

## ***CAPITULO 2***

### ***IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS COMO HERRAMIENTA PARA DISEÑO.***

Entre las empresas hay una gran competencia por ocupar, cada una en su área, el lugar preferencial entre los consumidores. Esto sólo se logra a través de la elaboración de productos que cumplan con los gustos y requerimientos de los clientes, sin embargo antes de lanzar un producto nuevo al mercado, las empresas pasan por el proceso de producción y, dependiendo de las fases que lo conformen, así como la eficiencia en cada una de ellas, definirá la calidad final del producto en el mercado, como la aceptación y la preferencia entre los consumidores. Finalmente, aquellas compañías que cumplen las necesidades de los clientes son las que permanecen.

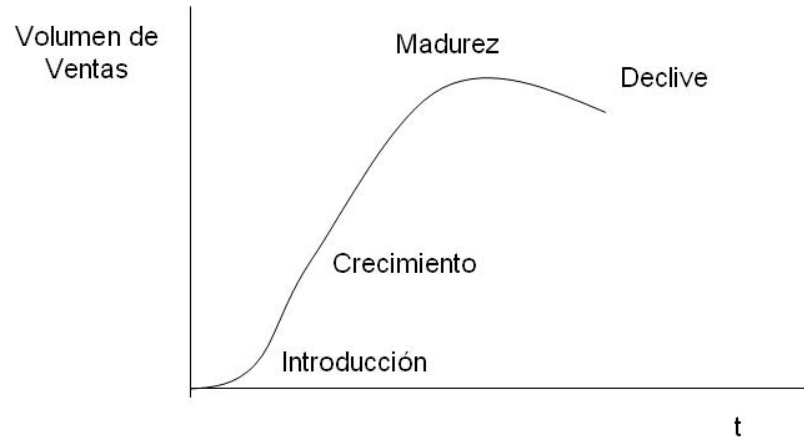
Por lo tanto, la productividad define si una empresa es o no competente, ésta, medirá la eficiencia de una empresa para producir la mayor cantidad de productos que deseen introducir al mercado a los costos más bajos percibiendo mayores ganancias. Durante el diseño de un nuevo producto las herramientas que se utilicen para disminuir el tiempo de análisis y fabricación afectará el impacto de los productos en el mercado, ya que éstos se rigen por un ciclo de vida.

Como se mencionó anteriormente los productos cumplen con un ciclo de vida, es un periodo que resulta similar a los seres vivos, comienza con el nacimiento de una idea o una necesidad y su diseño, después le seguirá un periodo de crecimiento donde se fabricará; una

vez fabricado se introducirá al mercado y se comercializará alcanzando su madurez y por último experimentará un periodo de declive que precederá al abandono u obsolescencia del mismo. Este ciclo de vida abarca desde unas cuantas horas en el caso de los periódicos y revistas, algunos meses para la moda en el caso de la ropa, años para los aparatos electrónicos y décadas para los autos.

Éste ciclo tiene una estrecha relación con el volumen de ventas y el tiempo, ya que para una empresa la inversión inicial es comúnmente alta, y para recuperar su inversión en el menor tiempo posible, necesita reducir el periodo de diseño, si se acorta éste las ventas se elevarán en menor tiempo y el producto se mantendrá en el mercado un periodo mayor de tiempo.

(CONAMYPE , © 2004, ¶ 1<sup>i</sup>)



**Gráfica 2.1:** Curva del Ciclo de vida de un Producto. CONAMYPE , © 2004

De una manera independiente hay compañías que se dedican al diseño para beneficio propio. Tal es el caso de las escuderías que participan en la Formula 1, una de ellas la Evernham Motorsports, que ha elegido el uso del Análisis de Elementos Finitos junto con

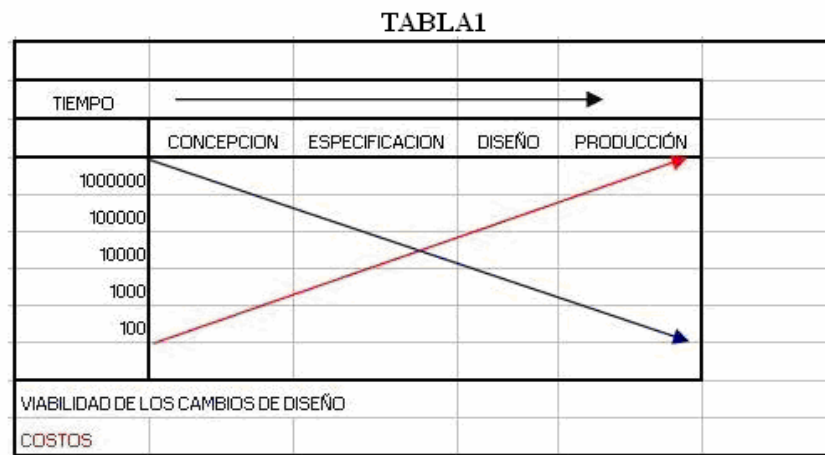
otros paquetes de Diseño Asistido por Computadora para desarrollar autos deportivos de alto desempeño mediante la creación de modelos virtuales y su simulación en lugar de construir prototipos a escala real cuyo costo es muy elevado (Alexander, 2005<sup>ii</sup>).

Mediante esta disciplina y la ayuda de los avances en informática se pretende que los ingenieros de diseño puedan hacer modificaciones a estos modelos mientras se accede, de manera inmediata a los resultados que el programa va suministrando, con esto, se desarrollan grandes avances mientras que se ahorra tiempo en ésta fase.

Ahora bien, como Roensch señala, el Análisis de Elementos Finitos, es una disciplina muy reciente que pretende cruzar los límites de la matemática, la física, la ingeniería y la informática (2005, ¶ 1<sup>iii</sup>). Se utiliza comúnmente para modelar los diseños y conocer los criterios de falla de los materiales de los que estará compuesto el producto, en otras palabras para ver cual es la parte más débil de nuestro diseño.

Si éste análisis se aplica dentro de la fase de planeación de un producto, justo cuando se lleva a cabo el diseño, el uso de esta disciplina nos podrá simplificar el trabajo que resulta de analizar, mediante pruebas destructivas en un prototipo rápido, las condiciones a las que estará expuesto el producto. Esto tendrá como resultado el hecho de que las empresas se ahorren el tiempo y el dinero dedicados a construir estos prototipos, para sustituirlos por modelos computacionales cuyos resultados son de gran exactitud para las condiciones finales de trabajo. Y bajo esta premisa lograr que la empresa sea más productiva, reduciendo el periodo de planeación de sus productos, lo que derivará en la rápida recuperación del capital invertido en el proyecto.

En la tabla 1 se representa el costo que resulta de realizar modificaciones a los productos durante la fase de desarrollo y la viabilidad de éstos; con lo anterior, se muestra la importancia de éste análisis como una herramienta esencial al elaborar cualquier tipo de proyecto, pues nos muestra la ventaja de realizar modificaciones a los modelos, durante la fase de diseño, por lo que el diseñador no compromete ningún costo que se podría derivar de corregir algún error al evaluar los prototipos o los productos en una fase posterior. Sin embargo, estos costos aumentan a medida que se aplican mejoras a los productos en fases posteriores, tal es el caso de la producción, en algunas ocasiones varias empresas automotrices han invertido millones de dólares para arreglar desperfectos ocasionados por errores en la fase de diseño.



**Tabla 2.1:** Viabilidad de los Cambios de Diseño con respecto a los Costos, en las fases de desarrollo de un producto

Como Damaso sugiere, el Análisis de Elementos Finitos (FEA) en los últimos 50 años se ha apoyado con los avances en la capacidad de las computadoras y junto con la creación de

programas poderosos que simulen sucesos, determina un campo de aplicación muy extenso para la mejora de los modelos de diseño (Damaso 2004<sup>iv</sup>).

Ésta disciplina tiene una estrecha relación con los simuladores de análisis, ya que el método teórico con el que se lleva a cabo ha permitido realizar algoritmos que a su vez han constituido los pilares para el desarrollo de nuevos y potentes programas dedicados a la simulación de eventos, con los que se pretende mejorar en el menor tiempo posible, las propuestas de diseño.

Para entender esta disciplina necesitamos definir algunos conceptos, muchos de ellos abstractos, sin embargo se utilizará un lenguaje sencillo para un mejor entendimiento de sus ventajas, ya que sus principios, así como la manera en la que ésta se desarrolla son prácticamente nuevos.

La manera como trabaja un software de Análisis de Elementos Finitos (FEA) es la siguiente, el modelo que el diseñador desarrolla en la computadora pasa por 3 procesos: la discretización, el análisis y la evaluación de los resultados. Todos los paquetes de software que involucran FEA para el análisis tienen que seguir estos 3 procesos y en el orden antes mencionado, las diferencias entre ellos se hace notar en la facilidad de cómo realizan la discretización de la pieza y el tiempo que les toma la realización de los cálculos.

El Análisis de Elementos Finitos (FEA), ha evolucionado como un método exótico de análisis que sólo ha sido accesible a analistas especializados como una herramienta fundamental en la ingeniería. Actualmente los avances en el diseño asistido por

computadora y los sorprendentes progresos en la tecnología de cómputo, facilitan la implementación de este análisis en la fase de planeación.

El Análisis de Elementos Finitos (FEA), ha sido una tecnología disponible principalmente para analistas especializados como una herramienta de planeación en la ingeniería. Según Williams, los ingenieros de diseño dedican este análisis principalmente a maximizar la durabilidad de los elementos, que es la habilidad de soportar los esfuerzos mecánicos creados durante el uso en el mundo real (2005, ¶ 7<sup>v</sup>).

En el pasado, los productos de cómputo que involucraban FEA, eran más complicados de usar, ya que, los usuarios que estaban en la fase de diseño de un producto, debían tener una formación basada en elementos finitos para poder diseñar y construir dichos modelos. Por lo tanto, sólo un experto podría introducir los datos correctos a estos modelos para su correcto análisis. Pero con el pasar de los años este análisis ha evolucionado como una herramienta fácil de usar en la fase de diseño.

Conforme la tecnología de FEA va evolucionando, el nivel de especialización requerida ha ido disminuyendo conforme el software es cada vez más fácil de usar. Sin embargo, para el área de diseño de un producto, el análisis computacional de FEA puede hacer la diferencia en la competitividad de una empresa, ya que le facilita al diseñador la interpretación de datos que el modelo proporcione para hacerle los cambios necesarios en el diseño para su fabricación.

La fase de diseño de un producto es la fase de resolución de una necesidad, o la creación de la misma. Está basada en las listas de atributos deseables del producto y sobre los principios de la gestión de empresas como la estrategia o la política de un producto y las posibles patentes de productos nuevos. Aquí, es donde los diseñadores necesitan emplear una metodología para la creación del producto ya que, prescindir de ésta, puede conducir a problemas como la pérdida excesiva de tiempo en la corrección de errores y una documentación deficiente sobre los parámetros y especificaciones del equipo. También los ingenieros de diseño al encontrarse dentro de esta fase deben apearse a los criterios de los procesos de una buena planificación, un modelo de diseño mediante un razonamiento lógico sobre cómo debe hacerse el diseño para evitar los problemas antes mencionados.

Antes de evaluar las propuestas de diseño, hay que preparar las propuestas para presentarse a personas que no están habituadas a las convenciones de dibujo que los diseñadores usan normalmente. El objetivo es que estos espectadores evalúen el concepto en base de un objeto real. De ello depende que el diseño tenga una buena fidelidad, (los parámetros con los que se mide esta fidelidad se tratan en base a la simulación del estímulo en diseño experimental, por ejemplo, al relacionar conceptos se adquiere validez), por lo que se recurre comúnmente a la fabricación de prototipos rápidos (PR).

Según la Sección de Informática Gráfica (SIG), simular es parte del método experimental, la diferencia reside en que a diferencia de experimentar el diseño dentro del sistema real, se experimenta con un modelo simulado que se crea para tal efecto. Comúnmente, el modelo se construye mediante el uso de las computadoras, pero el término simulación va más allá

ya que un modelo puede ser una maqueta, o cualquier representación de un sistema (SIG/UVP 2005, ¶ 54<sup>vi</sup>).

La simulación tiene casi el mismo tiempo que el análisis de elementos finitos de ser descubierto, sin embargo FEA utiliza la simulación para sus propósitos. Según la SIG tuvo sus comienzos en los años 50 y se utilizaba como un método de análisis. Sin embargo para poder aplicar esta técnica el usuario debe conocer a fondo desde los conceptos de la simulación hasta las técnicas estadísticas necesarias para lograr el comportamiento deseado de los datos de entrada y analizar el comportamiento de los datos de salida o resultados (SIG/UVP 2005, ¶ 36<sup>vii</sup>).

Considerando los Prototipos Rápidos, quiero señalar que, al hacer estos modelos físicos se lleva una proporción. Entre más realistas resulten, es más caro el costo de fabricación y el tiempo requerido para conformarlo, así como el método a usar para construirlo. “Experimentar es el método más preciso, pero no siempre es posible llevarlo a cabo. Hay experimentos que son demasiado peligrosos, demasiado caros o simplemente no es posible disponer del sistema real” (SIG/UVP 2005, ¶ 34<sup>viii</sup>); por lo tanto, éstos se eligen en base a su finalidad, ya que, la presentación está pensada simplemente para ayudar al diseñador a mostrar si su diseño es factible, práctico, ergonómico y de buen aspecto; como puede también ser usado para planear los procesos de fabricación del producto o para pedirle a decenas o cientos de usuarios la evaluación de dicho producto en base a muestreos. Finalmente, un prototipo puede ser sometido a pruebas en entornos reales con el propósito de evaluar los factores ergonómicos en su uso o bien la interfaz de usuario del mismo producto.



Dentro de la manufactura integrada por computadora el término Prototipo Rápido (PR), es acuñado a todo tipo de tecnología que esté dirigida a construir modelos físicos a partir de los datos generados por los programas de Diseño Asistido por Computadora, (CAD por sus siglas en inglés). Utilizando un concepto más sencillo, son impresores tridimensionales que ayudan a los diseñadores a construir prototipos tangibles de sus diseños.

El uso de esta tecnología resulta versátil para que el espectador pueda obtener una imagen del producto que se va a fabricar, así como de su funcionamiento, sin embargo, el costo de adquirir y dar mantenimiento a una tecnología de éstas resulta elevado para cualquier empresa, y más si este se utiliza como modelo para hacer pruebas donde intervenga el desgaste a los modelos de los diseñadores. Aún si se decide no invertir en una máquina generadora de prototipos rápidos, el hecho de contratar los servicios de una de estas compañías resulta excesivamente caro comparado con la compra de un software dedicado principalmente a la simulación a través de FEA, por ejemplo, si se decide elaborar un prototipo rápido en el Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica (INAOE) simulando las partes plásticas por un compuesto parecido al polvo del talco para un extractor de jugos, a una escala de un tercio del modelo original, costaría aproximadamente lo que vale el extractor en el mercado.

Es aquí donde los programas de CAD (Diseño asistido por computadora), entran en funcionamiento formando un vínculo simbiótico con este análisis. Hay presentaciones de productos basadas en prototipos virtuales que presentan las opciones para poder plasmar, presentar y proyectar una imagen tridimensional en movimiento, que muestre el

funcionamiento del producto en un entorno que se asemeje en gran medida al real; con la ayuda de los ordenadores, pueden simularse, de modo que el producto responda a las órdenes dadas por el usuario, así como ser capaces de dar respuestas a los problemas derivados de los fenómenos a los que se exponga.

Hoy por hoy las compañías que desarrollan el software para CAD tienen acuerdos con las compañías de FEA para un cómodo intercambio de archivos, facilitando la creación de la malla y el análisis. Sin embargo, Williams comenta que los ingenieros de diseño que quieran realizar estas simulaciones a partir de un ambiente de CAD deben tener cuidado que la solución de este software ofrece todas las herramientas necesarias, las capacidades de simulación y de movimiento [...] (2005, ¶ 13<sup>ix</sup>). En el caso contrario se vuelve más complicado el uso de los programas limitando la simulación.

Al ser una disciplina que se basa en la simulación, hay autores que consideran algunas desventajas del uso de esta disciplina y parten de la premisa de que el método por ser por principio matricial y analítico debe recaer en la experiencia de quien lo maneja así como tener presente las deficiencias que presentan las mismas compañías que generan el software.

Por ejemplo: la SIG afirma que “Analizar supone realizar asunciones que no siempre corresponden con las de la realidad. [...] Estos métodos son los que consumen mayor cantidad de tiempo” (2005, ¶ 35<sup>x</sup>). Y bajo la premisa de que los datos deben medirse de la manera más precisa afirma también que “si se usan valores estimativos, los resultados son también estimativos. Por el contrario una vez realizado el modelo analítico es el método

más fiable de obtención de resultados” (2005, ¶ 35<sup>xi</sup>). No obstante las personas encargadas de hacer este tipo de análisis son personas cuya experiencia las precede, así que a pesar de que se lleguen a realizar suposiciones sobre los factores que afectarán al diseño, éstas estarán basadas en un comportamiento lo más aproximado al modelo real. Ahora, los resultados obtenidos por este tipo de software tienden a obtener un factor de seguridad sobre el producto que se esté diseñando, así que este tipo de aproximaciones comúnmente resultan favorables. Como sugiere Williams, las herramientas que presentan el software basados en esta disciplina permite a los ingenieros presentar sus diseños con más confianza en la validez de sus resultados considerando cuidadosamente el análisis, la modelación y la interpretación de los resultados (2005, ¶ 7<sup>xii</sup>).

La SIG afirma también que el tiempo de computación resulta elevado si se simulan sistemas complejos, y que comúnmente las herramientas para estas simulaciones utilizan un único procesador, por ello, el tiempo necesario para llevar a cabo una simulación suele ser elevado, dando la sensación que la simulación trabaja más lentamente que el sistema real. (2005, ¶ 49<sup>xiii</sup>). Hay que admitir que los sistemas de cómputo comunes no serían capaces de poder analizar y solucionar de manera eficaz los problemas más complejos. No obstante la inversión que se pueda hacer en un equipo de cómputo con la potencia y capacidad requeridas para este análisis se verán recompensadas inmediatamente por la calidad y la celeridad con la que éstos se vean resueltos. Como sugiere Decker, uno de los resultados de la utilización de esta nueva tecnología, es la creación de la expectativa de no sólo reducir el ciclo de la fase de diseño, sino cómo a través de esta disciplina se puede incluso mejorar eventualmente la calidad de los productos (2005, ¶ 11<sup>xiv</sup>).

También el llevar a cabo un análisis de FEA por medio de la simulación de él o los modelos a diseñar, se utiliza no sólo para resolver el sistema, sino también para comprender el mismo, de esta manera se podrán hacer suposiciones cada vez más acertadas, y el diseñador tendrá una visión más completa de las deficiencias o cualidades de sus modelos en un periodo de tiempo más breve, y de ésta manera recurrir a la construcción de prototipos rápidos solo para probar el modelo final.

De esta manera la utilización de los programas que involucran FEA, encuentran un lugar dentro de la fase de diseño de productos. Antes de pasar a la creación de prototipos rápidos (PR) y su modelado en tres dimensiones, pueden crearse estos prototipos virtuales, simular pruebas (tanto de movimiento como destructivas), en los modelos hacer ajustes o cambios en el diseño. Como también, retroalimentar al usuario con los resultados que obtenga de ejecutar las pruebas antes de pasar a la evaluación de la propuesta de este diseño, sin comprometer costo, tiempo y seguridad del producto.

Por último SIG, nos menciona el hecho de que debemos tomar en cuenta que cuando se está diseñando el producto, sí es posible trasladar este modelo a la fase experimental, es conveniente realizarlo, pues es el método más fiable y completo (independientemente de que se usen otros métodos durante las etapas de diseño). Sí no es posible, se debe intentar la búsqueda de un método analítico para resolverlo y sí no es posible encontrarlo o no es muy preciso, llevar a cabo una simulación (2005, ¶ 52<sup>xv</sup>). Esto es muy acertado, ya que ninguno de los 3 métodos mencionados por SIG es autónomo, cada uno tiene sus ventajas y desventajas para la fase de diseño. El hecho de que esta disciplina pueda desplazar a los otros métodos dependerá de los avances en el área de la computación, la creación de

software cada vez más asertivo y los conocimientos del diseñador para poder utilizar el software de una manera correcta.

Como Decker explica, los avances en el desarrollo del software de esta disciplina han jugado un papel muy importante al rediseñar los procesos y las estructuras orgánicas de las compañías. Para muchas de ellas, la adquisición de nueva tecnología en software los incita a menudo a especular si su proceso se encuentra dentro de los estándares de la globalización, proporcionando con ello una ventaja competitiva (2005, ¶ 11<sup>xvi</sup>). Al reducir el tiempo dedicado a las pruebas de los prototipos, se reduce el gasto para conseguir los productos para elaborarlos o, en su defecto, de pagar a la compañía que los produce, así como para desarrollar nuevos productos en tiempos más cortos sin comprometer la seguridad de los mismos. Por lo tanto, entre más eficiente sea la fase de diseño de un producto, se podrán satisfacer las necesidades del mercado de una forma más competitiva.

Por último a manera de resumen mencionaré que la aplicación apropiada de FEA como herramienta de diseño produce un cambio marginal en la manera de cómo los diseñadores, ingenieros, analistas, verificadores y demás personal de una compañía dedican su tiempo en un proyecto. Sin embargo, debido a algunas limitaciones inherentes del análisis, y la manera como se desarrollan los algoritmos para su uso hacen que el FEA sea actualmente utilizado, en su mayoría, por ingenieros. La tendencia de éste análisis se dirige a que en un futuro próximo cualquier persona que esté familiarizada con la modelación pueda simular de manera racional sus propuestas de diseño.

Hay que admitir que como toda disciplina nueva tiene que pulir muchos aspectos, más no por ello demuestra que sea una ciencia no exacta, su base es matricial en su totalidad, y tomando como base los principios de la matemática se deduce que es una ciencia infalible por concepto teórico e inexacta debido al factor humano al realizar supuestos.

Si bien es cierto que simular implica necesariamente suponer un entorno lo más parecido al evento real, es necesario que la persona que se dedique a éste tipo de análisis tenga el conocimiento previo de cómo su modelo deberá interaccionar con la realidad, y en el caso de llegar a asumir un entorno diferente al real, que éste sea de tal forma que al modelo se le sitúe en algún evento donde se le exija un mayor desempeño o bien que las situaciones del entorno le lleven al límite.

La simulación de eventos a través de FEA puede comprimir el inicio del ciclo de vida del producto mostrado anteriormente no sólo minimizando el uso de PR o *prototyping*, para realizarle pruebas destructivas a los modelos, pero también promoviendo la práctica de una ingeniería simultánea, con respecto al diseño.

Es cierto que el Análisis de Elementos Finitos no debe verse como el único método a tomar en cuenta cuando se diseña un producto, la ingeniería aplicada al diseño no sigue una línea en su proceso productivo, cada método tiene sus ventajas y desventajas, así que es responsabilidad del diseñador la elección de los métodos que mejor convengan para desarrollar el modelo a la brevedad posible de la manera más económica y por último asegurarse que el producto cumpla las expectativas de los consumidores.

Finalmente mediante la correcta aplicación de la tecnología es donde todavía se encuentra el potencial para incluso comprimir más allá tiempo del plan para desarrollar un producto. En una economía donde las compañías pelean por ser las primeras en lanzar sus productos al mercado, la colaboración de FEA para consolidar la ingeniería simultánea resulta un tema de gran importancia, no hay empresa que tome una postura pasiva con respecto al uso de nuevas tecnologías pues el futuro en el liderazgo del mercado será de esas compañías que busquen entender el potencial de su inversión en este análisis y reestructuren a sus organizaciones adaptándolas al uso de nuevos métodos para ser más productivas.

---

[<sup>i</sup>] CONAMYPE, (© 2004). *Como Administrar su Empresa / Mercadeo / Ciclo de Vida del Producto*. Recuperado en Junio 15, 2005 de

[http://www.conamype.gob.sv/cajadeherramientas/mipymes/como\\_admin/ciclo.htm](http://www.conamype.gob.sv/cajadeherramientas/mipymes/como_admin/ciclo.htm)

[<sup>ii</sup>] Alexander, D. (© 2005) *Racing PLM tools*, Automotive Engineering International, revista mensual, Vol. 113, No. 1, Estados Unidos de Norteamérica, Enero 2005, Trans Jonathan A. López Saucedo, pp 61 y 62

[<sup>iii</sup>] Roensch, (2005). *The Finite Element Method: A Four-Article Series*. Recuperado en Junio 15, 2005 de <http://www.finiteelement.com/feawhite.html>

[<sup>iv</sup>] Damaso, P. O. (©2004) 5. *Análisis de la Estructura y Elementos del SAND CAR Project para su adaptación y Compatibilidad en un programa de Elementos Finitos para el análisis de Esfuerzo y Deformación generadas por Cargas Estáticas*. UDLA, México Pue, pp. 5.

[<sup>v</sup>] Williams Bob, (©2005). *What All Engineers Need to Know Before Using Finite Element Analysis*. Paráfrasis recuperada en Junio 15, 2005 de <http://www.algor.com> Trans. Jonathan A. López Saucedo.

[<sup>vi</sup>] SIG/UVP, (©2005). *Aplicación de Motores de Simulación Interactivos Continuos a la Construcción de Entornos Virtuales Colaborativos e Inteligentes*. Recuperado en Junio 15, 2005 de <http://www.sig.upv.es/proyectos/simulacion/proyectos.html>

---

[<sup>vii</sup>] SIG/UVP, (©2005). *Aplicación de Motores de Simulación Interactivos Continuos a la Construcción de Entornos Virtuales Colaborativos e Inteligentes*. Recuperado en Junio 15, 2005 de <http://www.sig.upv.es/proyectos/simulacion/proyectos.html>

[<sup>viii</sup>] SIG/UVP, (©2005). *Aplicación de Motores de Simulación Interactivos Continuos a la Construcción de Entornos Virtuales Colaborativos e Inteligentes*. Recuperado en Junio 15, 2005 de <http://www.sig.upv.es/proyectos/simulacion/proyectos.html>

[<sup>ix</sup>] Williams Bob, (©2005). *What All Engineers Need to Know Before Using Finite Element Analysis*. Paráfrasis recuperada en Junio 15, 2005 de <http://www.algor.com> Trans. Jonathan A. López Saucedo

[<sup>x</sup>] SIG/UVP, (©2005). *Aplicación de Motores de Simulación Interactivos Continuos a la Construcción de Entornos Virtuales Colaborativos e Inteligentes*. Recuperado en Junio 15, 2005 de <http://www.sig.upv.es/proyectos/simulacion/proyectos.html>

[<sup>xi</sup>] SIG/UVP, (© 2005). *Aplicación de Motores de Simulación Interactivos Continuos a la Construcción de Entornos Virtuales Colaborativos e Inteligentes*. Recuperado en Junio 15, 2005 de <http://www.sig.upv.es/proyectos/simulacion/proyectos.html>

[<sup>xii</sup>] Williams Bob, (© 2005). *What All Engineers Need to Know Before Using Finite Element Analysis*. Paráfrasis recuperada en Junio 15, 2005 de <http://www.algor.com> Trans. Jonathan A. López Saucedo.

[<sup>xiii</sup>] SIG/UVP, (© 2005). *Aplicación de Motores de Simulación Interactivos Continuos a la Construcción de Entornos Virtuales Colaborativos e Inteligentes*. Recuperado en Junio 15, 2005 de <http://www.sig.upv.es/proyectos/simulacion/proyectos.html>

[<sup>xiv</sup>] Decker Mark, (© 2005). *Organizational Impact of Emerging Engineering Software*. Paráfrasis recuperada en Junio 15, 2005 de <http://www.algor.com> Trans. Jonathan A. López Saucedo.

[<sup>xv</sup>] SIG/UVP, (© 2005). *Aplicación de Motores de Simulación Interactivos Continuos a la Construcción de Entornos Virtuales Colaborativos e Inteligentes*. Recuperado en Junio 15, 2005 de <http://www.sig.upv.es/proyectos/simulacion/proyectos.html>

[<sup>xvi</sup>] Decker Mark, (©2005). *Organizational Impact of Emerging Engineering Software*. Paráfrasis recuperada en Junio 15, 2005 de <http://www.algor.com> Trans. Jonathan A. López Saucedo.