



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA**

**METODOLOGÍA PARA LA DETECCIÓN DE REQUERIMIENTOS
SUBJETIVOS EN EL DISEÑO DE PRODUCTO**

Tesis Doctoral

Presentada por

Jaime Alfonso León Duarte

Para la obtención del grado de
Doctor en Ingeniería por la Universitat Politècnica de Catalunya

Dirigida por:

Prof. Joan Masarnau Brasó

Doctor Ingeniero Industrial

Departament de Projectes d'Enginyeria
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona

Barcelona, España

Octubre de 2005



CONACYT

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



EL SABER DE MIS HIJOS
HARÁ MI GRANDEZA



Secretaría de Educación y Cultura

Universitat Politècnica de Catalunya

Barcelona, España

Resumen.

METODOLOGÍA PARA LA DETECCIÓN DE REQUERIMIENTOS SUBJETIVOS EN EL DISEÑO DE PRODUCTO.

Jaime Alfonso León Duarte

Ante el escenario económico actual, fruto de la tendencia globalizadora de los sistemas de producción y servicios, es natural la alta competencia de mercado que ha obligado a las organizaciones a implantar estrategias novedosas, dirigidas a incrementar su nivel de competitividad ante este entorno cambiante. El diseño industrial no es ajeno a esto, en la actualidad es común que las organizaciones declaren que sus productos sean fruto de *escuchar al usuario*. Sin embargo, este proceso se distingue por dos características que dificultan la interpretación y conversión de las necesidades del usuario en atributos de producto: la naturaleza lingüística asociada al mismo, carente de implicación directa a las propiedades deseadas del objeto, así como la dificultad para interpretar, categorizar y traducir las necesidades del usuario en especificaciones de producto.

En este sentido, es notoria la falta de mecanismos sólidos y confiables para traducir las necesidades del usuario en características de diseño; no únicamente aquellas *palpables*, se hace un particular énfasis en la necesidad de incorporar los atributos *intangibles* relacionados con la percepción del producto por el usuario. Las metodologías tradicionales de diseño, basadas en el análisis de la *función* no resultan eficaces para anticipar estos factores y generalmente la actividad creativa se fundamenta en características del producto autodefinidas, las cuales son refinadas mediante procesos cíclicos de diseño, lo cual trae consigo un cúmulo de problemas que se traducen en ciclos de desarrollo de producto demasiado prolongados, en los cuales no existen mecanismos para prever si una combinación de características del objeto corresponden a la necesidad del usuario en un entorno de uso real.

Esta genera una respuesta a la necesidad citada, mediante un mecanismo para la detección e interpretación de atributos de producto en la fase de diseño conceptual. De esta forma, no únicamente se identifican y categorizan las

necesidades funcionales, sino que además se incluye un procedimiento para evaluar la percepción estética que el usuario posee hacia el objeto de diseño al examinar propuestas de diseño conceptual.

Partiendo de una diferenciación inicial del tipo de requerimientos, clasificándolos según su naturaleza objetiva y subjetiva, la propuesta metodológica recurre a mecanismos particulares para la detección, interpretación y categorización de las necesidades del usuario en estas dos vertientes básicas. Estas cualidades, una vez identificadas, son incorporadas en una estructura de *affordances* (Gibson, 1979) que muestra el conjunto de interacciones, en las cuales las propiedades del objeto son percibidas por el usuario como *posibilidades de acción*. El propósito de utilizar esta distribución es el servir de guía para el equipo creativo en la fase de diseño de detalle, fungiendo como marco referencial para el diseño de forma que la actividad creativa sea dirigida anticipándose aquellos aspectos que el usuario percibe como más importantes en un producto en su entorno de uso.

Para ello, se recurrió a una combinación de mecanismos adaptados para esta aplicación particular, siendo los principales de ellos el método Kano (1984), la técnica de diferenciales semánticos de Osgood (1957), el análisis factorial, así como a un sistema de inferencia que recurre a la lógica difusa o fuzzy logic (Zadeh, 1965).

El resultado de la investigación se circunscribe en el ámbito de los métodos de diseño, comprendidos estos según la definición de Christopher Jones (1981), quien señala que son conjuntos de directivas a seguir durante el proceso de creación de un producto que responda a una necesidad de mercado; esta perspectiva es complementada con la visión de Cross (1996), quien interpreta los métodos de diseño como cualquier procedimiento, soporte o herramienta para diseñar, de forma que se represente el conjunto de actividades a los que el diseñador puede recurrir y/o combinar en el proceso creativo.

Jaime Alfonso León Duarte

Metodología para la detección de requerimientos subjetivos en el diseño de producto

Departament de Projectes d'Enginyeria

Universitat Politècnica de Catalunya

Diagonal 647, planta 10, E.T.S.E.I.B.

08028, Barcelona – España

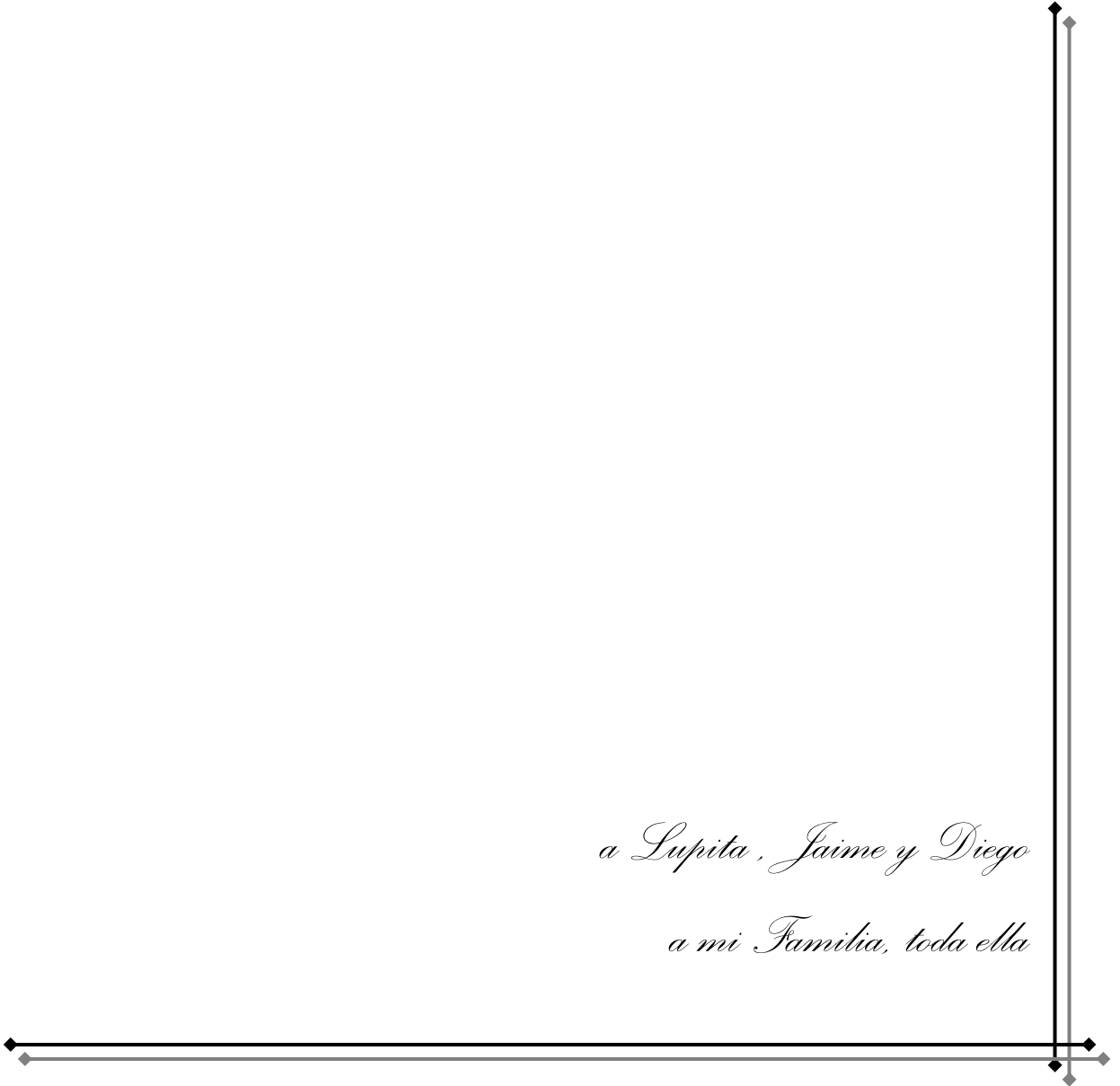
Teléfono: (+34) – 934016647

Website: <http://senna.upc.es>

e-mail: jleond@industrial.uson.mx, jleonduarte@yahoo.es, jaime.alfonso.leon@upc.edu

a Lupita , Jaime y Diego

a mi Familia, toda ella



AGRADECIMIENTOS.

A Joan Masarnau, por su apoyo incondicional y permanente durante todo el desarrollo de esta investigación, seguro estoy que no podía haber tenido un mejor director de tesis.

A mis compañeros de estudios (sin mencionar nombres para evitar omitir a alguno de ellos), especialmente a los más cercanos: mis compañeros de despacho, pasados y presentes. Dicen que las amistades se apagan cuando mueren los recuerdos... esa llama seguirá viva.

A la Universidad Politécnica de Catalunya, en especial al departamento de Proyectos de Ingeniería, por los recursos que ha puesto a mi disposición durante el desarrollo de esta investigación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México, a la Secretaría de Educación y Cultura del estado de Sonora, a la Universidad de Sonora, mi más sincero agradecimiento por el apoyo económico que hizo posible cumplir esta meta.

A mi familia, gracias por todo el apoyo que siempre me han otorgado. Sin ustedes, esta aventura no significaría nada. Gracias sobre todo a ti, Chapis, por todos los sacrificios... eso va también para mis dos Kingis, los mejores hijos.

A todos los que no he mencionado, pero que consciente o inconscientemente hicieron posible esta aventura.

ÍNDICE GENERAL.

	Página
1. Presentación y descripción de la tesis.	1
1.1. Descripción del tema de la tesis	3
1.2. Breve descripción de cada capítulo	6
1.3. Premisas y alcance de la investigación	7
1.3.1. Tipología de la investigación	7
1.3.2. Resultados de la investigación	8
1.3.3. Paradigmas y teorías guía	8
2. Marco teórico.	13
2.1. Metodologías de diseño	15
2.1.1. Introducción	16
2.1.2. Definición de diseño	16
2.1.3. La investigación en diseño	17
2.1.4. La ciencia del diseño como vínculo entre actividades de diseño	19
2.1.5. Productos de la investigación en diseño	19
2.1.6. Tópicos de investigación en la ciencia del diseño	20
2.1.7. Métodos descriptivos	21
2.1.8. Métodos prescriptivos (en base a patrones establecidos)	27
2.2. El diferencial semántico	39
2.2.1. Introducción	39
2.2.2. Construcción y administración del diferencial semántico	40
2.2.3. Aplicación del diferencial semántico	41
2.2.4. Análisis de los resultados	42
2.3. El método Kano para la satisfacción del cliente	45
2.3.1. Introducción	45
2.3.2. Tipos de requerimientos de los clientes	46
2.3.3. Análisis básico de los datos	47
2.3.4. Análisis detallado de los datos	49
2.3.5. Producto básico, producto esperado, producto aumentado: su ciclo dinámico	53
2.4. El análisis factorial	56
2.4.1. Introducción	56
2.4.2. Antecedentes históricos	57
2.4.3. Supuestos del análisis factorial	57
2.4.4. Modelo matemático general	58
2.4.5. Tipos de análisis factorial	58
2.4.6. Pasos del análisis factorial	59
2.4.7. Métodos de comprobación del grado de asociación entre variables	60
2.4.8. Extracción del número óptimo de factores	62
2.4.9. Rotaciones factoriales	65
2.4.9. Puntuaciones factoriales	68
2.5. La ingeniería Kansei	71
2.5.1. Introducción	71
2.5.2. Definición de Kansei	73
2.5.3. Procedimiento general de la ingeniería Kansei	73
2.5.4. Campo de aplicación	77

2.6. Teoría de conjuntos difusos (Fuzzy Logic)	79
2.6.1. Introducción	79
2.6.2. Breve reseña histórica	80
2.6.3. ¿Que es la lógica difusa?	81
2.6.4. Conjuntos difusos. Definiciones	82
2.6.5. Propiedades de los conjuntos difusos	88
2.6.6. Operaciones entre conjuntos difusos	90
2.6.7. T-normas y T-Conormas	93
2.6.8. Proyección y extensión cilíndrica	94
2.6.9. Variables lingüísticas	100
2.6.10. Relaciones difusas	101
2.6.11. El razonamiento aproximado	102
2.6.12. Etapas de la lógica difusa	105
2.6.13. Algunas aplicaciones de la lógica difusa que tienen relación con el diseño industrial	107
3. Antecedentes y justificación.	109
3.1. Antecedentes	111
3.1.1. La incertidumbre como característica común de la tarea de diseño	113
3.1.2. Por que utilizar una metodología para diseño de productos	114
3.2. Problema de investigación	117
3.3. Objetivos de la investigación	118
3.3.1. Objetivo general	118
3.3.2. Objetivos específicos	118
3.4. Hipótesis	119
3.5. Resultados esperados	119
3.6. Limitaciones y supuestos	119
4. Elaboración de la propuesta metodológica.	121
4.1. Introducción	123
4.1.1. El significado de la palabra affordance	124
4.1.2. La teoría de affordances	127
4.1.3. Ejemplos de affordances	129
4.2. Affordances versus Función y Funcionamiento como conceptos fundamentales en diseño	130
4.2.1. Ventajas y desventajas de utilizar la función en el diseño	131
4.2.2. Ventajas de utilizar el enfoque de affordances	133
4.2.3. La complementariedad (Sinergia) de función y affordance en diseño	134
4.3. Un nuevo enfoque del proceso de diseño	135
4.3.1. Affordances y la teoría general de sistemas	136
4.3.2. Consideración del grado de complejidad de función y de affordance	137
4.3.3. Affordances artefacto – usuario	138
4.4. La estructura de affordances	139
4.4.1. Propuesta de un método para la creación de estructuras de affordances	140
4.4.2. Pasos para construir una estructura de affordances	142
4.5. Utilización de la estructura de affordances en la Tesis	145
4.6. Contexto del problema	148
4.6.1. El producto: ayudas técnicas y productos de la vida diaria	149
4.6.2. Beneficios de la posición bipeda	151
4.6.3. Cuando y como debe participar el usuario en el proceso de diseño	153
4.6.4. Estudios previos	154

4.7. Desarrollo práctico de la tesis	157
4.7.1. Agrupaciones de discapacitados contactadas para las encuestas a usuarios	159
4.7.2. La encuesta	159
4.7.3. El proceso de la encuesta	163
4.8. La encuesta aplicada	164
4.8.1. Sección de diferenciales semánticos	164
4.8.2. Sección del método Kano para satisfacción del cliente	167
5. Análisis de resultados.	171
5.1. Datos de los encuestados	173
5.2. Sección del método Kano para satisfacción del cliente	174
5.2.1. El mapa de las respuestas	174
5.2.2. Prueba estadística de los requerimientos clasificados	180
5.2.3. Clasificación de los requerimientos según el resultado de las encuestas	181
5.3. Resultados del análisis factorial de datos	184
5.3.1. Validez de los resultados	184
5.3.2. Obtención del número óptimo de factores	187
5.3.3. Reclasificación de los productos en base a su valoración en los factores extraídos	189
5.4. Modelo matemático desarrollado	193
5.4.1. Proximidad de los productos evaluados a cada factor	193
5.4.2. Modelo matemático	194
5.5. Validación del modelo (pruebas realizadas)	203
5.5.1. Resultados obtenidos	204
5.6. Incorporación de los resultados a la estructura de affordances	206
6. Conclusiones.	211
6.1. Conclusiones	213
6.1.1. Conclusiones del caso práctico	213
6.1.2. Conclusiones generales de la tesis	214
6.2. Aportaciones	215
6.3. Recomendaciones para investigaciones futuras	217
7. Bibliografía y anexos.	219
Bibliografía.	221
Libros	221
Manuales de usuario	224
Revistas y publicaciones periódicas	224
Publicaciones y páginas Web	230
Anexo 1. Datos para el ejemplo de A. F.	231
Anexo 2. Presentación informática de la encuesta	235
Anexo 3. Encuesta vía E-mail	247
Anexo 4. Carta de presentación de la encuesta vía E-mail	257
Anexo 5. Instrucciones de la encuesta	259
Anexo 6. Cuadernillo de respuestas	263
Anexo 7. Resultados del A. F. de los datos de la encuesta	269
Anexo 8. Pruebas del modelo de inferencia difusa	281
Anexo 9. Normativas relevantes a sillas de ruedas de bipedestación	283

ÍNDICE DE FIGURAS.

Capítulo 1.	Página
Figura 1.1. Situación de la ingeniería del diseño industrial	4
Capítulo 2.	
Figura 2.1. La ciencia del diseño vista como un sistema de información.	18
Figura 2.2. Interacciones entre los tres campos de "atención" en el diseño.	19
Figura 2.3. Ciclo empírico de diseño.	22
Figura 2.4. El ciclo básico de diseño.	25
Figura 2.5. El método de transformación.	26
Figura 2.6. Las fases del proceso de Diseño según French.	32
Figura 2.7. Diagrama de la norma VDI 2221.	34
Figura 2.8. Modelo de Pahl y Beitz del proceso de diseño.	35
Figura 2.9. Ejemplo de escala sin numeración.	41
Figura 2.10. El espacio semántico.	43
Figura 2.11. Tipos de Requerimientos del cliente.	47
Figura 2.12. Tipos de Requerimientos del cliente (2).	53
Figura 2.13. Grafico de sedimentación.	65
Figura 2.14. Gráfico factorial rotado.	68
Figura 2.15. Evolución de las necesidades.	72
Figura 2.16. Ejemplo de Kansei Tipo 1.	74
Figura 2.17. Diagrama de proceso del Kansei Engineering System (KES).	76
Figura 2.18. Estructura del sistema del KES híbrido.	77
Figura 2.19. Ejemplo de una función de pertenencia de un Conjunto Difuso.	82
Figura 2.20. Conjunto "Crisp".	84
Figura 2.21. Ejemplo de un conjunto difuso.	85
Figura 2.22. Tipos de funciones de pertenencia.	86
Figura 2.23. Diferentes funciones de pertenencia.	86
Figura 2.24. Ejemplo de Conjuntos Difusos en el universo de la edad.	87
Figura 2.25. Centro, soporte y α -corte de un conjunto difuso.	89
Figura 2.26. Conjuntos difusos convexos y no convexos.	90
Figura 2.27. Ejemplo de conjuntos difusos.	91
Figura 2.28. Intersección de conjuntos difusos.	91
Figura 2.29. Unión de conjuntos difusos.	92
Figura 2.30. Complemento de conjuntos difusos.	92
Figura 2.31. Representación de una proyección de un conjunto difuso.	95
Figura 2.32. Representación de la extensión cilíndrica de un conjunto difuso.	96
Figura 2.33. Representación de la intersección del producto cartesiano.	100
Figura 2.34. Precisión versus trascendencia.	100
Figura 2.35. Proceso de inferencia difusa.	106
Figura 2.36. Proceso de inferencia difusa (esquema).	106
Figura 2.37. Las etapas del diseño y su nivel de imprecisión.	106
Capítulo 3.	
Figura 3.1. Esquema de la teoría de la información.	117
Capítulo 4.	
Figura 4.1 Utilidad y Usabilidad.	125
Figura 4.2. Separación de los affordances de la información perceptible de ellos.	126
Figura 4.3. Propiedades necesarias para la existencia de affordances.	126
Figura 4.4. Esquema de la percepción directa.	129
Figura 4.5. El papel del diseñador según la visión de affordances.	137
Figura 4.6. Triángulo hermenéutico.	138
Figura 4.7. Diagrama de descomposición funcional.	139
Figura 4.8. Ejemplo de una estructura de affordances.	140
Figura 4.9. Ejemplo de árbol de funciones.	141
Figura 4.10. Ejemplo de diagrama de flujo de funciones.	141
Figura 4.11. Estructura genérica de affordances.	143

Figura 4.12. Estructura de affordances organizada por tópicos.	144
Figura 4.13. Estructura de affordances y su cobertura en el trabajo de tesis.	145
Figura 4.14. Metodología planteada en el trabajo de tesis.	146
Figura 4.15. Correspondencia a los temas tratados en el capítulo 2.	147
Figura 4.16. Alcance de trabajo de tesis.	154
Figura 4.17. Secuencia de actividades para desarrollar la metodología propuesta.	158
Figura 4.18. Escala de evaluación utilizada en la sección de diferenciales semánticos.	166
Figura 4.19. Vista de la sección de diferenciales semánticos (encuesta personal).	166
Figura 4.20. Vista de la sección de diferenciales semánticos (encuesta por correo electrónico).	167
Figura 4.21. Modelos de sillas de ruedas evaluados con diferenciales semánticos.	167
Figura 4.22. Vista de la sección de Método Kano (encuesta personal).	169
Figura 4.23. Vista de la sección de Método Kano (encuesta por correo electrónico).	169
Capítulo 5.	
Figura 5.1. Clasificación de los encuestados.	173
Figura 5.2. Personas encuestadas.	174
Figura 5.3. Valores obtenidos para cada requerimiento en la encuesta.	180
Figura 5.4. Clasificación de los requerimientos en base a los resultados obtenidos.	182
Figura 5.5. Resultados obtenidos para cada uno de los veinte adjetivos del diferencial semántico	185
Figura 5.6. Los 7 factores resultantes del análisis factorial y su valor para cada modelo de silla de ruedas.	192
Figura 5.7. Gráfico simplificado del proceso de inferencia difuso utilizado.	194
Figura 5.8. Esquema de inferencia difuso Mamdani.	195
Figura 5.9. Funciones de pertenencia para Importancia del factor1.	197
Figura 5.10. Funciones de pertenencia para la Factibilidad técnica del factor1.	197
Figura 5.11. Funciones de pertenencia para el modelo Chairman.	198
Figura 5.12. Resultados obtenidos para una combinación determinada de variables de entrada.	199
Figura 5.13. Las 16 restricciones del modelo matemático correspondientes al factor 1.	202
Figura 5.14. Resultados obtenidos para las cuatro combinaciones de variables de entrada de la tabla 5.17.	204
Figura 5.15. Modelo de silla de ruedas seleccionado en base a los resultados mostrados en el gráfico 5.15.	205
Figura 5.16. Esquema de affordances obtenido para la combinación de producto básico.	207
Figura 5.17. Esquema de affordances obtenido para la combinación de producto esperado.	208
Figura 5.18. Esquema de affordances obtenido para la combinación de producto ampliado.	209

ÍNDICE DE TABLAS.

	Página
Capítulo 1.	
Capítulo 2.	
Tabla 2.1 Algunas definiciones de diseño.	17
Tabla 2.2. Definiciones de los diferentes resultados de la investigación en diseño.	20
Tabla 2.3. Herramientas metodológicas para el diseño.	29
Tabla 2.4. Modelo de fases de diseño.	31
Tabla 2.5. El proceso de Diseño.	37
Tabla 2.6. Ejemplo de escala numerada.	42
Tabla 2.7. Ejemplo de cuestionario Kano.	48
Tabla 2.8. Clasificación de requerimientos.	49
Tabla 2.9. Concentración de respuestas.	50
Tabla 2.10. Concentración de respuestas (2).	52
Tabla 2.11. Ejemplo de una tabla de concentración de respuestas.	52
Tabla 2.12. Diferentes combinaciones de requerimientos.	54
Tabla 2.13. Matriz de Correlaciones.	59
Tabla 2.14. Índice KMO y test de Esfericidad de Bartlett.	61
Tabla 2.15. Matriz de estructura factorial.	63
Tabla 2.16. Varianza total explicada.	64
Tabla 2.17. Comunalidades.	64
Tabla 2.18. Matriz de estructura factorial.	66
Tabla 2.19. Matriz factorial rotada.	66
Tabla 2.20. Matriz de coeficientes para el cálculo de las puntuaciones.	69
Tabla 2.21. Reseña histórica del avance de la lógica difusa.	81
Tabla 2.22. Función de pertenencia de una relación.	96
Tabla 2.23. Definición del conjunto difuso	97
Tabla 2.24. Ejemplo de extensión cilíndrica.	97
Tabla 2.25. Ejemplo de composición.	98
Tabla 2.26. Definición del conjunto difuso	98
Tabla 2.27. Extensión cilíndrica del conjunto difuso.	99
Tabla 2.28. Ejemplo de una relación difusa.	102
Tabla 2.29. Inferencia Mamdani.	105
Capítulo 3.	
Capítulo 4.	
Tabla 4.1. Diferentes definiciones de función.	131
Tabla 4.2. Diferentes definiciones de funcionamiento.	131
Tabla 4.3. Combinaciones de affordances para tipos de productos.	144
Tabla 4.4. Clasificación de las discapacidades físicas.	153
Tabla 4.5. Agrupaciones de discapacitados que proporcionaron información.	159
Tabla 4.6. Ventajas y Limitaciones de los Distintos Métodos de Encuestas.	160
Tabla 4.7. Pares de adjetivos utilizados en la sección de diferenciales semánticos.	165
Tabla 4.8. Valores utilizados para conversión de la escala de diferencial semántico utilizado.	166
Tabla 4.9. Requerimientos a evaluar utilizando el método Kano.	168
Capítulo 5.	
Tabla 5.1. Distribución de los resultados obtenidos para los requerimientos.	176
Tabla 5.2. Resultados concentrados para los requerimientos.	178
Tabla 5.3. Valores obtenidos para el estadístico Q en la encuesta.	181
Tabla 5.4. Clasificación de los requerimientos en base a los resultados obtenidos.	182
Tabla 5.5. Combinaciones necesarias de atributos para diferentes tipos de productos en base a los resultados obtenidos.	183
Tabla 5.6. Matriz de Correlaciones para los modelos evaluados en la encuesta.	186
Tabla 5.7. Matriz de resultados para el test de esfericidad de Bartlett y KMO.	187
Tabla 5.8. Matriz de eigenvalues para los cuatro modelos de silla de ruedas.	188

Tabla 5.9.	Los 7 factores resultantes del análisis factorial.	189
Tabla 5.10.	Valores promedio obtenidos para cada modelo de silla de ruedas.	190
Tabla 5.11a.	Calculo de los factores para cada modelo evaluado	191
Tabla 5.11b.	Peso de cada factor para cada uno de los modelos de sillas de ruedas.	192
Tabla 5.12.	Peso de cada factor para cada uno de los modelos de sillas de ruedas.	194
Tabla 5.13.	Ventajas y deficiencias de utilizar la técnica de inferencia difusa de Mamdani.	195
Tabla 5.14.	Rangos de las funciones de pertenencia para la Importancia y la factibilidad técnica de los factores.	197
Tabla 5.15.	Rangos de las funciones de pertenencia de las variables de salida.	198
Tabla 5.16.	Restricciones del modelo matemático.	200
Tabla 5.17.	Valores de las 14 variables de entrada para cuatro pruebas del modelo.	204
Tabla 5.18.	Selección del modelo de silla de ruedas en base a los resultados mostrados en el gráfico 5.14.	206

Capítulo 6.
