría de referencia para el proceso de diseño, surge por las bondades de la teoría comparada con las otras que se tomaron como referencia, básicamente por su organización del proceso de diseño que asegura un control global del proceso, a partir del Primer Axioma, y permite tener una medida frente a la salida a partir del Contenido de Información, del

Segundo Axioma. A su vez, el Diseño Axiomático, a diferencia de las propuestas basadas en fases, relaciona dominios en una forma más integrada. El problema de las teorías basada en fases, llamadas también prescriptivas, es que establecen fronteras en los procesos de diseño desde los estudios preliminares hasta la manufactura con actores diferentes que se involucran de acuerdo a las fases lo cual no puede llamarse un trabajo cooperativo.

- Con la tesis se verificó que es posible plantear una jerarquía de producto tomando como referencia el Diseño Axiomático, involucrando de manera explícita los requerimientos subjetivos del producto o Requerimientos no Funcionales que no son considerados en la propuesta original de Suh, y que éste los agrupa en el conjunto de las restricciones.
- Se ha propuesto una valoración de la calidad del diseño con la presencia de los requerimientos subjetivos a partir de la suma del resultado de la Función de Agregación calculada para los Requerimientos no Funcionales y el Contenido de Información tradicional para los Requerimientos Funcionales.
- Se ha realizado un aporte al proceso de diseño de producto que favorezca la participación de la Universidad, la Empresa y el Usuario con el soporte del Estado, tomando como punto de convergencia la Necesidad Social como un aspecto con diferentes intereses y no solo del mercado o del conocimiento como tradicionalmente se ha trabajado. Esta forma de abordar el problema no solo sirve para generar buenos productos sino que enriquece el trabajo de las entidades que se involucran en el proceso. De esta forma la Universidad potencia sus disciplinas y favorece la investigación aplicada, la Empresa abre las posibilidades a nuevas estrategias de negocio y el Estado favorece este tipo de iniciativas que serán útiles para su economía y a su vez, se beneficiará de los resultados de análisis que están asociado a sus competencias con la sociedad.
- Se han integrado en una forma sinérgica teorías y técnicas para el diseño de productos con equipos multidisciplinares. El Diseño Axiomático ha sido utilizado como teoría y método racional del proceso de diseño considerando en forma intencionada los requerimientos subjetivos del producto. Se ha utilizado TRIZ con la técnica de las nueve ventanas para un análisis sistémico del problema y el planteamiento de un conjunto de requerimiento de producto. También con TRIZ, a partir de la matriz de contradicciones, ha sido posible generar ideas para los Parámetros de Diseño del Producto. Finalmente, la lógica difusa y la técnica de análisis multicriterio han permitido cuantificar el cumplimiento de las propuestas de diseño respecto a los requerimientos de tipo cualitativo considerando en forma ponderada la participación de las disciplinas.
- El haber involucrado los Requerimientos no Funcionales en la jerarquía del producto del Diseño Axiomático ha dado relevancia a estas cualidades del producto que en muchas ocasiones son decisivas en la adquisición del producto por parte

del usuario. El solo cumplimiento de los Requerimientos Funcionales de un producto, no es razón suficiente para la decisión de compra de un producto. Por otra parte, aquellos productos que por su simplicidad técnica llevan a tener Contenidos de Información iguales a cero, requieren de un mecanismo de decisión para su selección. Para ese propósito, en esta tesis se ha sugerido, junto al planteamiento intencional de los Requerimientos no Funcionales, una estrategia de medida del grado del cumplimiento de ese tipo de requerimientos.

- La participación de diferentes disciplinas en el diseño de producto, desde las fases iniciales de conceptualización, favorece el análisis sistémico del problema; esta participación, amplía la visión del problema y permite generar un conjunto de restricciones que disminuyen el campo de soluciones, siendo las propuestas que allí se generan más adecuadas respecto a la necesidad del usuario.
- El éxito de esta propuesta, planteada en la tesis, depende del convencimiento del equipo de diseño sobre las bondades de un trabajo cooperativo, de poseer una capacitación en los conceptos básicos que se manejan y la disposición de trabajo con apertura a los conceptos de las otras disciplinas.
- La conformación de los equipos de diseño con diferentes disciplinas acordes a las características del problema de diseño deben considerar otros aspectos, asociados principalmente a la tipología personal, para favorecer un resultado adecuado. La sola agregación de disciplinas no es un requisito suficiente para el buen desempeño del proceso de diseño.
- La Teoría de Soluciones inventivas, TRIZ, ha sido evaluada como estrategia de ideación dentro de un trabajo con equipos multidisciplinarios. Los resultados obtenidos en cuanto al Proceso Creativo con la variable Variedad, y al Producto Creativo, con las variables Novedad y Calidad, han mostrado resultados adecuados comparativo a los equipos monodisciplinarios. Las situaciones en las que los niveles en estas variables no han sido superiores se han presentado en aquellos grupos donde no ha habido una adecuada interacción entre sus integrantes.
- Se ha utilizado de una forma novedosa la técnica de análisis multicriterio AHP para la valoración bajo una característica multiexperto para el Proceso el Producto Creativo. La razón de involucrar una técnica de preferencia como técnica de valoración es porque el proceso de medida es un proceso de comparación, tal como lo hace AHP, y en las situaciones donde los patrones de referencia no son rígidos como en el caso de la generación de ideas, se requiere una valoración participativa y ponderada.

Respecto a las hipótesis planteadas en el documento de tesis:

- En el diseño de productos se puede plantear de forma alternativa, bajo la estructura del diseño axiomático, un conjunto de requerimientos cualitativos y perceptuales del producto con la participación de un equipo de proyecto multidisciplinar.

La hipótesis fue verificada y fue propuesto un modelo.

- Se puede plantear una métrica para evaluar el Contenido de Información en el diseño de un producto para Requerimientos perceptuales y cualitativos bajo una visión multidisciplinar del producto.

La hipótesis fue verificada y se utilizó la Función de Agregación a partir de la lógica difusa para este propósito.

- La estrategia de creatividad TRIZ es la más apropiada para desacoplar sistemas bajo el modelo del diseño axiomático.

La hipótesis fue verificada puesto que tanto la definición de Requerimientos Funcionales y Parámetros de Diseño desde el análisis del problema ha permitido establecer un sistema desacoplado y cuasiacoplado para el diseño. Además, la comparación con otros métodos de generación de ideas ha permitido verificar que la Calidad, relacionada con la satisfacción de la tarea es superior con TRIZ.

Frente a los objetivos planteados en la tesis:

Para cubrir el objetivo general en la tesis se propuso tanto un modelo de actuación entre la Universidad - Usuario y Empresa, como la forma de aplicar el modelo ampliado del Diseño Axiomático en dicho modelo.

Para cubrir el objetivo específico de evaluación de la participación multidisciplinar en las metodologías de diseño, fue realizado un análisis crítico de las teorías clásicas de diseño y se estableció que existe poco trabajo en este sentido y algunas propuestas, como el Diseño Total, están enfocadas al mercado con una forma de integración secuencial.

Para satisfacer el objetivo específico de proponer y evaluar modelos alternativos para involucrar los requerimientos subjetivos del producto, se propuso una estrategia para involucrar los requerimientos cualitativos y perceptuales de un producto dentro del Diseño Axiomático. Este tipo de requerimientos fueron denominados Requerimientos no Funcionales. Estos requerimientos se formalizaron a partir de una formulación verbal, similar a los Requerimientos Funcionales, y se les asoció un Rango de Diseño de tipo cualitativo.

Para cumplir con el objetivo específico de proponer y evaluar métricas alternativas al Contenido de Información, se utilizó en una forma novedosa la Función de Agregación a partir de la Función de la Opinión General y Deseo, que incluye la ponderación del aporte de los evaluadores con la técnica de análisis multicriterio AHP.

Par cubrir el objetivo específico de contrastar la efectividad de la estrategia de creatividad sistemática TRIZ, con otras estrategias, para desacoplar un diseño planteado según el Diseño Axiomático, se realizaron un conjunto de experimentos con las técnicas de generación de ideas y se compararon utilizando la definición de Producto Creativo, a través de las variables Novedad y Calidad de las propuestas. De ese trabajo se derivaron resultados para su uso con el Diseño Axiomático. La estrategia TRIZ es adecuada para generar ideas con alto grado probabilidad de manufactura (variable Calidad) y Brainstorming se puede usar en forma sinérgica con TRIZ para evaluación de los escenarios futuros en la técnica de las nueve ventanas por su fortaleza en Novedad.

7.1. Trabajo Futuro

De los resultados obtenidos del planteamiento del modelo y del conjunto de experimentos se sugieren los siguientes trabajos futuros.

- Evaluar alternativas para integrar en la empresa en una forma simple, debido a la desconfianza de las empresas a usar nuevas teorías, métodos y técnicas, la propuesta generada dentro del trabajo de tesis.
- Continuar la investigación en los procesos de generación de ideas con equipos multidisciplinarios. Estas investigaciones deben incluir variables para medir el proceso comunicativo, el trabajo cooperativo, el liderazgo y la toma de decisiones conjuntas, para proponer unos modelos de formación de equipos de diseño de alto desempeño.
- Investigar la forma de integrar las disciplinas en una forma estratégica en la propuesta de diseño sin convertir la propuesta en un método disgregado como tradicionalmente se ha hecho.
- Investigar otros mecanismos para cuantificar los requerimientos cualitativos del producto que puedan ser integrados dentro del modelo propuesto.
- Probar el modelo propuesto en problemas de mejora de productos.
- Generar estrategias, desde la administración del proyecto, para optimizar el uso de recursos humanos en el uso del modelo de diseño.

Bibliografía

- [Aoussat et al., 2000] Aoussat, A., Christofol, H., and Coq, M. L. (2000). The new product design - a transverse approach. *Journal of Engineering Design*, 11(4):399–417.
- [Araujo et al., 1996] Araujo, C., Benedetto-Neto, H., Campello, C., Segre, F., and Wright, I. (1996). The utilization of product development methods: A survey of uk industry. *Journal of engineering design*, 7(3):265–277.
- [Arcidiacono et al., 2006] Arcidiacono, G., Citti, P., Antico, P., and Torricini, S. (2006). A new management process to analyse the automotive components' complaints through dmadv. In *Proceedings of Fourth International Conference on Axiomatic Design. Firenze*.
- [Arocena and Sutz, 2005] Arocena, R. and Sutz, J. (2005). Latin american universities: From an original revolution to an uncertain transition. *Higher Education*, 50:573–592.
- [Aronson et al., 2006] Aronson, Z. H., Reilly, R. R., and Lynna, G. S. (2006). The impact of leader personality on new product development teamwork and performance: The moderating role of uncertainty. *Research Policy*, 35:213–229.
- [Asimow, 1968] Asimow, M. (1968). *Introducción al Proyecto*. Editorial Herrero Hermanos, México, first edition.
- [Azagra-Caro et al., 2006] Azagra-Caro, J., Archontakis, F., Gutierrez-Gracia, A., and de Lucio, I. F. (2006). Faculty support for the objectives of university-industry relations versus degree of r&d cooperation: The importance of regional absorptive capacity. *Research Policy*, 35(1):37–55.
- [Badhrinath and Rao, 1996] Badhrinath, K. and Rao, J. (1996). Modelling for concurrent design using game theory formulations. concurrent engineering: research and applications. *Concurrent engineering: Research and applications*, 4(4):389–399.

- [Bink and Marsh, 2000] Bink, M. L. and Marsh, R. L. (2000). Cognitive regularities in creative activity. *Review of General Psychology*, 1(4):59–78.
- [Blindenbach-Driessen and der Ende, 2006] Blindenbach-Driessen, F. and der Ende, J. V. (2006). Innovation in project-based firms: The context dependency of success factors. *Research Policy*, 35:545–561.
- [Botana and Sábato, 1993] Botana, N. R. and Sábato, J. (1993). La ciencia y la tecnología en el desarrollo futuro de américa latina. *Arbor: Ciencia, pensamiento y cultura*, 1(575):21–44.
- [Cappetti et al., 2004a] Cappetti, N., Naddeo, A., and Pellegrino, A. (2004a). Design decoupling method based on para-complete logics. In *Proceedings of ICAD2004 The third international conference on Axiomatic Design*, pages 1–8.
- [Cappetti et al., 2004b] Cappetti, N., Naddeo, A., and Pellegrino, A. (2004b). Design decoupling method based on para-complete logics. In *Proceedings of Third International Conference on Axiomatic Design, Seoul*.
- [Cavallucci, 2002] Cavallucci, D. (2002). Triz, the altshullerian approach to solving innovation problems. In Chakrabarty, A., editor, *Engineering Design Synthesis*, pages 131–148. Springer, first edition.
- [Cavallucci and Weill, 2001] Cavallucci, D. and Weill, R. (2001). Integrating altshuller’s development laws for technical systems into the design process. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 50(1):115–120.
- [Chakrabarti et al., 2004] Chakrabarti, A., Morgenstern, S., and Knaab, H. (2004). Identification and application of requirements and their impact on the design process: a protocol study. *Research in Engineering Design*, 15(1):22–39.
- [Chun-Heng, 2001] Chun-Heng, H. (2001). Some phenomena of problem decomposition strategy for design thinking: differences between novices and experts. *Journal of Design Studies*, 22(1):27–45.
- [Cross, 1998] Cross, N. (1998). *Engineering Design Methods*. Editorial John Wiley & Sons, first edition.
- [de Jong and Marsili, 2006] de Jong, J. P. and Marsili, O. (2006). The fruit flies of innovations: A taxonomy of innovative small firms. *Journal of Engineering and Technology Management*, 23(3):221–247.
- [Deciu et al., 2005] Deciu, E., Ostorsi, E., Forney, M., and M, M. G. (2005). Configurable product design usign multiple fuzzy models. *Journal of Engineering Design*, 16(2):209–235.

- [Dickinson, 2006] Dickinson, A. L. (2006). Integrating axiomatic design into a design for six sigma deployment. In *Proceedings of Fourth International Conference on Axiomatic Design. Firenze*.
- [Eisentraut, 1999] Eisentraut, R. (1999). Styles of problem solving and their influence on the design process. *Journal of Design studies*, 20:431–437.
- [Etzkowitz and Leydesdorff, 2000] Etzkowitz, H. and Leydesdorff, L. (2000). The dynamics of innovation: from national systems and mode 2 to a triple helix of university-industry-government relations. *Research Policy*, 29:109–123.
- [Evrard et al., 2006] Evrard, H., Buisine, S., and Duchamp, R. (2006). Assessment of the respective benefits of axiomatic design and new products design method for the design of a biomechanical simulator. In *Proceedings of Fourth International Conference on Axiomatic Design. Firenze*.
- [Fagerström et al., 2002] Fagerström, J., Aganovic, D., Nielsen, J., and Falkman, P. (2002). Multi-viewpoint modeling of the innovation system - using a hermeneutic method. In *Proceedings of Second International Conference on Axiomatic Design. Cambridge, MA*.
- [Fontana et al., 2006] Fontana, R., Geuna, A., and Matt, M. (2006). The importance of searching, screening and signalling. *Research Policy*, 35(2):309–323.
- [Freeman, 1995] Freeman, C. (1995). The national system of innovation in historical perspective. *Cambridge Journal of Economics*, 19:5–24.
- [Fujita and Matsuo, 2005] Fujita, K. and Matsuo, T. (2005). Utilization of product development tools and methods: Japanese survey and international comparison. In *Proceedings of International Conference on Engineering Design. ICED05 Melbourne*, pages 274–275.
- [Garraway, 2006] Garraway, J. (2006). Creating productive interactions between work and the academy. *Proceedings of Fourth International Conference on Axiomatic Design. Firenze*.
- [Gero and Kannengiesser, 2004] Gero, J. and Kannengiesser, U. (2004). The situated function-behaviour-structure framework. *Design Studies*, 25(4):373–391.
- [Gómez-Senent, 1998] Gómez-Senent, E. (1998). *La Ciencia de la Creación de lo Artificial*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia, first edition.
- [Goel and Singh, 1998] Goel, P. and Singh, N. (1998). Creativity and innovation in durable product development. *Computers and industrial engineering*, 35(1-2):5–8.
- [Gonzalez-Cruz et al., 2008] Gonzalez-Cruz, M., Aguilar-Zambrano, J., Aguilar-Zambrano, J. J., and Gardoni, M. (2008). La estrategia de creatividad sistemática triz con equipos multidisciplinares de diseño de producto. *DYNA*, 83(6):337–350.

- [González-Cruz et al., 2009] González-Cruz, M., Aguilar-Zambrano, J., Córdoba, L., Chamorro, C., Hurtado, N., Valencia, A., and Valencia, M. (2009). Equipos multidisciplinares en el diseño de productos de apoyo para personas con discapacidad. *Ingeniería e Investigación*, 29(3):142–147.
- [González-Cruz et al., 2007] González-Cruz, M., Mulet, E., and Aguilar-Zambrano, J. (2007). Analysis of individual styles of problem solving and their relations with representations in design process. In *Proceedings International Conference on Engineering Design, 2007, Paris (France)*, pages 339–340.
- [Groth and Peters, 1999] Groth, J. and Peters, J. (1999). What blocks creativity? a managerial perspective. *Creativity and innovation management*, 8(3):179–187.
- [Haoa et al., 2006] Haoa, Q., Shena, W., Zhanga, Z., Parkb, S.-W., and Leeb, J.-K. (2006). A risk mitigation methodology for new product and process design in concurrent engineering projects. *Computers in Industry*, 57(1):26,38.
- [Hayrinen-Alestalo and Peltola, 2006] Hayrinen-Alestalo, M. and Peltola, U. (2006). The problem of market-oriented university. *Higher Education*, 52(2):251–281.
- [Hosnedl and Dvorak, 2008] Hosnedl, S. and Dvorak, J. (2008). Cooperation of engineering and industrial designers on industrial projects. In *Proceedings of the DESIGN 2008, 10th International Design Conference, Dubrovnik (Croatia)*, pages 127–1234.
- [Howard et al., 2008] Howard, T. J., Culley, S. J., and Dekoninck, E. (2008). Describing the creative design process by the integration of engineering design and cognitive psychology literature. *Design Studies*, 29(2):160–180.
- [Hu et al., 2000] Hu, M., Yang, K., and Taguchi, S. (2000). Enhancing robust design with the aid of triz and axiomatic design (part i). In *Proceedings of First International Conference on Axiomatic Design*.
- [Hubka and Eder, 1988] Hubka, V. and Eder, W. (1988). *Theory of Technical Systems Engineering*. Springer-Verlag, Berlin, first edition.
- [Häyrinen-Alestalo and Peltola, 2006] Häyrinen-Alestalo, M. and Peltola, U. (2006). The problem of a market-oriented university. *Higher Education*, 52:251–281.
- [ISO, 2007] ISO (2007). Productos de apoyo para personas con discapacidad. clasificación y terminología. une-en iso 9999.
- [Jauregui and Lozano, 2008] Jauregui, E. V. and Lozano, D. J. (2008). Uso de herramientas durante la primera fase de desarrollo de productos. *DYNA*, 83(6):363–373.
- [Jones, 1992] Jones, J. C. (1992). *Métodos de Diseño*. Editorial Gustavo Gili, Barcelona, second edition.

- [Kang, 2004] Kang, Y. J. (2004). The method for uncoupling design by contradiction matrix of triz, and case study. In *Proceedings of Third International Conference on Axiomatic Design, Seoul*.
- [Kar, 2000] Kar, A. (2000). Linking axiomatic design and taguchi methods via information content in design. In *Proceedings of First International Conference on Axiomatic Design, Cambridge, MA*.
- [Kulak et al., 2005] Kulak, O., Kahraman, C., Oztaysi, B., and Tanyas, M. (2005). Multi-attribute information technology project selection using fuzzy axiomatic design. *The Journal of Enterprise Information Management*, 18(3):275–288.
- [Leydesdorff et al., 2006] Leydesdorff, L., Dolfsma, W., and der Panne, G. V. (2006). Measuring the knowledge base of an economy in terms of triple-helix relations among technology, organization, and territory. *Research Policy*, 35:181–199.
- [Lin et al., 2006] Lin, C., Hong, J., Hwang, M., and Lin, Y. (2006). A study of the applicability of idea generation techniques. In *American Creativity Association*.
- [Lin and Chen, 2002] Lin, L. and Chen, C. (2002). Constraints modelling in product design. *Journal of Engineering Design*, 13(3).
- [Love, 2002] Love, T. (2002). Constructing a coherent cross-disciplinary body of theory about designing and designs: some philosophical issues. *Design Studies*, 23(3):345–361.
- [Naddeo, 2006] Naddeo, A. (2006). Axiomatic framework applied to industrial design problem formulated by para-complete logics approach: the power of decoupling on optimization-problem solving. In *Proceedings of Fourth International Conference on Axiomatic Design, Firenze*.
- [Oh, 2006] Oh, H. (2006). Amending axiom ii to achieve a six sigma design. In *Proceedings of Fourth International Conference on Axiomatic Design, Firenze*.
- [Packendorff, 1995] Packendorff, J. (1995). Inquiring into the temporary organization: new directions for project management research. *Scandinavian Journal Management*, 11(4):319–333.
- [Pahl and Beitz, 1996] Pahl, G. and Beitz, W. (1996). *Engineering Design: A Systematic Approach*. Ed. Springer, second edition.
- [Pappalardo, 2006] Pappalardo, M. (2006). Fusion of belief in axiomatic design. In *Proceedings of Fourth International Conference on Axiomatic Design, Firenze*.
- [Peeters et al., 2007] Peeters, M., van Trujill, H., and Reymen, I. (2007). The development of a design behaviour questionnaire for multidisciplinary teams. *Design Studies*, 28(6):623–643.

- [Petitota and Yannou, 2004] Petitota, J.-F. and Yannou, B. (2004). Measuring consumer perceptions for a better comprehension, specification and assessment of product semantics. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 33(1):507–525.
- [Pugh, 1990] Pugh, S. (1990). *Total Design*. Addison-Wesley. Wokingham, first edition.
- [Rafols and Meyer, 2006a] Rafols, I. and Meyer, M. (2006a). Knowledge-sourcing strategies for cross-disciplinarity in bionanotechnology. *SPRU Electronic Working Paper Series*.
- [Rafols and Meyer, 2006b] Rafols, I. and Meyer, M. (2006b). Knowledge-sourcing strategies for cross-disciplinarity in bionanotechnology. *SPRU Electronic Working Paper Series. University of Sussex*, 1(1).
- [Reilly et al., 2002] Reilly, R., Lynn, G., and Aronson, Z. (2002). The role of personality in new product development team performance. *Journal of engineering and technology management*, 19:39–58.
- [Roijsackers and Hagedoom, 2006] Roijsackers, N. and Hagedoom, J. (2006). Inter-firm r&d partnering in pharmaceutical biotechnology since 1975. trends, pattern and networks. *Research Policy*, 35:431–446.
- [Saaty, 1994] Saaty, T. (1994). *Fundamentals of decision making and priority theory with the AHP*. RWS Publications, Pittsburgh.
- [Sahlin, 2000] Sahlin, N. A. (2000). A systematic approach for decision making in a concurrent engineering environment. In *Proceedings of First International Conference on Axiomatic Design*.
- [Salamatov, 1999] Salamatov, Y. (1999). *The right solution at the right time*. Insytect B.V., first edition.
- [Savransky, 2000] Savransky (2000). *Engineering of Creativity*. CRC Press, Boca Raton, USA, first edition.
- [Shah et al., 2003a] Shah, J., Smith, S., Vargas-Hernandez, N., Gerkens, D., and Wulan, M. (2003a). Empirical studies of design ideation: Alignment of design experiments with lab experiments. In *Proceeding os DETC 2003: ASME 2003 International conference on Design Theory and Methodology*.
- [Shah et al., 2003b] Shah, J., Vargas-Hernandez, N., and Smith, S. (2003b). Metrics for measuring ideation effectiveness. *Design Studies*, 24(2):111–134.
- [Shen et al., 2007] Shen, S.-T., Prior, S. D., White, A. S., and Karamanoglu, M. (2007). Using personality type differences to form engineering design teams. *engineering education*, 2(2):54–67.

-
- [Shin and Park, 2006] Shin, G. and Park, G. (2006). Decoupling process of a coupled design using triz modules. In *Proceedings of Fourth International Conference on Axiomatic Design. Firenze*.
- [Shirwaiker and Okudan, 2008] Shirwaiker, R. and Okudan, G. (2008). Triz and axiomatic design: a review of case-studies and a proposed linguistic use. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 19:33–47.
- [Suh, 1990] Suh, N. P. (1990). *Principles of Design*. Oxford University, first edition.
- [Suh, 1996] Suh, N. P. (1996). Application of axiomatic design to engineering collaboration and negotiation. In *Concurrent engineering: Research and applications*, volume 4, pages 389–399.
- [Suh, 2001] Suh, N. P. (2001). *Axiomatic Design. Advances and Applications*. Oxford University, first edition.
- [Suh, 2005] Suh, N. P. (2005). *Complexity*. Oxford University, first edition.
- [Tovar et al., 2007] Tovar, A., Arzola, N., and Gómez, A. (2007). Técnicas de diseño óptimo multidisciplinario. *Revista Ingeniería e Investigación*, 27(1):84–92.
- [Ullah, 2005] Ullah, A. (2005). A fuzzy decision model for conceptual design. *Systems Engineering*, 8(4):296–308.
- [Ullah, 2004] Ullah, A. M. M. S. (2004). Handling design perceptions: an axiomatic design perspective. *Research in Engineering*, 16(3):109–117.
- [Wilde, 2004] Wilde, D. J. (2004). Team creativity. In *The NCHIA 8th Annual Meeting*, pages 77–80.
- [Xu et al., 2007] Xu, L., Li, Z., Li, S., and Tang, F. (2007). A decision support system for product design in concurrent engineering. *Decision Support Systems*, 42:2029–2042.
- [Zadeh, 1999] Zadeh, L. (1999). From computing with numbers to computing with words—from manipulation of measurements to manipulation of perceptions. *IEEE Transactions on circuits and systems, I: Fundamental theory and applications*, 45(1):105–119.

Apéndice A

Instrucciones para los experimentos de generación de ideas

Taller final de uso de las nueve ventanas y la matriz de contradicciones de TRIZ con equipos multidisciplinares

ENUNCIADO DEL PROBLEMA

Se pretende diseñar una nueva mesa para oficina que permita elevarse y bajarse fácilmente para compaginar el trabajar de pie con el trabajar sentado. Son muchas las personas que pasan la jornada laboral entera trabajando sentadas, y en muchas ocasiones en posturas incorrectas. La posibilidad de alternar durante la jornada laboral, el trabajo de pie con el trabajo sentado, puede suponer una mejora de salud y la productividad. Las mesas actuales que presenta la funcionalidad buscada son generalmente de pequeña superficie de trabajo, por lo que también interesa que hubiera mesas más grandes y que fueran fáciles de elevar para cambiar la postura con el tiempo. La mesa está dirigida fundamentalmente, a inmobiliario de oficinas para empresas.

Intrucciones del trabajo

Tiempo:

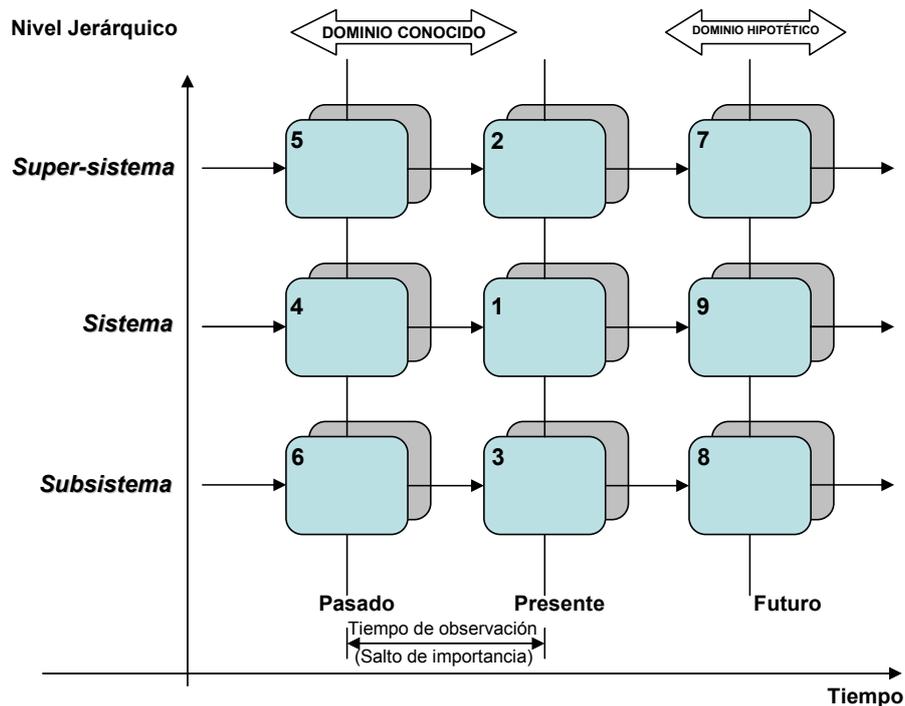
Paso 1 al 3: 45 minutos

Paso 4 al 6: 45 minutos (total acumulado 90 min)

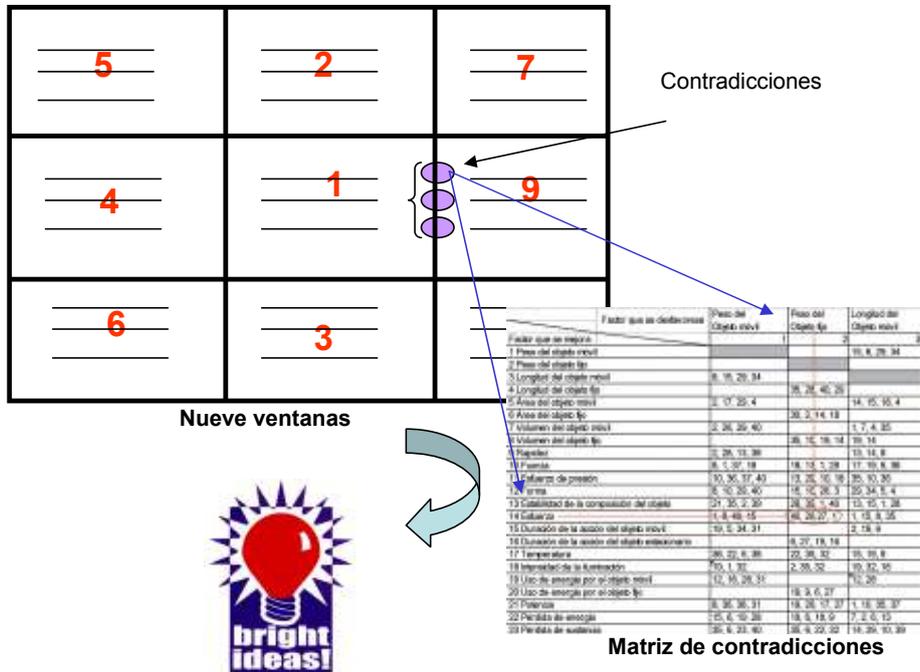
Paso 7: 60 minutos (total acumulado 2 h: 35 min)

Para el uso de TRIZ, realicen el siguiente procedimiento:

1. **Diagrama. Elabore un diagrama con las nueve ventanas** en el material suministrado para ello. (Folios grandes)
2. **Función principal o funciones del problema.** Identifique la función principal o funciones del problema enunciado (sistema técnico) y escríbalas en la Ventana 1.
3. **Cumplimentación de las nueve ventanas.** Analicen el problema presentado, **complimentando las nueve ventanas** a partir de la función principal o funciones del sistema en la actualidad (Ventana 1). No olvide seguir la secuencia mostrada en la figura. Sean lo más detallados en el análisis de las ventanas y participen colectivamente.



4. **Identificación de contradicciones.** Identifique las contradicciones actuales (ventana 1 al 9) del problema y escríbalas en un folio aparte.



- Uso de la matriz de contradicciones.** Utilice la “matriz de contradicciones” con las contradicciones encontradas en su problema. No olvide que en la matriz la primera columna representa los parámetros que usted desea favorecer y la primera fila representa los parámetros que se desfavorecen. (En el ejemplo de la gráfica superior, el parámetro que se mejora es el esfuerzo y el que se desfavorece es el peso del objeto).
- Principios e ideas preliminares.** Identifique los principios inventivos en la intersección de los parámetros y generen en forma colectiva ideas para la solución del problema. No olviden que el primer principio del grupo es el que se ha usado con mayor frecuencia. **Genere una tabla con tres columnas para las contradicciones, los principios utilizados y las soluciones que ustedes generen a partir de los principios sugeridos.**

Contradicción	Principios	Ideas
_____	_____ → _____ → _____ →	{ _____ _____ _____ _____ _____
_____	_____ → _____ → _____ →	{ _____ _____ _____ _____ _____
_____	_____ → _____ →	{ _____ _____ _____

7. **Desarrollo de la idea.** En forma colectiva, con base en las ideas generadas, elaboren una idea general para la solución del problema y elaboren un boceto del producto (utilice el folio grande). Escriban en su presentación las contradicciones y los principios utilizados. No olviden escribir sus nombres de los integrantes del equipo.

Apéndice B

Cuestionario para evaluación de la variable Novedad del Producto Creativo en el segundo experimento

ENUNCIADO DEL PROBLEMA

Se pretende diseñar una nueva mesa para oficina que permita elevarse y bajarse fácilmente para compaginar el trabajar de pie con el trabajar sentado. Son muchas las personas que pasan la jornada laboral entera trabajando sentadas, y en muchas ocasiones en posturas incorrectas. La posibilidad de alternar durante la jornada laboral, el trabajo de pie con el trabajo sentado, puede suponer una mejora de salud y la productividad. Las mesas actuales que presenta la funcionalidad buscada son generalmente de pequeña superficie de trabajo, por lo que también interesa que hubiera mesas más grandes y que fueran fáciles de elevar para cambiar la postura con el tiempo. La mesa está dirigida fundamentalmente, a mobiliario de oficinas para empresas.

EVALUACIÓN DE LA NOVEDAD

Novedad: Medida de lo no usual o inesperado de la idea propuesta.

Para la selección de una mesa novedosa que permita trabajar de pie y sentado en la oficina, que criterio consider más importante y en que grado	
<input type="checkbox"/> Las características del sistema de movimiento <input type="checkbox"/> La facilidad de manejo	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Extremo Muy fuerte Fuerte Moderado Indiferente
<input type="checkbox"/> Las características del sistema de movimiento <input type="checkbox"/> La amplitud del área de trabajo	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Extremo Muy fuerte Fuerte Moderado Indiferente
<input type="checkbox"/> Las características del sistema de movimiento <input type="checkbox"/> Lo adecuado para el trabajo de oficina	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Extremo Muy fuerte Fuerte Moderado Indiferente
<input type="checkbox"/> La facilidad de manejo <input type="checkbox"/> La amplitud del área de trabajo	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Extremo Muy fuerte Fuerte Moderado Indiferente
<input type="checkbox"/> La facilidad de manejo <input type="checkbox"/> Lo adecuado para el trabajo de oficinas	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Extremo Muy fuerte Fuerte Moderado Indiferente
<input type="checkbox"/> La amplitud del área de trabajo <input type="checkbox"/> Lo adecuado para el trabajo de oficinas	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Extremo Muy fuerte Fuerte Moderado Indiferente

Respecto a las características del sistema de movimiento, en la selección de una mesa novedosa que permita trabajar de pie y sentado, qué criterio considera más importante y en qué grado?					
<input type="checkbox"/> El uso de nuevas tecnologías	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Bajo consumo de energía	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente

Las preguntas que se muestran a continuación se responden con base en la observación de las gráficas de los Grupos 1 al 7 que están en un documento aparte.

Respecto al uso de nuevas tecnologías en el sistema de movimiento, para la selección de una mesa novedosa que permita trabajar de pie y sentado, que alternativa prefiere y en que grado?					
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 2	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 3	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 4	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 3	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 4	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 4	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 4	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 4	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 4	<input type="checkbox"/>				

<input type="checkbox"/> Grupo 7	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 6	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 7	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 7	<input type="checkbox"/>				

Respecto al bajo consumo de energía en el sistema de movimiento, para la selección de una mesa novedosa que permita trabajar de pie y sentado, que alternativa prefiere y en que grado?					
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 2	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 3	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 4	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 3	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 4	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 4	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 4	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 4	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 4	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 5	<input type="checkbox"/>				

<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 5	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 6	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente

Respecto a la facilidad del manejo para la selección de una mesa novedosa que permita trabajar de pie y sentado que alternativa prefiere y en que grado?					
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 2	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 3	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 4	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 3	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 4	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 4	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 4	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 4	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 4	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 5	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 5	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 6	<input type="checkbox"/>				

<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
----------------------------------	---------	------------	--------	----------	-------------

Respecto a la amplitud del área de trabajo para una mesa novedosa que permita trabajar de pie y sentado que alternativa prefiere y en que grado?					
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 2	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 3	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 4	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 3	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 4	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 4	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 4	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 4	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 4	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 5	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 5	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 6	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente

Respecto a lo adecuado para el trabajo de oficinas para una mesa novedosa que permita trabajar de pie y sentado que alternativa prefiere y en que grado?

<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 2	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 3	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 4	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 3	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 4	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 4	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 4	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 4	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 4	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 5	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 5	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 6	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente

Apéndice C

Cuestionario para evaluación de la variable Calidad del Producto Creativo en el segundo experimento

ENUNCIADO DEL PROBLEMA

Se pretende diseñar una nueva mesa para oficina que permita elevarse y bajarse fácilmente para compaginar el trabajar de pie con el trabajar sentado. Son muchas las personas que pasan la jornada laboral entera trabajando sentadas, y en muchas ocasiones en posturas incorrectas. La posibilidad de alternar durante la jornada laboral, el trabajo de pie con el trabajo sentado, puede suponer una mejora de salud y la productividad. Las mesas actuales que presenta la funcionalidad buscada son generalmente de pequeña superficie de trabajo, por lo que también interesa que hubiera mesas más grandes y que fueran fáciles de elevar para cambiar la postura con el tiempo. La mesa está dirigida fundamentalmente, a mobiliario de oficinas para empresas.

Calidad

Medida de qué tan cerca está la solución de lograr las especificaciones del diseño.

Para la selección de una mesa de calidad que permita trabajar de pie y sentado en la oficina, que criterio consideras más importante y en que grado	
<input type="checkbox"/> Una amplia superficie de trabajo <input type="checkbox"/> La seguridad de operación	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; font-size: small; margin-top: 5px;"> Extremo Muy fuerte Fuerte Moderado Indiferente </div>
<input type="checkbox"/> Una amplia superficie de trabajo <input type="checkbox"/> La facilidad de instalación	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; font-size: small; margin-top: 5px;"> Extremo Muy fuerte Fuerte Moderado Indiferente </div>
<input type="checkbox"/> Una amplia superficie de trabajo <input type="checkbox"/> Su orientación de uso en oficinas	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; font-size: small; margin-top: 5px;"> Extremo Muy fuerte Fuerte Moderado Indiferente </div>
<input type="checkbox"/> La seguridad de operación <input type="checkbox"/> La facilidad de instalación	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; font-size: small; margin-top: 5px;"> Extremo Muy fuerte Fuerte Moderado Indiferente </div>
<input type="checkbox"/> La seguridad de operación <input type="checkbox"/> Su orientación de uso en oficinas	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; font-size: small; margin-top: 5px;"> Extremo Muy fuerte Fuerte Moderado Indiferente </div>
<input type="checkbox"/> La facilidad de instalación <input type="checkbox"/> Su orientación de uso en oficinas	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; font-size: small; margin-top: 5px;"> Extremo Muy fuerte Fuerte Moderado Indiferente </div>

Las preguntas que se muestran a continuación se responden con base en la observación de las gráficas de los Grupos 1 al 7 que se encuentran en un documento diferente.

Respecto a la amplia superficie de trabajo para la selección de una mesa de calidad que permita trabajar de pie y sentado, que alternativa prefiere y en que grado?	
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Grupo 2	Extremo Muy fuerte Fuerte Moderado Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Grupo 3	Extremo Muy fuerte Fuerte Moderado Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Grupo 4	Extremo Muy fuerte Fuerte Moderado Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo Muy fuerte Fuerte Moderado Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo Muy fuerte Fuerte Moderado Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo Muy fuerte Fuerte Moderado Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Grupo 3	Extremo Muy fuerte Fuerte Moderado Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Grupo 4	Extremo Muy fuerte Fuerte Moderado Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo Muy fuerte Fuerte Moderado Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo Muy fuerte Fuerte Moderado Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo Muy fuerte Fuerte Moderado Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Grupo 4	Extremo Muy fuerte Fuerte Moderado Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo Muy fuerte Fuerte Moderado Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo Muy fuerte Fuerte Moderado Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo Muy fuerte Fuerte Moderado Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 4	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo Muy fuerte Fuerte Moderado Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 4	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo Muy fuerte Fuerte Moderado Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 4	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo Muy fuerte Fuerte Moderado Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 5	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo Muy fuerte Fuerte Moderado Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 5	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo Muy fuerte Fuerte Moderado Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 6	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
----------------------------------	---------	------------	--------	----------	-------------

Respecto a la seguridad de operación para la selección de una mesa de calidad que permita trabajar de pie y sentado, que alternativa prefiere y en que grado?					
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 2	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 3	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 4	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 3	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 4	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 4	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 4	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 4	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 4	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 5	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 5	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 6	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente

Respecto a la facilidad de instalación para la selección de una mesa de calidad que permita trabajar de pie y sentado que alternativa prefiere y en que grado?					
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 2	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 3	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 4	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 3	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 4	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 4	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 4	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 5	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 4	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 4	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 5	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 6	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 5	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 6	<input type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/> Grupo 7	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente

Respecto a la orientación de uso en oficinas para una mesa de calidad que permita trabajar de pie y sentado que alternativa prefiere y en que grado?					
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>				

<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>					
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>					
<input type="checkbox"/> Grupo 4	<input type="checkbox"/>	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>					
<input type="checkbox"/> Grupo 5	<input type="checkbox"/>	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>					
<input type="checkbox"/> Grupo 6	<input type="checkbox"/>	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 1	<input type="checkbox"/>					
<input type="checkbox"/> Grupo 7	<input type="checkbox"/>	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>					
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>					
<input type="checkbox"/> Grupo 4	<input type="checkbox"/>	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>					
<input type="checkbox"/> Grupo 5	<input type="checkbox"/>	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>					
<input type="checkbox"/> Grupo 6	<input type="checkbox"/>	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 2	<input type="checkbox"/>					
<input type="checkbox"/> Grupo 7	<input type="checkbox"/>	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>					
<input type="checkbox"/> Grupo 4	<input type="checkbox"/>	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>					
<input type="checkbox"/> Grupo 5	<input type="checkbox"/>	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>					
<input type="checkbox"/> Grupo 6	<input type="checkbox"/>	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 3	<input type="checkbox"/>					
<input type="checkbox"/> Grupo 7	<input type="checkbox"/>	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 4	<input type="checkbox"/>					
<input type="checkbox"/> Grupo 5	<input type="checkbox"/>	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 4	<input type="checkbox"/>					
<input type="checkbox"/> Grupo 6	<input type="checkbox"/>	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 4	<input type="checkbox"/>					
<input type="checkbox"/> Grupo 7	<input type="checkbox"/>	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 5	<input type="checkbox"/>					
<input type="checkbox"/> Grupo 6	<input type="checkbox"/>	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 5	<input type="checkbox"/>					
<input type="checkbox"/> Grupo 7	<input type="checkbox"/>	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente
<input type="checkbox"/> Grupo 6	<input type="checkbox"/>					
<input type="checkbox"/> Grupo 7	<input type="checkbox"/>	Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Indiferente

