

CAPÍTULO 4

DESARROLLO DEL MODELO EN SÓLIDO Y SUS ELEMENTOS

4.1 EL MODELO SANDCAR TUBOLARE

Como ya se había visto en el capítulo anterior, el diseño de los buggies nació de un concepto de los chasis de los VW sedán, al paso del tiempo este concepto ha tenido ciertas modificaciones para tener diferentes versiones de este tipo de automóvil. Una de estas versiones consiste en un chasis tubular, el cual esta basado en los modelos hechos de la primera generación de los buggies.

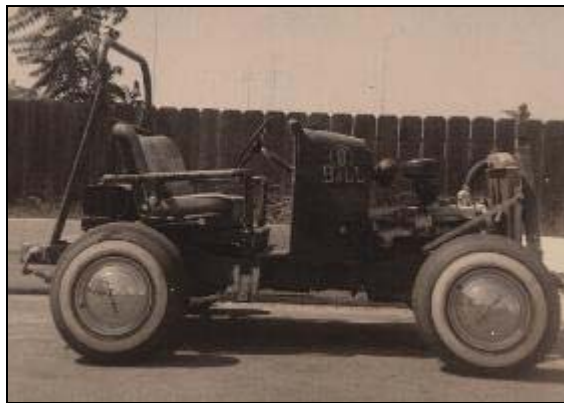


Figura 4.1 Modelo de un buggy de las primeras generaciones.

Haciendo una analogía con el modelo de estudio, se tiene la misma estructura tubular, contando con algunas partes plásticas, las cuales no afectan de manera significativa el diseño del automóvil. Este modelo tiene como fin ser un automóvil recreativo, que pueda adaptarse a cualquier tipo de terreno y esta diseñado para tener una capacidad máxima de

dos plazas que promete un diseño moderno y dinámico, sin embargo también tiene que tener una estructura resistente y duradera para que se pueda garantizar el buen desempeño del automóvil.



Figura 4.2 Bosquejo dibujado del modelo Sandcar Tubolare.

4.2 MATERIAL Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

La estructura del automóvil está hecha de tubos de 1 ½ pulgadas de diámetro, el material puede variar según las versiones del Tubolare como por ejemplo en versiones Turn key del Tubolare 100 y 200 la estructura será hecha de Chromemoly 4130, que es una aleación de acero también llamado AISI 4130 que contiene cromo y molibdeno como agentes de reforzamiento, el contenido de carbón es nominalmente 0.30% y con esto relativamente un medio contenido de carbón por lo que la aleación es excelente en la fusión y soldabilidad de estructuras, las aplicaciones típicas incluyen el uso de estructuras en la ingeniería de

aeronaves y en tubos para aplicación de soldado. Está aleación esta lista para ser maquinada por los métodos convencionales que existen, aunque se puede maquinar mucho mejor en condiciones de normalizado y su soldabilidad es muy buena para todos los métodos comerciales que hay. Su composición química se muestra en la siguiente tabla:

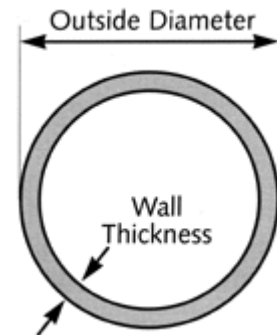
Tabla 4.1 Composición química del Chromemoly 4130

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
Min	0.28	0.15	0.40	0	0	0.80	0.15
Max	0.33	0.35	0.60	0.035	0.040	1.10	0.25

Para este tipo de aleación se pueden encontrar tubos redondos de 1 ½ pulgadas con distintos tipos de espesor como se puede ver en la siguiente tabla:

Tabla 4.2 Tipos de medidas que se encuentran para la aleación Chromemoly 4130

Diámetro exterior (Pulg.)	Espesor de pared (Pulg.)
1.5	.049
1.5	.058
1.5	.065
1.5	.083
1.5	.095
1.5	.120
1.5	.188
1.5	.250



En las versiones Tubolare 10. Kit esencial, Tubolare 50. Rolling Chasis, se especifica que la estructura estará hecha de acero 1026 DOM, con esto se espera que la estructura soporte los esfuerzos a compresión y tensión debido a los duros cambios de relieve que se

puedan presentar en un determinado entorno. Este acero tiene un muy bajo contenido de carbón y es muy utilizado en su mayoría de las veces en la manufactura de buggies tubulares. Los metales que se relacionan con este acero son el Impact 520(tm) y el StarDOM 1026(tm). La composición química de este acero es la siguiente:

Tabla 4.3 Composición química de el acero 1026

	C	Mn	P	S
Min	0.22	0.60	0	0
Max	0.28	0.90	0.04	0.05

Las propiedades físicas del este acero se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4.4 Propiedades físicas de el acero 1026 DOM

Material	(ksi)	Densidad del material lb./pulg³	Modulo de Elasticidad (10⁶ PSI)	Dureza (Bhn)
Acero al carbón (1026 DOM)	85	0.283	30	174

Estos modelos cuentan con una serie de características opcionales, ya que son diferentes versiones del modelo Tubolare, por lo que estas varían según las necesidades personales. Las características técnicas de cada una de las versiones como el material del bastidor, tipo de motor, suspensión y los diversos aditamentos están enlistadas en el folleto informativo del vehículo que puede ser proporcionado por la empresa Tecnoidea S.A. de C.V..

Las dimensiones específicas y los planos del modelo se muestran a reserva de la compañía ya que son propiedad privada de Tecnoidea S.A. de C.V. Sin embargo el sketch proporcionado por la compañía Tecnoidea S.A. de C.V. otorga una idea comparativa de las dimensiones que este automóvil tendría en la realidad.

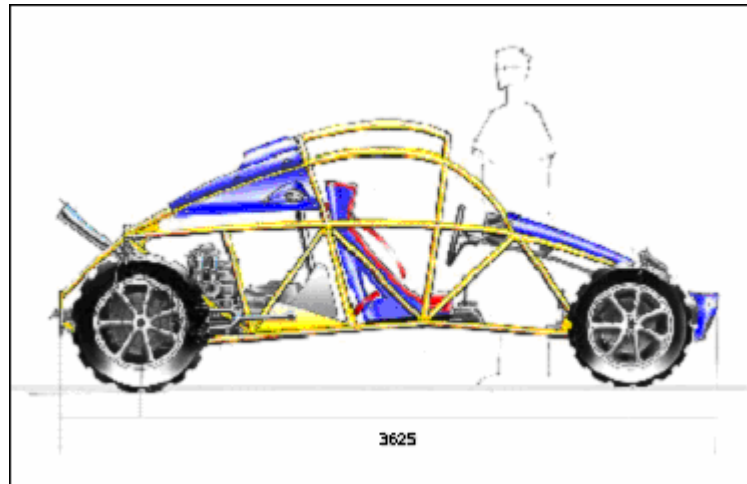


Figura 4.3 Sketch del modelo Sandcar Tubolare

Para propósitos de resolución del problema planteado sólo nos enfocaremos en la estructura del bastidor para el análisis de cargas estáticas. Esta estructura tiene que ser modelada como sólido en un programa CAD, ya que da la ventaja de poder asimilar el comportamiento de la estructura de una manera más aproximada dentro de un programa de análisis de elementos finitos como lo es ALGOR.

4.3 ELEMENTOS TRIDIMENSIONALES EN CAD

Los elementos tridimensionales en el modelado de dibujo asistido por computadora pueden ser divididos en tres categorías basados en el tipo de primitivas usadas en el proceso de construcción, estos son: modelos de alambre, superficies y sólidos. Cada tipo de elemento tiene su propia técnica de creación y de edición.

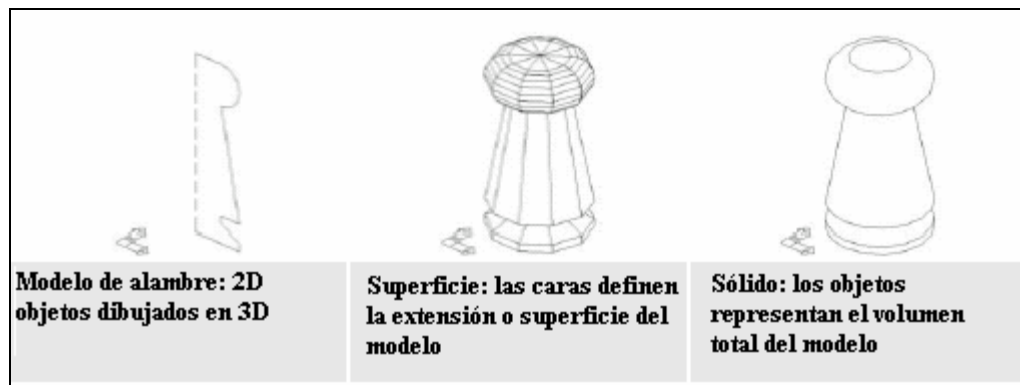


Figura 4.4 Elementos tridimensionales básicos en CAD

Los modelos de alambre consisten de líneas y arcos que conectan puntos para expresar una forma, pero es incapaz de expresar un sólido o un vacío. Estas líneas definen las ligaduras de la forma, pero requieren más información que solo el dibujo en alambre para que la forma pueda ser entendida.

Los modelos de superficie, también llamados mallados, son más sofisticados que un modelo de alambre, estos definen no sólo los bordes de un objeto en 3D sino que también definen la extensión del objeto con una malla y tienen la cualidad de esconder sus caras traseras. Esto es una gran ventaja sobre los modelos de alambre porque es muy fácil ver la forma del modelo.

Los elementos sólidos son usados para representar una información más real de un modelo completo. En la vida real todos los objetos son sólidos. Las formas complejas de los sólidos son más fáciles de construir y editar que un modelo de alambre o un mallado, sin embargo consumen la mayoría de información del dibujo y pueden incrementar el tiempo de renderizado cuando ellos son curvos. Esto es porque el renderizado rompe las superficies bajas del objeto triangularizando planos realizando cálculos finitos en cada superficie.

Según se requiera, se pueden hacer dibujos de estos elementos para representar el objeto que se desee, para la resolución de un problema de análisis de elementos finitos se pueden utilizar las tres alternativas de análisis pero es fundamental que se establezca la forma de trabajo definida, dibujando modelo de alambre, superficies o sólidos para llegar a resultados concretos.

4.4 MODELO EN CAD DEL AUTOMÓVIL SANDCAR TUBOLARE

Para poder hacer el análisis en elementos finitos es necesario tener un modelo tridimensional del buggy en un programa de diseño asistido por computadora, ya que ALGOR es muy limitado para poder hacer modelos bien definidos y que contengan un número considerable de elementos y en este caso sólidos.

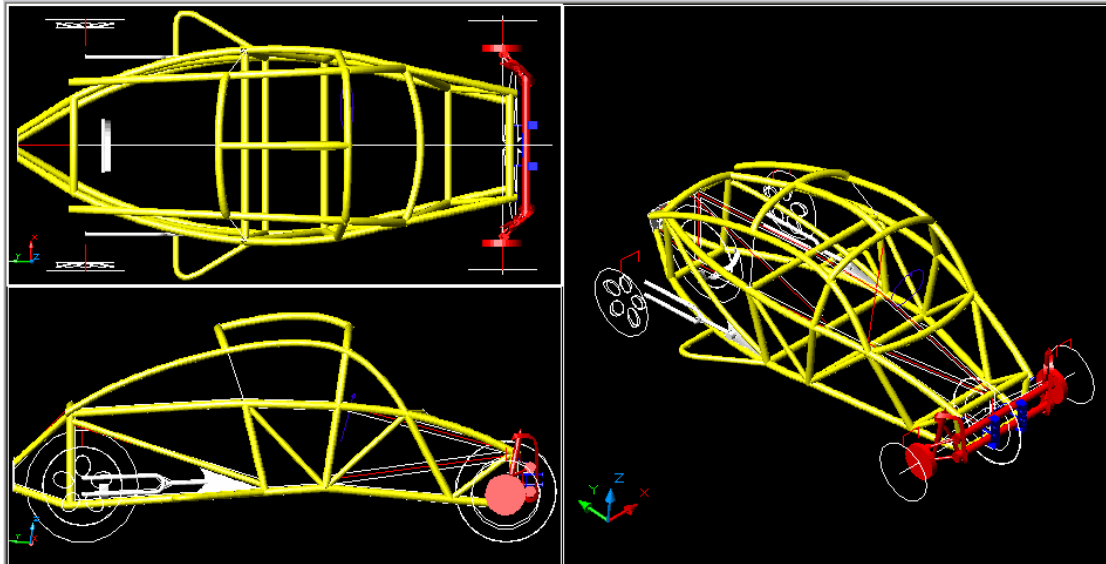


Figura 4.5 Modelo suavizado de superficie en tres vistas.

En este caso se ocupó el programa AutoCAD para el diseño del modelo en tres dimensiones, este modelo fue proporcionado por la compañía Tecnoidea S.A. de C.V. Este modelo ya contaba con características sobresalientes como lo son el sistema de suspensión y la estructura tubular. El modelo fue otorgado para trabajar sobre él y así poder considerar las partes necesarias que se iban a necesitar para el análisis en el programa de elementos finitos. Una de las inconvenientes que tuvo este modelo y por las cuales no se pudo trabajar sobre el directamente en el programa ALGOR, son las superficies, ya que este tipo de elementos son muy poco probables que los pueda importar ALGOR y lo más importante que las superficies tenían secciones abiertas, esto es que se nota la parte hueca del tubo.

Sin embargo este modelo ayudó en la preparación del modelo sólido ya que da una idea más clara de las dimensiones y de las trayectorias que debe tener la estructura.

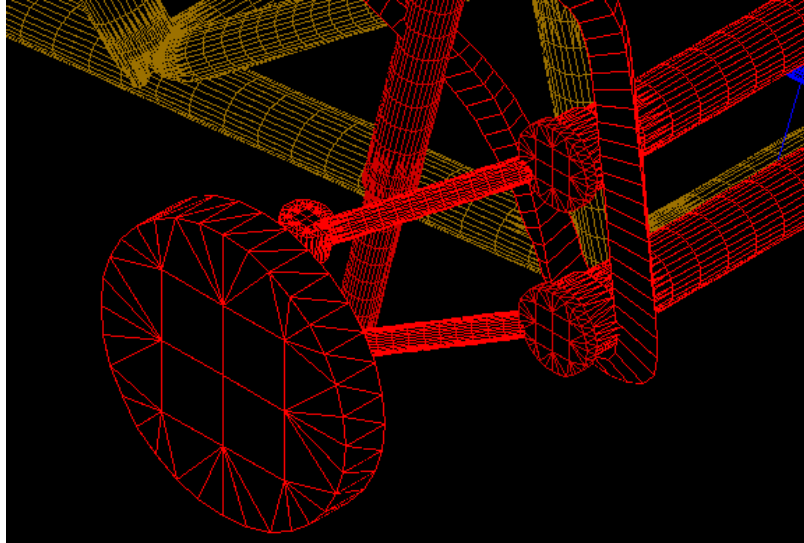


Figura 4.6 Modelo mostrando las superficies como una malla.

Cuando se hace una superficie en AutoCAD, el comando que hace la superficie crea una malla de estructuras poligonales sobre una línea un arco, splines, polilíneas en 2D y también en 3D.

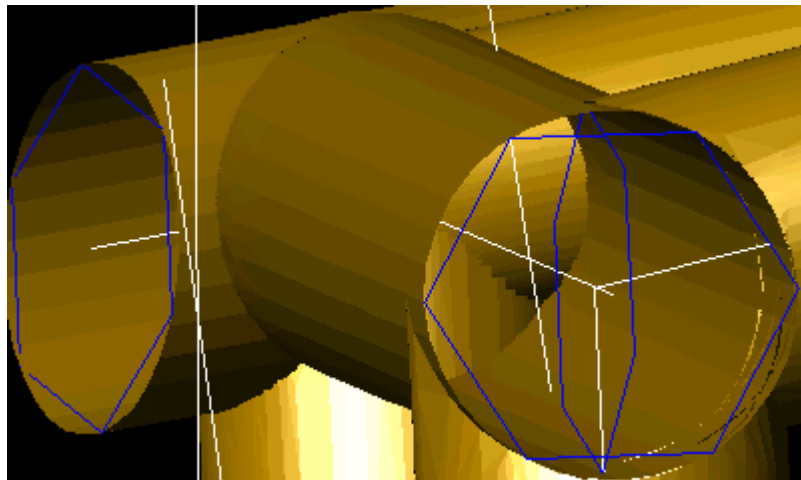


Figura 4.7 Fotografía ampliada de secciones abiertas del modelo.

Los mallados estándares que se producen en AutoCAD tienden a consistir a un aspecto alto en forma de triángulos. Y este tipo de mallado generalmente proporciona pobres resultados en los modelos analíticos.

Si estos mallados tuvieran una mejor resolución nos permitiría trabajar para poder exportar este archivo y trabajar directamente en ALGOR. Sin embargo es necesario trabajar en un segundo programa de diseño asistido por computadora el cuál mejora la pauta en el modelado de sólidos.

Antes de eso es importante distinguir que elementos sirven del modelo hecho con superficies en AutoCAD y sean una guía sobre lo que se va a basar el modelo sólido. Para esto es necesario quitar las superficies para que se pueda obtener el esqueleto principal y también se le sustraen las superficies de todos los elementos ajenos a la estructura del bastidor, como lo es la suspensión delantera y trasera, la defensa, así como también el contorno de las llantas y el volante.

Una vez que se dejó el modelo de alambre se procedió a unir las secciones abiertas, ya que había secciones que no se tocaban, esto se hace con el fin de que no haya errores de geometría ya que ALGOR genera nodos en las uniones e intersecciones del modelo y si alguno de estos puntos no se toca con otro, se generarán errores de geometría y no se podrá inicializar el análisis dentro del programa FEA.

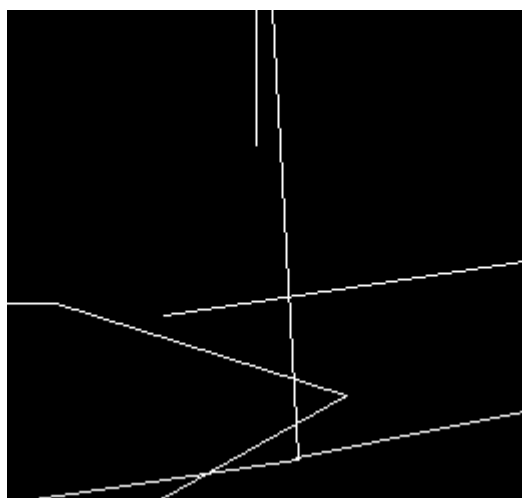


Figura 4.8 Secciones abiertas del modelo de alambre

Se procura no alterar de las coordenadas de los puntos del modelo original, con esto se garantiza que el modelo tendrá el mismo comportamiento físico que el original. Sin embargo este modelo no puede sustituir al modelo sólido. Los modelos de alambre son más utilizados en la asistencia de la construcción de modelos con trayectorias pronunciadas.

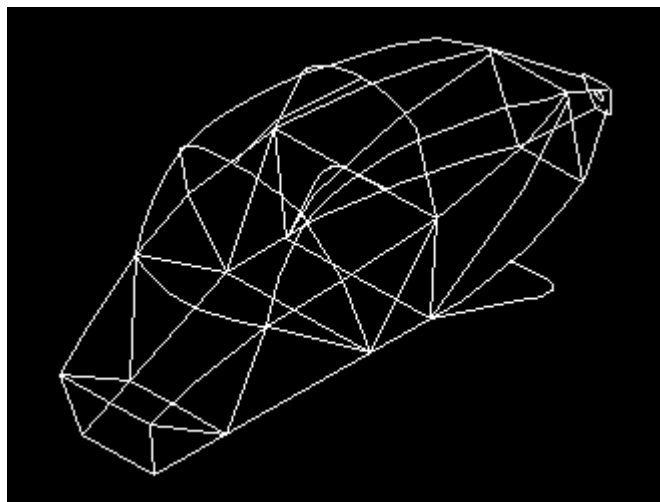


Figura 4.9 Modelo de alambre de la estructura del SandCar

4.5 MODELO SÓLIDO DEL SANDCAR TUBOLARE

Una vez que fueron depurados los errores de secciones abiertas del modelo en alambre, se procede a exportarlo a un programa mucho más potente que este para la creación y extrusión de sólidos el cual es Pro/ENGINEER. La exportación se puede hacer desde cualquier plataforma de AutoCAD pero es preferente usar la plataforma de Mechanical Desktop ya que cuenta con más herramientas de importación y a diferentes formatos como lo son .DXF .STEP etc.

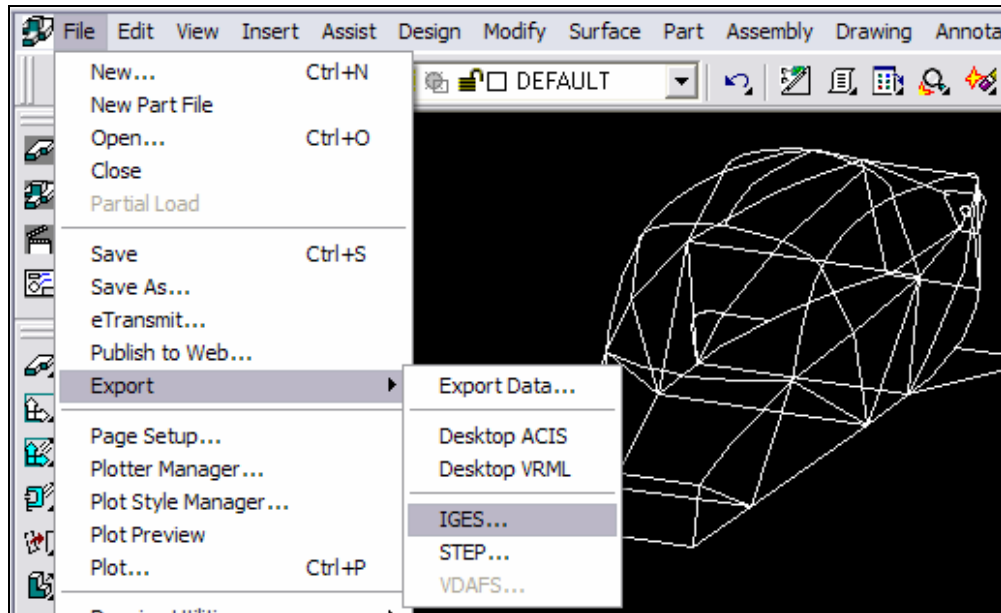


Figura 4.10 Exportación del modelo de alambre en formato IGES

En este caso exportaremos el modelo de alambre con formato .IGES, ya que es un formato reconocido por muchos programas CAD, se pueden leer sin tener demasiados problemas de transferencia de datos, como lo son la pérdida de superficies, o de curvas con ángulos muy cerrados.

Un archivo de tipo IGES por su acrónimo en inglés *Inicial Graphics Exchange Specification*, es un archivo para el intercambio de información CAD (ambos en 2D y en 3D). Un archivo IGES en 3D contiene la información de superficie y detalles de un *part*

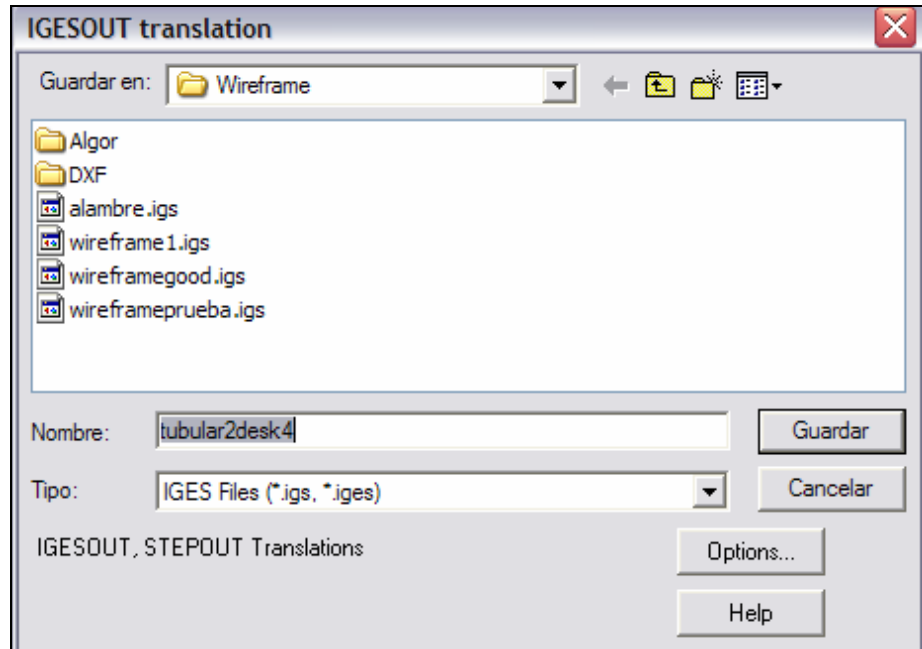


Figura 4.11 Ventana de exportación a formato .IGES

A pesar de esto las ventajas que ofrece el formato de archivos IGES entre los sistemas CAD es que por cada par de sistemas CAD dos traductores son requeridos, uno para cada dirección, por ejemplo, uno que produce el archivo de datos y otro que pueda leer el archivo de datos. El número de traducciones requeridas para un intercambio total entre un grupo de n sistemas CAD es $n(n-1)$. Y el número de traducciones requeridas para un intercambio de datos como IGES es simplemente $2n$, porque cada sistema CAD requiere sólo de dos traducciones (uno para la entrada y otro para la salida. Se puede notar que el número de intercambios requeridos para el formato IGES incrementa sólo linealmente con el número de sistemas CAD usados, mientras que el número de intercambios requeridos para la traducción directa incrementa al cuadrado de los sistemas CAD usados.

Una vez que se exporta el modelo se guarda automáticamente con la extensión IGES, se puede trabajar con el programa CAD que se desee, incluso hasta este punto es

teóricamente posible exportar este modelo de alambre, hacia el programa de elementos finitos ALGOR, sin embargo ALGOR no lograría un mallado denso de este modelo y dados los objetivos planteados se desea que el modelo a analizar sea sólido. Es por eso que se utilizará para este objetivo el programa CAD Pro/ENGINEER.

Las capacidades de este programa son entre otras:

- Crear rápidamente modelos tridimensionales CAD sin mucha complejidad.
- El acceso es completamente paramétrico, los *features* son basados en un ambiente de modelado totalmente asociado
- Generar toda la información necesaria del producto automáticamente de un simple modelo de CAD.
- Optimizar los modelos a través de metas de diseño definidas.

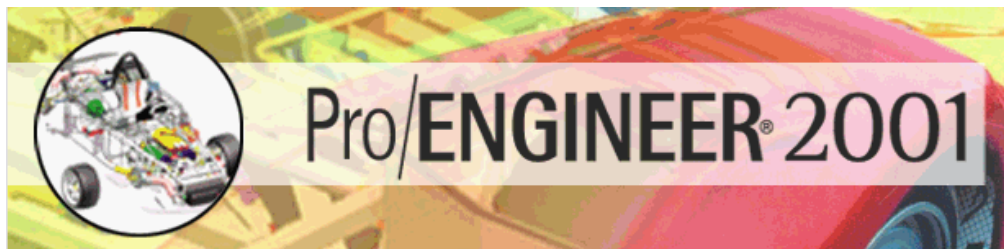


Figura 4.12 Rótulo emblema de la firma Pro/ENGINEER.

Una vez que se accesa al programa se abre el modelo que fue exportado de AutoCAD con la extensión IGES, este programa tiene la facilidad de abrir muchos tipos de formatos como lo son: .SET, VDA, DXF, STEP, CT (CATIA), VRML etc.

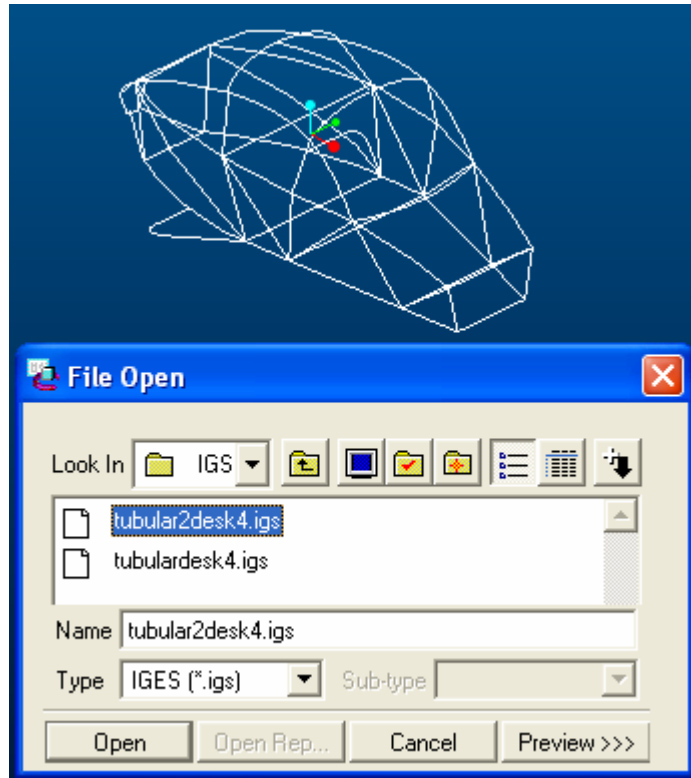


Figura 4.13 Ventana de aplicación en ProE (apertura de archivos IGES)

La exportación desde plataformas más nuevas como Mechanical Desktop 2004 de los archivos con extensión IGES, tiene ciertos inconvenientes, ya que no se completan ciertas zonas del modelo de alambre, es por eso que se exportó desde una versión anterior a esta, que permitió una transferencia completa de datos, sin añadir ni quitar líneas o curvas del modelo original.

Una vez que se ha abierto el modelo de formato IGES, podemos empezar a trabajar sobre él para darle forma a los sólidos que se desean de la estructura. Ya que nuestra medida de tubo es de 1 ½ pulgadas tenemos que convertir esta media a metros ya que nuestro modelo está escalado en metros. El comando que se utilizará para crear los elementos es llamado Pipe, el cual dando una serie de puntos a lo largo de una trayectoria determinada extruye un tubo sólido o hueco, con las caras cerradas o abiertas. Desde la

ventana del Menu Manager se puede acceder a este comando, una vez que se entra al comando Pipe nos pregunta los atributos del tubo, si es hueco o sólido, si tiene una sección de radio constante o variable, en el caso del modelo Tubolare tiene secciones transversales constantes, y como no contamos con el espesor de la pared del tubo, se extruirá de manera sólida. Estos atributos se pueden cambiar una vez hecho el elemento sólido, a continuación se pide la medida del diámetro exterior el cuál es .0381 mts, una vez que se accesa la medida el Menu Manager vuelve a aparecer para darle la trayectoria deseada, si es que se utilizara una spline, un sólo punto o un arreglo de una serie de puntos, estos se van seleccionando de manera progresiva a lo largo de la línea del modelo de alambre.

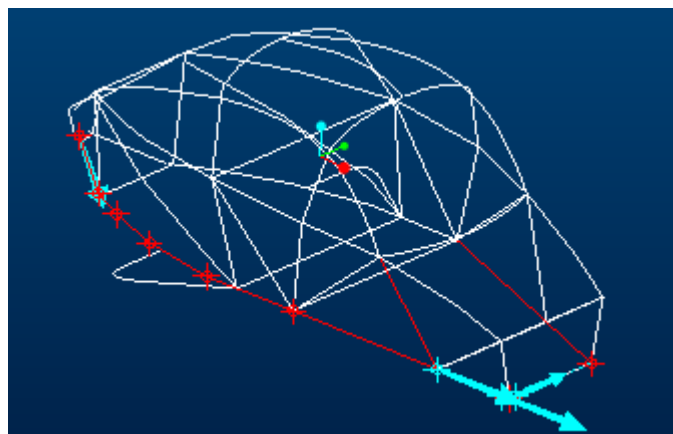


Figura 4.14 Ejemplos de puntos eleccionados para extruir el tubo

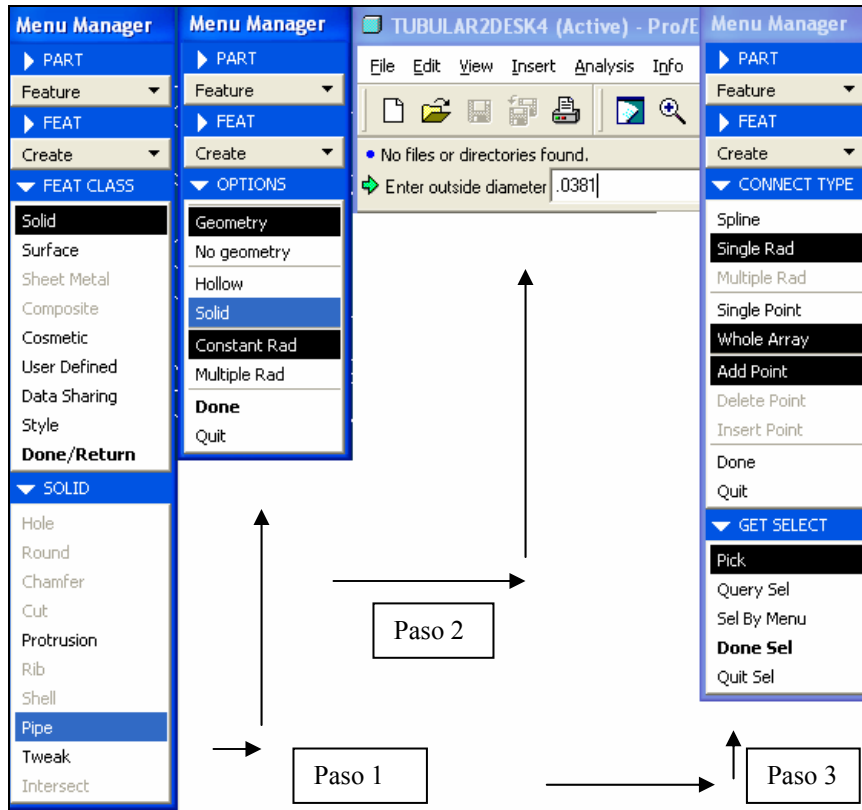


Figura 4.15 Cuadro que muestra los pasos para hacer elemento sólido

Esto se hace con cada una de las líneas que tiene la estructura del modelo de alambre, aunque algunas secciones por causa de geometría fueron reducidas una centésima parte para que se pudieran intersectar los elementos ya creados con los nuevos elementos, ya que había secciones en las que se intersectaban más de tres elementos y esto ocasionaba una interferencia entre los elementos.

Los errores de geometría son depurables con el comando Quick Fix y es necesario cambiar los atributos y la trayectoria del elemento o también con el comando Modify, en donde se cambian las medidas del elemento.

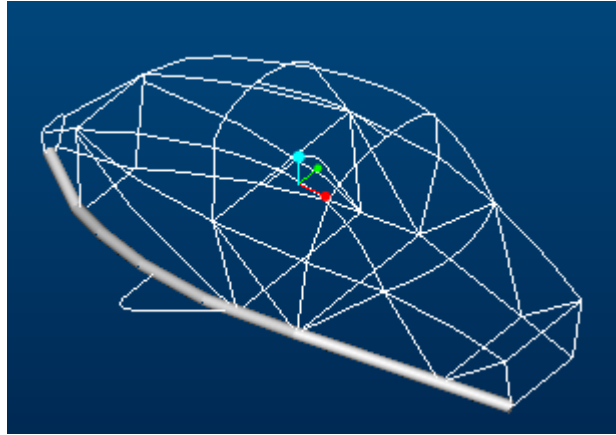


Figura 4.16 Tubo extrudido en el modelo de alambre

El modelo de alambre también necesitó la ayuda de otros comandos para extrudir material en forma cilíndrica en secciones difíciles de controlar una trayectoria por puntos, como lo es el comando Sweep, este comando solo necesita la trayectoria en forma de una línea para poder extrudir el material. Sin embargo necesita dibujarse la sección transversal ya que no se implementa el mismo método que tiene el comando Pipe para hacer estos elementos sólidos

Es así como el modelo sólido fue exitosamente hecho, de tal manera que no se muestran elementos fuera de la estructura. Esta representación gráfica nos da una mejor idea de cómo se vería el modelo real, y a su vez tiene propiedades geométricas que un modelo de alambre no tiene, asumiendo que se pueda exportar al programa de elementos finitos el modelo es perfecto para hacer el análisis de cargas estáticas sobre un automóvil tipo buggy.

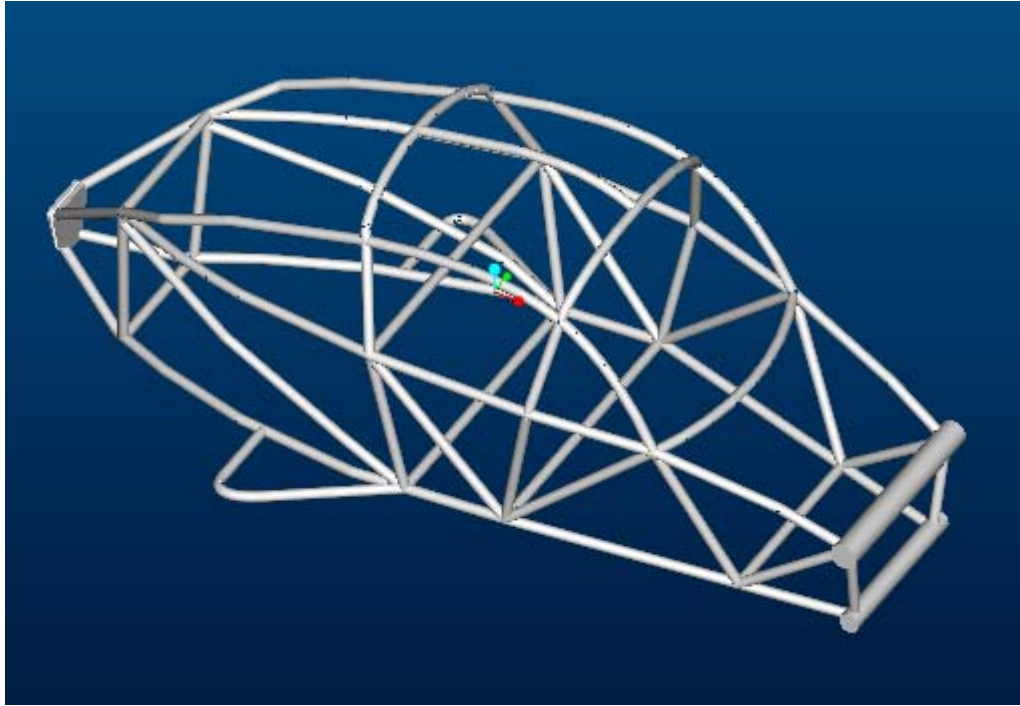


Figura 4.17 Modelo sólido del Sandcar Tubolare en Pro/E.

Los sólidos hechos en los programas han servido de mucho en estos últimos días en diferentes aplicaciones, como en la manufactura integrada por computadora donde se pueden hacer prototipos rápidos en base a un archivo CAD, y en este caso al análisis de elementos finitos es una innovación que mejora los procesos de diseño y de transferencia de datos de un programa a otro.