

Aplicación de las Tecnologías CAD/CAE en el Ámbito de la Ingeniería Concurrente: Caso de un Equipo Médico

Orly Jácome Velásquez
Maximiliano Giunta

I. INTRODUCCIÓN

En el pasado, el Desarrollo de Productos lo constituían largos y trabajosos procesos ejecutados en etapas secuenciales: extensos planos, maquetas y prototipos, ensayos y pruebas de ingeniería, eran varias de las tantas actividades en las que se incurrían. Sin embargo, la necesidad de mejorar los procesos de diseño generó un nuevo enfoque el cual profesa la integración de los recursos (humanos y técnicos), el continuo y sostenido intercambio de información, la concurrencia de actividades, así como el diseño orientado a responder a las expectativas de los clientes; dicho enfoque se denomina Ingeniería Concurrente (IC).

Los avances en las bases de datos y la tecnología de red, trabajo en grupo, multimedia, interfaces gráficas y una caída estrepitosa en los costos de la computación, apuntan hacia la posibilidad de crear un verdadero ambiente de cooperación que trasciende las barreras de la distancia, tiempo, y heterogeneidad de los equipos de computación, lo que ha permitido que la IC ocupe un espacio en el desarrollo moderno de productos.

Las tecnologías de Diseño e Ingeniería Asistidos por Computadora (CAD/CAE) son en la actualidad herramientas habituales en el desarrollo de productos por sus ventajas en automatización e integración de sistemas, flexibilidad en cuanto a actualizaciones y especificaciones, y por el potencial para disminuir los tiempos de desarrollo. Es así como en el presente trabajo se aplicarán las herramientas CAD/CAE en un modelo conceptual bajo el enfoque de IC, con el objetivo de establecer comparaciones contra el enfoque tradicio-

nal de desarrollo de productos conocido como Ingeniería Secuencial (IS).

I.1. Propuesta Conceptual

Para evaluar las tecnologías CAD/CAE se utilizará el diseño conceptual de una silla para discapacitados, desarrollado por una persona que ha ideado un modelo innovador en su búsqueda de una mejor calidad de vida (Figura 1). Este modelo no ha sido sometido a prueba alguna o análisis de ingeniería, las piezas no están estandarizadas o especificadas y no existe metodología documentada, por lo que puede decirse que el prototipo está fabricado de manera artesanal, empleando máquinas y herramientas de propósito general.

El diseño conceptual o prototipo difiere de las sillas de ruedas tradicionales por las siguientes características (v. Figura 1):

- Diseñada con el propósito de que sea portátil, el modelo se pliega sobre sí mismo a lo largo de los dos ejes mostrados: X e Y (las sillas tradicionales pliegan solo a lo largo del eje X).
- La silla se desplazaría por un mecanismo de oruga controlado por un motor eléctrico, evitándole al usuario la tracción manual para su movilización.
- Está estructurada por múltiples piezas articuladas entre sí, para permitir el plegado de la mis-

ma y a fin de poder reemplazar fácilmente las piezas en caso de falla o desgaste.

- Está manufacturada con materiales sencillos y fáciles de conseguir en el mercado, como láminas y tubos de aluminio de diferentes tamaños, madera, plástico, así como tornillos y arandelas de diversos diámetros.

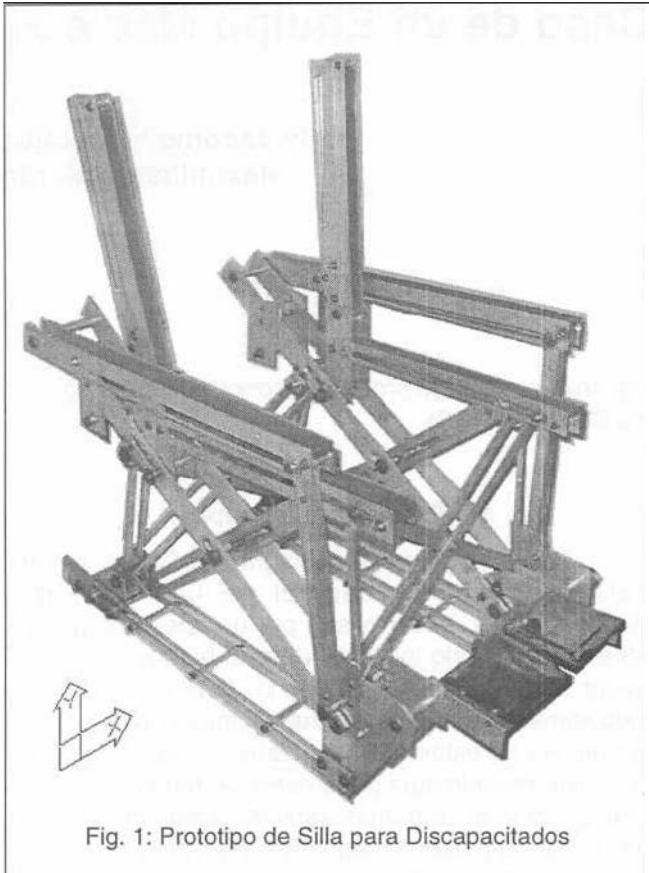


Fig. 1: Prototipo de Silla para Discapitados

I.2. Objetivos

El objetivo fundamental del presente trabajo es el de aplicar las tecnologías asociadas a las áreas de Diseño e Ingeniería Asistidos por Computadora en el ámbito del enfoque de la Ingeniería Concurrente para el Desarrollo de Productos. Para lograrlo se han definido los siguientes objetivos específicos:

- Describir las características y potencialidades del Software.
- Identificar los requerimientos de Hardware para soportar el software necesario.
- Identificar las capacidades del Recurso Humano requerido para la operación de esta tecnología.
- Desarrollo Paramétrico del Modelo.

- Desarrollo del Análisis Cinemático del Modelo,
- Desarrollo del Análisis de Elemento Finito del Modelo.
- Desarrollo del Texturizado y Foto-Realismo del Modelo.
- Desarrollo de la Animación del Modelo.
- Establecer comparaciones entre el desarrollo de productos mediante el enfoque de la Ingeniería Concurrente y el enfoque Secuencial tradicional.
- Establecer y comparar índices de desempeño entre el Diseño Concurrente y el Diseño Secuencial.
- Identificar los componentes de costo a lo largo del ciclo de vida de aplicación de esta tecnología.

I.3. Limitaciones del Estudio

El presente trabajo se realizó basándose en las siguientes premisas:

- El enfoque de IC incluye la interacción concurrente de todos los ámbitos de la empresa, incluyendo las áreas de finanzas, mercadeo, administración, etc. En el presente trabajo no se considerarán dichas áreas, enfocándose específicamente a la interacción concurrente de las diversas etapas de la ingeniería envueltas en el desarrollo de productos.
- El desarrollo del modelo se realizará a partir de una propuesta conceptual ya disponible, no considerándose la posible optimización como diseño mecánico de la misma.
- El software a utilizar está predeterminado a las posibilidades del proveedor del mismo, que las entregará a manera de préstamo. Por lo tanto, la aplicación de las tecnologías CAD/CAE utilizadas en el desarrollo de productos se limitará a las herramientas: Mechanical Desktop (MD), Working Model Motion (WMM), Working Model FEA (WMFEA) y 3Dstudio (3DS).
- El Hardware estará limitado a los recursos de la UCAB.

II. CARACTERÍSTICAS DEL SOFTWARE Y HARDWARE

Las Características y Potencialidades de cada uno de los programas asociados al diseño de productos son los siguientes:

II.1. Modelado Paramétrico de Sólidos (MD)

El Modelado de Sólidos juega un papel fundamental dentro de las herramientas utilizadas en el desarrollo moderno de productos. La creación de modelos sólidos beneficia el diseño en su totalidad al permitirle a todos los miembros involucrados, visualizar y manipular piezas complejas en tres dimensiones mientras todavía es un diseño en computadora.

Modelado Paramétrico significa que las variables dimensionales del objeto (como ancho, largo, diámetro, etc.) están relacionadas unas con otras, de forma tal que cuando una de ellas es modificada la razón de su relación es automáticamente actualizada. El diseño paramétrico es una forma de administración de restricciones que define la relación entre dimensiones, entidades geométricas, y otras variables, en un esfuerzo por simplificar la construcción y edición de modelos.

II.2. Análisis Cinemático (WMM)

El Análisis Cinemático —llamado también prototipado virtual— es la tecnología que le da "vida" a los diseños, colocando en movimiento las partes y ensamblajes de forma tal que los ingenieros y diseñadores puedan observar como se comportará el modelo una vez construido.

Después de desarrollar un modelo sólido, deben realizarse análisis de ingeniería que incluya: interferencia entre objetos, colisiones, análisis inerciales, movimientos, etc. de manera que el equipo de trabajo verifique la viabilidad y características operativas del diseño, y establezca las especificaciones del producto necesarias para su manufactura.

II.3. Análisis de Elementos Finitos (WMFEA)

El Análisis de Elementos Finitos es una técnica de análisis en Ingeniería utilizada para simular el comportamiento de estructuras complejas, con la finalidad de evaluar su confiabilidad y desempeño bajo ciertas condiciones mecánicas específicas.

La premisa básica del Análisis de Elementos Finitos es la división de un problema complejo en subconjuntos más pequeños y manejables, a los cuales se les puede encontrar solución, para luego asumir que el comportamiento de la complejidad del todo puede ser aproximado a la suma del comportamiento de sus partes, ensamblando los resultados individuales de los elementos separados en una solución única para el problema.

Los programas de Elemento Finito constan de diversos módulos de análisis, dentro de los que se pue-

den mencionar: Esfuerzo, Vibración, Pandeo y Transferencia de Calor.

II.4. Foto-Realismo y Animación (3DS)

Los programas de foto-realismo y animación permiten mostrar como serán las características visuales (formas, colores, interacción con su entorno, etc.) de un producto, mientras todavía es un modelo de computadora. Poseen módulos con capacidades completas de animación para la creación y control de objetos, materiales, luces, y cámaras.

II.5. Características del Hardware

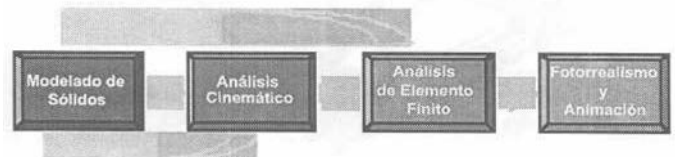
Las características del equipo de Computación utilizado en el aprendizaje y aplicación de las herramientas CAD/CAE para la realización del presente trabajo son las siguientes:

- Procesador Pentium 200 MMX con Bus de 66 MHz.
- 128 Megabytes de Memoria (SDRAM).
- Disco Duro 2.5 GigaBytes (EIDE).
- Memoria de Video de 2 Mbytes (VRAM).
- CD ROM Drive 32X.
- 1.44MB Diskette Drive (standart).
- Tarjeta de Sonido.
- Tarjeta de Red Ethernet 101100.

III. DESARROLLO SECUENCIAL DEL MODELO

A fin de establecer diferencias en la planificación, interacción entre etapas, y tiempos de Desarrollo entre Ingeniería Concurrente y Secuencial, se desarrollará el modelo de silla para discapacitados según los principios fundamentales de ambas filosofías de diseño.

Dado que la Ingeniería Secuencial está basada en la premisa de que una nueva fase no puede comenzar antes de que la fase anterior sea completada y aprobada, el desarrollo del modelo se planificó según el Esquema 1.



Esquema 1: Desarrollo Secuencial del Modelo

Cada etapa representa la evolución del modelo en cada uno de los programas descritos con anterioridad, éstas pueden ser interpretadas como personas, equipos de trabajo o departamentos de una organización. Las flechas rectas y curvas indican el avance en la aplicación de los programas y las iteraciones de los ciclos de diseño, respectivamente.

Cada una de las etapas envueltas en el Desarrollo Secuencia) de la propuesta conceptual (silla para discapacitados) son descritas a continuación.

III.1. Modelado de Sólidos

Para convertir el diseño conceptual de la silla en un modelo paramétrico sólido en Mechanical Desktop, es necesario hacer un breve análisis de las características geométricas de las piezas que lo componen y de las relaciones que éstas mantendrán con las demás piezas en el ensamble final, a fin de planificar su creación en el orden más eficiente posible.

En primer lugar se enumeraron las piezas para controlar adecuadamente la información a lo largo de todo el desarrollo. Aprovechando la similitud entre las partes se creó una pieza paramétrica, y al variar los valores de sus parámetros (ancho, largo y espesor) se obtuvieron las diversas piezas del modelo (Figura 2).

Los diferentes pernos, tornillos y arandelas del prototipo se sustituyeron por pasadores paramétricos, que igualmente cumplen la función de unión entre las

piezas y contribuyen a simplificar el modelo para los análisis posteriores.

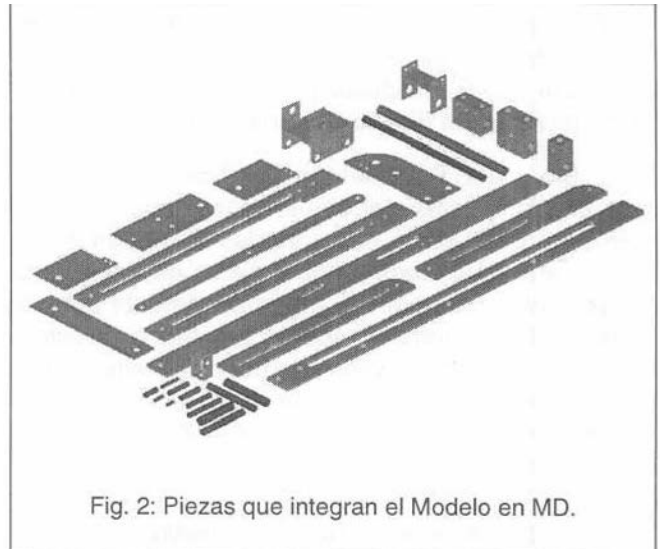


Fig. 2: Piezas que integran el Modelo en MD.

Completadas las piezas se procede a ensamblar el modelo, pero debido a la gran cantidad de partes resulta complejo realizar un solo ensamble, por ello se agrupan en subensambles o ensambles internos (Figura 3-a), y aprovechando la simetría del prototipo se duplican para a su vez combinarlos en un solo ensamble final denominado Ensamble Maestro (Figura 3-b).

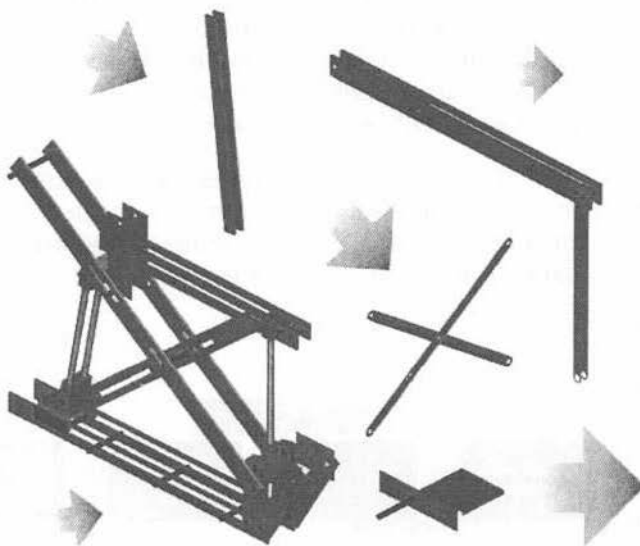


Fig. 3-a: Ensamblados Internos

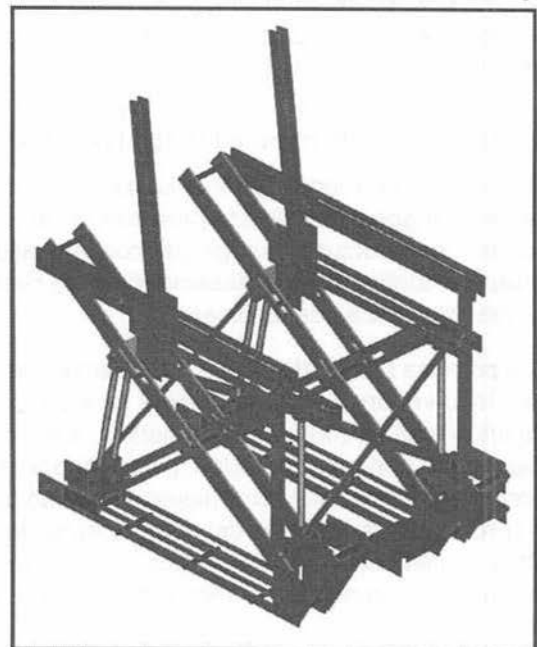


Fig. 3-b: Ensamble Maestro

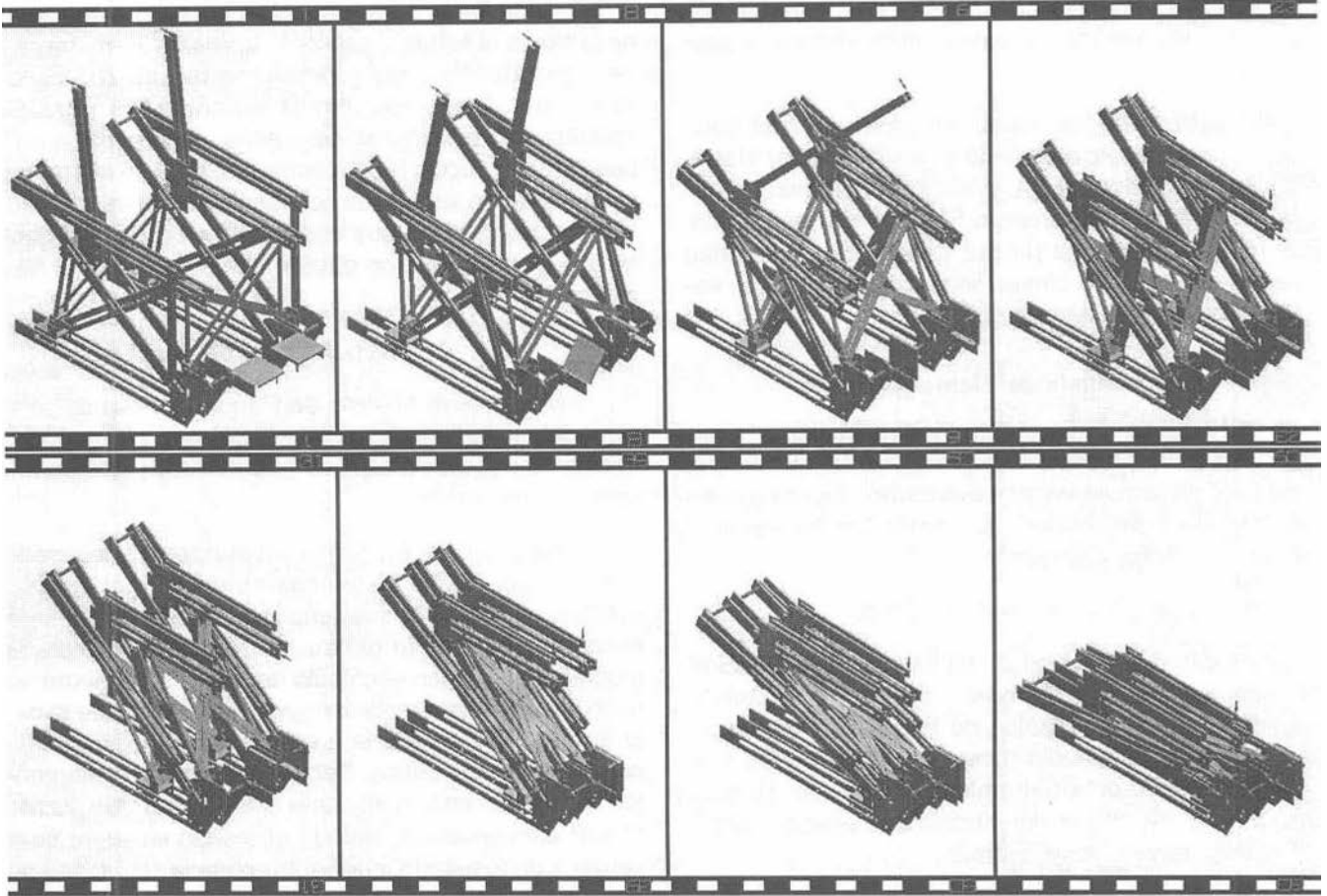


Fig. 4: El modelo «cobra» vida a través de la Simulación Dinámica de Working Model Motion

II.2. Análisis Cinemático

El Ensamble Maestro es importado de Mechanical Desktop a Working Model Motion. La aplicación de WMM persigue dos objetivos fundamentales: el Análisis Cinemático y el Análisis Estático. A través de la Simulación Cinemática se visualiza el plegado de la silla, mientras que con el Análisis Estático se determinan las fuerzas desarrolladas en las uniones de las piezas sujetas a la acción de un sistema de carga que simula los efectos del peso de una persona sentada.

Para el Análisis Cinemático se definen las propiedades físicas y las restricciones que restringen los grados de libertad entre las piezas; luego se realiza la Simulación Cinemática o cálculo de movimientos, en función de parámetros preestablecidos (gravedad, cargas externas aplicadas, límites espaciales, límites de movimiento, etc).

El sistema de carga aplicado al modelo para la simulación del plegado, corresponde a la fuerza promedio generada por una persona en posición sentada

para una flexión máxima del codo de 180°, del percentil 5% de población adulta.

A partir de la simulación se aprecia que el modelo no pliega, observándose que al modificar la longitud de las ranuras de ciertas piezas se lograría el plegado, razón por la cual fueron modificadas en MD. Posteriormente, se actualizaron los cambios en WMM y de nuevo se realizaron los cálculos de movimiento, obteniéndose la simulación del plegado tal como se observa en la Figura 4.

Finalmente, puede apreciarse que los cambios adoptados en el modelo ocurren gracias a la transferencia de información entre los programas MD-WMM, lo que representa el primer ciclo de diseño del desarrollo secuencia) (v. Esquema 1).

Para el Análisis Estático, y dado que el modelo desarrollado es un equipo para uso de la población en general, se emplea el peso estándar de hombres pertenecientes al percentil 95%, específicamente se aplica una carga equivalente de 98 Kgf; dichas cargas se

distribuyen en las áreas del modelo donde la persona ejerce apoyo: asiento, respaldar, apoya brazos y apoya pies.

El cálculo de las fuerzas o reacciones en las uniones sobre el modelo articulado es justificado por el software Working Model FEA, pues éste determina a través del Análisis de Elemento Finito si las características mecánicas de las piezas (geometría y material) pueden soportar las condiciones de trabajo (p.ej. esfuerzos) a las que estarán sometidas.

II.3. Análisis de Elemento Finito

El Análisis de Elemento Finito constituye la tercera etapa del proceso secuencial del desarrollo del modelo. Con este análisis se evaluarán algunas piezas del modelo según condiciones mecánicas específicas: esfuerzo, pandeo y vibración.

III.3.a. Análisis de Esfuerzo

Escapa de los límites del estudio la evaluación de todas las piezas del modelo, pues no se pretende mejorar el diseño mecánico de la silla, sin embargo, son objetivos del estudio mostrar la aplicabilidad y la potencialidad de ésta herramienta. Por tanto, se evaluarán cinco (5) piezas del modelo que poseen características geométricas diferentes.

Del análisis estático de WMM se obtienen las fuerzas aplicadas a cada una de las piezas cuando el modelo se sujeta a la acción del sistema de carga estática, necesarias para el análisis de esfuerzo de las piezas seleccionadas.

Con esta información y según la geometría de las piezas, el programa genera la malla y establece ecuaciones de forma matricial para las cargas aplicadas y para la geometría de cada elemento. De los cálculos (si converge el método numérico) se obtiene la matriz de desplazamiento o desempeño individual de cada elemento de la malla, representado visualmente sobre la pieza por medio de un "mapeado" de colores, mostrando la distribución de los esfuerzos según las condiciones dadas.

Los resultados son evaluados por el programa en función del margen de error, la calidad de la malla y el factor de seguridad, y de no aprobar el diagnóstico, se muestran una serie de recomendaciones o sugerencias a seguir: chequear las cargas aplicadas, verificar las restricciones, modificar la geometría de la pieza (lo que implica el cálculo de una nueva malla), probar otro material, o combinar estas alternativas para adecuar el diseño de forma que soporte las condiciones de trabajo a la que es sometido.

En la Tabla 1 se presentan las piezas seleccionadas para el estudio, así como las cargas y restricciones aplicadas, la malla generada, el resultado del análisis y por último los cambios adoptados para su optimización al variar la geometría, el material o ambas características. Particularmente, para no alterar las conexiones de las piezas con las demás en el modelo, sólo se modificaron sus espesores en cuanto a geometría, y se ensayaron otros materiales, como el Aluminio 6061-T6.

III.3.b. Análisis de Pandeo

Mediante el Análisis de Pandeo se busca, para el modelo estudiado, establecer cual será el comportamiento de aquellas piezas de geometría esbelta sometidas a compresión.

Para realizar el análisis de pandeo es necesario aplicar a las piezas las cargas obtenidas del análisis estático en WMM, y sus respectivas restricciones de ensamble. Luego, se genera la malla y se somete el modelo matemático al cálculo de análisis de elemento finito, con el objeto de determinar los factores de escala que multiplicados a la fuerza aplicada producen la carga de pandeo crítica. Debido al número de elementos generados en la malla para el análisis de las piezas (7.612 elementos) el método numérico no logra converger a un resultado, pues sobrepasa la capacidad de almacenamiento del disco duro.

III.3.c. Análisis de Vibración

El objetivo del Análisis de Vibración es determinar cuales son las frecuencias naturales a la cual el modelo vibrará y si éstas se acercarán a su frecuencia de operación, aumentando significativamente las cargas dinámicas en el modelo, e incrementando su probabilidad de falla.

El análisis de vibración no requiere de cargas aplicadas sobre el modelo, pues los resultados se basan en la geometría y en las restricciones de ensamble de la estructura analizada.

Para lograr la frecuencia natural del modelo se establece que el análisis de vibración debe realizarse sobre el ensamble Maestro, y no en piezas individuales como en el análisis estático lineal. Al someter el ensamble al análisis de elemento finito no se converge a una solución, pues el tamaño de las matrices generadas por el número de elementos de la malla (más de 32.000 elementos), sobrepasaba la capacidad disponible de disco duro.

Pieza	Cargas	Restricciones	Malla	Resultados	N° Ciclos/Variaciones					
					A	L	E	M	C	O
					3.0	6.0	3.0	Al	✓	✗
					8.2	10.0	7.1	Al	✗	✗
					8.2	10.0	7.1	Alre	✓	✗
					5.0	90.0	0.7	Al	✗	✗
					5.0	90.0	2.0	Al	✗	✗
					5.0	90.0	0.7	Alre	✗	✗
					5.0	90.0	2.0	Alre	✓	✓
					5.0	90.0	1.97	Alre	✓	-
					2.5	54.0	0.3	Al	✗	✗
					2.5	54.0	1.0	Al	✗	✗
					2.5	54.0	0.3	Alre	✗	✗
					2.5	54.0	1.0	Alre	✓	✓
					2.5	54.0	0.42	Alre	✓	-
					1.0	1.6	-	Al	✗	✗
					1.0	1.6	-	Al	✓	✗

Legenda: (A: ancho(cm); L: largo(cm); E: espesor(cm); M: material; C: converge; O: optimizar; Al: aluminio; Alre: Aluminio 6061T6; ✗ no; ✓ si)

Tabla 1: Análisis Estático Lineal (Esfuerzo) para Piezas Seleccionadas del Modelo

Finalmente, el análisis de vibración del modelo tampoco logra concluir, ya que la capacidad del recurso disponible no soporta la complejidad de los cálculos realizados.

Con los resultados de los cálculos de esfuerzos por elemento finito (no se incluyen los análisis de pandeo y vibración, pues no se obtuvo resultado alguno) se optimizan las piezas -modificando su geometría y/o material- y se adaptan automáticamente en el ensamble maestro de MD, y de nuevo se realiza la simulación cinemática para comprobar que el plegado sea correcto. Ésta interacción entre WMFEA, WMM y MD, es el segundo ciclo de desarrollo del proceso secuencial, para luego dar paso a la cuarta etapa del proceso utilizando el programa 3Dstudio.

III.4. Foto-Realismo y Animación

Para el desarrollo Foto-Realístico del modelo se exporta la geometría desde MD y una vez en 3DStudio se crean los factores necesarios para definir la escena en la que se visualiza el modelo:

- Crear y colocar luces y cámaras, acordes con el modelo.
- Desestimar las caras cuyas normales no sean visibles.
- Definir materiales: color, textura y brillo.

- Importar objetos, que sirvan de entorno o fondo al modelo.
- Controlar la resolución y la precisión de la presentación.

Dado que el foto-realismo es un proceso artístico, es necesario realizar numerosos ensayos (render) hasta lograr un consenso entre los materiales, luces, perspectivas y movimientos aplicados. Alcanzado esto, se realiza el cálculo foto-realístico de las imágenes o animaciones del modelo. La Figura 5 muestra el resultado de la visión foto-realística del modelo de silla para discapacitados.

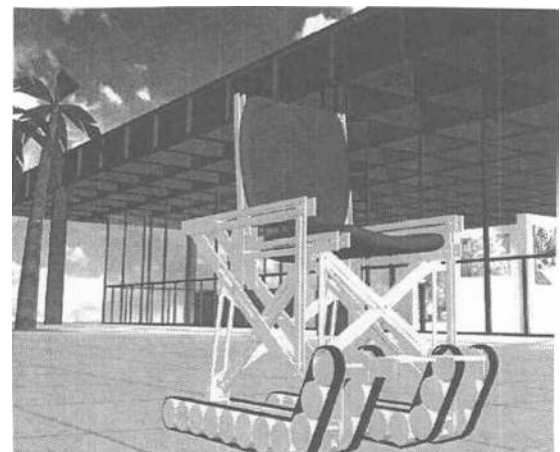
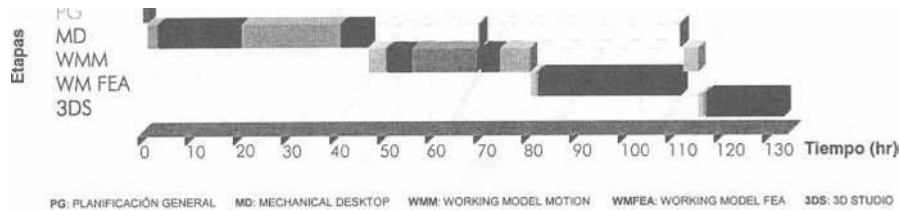


Fig. 5: Imagen Foto-Realista del Modelo de Silla para Discapacitado

III.5. Tiempo de Desarrollo Secuencial del Modelo.

Para establecer los tiempos de ejecución de las actividades pertenecientes a cada una de las etapas descritas, se midieron los tiempos de duración de las tareas en que se dividen estas actividades.

A fin de lograr una mayor comprensión de la secuencialidad de las etapas, se presenta el Diagrama de Tiempo de Desarrollo Secuencial del Modelo en función de los tiempos de ejecución de cada una de las actividades, según el orden cronológico en que fueron realizadas (Esquema 2).

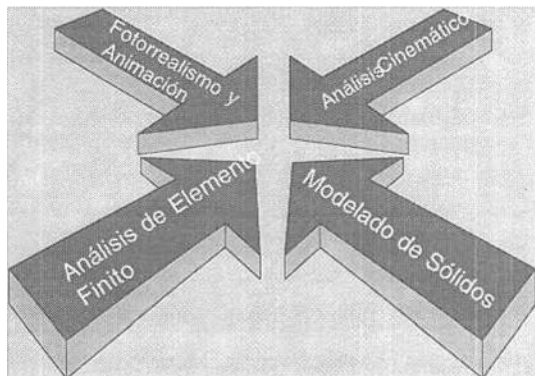


Esquema 2: Diagrama de Tiempo de Desarrollo Secuencial del Modelo

IV. DESARROLLO CONCURRENTES DEL MODELO

La creación concurrente del modelo, presta especial atención a uno de los axiomas que rigen a dicha filosofía: "No esperar que la base de datos esté completa para obtener la data y/o información necesaria para hacer y soportar las decisiones". Lo que implica un intercambio constante de la información disponible, y así poder adoptar continuamente las mejoras necesarias para el desarrollo óptimo del modelo. Evidentemente, la interconexión o vinculación de las herramientas es fundamental para lograr este propósito, además de una eficiente distribución de la información y de las actividades que deben llevarse a cabo en cada etapa.

Dicho enfoque pretende la concurrencia de las etapas, como se muestra en el Esquema 3, y éstas pueden ser interpretadas como personas, equipos de trabajo o departamentos de una organización.



Esquema 3: Desarrollo Concurrente del Modelo

Para emprender el Desarrollo Concurrente del modelo es necesario una exhaustiva planificación de las actividades, es decir, considerar el orden en que se aplicarán las herramientas para que las etapas se solapen en el tiempo, organizarla información disponible o generada y establecer estrategias de trabajo para reducir la longitud del desarrollo.

IV.1. Prototipo - Modelado de Sólidos

Para que el Desarrollo Concurrente sea consistente con el Desarrollo Secuencia) las piezas conser-

van la misma identificación, facilitando la comparación de las actividades para ambos desarrollos.

La creación básica de las piezas que integran el modelo es el primer paso a seguir con la herramienta de Modelado de Sólidos de MD. A partir de una pieza paramétrica se derivan el resto de las piezas, aplicando sólo sus características geométricas (ancho y largo) y los puntos de conexión entre ellas, es decir, obviando provisionalmente sus características particulares, tales como filetes, ranuras y cortes. En la Figura 6 se muestra una pieza del modelo, creada con sus características más básicas.

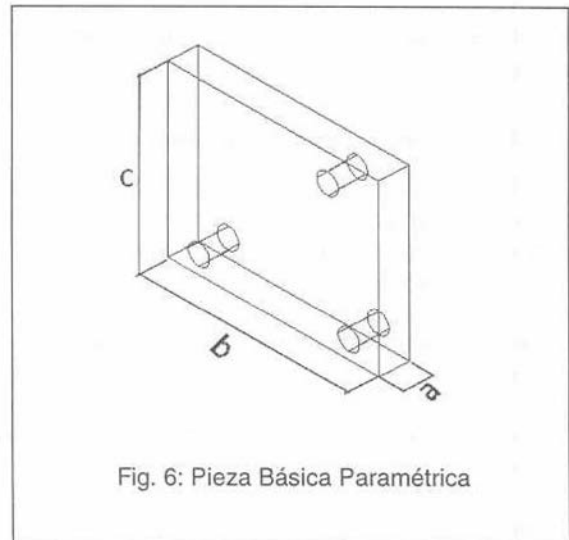


Fig. 6: Pieza Básica Paramétrica

Luego, se ensamblan las piezas parciales siguiendo el mismo procedimiento descrito en el proceso secuencial, un ensamble Maestro a partir de ensambles internos o subensambles, con la salvedad de que este primer ensamble -denominado Ensamble Preliminar- no es el ensamble definitivo del modelo (v. Figura 7).

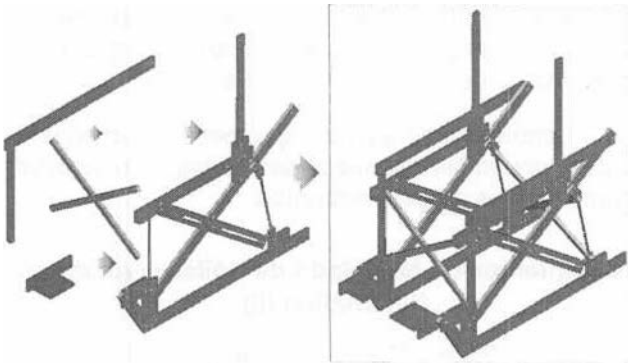


Fig. 7: Ensamblados Internos y Ensamble Preliminar

Simultáneamente a la realización de las siguientes etapas (interacciones), las características particulares de cada pieza hasta el momento omitidas en MD son incorporadas a las piezas básicas, y éstas se actualizan en el ensamble. De manera que el modelo es actualizado constantemente, mientras se desempeñan las actividades de otras etapas (v. Figura 8).

IV.2. Interacción Modelado de Sólidos—Análisis Estático (I)

El propósito de realizar un ensamble preliminar -lo cual no debe confundirse con un desarrollo impreciso- es el de exportar el modelo inmediatamente a WMM para el Análisis Estático, a fin de obtener las cargas imprescindibles para el Análisis de Elementos Finitos en WMFEA.

Para el análisis estático del ensamble preliminar, se aplica y distribuye el mismo sistema de carga utilizado en el proceso secuencial, por las razones explicadas en ese aparte. Es obvio que los resultados (reacciones generadas en las uniones de las piezas) no son definitivos, pues el ensamble se modifica a medida que se completan las piezas en MD; sin embargo, son lo suficientemente aproximados para continuar con el desarrollo del modelo, tal como lo estipula el axioma que rige a dicha filosofía.

IV.3. Interacción Análisis Estático—Análisis de Elemento Finito (I).

Las piezas previamente completadas en MD y sus respectivas reacciones, se analizan mecánicamente en WMFEA siguiendo el procedimiento descrito en el Desarrollo Secuencial y aplicando el mismo sistema de cargas. En este análisis no se optimizan las piezas puesto que las cargas asignadas son aproximadas, sin embargo se dilucidan detalles que son necesarios adelantarse para el Desarrollo Concurrente, como: colocar las restricciones de movimiento, definir el factor de seguridad y el margen de error permisible, designar el material a ensayar, así como estimar las posibles modificaciones de las piezas para su optimización.

IV.4. Interacción Modelado de Sólidos—Análisis Cinemático (I).

Paralelamente al Análisis de Elemento Finito, el ensamble preliminar es exportado a WMM para el Análisis Cinemático. Con la simulación se verifica el plegado, pues el modelo preliminar es ensamblado respetando la distancia de unión entre las piezas, y se le aplica las cargas empleado el mismo criterio utilizado en el desarrollo secuencial.

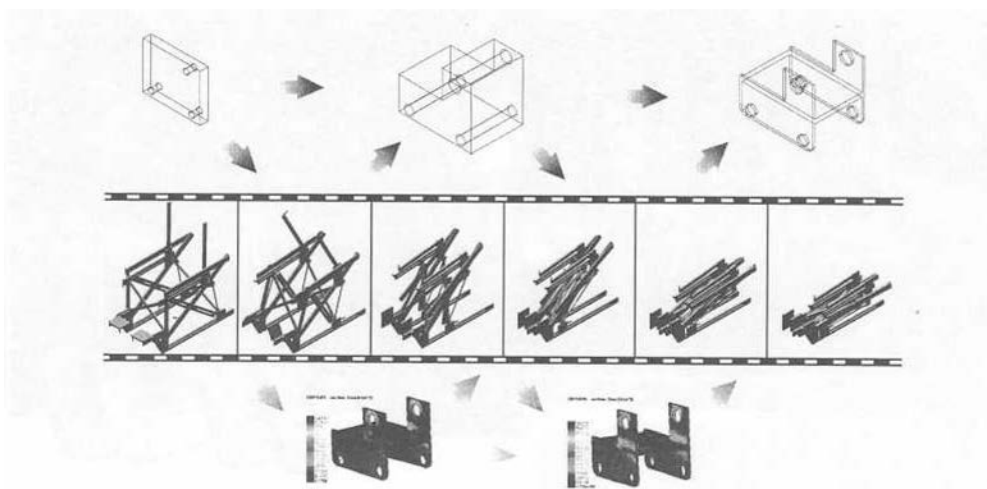


Fig. 8: Interacción entre Etapas para el Desarrollo Concurrente del Modelo

IV.5. Interacción Modelado de Sólidos—Foto-Realismo (I).

Al mismo tiempo que el modelo preliminar se exporta de MD a WMM, se hace lo mismo a 3DS para el foto-realismo (parcial).

Aunque el modelo preliminar se utiliza para realizar cálculos aproximados, no es adecuado para el foto-realismo debido a lo inconcluso de la geometría, sin embargo, se pueden preparar varios factores que han de tenerse en cuenta cuando se vaya a modelar: crear luces y cámaras, definir materiales, e importar una escena que sirva de fondo al modelo. En la Figura 9-a se muestra el foto-realismo preliminar del modelo con todos los factores que permanecerán en la escena final, una vez completadas todas las piezas.

IV.6. Interacción Modelado de Sólidos—Análisis Estático (II).

Si bien al modelo preliminar se le han practicado todos los análisis, todavía el desarrollo no ha concluido, pues el enfoque concurrente busca el continuo mejoramiento de las actividades para obtener un modelo con igual o mayor precisión y calidad que el modelo secuencial. Por tanto, todas las piezas completadas y modificadas en MD se exportan nuevamente a WMM para un análisis estático definitivo, del cual se obtienen las reacciones definitivas para el análisis mecánico de las piezas en WMFEA.

IV.7. Interacción Análisis Estático—Análisis de Elemento Finito (II).

En esta interacción se adoptaron las cargas definitivas y se realizaron los cálculos con las condiciones de análisis establecidas con anterioridad (restricciones, material, etc). Los resultados se evaluaron para optimizar las piezas, y al igual que en el proceso secuencial, se consideraron los diagnósticos presentados por el programa y se modificaron las piezas en función de su geometría y/o material.

También se actualizó la geometría en el ensamble junto con todas las piezas detalladas, para concluir y completar los análisis restantes.

IV.8. Interacción Modelado de Sólidos—Análisis Cinemático (II).

Como reflejo de la sostenida supervisión de las actividades, se exporta el modelo actualizado de MD a WMM para el plegado definitivo, además se verifican las adaptaciones realizadas. Aprobado el análisis Cinemático se presenta el plegado "concurrente" definitivo.

IV.9. Interacción Modelado de Sólidos—Foto-realismo (II).

El modelo "concurrente" definitivo o ensamble maestro se exporta de nuevo a 3DS, a fin de lograr el aspecto definitivo del modelo. Todas las modificaciones hechas en las piezas se adaptan automáticamente sin afectar los factores predeterminados. La Figura 9-b muestra el foto-realismo definitivo, creado en el Desarrollo Concurrente.

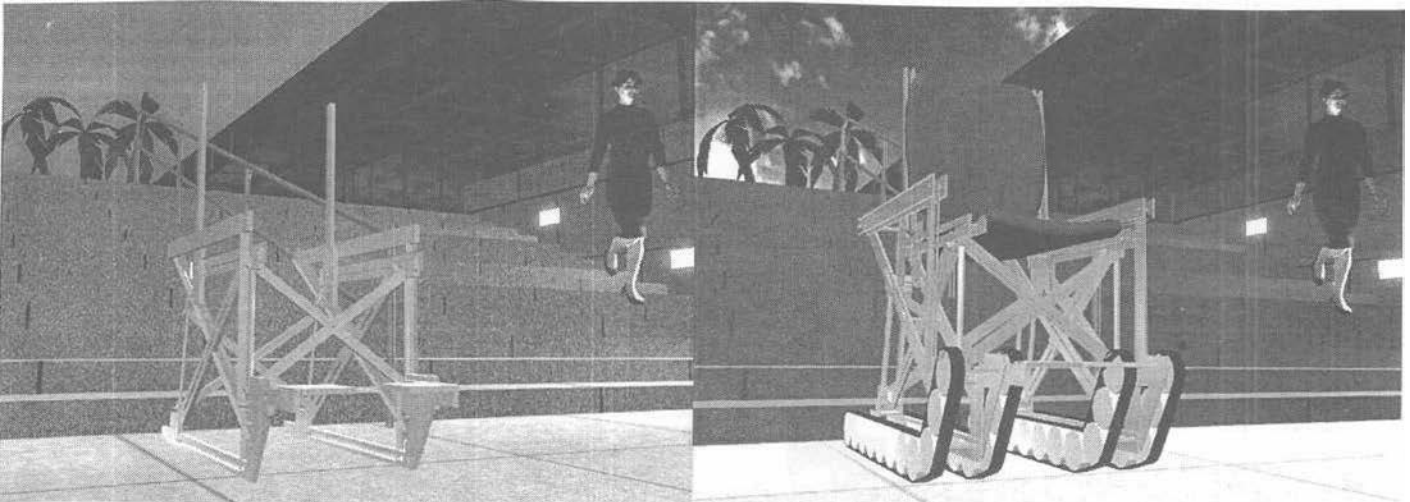
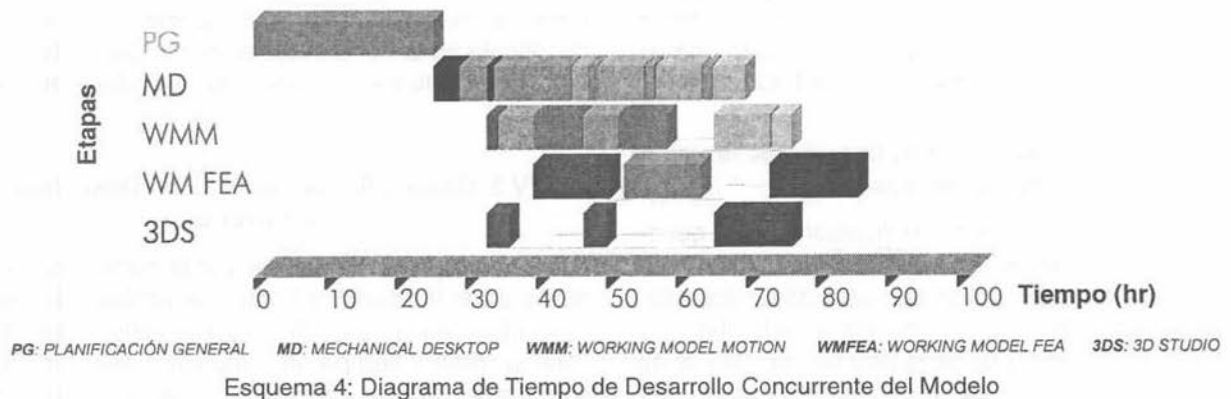


Fig. 9-a: Foto-Realismo Preliminar

Fig. 9-b: Foto-Realismo Definitivo



IV.10. Tiempo de Desarrollo Concurrente del Modelo

Es obvio, que durante la realización del Desarrollo Secuencial se obtuvo un aprendizaje en la aplicación de las herramientas para el caso específico de la silla para discapacitados, aprendizaje que luego se vería reflejado en el desempeño del Desarrollo Concurrente.

Para evitar aventajar un desarrollo respecto al otro, se ajustaron los tiempos medidos en el Desarrollo Concurrente basándose en el aprendizaje adquirido. El aprendizaje se estableció mediante la comparación de los tiempos medidos para actividades similares en ambos desarrollos.

Al igual que en el Desarrollo Secuencia), los tiempos de ejecución de las actividades para el Desarrollo Concurrente se establecieron midiendo los tiempos de sus tareas, pero ajustándolos con el factor de aprendizaje calculado. Con el objetivo de visualizar las interacciones descritas para cada etapa y el solapamiento de las actividades, se presenta el Diagrama en función de los tiempos ajustados para el Desarrollo Concurrente del modelo (v. Esquema 4)

V. INDICES DE DESEMPEÑO

Aún cuando se utilizan las mismas herramientas y los mismos recursos, son notables las diferencias que existen entre el Desarrollo Secuencia) (DS) y el Desarrollo Concurrente (DC) del modelo de silla para discapacitados, Sin embargo, es necesario establecer índices de desempeño que cuantifiquen tales diferencias entre ambos enfoques en la aplicación de las herramientas CAD/CAE.

El indicador que mejor establece la diferencia entre el DS y el DC del modelo es el tiempo, expresado en función de cada herramienta aplicada, de la planificación general de las actividades, y del desarrollo total del modelo. La tabla 2 resume estos valores y los porcentajes o pesos de participación de cada herramienta en los procesos de DS y DC, descritos con anterioridad en este artículo.

Para la tabla mostrada, los tiempos totales de desarrollo de ambas filosofías son sumados de forma lineal, es decir, adicionando la participación de cada una de las etapas sin tomar en cuenta el solapamiento de las actividades en el caso Concurrente, por ello este

Etapa	Secuencial		Concurrente		DS vs. DC Variación
	Totales (Horas)	Peso	Totales (Horas)	Peso	
Planificación General	8,7	7%	25,4	16%	65,8%
Modelada de Sólidos	43,9	34%	43,8	27%	-0,2%
Análisis Cinemática	31,7	24%	35,5	23%	10,7%
Análisis Elemento Finito	29,7	23%	34,6	22%	14,2%
Foto-Realismo	16,1	12%	17,6	11%	8,5%
Total	130	100%	154	100%	17,1%

Tabla 2: Tiempos Medidos por Etapa para el desarrollo Secuencial y Concurrente del Modelo

último es un 17,1% mayor al DS. Esta diferencia entre los tiempos de DS y DC se explican con cada una de las etapas involucradas, descritas a continuación.

V.1. Planificación en la Aplicación de las Herramientas

En el DS ocurren dos planificaciones: una general, que sólo involucra el orden de aplicación de las herramientas sin profundizar en las actividades asociadas a cada etapa, y una particular a cada etapa de desarrollo del modelo, que se realiza con el objetivo de planificar la aplicación óptima de las actividades para cada herramienta de forma individual (MD, WMM, WMFEA, 3DS).

En el DC la planificación es mucho más amplia pues se consideran desde un comienzo todas las actividades, así como la información necesaria para llevarlas a cabo durante todo el proceso. Inicialmente se establece cual es la información mínima que necesita una etapa para comenzar lo más tempranamente posible. Luego se dividen las etapas en actividades que proporcionen esta mínima información. Finalmente se establece la prelación de las actividades y su orden de ejecución en cada etapa para ejecutarlas simultáneamente con las actividades de otras etapas.

Esto causa que el tiempo de planificación para el DC del modelo estudiado sea un 65,8% mayor que en el DS.

V.2. Modelado de Sólidos (Mechanical Desktop)

Los tiempos destinados para el modelado de sólidos en ambos desarrollos son semejantes (variación del 0.2%) a pesar de que la secuencia de las tareas realizadas en cada uno de ellos no haya sido la misma.

V.3. Análisis Cinemático y de Elemento Finito

Los tiempos incurridos en el análisis cinemática y de elemento finito en el DC fueron superiores a los observados en el DS en un 10.7% y 14.2% respectivamente. Esto radica en que los análisis del DS se realizaron en un sólo paso con la geometría completamente definida, mientras que para el DC el número de análisis se incrementó dado que se llegó al mismo resultado paulatinamente, a medida que se refinaba el modelo partiendo de una geometría preliminar.

V.4. Foto-realismo

El foto-realismo del DC también se realizó paulatinamente, comenzando con información geométrica parcial del modelo que se actualizaba a medida que avanzaba el desarrollo. Esto ocasiona un mayor número

de imágenes foto-reales, aumentando el tiempo de cálculo en la computadora, por lo que el tiempo de DC del modelo es un 8,5% mayor al observado en el DS.

V.5. Desarrollo Secuencia) vs. Desarrollo Concurrente

El esquema 5 permite ver la considerable diferencia entre los tiempos totales de ambos desarrollos, basándose en la ruta crítica de sus actividades. El DC tiene un menor tiempo de duración a pesar de que la suma total de sus actividades son mayores (en un 17.1%) a las de sus contrarias, las actividades secuenciales. Al dividir las actividades en el DC se generó un aumento en la cantidad de tareas a realizar; no obstante, al realizarlas en paralelo con tareas de otras etapas se logra un ahorro de tiempo del 34.5% respecto al DS.

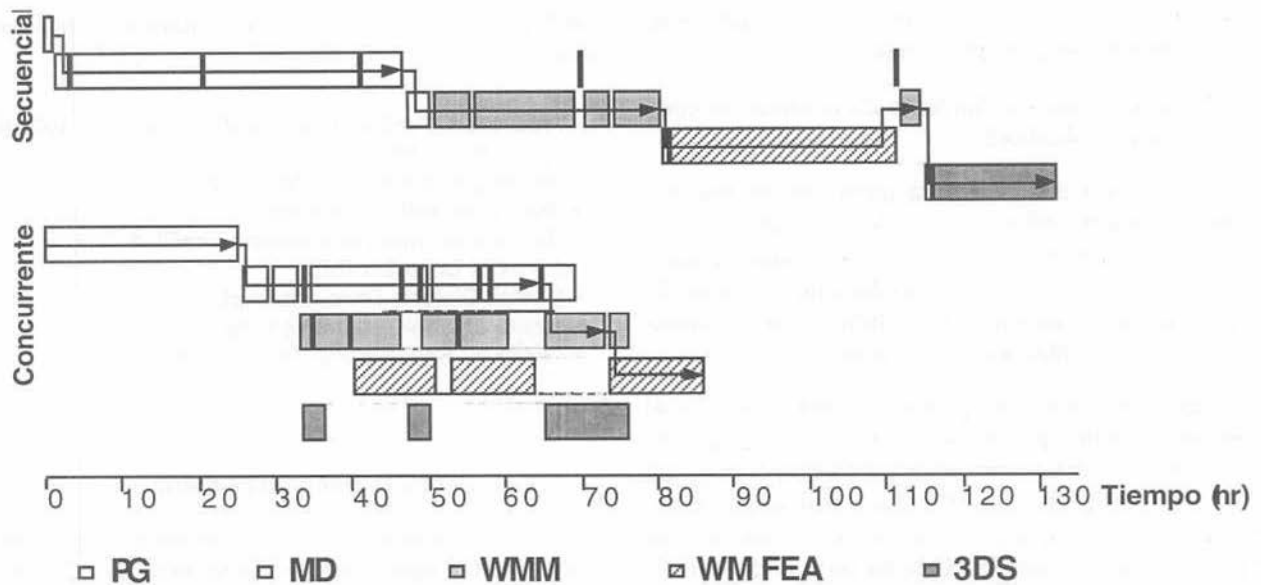
Con el objeto de medir el grado de concurrencia entre las etapas del desarrollo realizado, se define el Porcentaje de Concurrencia como el tiempo de simultaneidad de actividades en etapas distintas entre el tiempo total de desarrollo para todas las herramientas aplicadas. Para el DS el Porcentaje de Concurrencia se aproxima a cero (0,2%), mientras que en el DC el porcentaje de simultaneidad entre actividades es del 68,3%.

VI. COSTO DEL CICLO DE VIDA EN LA APLICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS CAD/CAE

El estudio de las herramientas CAD/CAE no podría estar completo sin una estimación de los costos que acarrea su aplicación. A continuación se determina el perfil de los Costos del Ciclo de Vida (Life Cycle Cost, LCC) de un sistema CAD/CAE, basándose en el estudio de los recursos necesarios para su implantación.

VI.1. Definición del Modelo

Todas las organizaciones tienen sus propias necesidades tecnológicas en función de su tamaño, tipo de producto, mercado objetivo, nivel de competencia, y muchas otras variables tanto internas como externas a sí mismas. La satisfacción de necesidades tecnológicas tan diversas, ocasionará, de la misma forma, una gran variedad de sistemas (Hardware, Software y Recurso Humano) específicamente diseñados para cada caso particular.



Esquema 5: Diagrama de Ruta Crítica para los Desarrollos del Modelo

Con el objeto de considerar esta variabilidad y ampliar lo más posible el estudio de los costos del ciclo de vida de un sistema CAD/CAE, se define como objeto de estudio un sistema con las siguientes características generales:

- Un escenario de Diseño Concurrente de Productos con un requerimiento tecnológico similar al observado en el desarrollo de la silla para discapacitados.
- 15 Estaciones de Trabajo (Workstations) basadas en tecnologías Windows-Intel, y configuradas para el diseño de productos: Modelado de Sólidos, Análisis Cinemática, Análisis de Elemento Finito y Foto-Realismo.
- Un equipo de diseño conformado por 15 integrantes (tamaño promedio de un equipo de diseño concurrente).
- Un servidor de red que permitirá lograr la Concurrency del equipo de diseño.

Esta definición tan amplia permitirá, dependiendo de las necesidades específicas de cada organización, configurar el sistema deseado al modificar, agregar, o eliminar características específicas, como puestos de trabajo, nivel tecnológico, herramientas de diseño, etc.

Para el sistema planteado se han asumido las siguientes condiciones:

- Las estaciones de trabajo se actualizarán anualmente para mantener el nivel tecnológico de diseño establecido, considerándose que a los cuatro años ya no es posible actualizarlas debido a la brecha tecnológica alcanzada.

- Los programas se actualizarán bianualmente, ya que este es el promedio de lanzamiento de nuevas mejoras para herramientas (software) de diseño.

VI.2. Definición de los Recursos del Sistema

Los recursos esenciales sobre los que se basan los sistemas CAD/CAE son los programas (software), los equipos de computación (hardware) y el recurso humano que aplicará estas herramientas (operadores). Los programas CAD/CAE se describieron en apartes anteriores del presente artículo, quedando por definir el equipo y el recurso humano apropiado para la aplicación de estas tecnologías.

VI.2.a. El Hardware

Para determinar la configuración idónea de las estaciones de trabajo requeridas en la aplicación de las herramientas CAD/CAE (bajo un ambiente de diseño con complejidad similar al observado en el desarrollo de la silla para discapacitados), se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Requerimientos mínimos establecidos por cada uno de los programas CAD/CAE.

- Rendimiento del equipo utilizado en el desarrollo de la silla para discapacitados.
- Relación costo-rendimiento de equipos de computación CAD/CAE.

La Tabla 3 describe para cada uno de los programas de diseño utilizados, los requerimientos mínimos de hardware establecidos por la compañía fabricante y el rendimiento observado durante el desarrollo de la silla para discapacitados, en función de las características de la computadora utilizada.

Dado que las principales observaciones en el rendimiento del equipo utilizado son los extensos tiempos de cálculo, la lentitud de algunos comandos, las limitaciones en la capacidad del disco duro e insuficiencias en el monitor, se determina que no cumple con las características mínimas necesarias para el desarrollo de modelos con la complejidad indicada.

Para establecer las características de los componentes del equipo, se parte de un estudio comparativo (benchmarking) de rendimiento entre diversas configuraciones de computadoras para aplicaciones CAD en 3D², y de los precios de referencia de diversos proveedores. Concluyéndose que el equipo adecuado para utilizar las herramientas CAD/CAE bajo el escenario de diseño establecido y con la mejor relación costo/rendimiento es el catalogado como "Configuración 3D

de Rango Intermedio", con las siguientes Características:

- Procesador Pentium III 600 MMX con Bus de 100 MHz y 512 Kb en memoria Cache L2.
- 256 Megabytes de Memoria RAM.
- Disco Duro 9GB Ultra-Wide.
- Memoria de Video de Diamond FireGL-1.
- CD ROM Drive 52x IDE.
- 1.44MB Diskette Drive (standart).
- Tarjeta de Sonido Creative Labs.
- Tarjeta de Red Intel PCI 101100 Express Pro.

VI.2.b. Recurso Humano

Para establecer el perfil del recurso humano requerido en la aplicación de las tecnologías CAD/CAE, es necesario determinar qué competencias técnicas (conocimientos y habilidades) se deben poseer para el máximo aprovechamiento de estas herramientas. En el presente trabajo los conocimientos y habilidades se establecieron gracias al aprendizaje adquirido durante el desarrollo del modelo, basándose en las características de los programas utilizados (v. Esquema 6).

La mayoría de estos conocimientos y habilidades son normalmente adquiridos en las escuelas de Ingeniería, exceptuando a aquellos relacionados con

Tabla 3: Requerimientos Mínimos y Rendimientos del Hardware para los programas CAD/CAE utilizados

Requerimientos Mínimos / Rendimiento	Característica –En la Computadora Utilizada–				
	Procesador -Pentium 200-	Memoria RAM -128 MB-	Disco Duro -3.0 GB-	Memoria de Video -2 MB-	Monitor - 1024x768 15"-
Programa					
Mechanical Desktop	Pentium / I: tiempos de espera innecesarios.	64 MB / S.	52 MB / S.	ND / I: lentitud de los comandos zoom, congelamiento de la pantalla.	ND / I: uso en exceso de comandos zoom. Esfuerzo constante de la vista.
WM Motion	Pentium / I: tiempo de cálculo extenso.	64 MB / I: tiempo de cálculo extenso.	52 MB / S.	ND / I: lentitud de los comandos zoom, congelamiento de la pantalla.	ND / I: uso en exceso de comandos zoom. Esfuerzo constante de la vista.
WMFEA	Pentium / I: tiempo de cálculo extenso.	ND / I: tiempo de cálculo extenso.	ND / I: limitaciones de cálculo por la capacidad del DD.	ND / S.	ND / S: uso en exceso de comandos zoom. Esfuerzo constante de la vista.
3D Studio	486 / I: tiempo de cálculo extenso.	8 MB / S.	ND / S.	ND / S.	ND / I: uso en exceso de comandos zoom. Esfuerzo constante de la vista.

Leyenda: S:Suficiente I:Insuficiente ND:Información No Disponible

propiedades visuales de los objetos, luces, cámaras y animación, que se adquieren a través de estudios de fotografía y filmación. Debido a que el trabajo foto-realístico es realizado no con objetivos profesionales (broadcasting), sino con el objeto de mostrar las características visuales del producto una vez terminado, se determina que el recurso humano apropiado para la aplicación de estas herramientas deberá estar formado fundamentalmente en áreas asociadas a ingeniería.

VI.3. Estructura Ramificada de Costos

El ciclo de vida para el sistema planteado comprende todas las fases, desde la adquisición de los equipos y programas, hasta su venta o retiro de servicio. La estructura ramificada de los elementos de costo para el modelo estudiado se muestra en el Esquema 7.

Para el análisis del sistema no fueron incluidos algunos elementos de costo, pues se considera que se extienden más allá de los objetivos planteados en el presente trabajo, como pueden ser: Infraestructura (mobiliario e instalaciones generales), Equipos de apoyo (impresoras, UPS), Consumibles (papel, cartuchos de impresión) y otros (consumo de energía).



Esquema 7: Estructura Ramificada del Costo del Ciclo de Vida

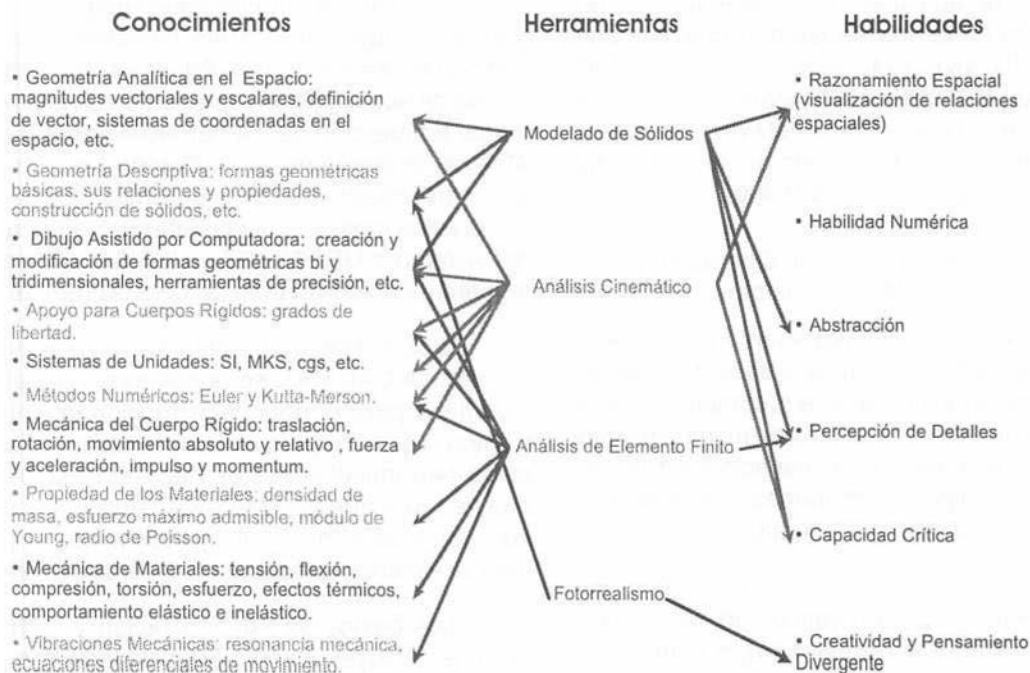
técnicos de los programas utilizados, revistas especializadas y un estudio comparativo del LCC de una red de computadoras Windows-Intel para aplicaciones de oficina. El cálculo se realiza en dólares americanos debido a que el precio de la mayoría de los componentes de costo se manejan en esta moneda.

VI.4. Estimación de los Componentes de Costo

Para determinar los componentes de costo del sistema planteado se utilizarán diversas fuentes: proveedores de servicios y herramientas CAD/CAE, datos

V1.4.a. Costos de Adquisición

Los costos de adquisición son aquellos relativos a la obtención del sistema como producto disponible



Esquema 6: Perfil del Recurso Humano Requerido en la Aplicación de las Tecnologías CAD/CAE

para ser utilizado y apoyado. Los costos de adquisición están compuestos por los siguientes elementos: Adquisición e Instalación de Equipos y Programas, y Entrenamiento Inicial del Recurso Humano.

Los costos de adquisición de equipos están conformados por la compra de quince (15) computadoras PC y un (1) servidor. La garantía estándar para estos equipos es de tres (3) años. La estación de trabajo tiene un costo de mercado de US\$ 2.749 para la configuración establecida (Configuración 3D de Rango Intermedio), por lo que el costo total de adquisición de PC's es de US\$ 41.235. El costo del servidor se ha determinado en US\$ 4.650.

Los costos de adquisición para cada uno de los programas descritos, son los siguientes: Mechanical Desktop US\$ 4.995, WM Motion y WMFEA US\$ 6.000 c/u (US\$ 9.995 al adquirirse simultáneamente), y 3DStudio US\$ 3.495; así, al adquirir 15 licencias de cada uno de estos programas el monto total asciende a US\$277.275.

Los costos de Instalación de Equipos y Programas se establecen en US\$25 para cada PC y US\$ 100 para el servidor. Los programas CAD/CAE no tienen costo de instalación, pues se incluye en el precio de adquisición. El costo de instalación de los sistemas operativos de las computadoras y el servidor, también se incluye en el precio de adquisición de los equipos. Los costos de instalación ascienden a un total de US\$475.

Los costos de adiestramiento del equipo de diseño en sitio para cada una de las herramientas son los siguientes: MD Nivel I (40 horas) US\$ 1850, MD Nivel II (40 horas) US\$ 1850. WM Motion (24 h) US\$ 1925, WMFEA (24 h) US\$ 1925, 3DS Nivel 1 (40 horas) US\$ 1850. Basándose en estos valores, el costo total de entrenamiento alcanza los US\$ 9.400.

VI.4.b. Costos de Operación y Mantenimiento

Los costos de operación representan para el sistema estudiado aquellos asociados al salario del recurso humano, administración de la red (computadoras y servidor), y apoyo técnico. Los costos de mantenimiento del sistema están reflejados en el servicio y actualización periódica de equipos y programas, y el adiestramiento del recurso humano por actualización del software.

Los costos del recurso humano son los salarios devengados por el equipo de diseño que operan las herramientas CAD/CAE. El sueldo mensual de un ingeniero con cero (0) años de experiencia ha sido establecido por el Colegio de Ingenieros de Venezuela (para

la fecha de realización del estudio) en Bs. 600.000. Sumando todos los beneficios de ley, el sueldo alcanza anualmente los Bs. 10.744.000, que transformados a Dólares Americanos (a la tasa de cambio promedio de 680 Bs./\$) se obtienen US\$ 15.800. La nómina anual para 15 ingenieros asciende a US\$ 237.000.

Los costos de re-entrenamiento para los 15 operadores en los programas mencionados son: MD (20 horas) US\$ 1.850, WM Motion (12 h) US\$ 960, WMFEA (12 h) US\$ 960 y 3Dstudio (20 horas) US\$ 925. Los costos totales de adiestramiento por actualización alcanzan los US\$ 4.695.

Los costos anuales de actualización de los equipos se establecen en un 25,2% y 19,6% de los costos de adquisición para las computadoras y el servidor, respectivamente. Debido a esto, los costos de actualización del hardware ascienden para el segundo, tercer y cuarto año a US\$ 692,75 para cada PC y a US\$ 911,4 para el servidor. Alcanzando anualmente un total de US\$ 11.302,62.

El mantenimiento de los equipos se aplica al final del periodo de garantía estándar (3 años), y se basa en el costo de contratar la reparación en sitio de las computadoras para el día siguiente (next-day) y la reparación en sitio del servidor para el mismo día (same-day). El Mantenimiento anual de los equipos se establecen en US\$468 para el servidor, y en US\$176 para cada computadora. Totalizando los US\$3.108 para el cuarto año de vida del sistema.

El costo de actualización (upgrade) de los programas incluye tanto a las herramientas CAD/CAE como al sistema operativo Windows. Se estima que los costos de actualización representan un 20% de los costos de adquisición de las herramientas CAD/CAE y un 45% del sistema operativo. Debido a que la frecuencia de actualización de los programas ocurre cada dos años, estos costos equivalen para el tercer año de vida del sistema a US\$ 55.455 y US\$ 641, respectivamente; para alcanzar un total de US\$ 56.096,25.

Los costos de mantenimiento y servicio de los programas CAD/CAE se relacionan a aquellos costos incurridos para el adecuado funcionamiento y apoyo técnico requerido para el máximo aprovechamiento de estas herramientas. Estos han sido establecidos por proveedores que prestan este servicio en un 15% de los costos de adquisición del software; y representan para el sistema estudiado US\$ 41.591 al año.

Los costos de Administración y Mantenimiento de la red incluyen a aquellos asociados con configurar, monitorear y mantener sus componentes para el adecuado funcionamiento del sistema. Los costos anuales incurridos en la administración y mantenimiento de una

red conformada por 15 computadoras y un servidor, se establecen en US\$ 1.300.

VI.4.c. Costos de Retiro de Servicio

Los costos de Retiro del Sistema están representados por la venta del hardware en el mercado secundario de computadoras. El valor de salvamento de los equipos se ha estimado en un 25%; debido a esto, el valor de retirada de servicio significa un ingreso para el sistema planteado de US\$ 549,8 por computadora y US\$ 930 por el servidor, para alcanzar un total de US\$ 9177.

VI.5. Perfil del Ciclo de Costo de Vida

Una vez establecidos los componentes de costo, se procede a determinar el costo del ciclo de vida del sistema analizado. La Tabla 4 resume los costos totales por componente para cada año de vida del sistema y para los 4 años de vida del sistema, observándose que los costos de Adquisición (US\$333.305) representan un 21,6% respecto al costo total del ciclo de vida (US\$1.541.230), mientras que los costos de Operación y Mantenimiento (US\$1.217.372) constituyen desde el primer hasta el cuarto año de vida del sistema un 79,0% de los costos totales. Por concepto de Retirada de Servicio (valor de salvamento US\$ 9.177) se recupera apenas un 0,6% de los costos totales incurridos durante la vida del sistema.

Como puede observarse en el Gráfico 1, el costo para el primer año de vida del sistema es considera

blemente superior al resto de los periodos estudiados, debido a la adquisición de programas y equipos. Para el segundo y cuarto año los costos incurridos son esencialmente costos de Operación y Mantenimiento, de forma que los costos durante esos periodos son similares. El tercer año contiene además de los costos de Operación y Mantenimiento, aquellos relativos a la actualización de equipos, programas y adiestramiento del recurso humano, haciéndolo ligeramente superior a los periodos contiguos.

El costo de aplicación de las herramientas CAD/CAE por puesto de trabajo, y bajo un ambiente de red, se establece en US\$ 102.749 para los cuatro años de vida del sistema. Por lo que el costo anual promedio por puesto de trabajo se estima en US\$ 25.687.

Los componentes de costo para el sistema estudiado, expresados como porcentaje del total para los cuatro años de vida del sistema, se detallan en el Gráfico 2.

Se observa que los componentes con mayor peso en la aplicación de estas herramientas están representados por: recurso humano (61,15%), adquisición de programas CAD/CAE (17,88%) y servicio de programas (10,73%); el resto de los componentes de costo no llegan a superar el 11% de los costos totales. Es necesario hacer notar el poco peso que representa la adquisición de equipos de computación (2,96%) en comparación con el resto de los componentes de costos mencionados anteriormente.

Tabla 4: Costo de ciclo de Vida del Sistema CAD/CAE

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Total por Componente
Costos de Adquisición					\$333.035
Equipos (Hardware)	\$45.885				\$45.885
Programas CAD/CAE	\$277.275				\$277.275
Adiestramiento Inicial de Operadores	\$9.400				\$9.400
Instalación	\$475				\$475
Costos de Operación y Mantenimiento					\$1.217.372
Sueldo de Operadores	\$237.000	\$237.000	\$237.000	\$237.000	\$948.000
Actualización de Software			\$56.096		\$56.096
Actualización de Hardware		\$11.303	\$11.303	\$11.303	\$33.908
Re-Adiestramiento de Operadores			\$4.695		\$4.695
Administración de la Red	\$1.300	\$1.300	\$1.300	\$1.300	\$5.200
Servicio	\$41.591	\$41.591	\$41.591	\$41.591	\$166.365
Mantenimiento del Equipo	Garantía	Garantía	Garantía	\$3.108	\$3.108
Costos de Retirada					-\$9.177
Valor de Salvamento				-9177	-\$9.177
Total Año	\$612.926	\$291.194	\$351.985	\$285.125	\$1.541.230

I. GRÁFICO 1: PERFIL DE COSTO DEL CICLO DE VIDA DEL SISTEMA CAD/CAE

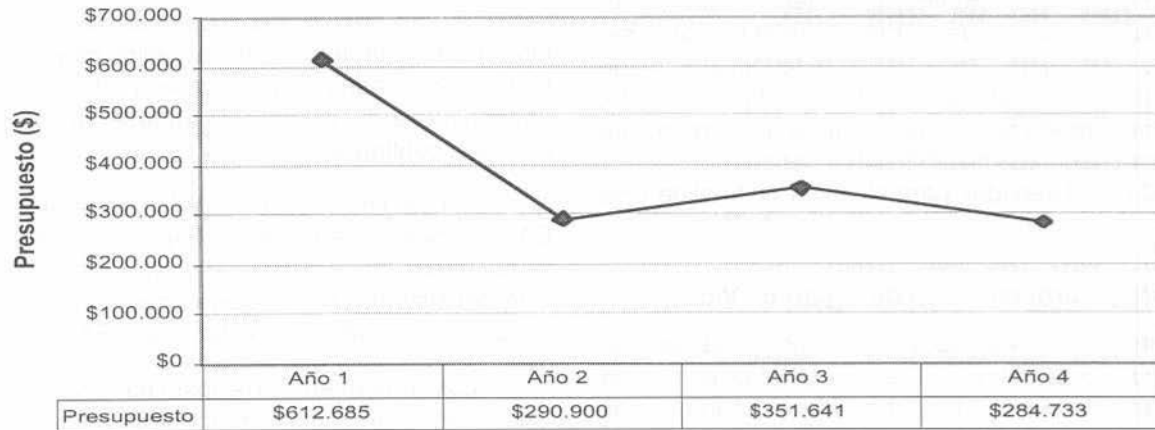
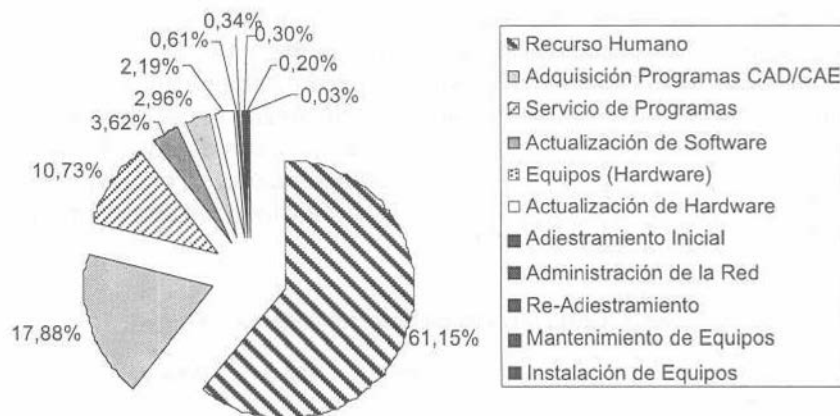


Tabla 4: Costo de ciclo de Vida del Sistema CAD/CAE



VII. CONCLUSIONES

Las tecnologías de Diseño e Ingeniería Asistidos por Computadora permiten el modelado, análisis, y visualización de modelos que, al ser virtuales, aceleran el diseño y redundan en una mayor precisión en el desarrollo y especificación de los productos. Sin embargo, por si solas no garantizan el éxito en el desarrollo de productos, ya que el aprovechamiento de los recursos involucrados —tiempo, hardware, software y equipo humano— está determinado por la filosofía de diseño bajo la cual se utilizan estas herramientas.

La filosofía de Ingeniería Concurrente reduce significativamente los tiempos de diseño de productos en comparación con la filosofía tradicional o Ingeniería Secuencial. Esta reducción del tiempo se logra mediante la planificación exhaustiva y el solapamiento de las actividades de diseño, así como de un constante intercambio de información entre los actores involucrados en el proceso.

El Desarrollo Concurrente de productos requiere tanto de un equipo tecnológico como de un equipo humano calificado para la aplicación de las herramientas CAD/CAE. Los recursos tecnológicos deben seleccionarse en función de la relación costo/rendimien-

to y del producto a desarrollar. El recurso humano debe poseer conocimientos y habilidades integrales para el desarrollo de productos.

Los costos incurridos en la aplicación de las herramientas CAD/CAE bajo la filosofía de Ingeniería Concurrente, representan una alta inversión que se justifica para organizaciones de tamaño mediano o grande. Estos costos están representados en su mayoría por aquellos asociados al recurso humano y a los programas de diseño CAD/CAE.

VIII. REFERENCIAS

- BARANDICA ROMO, José Luis.** "Ergonomía". Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España.
- GARCÍA GARCÍA, Isidoro.** "Costos Logísticos". Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España.
- HIBBELER, Rousell.** "Mecánica para Ingenieros - Estática". Editorial Continental, S.A. DE C.V. Segunda edición, 1989. México, D.F.
- KLAUSS-JORGEN, Bathe.** "Finit Element Procedures". Editorial Prentice-Hall. 1996.
- MATUTE, Mariela y PAZ, Patricia.** "Planes de Acción para la implantación y difusión de la Filosofía de Ingeniería Concurrente en la UCAB". UCAB, 1998.
- MUSTAFA PULAT, B.** "Fundamentals of Industrial Ergonomics". Waveland Press, Inc. Second Edition, 1999. Prospect Heights, Illinois.
- TIRUPATHI, Chandruptal y ASCHOR, Belengundu.** "Introduction to Finit Element in Engineering". Editorial Prentice-Hall. 2° Edition, 1997.
- VAN VLACK, Lawrence.** "Materiales para Ingeniería". Editorial Continental, S.A. Segunda edición, 1981. México, D.F.
- WARREN J., Luzaddery DUFF, Jon M.:** "Fundamentos de Dibujo en Ingeniería". Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. Edición décimo primera, México, 1996.

U URL's

- www.autodesk.com
- www.mechanicalsolutions.com
- www.soce.org

IX. AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar nuestro más profundo agradecimiento a los Sres. Miguel Rivas y Juan Martínez de la Vega, quienes fueron promotores de este proyecto.

Igualmente agradecemos al Grupo Abstract C.A por habernos cedido el uso de las Herramientas CAD/CAE.

Finalmente agradecemos a la Universidad Católica Andrés Bello, y en especial a la Facultad de Ingeniería, por habernos brindado su apoyo para la realización del presente trabajo.

X. NOTAS

- 1 Tanto el motor eléctrico como el mecanismo de oruga no están incluidos en el prototipo; sin embargo el diseño está realizado con el objetivo de adaptar estas características.
- 2 Intel Workstations Power, CADalyst Magazine, 1999.
- 3 Desktop Clients -A Cost of Ownership Study, Zona Research Inc., 1996.