

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	3
1.1	Justificación	3
1.2	Hipótesis	6
1.3	Objetivos	7
1.4	Metodología	8
1.5	Alcance y contribución de la tesis	10
1.6	Estructura de la tesis	10
2	INGENIERÍA DEL DISEÑO	15
2.1	Introducción	15
2.2	El concepto de «diseño».....	16
2.3	Metodologías de diseño.....	18
2.4	Diseño conceptual	34
2.5	Herramientas de diseño actuales	37
2.6	Quiénes investigan en diseño y sobre qué temas?	41
2.7	Conclusiones del capítulo	48
3	CREATIVIDAD EN LA INGENIERÍA DEL DISEÑO.....	51
3.1	Introducción	51
3.2	Una aproximación al concepto de creatividad	52
3.3	Modelos del proceso creativo	54
3.4	Herramientas computacionales de diseño conceptual creativo.....	58
3.5	Técnicas de creatividad	62
3.6	Conclusiones del capítulo	67
4	SOFTWARE DE DISEÑO, DE INGENIERIA Y DE CREATIVIDAD. ESTADO DEL ARTE	71
4.1	Introducción	71
4.2	Software de Diseño (CAD/CAM/CAE)	72
4.3	Software de Ingeniería del Producto.....	83
4.4	Software de Creatividad.....	88
4.5	Conclusiones del capítulo	97
5	MODELOS PARA VALORAR EL DISEÑO Y LA CREATIVIDAD.....	101
5.1	Introducción	101
5.2	Creatividad en el Individuo.....	102
5.3	Creatividad en el proceso	104
5.4	Creatividad del producto	112
5.5	Conclusiones del capítulo	117

6	DISEÑO Y REALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO	121
6.1	Introducción	121
6.2	Objetivo de la fase experimental	122
6.3	Selección del software a evaluar	124
6.4	Definición de las condiciones experimentales	125
6.5	El método experimental: estudio de protocolo.....	131
6.6	Diseño del experimento	135
6.7	Preparación del experimento.....	140
6.8	Realización del experimento.....	146
6.9	Conclusiones del capítulo.....	148
7	MODELADO DE RESULTADOS DE LA FASE EXPERIMENTAL	151
7.1	Introducción	151
7.2	Modelos para representar el proceso de diseño	151
7.3	Procesamiento de datos experimentales.....	156
7.4	Datos derivados de la transcripción y codificación	159
7.5	Interrelación de las ideas.....	160
7.6	Validez de las ideas.....	163
7.7	Adecuación del modelo de Shah y Vargas.....	164
7.8	Conclusiones del capítulo.....	177
8	ANÁLISIS DE RESULTADOS POR PROGRAMA	181
8.1	Introducción	181
8.2	Axon Idea Processor©.....	182
8.3	Brainstorming Toolbox©.....	195
8.4	CREAX Innovation Suite©.....	206
8.5	ThoughtPath Problem Solver™	217
8.6	Sin utilizar software.....	227
8.7	Conclusiones del capítulo.....	234
9	ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS.....	237
9.1	Introducción	237
9.2	Análisis de tiempos.....	238
9.3	Análisis de cantidades	240
9.4	Análisis de calidad creativa	247
9.5	Análisis de la creatividad global.....	259
9.6	Análisis de producción de ideas	261
9.7	Conclusiones del capítulo.....	262
10	MODELO DE UN SOFTWARE PARA DISEÑO CONCEPTUAL CREATIVO	269
10.1	Introducción	269
10.2	Modelo teórico estructural del software	270
10.3	Etapas del proceso	273

10.4	Módulos de estímulo creativo	284
10.5	Bases de datos	293
10.6	Elementos de usabilidad.....	302
10.7	El problema de la elaboración de dibujos básicos.....	311
10.8	Conclusiones del capítulo	313
11	CONCLUSIONES	317
11.1	Introducción	317
11.2	Conclusiones de la exploración teórica y de la experimentación	317
11.3	Estructura del software propuesto	329
11.4	Verificación de hipótesis	332
11.5	Conclusión final.....	335
11.6	Recomendaciones para futuros desarrollos	336
REFERENCIAS	341
ANEXOS	357

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Modelo Descriptivo	22
Figura 2.2 Núcleo y especificaciones del proceso de diseño	24
Figura 2.3 Modelo de Pahl y Beitz.....	25
Figura 2.4 Los tres niveles de la modelación del diseño	26
Figura 2.5 Actividades de diseño en el modelo de estructura cognitiva.....	28
Figura 2.6 Modelo general de re-representaciones.....	29
Figura 2.7 Razonamiento en el ciclo de diseño.....	30
Figura 2.8 Proceso de diseño según Takeda.....	31
Figura 2.9 Esquema de evolución del metamodelo.....	32
Figura 2.10 Esquema del simulador de diseño de Takeda et al. (1990)	33
Figura 2.11 Modelo co-evolucionario del diseño	34
Figura 2.12 Tendencias de factores de durante el proceso de desarrollo de productos..	35
Figura 2.13 Etapas del diseño conceptual.....	36
Figura 3.1 Ciclo de síntesis del proceso creativo	55
Figura 3.2 Estructura dinámica de la creatividad.....	55
Figura 3.3 Modelo de relación simétrica entre problema y solución de diseño	56
Figura 3.4 Modelo dual (generación/prueba) de creatividad en diseño.....	57
Figura 3.5 Estructura de un mapa mental típico.....	64
Figura 3.6 Principio básico de la metodología TRIZ.....	66
Figura 4.1 Módulos en los que el proyecto divide el proceso de diseño conceptual.....	86
Figura 5.1 Matriz CA (Creativity – Application).....	105
Figura 5.2 Relación E, Sc, y Q	108
Figura 5.3 Relación E, Sc, y Q variable.....	109
Figura 5.4 Ejemplo de la Curva de creatividad.....	112
Figura 6.1 Problema asignado a los participantes en la fase experimental	143
Figura 6.2 Instrucciones generales para la sesión experimental.....	145
Figura 6.3 Diferentes clases de información recopilada en una sesión experimental....	147
Figura 7.1 Ejemplo de representación gráfica de los elementos FBS para el caso B-3.	158
Figura 7.2 Ejemplo del tiempo dedicado a cada acción de diseño, caso T-1, 1ª parte ..	159
Figura 7.3 Ejemplo de gráfica del número de ideas por módulo de software (caso T-1)	160
Figura 7.4 Ejemplo del cuadro de datos FBS para el caso C-4.....	162
Figura 7.5 Árbol genealógico de un conjunto de ideas.....	167

Figura 7.6 Ejemplo de estructuras para cumplir la función de plegado	170
Figura 7.7 Árbol genealógico del modelo de Shah y Vargas (2003) aplicado un conjunto de ideas.....	170
Figura 8.1 Distribución porcentual del tiempo por actividad.....	184
Figura 8.2 Origen de ideas, para Axon Idea Processor©.....	188
Figura 8.3 Flexibilidad durante el proceso, usando Axon Idea Processor©.....	190
Figura 8.4 Fluidez durante el proceso, usando Axon Idea Processor©.....	190
Figura 8.5 Elaboración durante el proceso, usando Axon Idea Processor©.....	191
Figura 8.6 Índice de originalidad para el caso de Axon idea processor©	192
Figura 8.7 Evolución del proceso de generación de ideas. Caso Axon idea Processor©	193
Figura 8.8 Distribución porcentual del tiempo por actividad.....	197
Figura 8.9 Origen de ideas, para Brainstorming Toolbox©.....	200
Figura 8.10 Flexibilidad durante el proceso, usando Brainstorming toolbox©	201
Figura 8.11 Fluidez durante el proceso, usando Brainstorming toolbox©.....	202
Figura 8.12 Elaboración durante el proceso, usando Brainstorming toolbox©.....	203
Figura 8.13 Índice de originalidad para el caso de Brainstorming toolbox©	203
Figura 8.14 Evolución del proceso de generación de ideas. Caso Brainstorming toolbox©	205
Figura 8.15 Distribución porcentual del tiempo por actividadpara CREAX innovation suite©	208
Figura 8.16 Origen de ideas, para CREAX innovation suite©.....	211
Figura 8.17 Flexibilidad durante el proceso, usando CREAX innovation suite©.....	213
Figura 8.18 Fluidez durante el proceso, usando CREAX innovation suite©.....	213
Figura 8.19 Elaboración durante el proceso, usando CREAX innovation suite©.....	214
Figura 8.20 Índice de originalidad para el caso de CREAX innovation suite©.....	214
Figura 8.21 Evolución del proceso de generación de ideas. Caso CREAX innovation suite©	216
Figura 8.22 Distribución porcentual del tiempo por actividad.....	219
Figura 8.23 Flexibilidad durante el proceso, usando ThoughtPath Problem Solver™ ..	222
Figura 8.24 Fluidez durante el proceso, usando ThoughtPath Problem Solver™	223
Figura 8.25 Elaboración durante el proceso, usando ThoughtPath Problem Solver™ ..	224
Figura 8.26 Índice de originalidad para el caso de ThoughtPath Problem Solver™	224
Figura 8.27 Evolución del proceso de generación de ideas. Caso ThoughtPath Problem Solver™	226
Figura 8.28 Flexibilidad durante el proceso, sin usar software	230
Figura 8.29 Fluidez durante el proceso, usando Sin software	230

Figura 8.30	Elaboración durante el proceso, sin utilizar software	231
Figura 8.31	Índice de originalidad para el caso sin software.....	231
Figura 8.32	Evolución del proceso de generación de ideas. Caso sin software	233
Figura 9.1	Diagrama de caja del número total de ideas para cada tratamiento	241
Figura 9.2	Diagrama de caja para la variable flujo de ideas.....	242
Figura 9.3	Número de ideas por fuente	244
Figura 9.4	Porcentaje de ideas producidas por módulo en cada programa	245
Figura 9.5	Comparación de la flexibilidad del proceso entre tratamientos	248
Figura 9.6	Comparación de la fluidez del proceso entre tratamientos	251
Figura 9.7	Comparación del índice de elaboración entre tratamientos	254
Figura 9.8	Diagrama de cajas para la variable índice de elaboración.....	255
Figura 9.9.	Comparación de la originalidad entre tratamientos	257
Figura 9.10	Diagrama de cajas para la variable índice de originalidad	258
Figura 9.11	Diagrama de cajas para la variable creatividad global	260
Figura 9.12	Curvas comparativas entre los tratamientos con software con respecto al tratamiento sin software.....	262
Figura 10.1	Etapas múltiples divergentes-convergentes en el proceso de diseño conceptual	271
Figura 10.2	Ejemplo de representación de evolución funcional	272
Figura 10.3	Diagrama del proceso de diseño conceptual asistido por el software propuesto.....	274
Figura 10.4	Modelo funcional del enunciado del problema	275
Figura 10.5	Cuadro de control con la lista de chequeo de recursos del sistema	276
Figura 10.6	Redefinición del problema a resolver por cambio de enfoque.	277
Figura 10.7	Modelo de la interfase en el proceso de redefinición del problema	277
Figura 10.8	Proceso de evolución hacia el resultado final ideal, RFI	280
Figura 10.9	Cuadro de ayuda para buscar solución ideal mediante uso de recursos del sistema	281
Figura 10.10	Representación del proceso de evolución funcional controlada	284
Figura 10.11	Interfase cuando se utiliza el generador de figuras aleatorias.	286
Figura 10.12	Ejemplo de la interfase para aplicar la técnica de palabras aleatorias.....	287
Figura 10.13	Ejemplo de la interfase para aplicar la técnica de SCAMPER	288
Figura 10.14	Tipos y niveles de personajes que intervienen en el sistema	289
Figura 10.15	Ejemplo de la interfase aplicando la técnica de juegos de rol.....	289
Figura 10.16	Ejemplo de la interfase aplicando la técnica de pregunta	290

Figura 10.17	Ejemplo de la interfase para la aplicación de la matriz de contradicciones	292
Figura 10.18	Ejemplo de la interfase para la base de datos de Recursos y Energías...	295
Figura 10.19	Ejemplo de la interfase para la base de datos de funciones y atributos ...	296
Figura 10.20	Ejemplo de la interfase de búsqueda de patentes	299
Figura 10.21	Ejemplo de la interfase para búsqueda de catálogos de productos	300
Figura 10.22	Ejemplo de la interfase del «banco de ideas»	301
Figura 10.23	Curva de aprendizaje de software típica (a) y deseable (b).....	304
Figura 10.24	Forma de representación de las funciones.	309
Figura 10.25	Forma de representación de los modificadores funcionales.....	309
Figura 10.26	Forma de representación de las estructuras de solución	310
Figura 10.27	Interfase general propuesta para el software.....	311

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Esquema comparativo de la estructura de la tesis y una investigación experimental típica.....	11
Tabla 2.1 Historia de los métodos de diseño.....	21
Tabla 2.2 Una clasificación de técnicas de modelación conceptual.....	37
Tabla 3.1 Una clasificación de técnicas de creatividad	63
Tabla 4.1 Familia de productos Autodesk, Inc.....	74
Tabla 4.2 Soluciones ofrecidas por Product Development Technology, PTC Inc.	76
Tabla 4.3 Productos ofrecidos por Dassault Systèmes	79
Tabla 4.4 Productos ofrecidos por UGS	80
Tabla 4.5 Listado de programas de creatividad.....	92
Tabla 6.1 Software preseleccionado	124
Tabla 6.2 Distribución de las prácticas del caso de estudio	128
Tabla 6.3 Características del método de protocolo modificado.....	134
Tabla 6.4 Factores experimentales	136
Tabla 6.5 Asignación de software y distribución de sesiones para cada participante	139
Tabla 7.1 Código de acciones genéricas.....	157
Tabla 7.2 Identificación de los módulos de cada programa	157
Tabla 7.3 Códigos de los orígenes de ideas	163
Tabla 7.4 Principios físicos y de trabajo desarrollados durante la fase experimental	169
Tabla 7.5 Flexibilidad total calculada para cada participante de la sesión experimental	172
Tabla 7.6 Valores máximos obtenidos para cada índice de calidad creativa	175
Tabla 8.1 Tiempos globales para Axon Idea Processor©	183
Tabla 8.2 Distribución media de tiempos por actividad	184
Tabla 8.3 Tiempo por módulo. Axon Idea Processor©.....	185
Tabla 8.4 Cantidad total de ideas para Axon Idea Processor©.....	186
Tabla 8.5 Flujo de Ideas, caso Axon Idea Processor©.....	186
Tabla 8.6 Origen de ideas, para las sesiones de Axon Idea Processor©	188
Tabla 8.7 Origen de ideas dentro del programa Axon Idea Processor©.....	189
Tabla 8.8 Índice global de creatividad para el caso de Axon idea processor©	192
Tabla 8.9 Tiempos globales para Brainstorming Toolbox©.....	196
Tabla 8.10 Distribución media de tiempos por actividad, para el caso de Brainstorming Toolbox©	196
Tabla 8.11 Tiempo promedio por módulo. Brainstorming Toolbox©	197

Tabla 8.12	Cantidad total de ideas para Brainstorming toolbox©	198
Tabla 8.13	Flujo de Ideas, caso Brainstorming toolbox©.....	199
Tabla 8.14	Origen de ideas, para las sesiones de Brainstorming toolbox©.....	199
Tabla 8.15	Origen de ideas dentro del programa Brainstorming toolbox©	200
Tabla 8.16	Índice global de creatividad para el caso de	204
Tabla 8.17	Tiempos globales para CREAX innovation suite©.....	207
Tabla 8.18	Distribución media de tiempos por actividad, para CREAX innovation suite©	208
Tabla 8.19	Tiempo promedio por módulo. CREAX innovation suite©	209
Tabla 8.20	Cantidad total de ideas para CREAX innovation suite©	210
Tabla 8.21	Flujo de Ideas, caso CREAX innovation suite©.....	211
Tabla 8.22	Origen de ideas dentro del programa CREAX innovation suite©.....	212
Tabla 8.23	Índice global de creatividad para el caso de CREAX innovation suite©	215
Tabla 8.24	Tiempos globales para ThoughtPath Problem Solver™	218
Tabla 8.25	Distribución media de tiempos por actividad, para el caso de ThoughtPath Problem Solver™	218
Tabla 8.26	Tiempo promedio por módulo. ThoughtPath Problem Solver™.....	220
Tabla 8.27	Cantidad total de ideas para ThoughtPath Problem Solver™	220
Tabla 8.28	Flujo de Ideas, caso ThoughtPath Problem Solver™	221
Tabla 8.29	Origen de ideas, para las sesiones de ThoughtPath Problem Solver™.	221
Tabla 8.30	Origen de ideas dentro del programa ThoughtPath Problem Solver™	221
Tabla 8.31	Índice global de creatividad para el caso de	225
Tabla 8.32	Tiempos globales sin usar software	227
Tabla 8.33	Distribución media de tiempos por actividad, sin uso de software.....	228
Tabla 8.34	Cantidad total de ideas sin usar software	228
Tabla 8.35	Flujo de Ideas, caso sin software	229
Tabla 8.36	Origen de ideas, para las sesiones de sin software.....	229
Tabla 8.37	Índice global de creatividad para el caso sin software	232
Tabla 9.1	Porcentaje de tiempo empleado en diversas actividades para todos los programas	239
Tabla 9.2	Número total de ideas generadas en cada repetición para cada programa ..	240
Tabla 9.3	Análisis de varianza para el número total de ideas.....	242
Tabla 9.4	Flujo de ideas (ideas/min)	242
Tabla 9.5	Análisis de varianza para el flujo de ideas	243
Tabla 9.6	Número y porcentaje de ideas generadas por módulo de todos los programas	247

Tabla 9.7 Índice de flexibilidad para cada repetición y cada tratamiento	250
Tabla 9.8 Análisis de varianza para el índice de flexibilidad	250
Tabla 9.9 Índice de fluidez por participante para cada tratamiento	252
Tabla 9.10 Análisis de varianza para el índice de fluidez.....	253
Tabla 9.11 Índice de elaboración de cada participante para cada tratamiento	255
Tabla 9.12 Análisis de varianza para el índice de elaboración, con valor atípico eliminado	256
Tabla 9.13 Originalidad de cada participante para cada tratamiento	258
Tabla 9.14 Análisis de varianza para el índice de originalidad.....	259
Tabla 9.15 Índice global de creatividad	260
Tabla 9.16 Análisis de varianza para el índice global de creatividad	260
Tabla 9.17 Índice de creatividad absoluta	261
Tabla 10.1 Ejemplos de sustancias.....	294
Tabla 10.2 Modelo de valoración de calidad de software de McCall.....	303
Tabla 10.3 Grado de dificultad de aprendizaje del software evaluado	307
Tabla 10.4 Información preliminar solicitada por cada programa.....	308