

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



UTILIZACION DE LA COMPUTADORA COMO HERRAMIENTA  
EN EL DISEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS

POR

ING. ALFREDO ALAVEZ MURILLO

TESIS

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN  
CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA CON  
ESPECIALIDAD EN DISEÑO MECANICO

MONTERREY, NUEVO LEON      DICIEMBRE DE 2002



AAM

LETITIAZACION DE LA COMERCIALIZACION  
FIN DE DISERNO DE FILIBANTOS DE KMAOULINAS

TM  
Z5853  
.M2  
FIME  
2002  
A482

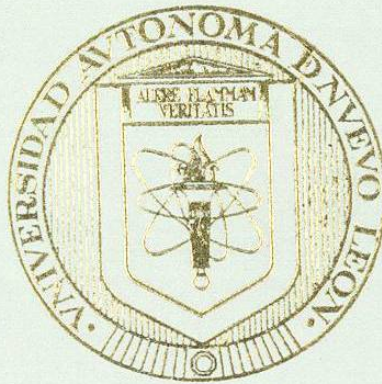


1020149787

# UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



## UTILIZACION DE LA COMPUTADORA COMO HERRAMIENTA EN EL DISEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS

POR

ING. ALFREDO ALAVEZ MURILLO

**TESIS**

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN  
CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA CON  
ESPECIALIDAD EN DISEÑO MECANICO

MONTERREY, NUEVO LEON    DICIEMBRE DE 2002

981 415

TH  
Z 5853  
.M2  
FINE  
2002  
.A482



FONDO  
TESIS



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



UTILIZACION DE LA COMPUTADORA COMO HERRAMIENTA  
EN EL DISEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS

POR

ING. ALFREDO ALAVEZ MURILLO

TESIS

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN  
CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA CON  
ESPECIALIDAD EN DISEÑO MECANICO

MONTERREY, NUEVO LEON DICIEMBRE DE 2002

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POST-GRADO

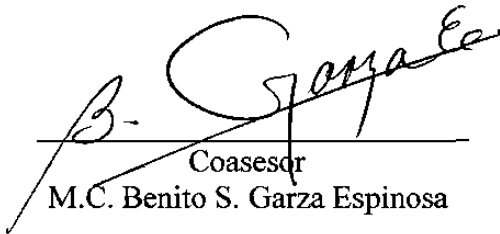
Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis “Utilización de la computadora como herramienta en el diseño de elementos de máquinas” realizada por el alumno Ing. Alfredo Alavez Murillo, matrícula 617874 sea aceptada para su defensa como opción al grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica con especialidad en Diseño Mecánico.

El Comité de Tesis



Asesor

M.C. Daniel Ramírez Villarreal



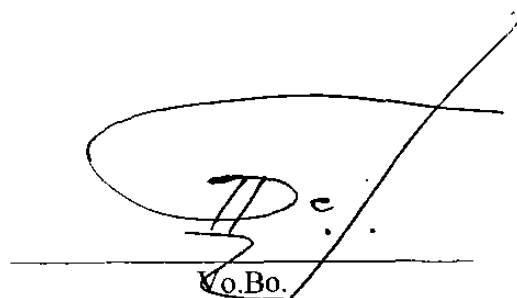
Coasesor

M.C. Benito S. Garza Espinosa



Coasesor

M.C. Moisés Espinoza Esquivel



Vo.Bo.

Dr. Guadalupe Alan Castillo Rodríguez  
División de Estudios de Post-grado

San Nicolás de los Garza, N.L. a Diciembre de 2002

# PRÓLOGO

El autor de esta tesis pretende hacer que su trabajo tenga la finalidad de demostrar las características de un software de modelación paramétrica tridimensional muy práctico y útil en ingeniería llamado Mechanical Desktop, en el que se dibujarán paso por paso varias piezas pertenecientes a un gato mecánico o de tornillo, las editará y posteriormente las ensamblará en un mecanismo.

También se pretenden demostrar las cualidades que tiene este programa en la resolución de problemas sobre el análisis de elemento finito comparándolo con otros métodos de resolución de análisis de elemento finito, debiendo ser estos otros métodos de carácter matemático para su precisa comprobación.

En ellos se desarrollarán conceptos básicos sobre elemento finito como son obtención de la matriz de rigidez del elemento y del sistema, condiciones de frontera, cálculos de esfuerzo bajo el método de Galerkin.

Por lo tanto el contenido de esta tesis bien puede ser usado con fines didácticos y académicos en las áreas de ingeniería mecánica o por lectores autodidactas quienes gusten de aprender de un tema aun no muy desarrollado en México.



# INDICE GENERAL

	Página
<b>Síntesis</b>	1
<b>1.- Introducción</b>	3
1.1.- Planteamiento del problema	3
1.2.- Objetivo de la Tesis	3
1.3.- Hipótesis	3
1.4.- Límites del estudio	4
1.5.- Justificación	4
1.6.- Metodología	4
1.7.- Revisión bibliográfica	4
<b>2.- El Espacio de Trabajo del Mechanical Desktop</b>	6
2.1.- Introducción	6
2.2.- Como entrar al Mechanical Desktop	7
2.3.- El espacio de trabajo en el Mechanical Desktop	8
2.4.- El buscador de comandos	8
2.5.- Hacer cambios en un modelo paramétrico	9
2.6.- Nombrando vistas	10
2.7.- Modalidades de sombreado	10
2.8.- Imprimiendo una vista coloreada	11
<b>3.- Creación del eslabón inferior y superior</b>	12
3.1.- Creando un nuevo archivo	12
3.2.- Primeras decisiones para modelos sólidos	13
3.3.- El uso de comandos de dibujo en 2D	13
3.4.- Creación de un perfil	14
3.5.- Restricciones del perfil	14
3.6.- Creación de una característica a partir del bosquejo	17
3.7.- Estipulación de propiedades en la ventana del buscador	17
3.8.- Selección de un nuevo plano	18
3.9.- Creación del refuerzo del eslabón	19
3.10.- Extruyendo una característica con la restricción de “join”	20
3.11.- Proyección geométrica de un “sketch”	20
3.12.- Añadiendo agujeros para “pines”	21
3.13.- Modificación de la extrusión del refuerzo	24
<b>4.- Creación de la base</b>	25
4.1.- Usando funciones para el “sketcher”	25

4.2.- Haciendo el perfil de la base	25
4.3.- Extruyendo la base y creando un plano de trabajo paramétrico	26
4.4.- Bosquejando la vista frontal	28
4.5.- Intersectando dos extrusiones	28
4.6.- Quitando material con la extrusión de corte	29
4.7.- Bosquejando el bloque central	32
4.8.- Añadiendo agujeros para “pines”	34
<b>5.- Creación del apoyo del mecanismo</b>	<b>35</b>
5.1.- Introducción	35
5.2.- Perfiles y extrusiones del apoyo	35
5.3.- Anexión del corrugado superior	38
5.4.- Creación de un patrón	40
<b>6.- Creación de partes en revolución</b>	<b>42</b>
6.1.- Hechura de la arandela	42
6.2.- Creación del “pin” o remache	45
6.3.- Creación de la guía del tornillo	47
6.4.- Creación del tornillo	49
<b>7.- Ensamble de las partes del mecanismo</b>	<b>51</b>
7.1.- Introducción	51
7.2.- Añadiendo partes externas con el catálogo	52
7.3.- Creación de restricciones	55
<b>8.- Análisis matemático del mecanismo</b>	<b>62</b>
8.1.- Análisis de la estructura por el método de nodos	62
8.2.- Cálculo de los momentos	66
8.3.- Cálculo del momento de inercia de los eslabones superiores	68
8.4.- Cálculo del momento de inercia de los eslabones inferiores	69
8.5.- Cálculos de los esfuerzos totales	70
<b>9.- Análisis de la estructura por el método del análisis del elemento finito</b>	<b>71</b>
9.1.- Introducción	71
9.2.- Reseña histórica	71
9.3.- Sistemas de coordenadas locales y totales	72
9.4.- Fórmulas para calcular $k$ y $m$	73
9.5.- Matrices de rigidez, del elemento y global	73
9.6.- Cálculos de esfuerzo	74
9.7.- Operaciones en la solución del mecanismo	75
<b>10.- Comprobación de resultados por mechanical desktop</b>	<b>83</b>



10.1.- Introducción	83
10.2.- Ubicación de las fuerzas axiales en los eslabones superiores	84
10.3.- Ubicación de las fuerzas de flexión en los eslabones superiores	86
10.4.- Ubicación de las fuerzas axiales y de flexión en los eslabones inferiores	87
<b>11.- Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>89</b>
11.1.- Conclusiones	89
11.1.1.- Métodos de solución	89
11.1.2.- Esfuerzos principales	89
11.2.- Recomendaciones	90
<b>Bibliografía</b>	<b>91</b>
<b>Lista de tablas</b>	<b>92</b>
<b>Lista de figuras</b>	<b>93</b>
<b>Glosario</b>	<b>96</b>
<b>Autobiografía</b>	<b>98</b>

# SÍNTESIS

Es una tesis que pretende desarrollar los conocimientos prácticos, computacionales y técnicos sobre la modelación de sólidos en Ingeniería de Diseño Mecánico, ello a través de un ejemplo práctico que será la construcción de un gato mecánico.

Dicho mecanismo será dibujado mediante la utilización del programa Mechanical Desktop como programa de dibujo, de primera instancia. Primero se construirán completamente y paso por paso, todos y cada uno de sus componentes y posteriormente se ensamblarán en lo que vendrá a conformar el mecanismo a estudiar.

Una vez hecho esto se analizará el ensamble mediante fórmulas de aproximación que mucho tienen que ver con lo aprendido en licenciatura; después se le estudiará a través de un método de análisis de elemento finito llamado Método de Galerkin dando en éste un enfoque introductorio en el que no profundizaremos en lo absoluto en las demostraciones matemáticas que dieron origen a las fórmulas que llegaremos a utilizar de manera práctica ya que *no es la finalidad de esta tesis y por último estudiaremos los componentes principales que son los eslabones del mismo mecanismo en el software Mechanical Desktop y sus resultados serán vistos como medio de comprobación a los otros dos.*

El lector descubrirá que usando el método de elemento finito (Método de Galerkin) se involucran matrices de sistemas de ecuaciones lineales en las que es muy recomendable que las fórmulas allí expuestas sean traducidas a un programa en algún lenguaje de computación para su mayor agilidad.

He dejado el estudio del análisis de elemento finito a través del Mechanical Desktop al final debido a que es necesario que el lector sepa lo que esperará ver y obtener en un programa de esta naturaleza y eso solo lo consigue a través de la ejecución de cualquiera de los dos anteriores métodos matemáticos.



Cabe mencionar de antemano que este software no se distingue por ser un programa de análisis de elemento finito sino de modelación paramétrica de sólidos, afortunadamente cuenta con un módulo, aunque sencillo, de “FEA”.

Otra cosa que es necesario mencionar es que para comprender esta tesis se asume que el lector ya cuenta con los conocimientos y bases necesarios en la utilización del AutoCad que sirve de plataforma de dibujo al Mechanical Desktop, además de contar con conocimientos suficientes de estática y álgebra vectorial.

# **1.- INTRODUCCIÓN**

## **1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los cálculos laboriosos, que consumen tiempo se pueden realizar en segundos y los errores se reducen al mínimo mediante la computadora y el Mechanical Desktop, los cuales son capaces de determinar gran parte de las decisiones que por lo regular toman los diseñadores además de presentar los resultados de la información de una forma muy entendible.

## **1.2.- OBJETIVO DE LA TESIS**

El objetivo de esta tesis es el de aplicar y conocer la didáctica de los paquetes computacionales existentes como asistencia al diseño, estudio y análisis de eslabones de mecanismos, hecho ello por un estudio a través de la modelación de sólidos y el análisis de elemento finito, llevando un especial enfoque de aplicación a los laboratorios de diseño de elementos de máquinas para nivel de licenciatura.

## **1.3.- HIPÓTESIS**

Es de vital importancia para un ingeniero mecánico el saber y comprobar que los resultados matemáticos de un estudio de esfuerzos en una estructura mecánica coincidan aproximadamente con algún programa de análisis de elemento finito, sin dejar dudas o suposiciones en sus resultados obtenidos al respecto, ya que los programas en sí pueden ser más eficientes si se les maneja teniendo los conocimientos suficientes sobre el tema.



## **1.4.- LÍMITES DEL ESTUDIO**

Desgraciadamente el programa computacional Mechanical Desktop que se muestra en esta tesis no fue creado con la directriz de llegar a resolver todo tipo de problemas, sino sólo unos cuantos modelos de ellos, es decir existen restricciones en la utilización de él, como por ejemplo las restricciones que haremos en esta tesis para el análisis del ensamble del mecanismo (gato mecánico) será eliminar los chaflanes y superficies complejas en los componentes de tal mecanismo.

## **1.5.- JUSTIFICACIÓN**

Esta tesis ha sido escrita para complementar las necesidades en los programas académicos de laboratorios de diseño de elementos de máquinas y proporcionar esta tesis como material de apoyo a nivel licenciatura tomando en cuenta que el uso de las computadoras hoy en día en la vida profesional de cualquier persona, es el de una herramienta esencial en la resolución de tareas y problemas que, si se realizaran en la forma tradicional significaría muchas horas – hombre en el trabajo a realizar.

## **1.6.- METODOLOGÍA**

El capítulo 2 presenta al programa Mechanical Desktop con el objeto de una breve familiarización. El capítulo 3 presenta los pasos necesarios y detallados para la creación de los eslabones superiores e inferiores. El capítulo 4 nos enseña como se dibuja la base del mecanismo. En el capítulo 5 se muestra la hechura del apoyo del mecanismo con nuevas e interesantes funciones. El capítulo 6 es el único que contiene varias piezas, a saber, la arandela, el tornillo y la guía ya que todas ellas son hechas casi bajo un mismo sistema. En el capítulo 7 ensamblaremos las piezas del mecanismo. En capítulo 8 empezamos a estudiar con el tradicional sistema de licenciatura los esfuerzos de los eslabones. En el capítulo 9 hacemos tal estudio con el sistema de Galerkin de análisis de elemento finito. Y terminamos el estudio con el capítulo 10 sobre la simulación de esfuerzos en computadora a través del Mechanical Desktop..

## **1.7.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

En especial debo mencionar a dos libros de los cuales pude aprender a aplicar el Método de Galerkin que es un método muy práctico de análisis de elemento finito, primero se encuentra el libro “Finite Element Procedures” del autor Klaus-Jürgen Bathe

donde dicho método se deduce del Método de la energía potencial, de este libro lo que he tomado son sólo las fórmulas de aplicación práctica a problemas ingenieriles de estructuras bidimensionales, tal recavación de información fue complementada con la lectura del libro “Non Linear Finite Elements for Continua and Structures” del autor T. Beytschko.

## **2.- EL ESPACIO DE TRABAJO DEL MECHANICAL DESKTOP**

### **2.1.- INTRODUCCIÓN A LA MODELACIÓN PARAMÉTRICA A LA MODELACIÓN PARAMÉTRICA**

El Mechanical Desktop tiene tres o más aspectos en el proceso de la modelación; las partes, las cuales son modelos de objetos que típicamente están fabricados a partir de un material en una sola pieza; los ensambles, en los que varias partes son combinadas juntas en un aparato funcional; y dibujos, que muestran vistas bidimensionales proyectadas apropiadas para las impresiones.

Separando estos diferentes aspectos de la modelación, cada parte individual debe ser diseñada o especificada de tal forma que pueda ser fabricada.

Estas partes deben de embonar juntas correctamente a modo de que puedan ser ensambladas en un equipo. La finalidad de tener dibujos es la de documentar las partes y ensambles para pasar esta información al fabricante y trabajadores, además de tener un archivo de diseño.

Así las tres funciones básicas de la modelación crean cierta especialización, ya que cuando se varía algo en una de ellas se deben de reflejar estos cambios en las otras etapas, sin embargo con el uso de la modelación paramétrica se puede lograr esto casi automáticamente.

## 2.2.- COMO ENTRAR AL MECHANICAL DESKTOP

Usando el ícono del Mechanical Desktop situado en el “escritorio” dé doble clic y la ventana de Mechanical Desktop aparecerá en la posición central, como se muestra en la figura 2.1.

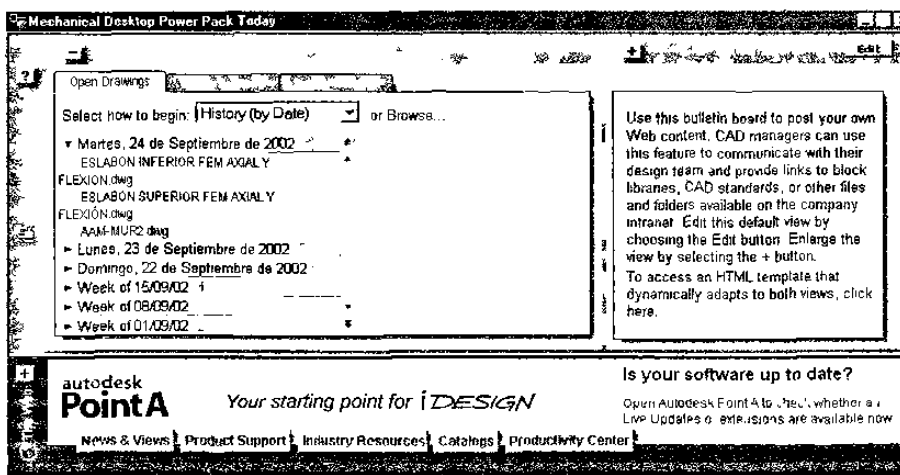
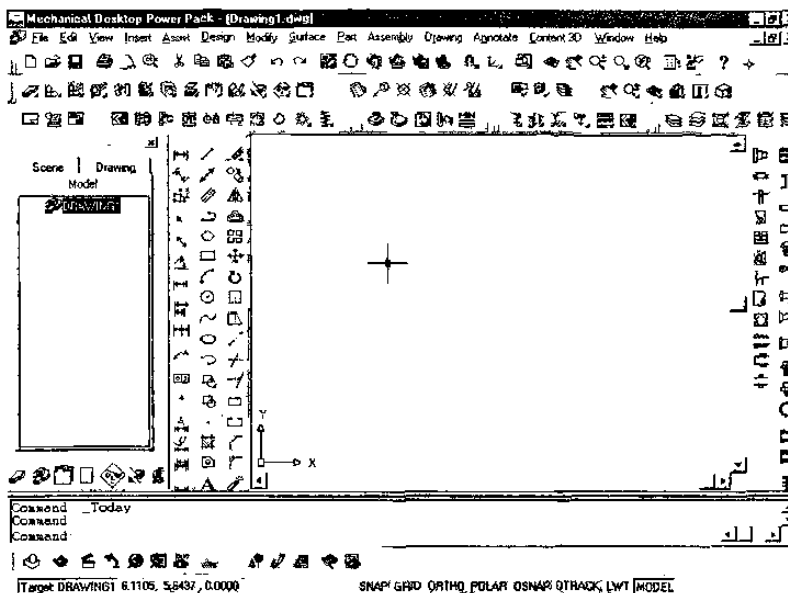


Figura 2.1 Ventana de entrada al Mechanical Desktop

Esta ventana le permite personalizar su espacio de trabajo. Las tres pestañas le permiten acceder rápido a los archivos que usted haya usado recientemente, empezar uno nuevo, o cargar librerías de símbolos. Como no la usaremos por el momento, la cerraremos y lo que veremos será la siguiente pantalla, la cual muestra los íconos, el espacio disponible en blanco, los menús, etc. Ver figura 2.2.

Figura 2.2 Ventana del Mechanical Desktop





## 2.3.- EL ESPACIO DE TRABAJO EN EL MECHANICAL DESKTOP

Se muestran las áreas que componen la pantalla del espacio de trabajo del mechanical Desktop en la figura 2.3.

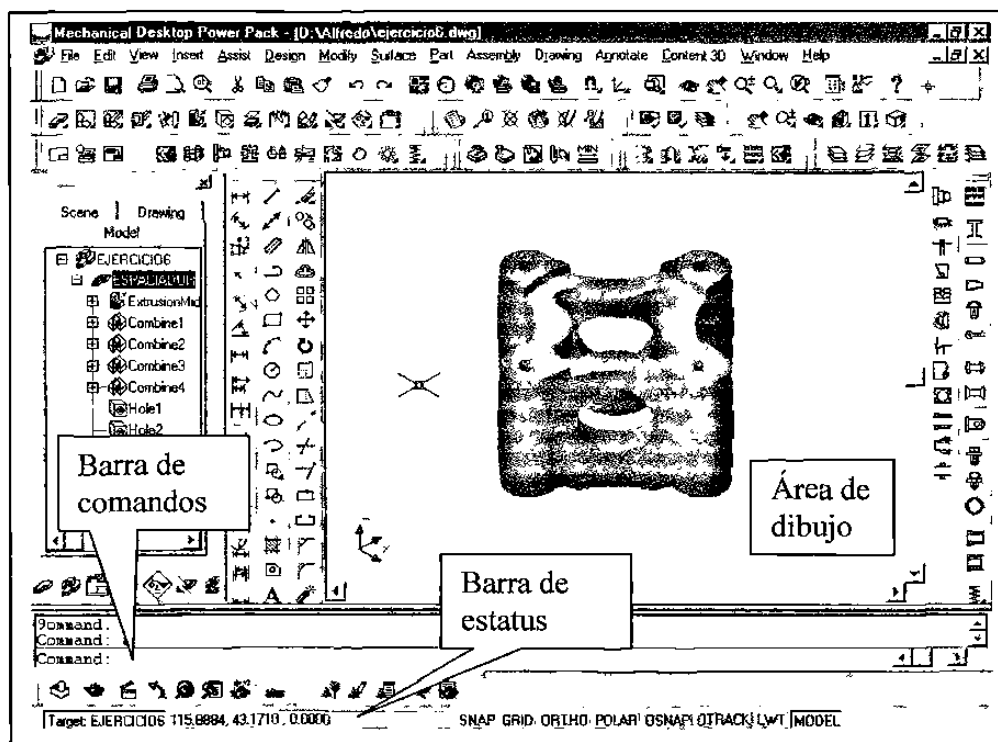


Figura 2.3 Áreas de trabajo

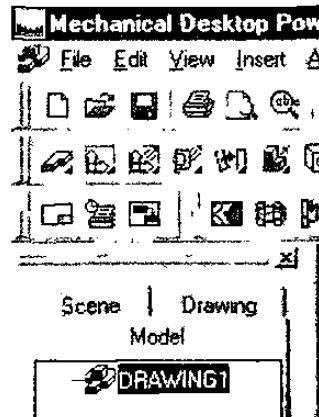
La barra de estatus despliega información relacionada a las estipulaciones activas y la barra de comandos reporta las acciones y le pregunta por ciertas selecciones que debe hacer. Cuando se llega a necesitar más espacio de trabajo será necesario quitar el árbol, lo cual puede hacer cancelándolo como cualquier otra ventana y podrá reaparecerlo desde el menú “View” (Ver), Display, Desktop Browser.

## 2.4.- EL BUSCADOR DE COMANDOS

Cada proyecto de Mechanical Desktop puede contener diferentes tipos de información en un solo archivo. Las cuales pueden ser mostradas a través de tres

diferentes secciones dentro del Árbol, según como se ve en la figura 2.4.

Figura 2.4 Comandos o secciones del Buscador



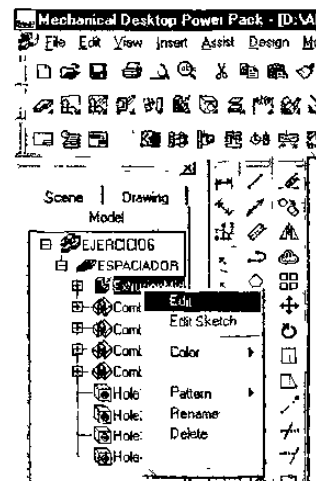
El comando o sección de Modelo (Model) muestra los ensambles, partes y características que constituyen un modelo paramétrico en 3D.

El comando o sección de Escena (Scene) muestra un ensamble desde diferentes vista con el objetivo de facilitar su análisis. Además se incluye una opción que es “Exploded” la cual crea un explosionado del ensamble y, el factor de explosionado determina la lejanía de los componentes entre sí.

## 2.5.- HACER CAMBIOS EN UN MODELO PARAMÉTRICO

La ventaja del uso de la modelación paramétrica es que el modelo puede ser cambiado fácilmente cambiando a su vez los tamaños y relaciones que lo definen. Los cambios podrán ser hechos a través de los comandos de “Model”, “Scenes” y “Drawing”, como se ven en la figura 2.5, en donde observamos que se puede editar lo hecho ya desde el Árbol.

Figura 2.5 Modificación de un comando a través del “Browser”



## 2.6.- NOMBRANDO VISTAS

Cuando se está trabajando en un modelo, se puede conmutar entre las vistas para ayudarse en el análisis. Además el programa le permite asignar un nombre a cualquier vista y guardarla. Cada una de las vistas puede grabar información sobre el punto central, dirección de la vista, factor de acercamiento y perspectiva.

Pasos: Menú View, Named Views, y aparecerá la siguiente ventana.

Esta ventana le permitirá asignar un nombre a la vista que actualmente se visualiza en el área de dibujo. También le permite grabar junto con la vista de un sistema de coordenadas, veamos la figura 2.6.

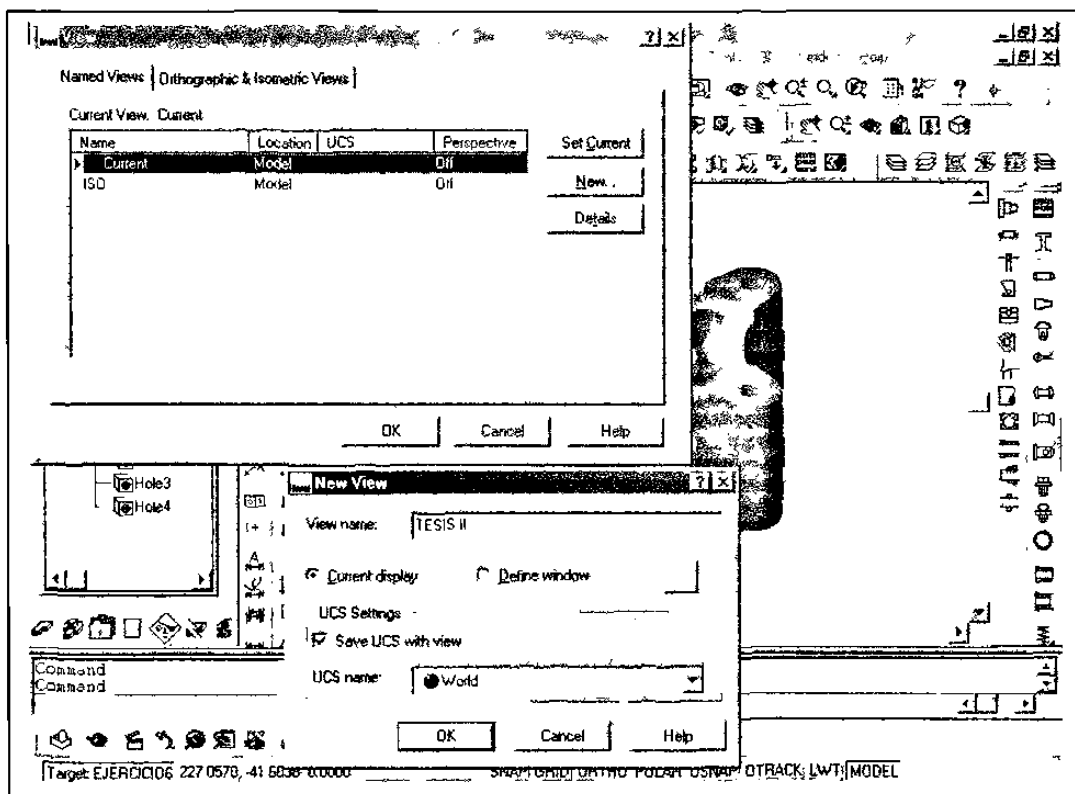


Figura 2.6 Creación de vistas

## 2.7.- MODALIDADES DE SOMBREADO

También se puede controlar la apariencia tridimensional del objeto. Los beneficios son mayor realismo y facilidad en la visualización pero tiene un inconveniente, que entre más real sea el sombreado más recursos de la computadora demandará, por lo que tendrá

que regresar al modo de “alambrado”, es decir, aquél que muestra sólo las aristas de los cuerpos.

## **2.8.- IMPRIMIENDO UNA VISTA COLOREADA**

De primera instancia se puede imprimir la vista coloreada con la opción de “print”, pero también se ofrecen ciertas opciones con el comando de “Render”, por ejemplo, ofrece control sobre los colores, definición, iluminación, fondo y materiales de recubrimiento. Se puede incluso dar un coloreado del modelo y direcciones hacia un archivo el cual posteriormente podría ser abierto en otro programa.



## 3.- CREACIÓN DEL ESLABÓN INFERIOR Y SUPERIOR

### 3.1.- CREANDO UN NUEVO ARCHIVO

La ventana del mechanical desktop Today aparece en su pantalla recién ingresa al programa o cuando se pretende hacer un nuevo archivo. Por lo que se elige el comando de “Create Drawing” (crear dibujo) y en el menú se elige “Start from Scratch” (empezar desde un bosquejo) asimismo se seleccionan unidades métricas o inglesas, en este caso elegiremos pulgadas. Ver figura 3.1.

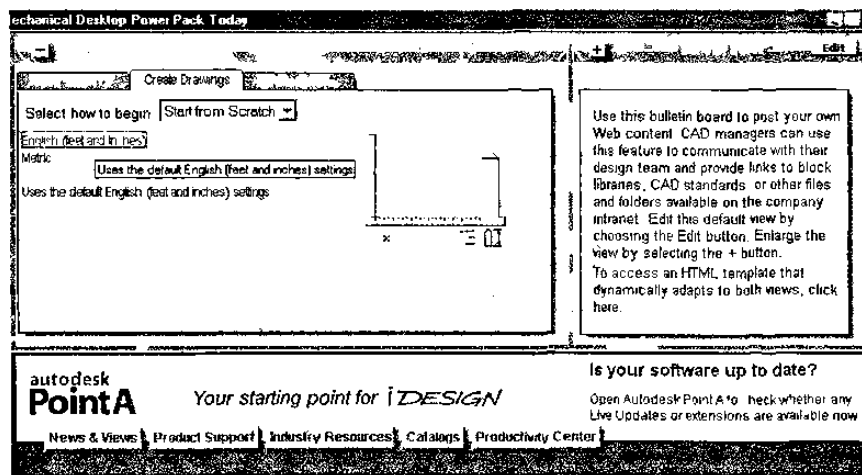


Figura 3.1 Ventana de creación de un nuevo archivo

### 3.2.- PRIMERAS DECISIONES PARA MODELOS SÓLIDOS

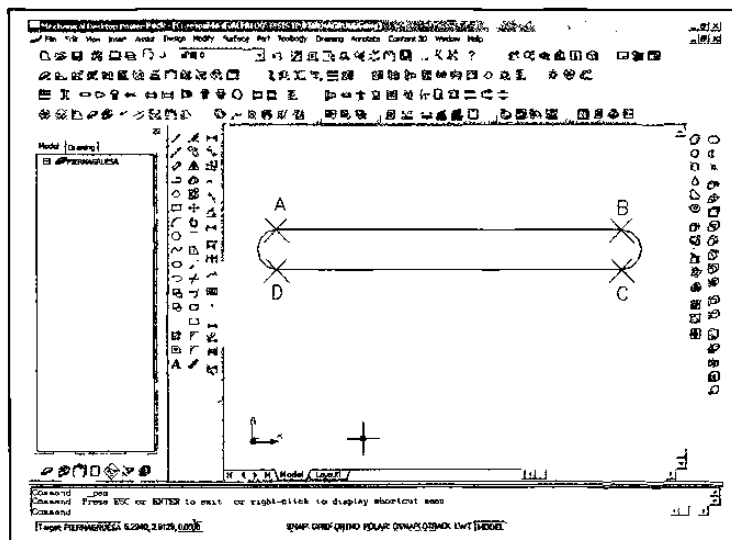
Uno de los primeros pasos en la modelación sería pensar en lo que haría una buena base o comienzo para la parte. Debido a que otras partes serán derivadas por anexión o sustracción de la anterior. También se puede considerar el cómo orientar el bosquejo inicial con respecto al plano de construcción; comience desbaratando mentalmente la parte en otras más pequeñas y piense acerca de la función de la parte que está tomando como base.

Pregúntese cosas como: ¿Cómo iría cambiando la parte base según se vayan haciendo nuevos cambios en ella, avanzando en el diseño? ¿Ella se conectará con otras partes o las otras con ella? etc.

### 3.3.- USO DE COMANDOS DE DIBUJO EN 2D

Decidamos comenzar por uno de los eslabones que componen el gato: Se dibujará una polilínea como se muestra en la figura 3.2, tratando de ser lo más exacto posible aunque cabe mencionar que los bosquejos en la modelación paramétrica no tienen que ser exactos. (recuerde que la polilínea es una serie de líneas y arcos conectados entre sí y que se comportan como un objeto).

Úsese el “Osnap” con endpoint.



Dibuje una línea recta de los puntos A a B

En B presione la letra “a” para cambiar a la modalidad de arco, llegando al punto C

Presione la letra “l” para regresar a la modalidad de línea

Dibuje otra línea recta de los puntos C a D

Figura 3.2 Bosquejo de la base del vástago

### 3.4.- CREACIÓN DE UN PERFIL

El siguiente paso es crear el perfil, el cual es un bosquejo de la sección transversal o la periferia de una figura. En el proceso de crear figuras en 2D como perfiles el mechanical desktop analiza lo dibujado y aplica restricciones. Las restricciones mencionadas son condiciones que determinan las propiedades geométricas del dibujo. Las restricciones aplicadas a un bosquejo determinan las formas en las que cambiará cuando sea modificado después: y controlan propiedades tales como tangencialidad, perpendicularidad, paralelismo, concentricidad, dimensiones, etc.

Seleccione el botón de “profile a sketch” y se verá en la barra de comandos que el programa necesita solucionar 2 restricciones que son aparte de las que el programa aplica.

Dependiendo de la forma en que el bosquejo sea dibujado es el número de restricciones que recibiremos una vez que convirtamos el bosquejo en perfil. El programa no le permitirá excederse en la anexión de dimensiones u otras restricciones geométricas, es decir, no se permite la sobredeterminación del bosquejo.

### 3.5- RESTRICCIONES DEL PERFIL

El primer paso es revisar las restricciones geométricas que han sido aplicadas al perfil por parte del programa y se hace de la siguiente manera, ver figura 3.3.

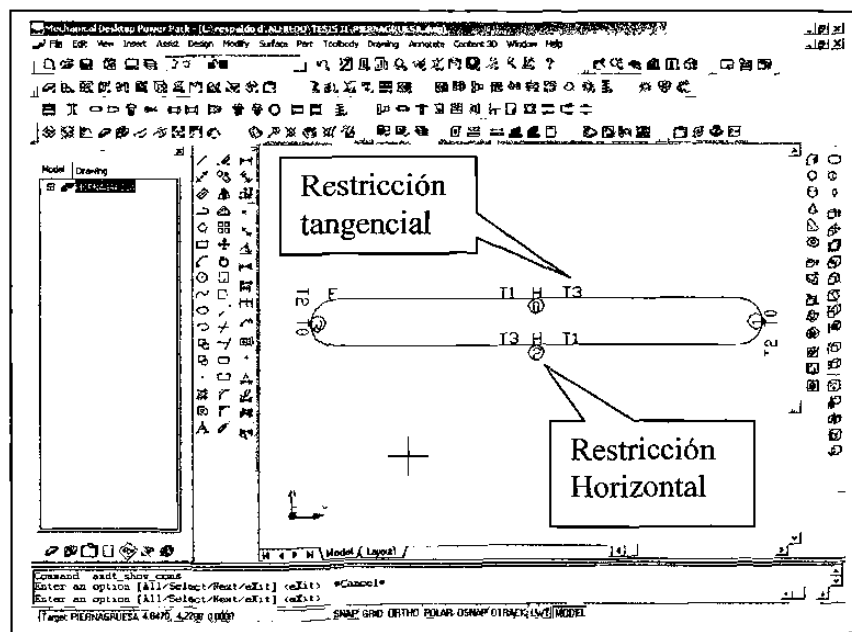


Figura 3.3 Analizando las restricciones aplicadas por el programa

Mechanical Desktop maneja 13 diferentes restricciones geométricas, la siguiente tabla identifica y proporciona una explicación para cada una, ver tabla 3.4.

Tabla 3.1

Símbolo	Descripción
H	La entidad es horizontal
V	La entidad es vertical
L	La entidad es perpendicular a la parte enumerada
P	El segmento es paralelo al segmento enumerado
T	El segmento es tangente al segmento enumerado
C	El segmento es colineal al segmento enumerado
N	El segmento es concéntrico al enumerado
J	El vértice se une a la proyección infinita de una línea, un punto, un arco o un círculo
X	El segmento tiene la misma abscisa
Y	El segmento tiene la misma ordenada
R	El segmento es igual en radio al segmento enumerado
E	El segmento es igual en longitud al enumerado
M	El segmento está reflejado de un segmento enumerado
F	El vértice indicado es el punto "corregido" para el bosquejo

En general es una buena práctica controlar la figura con restricciones geométricas primero y con dimensiones en segundo lugar.

Se pueden añadir o borrar restricciones como sea necesario para estabilizar la figura del perfil antes de que se añadan dimensiones para controlar el tamaño. Intente usando restricciones geométricas que reflejen el objetivo del diseño y lógicamente no añada restricciones innecesarias.

También es buena idea dibujar los segmentos del bosquejo lo más cercano a lo que se quiere, más que dejar que se arregle con las restricciones y dimensiones, ya que cuando el programa esté analizando la figura y aplicando restricciones, los segmentos pequeños comparados con otros pueden causar que las restricciones geométricas sean aplicadas de forma extraña y después se dificultarán para dimensionar.

En nuestro diseño casualmente no debemos de anexar más restricciones a las propias que ya estableció el programa, por lo que sólo faltarían dos dimensiones.

Primero activamos el comando de "New Dimension" como se ve en al figura 3.4



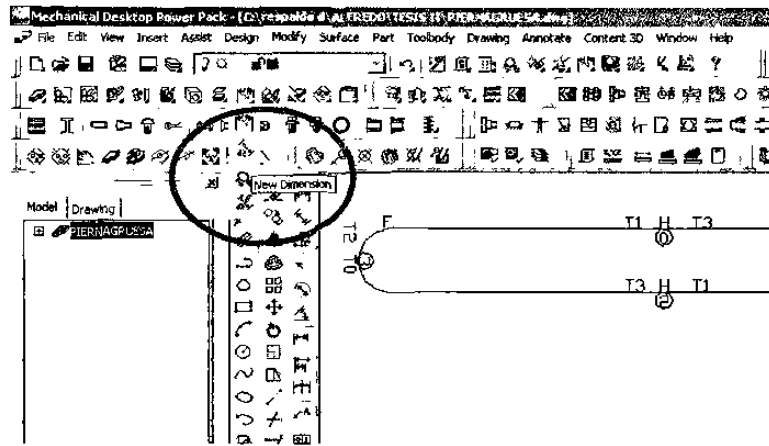


Figura 3.4. Localización del icono de “New Dimension”

Después de colocar las dimensiones veremos nuestro “perfil” como se ve en la figura 3.5. lo cual significa que geométrica y dimensionalmente ha quedado resuelto nuestro perfil.

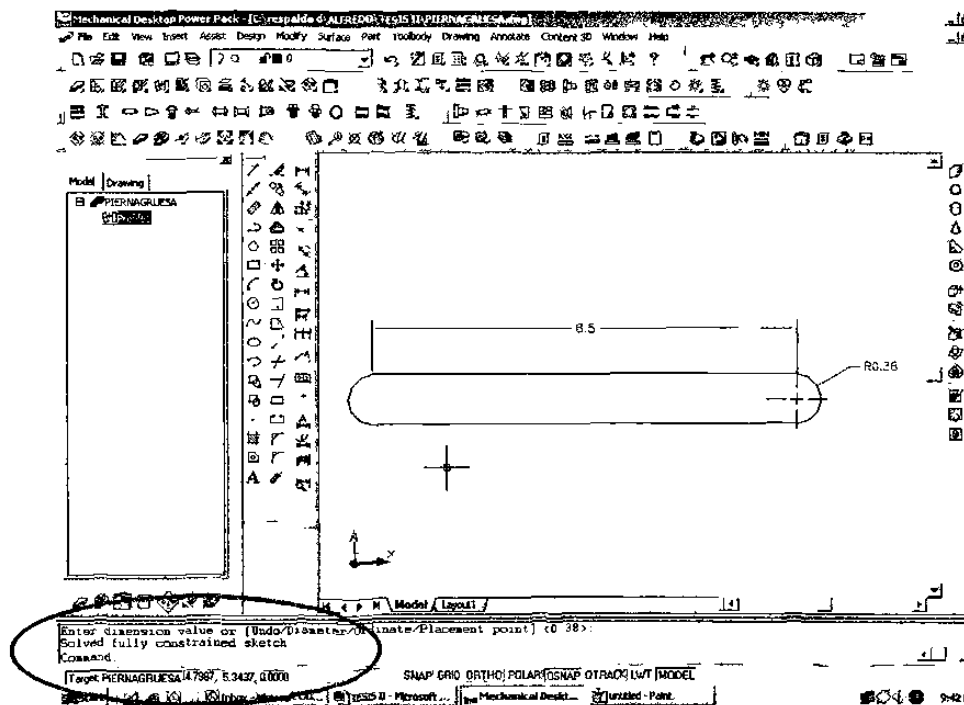


Figura 3.5 Resultado al concluir un perfil

### 3.6- CREACIÓN DE UNA CARACTERÍSTICA A PARTIR DEL BOSQUEJO

Una vez que se haya resuelto un “perfil” se podrán aplicar comandos tales como extrusiones, revolucionados, barridos, etc y otras funciones básicas en la modelación de sólidos. Veremos primero la extrusión para continuar creando uno de los eslabones superiores de nuestro diseño, cuya ventana se ve en la figura 3.6.

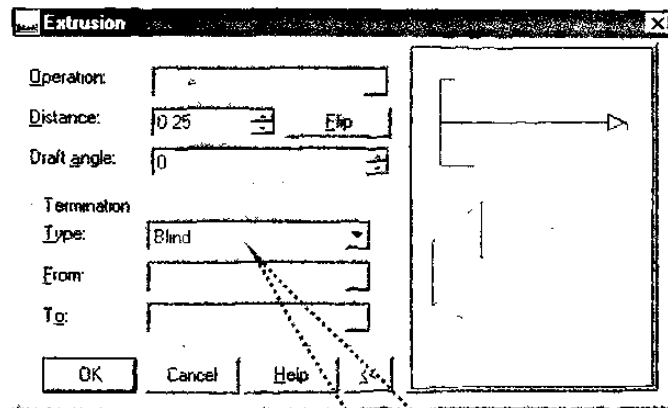


Figura 3.6 Ventana del comando de extrusión.

#### Tipos de terminaciones:

- 1.- “Blind”: la extrusión es para un solo lado a una determinada distancia.
- 2.- “Mid-plane”: la extrusión es para ambos lados a igual distancia.
- 3.- “To face/plane”: la extrusión es hecha hacia una cara o plano de trabajo seleccionados.
- 4.- “From-To”: la extrusión es de un plano de trabajo a otro.

### 3.7- ESTIPULACIÓN DE PROPIEDADES EN LA VENTANA DEL BUSCADOR

Ahora se puede usar el Árbol o “Browser” para activar las funciones relacionadas a la edición de los “perfiles”, como el color a rojo que es lo que cambiaremos como sigue, ver figura 3.7.

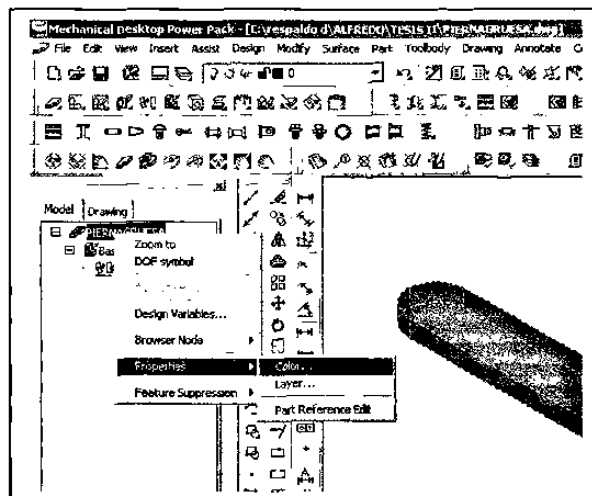


Figura 3.7 Cambio de color a través de las propiedades del buscador

### 3.8- SELECCIÓN DE UN NUEVO PLANO

Por omisión, mechanical desktop alinea el “sketch plane” con el sistema de coordenadas (WCS). Si desea crear un bosquejo en otra posición de la parte, deberá redefinir el lugar del plano. Recuérdese que toda la geometría del bosquejo, incluyendo las dimensiones y restricciones que definen su tamaño y su forma, deben encontrarse en el “sketch plane”. En la mayor parte de los casos, el plano se coloca sobre una cara plana existente de la parte. Cuando no existen caras planas para colocar el plano del bosquejo, es necesario posicionarlo sobre un “work plane” (plano de trabajo), o en circunstancias poco frecuentes, sobre un plano no paramétrico

Para crear un nuevo plano del bosquejo o “sketch plane” activamos el ícono mostrado en la figura 3.8.

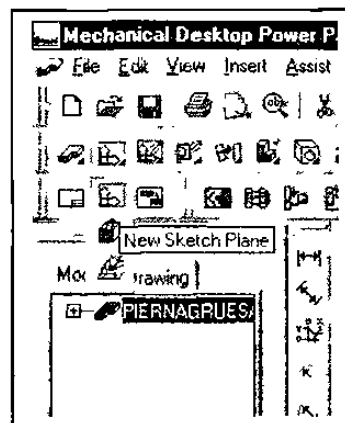


Figura 3.8 Ubicación del ícono de “New Sketch Plane”

Posteriormente lo ubicaremos sobre la cara superior de nuestro eslabón, como se ve en la figura 3.9.

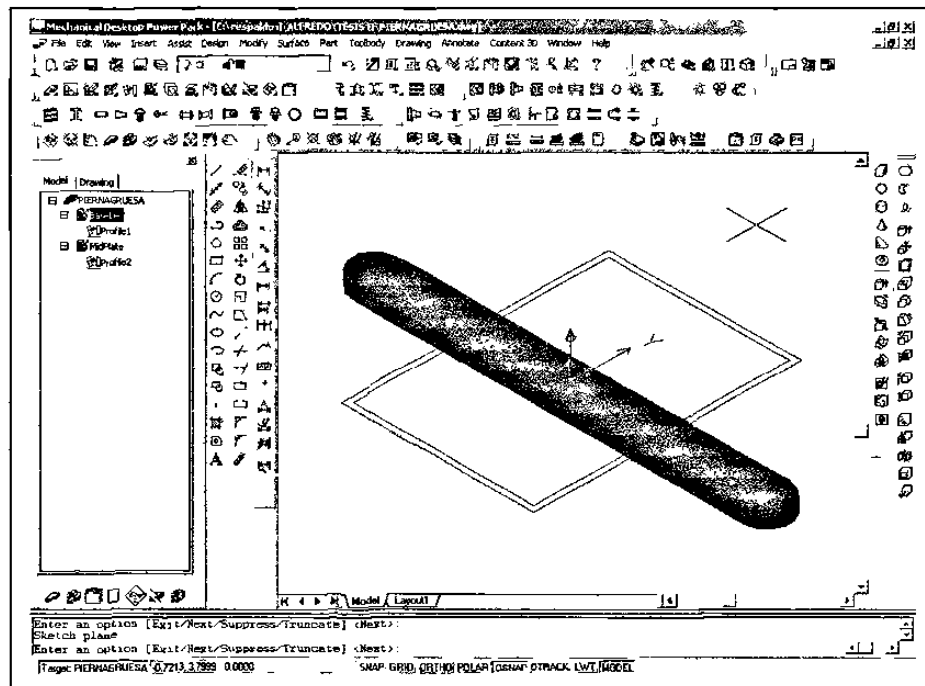


Figura 3.9 Ubicación del nuevo “sketch plane” sobre el sólido

### 3.9- CREACIÓN DEL REFUERZO DEL ESLABÓN

Ahora ya se puede estar listo para bosquejar el nuevo perfil. Esta vez se bosquejará en la vista isométrica. A veces esto es útil para que usted pueda ver como su bosquejo se acomoda en relación al resto de la parte. El refuerzo del eslabón superior deberá ser alineado con la orilla inferior del mismo. No es simétrico, de tal forma que se proveerán dimensiones que puedan ser usadas para moverlo.

Úsese el comando de rectángulo, el cual creará una polilínea, aplíquese el comando de “profile” o perfil.

Después se tendrán que anexar las restricciones del tipo colineal hacia uno de los lados del eslabón (el inferior) y después se colocarán dimensiones a izquierda y derecha (1.38 unidades) incluyendo el espesor del mismo (0.25 unidades), ver figura 3.10.

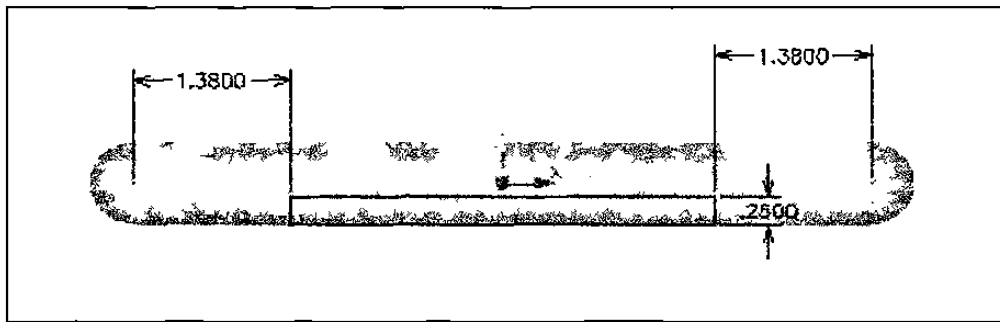


Figura 3.10 Acomodo del bosquejo del refuerzo sobre el eslabón

### 3.10.- EXTRUYENDO UNA CARACTERÍSTICA CON LA OPCIÓN DE “JOIN”

Ahora extruirá el bosquejo o “sketch” a una distancia de 1.5, quedando como se ve en la figura 3.11.

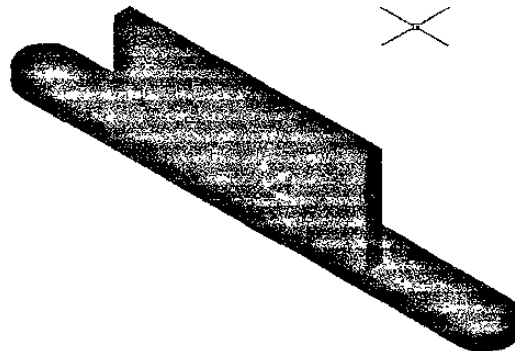


Figura 3.11  
Extrusión del  
refuerzo

### 3.11.- PROYECCIÓN GEOMÉTRICA DE UN “SKETCH”

El proyectar objetos a un plano le permite copiar la geometría existente para hacer un nuevo bosquejo en 2D. De tal forma que se pueden proyectar objetos en 2D u orillas de superficies de objetos en 3D a un “sketch plane” o a un plano de trabajo para llevar a cabo una copia exacta. Se proyectará la superficie inferior del eslabón para bosquejar su parte superior.

Primero con el botón derecho del ratón desplegamos el menú como sigue y elegimos la opción allí señalada en la figura 3.12.

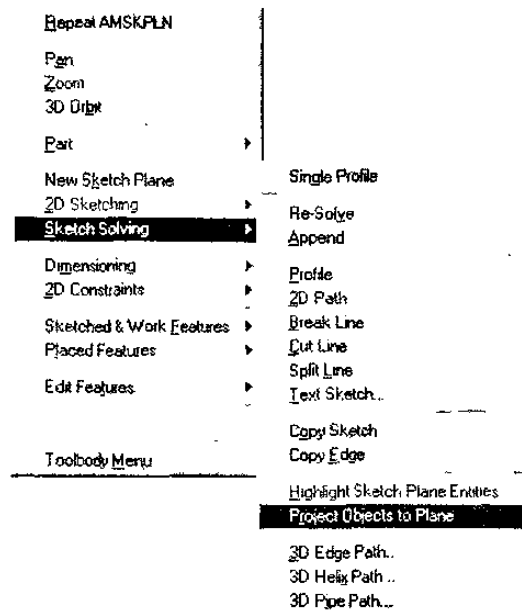


Figura 3.12 Selección de comandos para proyectar sobre un plano

Después seguimos volviendo perfil (“profile”) el bosquejo recién copiado, marcamos restricciones de tangencia, colinealidad y resolvemos el perfil para posteriormente extruir a un espesor de 0.25 como se ve en la figura 3.13.

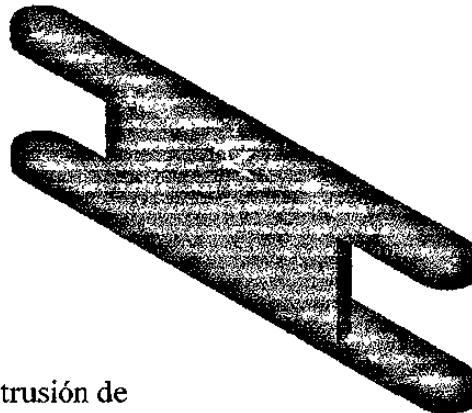


Figura 3.13 Extrusión de un bosquejo proyectado

### 3.12.- AÑADIENDO AGUJEROS PARA “PINES”

Hay ciertas características llamadas de ubicación las cuales no necesitan de un “sketch” y son los agujeros, chaflanes, cortes de superficies, arreglos polares, arreglos lineales combinación de partes, etc.

Seleccionamos el siguiente icono cuya ubicación se muestra en la figura 3.14 para colocar 2 agujeros pasados y concéntricos en los extremos, con diámetro de 9.652 mm (0.38 pulg.).

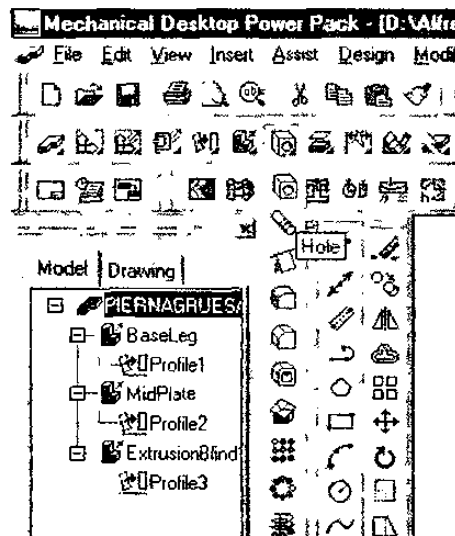


Figura 3.14 Ubicación del ícono para hacer barrenos

La ventana de trabajo se muestra en la figura 3.15, donde habremos de estipular los parámetros mostrados.

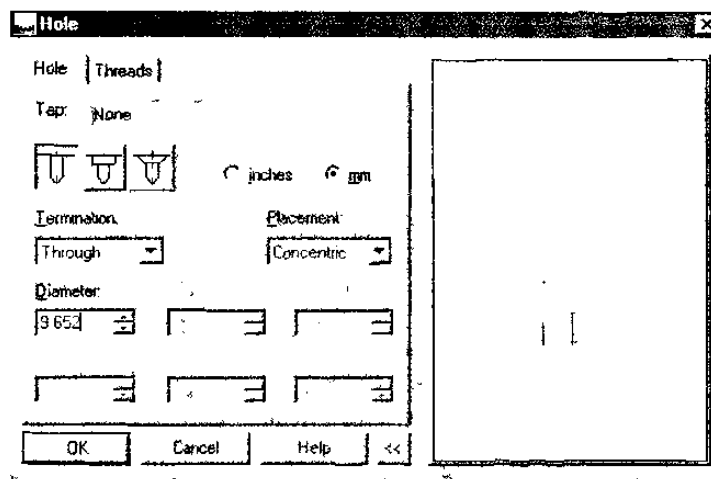


Figura 3.15 Ventana de trabajo de la función "Hole"



Ahora incluiremos en las orillas un pequeño filete de 0.1 unidades de radio, eligiendo el comando del siguiente icono mostrado en la figura 3.16.

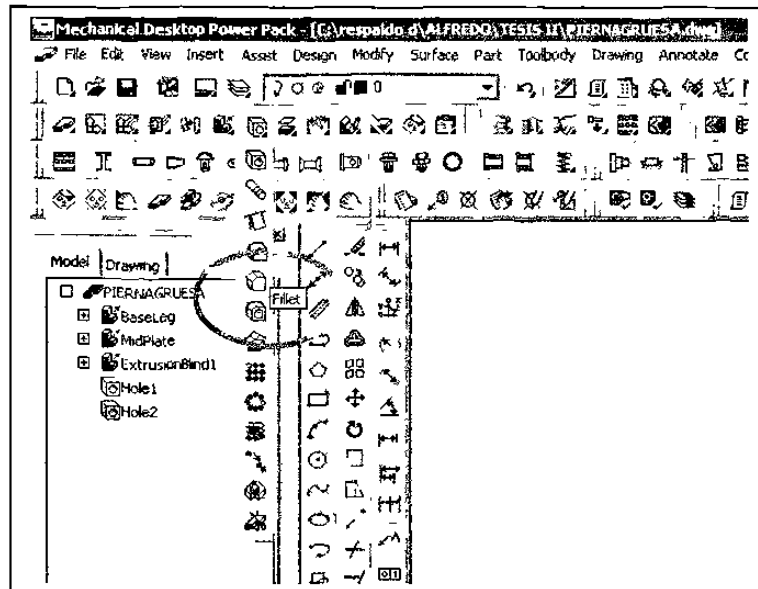


Figura 3.16 Ubicación del icono de filete

La ventana de trabajo del filete se muestra en la figura 3.17 y es en donde de habremos de estipular el radio antes mencionado en un filete de tipo constante.

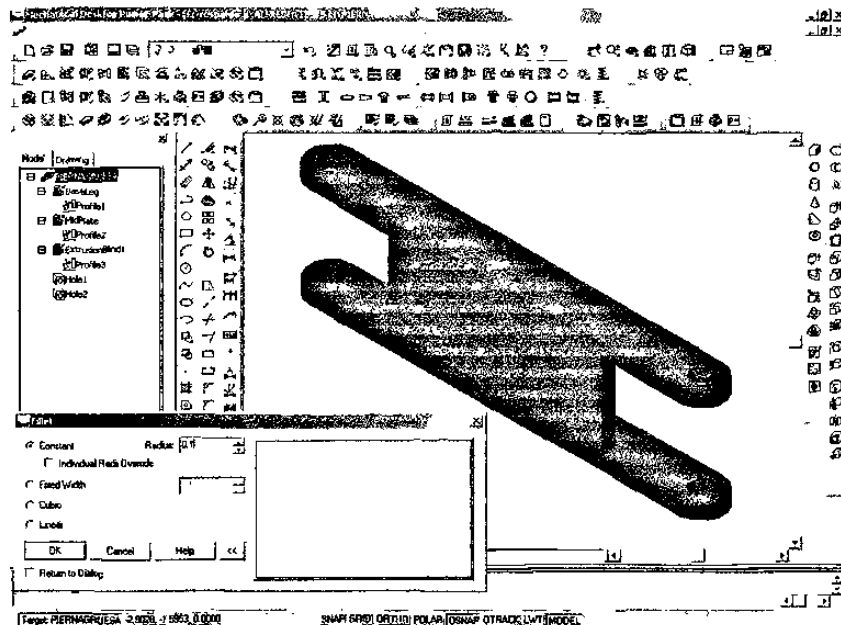


Figura 3.17 Ventana de trabajo de la función "Fillet"

### 3.13.- MODIFICACIÓN DE LA EXTRUSIÓN DEL REFUERZO

Hasta ahora hemos hecho el eslabón inferior pero necesitaremos de los eslabones superiores o delgados del mecanismo a los que denominaremos como eslabones superiores, para ello habremos de modificar el refuerzo de en medio del eslabón inferior o grueso cambiando su extrusión de 1.5 a 1; veamos la figura 3.18 y al último renombraremos el archivo a “eslabón superior”.

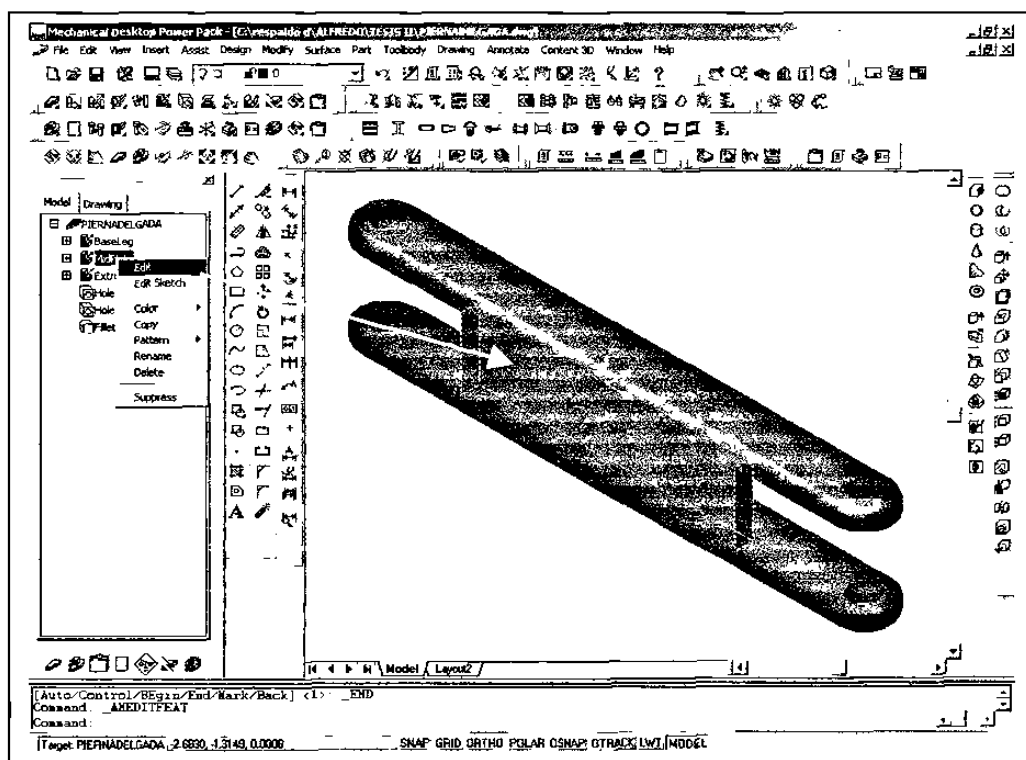


Figura 3.18 Edición del refuerzo en el eslabón superior

## **4.- CREACIÓN DE LA BASE**

### **4.1.- USANDO FUNCIONES PARA EL “SKETCHER”**

Algunos comandos o funciones de AutoCad para la creación y edición de figuras bidimensionales serán utilizadas en este capítulo como son:

Uso del “Grid” .- El “grid” es un área de fondo cubierta con puntos dispuestos con cierto patrón.

Uso del “Snap”.- Esta función restringe el movimiento del cursor para hacer el proceso de selección más fácil. Cuando la función está activada el cursor salta a los intervalos especificados.

Uso de coordenadas relativas.- Nótese que las coordenadas mostradas en la barra de estado dan la posición del cursor.

Uso del offset.- Crea un nuevo objeto paralelo al objeto base. Se puede seleccionar el comando de “offset” a través del menú de “context”

Uso del “Mirror”.- Esta función hace una imagen espejo de los objetos en dos dimensiones que se seleccionen, junto a una línea de proyección específica.

### **4.2.- HACIENDO EL PERFIL DE LA BASE**

Comencemos dibujando un bosquejo o “sketch” con la siguiente figura, añadamos las dimensiones como se ve también en la figura 4.1; previamente fijaremos el “grid” y

el “snap” a 0.25.

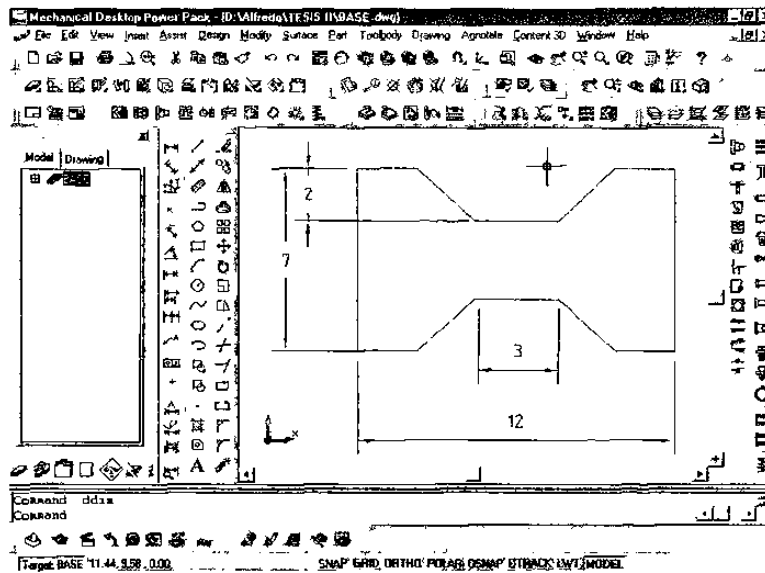


Figura 4.1 Bosquejo de la base

### 4.3.- EXTRUYENDO LA BASE Y CREANDO UN PLANO DE TRABAJO PARAMÉTRICO

Una vez resuelto el perfil extruimos a 1.5 quedando como se ve en la figura 4.2.

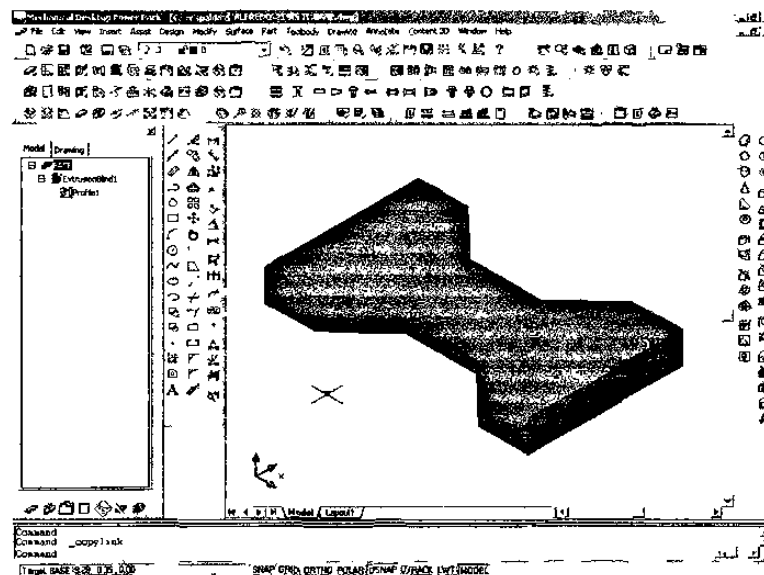


Figura 4.2 Extrusión de la base

Un plano de trabajo es un plano infinito que está relacionado a la parte en cuestión. Los planos de trabajo son definidos por dos modificadores que pueden ser seleccionados usando la caja de diálogo. Los modificadores especifican si el plano es normal, paralelo, tangente, etc. En el momento en que el plano de trabajo es creado se puede también elegir el crear un “sketch plane” automáticamente creado en él. Esto es esencialmente útil cuando se diseñan partes simétricas ya que las restricciones y dimensionamiento sobre el plano de trabajo no afecta la simetría cuando las dimensiones cambian.

Demos un clic con el botón derecho del ratón sobre el área de dibujo y elijamos “Sketched & Work Features, Work Plane” y aparecerá la caja de diálogo de los planos de trabajo en la que seleccionaremos la opción de planar paralelo y con un “offset” de 3.5, ver figura 4.3:

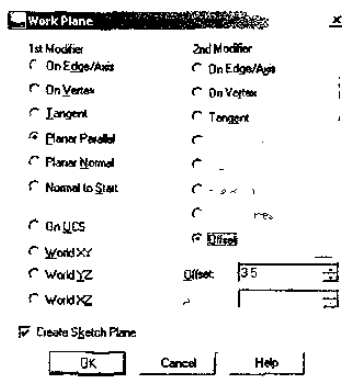


Figura 4.3 Caja de diálogo de los planos de trabajo

Y seleccionando el pequeño plano vertical en el extremo izquierdo, como se ve en la figura 4.4, procedemos a terminar el plano de trabajo.

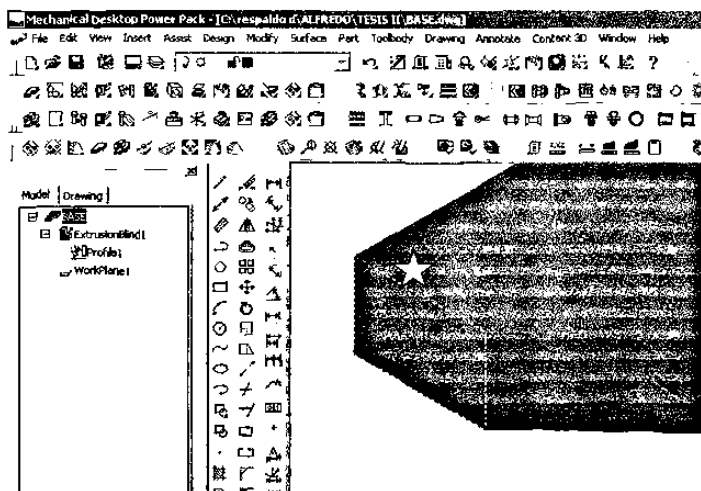


Figura 4.4 Selección de cara paralela a un nuevo plano de trabajo

#### 4.4.- BOSQUEJANDO LA VISTA FRONTAL

Proseguimos bosquejando la figura que se usará para generar la vista frontal mostrada en color rojo en la figura 4.5 para hacer una extrusión de tipo intersección, resolviendo el perfil con las restricciones necesarias y añadiendo las dimensiones mostradas.

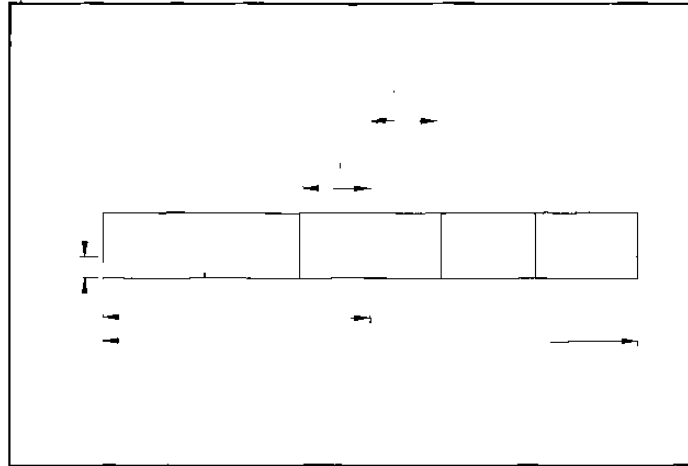


Figura 4.5 Bosquejo de perfil para extrusión de intersección

#### 4.5.- INTERSECTANDO DOS EXTRUSIONES

Lo siguiente es extruir este perfil y al mismo tiempo intersectarlo con la anterior extrusión, de tal forma que la sección no intersectada desaparezca. Haremos una extrusión del tipo “midplane” hacia ambos lados de nuestro anterior plano de trabajo, ver figura 4.6.



Figura 4.6 Resultado de una extrusión de intersección

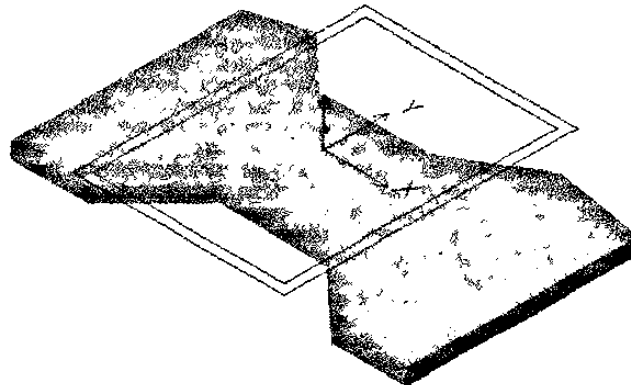
#### 4.6.- QUITANDO MATERIAL CON LA “EXTRUSIÓN DE CORTE”.

Ahora lo que se hará será quitar material del centro de la parte. La operación de corte es similar a la de sustracción de la operación booleana. El perfil que se creó será sustraído del primero.

Primero necesitamos crear un nuevo “sketch plane” sobre la superficie superior de la pieza.

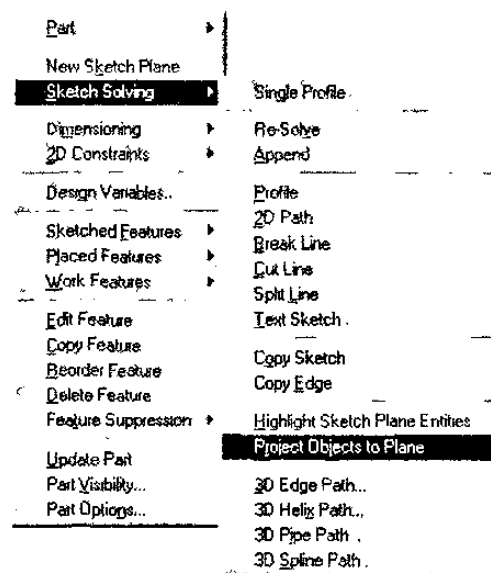
Hacemos clic con el botón derecho del ratón sobre el área de dibujo, seleccionamos la opción de “New sketch plane” sobre la superficie superior de la base como se logra ver en la figura 4.7.

Figura 4.7 Colocación del “Sketch Plane” para quitar material en la base



Seguimos con una proyección del contorno de la base para lo cual activamos el comando mostrado en la siguiente figura 4.8.

Figura 4.8 Ubicación del comando “Project objects to plane”





Una vez que se haya activado el comando aparecerá una pequeña ventana, mostrada en la figura 4.9 a la cual se le deberán de alimentar esos datos. El objetivo de esta función es hacer el perfil de extrusión de tipo corte evitándose el dibujar esa periferia de nuevo.

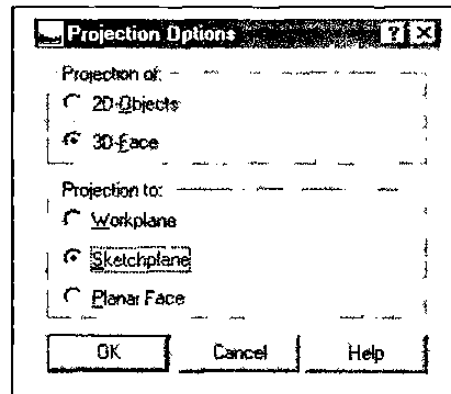


Figura 4.9 Selección de opciones para proyectar objetos

Nótese que la selección de dicha periferia va siendo por partes donde al final la proyección total se verá como se ilustra en la figura 4.10.

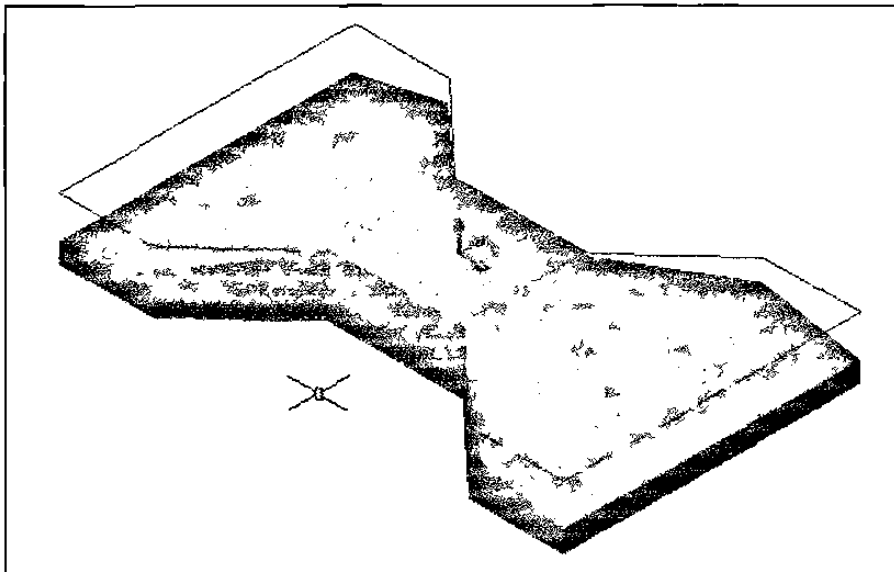


Figura 4.10 Proyección de la periferia total al plano

Posteriormente usaremos el comando “offset” a partir del bosquejo proyectado para darle un espesor de 0.25 unidades en las porciones izquierda y derecha y a 0.5 unidades en el centro antes de volverlo perfil, y cerramos las proyecciones izquierda y derecha con una línea como se ve en la figura 4.11.

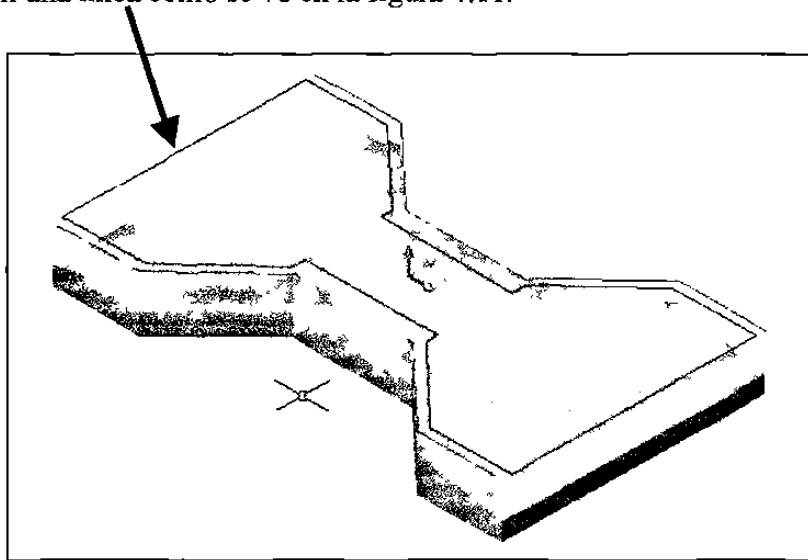


Figura 4.11 Bosquejo del “offset” dentro del bosquejo proyectado

Lo siguiente es resolver el perfil del resultado de la ejecución del “offset” en donde el programa nos marcará que aproximadamente se necesitan catorce restricciones geométricas incluyendo las dimensiones. Para seleccionar el bosquejo del “offset” es conveniente borrar el bosquejo proyectado (o sea el externo), finalmente el perfil se verá como está ilustrado en la figura 4.12.

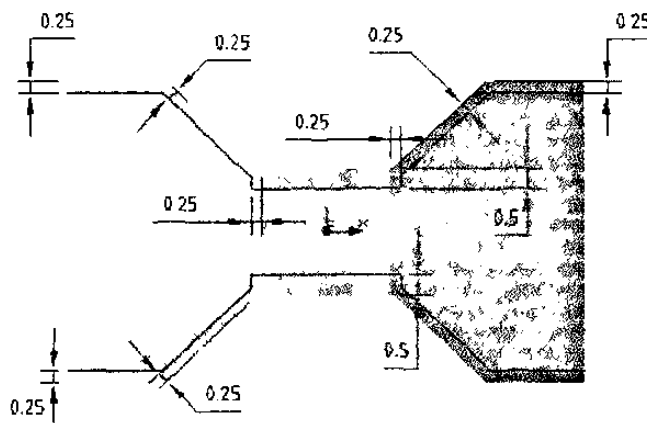


Figura 4.12 Perfil del “offset” resuelto con sus dimensiones y restricciones

Continuamos haciendo la extrusión del perfil del “offset”, la extrusión será del tipo corte a una distancia de 1.25 pulgadas, como se muestra en la figura 4.13.

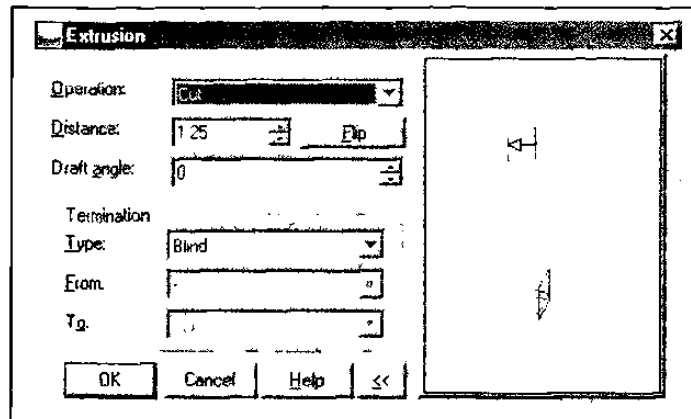


Figura 4.13 Tipo de extrusión a aplicar en el perfil del “offset”

La extrusión final se muestra en la figura 4.14 ya coloreada.

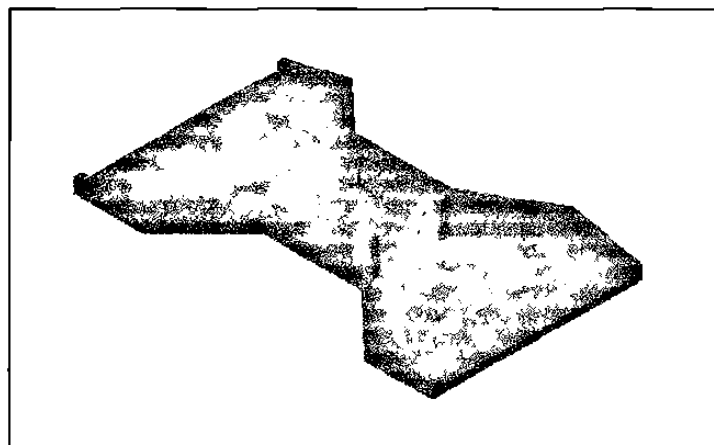


Figura 4.14 Extrusión del perfil del “offset”

#### 4.7.- BOSQUEJANDO EL BLOQUE CENTRAL

En base al plano de trabajo anterior, titulado en el “Browser” como “work plane 1” hacemos clic con el botón derecho y elegimos la opción de visible, sobre ese plano creamos un “sketch plane” para dibujar un rectángulo el cual al resolverlo como perfil añadiendo sus restricciones geométricas y dimensiones resulta nuestra figura 4.15.

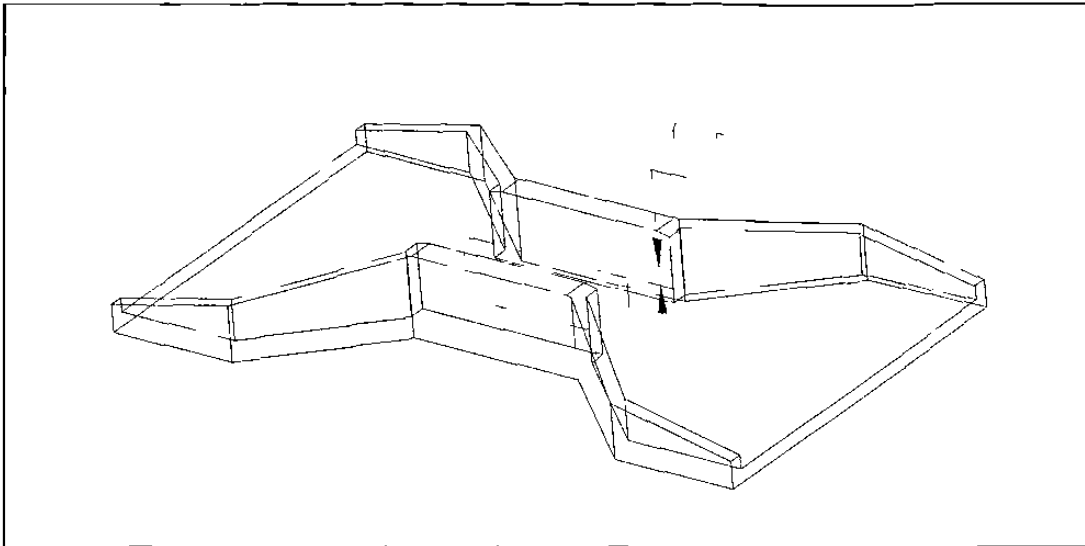


Figura 4.15 Perfil del bloque central de la base

Continuamos con una extrusión de tal perfil con las opciones de tipo “join” con una distancia de 1.5 pulgadas y en terminación de “midplane”. Su resultado se ilustra en la figura 4.16.

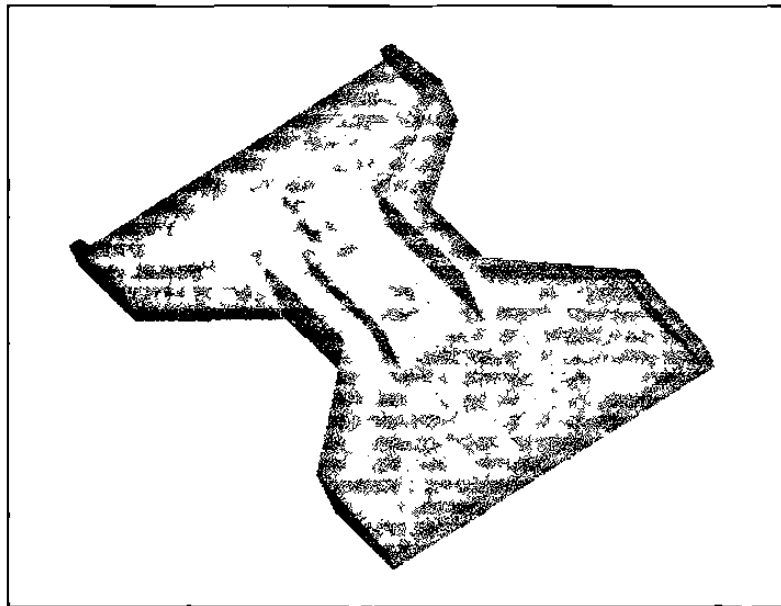


Figura 4.16 Extrusión del bloque central de la base

#### 4.8.- AÑADIENDO AGUJEROS PARA “PINES”

Este será el último paso para tener lista la base de nuestro mecanismo, empezamos por desplegar la ventana de los agujeros de la siguiente forma:

Botón derecho sobre el área de dibujo

Seleccionar “Placed Features, Hole” y aparecerá la ventana mostrada en la figura 4.17 en la que se llenarán los datos allí mostrados.

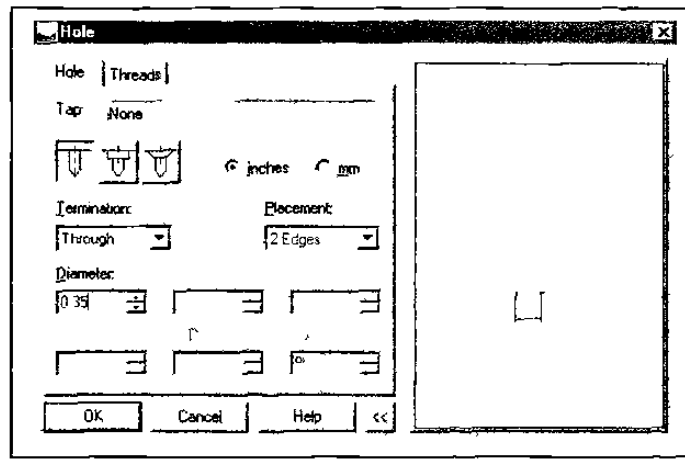


Fig. 4.17 Especificaciones para los agujeros en la base

Su resultado se muestra finalmente en la figura 4.18, no olvidándose de colorearla para su mejor visualización.

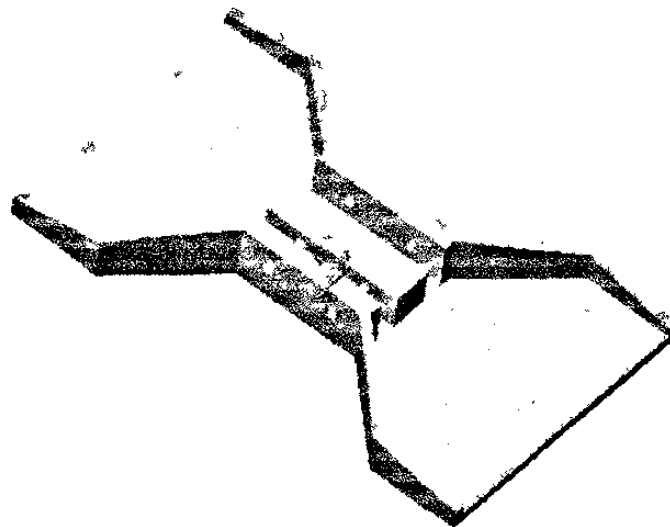


Figura 4.18  
Terminación de la  
base del mecanismo

## **5.- CREACION DEL APOYO DEL MECANISMO**

### **5.1.- INTRODUCCIÓN**

El diseño de una parte o un ensamble no es un proceso estático, es uno interactivo. Mientras más se obtenga información y se prueben las ideas de diseño, necesitarán hacerse cambios a los modelos que se han creado. La modelación paramétrica provee una facilidad relativa en la actualización de los modelos comparada con la tradicional modelación en 3D.

Sin embargo la facilidad con que un modelo puede ser actualizado para un propósito particular frecuentemente depende de las opciones que fueron tomadas en las restricciones, dimensiones y bosquejos y el orden con que las entidades se fueron creando. El buen entendimiento de cómo se actualizan los modelos también puede ayudar a hacer mejores selecciones en los modelos.

### **5.2.- PERFILES Y EXTRUSIONES DEL APOYO**

Dibujaremos primero el costado frontal del apoyo como se ve en la figura 5.1 dando las dimensiones y restricciones necesarias se procede a extruir tal perfil, ver fig 5.2.

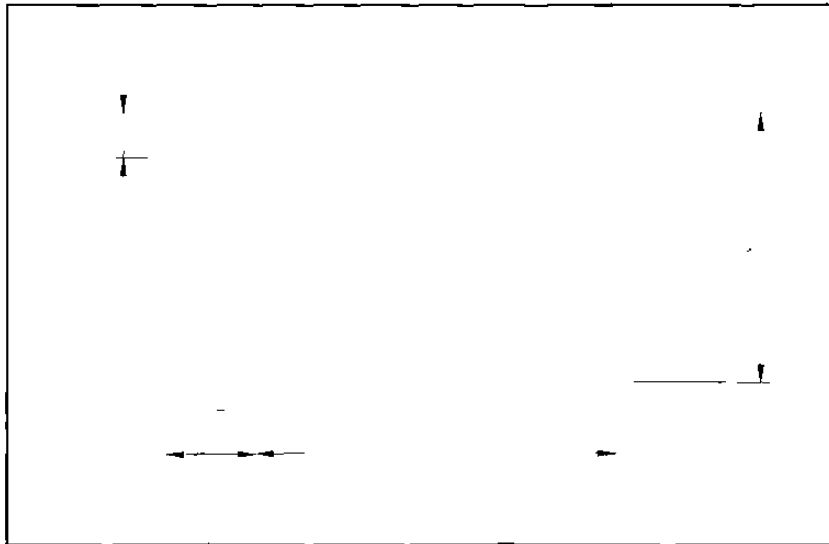


Figura 5.1 Dimensiones del perfil del apoyo

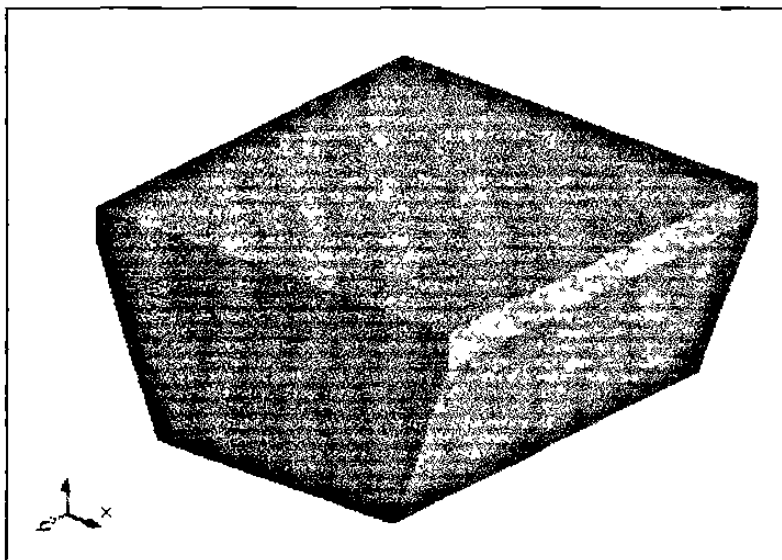


Figura 5.2 Extrusión del apoyo

Después procederemos a hacer dos recortes laterales por donde se desplazarán los eslabones superiores del mecanismo, esto dibujando un perfil a la izquierda y derecha del plano central de la pieza como se ve en la figura 5.3.



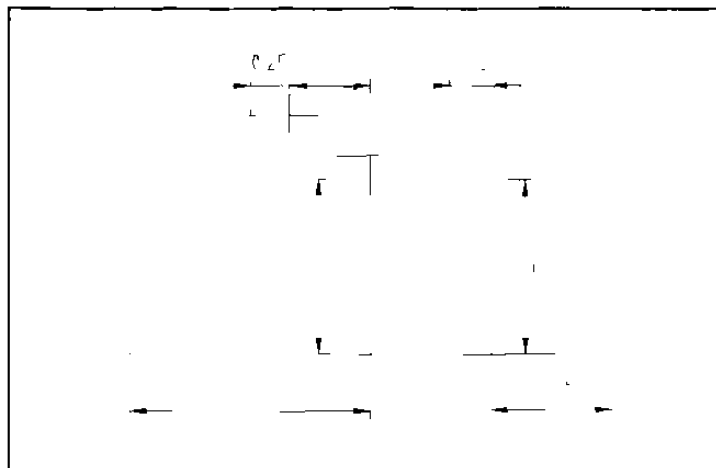


Figura 5.3 Resaques en color azul para deslizamiento de eslabones

Para que ambos eslabones superiores se deslicen sobre el apoyo sin topar en su extremo superior es necesario hacer otro tipo de resaque en los mismo costados anteriores pero ahora a lo largo. En la figura 5.4 se muestra el bosquejo y en la figura 5.5 el perfil ya extruido y coloreado para mayor realce.

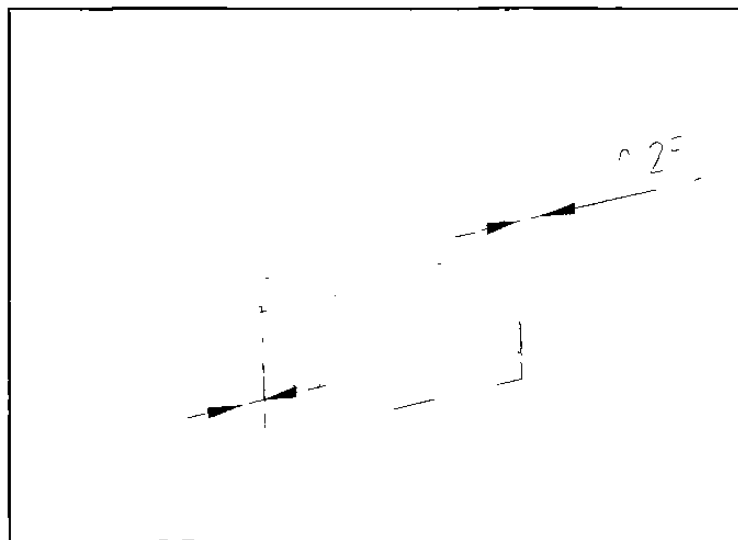


Figura 5.4 Resaque longitudinal que evita la interferencia con el apoyo

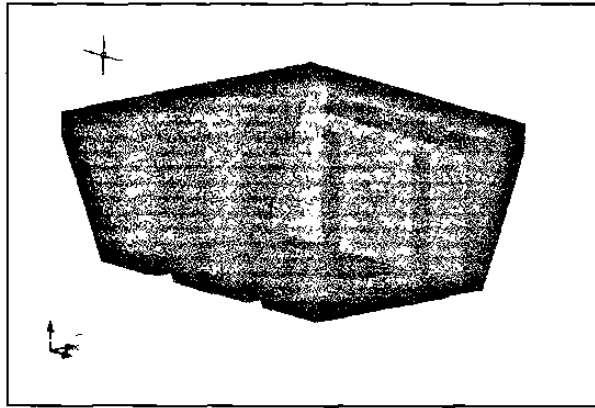


Figura 5.5 Extrusión del perfil anti-interferencia

Ahora el siguiente paso será el de llevar dos barrenos corridos de diámetro 0.38 pulgadas de izquierda a derecha por donde pasarán dos pines que sostendrán los eslabones superiores, para ello utilizamos el comando de agujeros como se muestra en la figura 5.6.

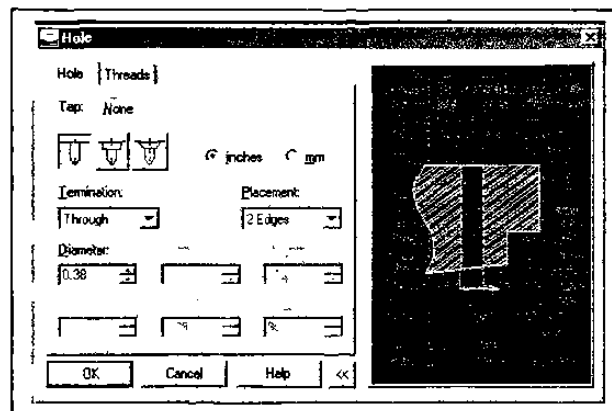


Figura 5.6 Caja de diálogo de la función "Hole"

### 5.3.- ANEXIÓN DEL CORRUGADO SUPERIOR

Primero creamos un nuevo "sketch plane" y lo posicionamos como se muestra en la figura 5.7.

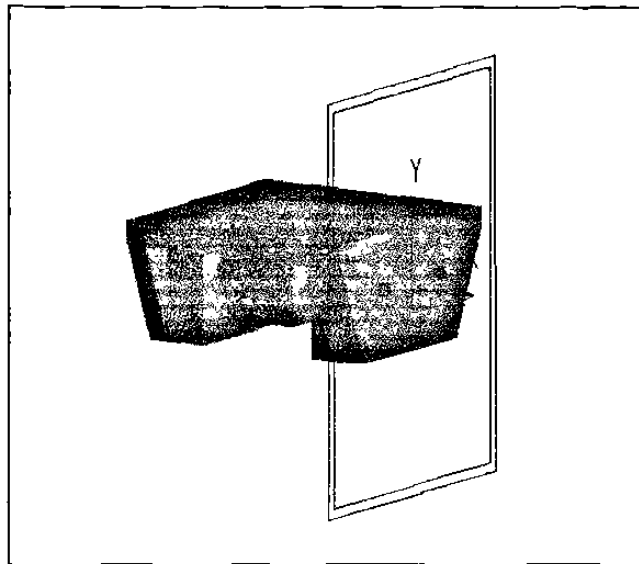


Figura 5.7 Ubicación del “sketch plane” para hacer el corrugado

El corrugado será construido a través de la repetición en serie del desbaste cilíndrico ( a lo largo), el cual es la extrusión en corte de un círculo.

Dibujando un círculo y localizándolo aproximadamente en la esquina superior izquierda se crea el perfil o “profile”, seguimos dándole las dimensiones siguientes de la figura 5.8.

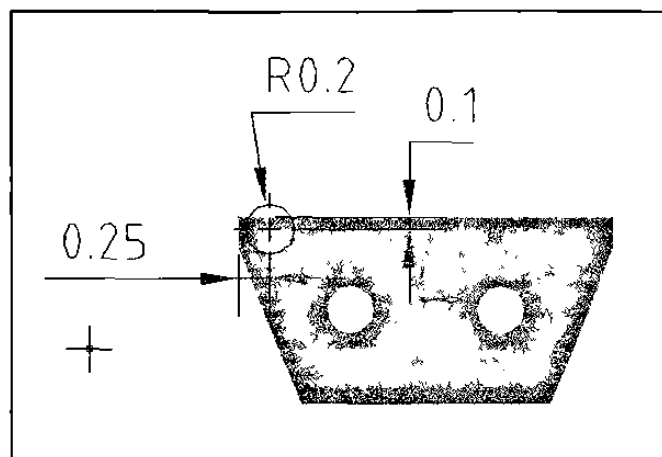


Figura 5.8 Perfil del círculo que servirá para el desbaste

Extruimos y en la caja de diálogo seleccionamos “cut”, ángulo cero y de tipo pasado. La característica añadida termina viéndose de la siguiente forma, ver figura 5.9.

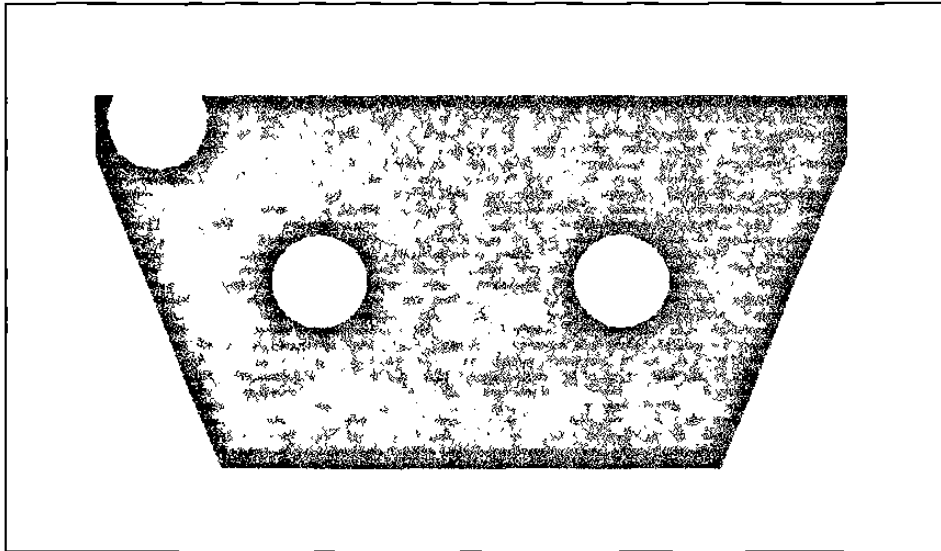


Figura 5.9 Extrusión del círculo que sirve de perfil

#### 5.4.- CREACIÓN DE UN PATRÓN

Ahora creamos un patrón de estos cortes de la parte superior de la pieza. Cabe mencionar que los patrones pueden ser rectangulares, dispuestos en filas y columnas, o circular, sobre un eje. El patrón circular puede ser polar o helicoidal.

En este caso, nos interesa realizar uno del tipo rectangular:

Clic derecho sobre el área de dibujo.

Seleccione: “placed features”, “Rectangular pattern”

Seleccione el círculo recién creado

Después aparecerá la caja de diálogo que se muestra en la figura 5.10 en la que habremos de introducir los datos de: seis repeticiones, una fila, noventa grados y 0.5 de espaciamiento.

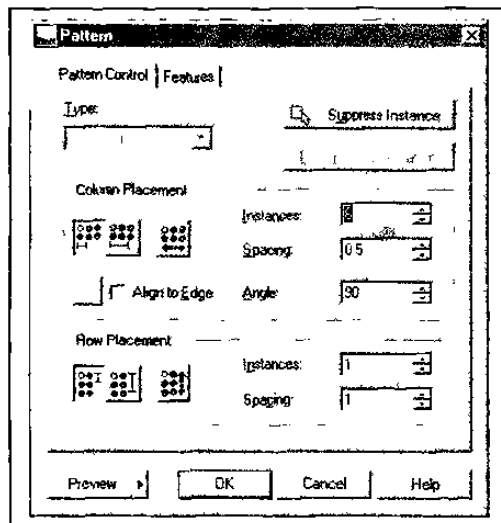


Figura 5.10 Caja de diálogo del patrón o “pattern”

Para crear los filetes de un radio aproximado de 0.125 pulgadas en las orillas de la anterior superficie corrugada y de 0.06 pulgadas en las orillas diagonales se hace lo siguiente:

Botón derecho sobre el área de dibujo

Seleccione: “Placed features”, “Fillet”, tal como se hizo en los casos anteriores.

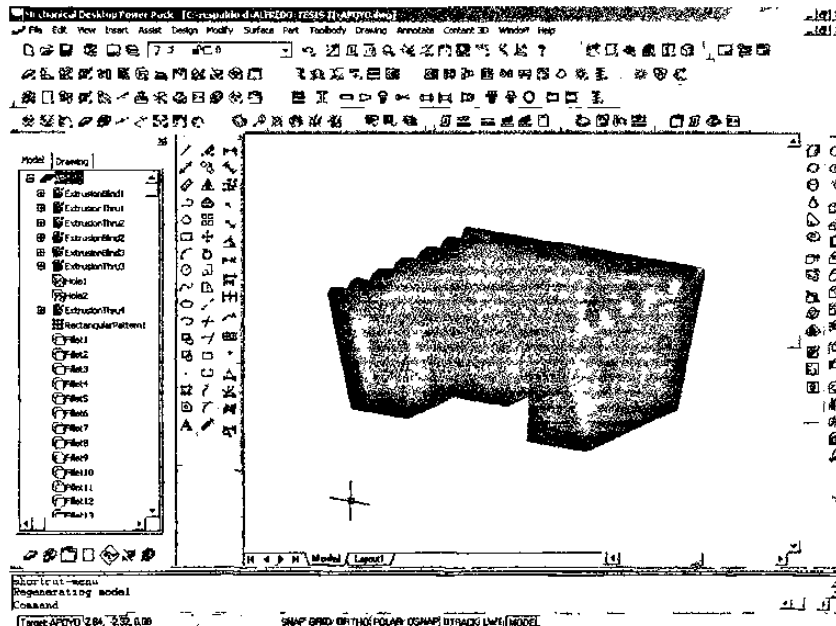


Figura 5.11 Aplicación de la función de filete en orillas

## **6.-CREACIÓN DE PARTES EN REVOLUCION**

### **6.1.- HECHURA DE LA ARANDELA**

En este capítulo se mejorarán las habilidades para la modelación, haciendo algunas partes en revolución y usando partes existentes para crear nuevas partes, como los birlos o “pines”, arandela, tornillo y guías de tornillo.

Primero empezaremos por crear la arandela en un plano cuya vista nuestra tenga por perpendicular al plano X-Y.

Dibujamos un pequeño rectángulo y junto a él una línea de construcción la cual se usará como eje de rotación:

Clic derecho sobre el área de dibujo

Seleccionar “2D sketching”, “Construction line”

Botón derecho sobre el área de dibujo.

Seleccione “Sketch solving”, “Profile”

Añadiendo las restricciones necesarias

Botón derecho sobre el área de dibujo

Seleccione “Dimensioning”, “New dimension”

Las dimensiones que se añadirán serán las mostradas en la figura 6.1.

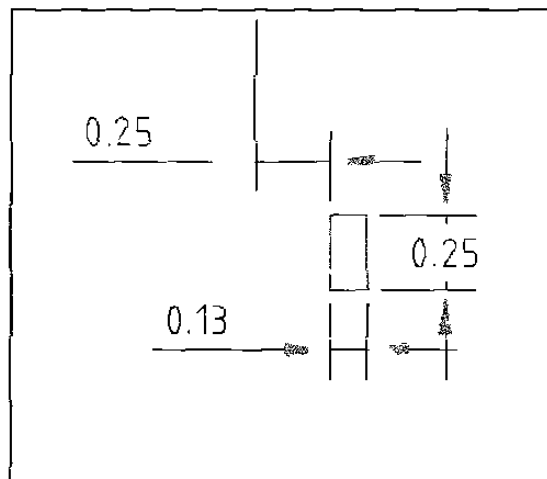


Figura 6.1 Perfil del rectángulo de revolución

Una vez resuelto el perfil o “profile” podemos revolucionar el “sketch” sobre la línea de construcción usando el comando de la figura 6.2.

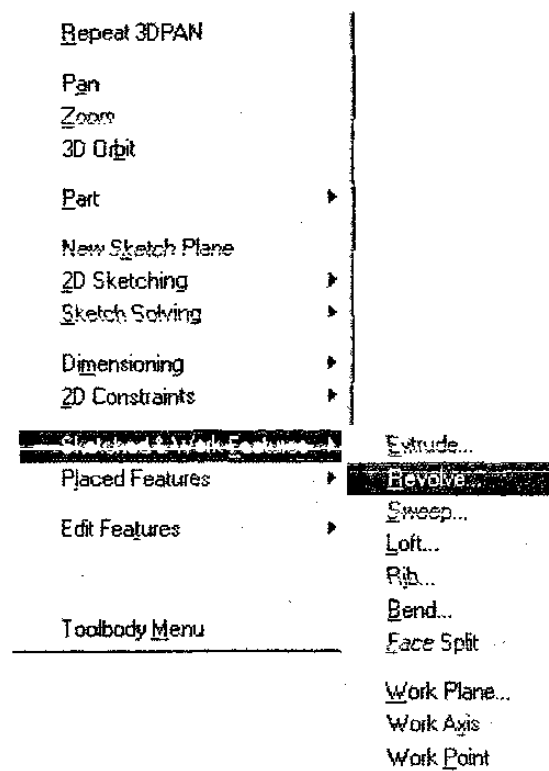


Figura 6.2 Ubicación de la función “Revolve”



Y el resultado de tal revolución lo vemos plasmado en la figura 6.3.

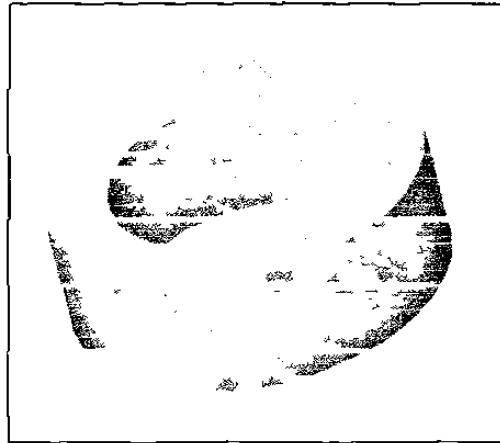


Figura 6.3 Revolución de un rectángulo sobre un eje de traslación

Por último agregamos un filete del tipo constante por adelante y por atrás de la arandela y de radio 0.05 pulgadas sobre las orillas, ver figura 6.4 quedando modificada a como se muestra en la figura 6.5.

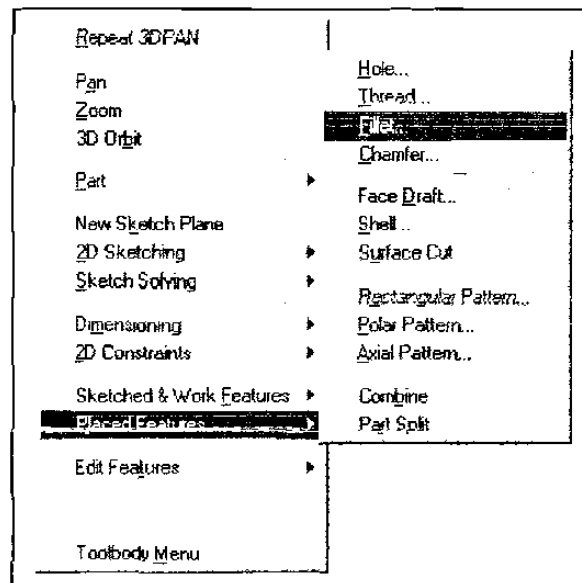


Figura 6.4 Ubicación de la función “Fillet”

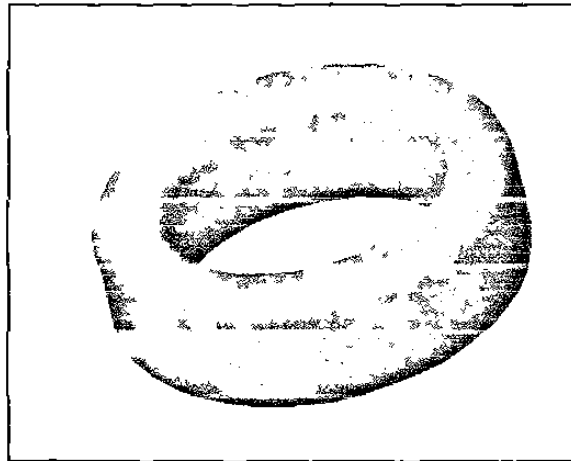


Figura 6.5 Arandela terminada

## 6.2.- CREACIÓN DEL “PIN” O REMACHE

Ahora se empezará a partir de un bosquejo en el que se rotará la pieza no alrededor de un eje, sino alrededor de sus propias orillas con el objeto de producir un sólido.

Primero dibujaremos el bosquejo como se ve en la figura 6.6 con las restricciones que considere necesarias y con las dimensiones mostradas para resolver su perfil o “profile”.

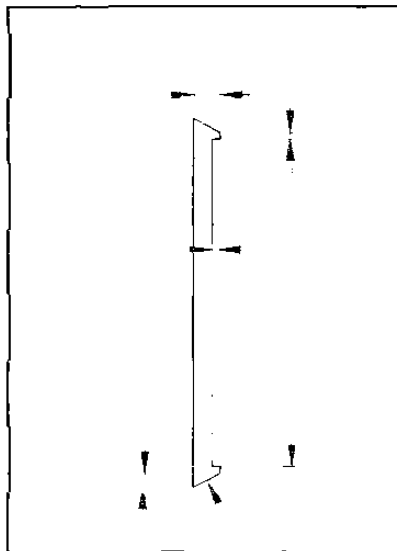


Figura 6.6 Perfil del Pin

Con la función de “Revolve” ya antes vista, aparecerá su caja de diálogo mostrada en la figura 6.7 en donde seleccionaremos la opción de revolución del tipo ángulo de 360° tomando como eje la arista interior del perfil.

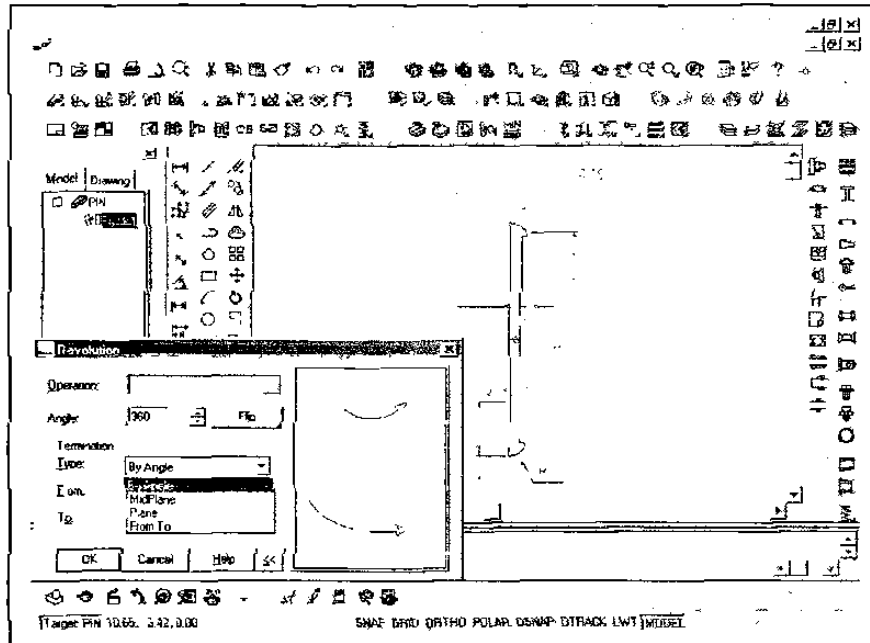


Figura 6.7 Datos de la caja de diálogo de la función “Revolve”

Antes de colorearlo como sólido es aconsejable que se aumenten las líneas que representan la superficie de la pieza en el modelo de alambre. Para ello usaremos la función o comando de “isolines”, cambiándola de cuatro líneas a doce para aumentar su definición como se muestra en la figura 6.8.

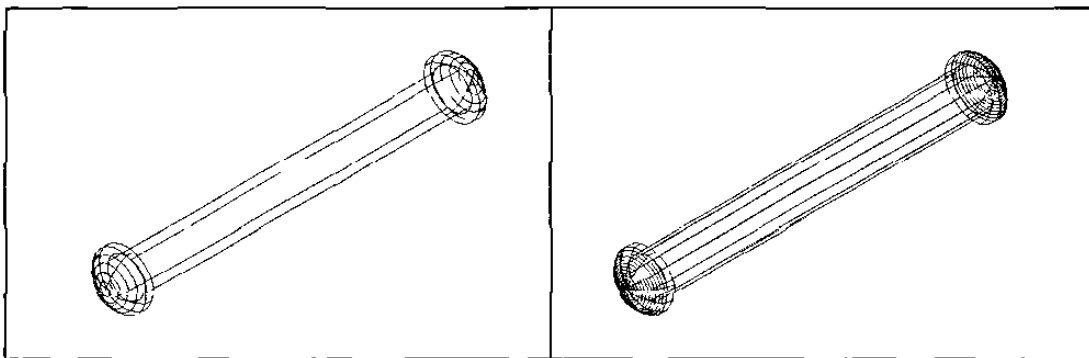


Figura 6.8 Antes y después de aplicar la función “Isolines”

### 6.3.- CREACIÓN DE LA GUÍA DEL TORNILLO

Como se mencionó al principio, que habría una figura que se haría a partir de otras, ésta se hará en base al “pin” o remache anterior.

Lógicamente deberemos de abrir el archivo del “pin” y grabarlo con otro nombre: guía

Después añadiremos el bloque central debiendo de ser simétrico en ambos ejes del pasador, para lo cual es necesario agregar un eje de trabajo en el “pin” de la siguiente forma:

Botón derecho sobre el área de dibujo  
 Seleccionar “Sketched & Work Features, Work Axis”  
 Seleccionar el cilindro del “pin”

Lo siguiente será dibujar un rectángulo lo más centrado posible en el “pin”, continuaremos con la solución de su perfil añadiendo las siguientes dimensiones, ver figura 6.9.

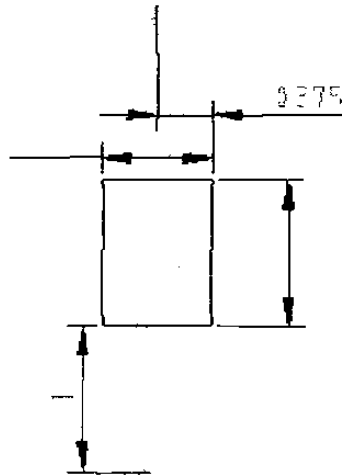


Figura 6.9 Perfil de la guía

Continuamos con una extrusión a dicho rectángulo, con las opciones mostradas en la figura 6.10.

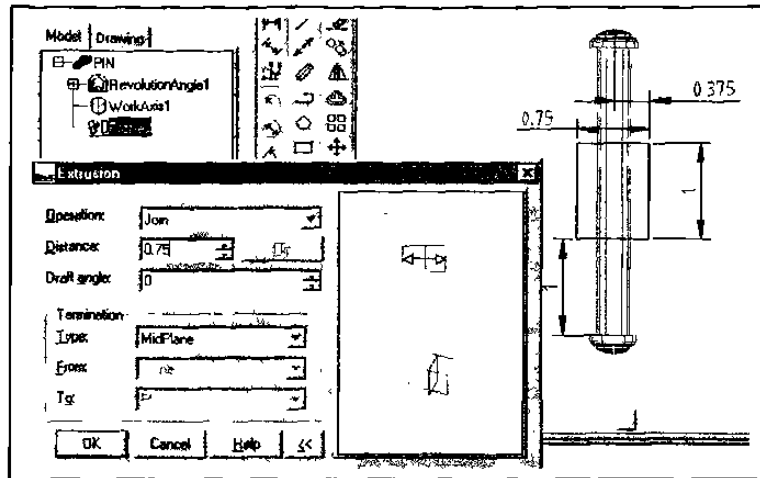


Figura 6.10 Datos para extruir el bloque de la guía

Finalmente la guía del tornillo ha quedado terminada y se ve como se ilustra en la figura 6.11.

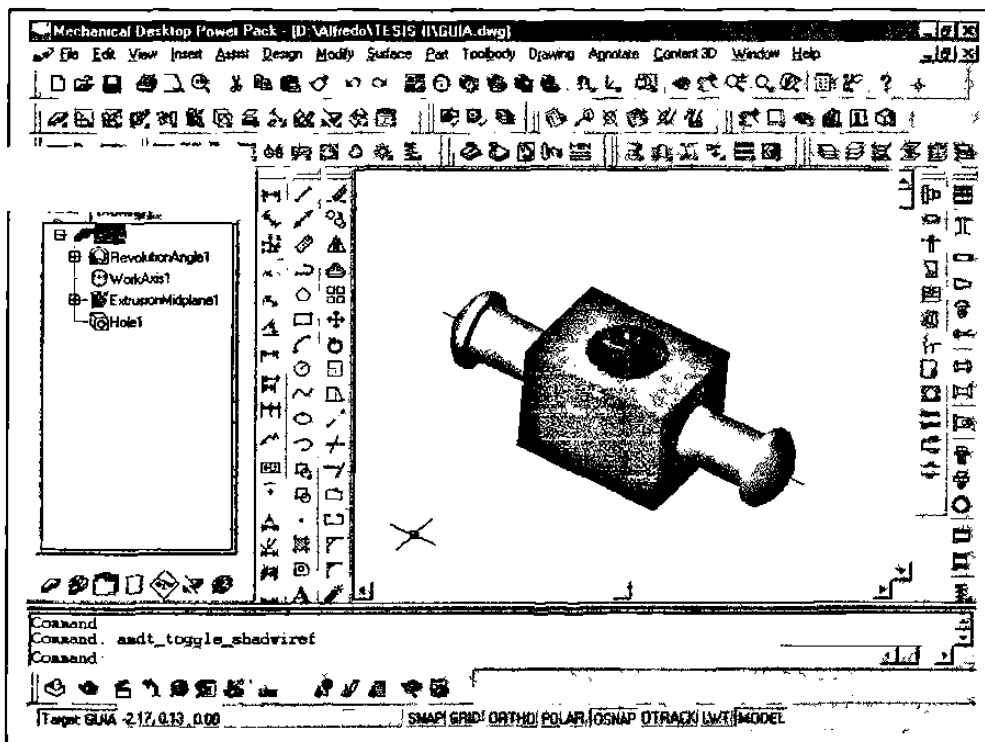


Figura 6.11 Guía del tornillo

## 6.4.- CREACIÓN DEL TORNILLO

Comenzamos dibujando un círculo de radio 0.25 pulgadas, resolvemos su perfil y continuamos con la cabeza del tornillo. Este círculo servirá de guía al polígono que a continuación haremos.

Como se trata de un tornillo de cabeza hexagonal, dibujaremos primero dicha cabeza, para lo cual elegimos el comando de "Polygon" el cual se ubica como se ve en la figura 6.12.

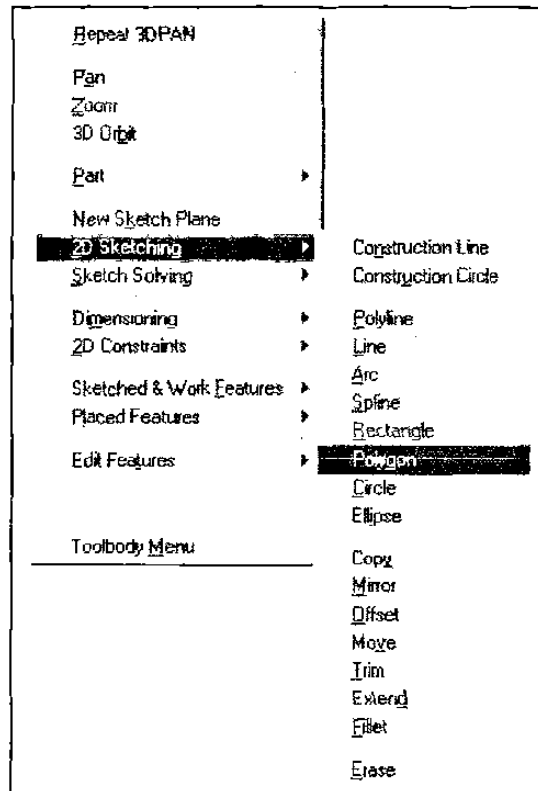


Figura 6.12 Ubicación del comando "Polygon"

Tal polígono será del tipo circunscrito en el círculo que acabamos de hacer y con un radio de 0.375 unidades. Proseguimos con resolver su perfil para lo cual estableceremos que cada uno de los seis lados tiene la misma longitud y añadiremos también las siguientes dimensiones. Ver figura 6.13.

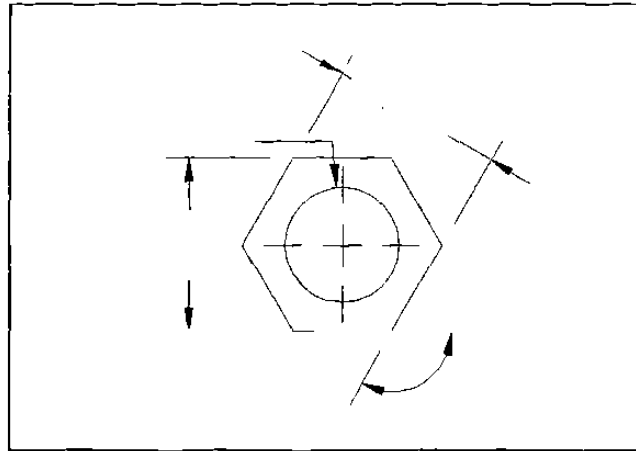


Figura 6.13 Perfil de la cabeza hexagonal del tornillo

Continuamos con la extrusión del perfil de la cabeza a 0.5 unidades y la extrusión del círculo a 14.6 unidades pero del tipo "join" con la finalidad de que ambas extrusiones se unan en una sola, viéndose finalmente como en la figura 6.14.

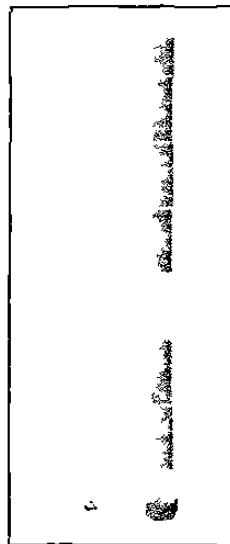


Figura 6.14 Tornillo del mecanismo

## **7.- ENSAMBLE DE LAS PARTES DEL MECANISMO**

### **7.1.- INTRODUCCIÓN**

El modelado de ensamble es el proceso de combinar varias partes en un solo modelo. Puede utilizar este modelo para registrar partes y para analizar la forma en que cambian uno o más componentes en un ensamble afectará todo el modelo.

Las herramientas de ensamble le permiten combinar y restringir las partes para crear ensambles complejos. Las partes que se conminan para crear un ensamble pueden ser internas o locales con respecto al ensamble mismo, es decir, una parte externa reside en un archivo externo que se carga cada vez con el ensamble.

El catálogo de ensambles permite manejar las partes, como determinar el directorio de trabajo y unir las partes externas o locales. También actúa como una referencia para ver de donde vienen las piezas que han sido añadidas al ensamble, por ejemplo si se moviese uno de los archivos de los componentes del ensamble a otra ubicación en el disco duro, habría que decirle al Mechanical Desktop sobre la nueva ubicación.

El catálogo está disponible sólo si existe una parte o pieza base en el ensamble.

Cada vez que se hace un cambio en un componente automáticamente se actualizará el ensamble para la siguiente vez que se cargue o bien si se le actualiza con el comando "Amupdate". El orden en que se ha ido armando el ensamble también es importante ya que el programa se mueve a través del ensamble resolviendo las restricciones en el orden en que sus componentes se agregaron.



## 7.2.- AÑADIENDO PARTES EXTERNAS CON EL CATÁLOGO

Abrimos un nuevo dibujo y en él prendemos el catálogo como se ve en la figura 7.1.

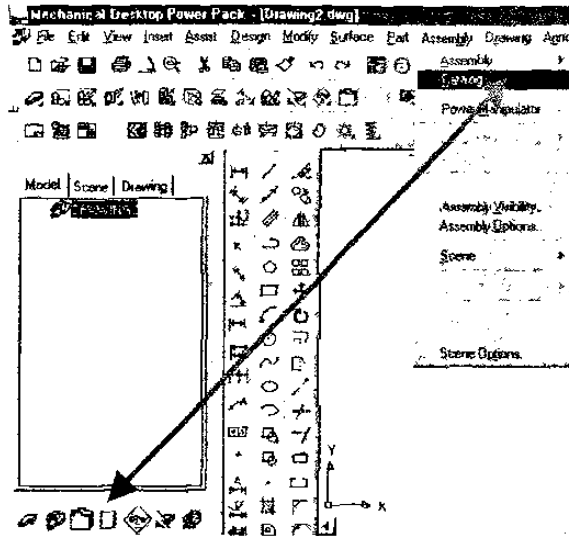


Figura 7.1 Alternativas para prender el catálogo

Para ir añadiendo los archivos de los dibujos que hasta ahora hemos hecho tenemos que especificarle al Catálogo en dónde buscar, es decir, en que directorio, y, se hace de la forma mostrada en la figura 7.2.

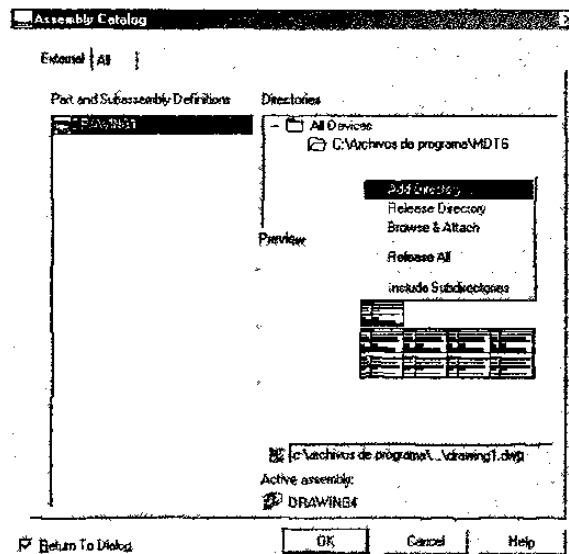


Figura 7.2 Anexión de direcciones al Catálogo

Una vez hecho esto, seleccionamos nuestra parte base que será sobre la cual todas las demás irán quedando restringidas, su selección del catálogo se ve en la figura 7.3.

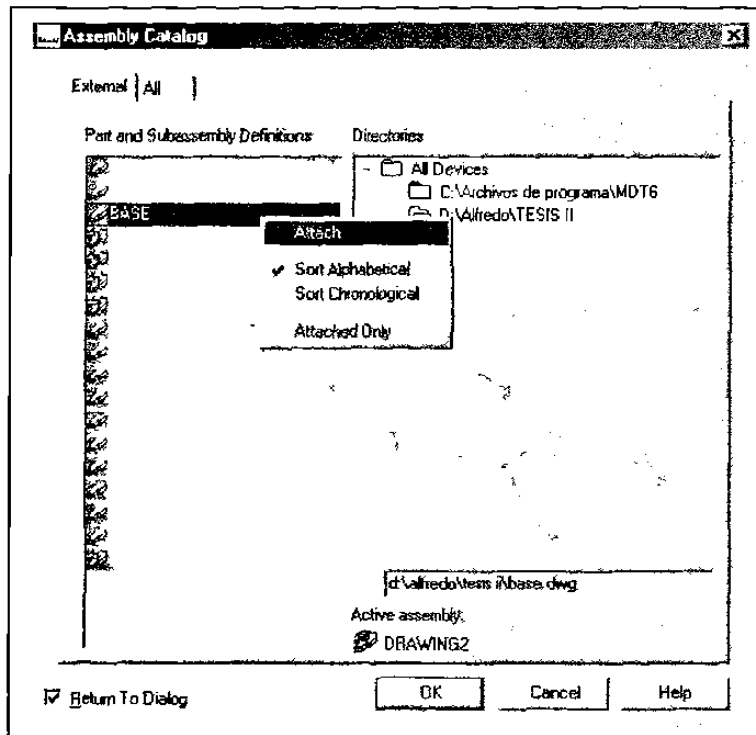


Figura 7.3 Selección del archivo que servirá de base

Se nos preguntarán las coordenadas de ubicación de la base del mecanismo, a lo que responderemos (0,0,0). De esta manera se habrán de introducir todas las demás piezas y en sus cantidades correspondientes.

Al final veremos nuestra área de dibujo desplegando todas y cada una de las piezas que conformarán el ensamble, como se ve en la figura 7.4.

Como es evidente habrá que mover y rotar algunas de las piezas antes de ensamblarlas entre sí, ya que sino no embonarían. Para esta tarea nos conviene utilizar un comando que se llama "Ammanipulate" el cual permite rotar y desplazar en tres dimensiones.

También se le puede ubicar así:  
 Con el botón derecho sobre el área de dibujo  
 "Assembly Menu"  
 "Power manipulator"

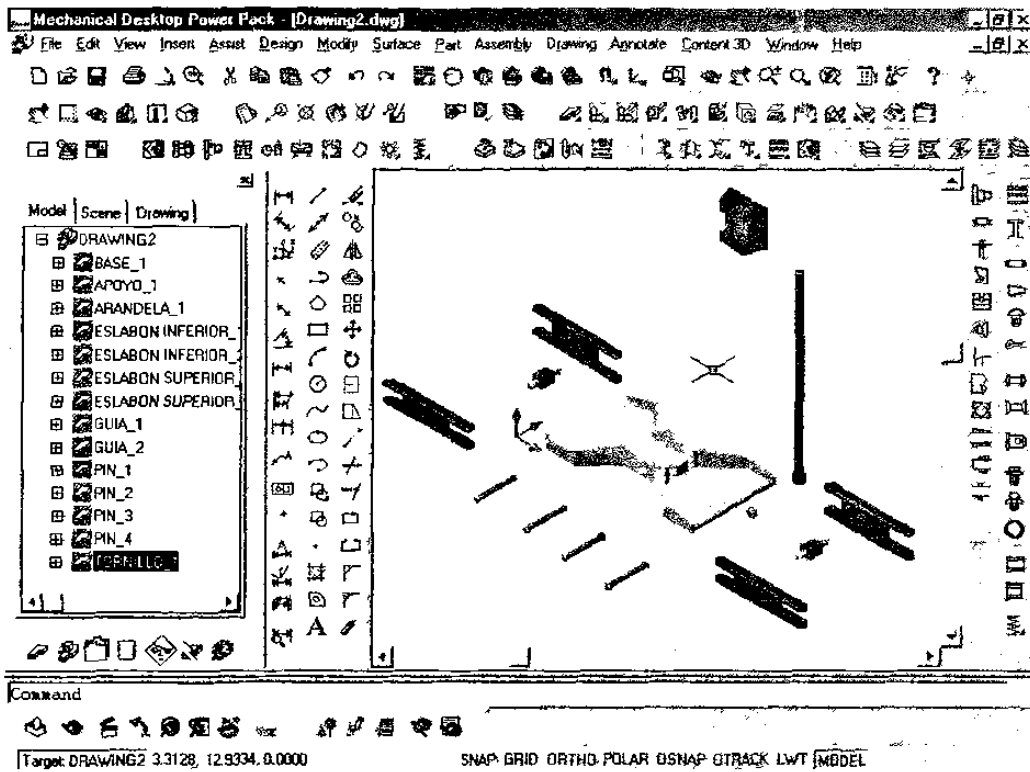


Figura 7.4 Componentes del mecanismo

Como he dicho es conveniente que se procure alinear las piezas, aproximándose a su posición final usando el comando de "Power Manipulator" y su alineación será como se ve en la figura 7.5.

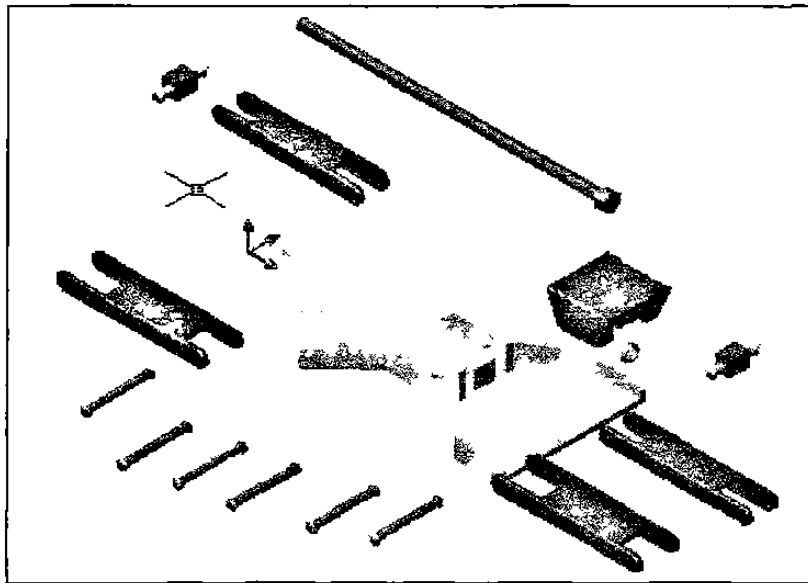


Figura 7.5 Alineación de las piezas

### 7.3.- CREACIÓN DE RESTRICCIONES

Después de que las partes hayan sido introducidas en el ensamble se tienen que agregar restricciones a las uniones de tales partes de una en una, el objetivo es que al ir las aplicando se van borrando los concernientes grados de libertad que había entre una parte y otra. En total cada parte posee seis grados de libertad.

El tipo de restricciones que se pueden aplicar son las siguientes:

**Mate.**- permite seleccionar, puntos, ejes, planos y caras no planas en dos diferentes partes y acoplarlas tocándose o teniendo de por medio una separación dada por el "offset".

**Flush.**- permite seleccionar dos partes en las que se habrán de poner al ras una de las caras de cada uno. También es válido el uso del offset después de la selección.

**Insert.**- hace que los círculos seleccionados se alineen sobre un mismo eje y por lo tanto obliga a sus caras a yacer sobre un mismo eje o con una separación (offset) de por medio.

**Angle.**- controla el ángulo entre dos planos, vectores o combinación de plano y vector.

Estas cuatro restricciones se ubican en el siguiente menú ilustrado en la figura 7.6.

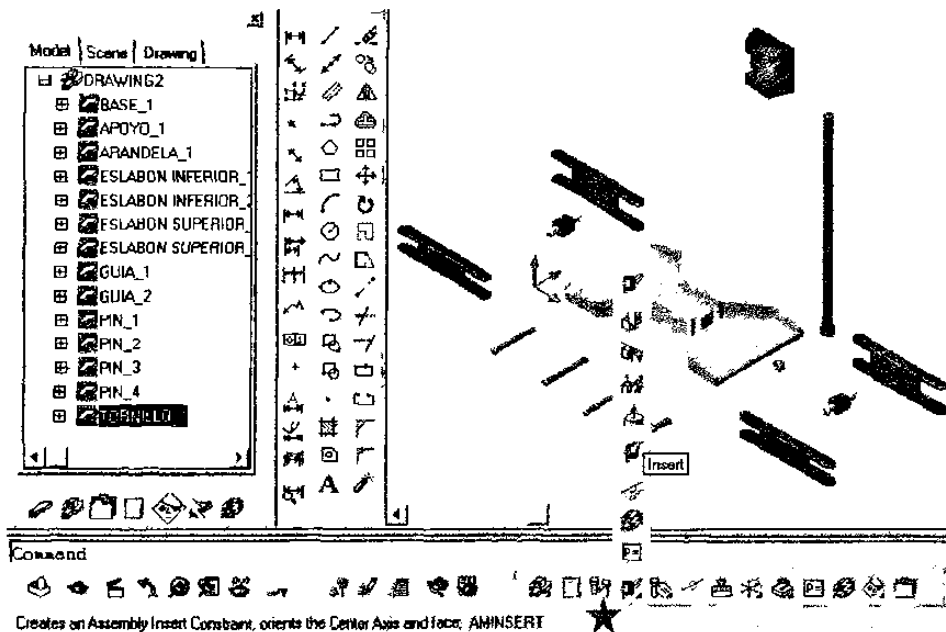


Figura 7.6 Ubicación de las cuatro restricciones de ensamble

El proceso de unir cada pieza es una labor muy tediosa porque obliga a tener que estar moviendo la pantalla con la función de “3dorbit”, así como haciendo acercamientos y alejamientos todo esto con el objeto de apreciar mejor las ubicaciones y espacios. Por lo tanto sólo ilustraré algunas uniones.

Uniremos uno de los eslabones inferiores con la base del mecanismo:

Primero seleccionamos la restricción de “Insert” en uno de los agujeros de la base, luego seleccionamos el agujero correspondiente del eslabón inferior que habrá de alinearse con el anterior. Ver figura 7.7.

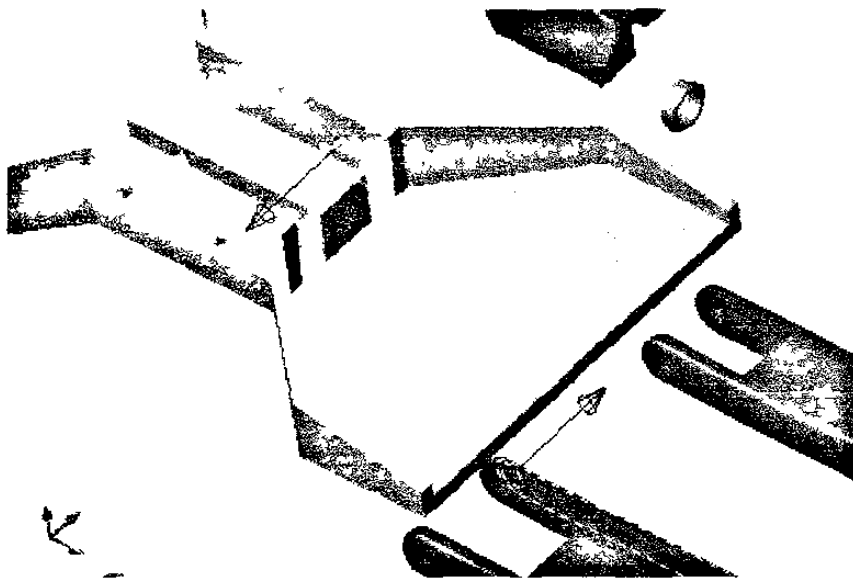
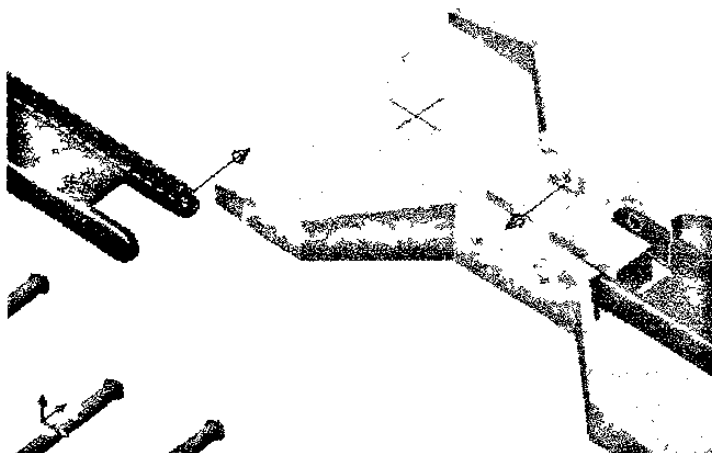


Figura 7.7 Aplicación de la restricción de “Insert”

De igual forma insertamos el eje del agujero del otro eslabón inferior en el otro par de agujeros de la base. Ver figura 7.8.

Figura 7.8 Aplicación de “Insert” en una segunda pieza



Debe notarse que cada uno de estos pasos que se van realizando quedan almacenados en el "Browser" o buscador.

Continuamos con el posicionamiento del apoyo, usando la restricción de "Mate" para dar cierta altura sobre el bloque central de la base que será de 10. Ver figura 7.9.

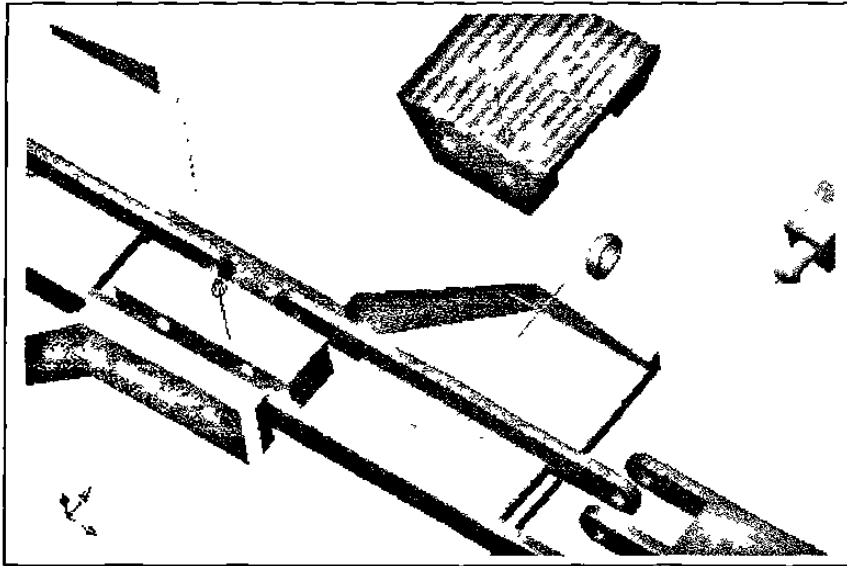
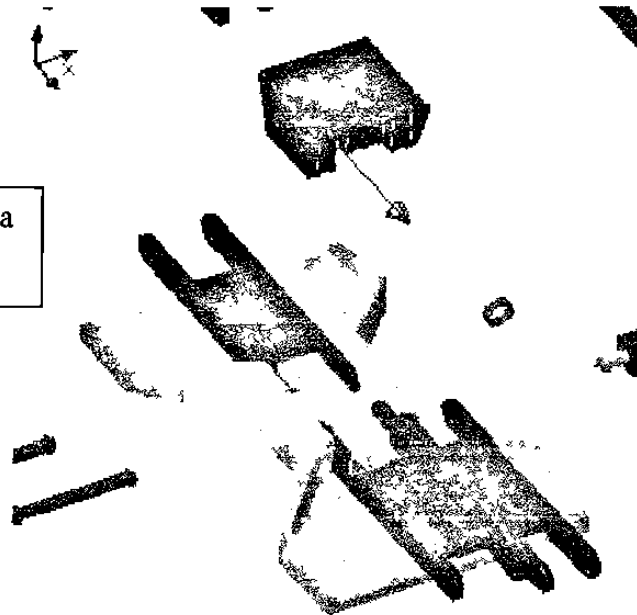


Figura 7.9 Aplicación de la restricción "Mate" para separar dos superficies

Seguimos con la aplicación del comando "Flush" para alinear a lo largo ambos cuerpos con un "offset" de 0.75 pulgadas ya que el bloque central de la base mide 3.5 y el del apoyo mide 2.0. Ver figura 7.10.

Figura 7.10 Aplicación de la restricción "Flush"



Seguimos con esta función ("Flush") y ahora aplicaremos una espaciamento a lo ancho de : mbos cuerpos. Ver figura 7.11.

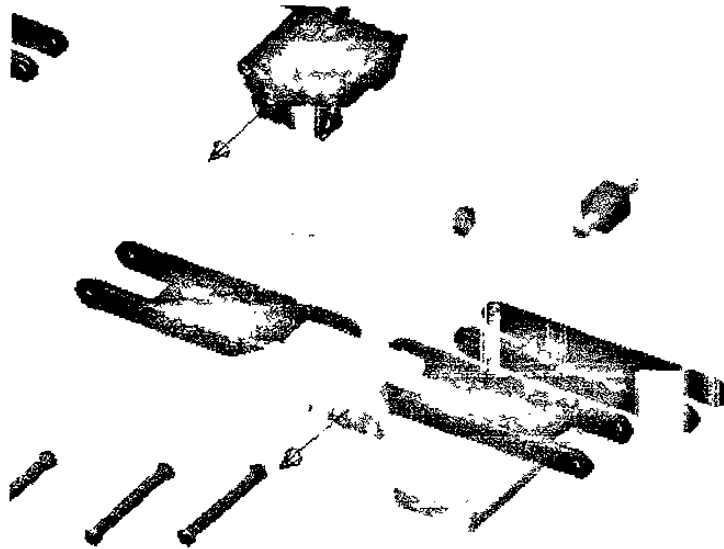


Figura 7.11 Uso de "Flush" para alinear las piezas a lo ancho

Ahora toca insertar el agujero del apoyo con el agujero del eslabón superior. Ver figura 7.12.

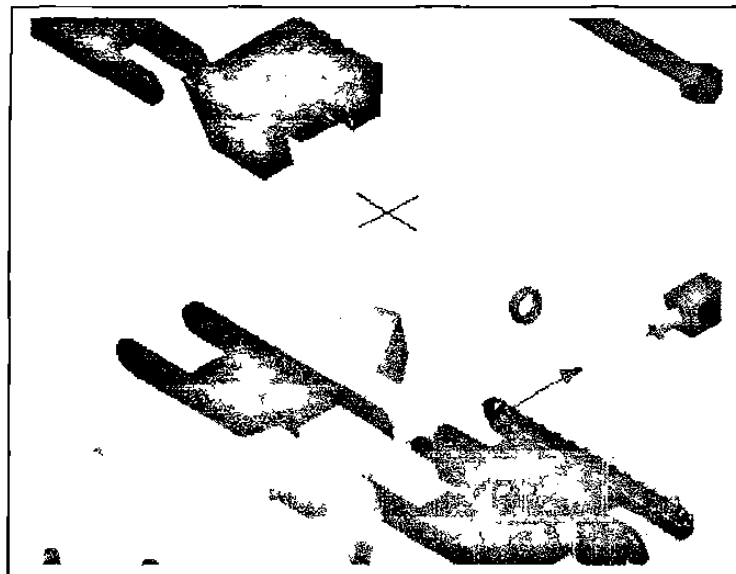


Figura 7.12 Uso de "Insert" entre los dos eslabones

Ahora conectaremos con la restricción “Mate” seleccionando los ejes de los agujeros de los eslabones superior e inferior con el objeto de empatar ambos ejes de centros, veamos la figura 7.13 (Nótense las líneas azules).

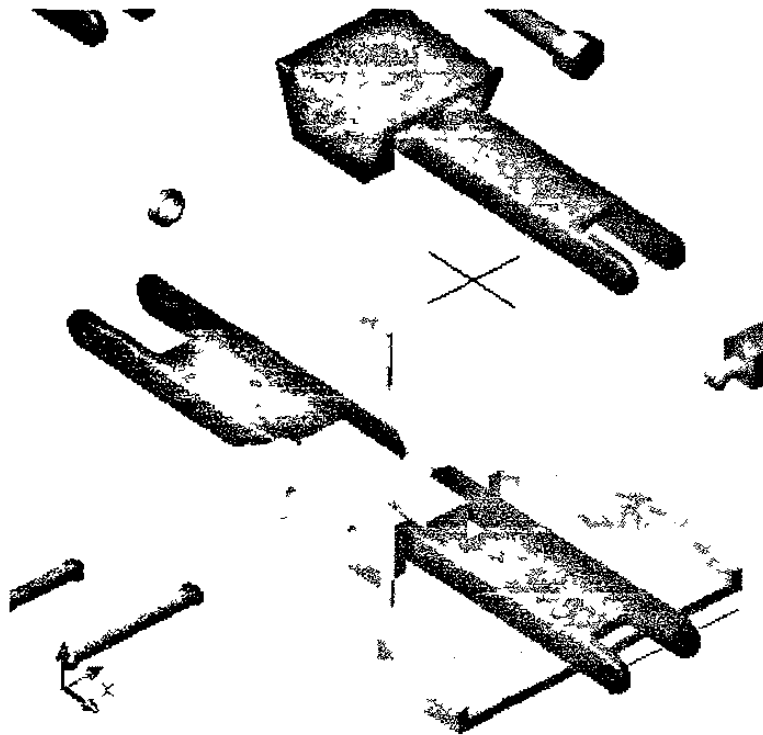
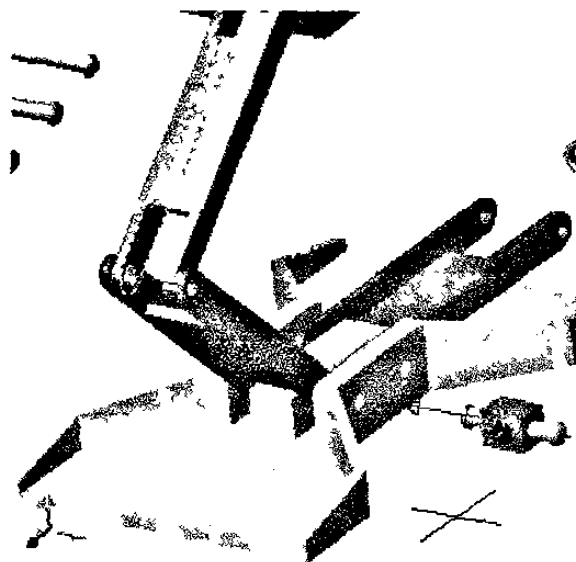


Figura 7.13 Aplicación de comando “Mate” con su opción de ejes

De esta forma ensamblaremos los otros dos eslabones hasta quedar de la siguiente forma a partir de la cual empezaremos a unir las guías de tornillo con la opción de “Insert”. Ver figura 7.14.

Figura 7.14 Uso del “Insert” para unir las guías





Proseguimos alineando la arandela con la guía del tornillo, nuevamente se hará con el comando de "Insert". Ver figura 7.15.

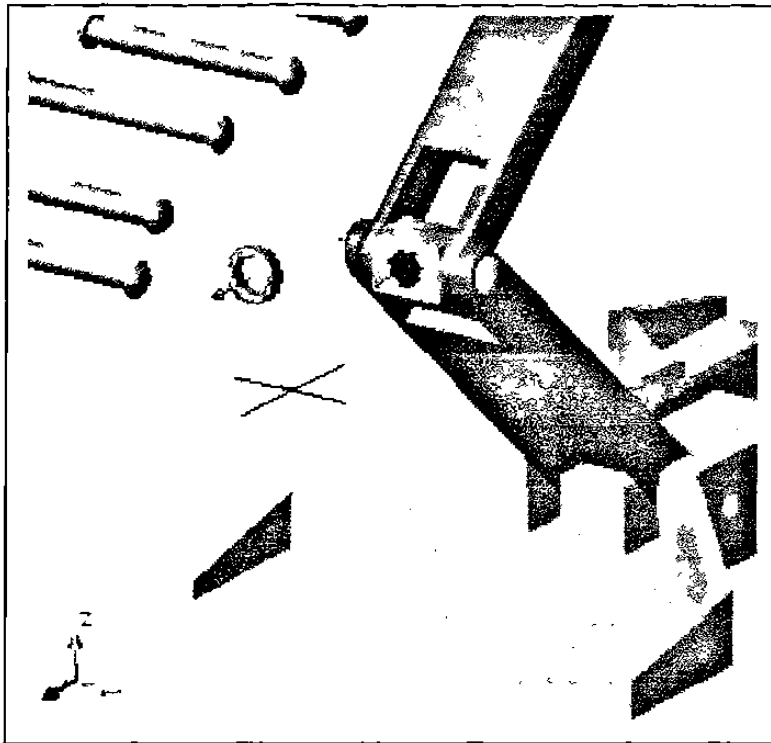
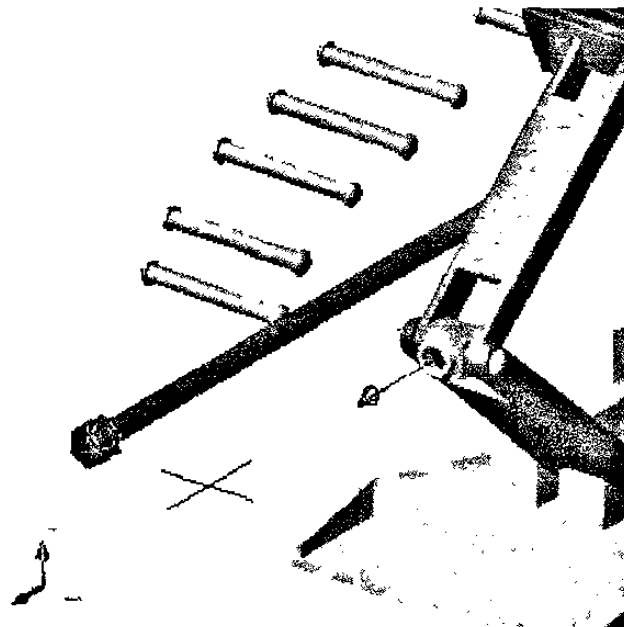


Figura 7.15 Inserción de la arandela sobre la guía de tornillo

Finalmente colocaremos el tornillo insertándolo dentro de la guía y dentro de la arandela con la restricción "Insert", ver figura 7.16. Los pines se insertan exactamente de la misma forma.

Figura 7.16 Inserción del tornillo en la guía y arandela



Por último el ensamble terminado se ve de la siguiente forma, como se ilustra en la figura 7.17.

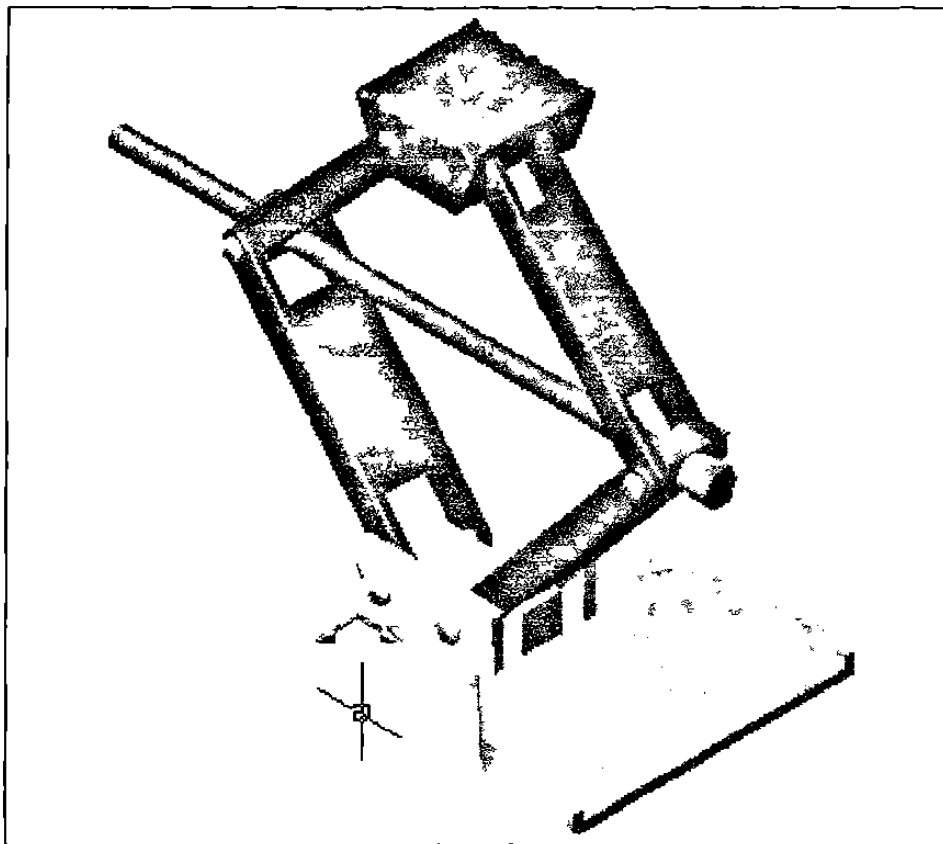


Figura 7.17 Ensamble del gato de tornillo

## **8.- ANÁLISIS MATEMÁTICO DEL MECANISMO**

### **8.1.- ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA POR EL METODO DE NODOS**

Existen tres tipos de estructuras, a saber:

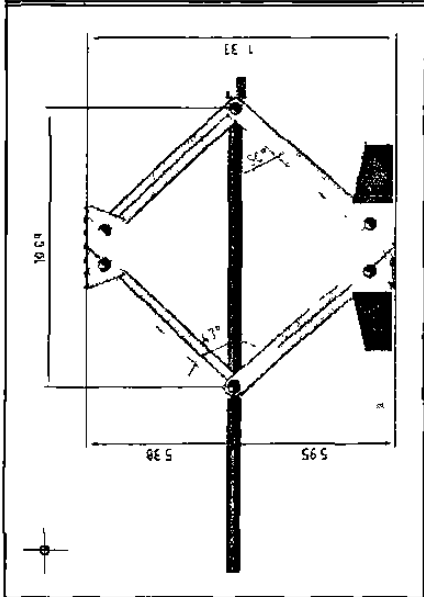
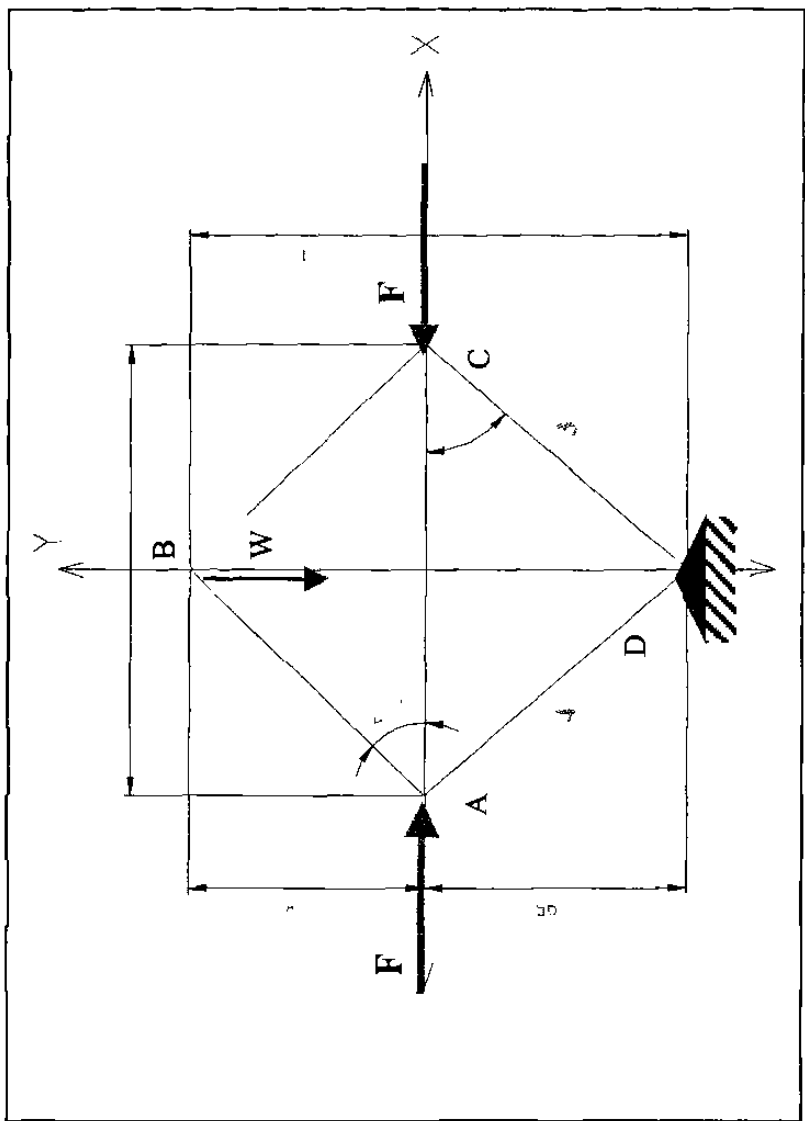
a) Armaduras, que están diseñadas para soportar cargas y son normalmente estructuras fijas y estables. Constan exclusivamente de elementos rectos conectados en nodos localizados en los extremos de los elementos. Por lo tanto los elementos de estas estructuras son elementos de dos fuerzas, es decir, elementos sobre los cuales actúan dos fuerzas iguales y opuestas dirigidas a lo largo del elemento.

b) Armazones, que también están diseñados para soportar cargas y, asimismo, son estructuras normalmente fijas y estables. Sin embargo, siempre contienen por lo menos un elemento de fuerza múltiple, esto es, un miembro sobre el que actúan tres o más que generalmente no son longitudinales.

c) Máquinas, que están diseñadas para transmitir y modificar fuerzas y son estructuras que contienen partes móviles. Las máquinas tienen también por lo menos un elemento de fuerza múltiple.

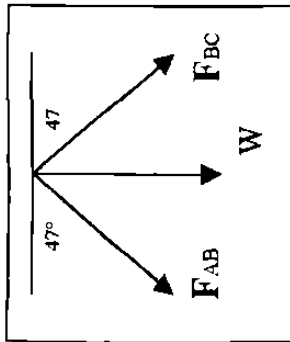
Por lo tanto, en lo que atañe a este estudio se concluye que la estructura del gato mecánico es una Armadura ya que sus miembros no son continuos a través de sus nodos, son delgados y no reciben cargas laterales. Sin entrar en detalle sobre en que consiste en Método de Nodos o Nudos ya que eso compete al nivel de licenciatura, lo aplicaremos enseguida quedando el estudio de la siguiente forma, pudiendo encontrar todas las variables ya que estamos tratando con una estructura estáticamente determinada:

El diagrama del ensamble como cuerpo y cuyo Diagrama Libre son los siguientes:



SUPOSICIONES GEOMÉTRICAS:  
 $F_{AB} = F_{BC}$   
 $F_{CD} = F_{AD}$   
 $D_x = 0$

NODO B



$$\sum F_x = 0$$

$$-F_{AB} \cos 47 + F_{BC} \cos 47 = 0$$

$$\therefore F_{AB} = F_{BC}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$-F_{AB} \sin 47 - W - F_{BC} \sin 47 = 0$$

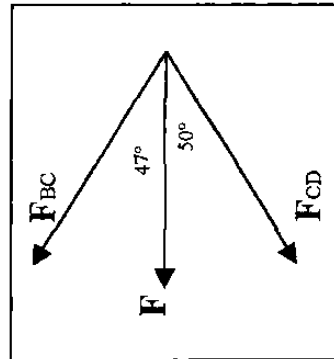
$$-2F_{AB} \sin 47 - W = 0$$

$$F_{AB} = F_{BC} = \frac{-W}{2 \sin 47}$$

$$F_{AB} = \frac{-500 \text{ KG}}{2 \sin 47} = -341.831 \text{ KG} = -752.931 \text{ Lb}$$

COMPROBACION

NODO C



$$\sum F_x = 0$$

$$-F_{BC} \cos 47 - F - F_{CD} \cos 50 = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F_{BC} \sin 47 - F_{CD} \sin 50 = 0$$

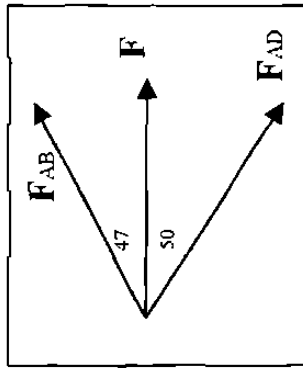
$$F_{CD} = \frac{F_{BC} \sin 47}{\sin 50}$$

$$F_{CD} = 0.9547 F_{BC}$$

$$F_{CD} = 0.9547 (-341.831 \text{ KG})$$

$$F_{CD} = -326.346 \text{ KG} = -718.823 \text{ Lb}$$

NODO A



$$\sum F_x = 0$$

$$F_{AB} \cos 47 + F_{AD} \cos 50 + F = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F_{AB} \sin 47 - F_{AD} \sin 50 = 0$$

$$F_{AD} = \frac{F_{AB} \sin 47}{\sin 50}$$

$$F_{AD} = \frac{-341.831(\sin 47)}{\sin 50}$$

$$F_{AD} = -326.35 \text{ KG} = -718.834 \text{ Lb}$$

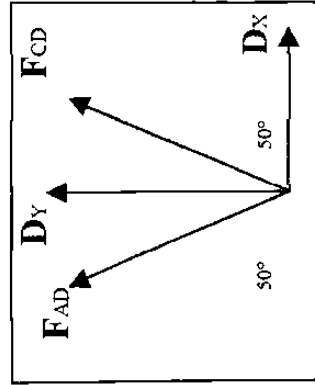
$$\therefore F = -F_{AB} \cos 47 - F_{AD} \cos 50$$

$$F = 341.831 \text{ KG} (\cos 47) - (-326.346 \text{ KG}) \cos 50$$

$$F = 442.9 \text{ KG} = 975.549 \text{ Lb}$$

COMPROBAMOS  
LO QUE POR  
GEOMETRÍA  
SUPUSIMOS, QUE  
 $F_{AD}$  Y  $F_{CD}$  ERAN  
IGUALES

NODO D



$$\sum F_x = 0$$

$$-F_{AD} \cos 50 + F_{CD} \cos 50 + D_x = 0$$

$$-F_{CD} \cos 50 + F_{CD} \cos 50 + D_x = 0$$

$$\Rightarrow D_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F_{AD} \sin 50 + D_y + F_{CD} \sin 50 = 0$$

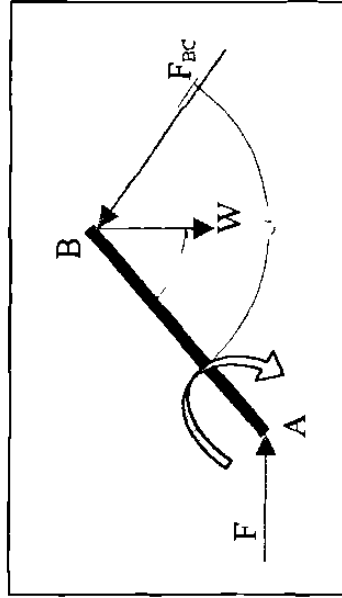
$$F_{CD} \sin 50 + D_y + F_{CD} \sin 50 = 0$$

$$\Rightarrow D_y = -2F_{CD} \sin 50$$

$$D_y = -2(-326.346 \text{ KG}) \sin 50 = -500 \text{ KG} = -1101.301 \text{ Lb}$$

## 8.2.- CÁLCULO DE LOS MOMENTOS

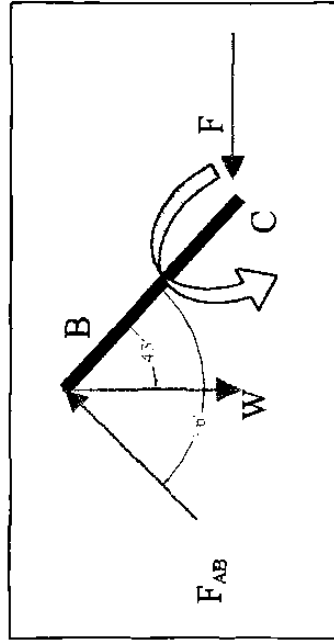
ELEMENTO 1



$$\begin{aligned}
 M_1 &= -l_e \text{sen}43^\circ(W) + l_e \text{sen}86^\circ(F_{AB}) \\
 &= -7.3753932 \text{sen}43^\circ(1101.321 \text{Lb}) + 7.3753932 \text{sen}86^\circ(752.931 \text{Lb}) \\
 &= -5539.651 + 5539.634 \\
 &= -0.016358 \text{Lb} - \text{pulg.}
 \end{aligned}$$

Por lo tanto el elemento tiene momento de compresion

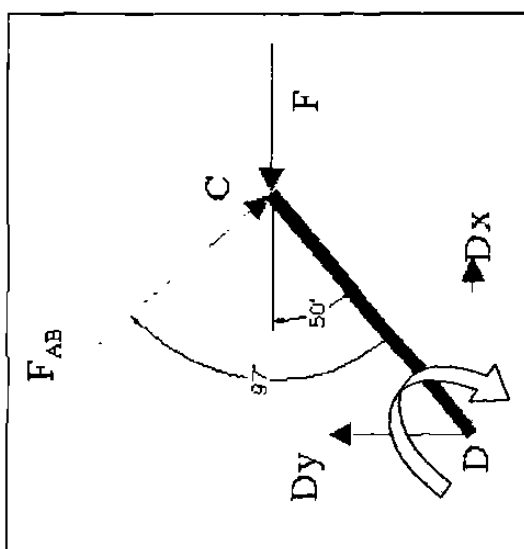
ELEMENTO 2



$$\begin{aligned}
 M_2 &= l_e \text{sen}43^\circ(W) - l_e \text{sen}86^\circ(F_{AB}) \\
 &= 7.3753932 \text{sen}43^\circ(1101.321 \text{Lb}) - 7.3753932 \text{sen}86^\circ(752.931 \text{Lb}) \\
 &= 5539.651 - 5539.634 \\
 &= 0.016358 \text{Lb} - \text{pulg.}
 \end{aligned}$$

Por lo tanto el elemento tiene momento de tension

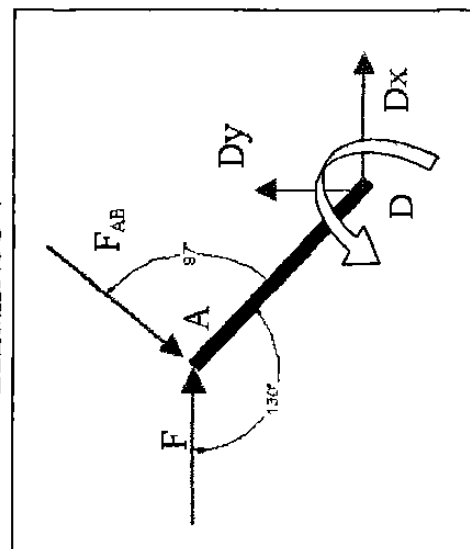
ELEMENTO 3



$$\begin{aligned}
 M_3 &= \ell_e \text{sen}50^\circ(F) - \ell_e F_{AB} \text{sen}97^\circ \\
 &= 7.8 \text{sen}50^\circ(975.549 \text{Lb}) - 7.8(752.93 \text{Lb}) \text{sen}97^\circ \\
 &= 5829.75 - 5829.77 \\
 &= -0.03029504 \text{Lb} - \text{pulg}
 \end{aligned}$$

Por lo tanto el elemento tiene momento de compresión

ELEMENTO 4

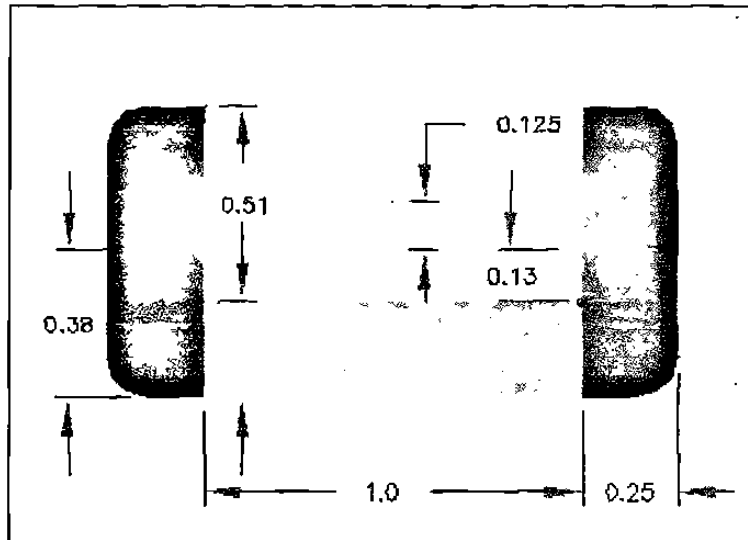


$$\begin{aligned}
 M_4 &= -\ell_e \text{sen}130^\circ(F) + \ell_e F_{AB} \text{sen}97^\circ \\
 &= -7.8 \text{sen}130^\circ(975.549 \text{Lb}) + 7.8(752.93 \text{Lb}) \text{sen}97^\circ \\
 &= -5829.74 + 5829.77 \\
 &= 0.03029504 \text{Lb} - \text{pulg}
 \end{aligned}$$

Por lo tanto el elemento tiene momento de tensión



### 8.3.- CÁLCULO DEL MOMENTO DE INERCIA DE LOS ESLABONES SUPERIORES



#### SECCIÓN TRANSVERSAL

$$A = 2(0.76)(0.25) + 0.25(1)$$

$$A = 0.63 \text{ pulg.}^2$$

#### RECTANGULO GRANDE:

$$I_x = \frac{bh^3}{12} = \frac{1.5(0.76)^3}{12} = 5.487 \times 10^{-2} \text{ pulg}^4$$

#### RECTANGULO CHICO

$$I_x = I_{RECT} + Ad^2$$

$$A = 1(0.51) = 0.51 \text{ pulg}^2$$

$$Ad^2 = 0.51(0.125)^2 = 7.968 \times 10^{-3} \text{ pulg}^4$$

$$I_{RECT} = \frac{1(0.51)^3}{12} = 1.105 \times 10^{-2} \text{ pulg}^4$$

$$\Rightarrow I_x = 1.105 \times 10^{-2} + 7.968 \times 10^{-3}$$

$$\therefore I_x = 1.901 \times 10^{-2} \text{ pulg}^4$$

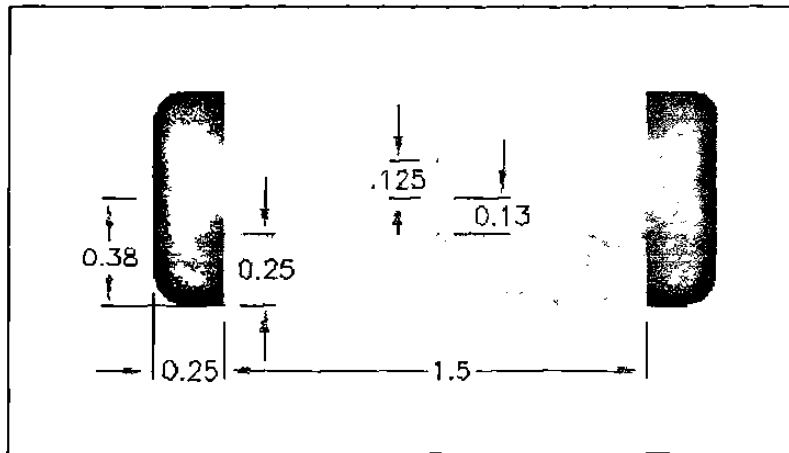
#### MOMENTO DE INERCIA TOTAL

$$I_{TOT} = I_{RECT.GDE} - I_{RECT.CH}$$

$$I_{TOT} = 5.487 \times 10^{-2} - 1.901 \times 10^{-2}$$

$$I_{TOT} = 3.585 \times 10^{-2} \text{ pulg}^4$$

#### 8.4.- CÁLCULO DEL MOMENTO DE INERCIA DE LOS ESLABONES INFERIORES



##### SECCIÓN TRANSVERSAL

$$A = 2(0.76)(0.25) + 0.25(1.5)$$

$$A = 0.755 \text{ pulg.}^2$$

##### RECTANGULO GRANDE:

$$I_x = \frac{bh^3}{12} = \frac{2(0.76)^3}{12} = 0.0731 \text{ pulg.}^4$$

##### RECTANGULO CHICO

$$I_x = I_{RECT} + Ad^2$$

$$A = 1.5(0.51) = 0.765 \text{ pulg.}^2$$

$$Ad^2 = 0.765(0.125)^2 = 1.195 \times 10^{-2} \text{ pulg.}^4$$

$$I_{RECT} = \frac{1.5(0.51)^3}{12} = 1.658 \times 10^{-2} \text{ pulg.}^4$$

$$\Rightarrow I_x = 1.658 \times 10^{-2} + 1.195 \times 10^{-2}$$

$$\therefore I_x = 2.853 \times 10^{-2} \text{ pulg.}^4$$

##### MOMENTO DE INERCIA TOTAL

$$I_{TOT} = I_{RECT\ GDE} - I_{RECT\ CH}$$

$$I_{TOT} = 0.0731 - 2.853 \times 10^{-2}$$

$$I_{TOT} = 4.456 \times 10^{-2} \text{ pulg.}^4$$

## 8.5.- CÁLCULOS DE LOS ESFUERZOS TOTALES

ELEMENTO 1

$$\sigma_1 = \pm\sigma_a \pm \sigma_f = -\frac{752.931Lb}{0.63\text{pulg}^2} - \frac{.016358Lb - \text{pulg}(0.38\text{pulg})}{3.585 \times 10^{-2}\text{pulg}^4} = -1195.3\text{ psi}$$

ELEMENTO 2

$$\sigma_2 = \pm\sigma_a \pm \sigma_f = -\frac{752.931Lb}{0.63\text{pulg}^2} + \frac{0.016358Lb - \text{pulg}(0.38\text{pulg})}{3.585 \times 10^{-2}\text{pulg}^4} = -1194.955\text{ psi}$$

ELEMENTO 3

$$\sigma_3 = \pm\sigma_a \pm \sigma_f = -\frac{718.823Lb}{0.755\text{pulg}^2} - \frac{0.03029504Lb - \text{pulg}(0.38\text{pulg})}{4.456 \times 10^{-2}\text{pulg}^4} = -952.341\text{ psi}$$

ELEMENTO 4

$$\sigma_4 = \pm\sigma_a \pm \sigma_f = -\frac{718.823Lb}{0.755\text{pulg}^2} + \frac{0.03029504Lb - \text{pulg}(0.38\text{pulg})}{4.456 \times 10^{-2}\text{pulg}^4} = -951.825\text{ psi}$$

## **9.- ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA POR EL METODO DEL ANÁLISIS DEL ELEMENTO FINITO**

### **9.1.- INTODUCCION**

El método del elemento finito se ha convertido en una herramienta poderosa en la solución numérica de una amplia gama de problemas de ingeniería. Aplicaciones desde análisis de deformaciones y esfuerzos en edificios, automóviles, aviones y estructuras de puentes hasta el análisis de flujos de calor, de fluidos, magnético, etc.

\*\*\*En este capítulo se explicarán las fórmulas y metodología concerniente al Método de elemento finito y posteriormente se efectuarán las operaciones\*\*\*

### **9.2.- RESEÑA HISTÓRICA**

Las primeras ideas sobre el método del elemento finito se originaron a raíz de los avances en el análisis estructural de los aviones. En 1941, Hrenikoff presentó una solución a los problemas de elasticidad usando el “Método del Marco de Trabajo”. El estudio de Courant el cual usaba interpolación de polinomios sobre regiones triangulares a los problemas de torsión apareció en 1943. Turner derivó matrices de rigidez para estructuras, vigas y otros elementos y presentó sus hallazgos en 1956.

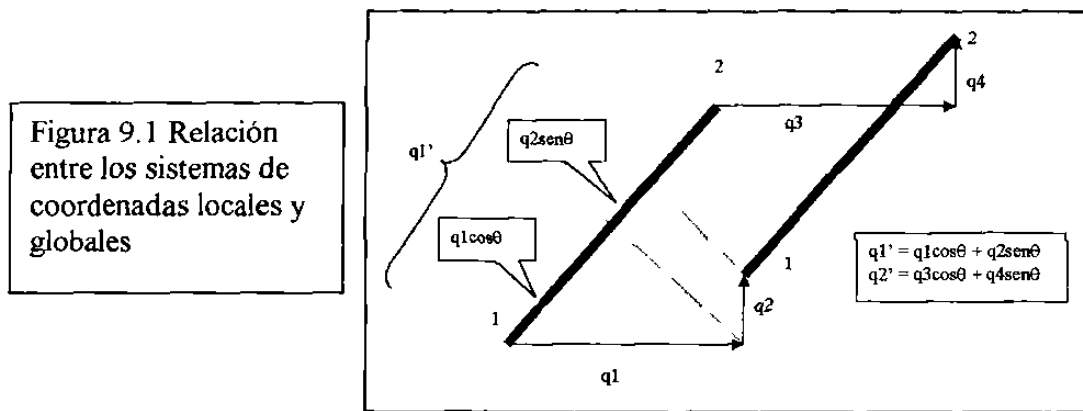
En 1960 fue usado por primera vez el término “elemento finito” por Clough. Y en 1967 se publicó el primer libro oficial sobre elemento finito por Zienkiewicz y Chung

para problemas lineales y en 1972 toca el turno al primer libro sobre problemas no lineales, editado por Oden.

### 9.3.- SISTEMAS DE COORDENADAS LOCALES Y TOTALES

La principal diferencia entre una estructura unidimensional y una bidimensional es que los elementos de la segunda tienen varias orientaciones.

Un típico elemento de estructura bidimensional se muestra enseguida en la figura 9.1, en los sistemas de coordenadas locales y globales:



Bajo el esquema de numeración local los dos nodos del elemento están enumerados como uno y dos simplemente. El sistema de coordenadas locales consiste del eje  $X'$  el cual corre a lo largo del elemento, del nodo uno al nodo dos.

En el sistema de coordenadas totales o "globales" no hay una dependencia de la orientación del elemento y cada nodo tiene dos grados de libertad a los que llamaremos de aquí en adelante como "dofs". Un nodo cuyo número de nodo sea " $j$ " está asociado con los "dofs"  $2j-1$  y  $2j$  y con los desplazamientos  $Q_{2j-1}$  y  $Q_{2j}$ .

Sean  $q1'$  y  $q2'$  los desplazamientos locales de los nodos uno y dos, de esta forma el vector de desplazamiento en el sistema local de coordenadas está denotado por:

$$q' = [q1', q2']$$

Ahora bien, el vector de desplazamiento en el sistema de coordenadas globales o totales es un vector  $(4 \times 1)$ , denotado por:

$$q = [q1, q2, q3, q4]$$

La relación entre  $q'$  y  $q$  se desarrolla como lo vemos en la figura anterior, en que

$$q_1' = q_1 \cos\theta + q_2 \sin\theta$$

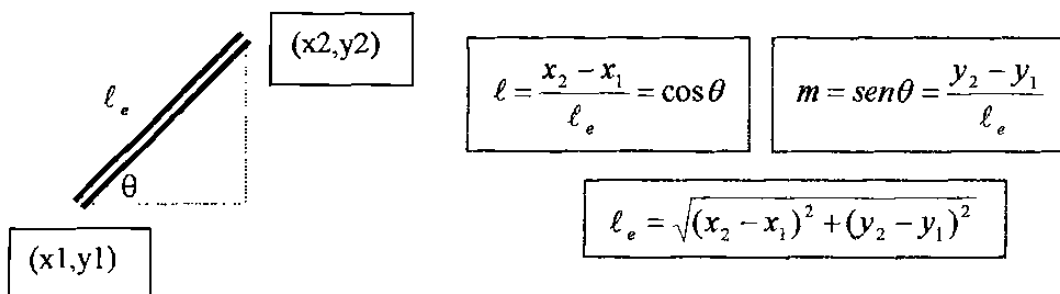
$$q_2' = q_3 \cos\theta + q_4 \sin\theta$$

Llamaremos a  $\cos\theta$  como " $\ell$ " y a  $\sin\theta$  como  $m$  y ahora el vector de desplazamiento en el sistema de coordenadas locales  $q'$  se puede escribir como:

$q' = Lq$  donde  $L$  es una matriz:

$$L = \begin{bmatrix} \ell, m, 0, 0 \\ 0, 0, \ell, m \end{bmatrix}$$

#### 9.4.- FÓRMULAS PARA CALCULAR $\ell$ Y $m$ :



#### 9.5.- MATRICES DE RIGIDEZ, DEL ELEMENTO Y GLOBAL

De la aproximación de la "Energía Potencial" obtenemos una matriz denominada "Matriz rígida del elemento" en una estructura unidimensional:

$$k_e = \frac{E_e A_e}{\ell_e} \begin{bmatrix} 1, -1 \\ -1, 1 \end{bmatrix}$$

Los elementos en una estructura bidimensional se comportan como un elemento de una unidimensional cuando son estudiados en el sistema de coordenadas locales de tal forma que sus matrices rígidas estarán dadas por la anterior ecuación, donde  $E_e$  significa el módulo de Young,  $A_e$  es el área transversal del elemento y  $\ell_e$  es su longitud.

Ahora el problema es encontrar una expresión para la matriz rígida del elemento en el sistema de coordenadas globales, utilizando el método de la energía de la tensión y de la energía potencial encontramos.

$$k_e = \frac{E_e A_e}{\ell_e} \begin{bmatrix} \ell^2, \ell m, -\ell^2, -\ell m \\ \ell m, m^2, -\ell m, -m^2 \\ -\ell^2, -\ell m, \ell^2, \ell m \\ -\ell m, -m^2, \ell m, m^2 \end{bmatrix}$$

Propiedades de la Matriz de Rigidez Global  $\mathbf{K}$ :

- 1.- La dimensión de la matriz de rigidez total  $\mathbf{K}$  es  $(2N \times 2N)$ , donde  $N$  es el número de nodos en una estructura bidimensional ya que cada nodo tiene dos grados de libertad.
- 2.-  $\mathbf{K}$  es simétrica
- 3.-  $\mathbf{K}$  es una matriz en banda, es decir, todos los elementos fuera de la diagonal principal son cero.

**Forma en que se arma la Matriz de Rigidez Global:**

Los elementos de cada  $k_e$  se colocan dentro de la  $\mathbf{K}$  dependiendo de las conexiones de los elementos, dicho de otra forma, cada componente de la matriz de cada elemento será situado en la  $\mathbf{K}$  dependiendo de los "dofs" que demarcarán las filas y columnas de la nueva matriz.

$$\mathbf{K} \leftarrow \sum_e k^e$$

## 9.6.- CÁLCULOS DE ESFUERZO

Los esfuerzos de un elemento se obtienen partiendo de que el elemento en una estructura bidimensional en las coordenadas locales es un simple miembro de dos fuerzas, por lo que el esfuerzo  $\sigma = E_e \epsilon$

En vista de que la deformación unitaria  $\epsilon$  es el cambio en longitud (o deformación) sobre la longitud total en la que se ha producido, ello se expresa como:

$$\sigma = \frac{E_e}{\ell_e} q_2^i - q_1^i$$

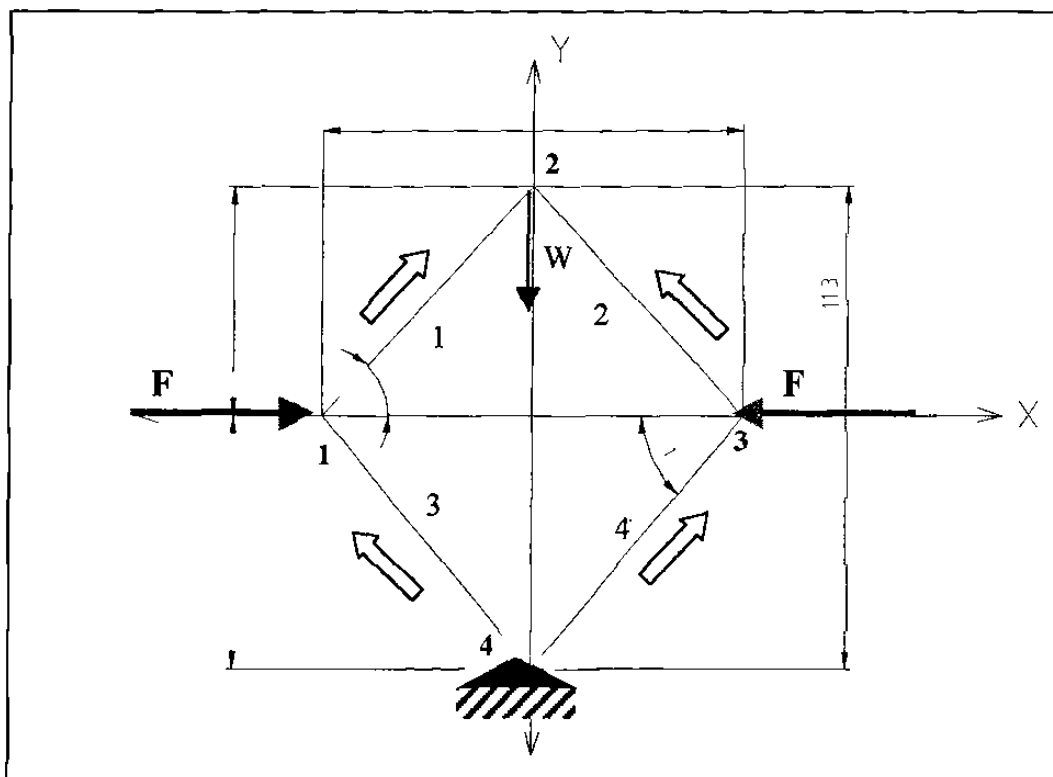
$$\sigma = \frac{E_e}{\ell_e} [-1, 1] \begin{Bmatrix} q_1^i \\ q_2^i \end{Bmatrix}$$

$$\sigma = \frac{E_e}{\ell_e} [-1, 1] Lq$$

$$\sigma = \frac{E_e}{\ell_e} [-1, 1] \begin{bmatrix} \ell, m, 0, 0 \\ 0, 0, \ell, m \end{bmatrix} q$$

$$\sigma = \frac{E_e}{l_e} [-l, -m, l, m] q$$

### 9.7.- OPERACIONES EN LA SOLUCIÓN DEL MECANISMO



1.- Primero es recomendable crear una tabla con las coordenadas de cada nodo:

NODOS	X	Y
1	0	0
2	5.045	5.38
3	10.09	0
4	5.045	-5.95



2.- Seguimos con una tabla que muestre las conexiones entre nodos y elementos, si bien pueden ir en sentido inverso, el sentido que se estipule se respetará en el resto del problema, se denotan por

→

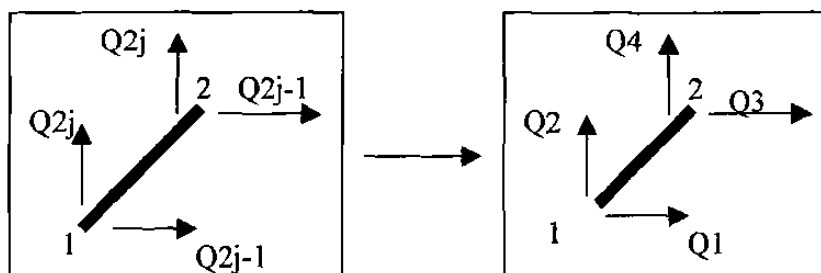
ELEMENTOS	INICIO	FINAL
1	1	2
2	3	2
3	4	3
4	4	1

3.- Ahora obtendremos la dirección de los cosenos y senos:

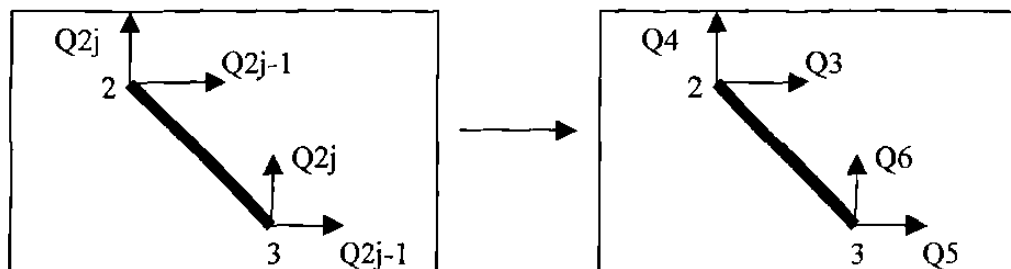
ELEMENTOS	$l_e$	$l$	$m$
1	7.37539321	0.68403133	0.72945263
2	7.37539321	-0.68403133	0.72945263
3	7.80093103	0.64671768	0.76272947
4	7.80093103	-0.64671768	0.76272947

4.- Posteriormente calculamos las matrices de rigidez de los elementos, usando  $E = 3 \times 10^7$  psi para todos los elementos y  $A_1 = A_2 = 0.63$  pulg.<sup>2</sup> y  $A_3 = A_4 = 0.755$  pulg.<sup>2</sup>

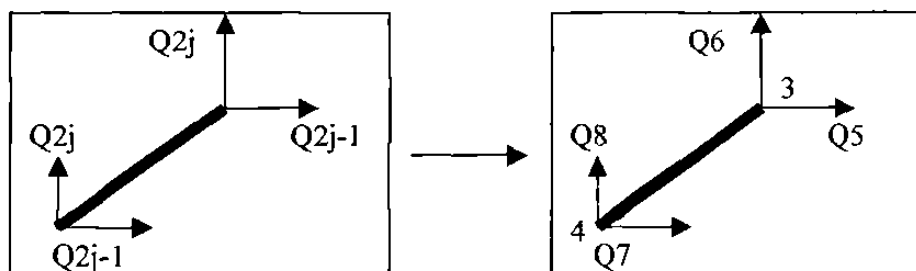
1	2	3	4	"dofs"
<b>matriz k1</b>				
1.199E+06	1.279E+06	-1.199E+06	-1.279E+06	1
1.279E+06	1.364E+06	-1.279E+06	-1.364E+06	2
-1.199E+06	-1.279E+06	1.199E+06	1.279E+06	3
-1.279E+06	-1.364E+06	1.279E+06	1.364E+06	4



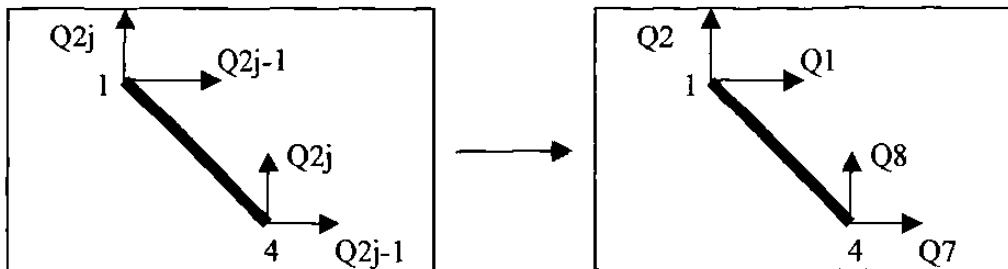
5	6	3	4	"dofs"
<b>matriz k2</b>				
1.199E+06	-1.279E+06	-1.199E+06	1.279E+06	5
-1.279E+06	1.364E+06	1.279E+06	-1.364E+06	6
-1.199E+06	1.279E+06	1.199E+06	-1.279E+06	3
1.279E+06	-1.364E+06	-1.279E+06	1.364E+06	4



7	8	5	6	"dofs"
<b>matriz k3</b>				
1.214E+06	1.432E+06	-1.214E+06	-1.432E+06	7
1.432E+06	1.689E+06	-1.432E+06	-1.689E+06	8
-1.214E+06	-1.432E+06	1.214E+06	1.432E+06	5
-1.432E+06	-1.689E+06	1.432E+06	1.689E+06	6



	7	8	1	2	"dofs"
<b>matriz k4</b>					
	1.214E+06	-1.432E+06	-1.214E+06	1.432E+06	7
	-1.432E+06	1.689E+06	1.432E+06	-1.689E+06	8
	-1.214E+06	1.432E+06	1.214E+06	-1.432E+06	1
	1.432E+06	-1.689E+06	-1.432E+06	1.689E+06	2



5.- Ahora armaremos la matriz de rigidez global  $K$  a partir de las anteriores "k" en donde también las filas y las columnas están enumeradas por los grados de libertad (ocho en total) yendo poniendo los registros de las "k" sobre la  $K$ , notando que en algunos casos habrá traslape, en cuyo caso se sumarán tales registros.

"dofs"	1	2	3	4	5	6	7	8
1	2.412E+06	-1.536E+05	-1.199E+06	-1.279E+06	0.000E+00	0.000E+00	-1.214E+06	1.43E+06
2	-1.536E+05	3.052E+05	-1.279E+06	-1.364E+06	0.000E+00	0.000E+00	1.432E+06	-1.689E+06
3	-1.199E+06	-1.279E+06	2.22E+06	0.000E+00	-1.199E+06	1.279E+06	0.000E+00	0.000E+00
4	-1.279E+06	-1.364E+06	0.000E+00	2.727E+06	1.279E+06	-1.364E+06	0.000E+00	0.000E+00
5	0.000E+00	0.000E+00	-1.199E+06	1.279E+06	2.412E+06	1.536E+05	-1.214E+06	-1.432E+06
6	0.000E+00	0.000E+00	1.279E+06	-1.364E+06	1.536E+05	3.052E+05	-1.432E+06	-1.689E+06
7	-1.214E+06	1.432E+06	0.000E+00	0.000E+00	-1.214E+06	-1.432E+06	2.429E+06	0.000E+00
8	1.432E+06	-1.689E+06	0.000E+00	0.000E+00	-1.432E+06	-1.689E+06	0.000E+00	3.378E+06

Compruébense las características de K antes anunciadas. Existe la regla de que antes de resolver esta matriz, deben eliminarse las filas y columnas que correspondan a los "dofs" que pertenecen a puntos fijos, en este caso filas y columnas 7 y 8 sombreadas de azul.

6.- Por lo tanto la nueva matriz de rigidez ya reducida en conjunto con las cargas quedaría de la siguiente forma:

$$\begin{pmatrix} 2.413E+06 & -1.536E+05 & -1.199E+06 & -1.279E+06 & 0.000E+00 & 0.000E+00 \\ -1.536E+05 & 3.053E+06 & -1.279E+06 & -1.364E+06 & 0.000E+00 & 0.000E+00 \\ -1.199E+06 & -1.279E+06 & 2.398E+06 & 0.000E+00 & -1.199E+06 & 1.279E+06 \\ -1.279E+06 & -1.364E+06 & 0.000E+00 & 2.727E+06 & 1.279E+06 & -1.364E+06 \\ 0.000E+00 & 0.000E+00 & -1.199E+06 & 1.279E+06 & 2.413E+06 & 1.536E+05 \\ 0.000E+00 & 0.000E+00 & 1.279E+06 & -1.364E+06 & 1.536E+05 & 3.053E+06 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Q1 \\ Q2 \\ Q3 \\ Q4 \\ Q5 \\ Q6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 975.55 \\ 0 \\ 0 \\ -1101.321 \\ -975.55 \\ 0 \end{pmatrix}$$

7.- Si resolvemos el anterior sistema de ecuaciones, encontraremos los valores de los desplazamientos, “Q”.

Q1	6.9172E+10	Q5	-3.0366E+10
Q2	5.8651E+10	Q6	2.5747E+10
Q3	3.6948E+10	Q7	-1.613E-11
Q4	8.8869E+10	Q8	-3.3081E-08

8.- Ahora aplicaremos la fórmula del esfuerzo antes vista para cada uno de los cuatro elementos, como sigue, recordando que el vector “q” contiene solo los valores correspondientes a las conexiones establecidas:

$$\sigma_1 = \frac{3 \times 10^7}{7.3753} [-0.68403132639189, -0.729452633496207, 0.68403132639189, 0.729452633496207]$$

$$\Rightarrow \sigma_1 = \frac{3 \times 10^7}{7.3753} [-0.000301346182823181] = -1225.749628 \text{ psi}$$

69172099479.6854
58650965021.0103
36947777215.1845
88868754207.7026

$$\sigma_2 = \frac{3 \times 10^7}{7.3753} [0.68403132639189, -0.729452633496207, -0.68403132639189, 0.729452633496207]$$

$$\Rightarrow \sigma_2 = \frac{3 \times 10^7}{7.3753} [-0.000290095806121826] = -1179.987824 \text{ psi}$$

-30365519703.8076  
 25746898639.6147  
 3694777215.1845  
 88868754207.7026

$$\sigma_3 = \frac{3 \times 10^7}{7.8009} [-0.646717677402421, -0.762729470871041, 0.646717677402421, 0.762729470871041]$$

$$\Rightarrow \sigma_3 = \frac{3 \times 10^7}{7.8009} [-0.000249380245804787] = -959.0403173 \text{ psi}$$

-1.61296987739943x10<sup>-11</sup>  
 -3.30808445064107x10<sup>-8</sup>  
 -30365519703.8076  
 25746898639.6147

$$\sigma_4 = \frac{3 \times 10^7}{7.8009} [0.646717677402421, -0.762729470871041, -0.646717677402421, 0.762729470871041]$$

$$\Rightarrow \sigma_4 = \frac{3 \times 10^7}{7.8009} [-0.000250916928052902] = -964.9499282 \text{ psi}$$

-1.61296987739943x10 <sup>-11</sup>
-3.30808445064107x10 <sup>-8</sup>
69172099479.6854
58650965021.0103

# 10.- COMPROBACIÓN DE RESULTADOS POR MECHANICAL DESKTOP

## 10.1.- INTRODUCCIÓN

Se ha de hacer la aclaración que el Mechanical Desktop no es un programa especializado en Análisis de elemento finito, sino en modelación paramétrica de sólidos, mas sin embargo cuenta con un pequeño módulo de "FEA" que es lo que veremos en este capítulo.

La aplicación del módulo de análisis de elemento finito se hace a través del comando "AMFEA3D" el cual determina los esfuerzos en una figura tridimensional bajo carga estática. En la figura 10.1 vemos el significado de la simbología que usaremos en el módulo de "FEA".










	Carga puntual		Soporte sobre un área
	Carga uniforme		Soporte deslizable puntual
	Carga sobre un área		Soporte deslizable uniforme
	Soporte fijo individual		Soporte deslizable en área
	Soporte fijo uniforme		

Figura 10.1 Simbología del módulo de "FEA"



Una vez que se aplica tal comando se prende una caja de diálogo que veremos en la figura 10.2 la cual contiene información sobre cargas, soportes, material, precisión de la malla, etc.

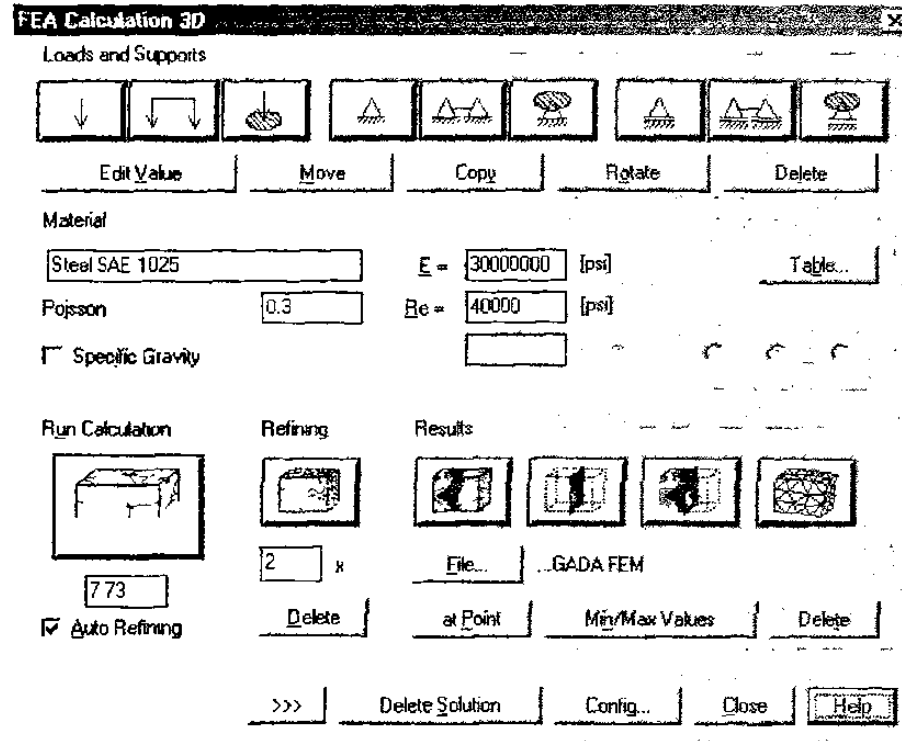


Figura 10.2 Ventana del módulo de "FEA"

## 10.2.- UBICACIÓN DE LAS FUERZAS AXIALES EN LOS ESLABONES SUPERIORES

Sobre el eslabón número 1 seleccionamos el botón de fuerza en área (o presión) y posteriormente seleccionamos el área interior en donde corre el "pin" como se ve en la figura 10.3

Figura 10.3 Ubicación de la fuerza axial



Cuando se coloque sobre el área correspondiente se nos preguntará por el tipo de ángulo de las fuerzas a lo que elegiremos las de tipo normal, como se ilustra en la figura 10.4.

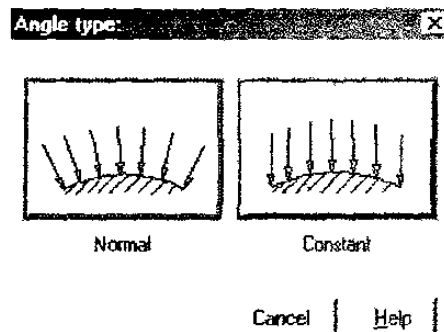


Figura 10.4 Tipos de ángulos de las fuerzas sobre áreas

Posteriormente se nos preguntará por el valor de tal presión en las paredes de un agujero la cual calcularemos así:

$$\begin{aligned} A_{AGUJERO} &= \pi D(\text{espesor}) \\ &= \pi(0.38)(0.25) \\ &= 0.2984 \text{ pulg}^2 \end{aligned}$$

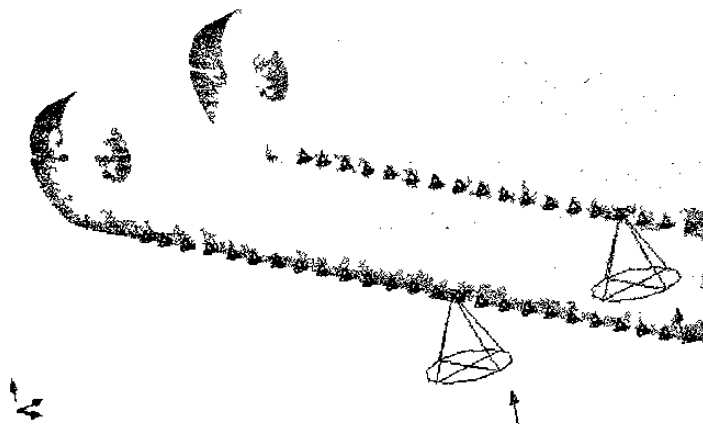
$$\text{Presión } F_{AB} = \frac{F_{AB}/2}{A_{AGUJERO}}$$

$$\text{Presión } F_{AB} = \frac{752.931/2}{0.2984} = 1261.39 \text{ psi}$$

y continuaremos esta rutina con los otros tres barrenos con el fin de mostrar el eslabón superior como un elemento expuesto a fuerzas axiales de compresión.

Después el programa exige que haya soportes por lo que si colocamos unos del tipo puntuales sobre un área funcionarán bien, ver figura 10.5.

Figura 10.5  
Ubicación de los  
soportes puntuales  
sobre área en el  
eslabón



### 10.3.- UBICACIÓN DE LAS FUERZAS DE FLEXIÓN EN LOS ES LABONES SUPERIORES

Veamos ahora el mismo eslabón añadiendo las fuerzas del peso y la  $F_{BC}$  (proveniente del eslabón número 2) ya que estas son las dos fuerzas que producen el momento como hemos visto en el capítulo 9 (ver figura 10.6); debemos de colocar también soportes en el extremo inferior izquierdo a modo de pivotear la pieza.

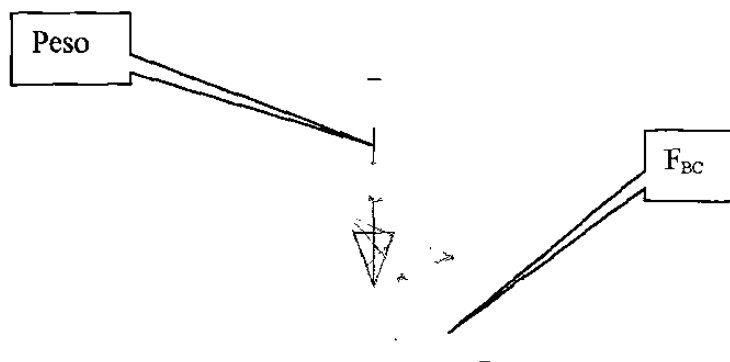


Figura 10.6 Ubicación de las dos fuerzas concernientes al esfuerzo de flexión del elemento uno

Posteriormente se nos preguntará por el valor de tales presiones en las paredes de un agujero las cuales las calcularemos así:

$$\begin{aligned} A_{AGUJERO} &= \pi D(\text{espesor}) \\ &= \pi(0.38)(0.25) \\ &= 0.2984 \text{ pulgadas}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Presión}_{PESO} = \frac{PESO/2}{A_{AGUJERO}}$$

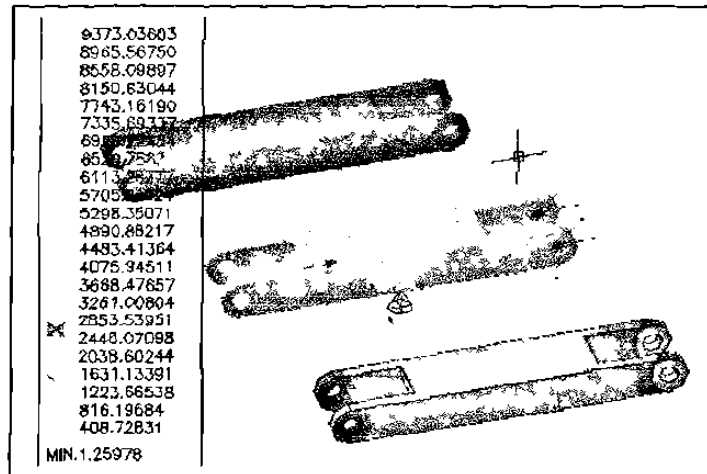
$$\text{Presión}_{PESO} = \frac{1101.321/2}{0.2984} = 1845.059 \text{ psi}$$

$$\text{Presión } F_{BC} = \frac{F_{BC}/2}{A_{AGUJERO}}$$

$$\text{Presión } F_{BC} = \frac{752.9/2}{0.2984} = 1261.39 \text{ psi}$$

Corrido el cálculo del malleo y de la gama de colores de la distribución de esfuerzos, tenemos la siguiente figura 10.7 donde vemos de izquierda a derecha la malla, el eslabón original con sus dos fuerzas y empotramiento, y, la distribución de esfuerzos de flexión.

Figura 10.7 Resultados de esfuerzo de flexión y axial de los eslabones superiores



Véase como prácticamente la figura de los esfuerzos se ve de un solo color lo cual indica que hay una distribución homogénea del esfuerzo total cuyo valor aproximado es de 1223.66 psi.

#### 10.4.- UBICACIÓN DE LAS FUERZAS AXIALES Y DE FLEXIÓN EN LOS ESLABONES INFERIORES

Repetiremos el mismo proceso anterior solo que ahora un poco más breve lo mencionaré.

Primero calculamos de cuanto serán las presiones sobre el área interna de los agujeros.

$$\begin{aligned}
 A_{\text{AGUJERO}} &= \pi D(\text{espesor}) \\
 &= \pi(0.38)(0.25) \\
 &= 0.2984 \text{ pulgadas}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Presión } F_{CD} = \frac{F_{CD}/2}{A_{\text{AGUJERO}}}$$

$$\text{Presión } F_{CD} = \frac{718.8/2}{0.2984} = 1204.25 \text{ psi}$$

$$\text{Presión } F_{BC} = \frac{F_{BC}/2}{A_{\text{AGUJERO}}}$$

$$\text{Presión } F = \frac{F/2}{A_{\text{AGUJERO}}}$$

$$\text{Presión } F_{BC} = \frac{752.9/2}{0.2984} = 1261.39 \text{ psi}$$

$$\text{Presión } F = \frac{975.55/2}{0.2984} = 1634.2 \text{ psi}$$

Una vez ubicadas las fuerzas axiales y de flexión sobre un área (presión) e instalados los soportes corremos el proceso del malleo y posteriormente el de la distribución de esfuerzos, el resultado lo vemos en la figura 10.8.

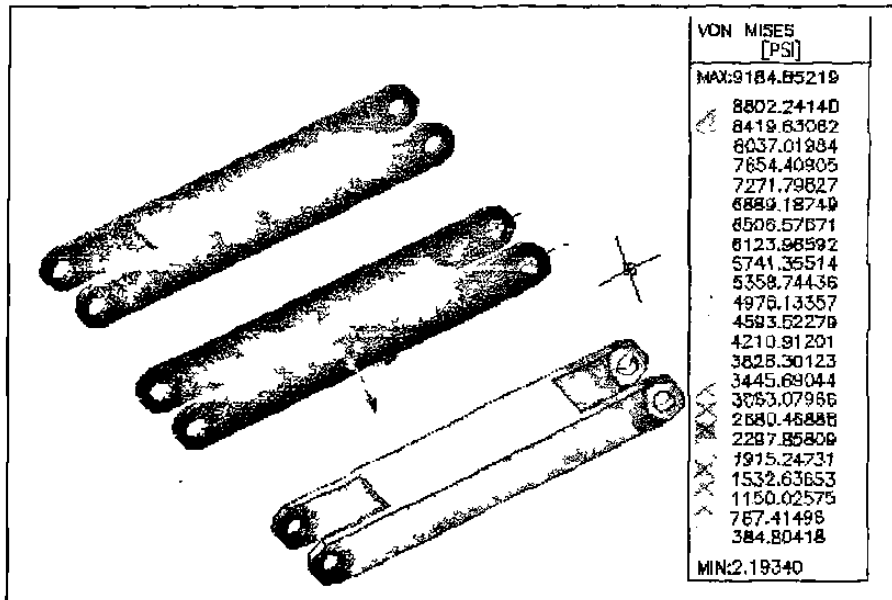


Figura 10.8 Despliegado de los resultados del esfuerzo axial y de flexión en el eslabón inferior

Véase como prácticamente la figura de los esfuerzos se ve de un solo color nuevamente lo cual indica que hay una distribución homogénea del esfuerzo total cuyo valor aproximado es de 1150.02 psi.

## 11.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 11.1.- CONCLUSIONES

#### 11.1.1.- MÉTODOS DE SOLUCIÓN

En este estudio hemos visto la importancia que tiene el análisis de elemento finito en el estudio del comportamiento de los esfuerzos en las partes que componen un mecanismo.

También hemos concluido que los resultados obtenidos con los diversos métodos para calcular los esfuerzos sobre un mecanismo como son: método de formulaciones aproximadas, método de Galerkin de análisis de elemento finito y a través del software Mechanical Desktop son similares.

#### 11.1.2.- ESFUERZOS PRINCIPALES

Sobre los tres procedimientos estudiados se ha de anunciar el porcentaje de diferencia entre sí, tomando de referencia el método de Galerkin, a saber:

	Método de Aproximación	Método de Galerkin	Mechanical Desktop
$\sigma_1$	-1195.301	-1225.749	-1223.66
Diferencia (%)	2.48		0.17

## **11.2.- RECOMENDACIONES**

En vista de que es el Método del análisis de elemento finito el más preciso, es recomendable que se haga un programa en algún lenguaje de programación con las fórmulas que se enseñaron en el Método de Galerkin.

**BIBLIOGRAFÍA**

Bathe Klaus-Jürgen, Finite Elements Procedures, Prentice Hall 1996

Beer Ferdinand P., Mecánica Vectorial para Ingenieros, Mc Graw Hill 1990

Beytschko T., B. Moran, Non Linear Finite Elements for Continua and Structures, Wiley 2000

Candrupatla Tirupati, Introduction to Finite Elements in Engineering, Prentice Hall 2002

Fraleigh John B., Algebra Lineal, Addison-Wesley Iberoamericana 1989



## LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
3.1.- Lista de las 13 diferentes restricciones geométricas	12

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
2.1 Ventana de entrada al Mechanical Desktop	7
2.2 Ventana del Mechanical Desktop	7
2.3 Áreas de trabajo	8
2.4 Comandos o secciones del Buscador	9
2.5 Modificación de un comando a través del "Browser"	9
2.6 Creación de vistas	10
3.1 Ventana de creación de un nuevo archivo	12
3.2 Bosquejo de la base del vástago	13
3.3 Analizando las restricciones aplicadas por el programa	14
3.4. Localización del ícono de "New Dimension"	16
3.5 Resultado al concluir un perfil	16
3.6 Ventana del comando de extrusión	17
3.7 Cambio de color a través de las propiedades del buscador	18
3.8 Ubicación del ícono de "New Sketch Plane"	18
3.9 Ubicación del nuevo "sketch plane" sobre el sólido	19
3.10 Acomodo del bosquejo del refuerzo sobre el eslabón	20
3.11 Extrusión del refuerzo	20
3.12 Selección de comandos para proyectar sobre un plano	21
3.13 Extrusión de un bosquejo proyectado	21
3.14 Ubicación del ícono para hacer barrenos	22
3.15 Ventana de trabajo de la función "Hole"	22
3.16 Ubicación del icono de filete	23
3.17 Ventana de trabajo de la función "Fillet"	23
3.18 Edición del refuerzo en el eslabón superior	24
4.1 Bosquejo de la base	26
4.2 Extrusión de la base	26
4.3 Caja de diálogo de los planos de trabajo	27
4.4 Selección de cara paralela a un nuevo plano de trabajo	27
4.5 Bosquejo de perfil para extrusión de intersección	28
4.6 Resultado de una extrusión de intersección	28
4.7 Colocación del "Sketch Plane" para quitar material en la base	29
4.8 Ubicación del comando "Project objects to plane"	29
4.9 Selección de opciones para proyectar objetos	30
4.10 Proyección de la periferia total al plano	30
4.11 Bosquejo del "offset" dentro del bosquejo proyectado	31
4.12 Perfil del "offset" resuelto con sus dimensiones y restricciones	31

4.13 Tipo de extrusión a aplicar en el perfil del "offset"	32
4.14 Extrusión del perfil del "offset"	32
4.15 Perfil del bloque central de la base	33
4.16 Extrusión del bloque central de la base	33
4.17 Especificaciones para los agujeros en la base	34
4.18 Terminación de la base del mecanismo	34
5.1 Dimensiones del perfil del apoyo	36
5.2 Extrusión del apoyo	36
5.3 Resaques en color azul para deslizamiento de eslabones	37
5.4 Resaque longitudinal que evita la interferencia con el apoyo	37
5.5 Extrusión del perfil anti-interferencia	38
5.6 Caja de diálogo de la función "Hole"	38
5.7 Ubicación del "sketch plane" para hacer el corrugado	39
5.8 Perfil del círculo que servirá para el desvaste	39
5.9 Extrusión del círculo que sirve de perfil	40
5.10 Caja de diálogo del patrón o "pattern"	41
5.11 Aplicación de la función de filete en orillas	41
6.1 Perfil del rectángulo de revolución	43
6.2 Ubicación de la función "Revolve"	43
6.3 Revolución de un rectángulo sobre un eje de traslación	44
6.4 Ubicación de la función "Fillet"	44
6.5 Arandela terminada	45
6.6 Perfil del Pin	45
6.7 Datos de la caja de diálogo de la función "Revolve"	46
6.8 Antes y después de aplicar la función "Isolines"	46
6.9 Perfil de la guía	47
6.10 Datos para extruir el bloque de la guía	48
6.11 Guía del tornillo	48
6.12 Ubicación del comando "Polygon"	49
6.13 Perfil de la cabeza hexagonal del tornillo	50
6.14 Tornillo del mecanismo	50
7.1 Alternativas para prender el catálogo	52
7.2 Anexión de direcciones al Catálogo	52
7.3 Selección del archivo que servirá de base	53
7.4 Componentes del mecanismo	54
7.5 Alineación de las piezas	54
7.6 Ubicación de las cuatro restricciones de ensamble	55
7.7 Aplicación de la restricción de "Insert"	56
7.8 Aplicación de "Insert" en una segunda pieza	56

7.9 Aplicación de la restricción "Mate" para separar dos superficies	57
7.10 Aplicación de la restricción "Flush"	57
7.11 Uso de "Flush" para alinear las piezas a lo ancho	58
7.12 Uso de "Insert" entre los dos eslabones	58
7.13 Aplicación de comando "Mate" con su opción de ejes	59
7.14 Uso del "Insert" para unir las guías	59
7.15 Inserción de la arandela sobre la guía de tornillo	60
7.16 Inserción del tornillo en la guía y arandela	60
7.17 Ensamble del gato de tornillo	61
10.1 Simbología del módulo de "FEA"	X
10.2 Ventana del módulo de "FEA"	83
10.3 Ubicación de la fuerza axial	83
10.4 Tipos de ángulos de las fuerzas sobre áreas	84
10.5 Ubicación de los soportes puntuales sobre área en el eslabón	84
10.6 Ubicación de las dos fuerzas concernientes al esfuerzo de flexión del elemento uno	85
10.7 Resultados de esfuerzo de flexión y axial de los eslabones superiores	86
10.8 Desplegado de los resultados del esfuerzo axial y de flexión en el eslabón inferior	87

## GLOSARIO

2D sketching	Es el menú que contiene los principales comandos de dibujo y modificación de dibujos.
Cut	Es una característica que tienen algunos comandos como el “extrude” de cortar la extrusión nueva con el perfil de base.
Dimensioning	Es el menú que contiene las funciones para editar y crear cotas.
Extrude	Se refiere a la capacidad de crear que una figura bidimensional se vuelva en objeto.
FEA	Análisis de elemento finito
Fillet	Se le llama así al redondeado que se produce sobre una esquina donde se unen dos planos o dos ejes.
Grid	Es una malla cuyos nudos tienen una cierta separación que sirve de cuadrícula de ayuda.
Hole	Es un comando o herramienta de dibujo que crea agujeros taladrados sobre una superficie plana.
Isolines	Es el comando que hace referencia al número de líneas en una superficie cilíndrica para variar su precisión.
Join	Es una característica que tienen algunos comandos como el “extrude” de pegar la extrusión nueva con el perfil de base.
Midplane	Es un tipo de terminación en la extrusión que parte de un plano a la mitad del cuerpo hacia las afueras.
New Sketch Plane o Sketch Plane	Es un plano destinado para dibujar sobre él que se coloca sobre un plano de trabajo o más comúnmente sobre una cara.
Offset	Produce una copia espaciada a cierta distancia y paralela a la base.
Pattern	Es un comando que crea un arreglo de dibujos en base a otro bajo cierta disposición.
Pin	Su traducción es la de un pasador.
Placed Features	Es un menú de herramientas que contiene algunos comandos como “Hole”, “Pattern”, etc.

Power Manipulator	Es una herramienta para mover en tres dimensiones los cuerpos y es útil cuando se ensamblan los cuerpos.
Profile	Es el bosquejo al que se le deben aplicar restricciones geométricas con la finalidad de volverlo paramétrico
Project objects to plane	Comando que proyecta las aristas de las superficies de un cuerpo sobre un plano.
Revolve	Es un comando que permite revolucionar una superficie y producir un cuerpo.
Run Calculation	Proceso de crear la malla de nodos en el análisis de elemento finito.
Sketch	Es un bosquejo que va de mano alzada a lo más exacto posible, al que se le aplicarán restricciones.
Sketch solving	Es el menú que contiene los comandos que convierten un bosquejo en perfil.
Snap	Es una herramienta de dibujo que consiste en ayudar a ubicar puntos rápidamente como lo son el punto medio, el punto final, etc.
Trim	Es una herramienta de modificación de dibujos que permite cortar los sobrantes externos de dos o más líneas que están después de una intersección.
Work Axis	Traza un eje de trabajo sobre un objeto circular.
Work Features	Es el menu de trabajo que contiene los comandos de “Work Plane”, “Work Axis”, etc.
Work plane	Es un plano de trabajo en que también se puede dibujar pero es más versátil que el “Sketch Plane” ya que se puede colocar incluso angulado sobre las caras.

## AUTOBIOGRAFÍA

El autor de esta tesis, Ing. Alfredo Alavez Murillo, en su afán de obtener el grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica con especialidad en Diseño ha trabajado arduamente en la elaboración de este trabajo, investigando sobre los métodos de análisis de elemento finito más prácticos y de mayor uso que hay hoy en día, así como los paquetes computacionales más convenientes para este estudio que lleva por título “Utilización de la computadora como herramienta en el diseño de elementos de máquinas”

El Ing. Alavez, oriundo de la Cd. de Monterrey, N.L. nació el 19 de julio de 1973 teniendo como padres al Dr. Alfredo S. Alavez Szymanski y a la Sra. Susana Murillo Ochoa; cursó sus estudios de bachillerato en la Preparatoria #15 Florida de agosto de 1988 a junio de 1990, continuando con sus estudios profesionales en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de agosto de 1990 a junio de 1995.

Algunos de los aspectos más trascendentes de su experiencia profesional son atribuidos a la compañía PROLEC-GE en donde trabajó cerca de tres años donde adquirió una madurez profesional y tuvo la magnífica oportunidad de desenvolverse en el interesante mundo de la ingeniería de diseño tanto en las ramas mecánica como eléctrica respecto a transformadores industriales.

Continuando su experiencia laboral en la compañía INTERNATIONAL donde ha seguido recavando conocimientos así como poniendo en práctica los suyos propios en la ingeniería de diseño de camiones.



