INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

UNIDAD TICOMÁN

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:	INGENIERO EN AERONÁUTICA
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN:	SEMINARIO
DEBERÁ PRESENTAR:	AL C. PASANTE:
	EDER ALBERTO JIMÉNEZ LEÓN

"MODIFICACIÓN AL SISTEMA DE HIDROMECÁNICO PARA CARRETEO EN TIERRA DE HELICÓPTEROS EUROCOPTER AS350 Y AS355"

CAPÍTULO I	PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN
CAPÍTULO II	MARCO TEÓRICO Y REFERENCIAL
CAPÍTULO III	DISEÑO Y MODELADO EN NX6
CAPÍTULO IV	ANÁLISIS POR ANSYS WORKBENCH (ELEMENTO FINITO)
	CONCLUSIONES
	REFERENCIA Y BIBLIOGRAFÍA
	PLANOS DE INGENIERÍA

México, DF., a 05 de febrero de 2010.

A S E S O R E S

M. EN C. ROGELIO GERARDO HERNÁNDEZ GARCÍA

M. C. ADELAIDO I. MATÍAS DOMÍNGUEZ

Vo. Bo.

ING. MIGUEL ÁLVAREZ MONTALVO
DIRECTOR

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
MÉXICO, D.F.
I. P. N.
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD TICOMÁN
DIRECCIÓN

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA UNIDAD "TICOMAN"

SEMINARIO DE DISEÑO AERODINAMICO Y MANTENIMIENTO DE HELICOPTEROS

TESINA

NOMBRE:

MODIFICACION AL SISTEMA DE HIDROMECANICO PARA CARRETEO EN TIERRA DE HELICOPTEROS EUROCOPTER AS350 Y AS355

ALUMNO: JIMENEZ LEON EDER ALBERTO

CONTENIDO

CAPITULO I **PAG.**
PLANTEAMINTO DE LA INVESTIGACION

1.1 Resumen. 4
1.2 Introducción. 4
1.3 Planteamiento del problema. 4
1.4 Objetivo General. 5
1.5 Objetivos Específicos. 5
1.6 Justificación. 6
1.7 Alcance. 6

CAPITULO II
MARCO TEORICO Y REFERENCIAL

2.1 Reseña de la teoría de fluidos aplicada a gatos hidráulicos. 7
2.2 Evolución de los diferentes tipos de tren de aterrizaje en los helicópteros. 11
2.3 Teoría para cálculo por elemento finito. 15
2.4 Evolución de Materiales aplicados a sistemas mecánicos y sus diferentes aplicaciones. 29
2.5 Tipos de soldadura y aplicación. 42

CAPITULO III
DISEÑO Y MODELADO EN NX6.

3.1 Placa de Sujeción. 51
3.2 Caja Matriz. 55

CAPITULO IV
ANALISIS POR ANSYS WORKBENCH.
(ELEMENTO FINITO)

4.1 Exportar Modelo a ANSYS. 60
4.2 Mallado (Mesh). 61
4.3 Cargas Estructurales (Static Structural). 62
4.4 Resultados (Solution). 64

CONCLUSIONES
REFERENCIA Y BIBLIOGRAFIA
PLANOS DE INGENIERIA

FIGURAS

Figura 1. Diagrama de fuerzas y áreas de un gato hidráulico.
Figura 2. Diagrama de fuerzas y reacción rodadura en tierra II.
Figura 3. Diagrama de fuerzas y reacciones de despegue.
Figura 4. Visualización de mallado por MEF.
Figura 5. Diagrama de corte y momento.
Figura 6. Diagrama cargas y apoyos en una viga.
Figura 7. Sección de viga deformada.
Figura 8. Variables de una viga de sección deformada.
Figura 9. Diagrama de ε y σ para una sección de la viga.
Figura 10. Diagrama de esfuerzo.
Figura 11. Interpretación de signos para esfuerzo
Figura 12. Formas de posiciones de una viga.
Figura 13. Estado simple, doble y triple de tensión.
Figura 14. Tipos comunes de juntas de soldadura.
Figura 15. Vista frontal de capas de soldadura.
Figura 16. Vista superior de birlos de sujeción.
Figura 17. Modelado de la sección de anclaje del tren de aterrizaje.
Figura 18-24. Modelado de la placa de sujeción.
Figura 25-32. Modelado de la caja matriz.
Figura 33. Ensamble final.
Figura 34. Ensamble importado al software ANSYS.
Figura 35. Mallado.
Figura 36. Cargas aplicadas.
Figura 37. Gráfico de deformación Total.
Figura 38. Gráfico de esfuerzo equivalente.
Figura 39. Gráfico de esfuerzo equivalente y cortante.

TABLAS

Tabla 1. Mallado.
Tabla 2. Tipo de análisis.
Tabla 3. Cargas aplicadas.
Tabla 4. Análisis de solución y resultados.
Tabla 5. Características mecánicas del material.

CAPITULO I
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION

1.1 Resumen

En este trabajo se analiza el problema de carreteo para el helicóptero AS-350 ubicado en el hangar de la ESIME Ticoman. Tomando en cuenta el sistema actual se analizarán sus fallas y falta de maniobrabilidad, así mismo se diseñará y propondrá un nuevo sistema que optimice y facilite el movimiento del aparato partiendo de las necesidades de movimiento en dicha institución con un alcance de aplicación no solo en la misma si no en la industria aeronáutica en general.

1.2 Introducción

A lo largo de los años la industria aeronáutica se ha desarrollado con gran auge. De la misma manera ha aumentado la complejidad de los nuevos helicópteros así como su gran utilidad y alcance en diversas tareas para las cuales han sido creados, sin dejar a un lado las necesidades que giran alrededor de los mismos. El mejoramiento y adaptación de las instalaciones que los mismos requieren para su uso, como son plataformas, helipuertos, aeropuertos, hangares, y algo que es vital, el mantenimiento de los mismos así como su movimiento en tierra. En este punto es importante contar con las herramientas óptimas para efectuar dichas tareas en el menor tiempo posible, por que como se sabe entre más tiempo se encuentre el helicóptero en tierra, menor ingresos y beneficios se pueden obtener, por esto es importante contar con las herramientas necesarias para su mantenimiento y con ello un sistema de carreteo fácil de usar, ligero, resistente, durable y al menor costo, para poder cumplir con los tiempos y movimientos dentro del mantenimiento en la industria aeronáutica.

1.3 Planteamiento del problema.

Debido a que el mantenimiento y operación de los helicópteros es una constante, el manejo y movimiento del helicóptero en tierra es igual. Es por ello que surge el problema de modificar el sistema actual de carreteo con que cuenta el equipo AS350 de la ESIME “Ticoman”. Se requiere un nuevo mecanismo que permita el carreteo del mismo de forma fácil, rápida, eficiente y sobre todo segura, permitiendo cumplir con las necesidades de movimiento sin que el helicóptero sufra ningún daño en su estructura ó tren de aterrizaje.

Se observa el mal diseño y poca funcionalidad del mecanismo actual, ya que no cuenta con un sistema integrado que levante el tren en posición de carreteo. Este mecanismo se ensambla primero al tren, posteriormente se levanta con un gato hidráulico y posteriormente se fija el neumático para su movimiento. Todo este desarrollo es complejo y poco eficiente ya que requiere mayor tiempo para su ensamblaje total, además es poco estético, aunado todo esto a un diseño bastante escueto.

1.4 Objetivo General.

Proponer y diseñar un sistema hidro-mecánico que permita el movimiento en tierra de helicópteros AS-350 y AS-355, en especial el que se encuentra en la ESIME Ticoman, partiendo de un diseño más completo y versátil, utilizando una idea que permita que el proceso de carreteo, desde el acoplamiento al tren hasta el movimiento del helicóptero se dé sin necesidad de adaptar otros accesorios.

1.5 Objetivos Específicos.

- ✓ Analizar las dimensiones y formas del tren de aterrizaje del AS-350 y AS-355.
- ✓ Analizar los puntos de anclaje del sistema de carreteo en el helicóptero.
- ✓ Analizar las posibles problemáticas para su operación debido a la forma del tren.
- ✓ Diseñar y adaptar por medio del software NX el sistema mecánico de carreteo.
- ✓ Analizar el sistema mecánico por medio del software ANSYS para determinar los esfuerzos a los que será sometido.
- ✓ En base a los resultados obtenidos en el punto anterior, seleccionar los materiales a emplear, método así como el tipo de gato hidráulico y demás accesorios.
- ✓ Elaborar planos para su futura construcción.

1.6 Justificación.

Debido a las dificultades de maniobrabilidad del sistema actual de carreteo con que cuenta el helicóptero AS-350 de dicha institución así como el nulo estudio y diseño con que está construido, nace la necesidad de implementar un nuevo mecanismo, partiendo de la calidad con la que se debe atender la industria aeronáutica. Es necesario aplicar un estudio y diseño para este tipo de mecanismos que beneficie el movimiento y eficiencia, exhibiendo una presentación estética de calidad y diseño acorde a un estudio de ingeniería, contando con un análisis de necesidades que se presentan en la industria de mantenimiento y construcción aeronáutica.

1.7 Alcance.

El nuevo sistema de carreteo permite el movimiento en tierra de los equipos Eurocopter AS-350 y AS-355.

CAPITULO II
MARCO TEORICO Y REFERENCIAL

2.1 Reseña de la teoría de fluidos aplicada a gatos hidráulicos.

La hidráulica es una rama de la física y la ingeniería que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas de los fluidos. Todo esto depende de las fuerzas que se interponen con la masa (fuerza) y empuje de la misma.

En física, el principio de Pascal o ley de Pascal, es una ley enunciada por el físico y matemático francés Blaise Pascal (1623-1662) que se resume en la frase:

"*El incremento de presión aplicado a una superficie de un fluido incompresible (líquido), contenido en un recipiente indeformable, se transmite con el mismo valor a cada una de las partes del mismo*".

El principio de Pascal puede comprobarse utilizando una esfera hueca, perforada en diferentes lugares y provista de un émbolo. Al llenar la esfera con agua y ejercer presión sobre ella mediante el émbolo, se observa que el agua sale por todos los agujeros con la misma presión. También puede ver aplicaciones del principio de Pascal en las prensas hidráulicas.

El principio de Pascal puede ser interpretado como una consecuencia de la ecuación fundamental de la hidrostática y del carácter altamente incompresible de los líquidos. En esta clase de fluidos la densidad es prácticamente constante, de modo que de acuerdo con la ecuación:

$$p = p_0 + \rho g h$$

Donde:

p: Presión total a la profundidad h.
p_0: Presión sobre la superficie libre del fluido.
ρ: Densidad del fluido.
g: Aceleración de la gravedad.

Si se aumenta la presión sobre la superficie libre, por ejemplo:

La presión total en el fondo ha de aumentar en la misma medida, ya que el término *ρgh* no varía al no hacerlo la presión total (obviamente si el fluido fuera compresible, la densidad del fluido respondería a los cambios de presión y el principio de Pascal no podría cumplirse).

La prensa hidráulica constituye la aplicación fundamental del principio de Pascal y también un dispositivo que permite entender mejor su significado. Consiste, en esencia, en dos cilindros de diferente sección comunicados entre sí, y cuyo interior está completamente lleno de un líquido que puede ser agua o aceite. Dos émbolos de secciones diferentes se ajustan, respectivamente, en cada uno de los dos cilindros, de modo que estén en contacto con el líquido. Cuando sobre el émbolo de menor sección S1 se ejerce una fuerza F1 la presión p1 que se origina en el líquido en contacto con él se transmite íntegramente y de forma casi instantánea a todo el resto del líquido. Por el principio de Pascal esta presión será igual a la presión p2 que ejerce el fluido en la sección S2, es decir:

$$p_1 = p_2$$

Con lo que, las fuerzas fueron S1 < S2:

$$F_1 = p_1 S_1 < p_1 S_2 = p_2 S_2 = F_2$$

Y por tanto, la relación entre la fuerza resultante en el émbolo grande cuando se aplica una fuerza menor en el émbolo pequeño será tanto mayor cuanto mayor sea la relación entre las secciones:

$$F_1 = F_2 \left(\frac{S_1}{S_2} \right)$$

Cálculo de la relación de fuerzas:

Cuando se aplica una fuerza F_1 sobre el embolo de menor área A_1 se genera una presión p_1.

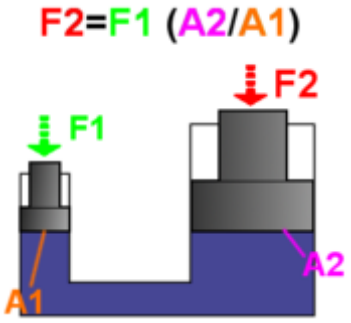


Figura 1.
Diagrama de fuerzas y áreas de un gato hidráulico.

$$p_1 = \frac{F_1}{A_1}$$

Del mismo modo en el segundo embolo:

$$p_2 = \frac{F_2}{A_2}$$

Se observa que el líquido está comunicado, luego por el principio de Pascal, la presión en los dos pistones es la misma, por tanto se cumple que:

$$p_1 = p_2$$

Esto es:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

Y la relación de fuerzas:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2}$$

Luego la fuerza resultante de la prensa hidráulica es:

$$F_2 = F_1 \frac{A_2}{A_1}$$

En donde:

f= fuerza del embolo menor en N, D, KgF gF
F= fuerza del embolo mayor en N, D, KgF, gF
a= área del embolo menor en m^2, cm2, in2
A= área del embolo mayor en m2, cm2, in2

VENTAJAS:

- Mover grandes pesos de forma sencilla con poca fuerza.
- Fácil de operar.
- Económico.
- Prácticamente sin mantenimiento

APLICACIÓN PARA LABORES DE MANTENIMIENTO EN LA AERONAUTICA

La aplicación de los gatos hidráulicos en el mantenimiento de aviones y helicópteros es sumamente importante ya que el montaje y desmontaje de los diferentes elementos que lo conforman es sin duda importante pues requiere de cuidados al realizar las maniobras. Un elemento que permita mover grandes pesos con la mayor facilidad y la menor fuerza posible requerida para su operación al menor costo son sin duda los elementos hidráulicos. Tienen su aplicación en la industria aeronáutica al permitir mover motores, estructuras y otros elementos con gran facilidad.

2.2 Evolución de los diferentes tipos de tren de aterrizaje en los helicópteros.

El tren de aterrizaje más común es el de patín, por ser el ideal para las diferentes superficies de aterrizaje. Algunos trenes de aterrizaje de este tipo están equipados con amortiguadores, gracias a los cuales golpes o choques no son transmitidos al sistema del cuerpo del helicóptero.

Los helicópteros también pueden constar de flotadores para operaciones sobre agua, o skies para aterrizar sobre nieve o superficies blandas. Los trenes de aterrizaje de ruedas son otra configuración existente, en arreglos de triciclo o de cuatro puntos. Normalmente, la rueda de nariz o de cola, tiene un movimiento de giro, lo cual permite el taxeo del helicóptero en tierra.

Desde el punto de vista de la maniobrabilidad, el helicóptero es una de las aeronaves con mayor versatilidad para efectuar maniobras de aterrizaje y despegue. Esto permite al helicóptero disponer de un amplio espectro de posibilidades para solventar dificultades en el aterrizaje y el despegue ante fallo de motor o falta de potencia disponible.

Las principales limitaciones para realizar correctamente estas maniobras son debidas a:

- peso de la aeronave
- potencia disponible
- Rodadura en tierra
- Tipos de despegue

Los tipos de despegue debido a sus características se pueden dividir en:

1. Despegue estilo helicóptero
2. Despegue estilo avión
3. Despegue estilo helicóptero con efecto suelo
4. Caso especial de despegue

Los helicópteros pueden disponer:

- tren de aterrizaje con ruedas. Debido a la configuración del helicóptero, el centro de gravedad suele ser más alto que el de una aeronave de ala fija por lo que la rodadura en tierra puede ser más crítica por peligro de volcadura.
- tren de aterrizaje con patines. El despegue no puede incluir rodadura en tierra y se realizará en modo vertical.

Diferencias en la rodadura con respecto el avión:

- Menores fuerzas de contacto y fricción R y Fr debido a la elevada fuerza de sustentación del helicóptero
- Presencia de fuerzas laterales Tt por lo que debe de aparecer una fuerza lateral en el rotor principal para compensar esta fuerza. El equilibrio de estas fuerzas laterales debe de ser preciso porque desequilibrios en el eje lateral pueden conducir a un inminente vuelco del helicóptero.

Rodadura en tierra II

Tendencia a que aparezcan momentos de cabeceo debido al momento que introduce la elevada tracción. Produciendo una mayor carga en las ruedas delanteras.

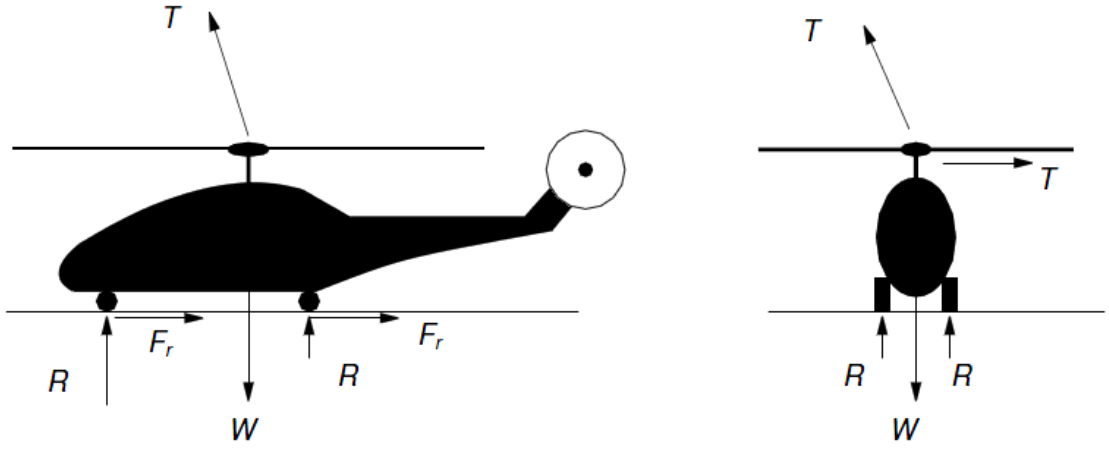


Figura 2.
Diagrama de fuerzas y reacciones por rodadura en tierra.

- Consecuencia: la rodadura del helicóptero es más complicada que en el caso del avión. Velocidades V _ 10 − 15 km/h.
- Superficies muy lisas para minimizar posibles desequilibrios de fuerzas y momentos.
- Los vientos laterales que permiten el despegue son menores en comparación con los que corresponden a los aviones.

Despegue estilo helicóptero I

Etapas:

- Vuelo axial hasta una altura de de 1.5m a 2m. Se requiere una potencia mayor que la necesaria para el avance dado que la potencia en vuelo axial de ascenso y a punto fijo es mayor que la de avance, a pesar del efecto suelo.
- Vuelo de ascenso inclinado aumentando la tracción para equilibrar el peso y proporcionar la componente de propulsión necesaria para el avance.
- Se considera finalizado el despegue cuando se han superado verticalmente los obstáculos más cercanos o cuando se ha alcanzado una altura de 20 o 30m.

Dificultades:

- Exceso de carga del helicóptero

Despegue estilo helicóptero II

- Falta de potencia disponible por baja densidad ambiente. (debido a elevadas temperaturas, elevada altitud del punto de despegue, o una combinación de ambas).

Despegue estilo helicóptero III

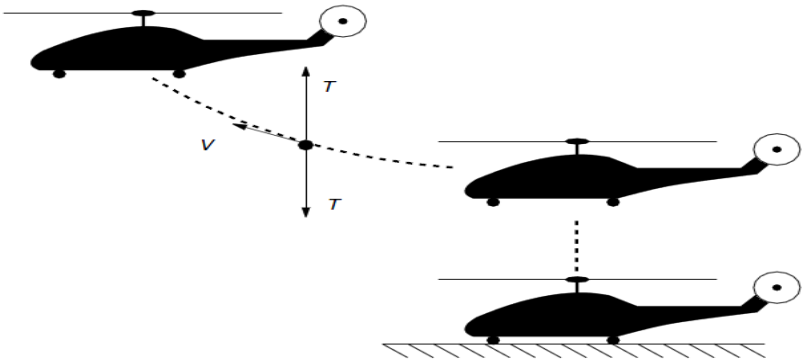


Figura 3.
Diagrama de fuerzas y reacciones de despegue.

Despegue estilo avión I

- Implica rodadura del helicóptero. Este tipo de despegue es una alternativa al despegue en estilo de helicóptero cuando no se dispone de la potencia necesaria para el despegue en estilo helicóptero.
- La rodadura sirve de transición para alcanzar la velocidad necesaria y conseguir que la potencia necesaria haya disminuido lo suficiente para igualar la potencia disponible.

Etapas:

- Según la carga del helicóptero y el tipo se acelera en tierra hasta alcanzar velocidades del orden de 40-50 km/h.
- Vuelo de avance con trayectoria inclinada con separación del suelo hasta alcanzar una altura de seguridad (altura crítica) o velocidades que permitan continuar el despegue.

Aterrizaje estilo helicóptero I

Este tipo de aterrizaje implica que la planta propulsora está proporcionando la potencia necesaria.

Etapas:

- Vuelo de avance con trayectoria inclinada de descenso. Se debe frenar el helicóptero reduciendo la velocidad de avance y de descenso. Para ello, se inclina la tracción del rotor principal hacia atrás.
- Vuelo a punto fijo a una altura de 2m-3m.
- Vuelo axial de descenso.
- Contacto con la superficie

2.3 Introducción al Método de Elemento Finito. (MEF)

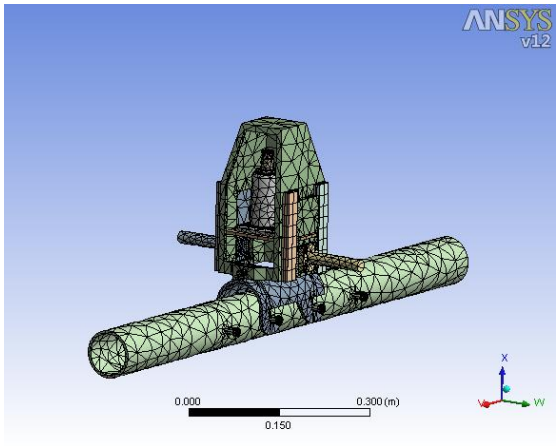


Figura 4.
Visualización de mallado por MEF.

Fundamentos del método de elemento finito

En la actualidad el avance en el campo de la computación ha sido grande, involucrando en ello los adelantos en el desarrollo de software. Así se puede mencionar que en el área de diseño y cálculo se tienen paquetes de gran potencia, dentro de los cuales se puede mencionar, COSMOS, I-DEAS, SAP, CATIA, NX, ANSYS, NASTRAN, etc.

Estos paquetes de diseño y cálculo, tienen algo en común, que su procedimiento de análisis se basa en el METODO DE ELEMENTO FINITO. La combinación entre este método y el desarrollo de la computación ha venido a dar como resultado una poderosa herramienta de análisis. El método de elemento finito ya se había estado desarrollando desde los 50´s, pero su avance se detuvo debido al proceso matemático tan laborioso. Actualmente este proceso lo lleva a cabo la computadora. Es fácil imaginar lo útil que es este método junto con la computación, por ejemplo el invertir una matriz de 60x60, que podría llevar meses en resolverla a mano, la computadora lo hace en segundos.

El método de elemento finito consiste principalmente en un modelo informático del material o diseño que es tensado y analizado para conseguir resultados específicos. Es usado en el diseño de nuevos productos, y en la mejora de los actuales. Una empresa capaz de verificar un diseño propuesto será capaz de ajustarse a las especificaciones del cliente antes de la fabricación ó construcción. Modificando un producto o estructura existente es utilizado para calificarlo para unas nuevas condiciones de servicio. En caso de fallo estructural, el MEF puede

ser usado para ayudar a determinar el diseño de las modificaciones para ajustarse a las nuevas condiciones.

Hay generalmente dos tipos de análisis que son usados en la industria: modelos en 2D y en 3D. Mientras los modelos en 2D conservan la simplicidad y permiten que el análisis se realice en una computadora normal, tiende a dar resultados menos precisos. El modelado en 3D, sin embargo, produce resultados más precisos mientras sacrifica la habilidad para funcionar de manera efectiva en cualquier computadora, menos en los más rápidos. Con cada uno de estos esquemas modelados, el programador puede insertar numerosos algoritmos ó funciones que pueden hacer al sistema comportarse de manera lineal o no lineal. Los sistemas lineales son menos complejos y normalmente no tienen en cuenta deformaciones plásticas. Los sistemas no lineales toman en cuenta las deformaciones plásticas, y algunos incluso son capaces de ensayar el material hasta la fractura.

El MEF es un método numérico de resolución de ecuaciones diferenciales. Para ello trabaja discretizando la estructura en elementos de forma variada (pueden ser superficies, volúmenes y barras), que se conectan entre sí mediante “nodos”. La solución ahora es sólo aproximada en función de los resultados obtenidos para los nodos. El MEF parte del cálculo matricial en el planteamiento del equilibrio en los nodos mediante un sistema de ecuaciones, resultado de la contribución de los elementos.

Cómo funciona el método de elemento finito.

El método de elemento finito usa un complejo sistema de puntos llamados nodos que hacen una red llamada malla. Esta malla está programada para contener el material y las propiedades de la estructura que definen como reaccionará ésta ante ciertas condiciones de carga. A los nodos se les asigna una densidad por todo el material dependiendo del nivel de la tensión mecánica prevista en un área. Las regiones que recibirán gran cantidad de tensión tienen normalmente una mayor densidad de nodos (densidad de malla) que aquellos que experimentan poco o ninguno. Puntos de interés consisten en: puntos de fractura previamente probados del material, entrantes, esquinas, detalles complejos, y áreas de elevada tensión. La malla actúa como la red de una araña en la que desde cada nodo se extiende un elemento de malla a cada nodo adyacente. Este tipo de red vectorial es la que lleva las propiedades del material al objeto, creando varios elementos. La metodología en un análisis de elemento finito consta de los siguientes procesos:

- Preproceso
- Cálculo
- Postproceso

Básicamente los pasos a seguir en el análisis de estructuras mediante el método de los desplazamientos a través del Método de Elemento Finito son:

1. . El continuo se divide, mediante líneas o superficies imaginarias en un número de elementos finitos. Esta parte del proceso se desarrolla habitualmente mediante algoritmos incorporados a programas informáticos de mallado durante la etapa de preproceso.
2. . Se supone que los elementos están conectados entre sí mediante un número discreto de puntos o “nodos”, situados en sus contornos. Los desplazamientos de estos nodos serán las incógnitas fundamentales del problema, tal y como ocurre en el análisis simple de estructuras por el método matricial.
3. . Se toma un conjunto de funciones que definan de manera única el campo de desplazamientos dentro de cada “elemento finito” en función de los desplazamientos nodales de dicho elemento. Por ejemplo el campo de desplazamientos dentro de un elemento lineal de dos nodos podría venir definido por: u = N1 u1 + N2 u2, siendo N1 y N2 las funciones comentadas (funciones de forma) y u1 y u2 los desplazamientos en el nodo 1 y en el nodo 2.
4. . Estas funciones de desplazamientos definirán entonces de manera única el estado de deformación del elemento en función de los desplazamientos nodales. Estas deformaciones, junto con las propiedades constitutivas del material, definirán a su vez el estado de tensiones en todo el elemento, y por consiguiente en sus contornos.
5. . Se determina un sistema de fuerzas concentradas en los nodos, tal que equilibre las tensiones en el contorno y cualesquiera cargas repartidas, resultando así una relación entre fuerzas y desplazamientos de la forma F = k . u, que como se observa es similar a la del cálculo matricial.
6. . La resolución del sistema anterior permite obtener los desplazamientos en los nodos y con ellos definir de manera aproximada el campo de desplazamientos en el elemento finito.
7. . En la etapa de postproceso se presentan los resultados, generalmente de forma gráfica para su análisis.

Un amplio rango de funciones objetivo (variables con el sistema) están disponibles para la minimización ó la maximización:

- Masa, volumen, temperatura
- Energía tensional, estrés tensional
- Fuerza, desplazamiento, velocidad, aceleración
- Sintético (definidos por el usuario)

Hay múltiples condiciones de carga que se pueden aplicar al sistema. Algunos ejemplos son:

- Puntuales, presión, térmicas, gravedad, y cargas centrífugas estáticas
- Cargas térmicas de soluciones del análisis de transmisión de calor
- Desplazamientos forzados
- Flujo de calor y convención
- Puntuales, de presión, y cargas de gravedad dinámicas

Cada programa de MEF puede venir con una libraría de elementos, o una que es construida con el tiempo. Algunos ejemplos de elementos son:

- Elementos tipo barra
- Elementos tipo viga
- Placa/Cáscara/Elementos compuestos
- Panel de sándwich
- Elementos sólidos
- Elementos tipo muelle
- Elementos de masa
- Elementos rígidos
- Elementos amortiguadores viscosos

Muchos programas de MEF también están equipados con la capacidad de usar múltiples materiales en la estructura, como:

- Isotrópicos, homogéneos
- Ortotrópicos, idénticos a 90 grados
- Anisotropía general, heterogéneos

Tipos de análisis de Ingeniería.

Análisis estructural consiste en modelos lineales y no lineales. Los modelos lineales usan simples parámetros y asumen que el material no es deformado plásticamente. Los modelos no lineales consisten en tensionar el material más allá de sus capacidades elásticas. La tensión en el material varía con la cantidad de deformación, como en la figura.

Análisis vibracional es usado para probar el material contra vibraciones aleatorias, choques e impactos. Cada uno de estos incidentes puede actuar en la frecuencia natural del material, que en cambio, puede causar resonancia y el consecuente fallo.

Análisis de fatiga ayuda a los diseñadores a predecir la vida del material o de la estructura, enseñando el efecto de los ciclos de carga sobre el espécimen. Este análisis puede enseñar las áreas donde la propagación de la grieta es más posible

que ocurra. El fallo por fatiga puede también enseñar la tolerancia al fallo del material.

Los modelos de **análisis de transferencia de calor** por conductividad o por dinámicas térmicas de flujo del material o la estructura. Esto consiste en una transferencia con un transitorio regular. El estado continuo de transferencia se refiere a las propiedades térmicas en el material que tiene una difusión lineal de calor.

El MEF se ha vuelto una solución para la tarea de predecir los fallos debidos a tensiones desconocidas enseñando los problemas de la distribución de tensiones en el material y permitiendo a los diseñadores ver todas las tensiones teóricas involucradas. Este método de diseño y prueba del producto es muy inferior a los costos de manufactura que podrían acarrear si actualmente cada ejemplo fuera construido y probado.

Las grandes ventajas del cálculo por computadora se pueden resumir en:

- Hace posible el cálculo de estructuras que, bien por el gran número de operaciones que su resolución presenta (entramados de muchos pisos, por ejemplo) o por lo tedioso de las mismas (entramados espaciales, por ejemplo) eran, en la práctica, inabordables mediante el cálculo manual.
- En la mayoría de los casos reduce a límites despreciables el riesgo de errores operativos.

Flexión pura

Introducción.

Considérese la viga de la figura, los diagramas de solicitaciones son los que se muestran a continuación:

Un tramo de viga se dice que trabaja a **flexión pura** cuando en cualquier sección de ese tramo solo existe momento flector.

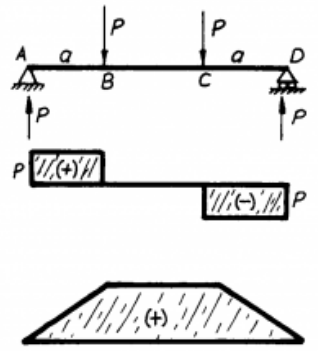


Figura 5.
Diagrama de corte y momento

Un tramo de viga se dice que trabaja a **flexión simple** cuando en cualquier sección de ese tramo existe momento flector y esfuerzo cortante.

Un tramo de viga se dice que trabaja a **flexión compuesta** cuando en cualquier sección de ese tramo existe momento flector, esfuerzo cortante y esfuerzo normal.

Hipótesis de NAVIER o de SECCIONES PLANAS.

Para el estudio de la flexión pura, se plantea la siguiente hipótesis de Navier: **"Las secciones planas y perpendiculares al eje de la viga antes de la deformación, siguen siendo planas y perpendiculares al eje de la viga después de la deformación".**

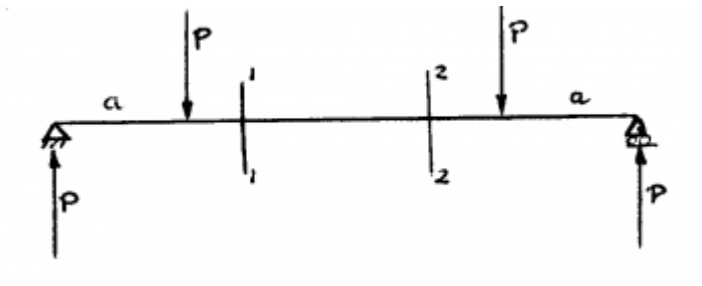


Figura 6.
Diagrama cargas y apoyos en una viga.

Planteada esta hipótesis, se observa cómo se deforma el tramo de viga comprendido entre las secciones 1-1 y 2-2.

Se observa que hay fibras tales como las de arriba que se acortan y otras tales como las de abajo que se alargan. También existen un conjunto de fibras que ni se acortan ni se alargan. A éstas se las llama **fibras neutras**. Todas las fibras neutras forman la **superficie neutra** de la viga.

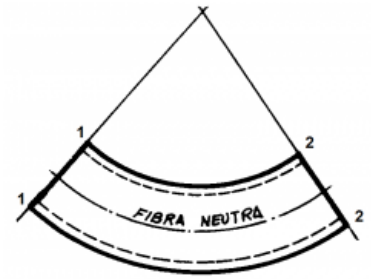


Figura 7.
Sección de viga deformada.

Se llama **línea neutra** de una sección, a la intersección de esa sección con la superficie neutra. Se puede demostrar que la línea neutra pasa por el c.d.g. de la sección.

Se tiene un tramo de viga que antes de deformarse mida la unidad. Después de la deformación solo la fibra neutra continuará midiendo la unidad.

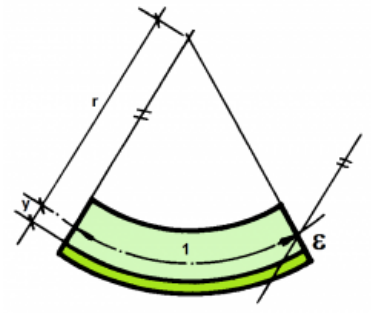


Figura 8.
Variables de una sección de viga deformada.

Una fibra situada a una distancia **y**, por debajo de la fibra neutra, medirá más de la unidad, puesto que está traccionada, y su alargamiento será el alargamiento unitario ε.

En la figura:

$$\frac{r}{y} = \frac{1}{\varepsilon} \quad \text{de donde:} \quad \varepsilon = \frac{y}{r}$$

Para un radio de curvatura dado, el alargamiento de una fibra es proporcional a la distancia de una fibra a la fibra neutra.

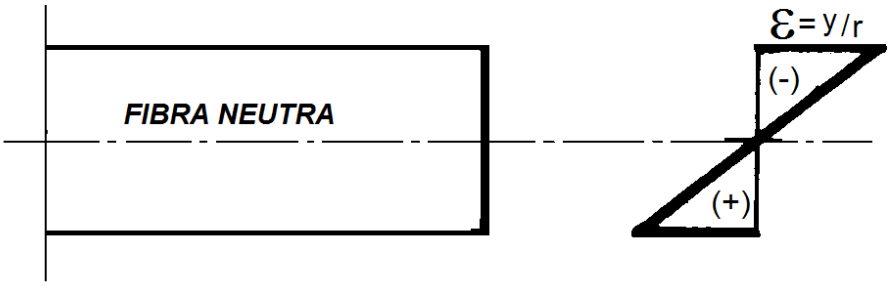


Figura 9.
Diagrama de ε y σ para una sección de la viga.

El diagrama de **ε** es triangular siempre que se cumplan las hipótesis de secciones planas. Si se cumple la ley de Hooke, el diagrama de **σ** será triangular como el de **ε**, dado a que se obtiene a partir del diagrama de **ε**, ya que **ε = σ / E**.

Fórmula de NAVIER.

Se plantea que el material sigue las hipótesis de Navier y la ley de Hooke. Entonces el diagrama de σ es triangular.

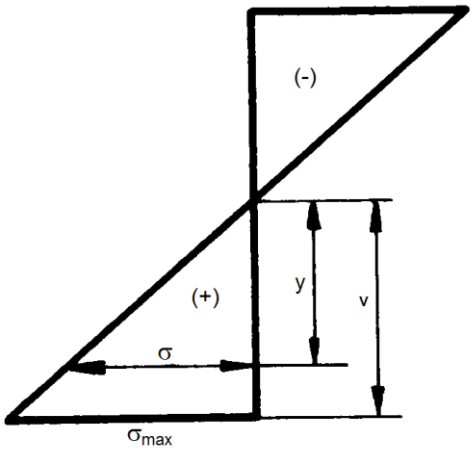


Figura 10.
Diagrama de esfuerzo.

A partir de esta figura, se obtiene: $\frac{\sigma_{max}}{v} = \frac{\sigma}{y}$; de donde: $\sigma = \sigma_{max}\frac{y}{v}$

Si **M** es el momento flector que actúa en una sección de la viga e $\mathbf{I_{LN}}$ es el momento de inercia de esa sección respecto a la línea neutra, se cumple: $\sigma_{max} = \frac{M \cdot v}{I_{LN}}$; por tanto

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I_{LN}}$$

En la fórmula se ve que el signo de **σ** depende del de **M** e **y**, ya que $\mathbf{I_{LN}}$ no tiene signo. El signo de **M** ya hemos visto en temas anteriores cuándo es positivo (+) o negativo (-).

Respecto al signo de y, se tiene que: **y es positivo para puntos situados por debajo de la línea neutra, y es negativo para puntos situados encima de la línea neutra.**

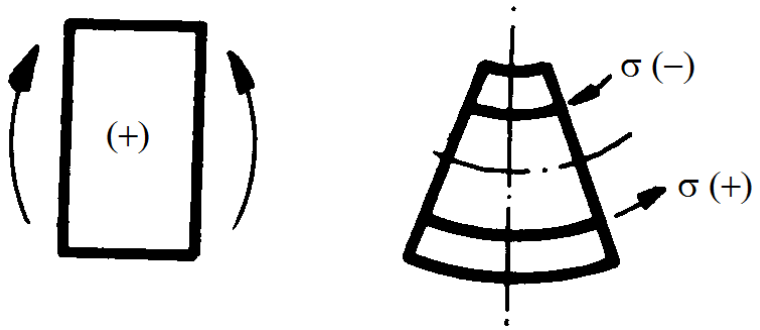


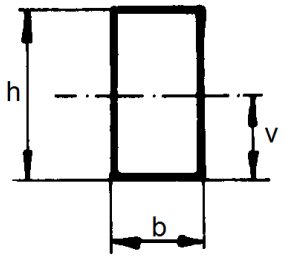
Figura 11.
Interpretación de signos para esfuerzo.

Módulo resistente.

Cuando la sección es simétrica respecto de la LN, entonces existe un único W, en el caso de que la sección sea asimétrica, existirán dos módulos resistentes.

EJEMPLO 1: Módulo resistente de la sección rectangular.

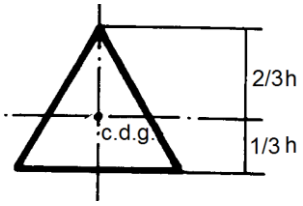
Cuando la sección es simétrica respecto de la línea neutra (LN), existen un único módulo resistente, y su valor es:



$$W = \frac{\frac{1}{12} bh^3}{\frac{h}{2}} = \frac{1}{6} bh^2$$

EJEMPLO 2: Módulo resistente de la sección triangular.

Cuando la sección es asimétrica respecto de la línea neutra (LN), existen dos módulos resistentes, sus valores son:



$$W_1 = \frac{I_{LN}}{\frac{2}{3} h} \qquad W_2 = \frac{I_{LN}}{\frac{1}{3} h}$$

Curvatura de una viga en función del momento flector.

Se ha visto que: $\frac{1}{r} = \frac{\varepsilon}{y} = \frac{\frac{\sigma}{E}}{y}$; pero $\sigma = \frac{M \cdot y}{I_{LN}}$ luego $\frac{1}{r} = \frac{M}{EI_{LN}}$

Secciones ideales de la flexión.

Si el material resiste igual a tracción que a compresión, el mejor tipo de sección es la simétrica respecto de la LN. Si no sucediera así, el mejor tipo de sección sería la asimétrica respecto de la LN (p. ej.: la triangular).

EJEMPLO: Se propone que el material es hormigón, que resiste poco a tracción.

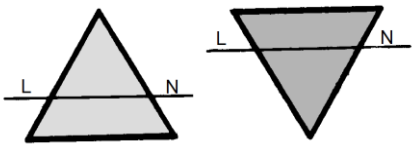


Figura 12.
Formas de posición de una viga.

De las dos posibilidades que hay de poner la viga (ver figura), es preferible la de la izquierda, ya que para un momento flector positivo los puntos que van a trabajar a tracción son los de abajo, y en ellos v es menor y, por tanto, W mayor.

Siempre se ha de procurar utilizar vigas con gran módulo resistente, ya que para una tensión de trabajo dada, mayor será el momento flector que puede soportar la sección.

Dado que en la fórmula del módulo resistente W interviene I_{LN}, e interesa que sea grande, se deduce que conviene que el material de la sección esté alejado de la LN. Esto se comprueba comparando dos secciones de igual área (y por tanto, igual peso y costo), de manera que una sea cuadrada y la otra rectangular.

$$W_{rect} = \frac{\frac{1}{12}bh^3}{\frac{h}{2}} = \frac{1}{6}bh^2 = \frac{1}{6}Sh \qquad W_{cua} = \frac{\frac{1}{12}aa^3}{\frac{a}{2}} = \frac{1}{6}a^3 = \frac{1}{6}Sa$$

Como h > a, se deduce que $W_{rect} > W_{cua}$ Analicemos cómo se puede mejorar el W de la sección rectangular conservando la misma área y la misma altura.

El módulo resistente W depende de I_{LN} y de v. Como v va a permanecer constante, la única forma de mejorar W es aumentando I_{LN}. Para ello se sustrae material por el centro y se sitúa alejado de la LN. Como se ve, se obtiene la sección doble T, que a igualdad de peso con la rectangular tiene mayor W. Conviene que el material se encuentre lejos de la LN, ya que el que se encuentra cerca es poco eficaz porque está trabajando por debajo de las posibilidades del material.

Tracción

Tensión

En física e ingeniería, se denomina **tensión mecánica** al valor de la distribución de fuerzas por unidad de área en el entorno de un punto material dentro de un cuerpo material o medio continuo.

Un caso particular es el de *tensión* uniaxial, que se define en una situación en que se aplica fuerza *F* uniformemente distribuida sobre un área *A*. En ese caso la tensión mecánica uniaxial se representa por un escalar designado con la letra griega σ (sigma) y viene dada por:

σ=F/A
Siendo las unidades [Pa] (pascal = [N/m²]), [MPa] = 10^6 [Pa] y también [kp/cm²].

Alargamiento unitario

Alargamiento unitario (ε) es la cantidad que alarga un cuerpo (δ) por unidad de longitud (L).

$\boldsymbol{\varepsilon = \delta/L}$ (ε no tiene unidades)

Ley de Hooke

Existen materiales en los que la relacción entre tensión (σ) y alargamiento (ε) es constante. Se dice que estos materiales cumplen la ley de Hooke.

$\sigma_1/\varepsilon_1 = \sigma_2/\varepsilon_2 = \sigma_3/\varepsilon_3 = \sigma/\varepsilon = cte = E$

La relación entre ambas magnitudes (σ/ε) se llama **Módulo de elasticidad** (E) o **Módulo de Young**. $\mathbf{E = \sigma/\varepsilon}$

Diagramas N, σ y ε

A partir de la barra de forma de la figura, el diagrama de esfuerzos normales tendrá la forma siguiente:

Alargamiento total para una pieza sometida a una fuerza externa

Para los alargamientos totales debido a la deformación producida por una fuerza externa (despreciando su propio peso), la fórmula a utilizar es:

$\boldsymbol{\delta = PL/AE}$

(Siendo δ, el alargamiento total; P, la fuerza que actúa; L, la longitud; A, la sección y E, el módulo de elasticidad.)

Tensión de un elemento suspendido y sometido a su propio peso

Cuando se parte de una barra y se desea hallar la tensión debida a su propio peso, se fija primeramente que el peso equivale al volúmen de la barra por el peso específico del material que la compone. Como el volumen se puede descomponer en la multiplicación del área por la longitud, se tiene que:

$\mathbf{W = A \cdot L \cdot Pe}$

Dado que la tensión es $\sigma = P/A$ y que la fuerza actuante, para este caso es W, se puede poner que $\sigma = W/A$. sustituyendo el peso en esta fórmula se tiene que $\sigma = A \cdot L \cdot Pe/A$. Quedando que la tensión máxima sería

$\sigma = L \cdot Pe$

Alargamiento de una estructura debido a su propio peso

En el caso del estudio de alargamiento de una estructura debido a su propio peso, la fórmula a utilizar es:

$\delta = W L / 2AE$

Elemento suspendido y sometido a su propio peso más una carga adicional

En el caso de que se contemple el elemento sometido a su propio peso al que se aplica una carga adicional, tanto la tensión como el alargamiento será la suma de las correspondientes por separado, es decir, contemplando el elemento con una carga adicional y sin peso, sumado al elemento sin carga adicional y con peso, esto es:

Tensión (peso + carga): $\sigma = L\ Pe$

Alargamiento (peso + carga): $\delta = (W/2 + P)\ L/AE$

Tensión admisible o tensión de trabajo

La tensión admisible es aquella que asegura las no deformaciones permanentes en los materiales y que por tanto debe ser inferior a la tensión producida por las fuerzas exteriores.

Para que una estructura esté siempre en condiciones elásticas seguras se acostumbra a escoger la tensión admisible bastante inferior al límite de proporcionalidad.

Dado que es difícil determinar este punto, se toman los puntos de fluencia o de rotura como base para determinar la tensión admisible.

$\sigma_{adm} = \sigma_{Fl}/n_1$ y $\sigma_{adm} = \sigma_R/n_2$

Donde n_1 y n_2 son coeficientes de seguridad.

Tensiónes de origen térmico

Cuando a un sistema se le aplica un incremento de temperatura que hace que se dilate, y hay alguna causa que impide el alargamiento (debido a la dilatación) aparecen unas tensiones denominadas de origen térmico.

El alargamiento para un cuerpo suponiéndole sin rozamiento con el suelo, al que se le aplica un aumento de temperatura, se produce un alargamiento determinado por:

$$\delta = \alpha L \Delta T$$

(Siendo **ΔT** = incremento de temperatura, **α** = Coeficiente de dilatación y **L** = Longitud)

La tensión, en cambio, vendrá determinada por la siguiente fórmula:

$$\sigma = E \alpha \Delta T$$

Deformaciones en el estado simple, doble y triple de tensiones.

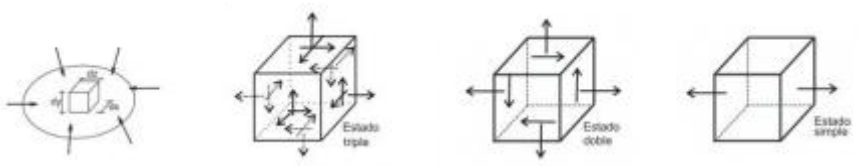


Figura 13.
Estado simple, doble y triple de tensión.

Considerando el caso de un sólido en equilibrio bajo la acción de cargas exteriores y se aísla del interior del cuerpo un cubo elemental de aristas dx, dy y dz, de manera que las cargas pueden orientarse según el sistema de referencia. Sobre cada una de las caras existirá un vector tensión total de manera tal que el cubo elemental se encuentre en equilibrio. Estos vectores pueden proyectarse según los ejes de referencia de manera que en cada una de las seis caras se obtiene en general una tensión normal y dos tensiones tangenciales perpendiculares entre sí. Un estado de tensiones de estas características se dice que es un “estado triple o espacial”.

En determinadas circunstancias las cargas actuantes sobre el cuerpo hacen que las tensiones sobre el cubo elemental queden ubicadas dentro de un plano. Este estado se denomina “doble o plano”. Cuando los vectores tensión son paralelos a un eje, el estado se denomina “simple o lineal”.

En realidad, la definición de un estado como simple, doble o triple no solo depende de estado de cargas actuante sino de la orientación del cubo elemental. Como se observa más adelante, el estado simple puede pasar a ser un estado doble si el elemento diferencial tiene una rotación, inclusive puede convertirse en un estado triple. El proceso al revés no siempre es factible. Es decir, si se tiene un estado

doble, por ejemplo, es probable que no se encuentre, por rotación del elemento, una posición para el cual el estado sea lineal.

2.4 Evolución de Materiales aplicados a sistemas mecánicos y sus diferentes aplicaciones.

Historia

Metales como el oro, la plata y el cobre, fueron utilizados desde la prehistoria. Aunque al principio sólo se usaban si se encontraban fácilmente en estado metálico puro (en forma de elementos nativos), paulatinamente se fue desarrollando la tecnología necesaria para obtener nuevos metales a partir de sus minerales, calentándolos en un horno mediante carbón de madera.

El primer gran avance se produjo con el descubrimiento del bronce, fruto de la utilización de mineral de cobre con incursiones de estaño, entre 3500 a.C. y 2000a.C., en diferentes regiones del planeta, surgiendo la denominada Edad de Bronce, que sucede a la Edad de Piedra.

Otro hecho importante en la historia fue el descubrimiento del hierro, hacia 1400 a.C. Los hititas fueron uno de los primeros pueblos en utilizarlo para elaborar armas, tales como espadas, y las civilizaciones que todavía estaban en la Edad de Bronce, como los egipcios o los aqueos, pagaron caro su atraso tecnológico.

No obstante, en la antigüedad no se sabía alcanzar la temperatura necesaria para fundir el hierro, por lo que se obtenía un metal impuro que había de ser moldeado a martillazos. Hacia el año 1400 d.C. se empezaron a utilizar los hornos provistos de fuelle, que permiten alcanzar la temperatura de fusión del hierro, unos 1535 °C.

Henry Bessemer descubrió un modo de producir acero en grandes cantidades con un costo razonable. Tras numerosos intentos fallidos, dio con un nuevo diseño de horno (el convertidor Thomas-Bessemer) y, a partir de entonces, mejoró la construcción de estructuras en edificios y puentes, pasando el hierro a un segundo plano.

Poco después se utilizó el aluminio y el magnesio, que permitieron desarrollar aleaciones mucho más ligeras y resistentes, muy utilizadas en aviación, transporte terrestre y herramientas portátiles. El titanio, que es el último de los metales abundantes y estables con los que se está trabajando, y se espera que, en poco tiempo, el uso de la tecnología del titanio se generalice.

Propiedades

Los metales poseen ciertas propiedades físicas características, entre ellas son conductores de la electricidad: La mayoría de ellos son de color grisáceo, pero algunos presentan colores distintos; el bismuto (Bi) es rosáceo, el cobre (Cu) rojizo y el oro (Au) amarillo. En otros metales aparece más de un color, y este fenómeno se denomina policromismo. Otras propiedades serían:

Maleabilidad: capacidad de los metales de hacerse láminas al ser sometidos a esfuerzos de compresión.

Ductilidad: propiedad de los metales de moldearse en alambre e hilos al ser sometidos a esfuerzos de tracción.

Tenacidad: resistencia que presentan los metales a romperse al recibir fuerzas bruscas (golpes, etc.)

Resistencia mecánica: capacidad para resistir esfuerzo de tracción, comprensión, torsión y flexión sin deformarse ni romperse.

Suelen ser opacos o de brillo metálico, tienen alta densidad, son dúctiles y maleables, tienen un punto de fusión alto, son duros, y son buenos conductores (calor y electricidad).

Estas propiedades se deben al hecho de que los electrones exteriores están ligados sólo ligeramente a los átomos, formando una especie de mar (también conocido como mar de Drude) que los baña a todos, que se conoce como enlace metálico.

Está relacionado con las propiedades físicas de los metales, por lo que se comienza hablando un poco sobre estos mismos para así poder comprender mejor lo que es el **mar de Drude**.

La ciencia de materiales define un metal como un material en el que existe un traslape entre la banda de valencia y la banda de conducción en su estructura electrónica (enlace metálico). Esto le da la capacidad de conducir fácilmente calor

y electricidad, y generalmente la capacidad de reflejar la luz, lo cual le da su peculiar brillo.

Los metales tienen ciertas propiedades físicas características: a excepción del mercurio son sólidos a condiciones ambientales normales, suelen ser opacos y brillantes, tener alta densidad, ser dúctiles y maleables, tener un punto de fusión alto, ser duros, y ser buenos conductores del calor y electricidad. Estas propiedades se deben al hecho de que los electrones exteriores están ligados sólo ligeramente a los átomos, formando una especie de mar (también conocido como **mar de Drude**), que se conoce como Enlace metálico.

Los metales pueden formar aleaciones entre sí y se clasifican en:

- Ultraligeros: Densidad en g/cm³ inferior a 2. Los más comunes de este tipo son el magnesio y el berilio.
- Ligeros: Densidad en g/cm³ inferior a 4,5. Los más comunes de este tipo son el aluminio y el titanio.
- Pesados: Densidad en g/cm³ superior a 4,5. Son la mayoría de los metales.

Obtención

Algunos metales se encuentran en forma de elementos nativos, como el oro, la plata y el cobre, aunque no es el estado más usual.

Muchos metales se encuentran en forma de óxidos. El oxígeno, al estar presente en grandes cantidades en la atmósfera, se combina muy fácilmente con los metales, que son elementos reductores, formando compuestos como la bauxita (Al_2O_3) y la limonita (Fe_2O_3).

Los sulfuros constituyen el tipo de mena metálica más frecuente. En este grupo destacan el sulfuro de cobre (I), Cu_2S, el sulfuro de mercurio (II), HgS, el sulfuro de plomo, PbS y el sulfuro de bismuto (III), Bi_2S_3.

Los metales alcalinos, además del berilio y el magnesio, se suelen extraer a partir de los cloruros depositados debido a la evaporación de mares y lagos, aunque también se extrae del agua del mar. El ejemplo más característico es el cloruro sódico o sal común, NaCl.

Algunos metales alcalino-térreos, el calcio, el estroncio y el bario, se obtienen a partir de los carbonatos insolubles en los que están insertos.

Por último, los lantánidos y actínidos se suelen obtener a partir de los fosfatos, que son unas sales en las que pueden estar incluidos.

Usos en la industria

Metales que están destinados a un uso especial, son el antimonio, el cadmio o el litio. Los pigmentos amarillos y anaranjados del cadmio son muy buscados por su gran estabilidad, como protección contra la corrosión, para las soldaduras y las aleaciones correspondientes y en la fabricación de baterías de níquel y cadmio, consideradas excelentes por la seguridad de su funcionamiento. También se le utiliza como estabilizador en los materiales plásticos (PVC) y como aleación para mejorar las características mecánicas del alambre de cobre.

Su producción se lleva a cabo en el momento de la refinación de zinc, con el que está ligado, se trata de un contaminante peligroso. El litio, metal ligero, se emplea principalmente en la cerámica y en los cristales, como catalizador de polimerización y como lubricante, así como para la obtención del aluminio mediante electrolisis. También se emplea para soldar, en las pilas y en las baterías para relojes, en medicina (tratamiento para los maníaco-depresivos) y en química.

El níquel, a causa de su elevada resistencia a la corrosión, sirve para niquelar los objetos metálicos, con el fin de protegerlos de la oxidación y de darles un brillo inalterable en la intemperie.

El denominado "hierro blanco" es, en realidad, una lamina de acero dulce que recibe un baño de cloruro de zinc fundido, y a la que se da después un revestimiento especial de estaño.

Características mecánicas y tecnológicas del acero

Aunque es difícil establecer las propiedades físicas y mecánicas del acero debido a que estas varían con los ajustes en su composición y los diversos tratamientos térmicos, químicos o mecánicos, con los que pueden conseguirse aceros con combinaciones de características adecuadas para infinidad de aplicaciones, se pueden citar algunas propiedades genéricas:

- Su densidad media es de 7850 kg/m³.
- En función de la temperatura el acero se puede contraer, dilatar o fundir.
- El punto de fusión del acero depende del tipo de aleación y los porcentajes de elementos aleantes. El de su componente principal, el hierro es de alrededor de 1510 °C en estado puro (sin alear), sin embargo el acero presenta frecuentemente temperaturas de fusión de alrededor de 1375 °C, y en general la tempera necesaria para la fusión aumenta a medida que se

funde (excepto las aleaciones eutécticas que funden de golpe). Por otra parte el acero rápido funde a 1650 °C.

- Su punto de ebullición es de alrededor de 3000 °C.
- Es un material muy tenaz, especialmente en alguna de las aleaciones usadas para fabricar herramientas.
- Relativamente dúctil. Con él se obtienen hilos delgados llamados alambres.
- Es maleable. Se pueden obtener láminas delgadas llamadas hojalata. La hojalata es una lamina de acero, de entre 0,5 y 0,12 mm de espesor, recubierta, generalmente de forma electrolítica, por estaño.
- Permite una buena mecanización en máquinas herramientas antes de recibir un tratamiento térmico.
- Algunas composiciones y formas del acero mantienen mayor memoria, y se deforman al sobrepasar su límite elástico.
- La dureza de los aceros varía entre la del hierro y la que se puede lograr mediante su aleación u otros procedimientos térmicos o químicos entre los cuales quizá el más conocido sea el templado del acero, aplicable a aceros con alto contenido en carbono, que permite, cuando es superficial, conservar un núcleo tenaz en la pieza que evite fracturas frágiles. Aceros típicos con un alto grado de dureza superficial son los que se emplean en las herramientas de mecanizado, denominados aceros rápidos que contienen cantidades significativas de cromo, wolframio, molibdeno y vanadio. Los ensayos tecnológicos para medir la dureza son Brinell, Vickers y Rockwell, entre otros.
- Se puede soldar con facilidad.
- La corrosión es la mayor desventaja de los aceros ya que el hierro se oxida con suma facilidad incrementando su volumen y provocando grietas superficiales que posibilitan el progreso de la oxidación hasta que se consume la pieza por completo. Tradicionalmente los aceros se han venido protegiendo mediante tratamientos superficiales diversos. Si bien existen aleaciones con resistencia a la corrosión mejorada como los aceros de construcción «corten» aptos para intemperie (en ciertos ambientes) o los aceros inoxidables.
- Posee una alta conductividad eléctrica. Aunque depende de su composición es aproximadamente de $3 \cdot 10^6$ S/m. En las líneas aéreas de alta tensión se utilizan con frecuencia conductores de aluminio con alma de acero proporcionando éste último la resistencia mecánica necesaria para incrementar los vanos entre la torres y optimizar el coste de la instalación.
- Se utiliza para la fabricación de imanes permanentes artificiales, ya que una pieza de acero imantada no pierde su imantación si no se la calienta hasta cierta temperatura. La magnetización artificial se hace por contacto, inducción o mediante procedimientos eléctricos. En lo que respecta al acero inoxidable, al acero inoxidable ferrítico sí se le pega el imán, pero al acero inoxidable austenítico no se le pega el imán ya que la fase del hierro conocida como austenita no es atraída por los imanes. Los aceros

inoxidables contienen principalmente níquel y cromo en porcentajes del orden del 10% además de algunos aleantes en menor proporción.

- Un aumento de la temperatura en un elemento de acero provoca un aumento en la longitud del mismo. Este aumento en la longitud puede valorarse por la expresión: $\delta L = \alpha\ \delta\ t°\ L$, siendo a el coeficiente de dilatación, que para el acero vale aproximadamente $1{,}2 \cdot 10^{-5}$ (es decir $\alpha = 0{,}000012$). Si existe libertad de dilatación no se plantean grandes problemas subsidiarios, pero si esta dilatación está impedida en mayor o menor grado por el resto de los componentes de la estructura, aparecen esfuerzos complementarios que hay que tener en cuenta. El acero se dilata y se contrae según un coeficiente de dilatación similar al coeficiente de dilatación del hormigón, por lo que resulta muy útil su uso simultáneo en la construcción, formando un material compuesto que se denomina hormigón armado. El acero da una falsa sensación de seguridad al ser incombustible, pero sus propiedades mecánicas fundamentales se ven gravemente afectadas por las altas temperaturas que pueden alcanzar los perfiles en el transcurso de un incendio.

Normalización de las diferentes clases de acero

Como existe una variedad muy grande de clases de acero diferentes que se pueden producir en función de los elementos aleantes que constituyan la aleación, se ha impuesto, en cada país, en cada fabricante de acero, y en muchos casos en los mayores consumidores de aceros, unas Normas que regulan la composición de los aceros y las prestaciones de los mismos.

Por ejemplo en España actualmente están regulados por la norma UNE-EN 10020:2001 y antiguamente estaban reguladas por la norma UNE-36010, ambas editadas por AENOR.

Existen otras normas reguladoras del acero, como la clasificación de AISI (de hace 70 años, y de uso mucho más extenso internacionalmente), ASTM, DIN, o la ISO 3506.

En el diagrama de equilibro, o de fases, Fe-C se representan las transformaciones que sufren los aceros al carbono con la temperatura, admitiendo que el calentamiento (o enfriamiento) de la mezcla se realiza muy lentamente de modo que los procesos de difusión (homogeneización) tienen tiempo para completarse. Dicho diagrama se obtiene experimentalmente identificando los puntos críticos —temperaturas a las que se producen las sucesivas transformaciones— por métodos diversos.

Elementos aleantes del acero y mejoras obtenidas con la aleación

Aunque la composición química de cada fabricante de aceros es casi secreta, certificando a sus clientes solo la resistencia y dureza de los aceros que producen, sí se conocen los compuestos agregados y sus porcentajes admisibles.

- Aluminio: se emplea como elemento de aleación en los aceros de nitruración, que suele tener 1% aproximadamente de aluminio. Como desoxidante se suele emplear frecuentemente en la fabricación de muchos aceros. Todos los aceros aleados en calidad contienen aluminio en porcentajes pequeñísimos, variables generalmente desde 0,001 a 0,008%. También se utiliza como elemento desoxidante.
- Boro: en muy pequeñas cantidades (del 0,001 al 0,0015%) logra aumentar la capacidad de endurecimiento cuando el acero está totalmente desoxidado, pues se combina con el carbono para formar carburos proporcionando un revestimiento duro y mejorando la templabilidad. Es usado en aceros de baja aleación en aplicaciones como cuchillas de arado y alambres de alta ductilidad y dureza superficial. Utilizado también como trampa de nitrógeno, especialmente en aceros para trefilación, para obtener valores de N menores a 80 ppm.

- Cobalto: muy endurecedor. Disminuye la templabilidad. Mejora la dureza en caliente. El cobalto es un elemento poco habitual en los aceros. Se usa en los aceros rápidos para herramientas, aumenta la dureza de la herramienta en caliente. Se utiliza para aceros refractarios. Aumenta las propiedades magnéticas de los aceros.
- Cromo: es uno de los elementos especiales más empleados para la fabricación de aceros aleados, usándose indistintamente en los aceros de construcción, en los de herramientas, en los inoxidables y los de resistencia en caliente. Se emplea en cantidades diversas desde 0,30% a 30%, según los casos y sirve para aumentar la dureza y la resistencia a la tracción de los aceros, mejora la templabilidad, impide las deformaciones en el temple, aumenta la resistencia al desgaste, la inoxidabilidad (con concentraciones superiores al 12%), etc. Forma carburos muy duros y comunica al acero mayor dureza, resistencia y tenacidad a cualquier temperatura. Solo o aleado con otros elementos, proporciona a los aceros características de inoxidables y refractarios; también se utiliza en revestimientos embellecedores o recubrimientos duros de gran resistencia al desgaste, como émbolos, ejes, etc.
- Estaño: es el elemento que se utiliza para recubrir láminas muy delgadas de acero que conforman la hojalata.

  Solo por mencionar algunas de las diferentes composiciones de algunos metales aplicados en la industria en sus diferentes aplicaciones.

Impurezas en el acero

Se denomina impurezas a todos los elementos indeseables en la composición de los aceros. Se encuentran en los aceros y también en las fundiciones como consecuencia de que están presentes en los minerales o los combustibles. Se procura eliminarlas o reducir su contenido debido a que son perjudiciales para las propiedades de la aleación. En los casos en los que eliminarlas resulte imposible o sea demasiado costoso, se admite su presencia en cantidades mínimas.

Desgaste

Es la degradación física (pérdida o ganancia de material, aparición de grietas, deformación plástica, cambios estructurales como transformación de fase o recristalización, fenómenos de corrosión, etc.) debido al movimiento entre la superficie de un material sólido y uno o varios elementos de contacto.

Tratamientos del acero

Tratamientos superficiales

Debido a la facilidad que tiene el acero para oxidarse cuando entra en contacto con la atmósfera o con el agua, es necesario y conveniente proteger la superficie de los componentes de acero para protegerles de la oxidación y corrosión. Muchos tratamientos superficiales están muy relacionados con aspectos embellecedores y decorativos de los metales.

Los tratamientos superficiales más usados son los siguientes:

- **Cincado**: tratamiento superficial antioxidante por proceso electrolítico o mecánico al que se somete a diferentes componentes metálicos.
- **Cromado**: recubrimiento superficial para proteger de la oxidación y embellecer.
- **Galvanizado**: tratamiento superficial que se da a la chapa de acero.
- **Niquelado**: baño de níquel con el que se protege un metal de la oxidación.
- **Pavonado**: tratamiento superficial que se da a piezas pequeñas de acero, como la tornillería.
- **Pintura**: usado especialmente en estructuras, automóviles, barcos, etc.

Tratamientos térmicos

Un proceso de tratamiento térmico adecuado permite aumentar significativamente las propiedades mecánicas de dureza, tenacidad y resistencia mecánica del acero. Los tratamientos térmicos cambian la microestructura del material, con lo que las propiedades macroscópicas del acero también son alteradas.

Los tratamientos térmicos que pueden aplicarse al acero sin cambiar en su composición química son:

- Temple
- Revenido
- Recocido
- Normalizado

Los tratamientos termoquímicos son tratamientos térmicos en los que, además de los cambios en la estructura del acero, también se producen cambios en la composición química de la capa superficial, añadiendo diferentes productos químicos hasta una profundidad determinada. Estos tratamientos requieren el uso de calentamiento y enfriamiento controlados en atmósferas especiales. Entre los objetivos más comunes de estos tratamientos está aumentar la dureza superficial de las piezas dejando el núcleo más blando y tenaz, disminuir el rozamiento aumentando el poder lubrificante, aumentar la resistencia al desgaste, aumentar la resistencia a fatiga o aumentar la resistencia a la corrosión.

Entre los factores que afectan a los procesos de tratamiento térmico del acero se encuentran la temperatura y el tiempo durante el que se expone a dichas condiciones al material. Otro factor determinante es la forma en la que el acero vuelve a la temperatura ambiente. El enfriamiento del proceso puede incluir su inmersión en aceite o el uso del aire como refrigerante.

El método del tratamiento térmico, incluyendo su enfriamiento, influye en que el acero tome sus propiedades comerciales.

Según ese método, en algunos sistemas de clasificación, se le asigna un prefijo indicativo del tipo. Por ejemplo, el acero O-1, o A2, A6 (o S7) donde la letra "O" es indicativo del uso de aceite (del inglés: *oil quenched*), y "A" es la inicial de aire; el prefijo "S" es indicativo que el acero ha sido tratado y considerado resistente al golpeo (*Shock resistant*).

Mecanizado del acero

Acero laminado

El acero que se utiliza para la construcción de estructuras metálicas y obras públicas, se obtiene a través de la laminación de acero en una serie de perfiles normalizados de acuerdo a las Normas Técnicas de Edificación.

El proceso de laminado consiste en calentar previamente los lingotes de acero fundido a una temperatura que permita la deformación del lingote por un proceso de estiramiento y desbaste que se produce en una cadena de cilindros a presión llamado tren de laminación. Estos cilindros van formando el perfil deseado hasta conseguir las medidas que se requieran. Las dimensiones del acero que se consigue no tienen tolerancias muy ajustadas y por eso muchas veces a los productos laminados hay que someterlos a fases de mecanizado para ajustar su tolerancia.

Acero forjado

La forja es el proceso que modifica la forma de los metales por deformación plástica cuando se somete al acero a una presión o a una serie continuada de impactos. La forja generalmente se realiza a altas temperaturas porque así se mejora la calidad metalúrgica y las propiedades mecánicas del acero.

El sentido de la forja de piezas de acero es reducir al máximo posible la cantidad de material que debe eliminarse de las piezas en sus procesos de mecanizado. En la forja por estampación la fluencia del material queda limitada a la cavidad de la estampa, compuesta por dos matrices que tienen grabada la forma de la pieza que se desea conseguir.

Acero corrugado

El acero corrugado es una clase de acero laminado usado especialmente en construcción, para armar hormigón armado, y cimentaciones de obra civil y pública, se trata de barras de acero que presentan resaltos o corrugas que mejoran la adherencia con el hormigón está dotado de una gran ductilidad, la cual permite que a la hora de cortar y doblar no sufra daños, y tiene una gran soldabilidad, todo ello para que estas operaciones resulten más seguras y con un menor gasto energético.

Las barras de acero corrugados se producen en una gama de diámetros que van de 6 a 40 mm, en la que se cita la sección en cm2 que cada barra tiene así como su peso en kg. Las barras inferiores o iguales a 16 mm de diámetro se pueden suministrar en barras o rollos, para diámetros superiores a 16 siempre se suministran en forma de barras.

Las barras de producto corrugado tienen unas características técnicas que deben cumplir, para asegurar el cálculo correspondiente de las estructuras de hormigón armado. Entre las características técnicas destacan las siguientes, todas ellas se determinan mediante el ensayo de tracción:

Estampado del acero

La estampación del acero consiste en un proceso de mecanizado sin arranque de viruta donde a la plancha de acero se la somete por medio de prensas adecuadas a procesos de embutición y estampación para la consecución de determinadas piezas metálicas. Para ello en las prensas se colocan los moldes adecuados.

Troquelación del acero

La troquelación del acero consiste en un proceso de mecanizado sin arranque de viruta donde se perforan todo tipo de agujeros en la plancha de acero por medio de prensas de impactos donde tienen colocados sus respectivos troqueles y matrices.

Mecanizado blando

Las piezas de acero permiten mecanizarse en procesos de arranque de virutas en máquinas-herramientas (taladro, torno, fresadora, centros de mecanizado CNC, etc.) luego endurecerlas por tratamiento térmico y terminar los mecanizados por procedimientos abrasivos en los diferentes tipos de rectificadoras que existen.

Rectificado

El proceso de rectificado permite obtener muy buenas calidades de acabado superficial y medidas con tolerancias muy estrechas, que son muy beneficiosas para la construcción de maquinaria y equipos de calidad. Pero el tamaño de la pieza y la capacidad de desplazamiento de la rectificadora pueden presentar un obstáculo.

Mecanizado duro

En ocasiones especiales, el tratamiento térmico del acero puede llevarse a cabo antes del mecanizado en procesos de arranque de virutas, dependiendo del tipo de acero y los requerimientos que deben ser observados para determinada pieza. Con esto, se debe tomar en cuenta que las herramientas necesarias para dichos trabajos deben ser muy fuertes por llegar a sufrir desgaste apresurado en su vida útil. Estas ocasiones peculiares, se pueden presentar cuando las tolerancias de fabricación son tan estrechas que no se permita la inducción de calor en tratamiento por llegar a alterar la geometría del trabajo, o también por causa de la misma composición del lote del material (por ejemplo, las piezas se están encogiendo mucho por ser tratadas). En ocasiones es preferible el mecanizado después del tratamiento térmico, ya que la estabilidad óptima del material ha sido alcanzada y, dependiendo de la composición y el tratamiento, el mismo proceso de mecanizado no es mucho más difícil.

Doblado

El doblado del acero que ha sido tratado térmicamente no es muy recomendable pues el proceso de doblado en frío del material endurecido es más difícil y el material muy probablemente se haya tornado demasiado quebradizo para ser doblado; el proceso de doblado empleando antorchas u otros métodos para aplicar calor tampoco es recomendable puesto que al volver a aplicar calor al metal duro, la integridad de este cambia y puede ser comprometida.

Perfiles de acero

Para su uso en construcción, el acero se distribuye en perfiles metálicos, siendo éstos de diferentes características según su forma y dimensiones y debiéndose usar específicamente para una función concreta, ya sean vigas o pilares. Un tipo de acero laminado que se utiliza para las estructuras de hormigón armado son barras de diferentes diámetros con unos resaltes, que se llama acero corrugado.

Aplicaciones

El acero en sus distintas clases está presente de forma abrumadora en nuestra vida cotidiana en forma de herramientas, utensilios, equipos mecánicos y formando parte de electrodomésticos y maquinaria en general así como en las estructuras de las viviendas que habitamos y en la gran mayoría de los edificios modernos. En este contexto existe la versión moderna de perfiles de acero denominada Metalcón.

Los fabricantes de medios de transporte de mercancías (camiones) y los de maquinaria agrícola son grandes consumidores de acero.

También son grandes consumidores de acero las actividades constructoras de índole ferroviario desde la construcción de infraestructuras viarias así como la fabricación de todo tipo de material rodante.

Otro tanto cabe decir de la industria fabricante de armamento, especialmente la dedicada a construir armamento pesado, vehículos blindados y acorazados.

También consumen mucho acero los grandes astilleros constructores de barcos especialmente petroleros, y gasistas u otros buques cisternas.

Como consumidores destacados de acero cabe citar a los fabricantes de automóviles porque muchos de sus componentes significativos son de acero.

A modo de ejemplo cabe citar los siguientes componentes del automóvil que son de acero:

- Son de acero forjado entre otros componentes: cigüeñal, bielas, piñones, ejes de transmisión de caja de velocidades y brazos de articulación de la dirección.
- De chapa de estampación son las puertas y demás componentes de la carrocería.
- De acero laminado son los perfiles que conforman el bastidor.
- Son de acero todos los muelles que incorporan como por ejemplo; muelles de válvulas, de asientos, de prensa embrague, de amortiguadores, etc.
- De acero de gran calidad son todos los rodamientos que montan los automóviles.
- De chapa troquelada son las llantas de las ruedas, excepto las de alta gama que son de aleaciones de aluminio.
- De acero son todos los tornillos y tuercas.

Cabe destacar que cuando el automóvil pasa a desgüace por su antigüedad y deterioro se separan todas las piezas de acero, son convertidas en chatarra y son reciclados de nuevo en acero mediante hornos eléctricos y trenes de laminación o piezas de fundición de hierro.

2.5 Tipos de soldadura y aplicación.

Soldadura por arco

Estos procesos usan una fuente de alimentación para soldadura para crear y mantener un arco eléctrico entre un electrodo y el material base para derretir los metales en el punto de la soldadura. Pueden usar tanto corriente contínua (DC) como alterna (AC), y electrodos consumibles o no consumibles. A veces, la región de la soldadura es protegida por un cierto tipo de gas inerte o semi inerte, conocido como gas de protección, y el material de relleno a veces es usado también.

Fuentes de energía

Para proveer la energía eléctrica necesaria para los procesos de la soldadura de arco, pueden ser usadas un número diferentes de fuentes de alimentación. La clasificación más común son las fuentes de alimentación de corriente constante y las fuentes de alimentación de voltaje constante. En la soldadura de arco, la longitud del arco está directamente relacionada con el voltaje, y la cantidad de entrada de calor está relacionada con la corriente. Las fuentes de alimentación de corriente constante son usadas con más frecuencia para los procesos manuales de soldadura tales como la soldadura de arco de gas tungsteno y soldadura de arco metálico blindado, porque ellas mantienen una corriente constante incluso mientras el voltaje varía. Esto es importante en la soldadura manual, ya que puede ser difícil sostener el electrodo perfectamente estable, y como resultado, la longitud del arco y el voltaje tienden a fluctuar. Las fuentes de alimentación de voltaje constante mantienen el voltaje constante y varían la corriente, y como resultado, son usadas más a menudo para los procesos de soldadura automatizados tales como la soldadura de arco metálico con gas, soldadura por arco de núcleo fundente, y la soldadura de arco sumergido. En estos procesos, la longitud del arco es mantenida constante, puesto que cualquier fluctuación en la distancia entre material base es rápidamente rectificado por un cambio grande en la corriente. Por ejemplo, si el alambre y el material base se acercan demasiado, la corriente aumentará rápidamente, lo que a su vez causa que aumente el calor y la extremidad del alambre se funda, volviéndolo a su distancia de separación original.

Procesos

Uno de los tipos más comunes de soldadura de arco es la soldadura manual con electrodo revestido (SMAW, Shielded Metal Arc Welding), que también es conocida como soldadura manual de arco metálico (MMA) o soldadura de

electrodo. La corriente eléctrica se usa para crear un arco entre el material base y la varilla de electrodo consumible, que es de acero y está cubierto con un fundente que protege el área de la soldadura contra la oxidación y la contaminación por medio de la producción del gas CO_2 durante el proceso de la soldadura. El núcleo en sí mismo del electrodo actúa como material de relleno, haciendo innecesario un material de relleno adicional.

El proceso es versátil y puede realizarse con un equipo relativamente barato, haciéndolo adecuado para trabajos de taller y trabajo de campo. Un operador puede hacerse razonablemente competente con una modesta cantidad de entrenamiento y puede alcanzar la maestría con experiencia. Los tiempos de soldadura son algo lentos, puesto que los electrodos consumibles deben ser sustituidos con frecuencia y porque la escoria, el residuo del fundente, debe ser retirada después de soldar. Además, el proceso es generalmente limitado a materiales de soldadura ferrosos, aunque electrodos especializados han hecho posible la soldadura del hierro fundido, níquel, aluminio, cobre, y de otros metales.

La soldadura de arco metálico con gas (GMAW), también conocida como soldadura de gas de metal inerte o soldadura MIG, es un proceso semiautomático o automático que usa una alimentación continua de alambre como electrodo y una mezcla de gas inerte o semi-inerte para proteger la soldadura contra la contaminación. Como con la SMAW, la habilidad razonable del operador puede ser alcanzada con entrenamiento modesto. Puesto que el electrodo es continuo, las velocidades de soldado son mayores para la GMAW que para la SMAW. También, el tamaño más pequeño del arco, comparado a los procesos de soldadura de arco metálico protegido, hace más fácil hacer las soldaduras fuera de posición (ej., empalmes en lo alto, como sería soldando por debajo de una estructura).

El equipo requerido para realizar el proceso de GMAW es más complejo y costoso que el requerido para la SMAW, y requiere un procedimiento más complejo de disposición. Por lo tanto, la GMAW es menos portable y versátil, y debido al uso de un gas de blindaje separado, no es particularmente adecuado para el trabajo al aire libre. Sin embargo, debido a la velocidad media más alta en la que las soldaduras pueden ser terminadas, la GMAW es adecuada para la soldadura de producción. El proceso puede ser aplicado a una amplia variedad de metales, tanto ferrosos como no ferrosos.

Un proceso relacionado, la soldadura de arco de núcleo fundente (FCAW), usa un equipo similar pero utiliza un alambre que consiste en un electrodo de acero rodeando un material de relleno en polvo. Este alambre es más costoso que el alambre sólido estándar y puede generar humos y/o escoria, pero permite incluso una velocidad más alta de soldadura y mayor penetración del metal.

La soldadura de arco de gas de tungsteno (GTAW), o la soldadura de gas inerte de tungsteno (TIG) (también a veces designada erróneamente como soldadura heliarc), es un proceso manual de soldadura que usa un electrodo de tungsteno no consumible, una mezcla de gas inerte o semi-inerte, y un material de relleno separado. Especialmente útil para soldar materiales finos, este método es caracterizado por un arco estable y una soldadura de alta calidad, pero requiere una significativa habilidad del operador y solamente puede ser lograda en velocidades relativamente bajas.

La GTAW puede ser usada en casi todos los metales soldables, aunque es aplicada más a menudo a metales de acero inoxidable y livianos. Con frecuencia es usada cuando son extremadamente importantes las soldaduras de calidad, por ejemplo en bicicletas, aviones y aplicaciones navales. Un proceso relacionado, la soldadura de arco de plasma, también usa un electrodo de tungsteno pero utiliza un gas de plasma para hacer el arco. El arco es más concentrado que el arco de la GTAW, haciendo el control transversal más crítico y así generalmente restringiendo la técnica a un proceso mecanizado. Debido a su corriente estable, el método puede ser usado en una gama más amplia de materiales gruesos que el proceso GTAW, y además, es mucho más rápido. Puede ser aplicado a los mismos materiales que la GTAW excepto al magnesio, y la soldadura automatizada del acero inoxidable es una aplicación importante del proceso. Una variación del proceso es el corte por plasma, un eficiente proceso de corte de acero.

La soldadura de arco sumergido (SAW) es un método de soldadura de alta productividad en el cual el arco se pulsa bajo una capa de cubierta de flujo. Esto aumenta la calidad del arco, puesto que los contaminantes en la atmósfera son bloqueados por el flujo. La escoria que forma la soldadura generalmente sale por sí misma, y combinada con el uso de una alimentación de alambre continua, la velocidad de deposición de la soldadura es alta. Las condiciones de trabajo están muy mejoradas sobre otros procesos de soldadura de arco, puesto que el flujo oculta el arco y casi no se produce ningún humo. El proceso es usado comúnmente en la industria, especialmente para productos grandes y en la fabricación de los recipientes de presión soldados. Otros procesos de soldadura de arco incluyen la soldadura de hidrógeno atómico, la soldadura de arco de carbono, la soldadura de electroescoria, la soldadura por electrogas, y la soldadura de arco de perno.

Soldadura a gas

Soldadura oxiacetilénica, también conocida como *soldadura autógena* o *soldadura oxi-combustible*. Es uno de los más viejos y más versátiles procesos de soldadura, pero en años recientes ha llegado a ser menos popular en aplicaciones industriales. Todavía es usada extensamente para soldar tuberías y tubos, como también para trabajo de reparación. El equipo es relativamente barato y simple, generalmente empleando la combustión del acetileno en oxígeno para producir una temperatura de la llama de soldadura de cerca de 3100 °C. Puesto que la llama es menos concentrada que un arco eléctrico, causa un enfriamiento más lento de la soldadura, que puede conducir a mayores tensiones residuales y distorsión de soldadura, aunque facilita la soldadura de aceros de alta aleación. Un proceso similar, generalmente llamado corte de oxicombustible, es usado para cortar los metales. Otros métodos de la soldadura a gas, tales como soldadura de acetileno y aire, soldadura de hidrógeno y oxígeno, y soldadura de gas a presión son muy similares, generalmente diferenciándose solamente en el tipo de gases usados. Una antorcha de agua a veces es usada para la soldadura de precisión de artículos como joyería. La soldadura a gas también es usada en la soldadura de plástico, aunque la sustancia calentada es el aire, y las temperaturas son mucho más bajas.

Soldadura por resistencia

La soldadura por resistencia implica la generación de calor pasando corriente a través de la resistencia causada por el contacto entre dos o más superficies de metal. Se forman pequeños charcos de metal fundido en el área de soldadura a medida que la elevada corriente (1.000 a 100.000 A) pasa a través del metal. En general, los métodos de la soldadura por resistencia son eficientes y causan poca contaminación, pero sus aplicaciones son algo limitadas y el costo del equipo puede ser alto.

La soldadura por puntos es un popular método de soldadura por resistencia usado para juntar hojas de metal solapadas de hasta 3 mm de grueso. Dos electrodos son usados simultáneamente para sujetar las hojas de metal juntas y para pasar corriente a través de las hojas. Las ventajas del método incluyen el uso eficiente de la energía, limitada deformación de la pieza de trabajo, altas velocidades de producción, fácil automatización, y el no requerimiento de materiales de relleno. La fuerza de la soldadura es perceptiblemente más baja que con otros métodos de soldadura, haciendo el proceso solamente conveniente para ciertas aplicaciones. Es usada extensivamente en la industria de automóviles -- Los carros ordinarios

puede tener varios miles de puntos soldados hechos por robots industriales. Un proceso especializado, llamado soldadura de choque, puede ser usado para los puntos de soldadura del acero inoxidable.

Como la soldadura de punto, la soldadura de costura confía en dos electrodos para aplicar la presión y la corriente para juntar hojas de metal. Sin embargo, en vez de electrodos de punto, los electrodos con forma de rueda, ruedan a lo largo y a menudo alimentan la pieza de trabajo, haciendo posible las soldaduras continuas largas. En el pasado, este proceso fue usado en la fabricación de latas de bebidas, pero ahora sus usos son más limitados. Otros métodos de soldadura por resistencia incluyen la soldadura de destello, la soldadura de proyección, y la soldadura de volcado.

Soldadura por rayo de energía

Los métodos de soldadura por rayo de energía, llamados soldadura por rayo láser y soldadura con rayo de electrones, son procesos relativamente nuevos que han llegado a ser absolutamente populares en aplicaciones de alta producción. Los dos procesos son muy similares, diferenciándose más notablemente en su fuente de energía. La soldadura de rayo láser emplea un rayo láser altamente enfocado, mientras que la soldadura de rayo de electrones es hecha en un vacío y usa un haz de electrones. Ambas tienen una muy alta densidad de energía, haciendo posible la penetración de soldadura profunda y minimizando el tamaño del área de la soldadura. Ambos procesos son extremadamente rápidos, y son fáciles de automatizar, haciéndolos altamente productivos. Las desventajas primarias son sus muy altos costos de equipo (aunque éstos están disminuyendo) y una susceptibilidad al agrietamiento. Los desarrollos en esta área incluyen la soldadura de láser híbrido, que usa los principios de la soldadura de rayo láser y de la soldadura de arco para incluso mejores propiedades de soldadura.

Soldadura de estado sólido

Como el primer proceso de soldadura, la soldadura de fragua, algunos métodos modernos de soldadura no implican derretimiento de los materiales que son juntados. Uno de los más populares, la soldadura ultrasónica, es usado para conectar hojas o alambres finos hechos de metal o termoplásticos, haciéndolos vibrar en alta frecuencia y bajo alta presión. El equipo y los métodos implicados son similares a los de la soldadura por resistencia, pero en vez de corriente eléctrica, la vibración proporciona la fuente de energía. Soldar metales con este proceso no implica el derretimiento de los materiales; en su lugar, la soldadura se forma introduciendo vibraciones mecánicas horizontalmente bajo presión. Cuando se están soldando plásticos, los materiales deben tener similares temperaturas de fusión, y las vibraciones son introducidas verticalmente. La soldadura ultrasónica

se usa comúnmente para hacer conexiones eléctricas de aluminio o cobre, y también es un muy común proceso de soldadura de polímeros.

Otro proceso común, la soldadura explosiva, implica juntar materiales empujándolos juntos bajo una presión extremadamente alta. La energía del impacto plastifica los materiales, formando una soldadura, aunque solamente una limitada cantidad de calor sea generada. El proceso es usado comúnmente para materiales disímiles de soldadura, tales como la soldadura del aluminio con acero en cascos de naves o placas compuestas. Otros procesos de soldadura de estado sólido incluyen la soldadura de coextrusión, la soldadura en frío, la soldadura de difusión, la soldadura por fricción (incluyendo la soldadura por agitación???), la soldadura por alta frecuencia, la soldadura por presión caliente, la soldadura por inducción, y la soldadura de rodillo.

Geometría

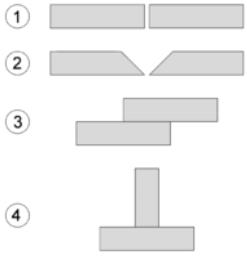


Figura 14.
Tipos comunes de juntas de soldadura
(1) La junta de extremo cuadrado
(2) Junta de preparación solo-V
(3) Junta de regazo o traslape
(4) Junta-T.

Las soldaduras pueden ser preparadas geométricamente de muchas maneras diferentes. Los cinco tipos básicos de juntas de soldadura son la junta de extremo, la junta de regazo, la junta de esquina, la junta de borde, y la junta-T. Existen otras variaciones, como por ejemplo la preparación de juntas doble-V, caracterizadas por las dos piezas de material cada una que afilándose a un solo punto central en la mitad de su altura. La preparación de juntas solo-U y doble-U son también bastante comunes —en lugar de tener bordes rectos como la preparación de juntas solo-V y doble-V, ellas son curvadas, teniendo la forma de una U. Las juntas de regazo también son comúnmente más que dos piezas gruesas —dependiendo del proceso usado y del grosor del material, muchas piezas pueden ser soldadas juntas en una geometría de junta de regazo.

A menudo, ciertos procesos de soldadura usan exclusivamente o casi exclusivamente diseños de junta particulares. Por ejemplo, la soldadura de punto de resistencia, la soldadura de rayo láser, y la soldadura de rayo de electrones son realizadas más frecuentemente con juntas de regazo. Sin embargo, algunos

métodos de soldadura, como la soldadura por arco de metal blindado, son extremadamente versátiles y pueden soldar virtualmente cualquier tipo de junta. Adicionalmente, algunos procesos pueden ser usados para hacer soldaduras multipasos, en las que se permite enfriar una soldadura, y entonces otra soldadura es realizada encima de la primera. Esto permite, por ejemplo, la soldadura de secciones gruesas dispuestas en una preparación de junta solo-V.

Figura 15.
Vista frontal de capas de soldadura.

La sección cruzada de una junta de extremo soldado, con el gris más oscuro representando la zona de la soldadura o la fusión, el gris medio la zona afectada por el calor ZAT, y el gris más claro el material base.

Después de soldar, un número de distintas regiones pueden ser identificadas en el área de la soldadura. La soldadura en sí misma es llamada la zona de fusión — más específicamente, ésta es donde el metal de relleno fue puesto durante el proceso de la soldadura. Las propiedades de la zona de fusión dependen primariamente del metal de relleno usado, y su compatibilidad con los materiales base. Es rodeada por la zona afectada de calor, el área que tuvo su microestructura y propiedades alteradas por la soldadura. Estas propiedades dependen del comportamiento del material base cuando está sujeto al calor. El metal en esta área es con frecuencia más débil que el material base y la zona de fusión, y es también donde son encontradas las tensiones residuales.

Calidad

Muy a menudo, la medida principal usada para juzgar la calidad de una soldadura es su fortaleza y la fortaleza del material alrededor de ella. Muchos factores distintos influyen en esto, incluyendo el método de soldadura, la cantidad y la concentración de la entrada de calor, el material base, el material de relleno, el material fundente, el diseño del empalme, y las interacciones entre todos estos factores. Para probar la calidad de una soldadura se usan tanto ensayos no destructivos como ensayos destructivos, para verificar que las soldaduras están libres de defectos, tienen niveles aceptables de tensiones y distorsión residuales, y tienen propiedades aceptables de zona afectada por el calor (HAZ). Existen códigos y especificaciones de soldadura para guiar a los soldadores en técnicas apropiadas de soldadura y en cómo juzgar la calidad éstas.

Aceros

La soldabilidad de aceros es inversamente proporcional a una propiedad conocida como la templabilidad del acero, que mide la probabilidad de formar la martensita durante el tratamiento de soldadura o calor. La templabildad del acero depende de su composición química, con mayores cantidades de carbono y de otros elementos de aleación resultando en mayor templabildad y por lo tanto una soldabilidad menor. Para poder juzgar las aleaciones compuestas de muchos materiales distintos, se usa una medida conocida como el contenido equivalente de carbono para comparar las soldabilidades relativas de diferentes aleaciones comparando sus propiedades a un acero al carbono simple. El efecto sobre la soldabilidad de elementos como el cromo y el vanadio, mientras que no es tan grande como la del carbono, es por ejemplo más significativa que la del cobre y el níquel. A medida que se eleva el contenido equivalente de carbono, la soldabilidad de la aleación decrece. La desventaja de usar simple carbono y los aceros de baja aleación es su menor resistencia - hay una compensación entre la resistencia del material y la soldabilidad. Los aceros de alta resistencia y baja aleación fueron desarrollados especialmente para los usos en la soldadura durante los años 1970, y estos materiales, generalmente fáciles de soldar tienen buena resistencia, haciéndolos ideales para muchas aplicaciones de soldadura.

Debido a su alto contenido de cromo, los aceros inoxidables tienden a comportarse de una manera diferente a otros aceros con respecto a la soldabilidad. Los grados austeníticos de los aceros inoxidables tienden a ser más soldables, pero son especialmente susceptibles a la distorsión debido a su alto coeficiente de expansión térmica. Algunas aleaciones de este tipo son propensas a agrietarse y también a tener una reducida resistencia a la corrosión. Si no está controlada la cantidad de ferrita en la soldadura es posible el agrietamiento caliente. Para aliviar el problema, se usa un electrodo que deposita un metal de soldadura que contiene una cantidad pequeña de ferrita. Otros tipos de aceros inoxidables, tales como los aceros inoxidables ferríticos y martensíticos, no son fácilmente soldables, y a menudo deben ser precalentados y soldados con electrodos especiales.

Tipos de soldadura

- Soldadura TIG
- Soldadura MAG
- Soldadura MIG
- Soldadura por arco
- Soldadura en frío
- Soldadura explosiva
- Soldadura por fricción
- Soldadura por fusión

- Soldadura a gas
- Soldadura por inducción
- Soldadura mixta
- Soldadura por plasma
- Soldadura por puntos
- Soldadura de choque
- Soldadura con rayo de electrones
- Soldadura por rayo láser
- Soldadura ultrasónica
- Soldadura aluminotérmica
- Soldadura GMAW
- Soldadura sin plomo
- Soldadura oxiacetilénica
- Soldadura blanda

Especificaciones de soldadura

- American Society of Mechanical Engineers - Boiler and Pressure Vessel Code - Section IX
- American Welding Society – Structural Welding Code
- American Welding Society – Bridge Welding Code

CAPITULO III
DISEÑO Y MODELADO EN NX6.

3.1 Placa de Sujeción.

Para el diseño y modelado de esta pieza es importante mencionar que se parte de las características de puntos y dimensiones en donde el mecanismo a desarrollar se ensamblara con el tren de aterrizaje del helicóptero por ello fue importante considerar, forma y dimensiones de puntos de anclaje como son, birlos tornillos etc.

Figura 16.
Vista superior de birlos de sujeción del tren de aterrizaje

Los puntos de sujeción del tren se observan en la fig. 16, estos fueron analizados y se propuso el modelado en NX de una sección de 1 metro del tren de aterrizaje la cual incluye la parte de los puntos de anclaje del tren del helicóptero con el sistema de carreteo.

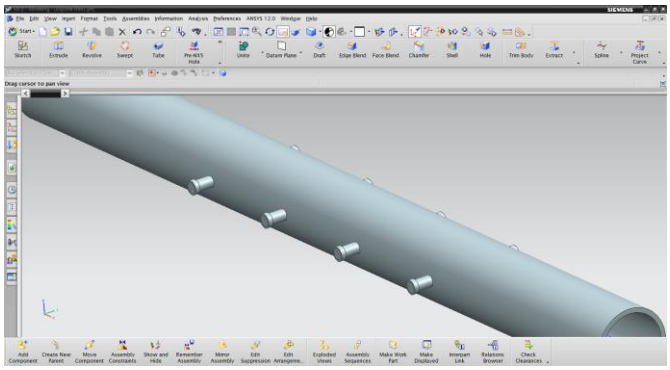


Figura 17.

Modelado de la sección de anclaje del tren de aterrizaje.

Una vez modelada la sección de anclaje del tren se propuso el medio por el cual se uniría el tren con el mecanismo. Analizando lo que ya existe en el mercado se desarrolla la placa de sujeción la cual consiste en una sección curva y otra plana con la forma correcta para ensamblar en el tren.

Partiendo de esto y de las dimensiones del tren por medio de un sketch se dibuja la sección curva, a la cual posteriormente se le hace un extrude, quedando así la sección curva de la placa de sujeción.

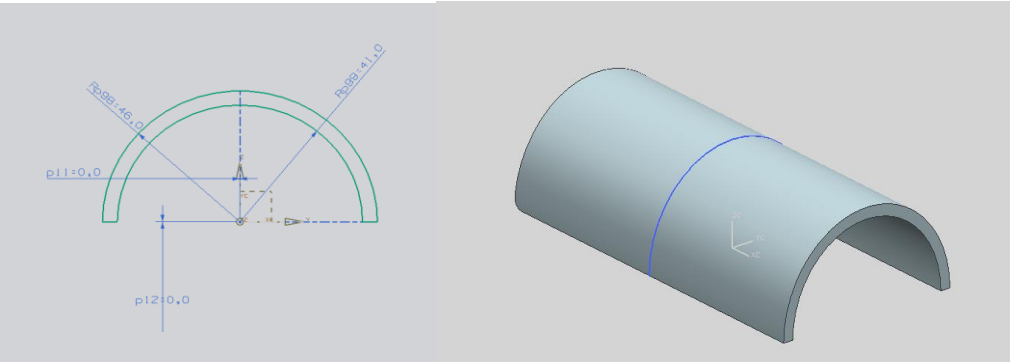


Figura 18.
Modelado de placa de sujeción.

Posteriormente se trabaja con la sección recta la cual es importante para su concepción. Las medidas y formas de los birlos de sujeción del tren serán consideradas en su totalidad. Partiendo de esto se hace un sketch al cual posteriormente se le hace un extrude, es importante mencionar que el espesor del extrude es del espesor de la placa de material propuesta, en este caso es acero y la placa de acero que se vende comercialmente y que se adapta correctamente, es la que tiene un espesor de 6.4 mm.

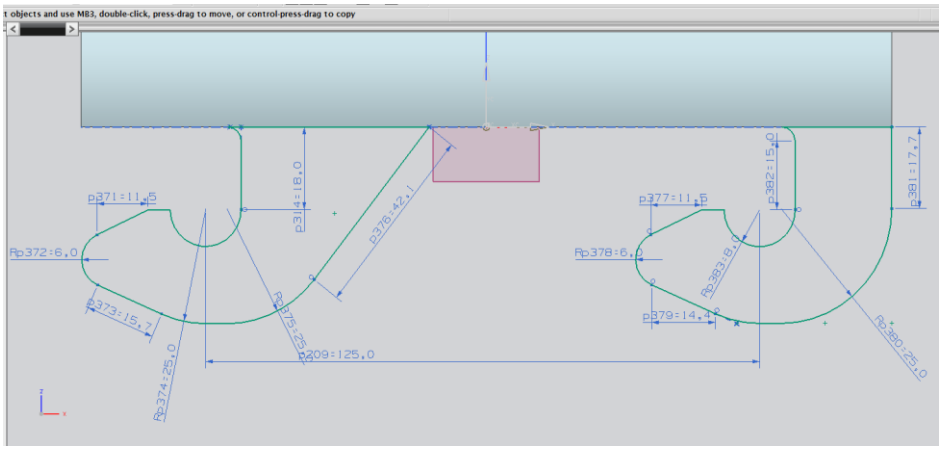


Figura 19.
Modelado de placa de sujeción.

Una vez hecho esto, el sketch se utilizó para poder hacer el extrude del otro lado de la placa concluyendo con ello ambas parte de la placa.

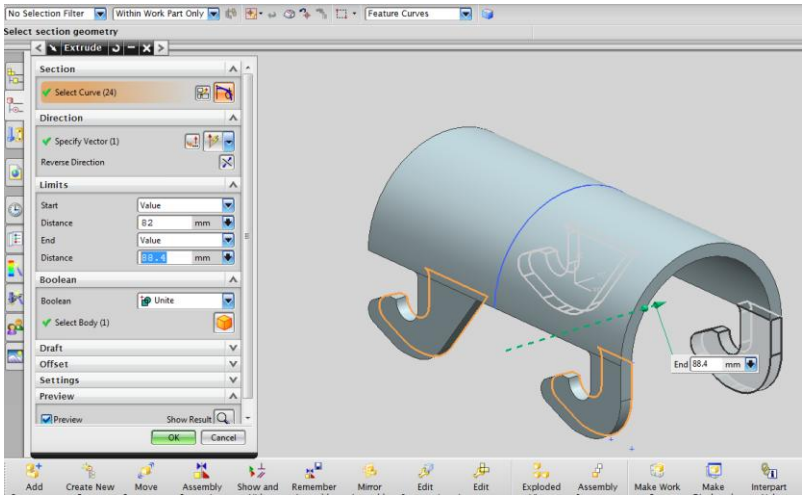


Figura 20.
Modelado de placa de sujeción.

El siguiente paso es el de hacer el medio de conexión entre la placa de sujeción y el resto del mecanismo, se idea un elemento de forma curva la cual se conectará al resto del mecanismo por medio de un birlo, así que por medio de un sketch se dibuja y posteriormente con un extrude se da el espesor hacia ambos lados de la placa de sección curva como se muestra a continuación.

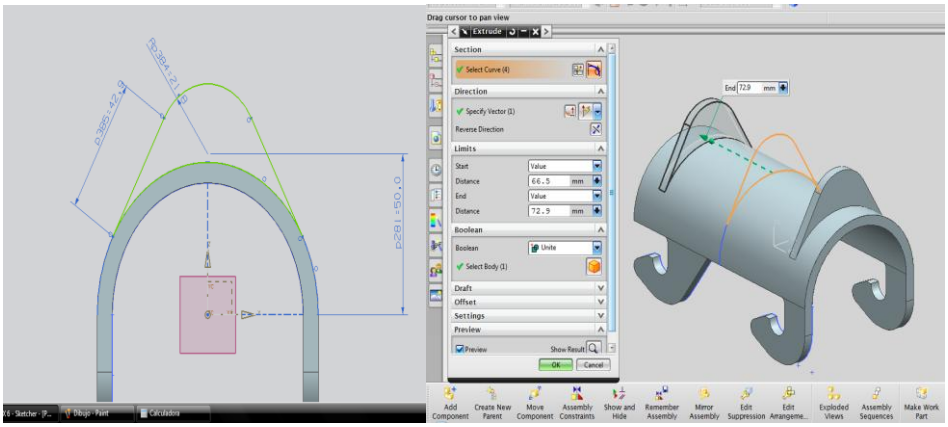


Figura 21.
Modelado de placa de sujeción.

Posteriormente para terminar con la placa de sujeción se da calidad al terminado haciendo curvas ambas esquinas de la sección curva por medio de un edge blend de 5 mm con la finalidad de dar una mejor presentación y calidad a dicho elemento.

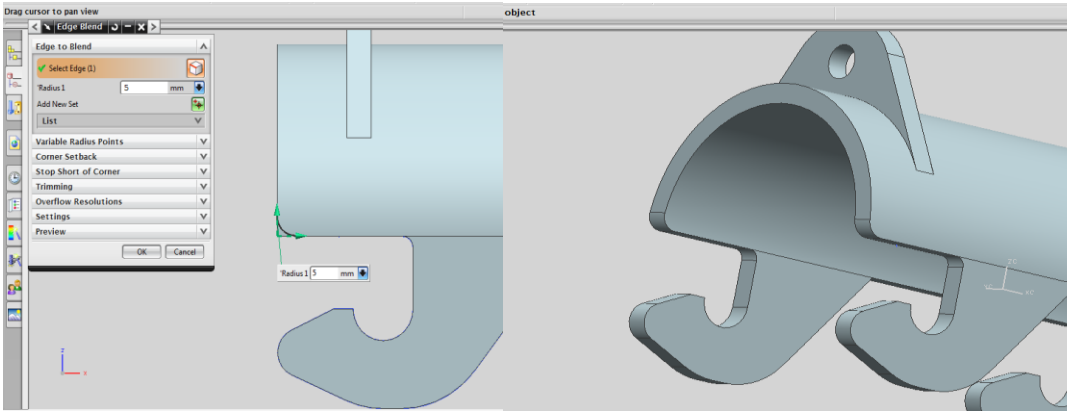


Figura 22.
Modelado de placa de sujeción.

Se requiere una forma de unir la placa de sujeción con los demás elementos mecánicos así que como ya se mencionó anteriormente lo que se propuso fue unirlo por medio de un birlo y un prisionero en forma de anillo así que simplemente con la herramienta hole se perforan ambas curvas, obteniendo la forma de unir la placa con el resto del mecanismo.

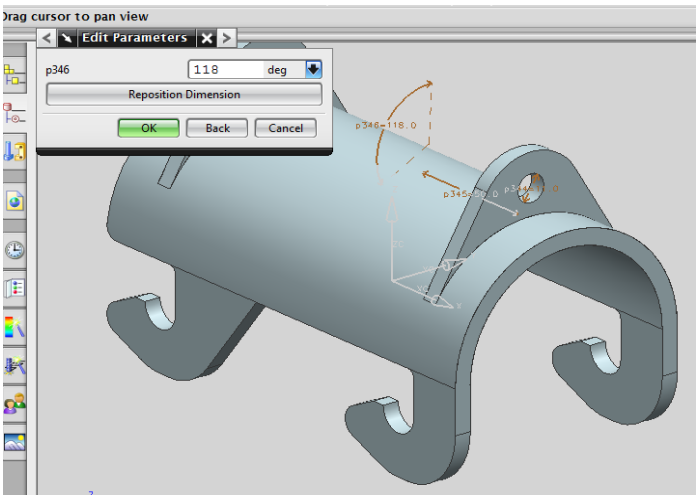


Figura 23.
Modelado de placa de sujeción.

Con esto la placa de sujeción se termina quedando como se muestra a continuación. Es importante que para obtener buenos resultados se ensamble con el soporte del tren para observar su correcto funcionamiento.

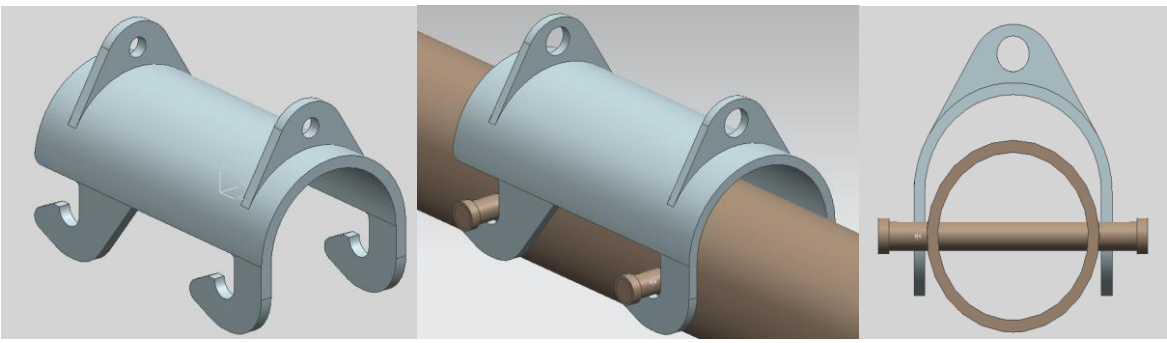


Figura 24.
Ensamble de la placa de sujeción.

3.2 Caja Matriz.

Para este elemento es importante tomar en cuenta varios factores para lograr un buen diseño, el análisis en cuanto a su forma y dimensión, así como considerar su unión con la placa de sujeción y como interactuaría con el resto de los componentes. Se ideó una caja formada de placas de acero de un espesor de 6.4mm la cual tendrá que ser capaz de alojar en su interior un gato hidráulico y que soporte el peso del helicóptero sin sufrir daños, así como que ancho y largo tendrá en su base. Partiendo de la placa de sujeción y sus dimensiones se inició su modelado en NX.

El primer paso fue hacer un rectángulo el cual será la base, posteriormente se genera el cuerpo a partir de esta base. Con un sketch se dibuja la base de la caja, la cual después con la herramienta extrude adquirirá su altura y cuerpo. Para ello es importante considerar el alto del gato así como el movimiento que este tendrá.

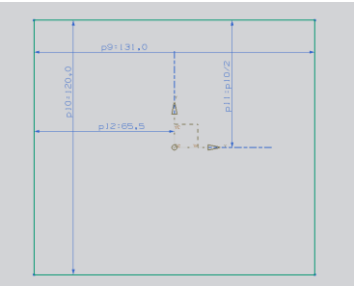


Figura 25.
Modelado de caja matriz.

Esta base tiene una dimensión de 131mm x 120mm y el extrude es de 250 mm con un espesor de paredes de 6.4mm lo cual es por la medida comercial de espesor para una placa de acero.

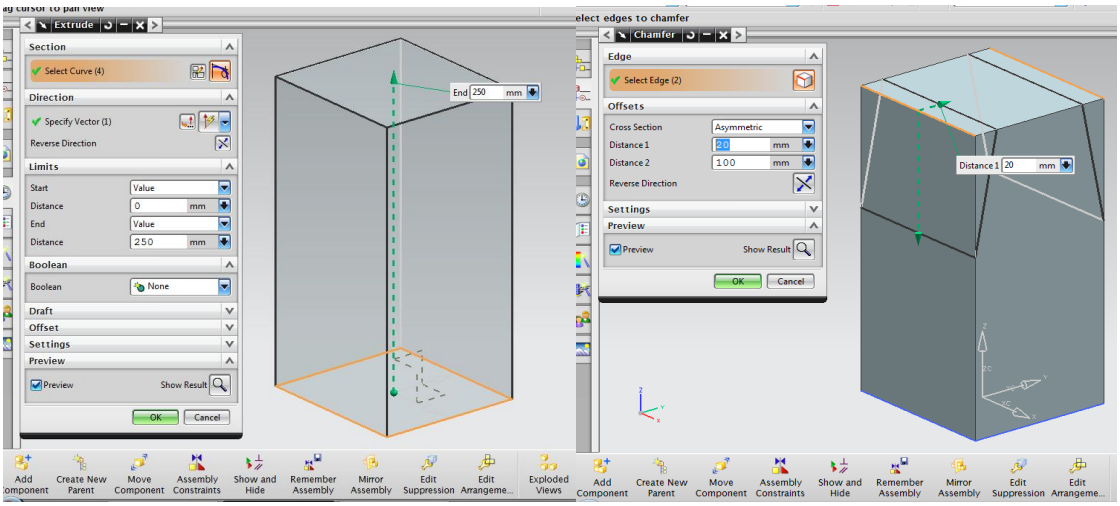


Figura 26.
Modelado de caja matriz.

El siguiente paso fue reducir la placa superior ya que es la parte donde el husillo de extensión del gato hidráulico descansará, así que por medio de la herramienta chamfer se da este terminado en forma de pirámide con lo cual se reduce la superficie de contacto mejorando la distribución de carga.

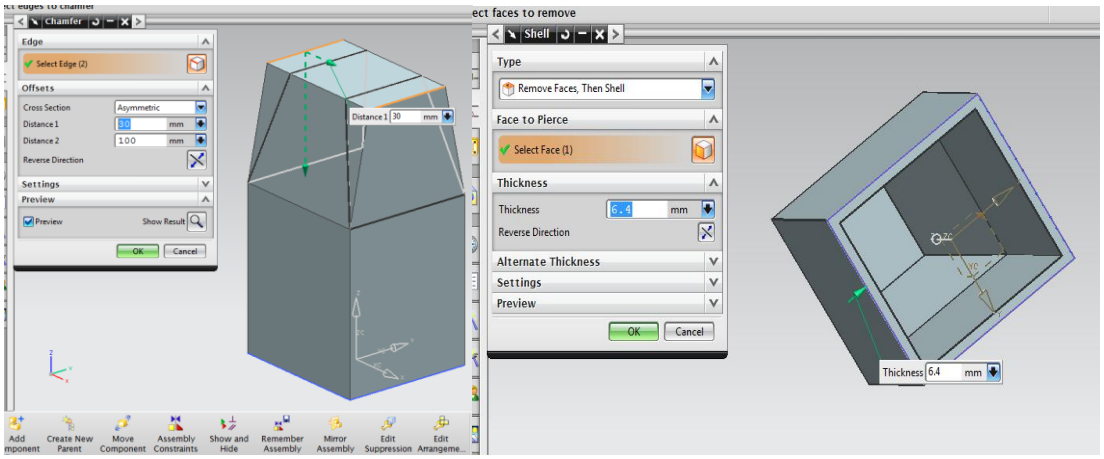


Figura 27.
Modelado de caja matriz.

Lo siguiente es modelar la sección donde se unirá la caja matriz con la placa de sujeción, esta parte se realiza mediante un sketch en la parte inferior de la caja, es importante considerar el frente de la caja para modelar en él la sección de sujeción.

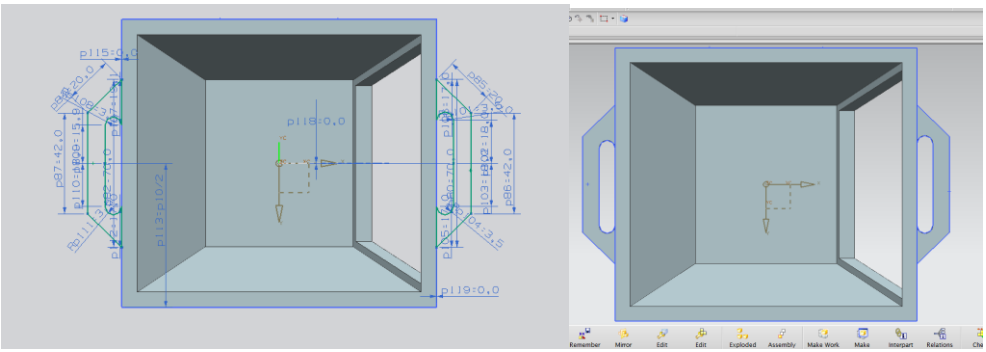


Figura 28.
Modelado de caja matriz.

Ahora se hace un extrude al costado de la caja, esto es para alojar la placa base para el gato hidráulico, la dimensión del extrude es casi de todo el alto de la sección recta y las demás dimensiones son propuestas.

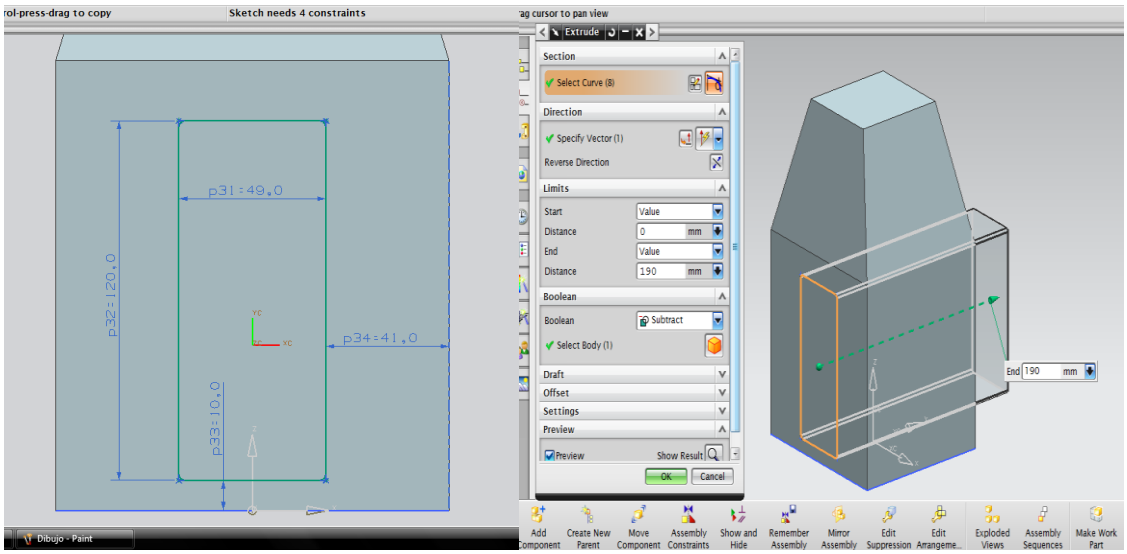


Figura 29.
Modelado de caja matriz.

El extrude se hace a lo largo del ancho de la caja, es importante tomar en cuenta que se quiere sustraer la sección de la caja mediante la opción de subtract y así dejar el hueco necesario.

Ahora se hace el hueco del frente de la caja el cual servirá para introducir el gato hidráulico. Este servirá para desplazar el peso del helicóptero de forma vertical. Este se hace con un sketch y posteriormente un extrude con la opción subtract como en el punto anterior.

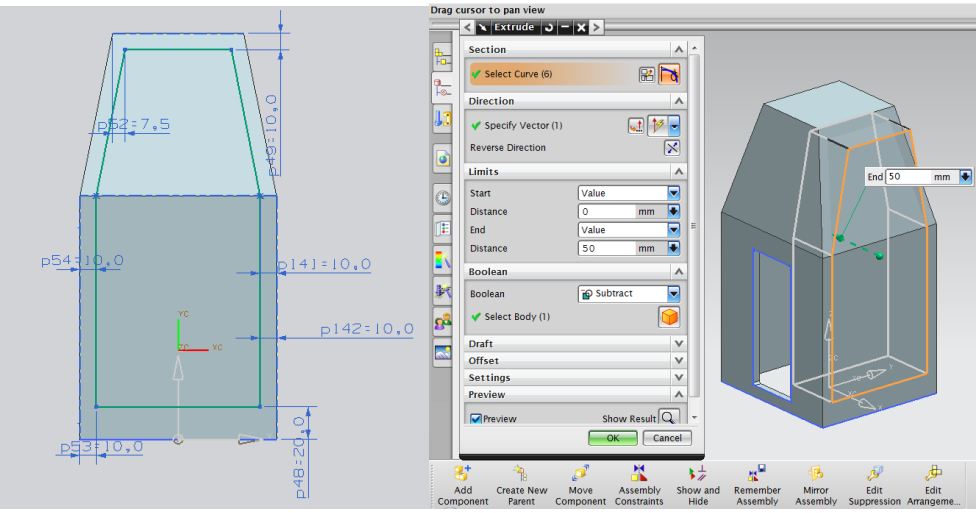


Figura 30.
Modelado de caja matriz.

Por último se hacen los orificios para el birlo que sujeta la placa de sujeción y la placa matriz. Este se hace mediante la herramienta hole y será de la misma medida que el orificio que se hizo a las curvas superiores de la placa de sujeción.

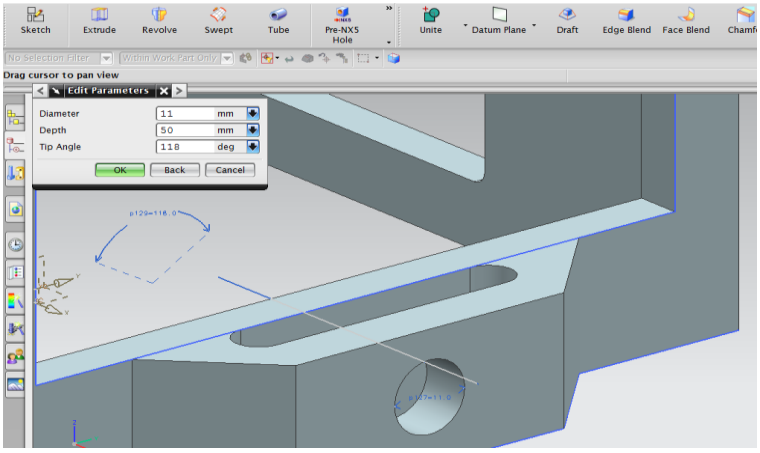


Figura 31.
Modelado de caja matriz.

Al final de todo este proceso la caja matriz debe tener la siguiente apariencia.

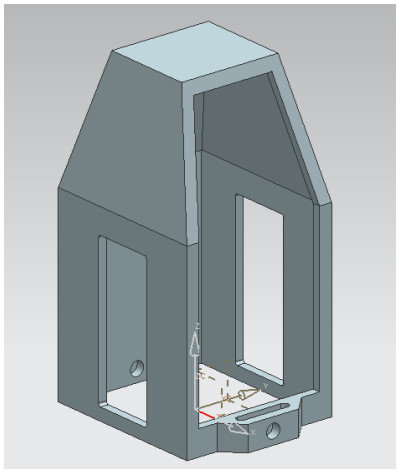


Figura 32.
Modelado de caja matriz.

En general el modelado de todos los elementos es muy similar es importante considerar las dimensiones de los elementos con los cuales va a interactuar la parte a diseñar ya que esto facilitará su ensamble con los diferentes elementos, así mismo la normalización de espesores ya que se debe considerar que todos los materiales utilizados existan en el mercado en las medidas propuestas. Para ello se utiliza un catálogo de productos de acero el cual se anexa en este trabajo.

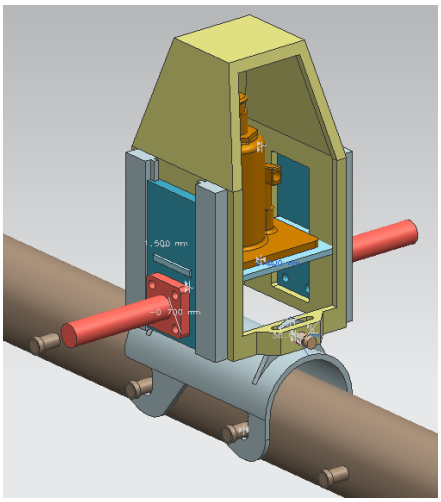


Figura 33.
Ensamble final.

CAPITULO IV
ANALISIS POR ANSYS WORKBENCH.
(ELEMENTO FINITO)

4.1 Exportar Modelo a ANSYS

Se realiza el análisis de elemento finito por medio de ANSYS, lo primero es exportar el ensamble del sistema por medio de la opción que tiene NX6 en el comando ANSYS 12.0, después workbench. Así NX traslada el ensamble al software de elemento finito. Una vez aquí se inicia el análisis dando material, cargas, etc.

Sistema de Carreteo Helicópteros AS350 y AS355

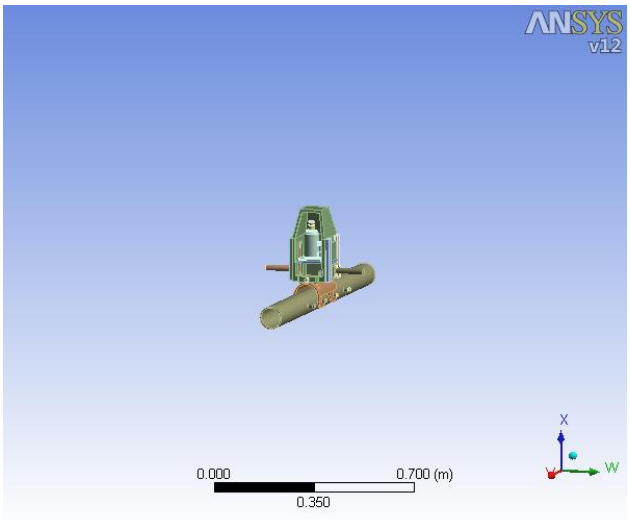


Figura 34.
Ensamble importado al software ANSYS.

4.2 Mallado (Mesh)

El primer paso es aplicarle el mallado al modelo, esto para poder analizar por elemento finito, esta operación se realiza una vez que se determinó el material a utilizar. Como se dijo anteriormente el mallado sirve para analizar cada elemento que conforma la malla y así poder determinar el comportamiento del modelo con diversas cargas.

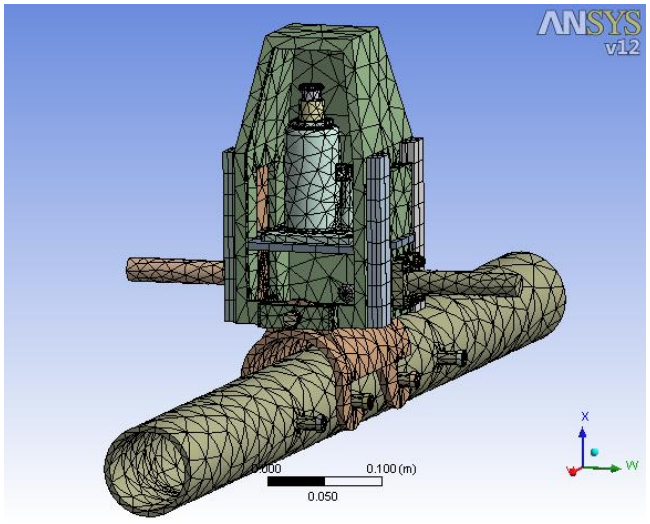


Figura 35.
Mallado

Object Name	*Mesh*
State	Solved
Defaults	

Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	3.1905e-004 m
Inflation	
Use Automatic Tet Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Advanced	
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Pinch	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate on Refresh	No
Statistics	
Nodes	41170
Elements	18676
Mesh Metric	None

Tabla 1.
Mallado

4.3 Cargas Estructurales (Static Structural).

Una vez hecho el mallado se insertan las fuerzas a las que será sometido el modelo partiendo del peso total del helicóptero y de otras consideraciones como el factor de seguridad y de que se utilizan dos mecanismos por cada lado del tren de aterrizaje. Se realiza el cálculo de las fuerzas que se aplican al modelo determinando. Con ello, el valor de las dos fuerzas aplicadas será de 9927 Newtons, las cuales se aplican como se muestra en la siguiente figura.

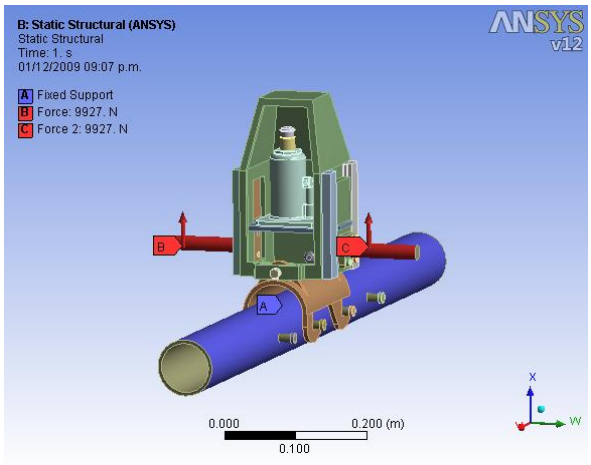


Figura 36.
Cargas aplicadas.

Como se observar en la siguiente tabla se indica las condiciones de carga aplicadas al modelo como temperatura, tipo de análisis, numero de fuerzas, coordenadas de aplicación de fuerzas, así como la cantidad de cada una de ellas.

Object Name	*Static Structural (B5)*
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	ANSYS Mechanical
Options	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

Tabla 2.
Tipo Analisis

Object Name	*Fixed Support*	*Force*	*Force 2*
State	Fully Defined		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	1 Face		
Definition			
Type	Fixed Support	Force	
Suppressed	No		
Define By		Components	
Coordinate System		Global Coordinate System	
X Component		0. N (ramped)	
Y Component		0. N (ramped)	
Z Component		9927. N (ramped)	

Tabla 3.
Cargas Aplicadas.

4.4 Resultados (Solution)

Los resultados obtenidos del análisis de elemento finito se observan de forma grafica en imágenes del modelo en donde los puntos o zonas criticas se muestran con colores entre verdes, amarillos y rojos dependiendo de su valor

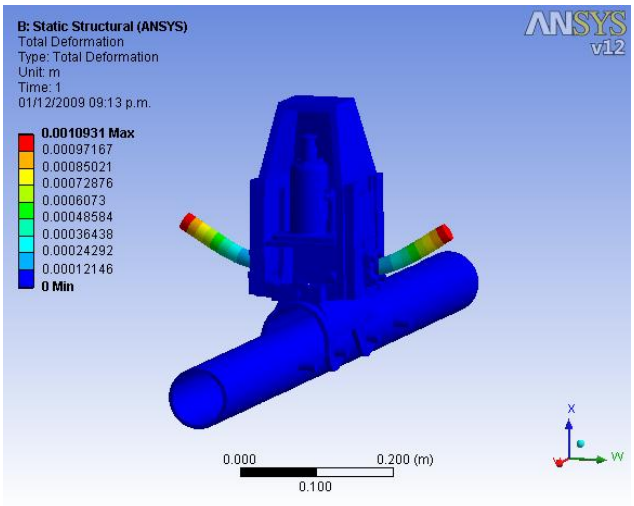


Figura 37.
Gráfico de deformación Total.

Este gráfico muestra los resultados por deformación total en donde se observa que la zona de color rojo es la que sufre la mayor deformación.

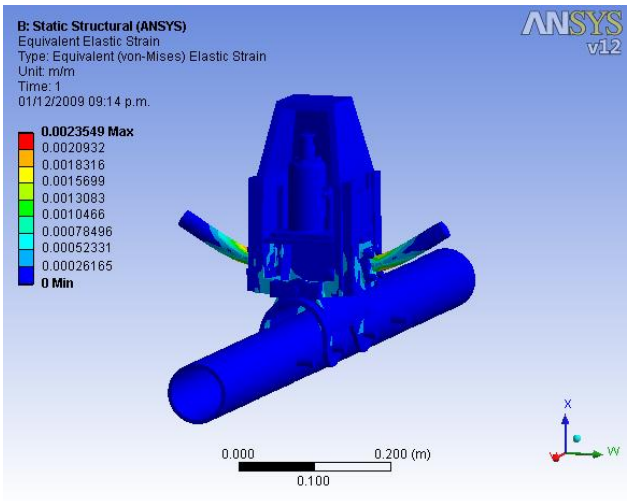
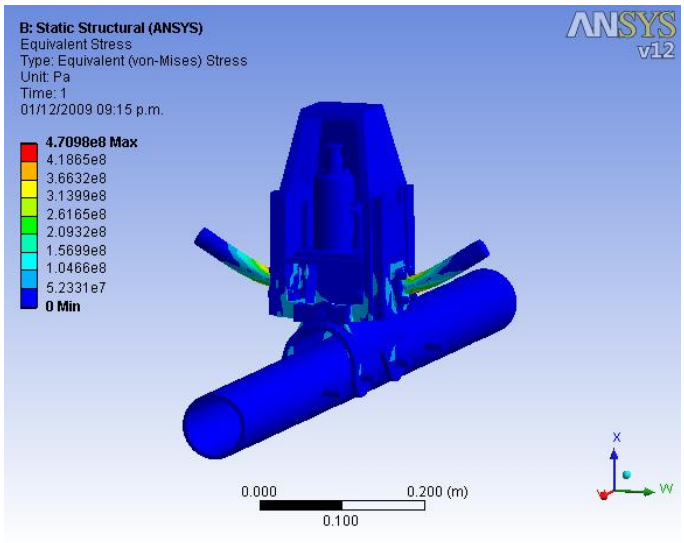


Figura 38.
Gráfico de esfuerzos equivalentes (Von-Misses).

Este gráfico muestra los esfuerzos elásticos equivalentes (Von-Mises) en donde el color más crítico es el naranja y se observa de forma mínima el rojo, es allí donde se encuentra la zona crítica de esfuerzos elásticos.

Los siguientes gráficos corresponden al esfuerzo equivalente y al máximo esfuerzo cortante en donde como los gráficos anteriores las zonas críticas son las de color rojo en donde se alcanzan los valores máximos y donde podría existir algún problema estructural.



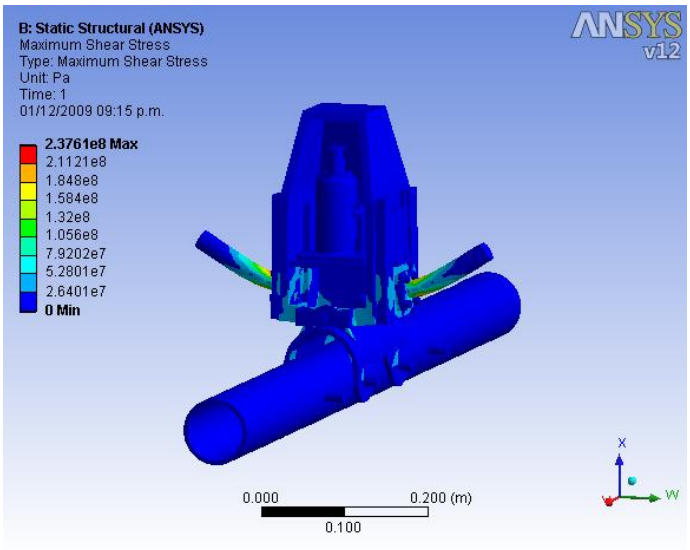


Figura 39.
Gráfico de esfuerzo equivalente y cortante.

La siguiente tabla indica los resultados obtenidos del análisis en el cual se observan los diferentes análisis hechos, las piezas donde se encuentran valores críticos y el valor máximo alcanzado. De esta forma se marca de color amarillo el valor máximo obtenido en el análisis, este valor se compara con el valor de cedencia del material y así se determina si el modelo resistirá las cargas a las que será sometido.

Object Name	*Total Deformation*	*Equivalent Elastic Strain*	*Equivalent Stress*	*Maximum Shear Stress*	*Normal Stress*
State	Solved				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Geometry	All Bodies				
Definition					
Type	Total Deformation	Equivalent (von-Mises) Elastic Strain	Equivalent (von-Mises) Stress	Maximum Shear Stress	Normal Stress
By	Time				
Display Time	Last				
Calculate Time History	Yes				
Identifier					
Use Average		Yes			
Orientation					X Axis
Coordinate System					Global Coordinate System

Results					
Minimum	0. m	0. m/m	0. Pa		-1.1323e+008 Pa
Maximum	1.0931e-003 m	2.3549e-003 m/m	4.7098e+007 Pa	2.3761e+008 Pa	1.3741e+008 Pa
Minimum Occurs On	SOPORTE-TREN (20)				CAJA MATRIZ 1 (17)
Maximum Occurs On	EJE LLANTA (10)	EJE LLANTA (6)			
Information					
Time	1. s				
Load Step	1				
Substep	1				
Iteration Number	1				

Tabla 4.
Análisis de solución y resultados.

La siguiente tabla muestra los diferentes valores de las características mecánicas del acero.

Compressive Ultimate Strength	0 Pa
Compressive Yield Strength	2.5e+008 Pa
Density	7850 kg m^-3
Tensile Yield Strength	2.5e+008 Pa
Tensile Ultimate Strength	4.6e+008 Pa
Coefficient of Thermal Expansion	1.2e-005 C^-1
Specific Heat	434 J kg^-1 C^-1
Thermal Conductivity	60.5 W m^-1 C^-1
Resistivity	1.7e-007 kg m^3 A^-2 s^-3

Tabla 5.
Características mecánicas del material.

Como se observa el valor máximo obtenido en el análisis de elemento finito es menor al máximo permisible del material por lo tanto esto arroja resultados satisfactorios, un buen diseño y estructuralmente sin dificultades.

CONCLUSIONES.

Partiendo de un análisis completo de ingeniería, en el cual se toman en cuenta todos los factores que intervienen en un estudio y diseño de esta naturaleza se cumple con el objetivo principal, obteniendo un nuevo mecanismo con las necesidades citadas en este trabajo.

Las consideraciones teóricas usadas en este trabajo fueron las correctas.

El material propuesto para su construcción cumple con las exigencias mecánicas para su correcta utilización y durabilidad sin afectar ninguna de sus partes componentes.

Es necesario llevar a cabo todo este trabajo, es decir del papel a su construcción, tomando en cuenta cada uno de los puntos tocados en este trabajo para su elaboración.

Se requiere inducir en los futuros ingenieros una mentalidad de verdadero ingenio en la elaboración de un diseño o proyecto aplicado a la industria aeronáutica, cumpliendo siempre con un análisis completo, tomando en cuenta todos los factores que se ven relacionados en los diferentes proyectos.

Es importante demostrar que por más sencillo que sea un proyecto, siempre se debe de buscar la excelencia en cuanto a su diseño y construcción, permitiendo así elaborar proyectos de alta calidad, acordes a la tecnología e innovación que hoy en día nos presenta la industria aeronáutica.

Las herramientas informáticas y tecnológicas con las que se cuentan deben ser siempre utilizadas con el fin de mejorar una idea y no como la solución final.

En base al análisis visual del tren, se observa que no existen obstáculos en relación al sistema de carreteo ya que se tiene un espacio considerable entre el tren de aterrizaje y el fuselaje del equipo, no se requiere de las dimensiones de todo el tren por que para el modelado en NX solo se utiliza la sección donde se encuentran los puntos de anclaje de tren.

Se hizo un análisis de los puntos de anclaje, forma, número de birlos, tamaño características particulares de los puntos de sujeción del tren, distancia entre centros, diámetro de tubo principal, etc. Todo esto es necesario para su modelado en NX para el ensamble final con el sistema de carreteo de forma virtual mediante el mismo Software.

En base al análisis del tren de aterrizaje así como de los puntos de sujeción, se desarrolla el modelado y diseño del mecanismo de carreteo cumpliendo con los objetivos de diseño y características de operación, se parte de algunas ideas y bocetos, al final se logra el objetivo básico de diseño en cuanto a ser un mecanismo, sencillo, fácil de construir y que cumple con todos los requerimientos para mover el helicóptero en tierra.

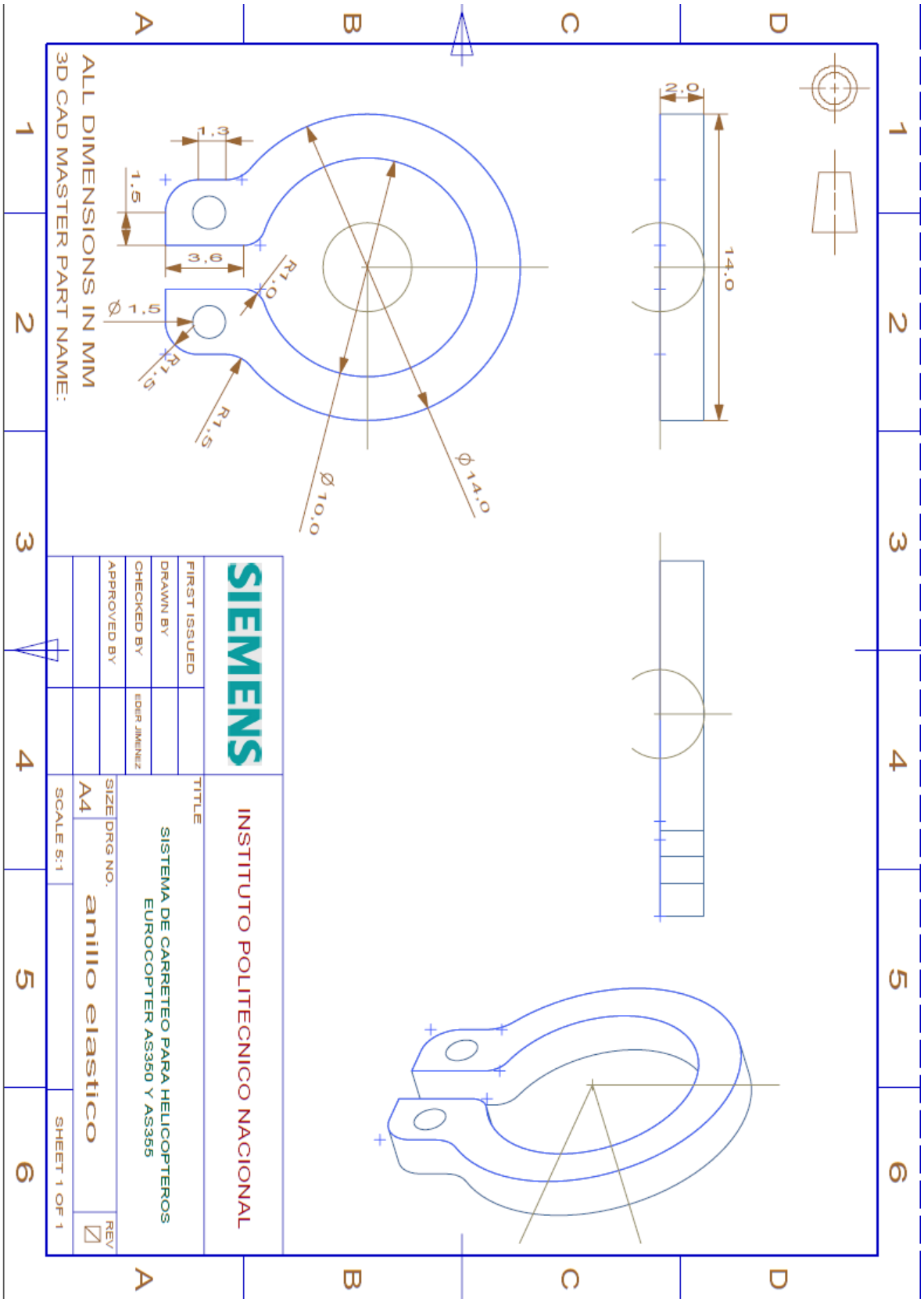
BIBLIOGRAFIA.

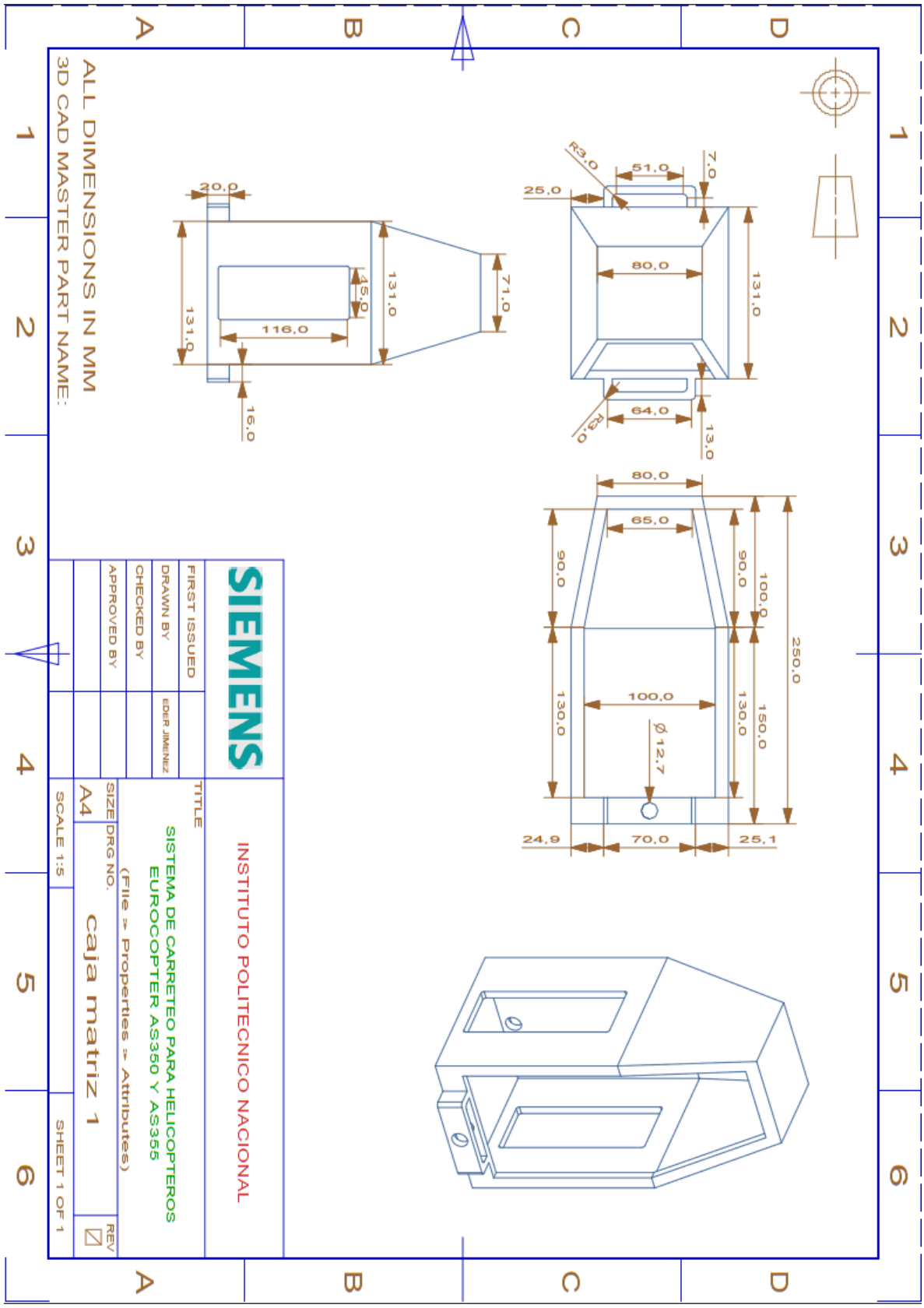
- Mecánica de Materiales, R. C. Hibbeler, Tercera Edición, Prentice Hall.
- Materiales y Procesos de Manufactura, Neely, Limusa Noriega Editores.
- Manual Técnico Eurocopter, Hydraulic Twin Wheel Assemblies.
- El método del Elemento Finito Mediante el Software ANSYS, Adelaido M., Enero 2004.

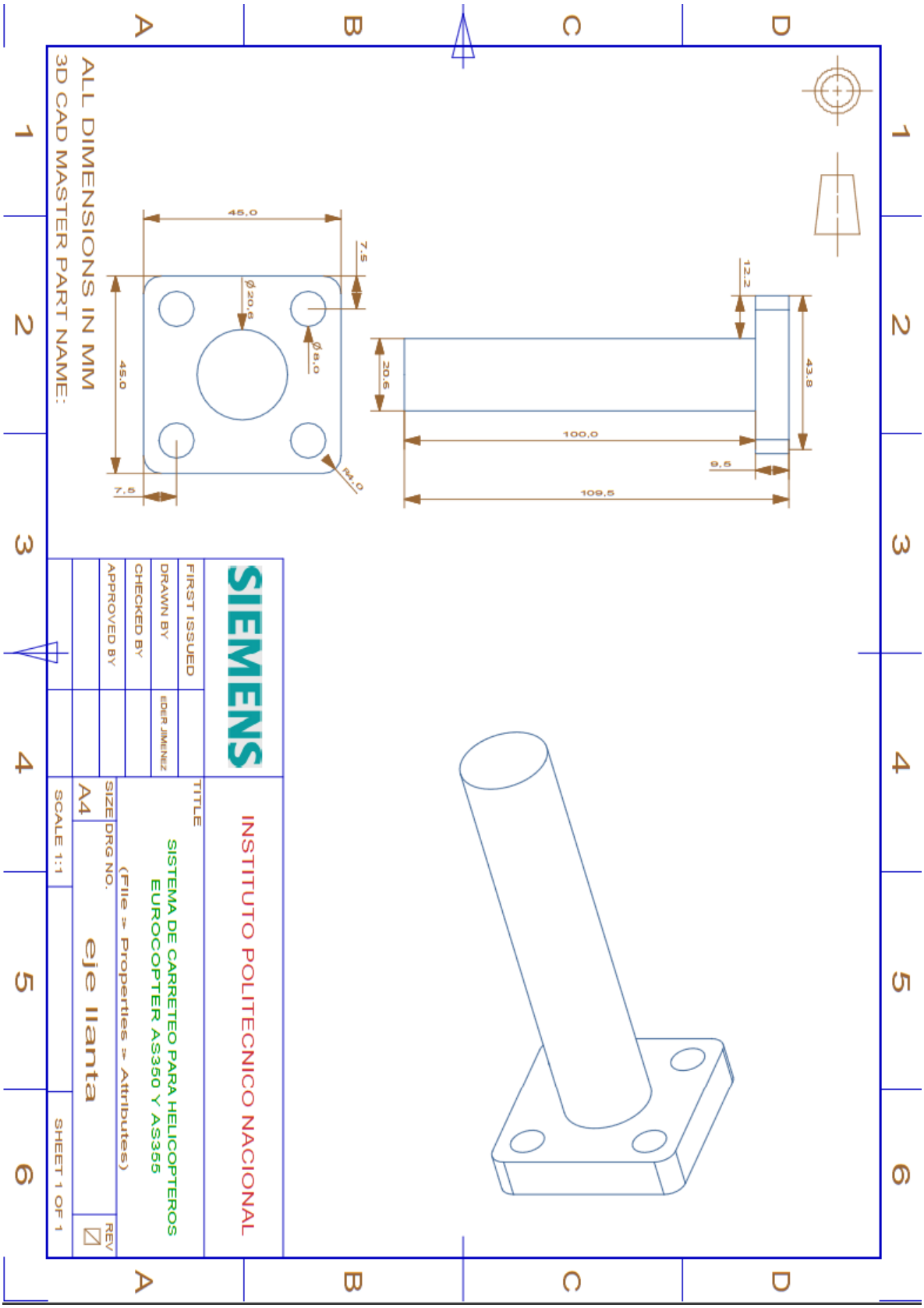
CIBERGRAFIA.

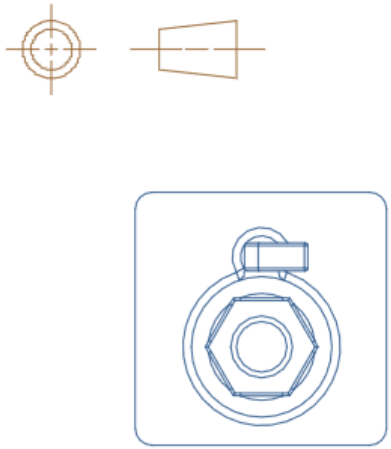
http://www.wikipedia.org/ (10-Oct-09)
http://www.eurocopter.com/site/en/ref/home.html (19-Oct-09)
http://www.enerpac.com (22-Nov-09)
http://www.trelleborg.com (20-Nov-09)
http://www.waltermartinez.com (15-Dic-09)
http://www.gatatornillos.com.ar (17-Nov-09)

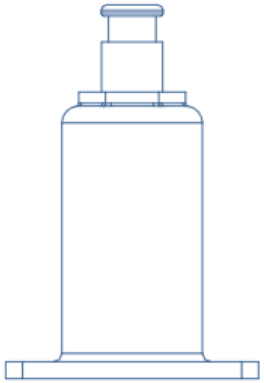
http://www.ferrebarniedo.com.mx (08-Sep-09)

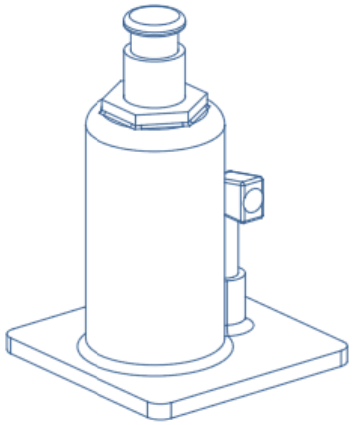

2.0
14.0
1.3
1.5
3.6
Ø 1.5
R1.0
R1.5
R1.5
Ø 14.0
Ø 10.0
ALL DIMENSIONS IN MM
3D CAD MASTER PART NAME:
SIEMENS
FIRST ISSUED
DRAWN BY
CHECKED BY
EDUR JIMENEZ
APPROVED BY
INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
TITLE
SISTEMA DE CARRETEO PARA HELICOPTEROS
EUROCOPTER AS350 Y AS355
SIZE
DRG NO.
A4
anillo elastico
REV
SCALE 5:1
SHEET 1 OF 1


R3,0
51,0
7,0
25,0
80,0
131,0
64,0
13,0
R3,0
20,0
71,0
131,0
45,0
116,0
131,0
16,0
80,0
65,0
90,0
90,0
100,0
250,0
100,0
130,0
130,0
150,0
Ø 12,7
24,9
70,0
25,1
ALL DIMENSIONS IN MM
3D CAD MASTER PART NAME:
SIEMENS
FIRST ISSUED
DRAWN BY
EDER JIMENEZ
CHECKED BY
APPROVED BY
INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
TITLE
SISTEMA DE CARRETEO PARA HELICOPTEROS
EUROCOPTER AS350 Y AS355
(File -> Properties -> Attributes)
SIZE
DRG NO.
A4
caja matriz 1
REV
SCALE 1:5
SHEET 1 OF 1


12,2
43,8
20,6
100,0
9,5
109,5
45,0
7,5
Ø20,8
Ø8,0
45,0
7,5
R4,0
ALL DIMENSIONS IN MM
3D CAD MASTER PART NAME:
SIEMENS
FIRST ISSUED
DRAWN BY
EDER JIMENEZ
CHECKED BY
APPROVED BY
INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
TITLE
SISTEMA DE CARRETEO PARA HELICOPTEROS
EUROCOPTER AS350 Y AS355
(File > Properties > Attributes)
SIZE
A4
DRG NO.
eje llanta
REV
SCALE 1:1
SHEET 1 OF 1



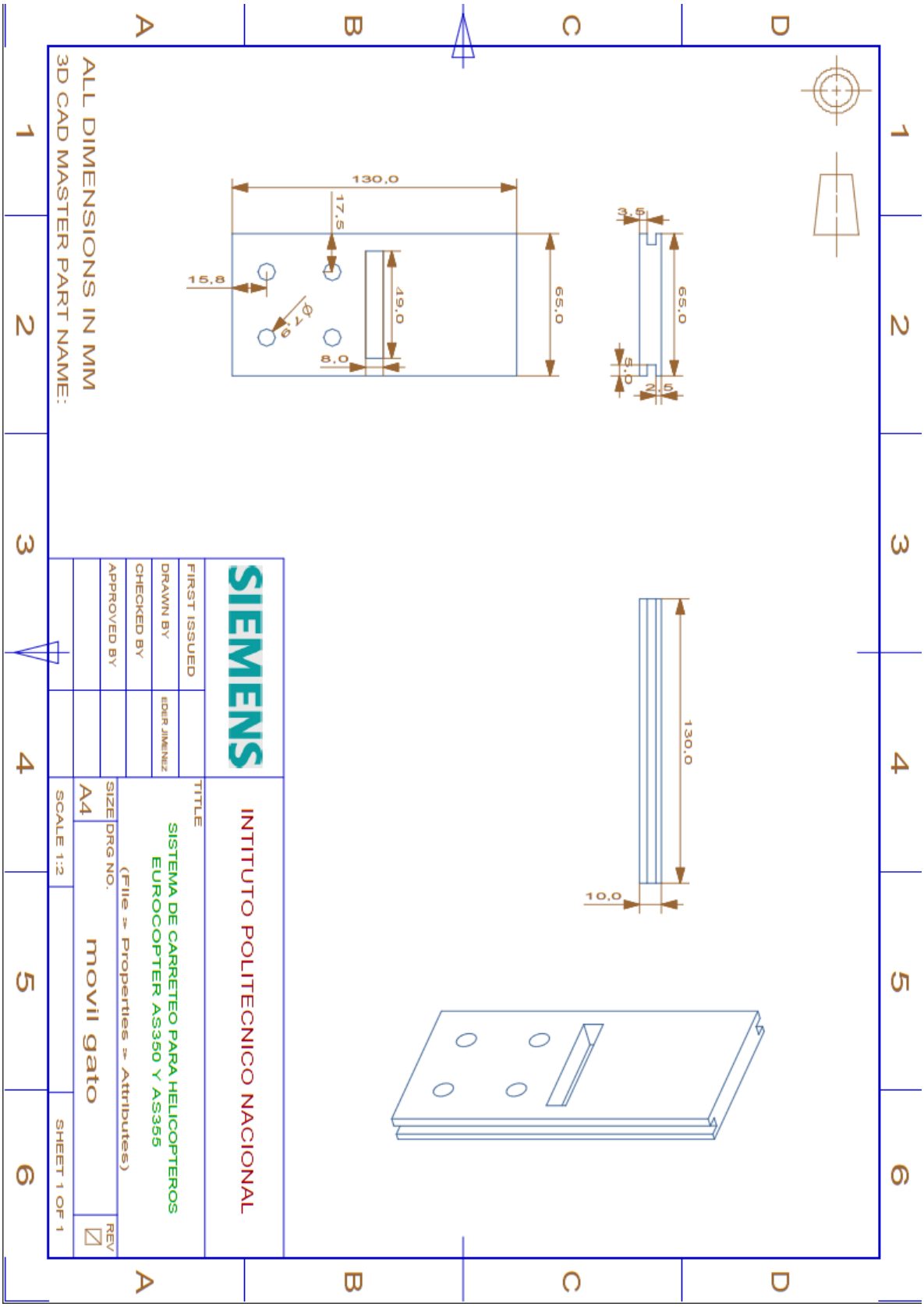


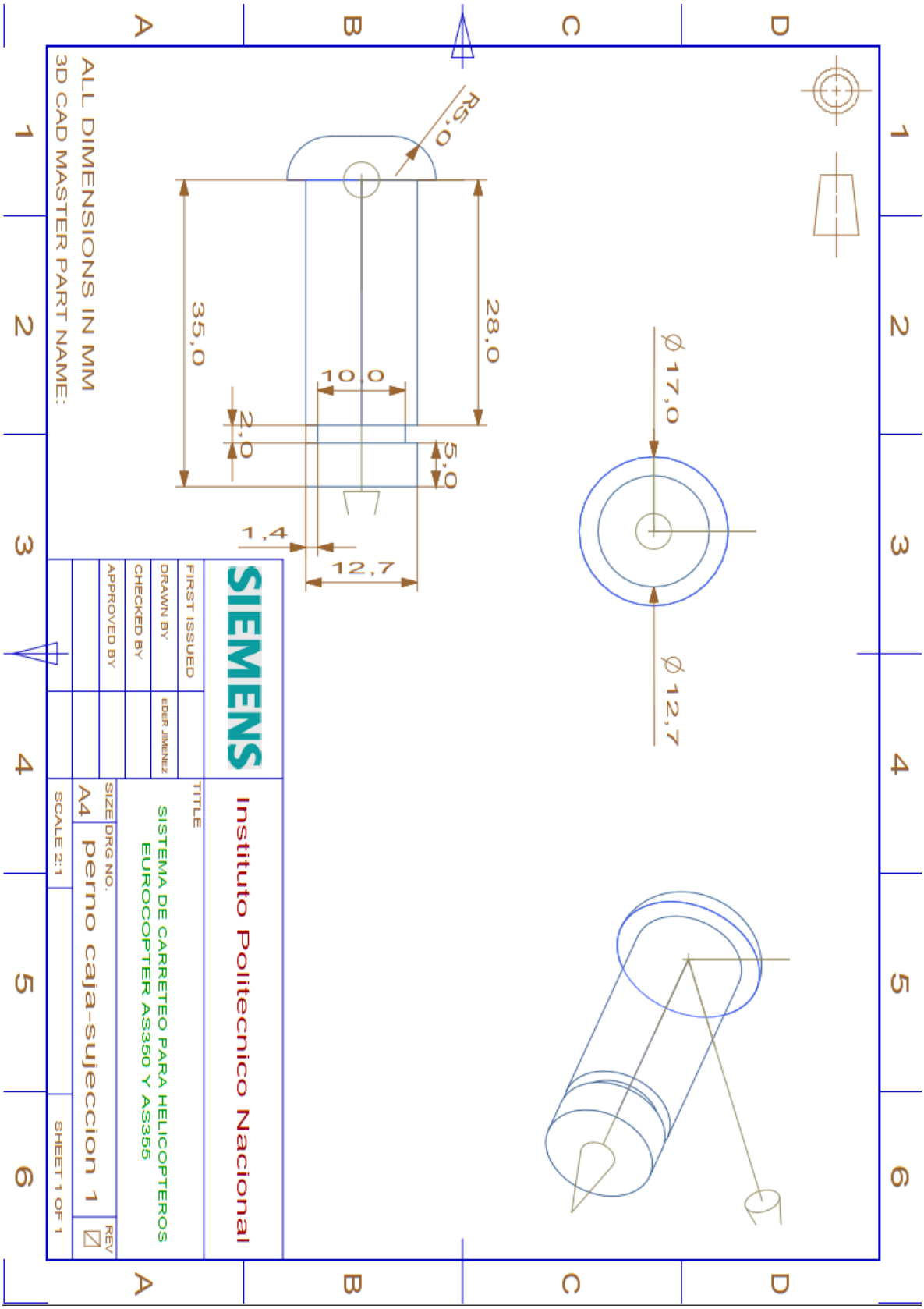


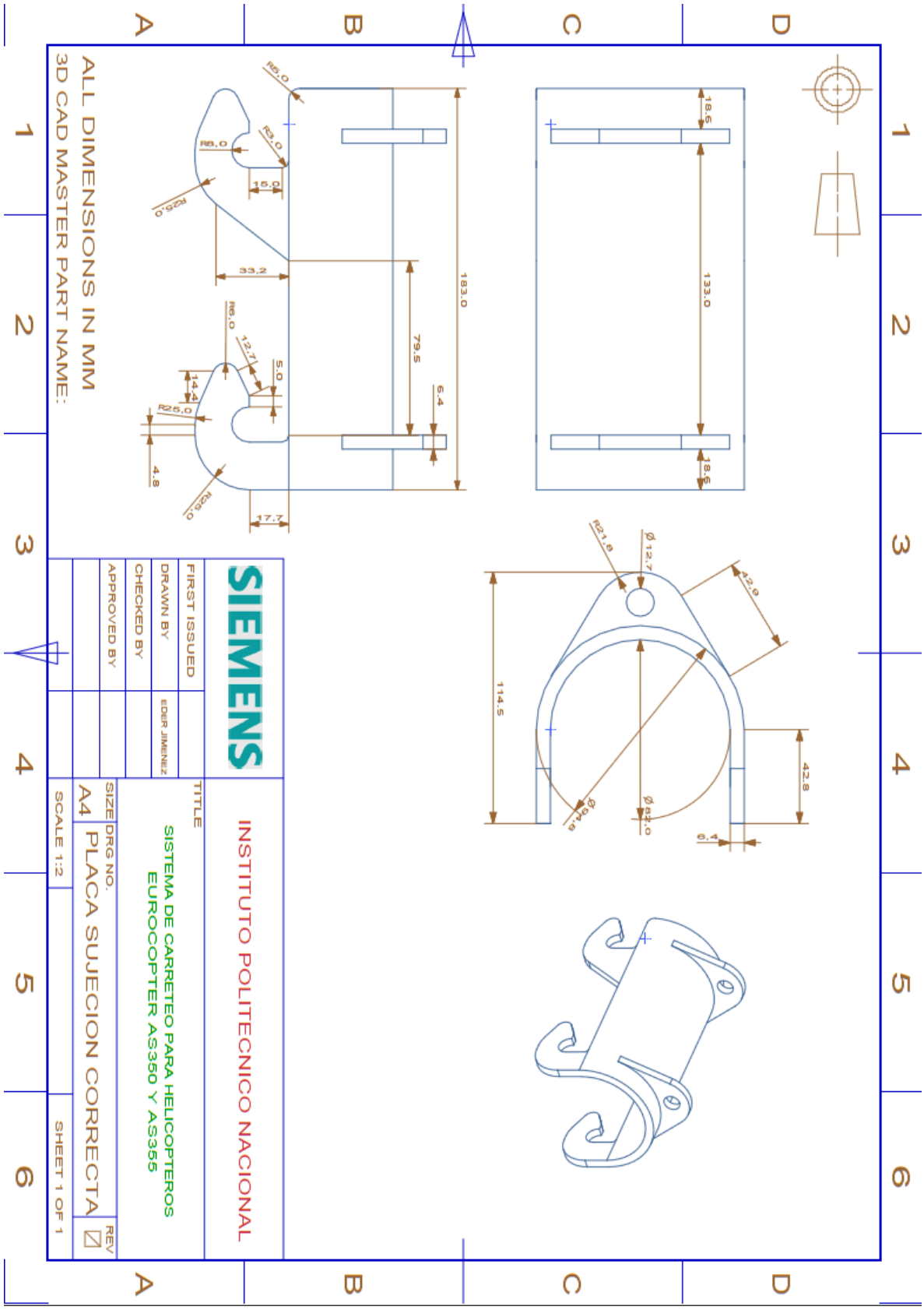
Caracteristicas.
Fuerza. 3.6-36 (Ton-KN)
Carrera. 120 (mm)
Ext Tornillo. 70 (mm)
Diametro del Embolo 28.2(mm)
Etapas. 1
Peso Aprox. 4.2 (Kg)

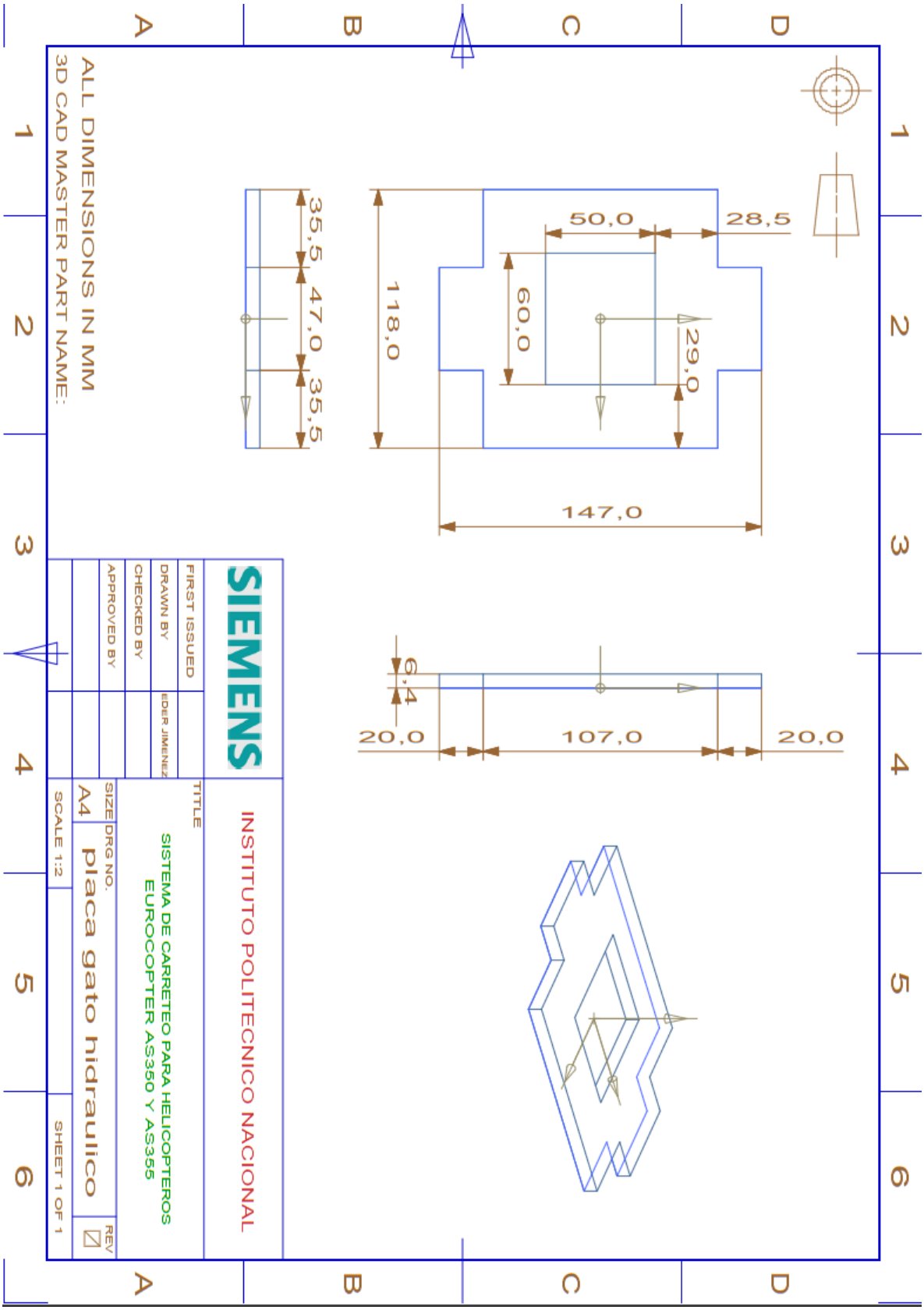
ALL DIMENSIONS IN MM
3D CAD MASTER PART NAME:

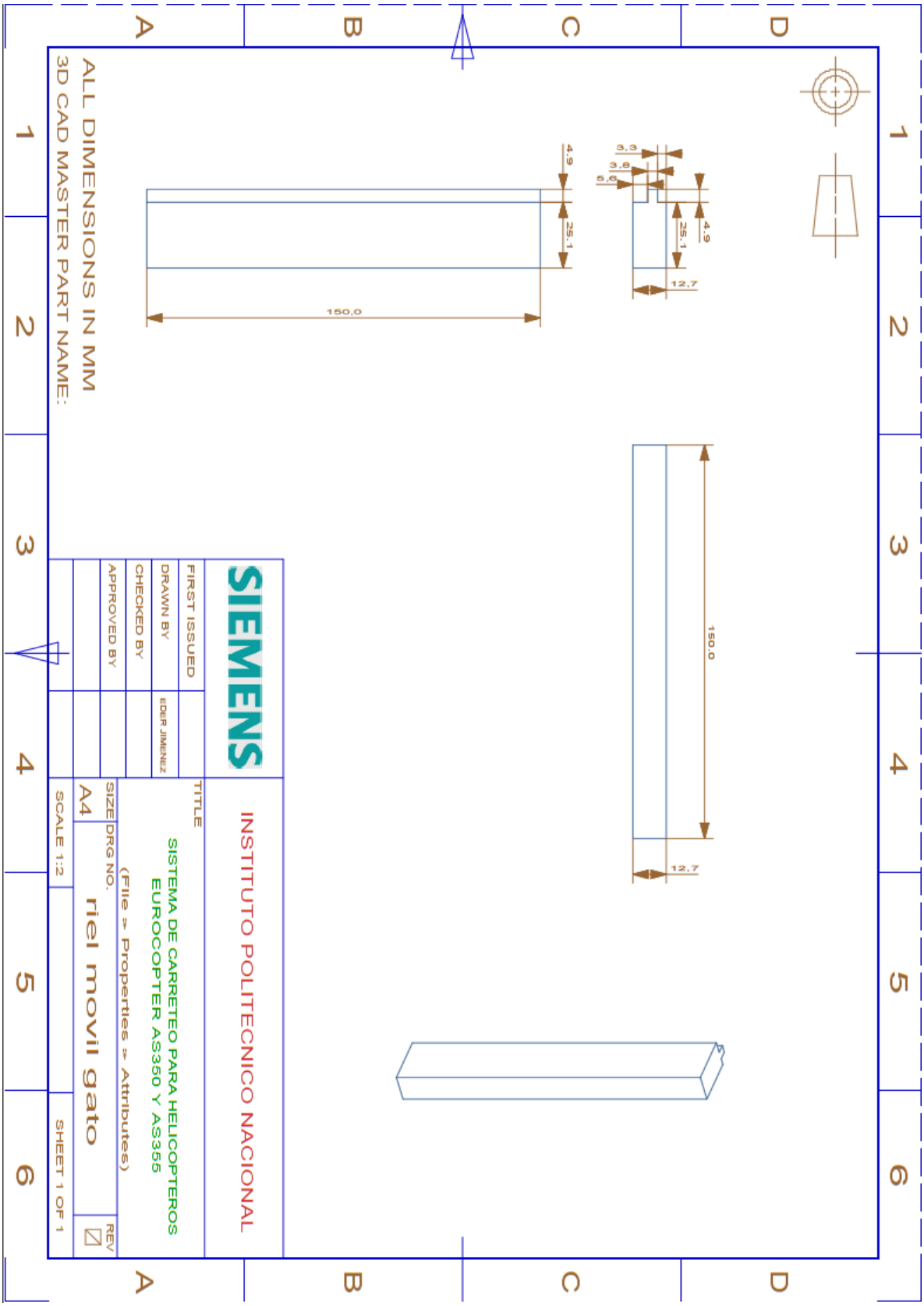
SIEMENS		Instituto Politecnico Nacional	
FIRST ISSUED		TITLE SISTEMA DE CARRETEO PARA HELICOPTEROS EUROCOPTER AS350 Y AS355	
DRAWN BY			
CHECKED BY			
APPROVED BY		SIZE A4	DRG NO. gato hidraulico	REV
		SCALE 1:2	SHEET 1 OF 1


130,0
17,5
15,8
Ø7,0
49,0
8,0
65,0
3,5
65,0
5,0
2,5
130,0
10,0
ALL DIMENSIONS IN MM
3D CAD MASTER PART NAME:
SIEMENS
FIRST ISSUED
DRAWN BY
EDER JIMENEZ
CHECKED BY
APPROVED BY
INTITUTO POLITECNICO NACIONAL
TITLE
SISTEMA DE CARRETEO PARA HELICOPTEROS
EUROCOPTER AS350 Y AS355
(File > Properties > Attributes)
SIZE
DRG NO.
REV
A4
movil gato
SCALE 1:2
SHEET 1 OF 1


R5,0
28,0
35,0
10,0
2,0
5,0
1,4
12,7
Ø17,0
Ø12,7
SIEMENS
Instituto Politecnico Nacional
FIRST ISSUED
DRAWN BY
EDER JIMENEZ
CHECKED BY
APPROVED BY
TITLE
SISTEMA DE CARRETEO PARA HELICOPTEROS
EUROCOPTER AS350 Y AS355
SIZE
A4
DRG NO.
perno caja-sujeccion 1
REV
SCALE 2:1
SHEET 1 OF 1
ALL DIMENSIONS IN MM
3D CAD MASTER PART NAME:


ALL DIMENSIONS IN MM
3D CAD MASTER PART NAME:
SIEMENS
FIRST ISSUED
DRAWN BY
EDER JIMENEZ
CHECKED BY
APPROVED BY
TITLE
INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SISTEMA DE CARRETEO PARA HELICOPTEROS
EUROCOPTER AS350 Y AS355
SIZE
A4
DRG NO.
PLACA SUJECION CORRECTA
REV
SCALE 1:2
SHEET 1 OF 1


28,5
50,0
60,0
29,0
118,0
147,0
35,5
47,0
35,5
6,4
20,0
107,0
20,0
SIEMENS
INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
FIRST ISSUED
DRAWN BY
EDER JIMENEZ
CHECKED BY
APPROVED BY
TITLE
SISTEMA DE CARRETEO PARA HELICOPTEROS
EUROCOPTER AS350 Y AS355
SIZE
DRG NO.
A4
placa gato hidraulico
REV
SCALE 1:2
SHEET 1 OF 1
ALL DIMENSIONS IN MM
3D CAD MASTER PART NAME:


3,3
3,6
5,6
4,9
25,1
12,7
4,9
25,1
150,0
150,0
12,7
SIEMENS
INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
FIRST ISSUED
DRAWN BY
EDER JIMENEZ
CHECKED BY
APPROVED BY
TITLE
SISTEMA DE CARRETEO PARA HELICOPTEROS
EUROCOPTER AS350 Y AS355
(File > Properties > Attributes)
SIZE
A4
DRG NO.
riel movil gato
REV
SCALE 1:2
SHEET 1 OF 1
ALL DIMENSIONS IN MM
3D CAD MASTER PART NAME:

PESOS POR PLACA EN KILOGRAMOS

Espesor													
	Pulgadas	2"	1 1/2"	1 1/4"	1"	7/8"	3/4"	5/8"	1/2"	3/8"	5/16"	1/4"	3/16"
	Milímetros	50.8	38.1	31.8	25.4	22.2	19.1	15.9	12.7	9.5	7.9	6.4	4.8
kg. por m2		398.78	299.08	249.63	199.39	174.27	149.94	124.82	99.70	74.58	62.01	50.24	37.68
Medidas													
Pies	Metros												
3 x 8	0.914 x 2.44	889	667	557	445	389	334	278	222	167	139	112	84
3 x 10	0.914 x 3.05	1,112	834	696	556	486	418	348	278	208	173	140	104
3 x 20	0.914 x 6.10	2,223	1,667	1,392	1,112	972	836	696	556	416	346	280	210
4 x 8	1.22 x 2.44	1,187	890	743	594	519	446	372	297	222	185	150	112
4 x 10	1.22 x 3.05	1,484	1,113	929	742	648	558	464	371	278	231	187	140
4 x 20	1.22 x 6.10	2,968	2,226	1,858	1,484	1,297	1,116	929	742	555	461	373	280
5 x 20	1.52 x 6.10	3,697	2,773	2,315	1,849	1,616	1,390	1,157	924	694	578	466	349
6 x 20	1.83 x 6.10	4,452	3,339	2,787	2,226	1,945	1,674	1,393	1,113	833	694	561	420
8 x 20	2.44 x 6.10	5,935	4,452	3,715	2,968	2,594	2,232	1,858	1,484	1,110	923	748	552

Tipos de aceros que manejamos:

SAE 1010 ASTM A-36 A-283-C A-285-C H50 A-572-50 A-515-70 A-516-70