

UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA		
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO		
Nº DE RADICACIÓN: _____		
INFORMACIÓN EJECUTORES		
Ejecutor 1		
Nombre (s):	Jorge Iván	
Apellido (s):	Quintero Cely	
Código:	20102275027	
E-mail:	Jivan15l@hotmail.com	
Teléfono fijo:	7287442	
Celular:	3125080758	
Ejecutor 2		
Nombre (s):	Juan Felipe	
Apellido (s):	Pérez Aguilera	
Código:	20111275030	
E-mail:	Juanf_mec20@hotmail.com	
Teléfono fijo:	6949341	
Celular:	3144188747	
INFORMACIÓN DEL PROYECTO		
Título del Proyecto:	DISEÑO CONCEPTUAL Y PRELIMINAR MECÁNICO DE UN TREN DE ATERRIZAJE PARA EL PROYECTO C87A LIBERAYTOR DE "AEROSPACE DESIGNWORKS"	
Duración (estimada):	6 meses	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	<input checked="" type="checkbox"/>
	Prestación y Servicios Tecnológicos	<input type="checkbox"/>
	Otro	<input type="checkbox"/>
Modalidad del Trabajo de Grado:	Proyectos científicos y comunitarios	
Línea de Investigación de la Facultad*:	Apoyo tecnológico y empresarial	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	Diseño mecánico	
Grupo de Investigación:		
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:		
INFORMACIÓN PASANTÍA		
Nombre de la empresa:		
Dirección:		
Teléfonos:		
Correo electrónico:		
Página Web:		
INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA		
Director: (Vo. Bo.)		
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)		
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)		

TABLA DE CONTENIDO

1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1.	CONTEXTO GLOBAL	4
1.2.	CONTEXTO NACIONAL.....	5
1.3.	CONTEXTO LOCAL	5
1.4.	DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN PROBLEMA.....	6
1.5.	PROBLEMA DEL PROYECTO DE GRADO	7
2.	ESTADO DEL ARTE	8
2.1.	ANTECEDENTES E HISTORIA.....	8
2.2.	ACTUALIDAD.....	12
2.3.	TIPO DE TRENES DE ATERRIZAJE	14
3.	JUSTIFICACION.....	18
4.	OBJETIVOS	19
4.1.	OBJETIVO GENERAL.....	19
4.2.	OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	19
5.	MARCO TEORICO	20
5.1.	NORMAS.....	20
5.2.	TIPO DE TREN Y DISPOSICION RECOMENDADA	20
5.3.	CENTRO DE GRAVEDAD (C.G.).....	21
5.4.	SISTEMAS DE AMORTIGUACION	21
6.	METODOLOGIA.....	23
6.1.	COMPONENTES DEL DISEÑO DEL TREN DE ATERRIZAJE	23
6.2.	DESARROLLO DE LOS PRIMEROS CONCEPTOS	23
6.3.	DISEÑO PRELIMINAR	24
7.	CRONOGRAMA	29
8.	PRESUPUESTO.....	29

TABLA DE FIGURAS

Fig. 1 Dassault Falcon 900	4
Fig. 2 Phenom 100	6
Fig. 3 Distribución interna del fuselaje	7
Fig. 4 Tipos de amortiguación (Segunda Guerra Mundial)	8
Fig. 5 Tren de aterrizaje, Ford Trimotor	10
Fig. 6 Sistema de Retracción del CURTISS EXPORT HAWK IIIC	10
Fig. 7 Tren de aterrizaje fijo con cobertura.....	11
Fig. 8 Sistema de amortiguación, CURTISS P-6E	12
Fig. 9 Tren principal LOCKHEED C-5A.....	13
Fig. 10 Tipos estándar de tren de aterrizaje	14
Fig. 11 Tren de aterrizaje tipo Oruga.	15
Fig. 12 Tren de aterrizaje principal TU-144	15
Fig. 13 Tren de aterrizaje de banda.	15
Fig. 14 Tren de aterrizaje Skin C-130	16
Fig. 15 Tren de aterrizaje LA-4 (tipo “cojín de aire”).....	17
Fig. 16 Configuración y Nomenclatura del tren triciclo	21
Fig. 17 Un tren tipo “Spring”(Resorte) en la tres condiciones de trabajo	22
Fig. 18 Montaje del tren de aterrizaje.....	22
Fig. 19 Actividades en el diseño preliminar	25
Fig. 20 Tipos comunes de sistemas de dirección.....	27

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. CONTEXTO GLOBAL

El mundo de los vuelos privados maneja dos modelos de aviones que dividen de la siguiente manera:

- Por un lado encontramos los modelos de aviones privados con una capacidad de hasta 18 pasajeros más la tripulación. Y dos ejemplos representativos de esta categoría son: El Global Express de Bombardier y el Dassault Falcon 900, que son conocidos por haber sido desde siempre las aeronaves de los multimillonarios más reconocidos del mundo.
- El otro grupo de modelos de aviones privados encontramos aquellos cuya capacidad es de cuatro pasajeros y dos tripulantes, y que son los conocidos como aerotaxis. Sus vuelos no pueden superar radios de más de 2.000km y en esta gama destacamos el modelo Eclipse 500¹ y



Fig. 1 Dassault Falcon 900

Otros modelos un poco más lujosos que podríamos ubicarlos entre los dos grupos mencionados de modelos de aviones privados tienen como referente al Bombardier Learjet 60 XR.

Éste es el preferido de los ricos para realizar traslados cortos con un máximo de 9 pasajeros. Su precio oscila los 13,7 millones de dólares².

¹ Fuente: <http://laaviacion.webatu.com/aviones/modelos-de-aviones.htm>

² Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Embraer_Phenom_100

1.2. CONTEXTO NACIONAL

La industria aeronáutica en el país es una industria enfatizada a mantenimiento, como es el caso de AVIANCA, empresa que se dedica a realizar este servicio en aeronaves comerciales, sin embargo diferentes compañías exportación de servicios, como ENGINEERING INTEGRITY SERVICES, ha encontrado una excelente oportunidad de negocios en la inversión en ingeniería gracias a los bajos costos que estos servicios pueden tener en nuestro país.

Otras compañías de ingeniería propiamente colombianas han desarrollado proyectos de diseño como lo fue la aeronave diseñada y producida aquí en Colombia, El Gavilán 358 es un avión de la década de 1990. Este monoplano de ala alta potenciado por un motor a pistón, ha sido producido pocas veces a finales de la década de 1990 a inicios de la de 2000. Algunos de estos sirven a la Fuerza Aérea Colombiana³.

Cabe anotar, que en el país funcionan empresas dedicadas a la presentación de servicios de diseño, una de ellas es AEROSPACE DESIGNWORKS, empresa colombiana fundada originalmente en los estados unidos, que exporta sus servicios de ingeniería hacia el exterior, aprovechando la ubicación geográfica y el excelente recurso ingenieril que se encuentra en Colombia.

1.3. CONTEXTO LOCAL

Aerospace Designworks es una empresa Fundada en 2007, Continental AG / Aeroespacial Designworks ha diseñado interiores de aviones para los centros de ensamblaje de los EE.UU., cuyo destino ultimo lo componen algunos de los clientes más exigentes del mundo incluyendo los particulares, corporaciones y jefes de estado. En el momento actual, Aerospace Designworks, trabaja en un nuevo diseño de tren de aterrizaje para el avión C87A LIBERATOR, para ofrecer a los clientes la garantía de contar con una aeronave que satisface todos los requerimientos técnicos y que a la vez les ofrece el mayor confort posible.

El Embraer Phenom 100, avión ejecutivo (VLJ) desarrollado por el constructor brasileño Embraer, cuyas características técnicas generales son⁴:

Tripulación	: 1
Capacidad	: 4 pasajeros (6 como máximo)
Carga	: 595 kg
Longitud	: 12,80 m
Envergadura	: 12,30 m
Altura	: 4,4 m
Peso vacío	: 3.235 kg
Peso útil	: 1.535 kg
Peso máximo al despegue	: 4.750 kg
Planta motriz	: 2x Turbofán Pratt & Whitney Canada PW617F-E.
Empuje normal	: 7,2 kN de empuje cada uno.
Velocidad crucero (V_c)	: 722 km/h 390 nudos
Alcance	: 2.182 km (reservas IFR NBAA, 4 ocupantes) 1.178 MN

³ Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Gavil%C3%A1n_G358

⁴ Phenom 100 brochure Download - Embraer Executive Jets

Techo de servicio	: 12.500 m (45.000 pies)
Tipo	: Avión ejecutivo.
Fabricante	: Embraer.
Primer vuelo	: 26 de julio de 2007.
Estado	: En servicio.
Producción	: 2007-actualidad.
No. Construidos	: 23.
Coste unitario	: 3,6 millones de dólares.
Desarrollado en	: Embraer Phenom 300.

Tiene capacidad para cuatro pasajeros en configuración estándar, pero puede transportar hasta 6-7 pasajeros con un único tripulante, asientos frontales opcionales y servicio con cinturón.



Fig. 2 Phenom 100

1.4. DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN PROBLEMA

Actualmente los grandes avances tecnológicos han sido implementados en la industria aeronáutica, avances que se ven reflejados en la implementación de elementos menos pesados pero igualmente resistentes como lo es la fibra de carbono o compuestos como el honeycom, esto permite concebir nuevos aspectos correspondientes al espacio y confort del usuario final, a su vez estos aspectos generan una mayor competitividad en el industria aeronáutica privada los cuales producen nuevos diseños y desarrollos en los diferentes componentes de una aeronave, éstas variaciones en los diseños logran un mejor rendimiento el cual se ve reflejado en la relación inversamente proporcional del peso y el alcance del avión, y a su vez ayudan a la mejora de los aspectos que anteriormente no eran tan relevantes en los diseños en general, como lo es la ergonomía y la comodidad de los pasajeros y la tripulación, teniendo en cuenta que un pasajero con estatura promedio de 1,80m requiere ingresar en la aeronave en una posición corporal erguida (Fig. 3), aspecto que solo se logra en aviones cuya envergadura es grande como la de los aviones comerciales, para lograr este requisito se requieren realizar modificaciones en el fuselaje, lo cual influye directamente en la eficiencia del avión., ya que el área de contacto del avión con el aire aumenta y aumenta a su vez la resistencia que el aire le presenta sobre el avión.

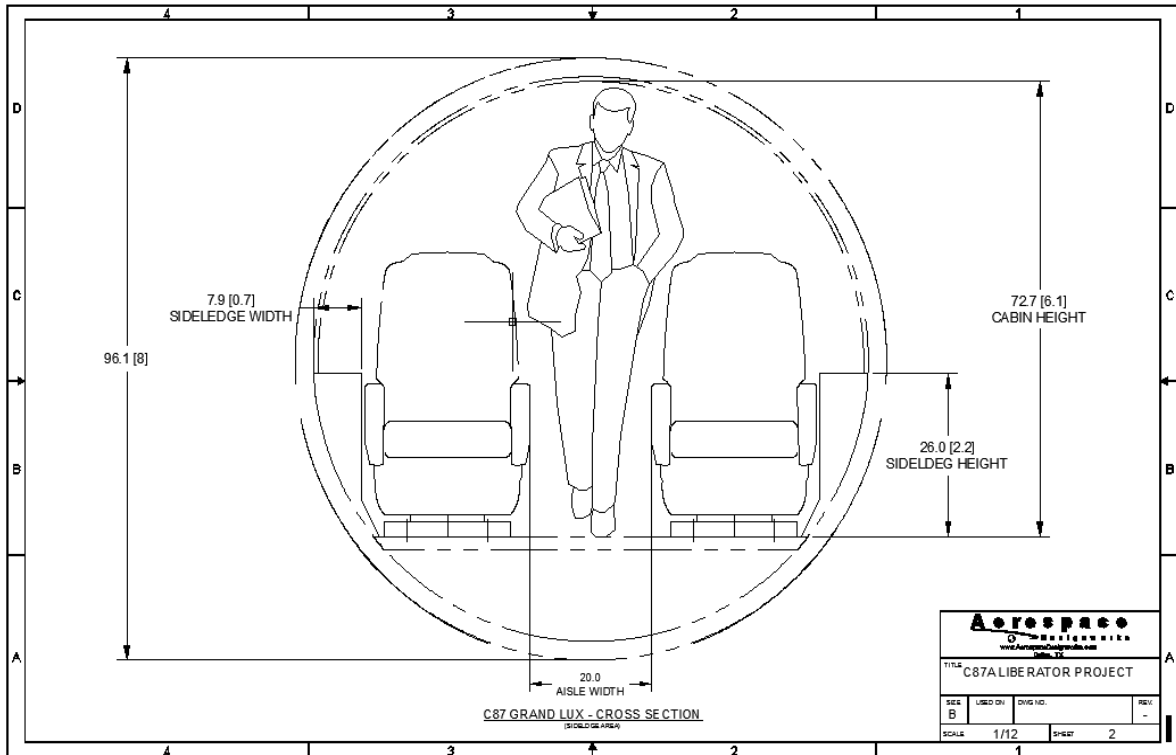


Fig. 3 Distribución interna del fuselaje

Para satisfacer esta necesidad es necesario determinar si se requiere el diseño de una aeronave, o bien, la modificación de una ya existente. Cualquiera que sea la necesidad provoca modificaciones inevitables en la mayoría de las partes de la aeronave, como es el caso del sistema de aterrizaje, el diseño del tren de aterrizaje es necesario pues cualquier modificación que se realice al fuselaje genera un cambio en la distribución de los dos puntos en los que fluctúa el centro de gravedad del avión (el avión con su mínima y máxima capacidad de carga), y se tiene que garantizar el sistema de aterrizaje responda de una manera adecuada, eficaz y confiable a dichos cambios.

1.5. PROBLEMA DEL PROYECTO DE GRADO

El ingeniero diseñador del tren de aterrizaje debe asegurar de alguna manera almacenar el tren en áreas que tengan un efecto mínimo sobre la estructura principal del avión teniendo en cuenta que hay que evitar en gran medida la resistencia del viento que estos puedan generar, para ello se debe garantizar este aspecto para una aeronave que va a tener las siguientes medidas en sus dimensiones:

- Peso de la aeronave: En desarrollo
- Rango del centro de gravedad: En desarrollo
- Envergadura: En desarrollo

Adicionalmente se debe garantizar que el tren de aterrizaje responda a las condiciones más críticas que se puede encontrar una aeronave en su funcionamiento las cuales son el carreteo en el aeropuerto, parámetro que afecta directamente al tren de nariz, ya que es de éste donde se realiza el acoplamiento de la aeronave para poder

guardarlo o retirarlo del hangar, y el aterrizaje en sí ya que es este último en donde se encuentran las fuerzas más críticas que afectan el sistema de aterrizaje.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. ANTECEDENTES E HISTORIA

Los primeros trenes de aterrizaje aparecieron poco después del primer vuelo inaugural de los hermanos Wright en el diciembre del año de 1903. Santos-Dumont's con su avión llamado 14 bis, tenía un tren de aterrizaje con ruedas, este avión realizó el primer vuelo en Europa en octubre de 1906. Esta idea de trenes de aterrizaje con ruedas fue seguida rápidamente por diseñadores y pilotos de aeronaves como Voisin (1907), Delagrangre (1907), Farman (1908), Bleriot (1908), Curtiss (1908), Cody (1908), Ellehammer (1908), McCurdy (1909), Roe (1909), and Short (1909). Muchos de estos se catalogaron como "vuelos pioneros": Bleriot cruzó el canal de la Mancha desde Francia, McCurdy en el imperio inglés, y Roe en Reino Unido.

Tiempo después vino la Gran Guerra (la primera guerra mundial), momento en el cual, ya más o menos se había establecido las configuraciones de los trenes de aterrizaje, con la disposición de una rueda en cola, empleando soportes muy robustos unidos al fuselaje y al tren de aterrizaje, que tenían cierto grado de amortiguación mediante el uso de cuerdas elásticas envueltas alrededor de los ejes (fig. 4).

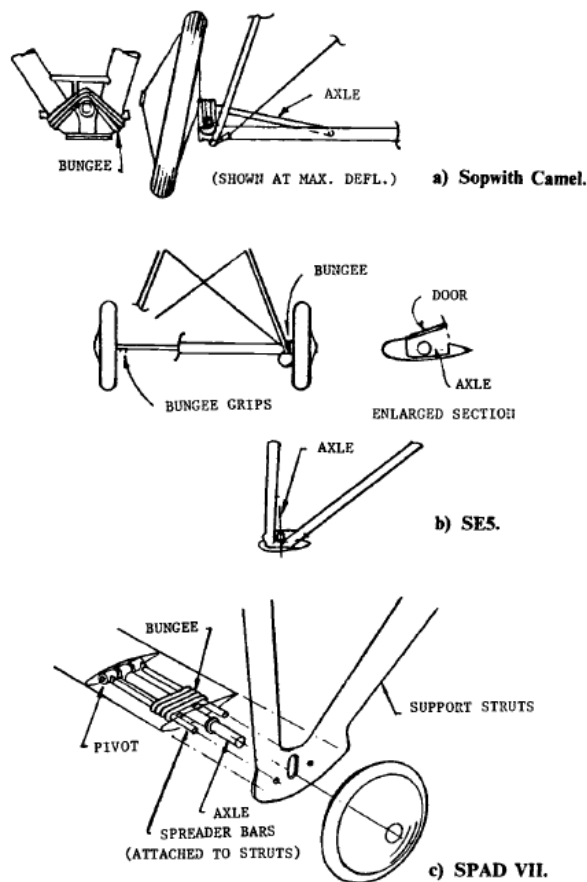


Fig. 4 Tipos de amortiguación (Segunda Guerra Mundial)

El Sopwith Camel, SPAD VII y SE5 fueron aviones de guerra y exploradores típicos durante la primera guerra mundial. Ambos, el Camel y el SPAD, tenían ejes pivotados desde las barras extensoras conectadas al fuselaje, la principal diferencia entre estas dos configuraciones consistía en la ubicación de la cuerda elástica que restringía el movimiento del eje en determinada dirección. Los elásticos del Camel se fijaban en el extremo final de los separadores o barras extensoras hacia la junta con la rueda que permitía 4 pulgadas de desplazamiento del tren. El sistema de amortiguación del SPAD permitía de 3 a 4 pulgadas de desplazamiento (dependiendo del modelo), pero eran ubicados dentro de los puntales de soporte del tren.

El tren de aterrizaje del SE5 utilizaba un eje continuo con una rueda ubicada en cada extremo. Este estaba en el interior de una cavidad restringido por medio de una compuerta pivotada soportado por un par de vigas transversales fijadas en la parte superior; el elástico estaba entonces envuelto alrededor de la compuerta al final del puntal del tren de aterrizaje, que de esta forma retenía el movimiento del eje hacia fuera de la cavidad.

En los años 20 entre la primera y segunda guerra mundial, el diseño de los trenes de aterrizaje se desarrollo tan rápido como el diseño de aeronaves en si mismo. El ultimo cambio significativo fue pasar de biplanos con estructuras de madera arriostradas y de tela a monoplanos con estructuras en aleaciones de aluminio y trenes de aterrizaje fijos a trenes de aterrizaje retractiles empleando una gran variedad de sistemas de amortiguación. El incremento en la capacidad de amortiguación en los trenes de aterrizaje se convirtió necesario con el fin de adecuar el constantemente creciente peso y velocidades verticales de aterrizaje. A pesar de que la carrera de los amortiguadores, no esta en función del peso del aeroplano, fue importante incrementar la carrera con el fin de disminuir los factores de carga en el aterrizaje y de este modo minimizar el peso de la estructura influenciado por las cargas de aterrizaje.

Una gran dimensionamiento de los neumáticos proporcionaba cierta amortiguación deseada, pero las limitaciones con respecto al tamaño del neumático y una eficiencia relativamente baja (47%) impidieron la contribución de los neumáticos para este propósito. Por lo tanto se idearon soportes con puntales amortiguados. Posteriormente estos evolucionaron desde bloques de goma y resortes de compresión a resortes de hojas, puntales oleo-neumáticos, y resortes líquidos.

El Ford Trimotor (1932) es un ejemplo de los primeros aviones que utilizaron bloques de goma como sistemas de amortiguación (fig. 5)

El primer tren de aterrizaje retráctil documentado, fue el tren que se uso en el avión británico de carreras Bristol Júpiter en la década de los 20.

En los Estados Unidos, la compañía Lockheed's con su Model 8D Altair, que voló por primera vez en 1930, tenía un tren de aterrizaje completamente retráctil y Boeing que sin duda se encontraba en la vanguardia con su tren parcialmente retráctil diseñado para su bombardero Y1B-9 (1931). El caza Gruman FF-1 de 1932 tenia ruedas que se

retraían hacia un costado del fuselaje y el Douglas DC-1 de 1933 que también poseía un tren de aterrizaje retráctil. Sin embargo, solo uno de los aviones fue construido. Luego, en 1934 los trenes de aterrizaje retráctiles fueron usados en la producción de dos tipos de aviones comerciales: el Douglas DC-2 y el Boeing 247-D.

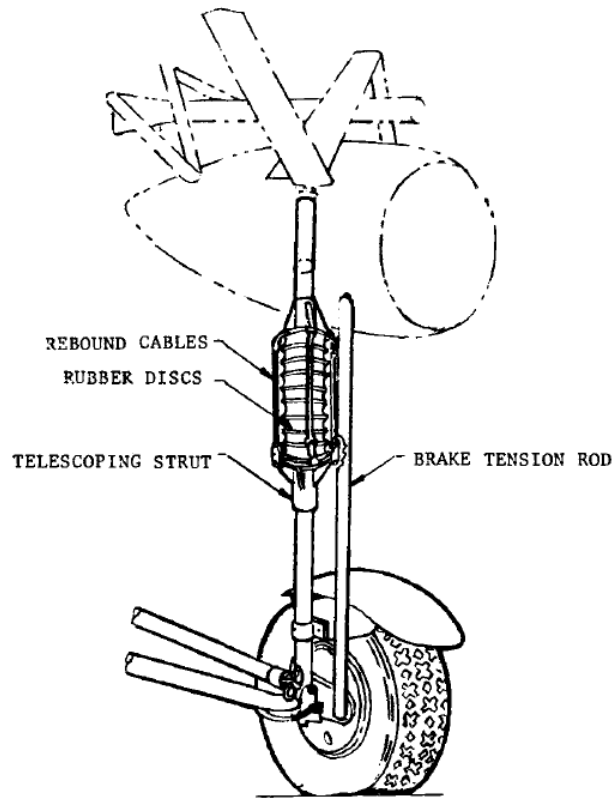


Fig. 5 Tren de aterrizaje, Ford Trimotor

La figura 6, muestra el método usado para retraer el tren en uno de los diseños pioneros en el Curtiss Export Hawk IIIC. Es en sí, un sistema relativamente simple que empleaba una manivela que accionaba unos gatos de rosca que halaban el tren desde la parte superior de los amortiguadores hacia arriba, hasta la posición de almacenamiento.

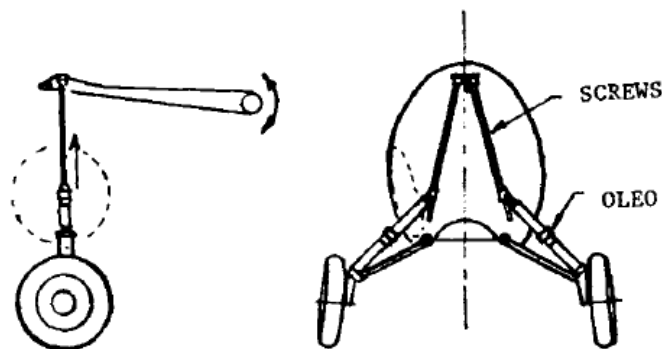
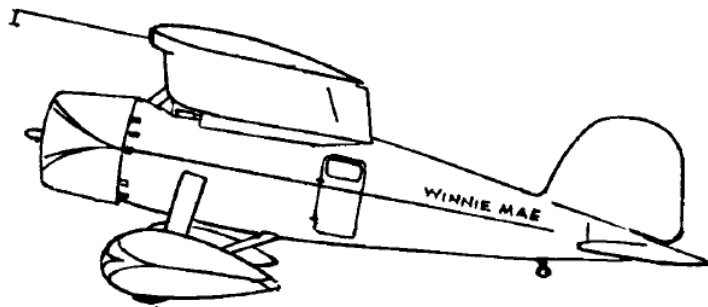
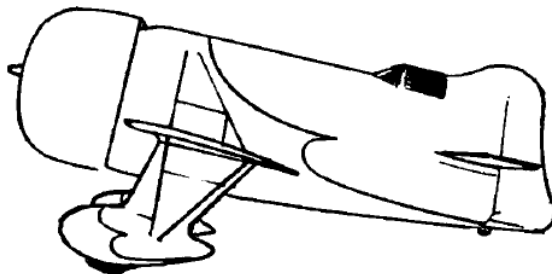


Fig. 6 Sistema de Retracción del CURTISS EXPORT HAWK IIIC

Cabe notar, sin embargo, que durante el desarrollo de la segunda guerra mundial, la mayor parte de los aviones poseían trenes de aterrizaje fijos, a menudo con una cubierta aerodinámica de aspecto exótico que reducía la resistencia al viento. El Gee Bee Super-Sportster en 1932 y el Wiley Post's Lockheed Winnie Mae son ejemplos típicos de aviones los cuales se ilustran en la figura 7: uno de los métodos que proveen amortiguación a trenes de aterrizaje fijos con cubierta, es ilustrado en la figura 8: La estructura es pivotada sobre la superficie externa del fuselaje y la carga es transmitida a través de una palanca entre en el puntal hidráulico con un resorte helicoidal q lo rodea para resistir la fuerzas de rebote.



a) Lockheed Winnie Mae.



b) Gee Bee Super-Sportster.

Fig. 7 Tren de aterrizaje fijo con cobertura.

Para el inicio de la segunda guerra mundial, casi todos los caza y bombarderos funcionales tenían trenes de aterrizaje retractiles, hubo algunas excepciones notables, tal como el bombardero torpedero Fairey Swordfish que causo bastante daño en el acorazado Bismark, y el caza biplano Gloster Gladiator-tres de los cuales (nombrados Fait, hope, y Charity) lucharon diariamente contra las formaciones de bombarderos que se ubicaron sobre la isla de Malta. El Junker-87 Stuka de fabricación alemana poseía un tren fijo como los aviones de entrenamiento usados por la fuerza aérea de los Estados Unidos (USAAF o United States Army Air Forces) y la Real Fuerza Aérea (Royal Air force). Algunos aviones de la marina de los Estados Unidos como el Vought-Sikorsky Kingfisher tenían también trenes fijos.

En la figura 9, se ilustra el tren del C-5A en donde su característica más representativa es su disposición única de seis ruedas diseñado de esta forma para aumentar la flotación sobre un área amplia en suelo inestable o “desnudo” mediante la distribución de la carga más eficiente y así evitar en gran medida que los neumáticos sigan los mismos surcos para que no queden enterrados en la superficie. Muchas otras configuraciones inusuales fueron incorporadas para cumplir con los requerimientos solicitados para éste tren. El C-5A tiene un sistema de amortiguación doble que le da la capacidad para aterrizar sobre pistas rugosas o sin pavimentar; tiene un sistema para disminuir la altura del compartimento de carga y facilitar el embalaje ya que el área de carga se encuentra alrededor de 5 pies sobre el suelo; cuenta con un sistema de posicionamiento para viento cruzado que hace girar los ejes acoplados hasta 20 grados ya sea, a la izquierda o derecha para que permita q la aeronave pueda aterrizar con viento cruzado, incluso permitiendo una corrección repentina de la dirección del fuselaje en el aterrizaje. Finalmente éste tren, posee un sistema “en vuelo” para nivelar la presión de los neumáticos, para preservar el nivel máximo de flotación, antes del aterrizaje en una pista de tierra blanda o inestable.

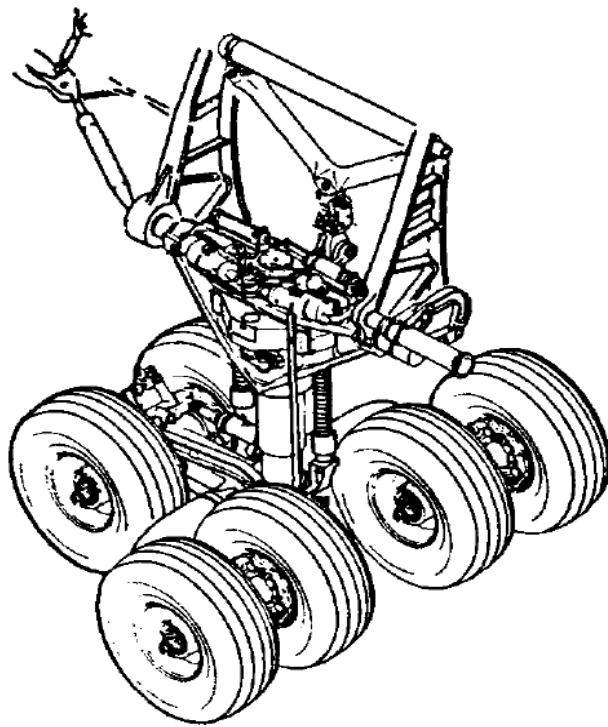


Fig. 9 Tren principal LOCKHEED C-5A

En cuanto a los avances del siglo 21, los frenos de carbono están siendo poco a poco más utilizados, el aumento en el uso de neumáticos radiales es cada vez mas evidente el los avances tecnológicos, los materiales compuestos están siendo considerados para aplicaciones en los trenes de aterrizaje, los amortiguadores han alcanzado una alta eficiencia y pueden tolerar mayores niveles de imperfección en la pista de aterrizaje, y las normas en todo el mundo están dando el reconocimiento a todos estos avances en la industria aeronáutica.

2.3. TIPO DE TRENES DE ATERRIZAJE

Los trenes de aterrizaje normalmente se categorizan por el número de ruedas y su patrón. La figura 10 ilustra los tipos básicos. Esta terminología ha sido acogida rápidamente en las normas internacionales aeronáuticas. Por ejemplo, para la USAF/USN Enroute Supplements categoriza la fuerza que es capaz de soportar la pista como T-50/TT-100, indicando que ésta es capaz de soportar perfectamente aviones de 50.000 lb con un tren de aterrizaje doble o aviones de más de 100.000 lb con tren de aterrizaje tándem.

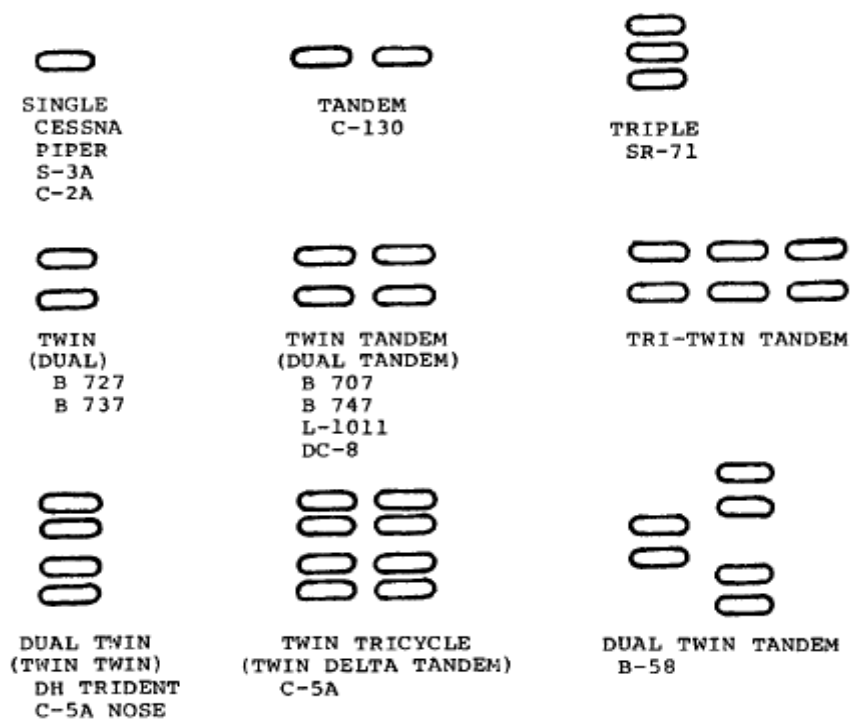


Fig. 10 Tipos estándar de tren de aterrizaje

También hay disposiciones híbridas como la distribución de 12 ruedas usada en el avión de transporte supersónico Soviet TU-144 representado en la figura 11 y el tren tipo oruga que fue probado en el Fairchild Packet, Boeing B-50, y el Convair B-36 representado seguidamente en las figuras 11 y 12. El objetivo del tren tipo oruga fue reducir el tamaño y peso del tren retribuido a los neumáticos y aumentar el factor de flotación aumentando el área de contacto.

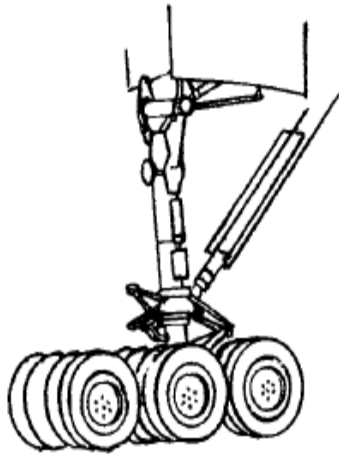


Fig. 12 Tren de aterrizaje principal TU-144

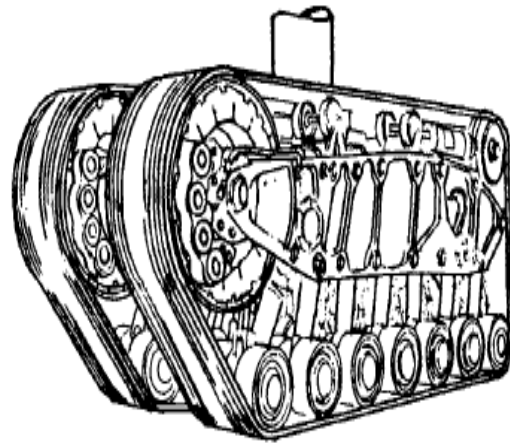


Fig. 11 Tren de aterrizaje tipo Oruga.

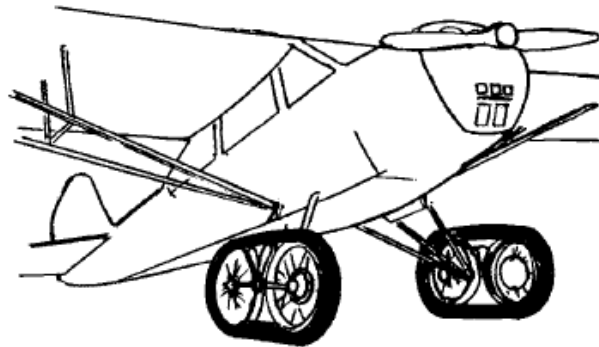


Fig. 13 Tren de aterrizaje de banda.

Los trenes tipo oruga tenían un factor de flotación muy alto, manteniendo la presión en el área de contacto cerca de los 30 psi que era una de los requerimientos que se tenían que cumplir, sin embargo no había reducción de peso. De hecho el peso del avión aumentaba cerca del ¡1.8%! (1.78% en el Packet y 1.87% para el B-36). El mantenimiento y la confiabilidad eran degradadas sustancialmente debido a la complejidad del mecanismo (múltiple distribución de amortiguadores dentro de la oruga), baja vida en los rodamientos, baja vida en la banda, y altas cargas de rotación

El tren tipo oruga de fabricación italiana también fue probado con éxito, sin embargo este igualmente era mas pesado que el tren convencional como sus antecesores. Usaba una banda neumática para abarcar las dos ruedas; ver la figura 13.

Diferentes tipos de patines u esquís han sido ideados para remplazar el tren de aterrizaje convencional. El propósito de los esquís es, obviamente, permitir la operación del tren sobre la nieve, el Lockheed C-130R es un ejemplo de aviones de la época, que vienen equipado con este tipo de tren de aterrizaje. Como se describe figura 14, éste tiene dos configuraciones: una en la que las ruedas sobresalen por

debajo de los esquíes para el despegue en pistas convencionales y otra en la que los esquíes bajan por debajo de las ruedas para aterrizajes en la nieve.

El uso de los esquíes durante y después de la Segunda Guerra Mundial fue un esfuerzo para reducir el peso del tren de aterrizaje, que normalmente representaban del 3 al 6% del peso total de todo el avión, meta que fue lograda en gran medida. Sin embargo, en la mayoría de los casos, el avión requería de una carretilla que se ubicaba por debajo de los esquíes para lograr el despegue que posteriormente se retiraba en el momento que el avión adquiría altura.

Aunque durante el desarrollo del proyecto, no se pretende realizar el diseño de tren de aterrizaje tipo esquí, este tipo de configuración debe ser tomada en cuenta, para el desarrollo posterior de las posibles configuraciones y cambios a los que puede ser sometido el diseño del avión en general

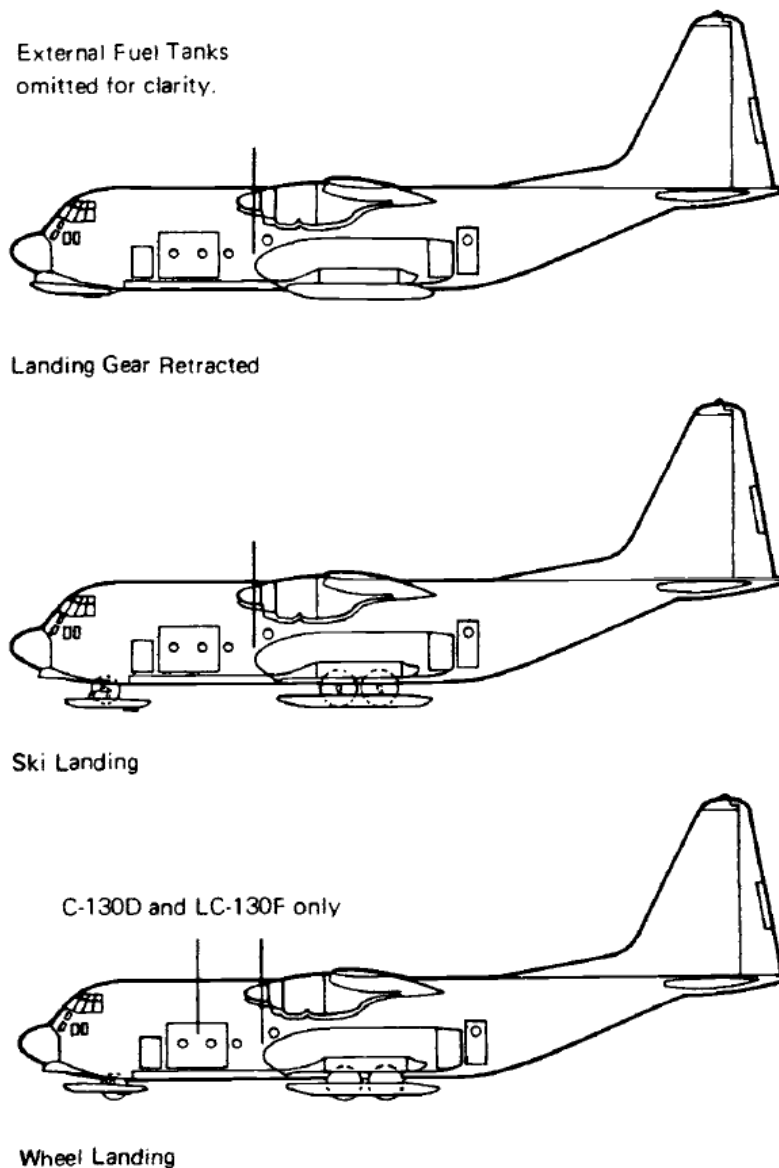


Fig. 14 Tren de aterrizaje Skin C-130

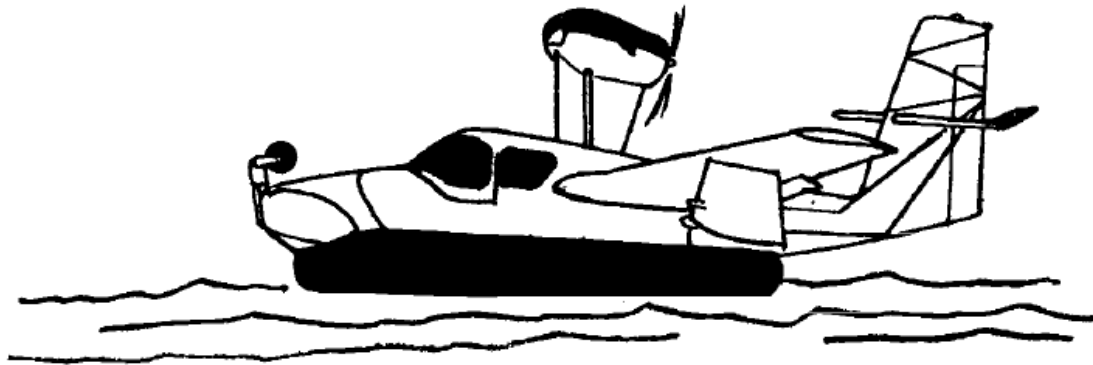


Fig. 15 Tren de aterrizaje LA-4 (tipo "cojín de aire")

Otro tipo de trenes poco convencionales son los sistemas de cojines de aire, que fueron patentados en los Estados Unidos por Bell-Textron. El LA-4 fue el pionero con este sistema. Era un pequeño avión (figura 15) que operaba exitosamente sobre terrenos en arena, sobre montículos de casi 6 pulgadas de alto y zanjas de mas de 3 pies de ancho, sobre suelo lodoso y sobre agua dulce y salada. Ésta es otra configuración que no será tomada en cuenta para el desarrollo del proyecto pero debe ser considerada en caso de la posterior modificación del diseño de la aeronave.

3. JUSTIFICACION

La empresa Colombiana AEROSPACE DESIGNWORKS requiere desarrollar el diseño completo de una aeronave bajo la categoría de Very Light Jet (VLJ), y partiendo del hecho que ninguna aeronave posee las mismas características que otra, es primordial el desarrollo de un nuevo tren de aterrizaje ya que este se debe acoplar y a su vez satisfacer los requerimientos necesarios que la empresa plantea, este nuevo diseño y desarrollo de ve requerido ya que las modificaciones que se realizaron en el fuselaje de la aeronave provocan un ligero aumento del pes del avión en si y una nueva distribución de los centros de gravedad, estos dos factores son primordiales en el calculo del tren ya que provocan desplazamientos de punto de anclaje del este con el fuselaje de la aeronave y provocan modificaciones en las dimensiones del mismo, las cuales están seriamente ligadas con el espacio final destinado a ocupar por este sistema

Adicionalmente estos requerimientos plantean la opción que el avión tenga la capacidad de no solo aterrizar sino decolar, tanto en pistas de asfalto (preparadas), como en pistas no preparadas, lo que provoca una necesidad de garantizar la efectividad del sistema de aterrizaje ya que esta aplicación se ve actualmente requerida para la asistencia medica en los en lugares inhóspitos de todo el mundo.

Adicionalmente es el primer diseño que esta empresa desarrollo y teniendo conocimiento que este tipo de desarrollos son muy cuidados por las empresas, es necesario que se genere un diseño totalmente nuevo, ya que este tipo de desarrollos ayudan a impulsar las aplicaciones de diseño ingenieril en Colombia ya que este tipo de proyectos y desarrollos actualmente solo se ven aplicados en los países más desarrollados tecnológicamente.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar el diseño conceptual y el diseño preliminar, de la estructura del tren de aterrizaje (principal y de nariz), con base en la metodología de **NORMAN S. CURREY** y los requerimientos de la norma **FAR 23** y de **AEROSPACE DESIGNWORKS**.

4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar el diseño conceptual del tren de aterrizaje siguiendo la metodología propuesta.
- Determinar los requerimientos generales del sistema de amortiguación.
- Calcular y definir los requerimientos y el tipo de neumáticos.
- Especificar la interface freno/rueda del tren de aterrizaje.
- Realizar el calculo cinemático del mecanismo.
- Diseñar los requerimientos y consideraciones del sistema de dirección.
- Analizar los esfuerzos en la estructuras por elementos finitos.

5. MARCO TEORICO

Para el desarrollo del tren de aterrizaje se deben tener en cuenta especificaciones de la norma FAR 23 y la clasificación recomendada.

5.1. NORMAS

El diseño de un tren de aterrizaje para una aeronave en la categoría de Very Light Jet (VLJ), debe tener en cuenta los parámetros planteados por la norma americana FAR 23. Esta norma especifica las características y limitantes de tren de aterrizaje de la sección 23.721 a la sección 23.745, abordadas de la siguiente manera:

- Generalidades (sec. 23.721).
- Pruebas de absorción de choque (sec. 23.723).
- Prueba de caída límite (sec. 23.725).
- Pruebas en tierra de carga dinámica (sec. 23.726).
- Sistema de extensión y de retracción del tren de aterrizaje (sec. 23.729).
- Pruebas (23.731).
- Neumáticos (23.733).
- Frenos (23.735)
- Dirección de ruedas (sec. 23.745)

5.2. TIPO DE TREN Y DISPOSICION RECOMENDADA

Los trenes retractiles se usan en aviones de alta velocidad, cuya duración de vuelo es más prolongada y que requieren que la fricción con el aire se reduzca lo más posible, existen dos disposiciones de tren de aterrizaje a saber:

- Tren Convencional
- Tren Triciclo (disposición a ser usada)

El tren triciclo está constituido por dos montantes principales debajo del ala o del fuselaje y un montante en la nariz del avión. El montante de nariz posee un dispositivo de dirección.

El tren triciclo tiene la misma misión que el tren convencional, pero, simplifica la técnica del aterrizaje y permite posar el avión en tierra en posición horizontal, eliminando el peligro del capotaje, aun cuando se apliquen los frenos durante el aterrizaje.

La estabilidad que proporciona el tren triciclo en el aterrizaje con viento de cola o viento cruzado, gracias a la posición del centro de gravedad (c.g.), delante de las ruedas principales, y el recorrido en línea recta en el aterrizaje y decolaje, son las ventajas más importantes (fig. 16). Esta condición es de especial importancia para los aviones que deben aterrizar o decolar en pistas pequeñas, con viento de costado.

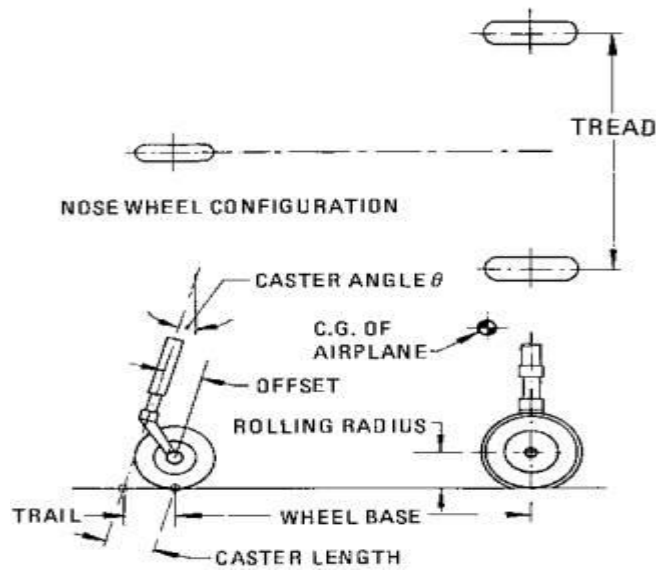


Fig. 16 Configuración y Nomenclatura del tren triciclo

5.3. CENTRO DE GRAVEDAD (C.G.)

Es el punto donde se encuentran todas las fuerzas.

La ubicación del tren de aterrizaje con respecto al centro de gravedad es importante, ya que de ella depende que un avión obtenga malas o buenas condiciones de despegue o aterrizaje.

En un tren común con rueda de cola (convencional), el centro de gravedad (c.g.), debe encontrarse detrás de las ruedas principales, mientras que en un tren triciclo en el cual la tercera rueda se encuentra en el proa, debe estar situado ligeramente delante de las ruedas principales.

Los triciclos con rueda delantera poco cargada llevan traseras situadas a poca distancia del centro de gravedad. Un 90% de la carga descansa sobre el tren principal y solo un 10 % sobre la rueda de proa.

Las ruedas de proa más cargadas permiten un frenado más eficaz y proporcionan una mayor estabilidad direccional en el aterrizaje.

5.4. SISTEMAS DE AMORTIGUACIÓN

El sistema de amortiguación más elemental, está constituido por el conjunto de cordones elásticos llamados comúnmente SANDOW o SPRING (monomotores pequeños).

El movimiento de las patas de tren hace estirar este elástico produciéndose el efecto de amortiguación.

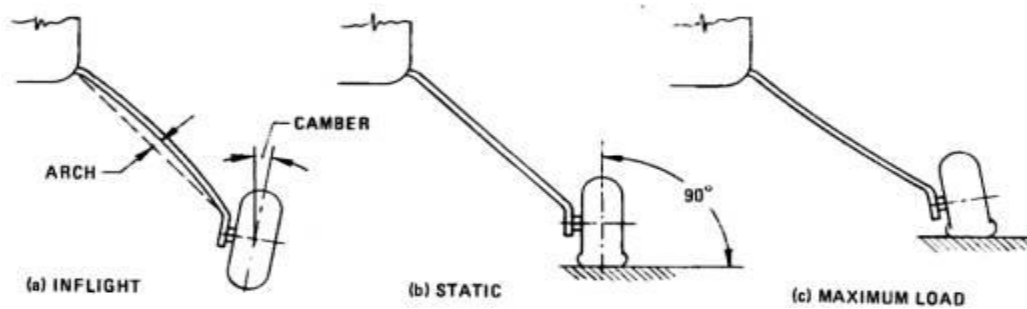


Fig. 17 Un tren tipo "Spring"(Resorte) en la tres condiciones de trabajo

Existen sistemas de amortiguación como los usados actualmente, constituidos por un cilindro donde juega un pistón cargado a resorte para acompañar el retorno del mismo, y de una mezcla de aire comprimido y líquido hidráulico para evitar los bruscos movimientos. En aviones pequeños, el tren de aterrizaje, que cumple también las funciones de amortiguación, es el llamado tipo CESSNA, sumamente efectivo y muy simple.

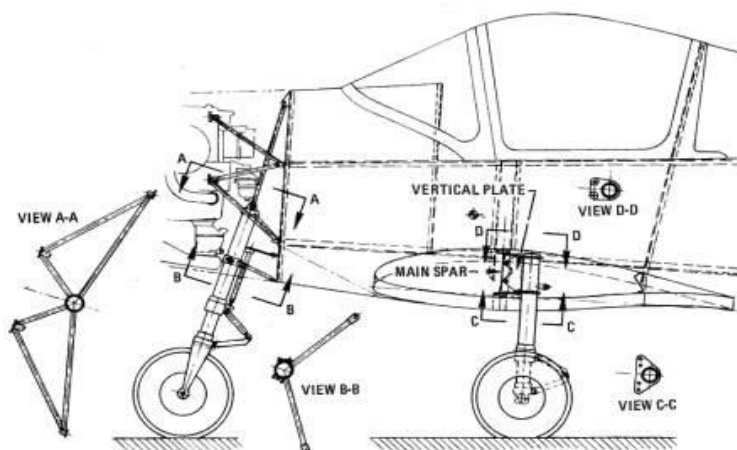


Fig. 18 Montaje del tren de aterrizaje

6. METODOLOGIA

6.1. COMPONENTES DEL DISEÑO DEL TREN DE ATERRIZAJE

En tren de aterrizaje ha sido descrito como “el intermediario esencial entre el aeroplano y la catástrofe”⁵. En soporte a esta definición, se consideran los siguientes artículos para el diseño del tren de aterrizaje:

- 1) Tren de proa y de popa
- 2) Parachoques de cola
- 3) Trenes de punta de ala
- 4) Ganchos de detención
- 5) Gato, amarre, remolque y accesorios
- 6) Compuertas del tren de aterrizaje y su sistema operacional
- 7) Instalación de sistemas de retención
- 8) Sistema electrohidráulico hasta el punto de interface con el equipo montado en el fuselaje
- 9) Representación de las tolerancias requeridas por la aeronave en las diferentes disposiciones de los amortiguadores a diferente presión en los neumáticos.
- 10) Representación de los requerimientos de la aeronave mostrando los diferentes disposiciones de carreteo y remolque
- 11) Cálculos necesarios para mostrar la interface entre el tren y el fuselaje.

6.2. DESARROLLO DE LOS PRIMEROS CONCEPTOS

Como el avión en si mismo, los primeros conceptos del tren de aterrizaje, normalmente se preparan, mucho antes de el establecimiento de un contrato formal. Las organizaciones de máquetin, determinan que necesidad existe para el desarrollo de una nueva aeronave o la modificación de una ya existente. Esto se determina por medio de estudios de mercado, discusiones con compradores potenciales y en especial atención con deliberaciones hechas entre diferentes aerolíneas u organizaciones militares. Después de esto, el mercado y los departamentos de diseño preliminar entrecruzan ideas, establecen lo que ellos consideran cuales deben ser los requerimientos básicos, y se empieza a preparar los conceptos básicos.

Desde este punto en adelante, puede tomar semanas, meses o incluso varios años antes de la “Solicitud de la propuesta” (RFP, Request for Proposal), o su equivalente comercial, que es emitida por el comprador; el tiempo establecido para la preparación de la “propuesta” puede ser cualquiera dentro de 30 días hasta varios meses. Dado que el tiempo para la preparación de la propuesta es demasiado corto, las ventajas de una propuesta con una larga actividad son obvias.

En la fase conceptual, el diseñador del tren de aterrizaje, se enfrenta frecuentemente con una amplia variedad de configuraciones. Durante el desarrollo del C-5A se considero ala baja, ala alta, ala con barrido variable, configuración tipo canard y ala

⁵ FUENTE: Conway, H.G., *Landing Gear Desing*, Chapman & Hall, London, 1958.

tipo delta, todas las configuraciones con sus problemas en particular en el tren de aterrizaje. Algunas de estas configuraciones son descritas en la figura 19. Al mismo tiempo el peso bruto de la aeronave fluctúa entre 550000-750000 lb, de esta manera el rango de la configuración del tren varía desde 4 ruedas en carretón en cada costado, hasta configuraciones con 16 ruedas por cada costado. Cabe aclarar que no hace falta entrar a definir los detalles en esta etapa de diseño sin embargo la flotación y el dimensionamiento neumático/rueda/freno son considerados con seriedad.

6.3. DISEÑO PRELIMINAR

Durante todo el proceso de diseño, desde el desarrollo de los primeros conceptos, hasta la disposición de producción, es extremadamente importante que la documentación completa se mantenga. Para cada configuración, debe haber, por lo menos, una lista de los pesos asumidos y datos de geometría de la aeronave en los archivos del tren de aterrizaje además el diseñador debe tener un resumen adjunto que muestre los requerimientos esenciales para el desarrollo del tren, la profundidad del resumen depende de la seriedad y complejidad de las partes que este estrechamente relacionadas con el tren.

Los objetivos del diseño preliminar se pueden resumir como:

- 1) En la fase de formulación conceptual, la ubicación del tren de aterrizaje y el número y tamaño de las ruedas es determinado. El primero esta, en esta instancia, en función de la localización del centro de gravedad y la disposición estructural general. El número y tamaño de las ruedas depende del peso de la aeronave, los requerimientos del freno y si es necesario, de los requerimientos de flotación
- 2) En la fase de definición del proyecto, la configuración general del Avión ya ha sido definida y el diseño preliminar se vuelve más analítico y más detallado. La preparación de la propuesta usualmente se produce, al final de esta fase y se debe hacer un esfuerzo concertado para proveer tanto detalle y credibilidad como sea posible. El objetivo de la propuesta es vender el producto; para hacer esto, el comprador debe estar convencido de que en cada faceta de la propuesta de la aeronave, es lo que él desea, y que es mejor que cualquier otro competidor, por lo tanto la necesidad de detalle y de análisis para despejar cualquier argumento relativo a su capacidad.

La figura 19, ilustra la actividad durante el diseño preliminar y los factores para ser reconocidos, hay que notar que en las fases tempranas del diseño, el diseñador del tren de aterrizaje puede ser llamado para influir en los requisitos de la RFP.

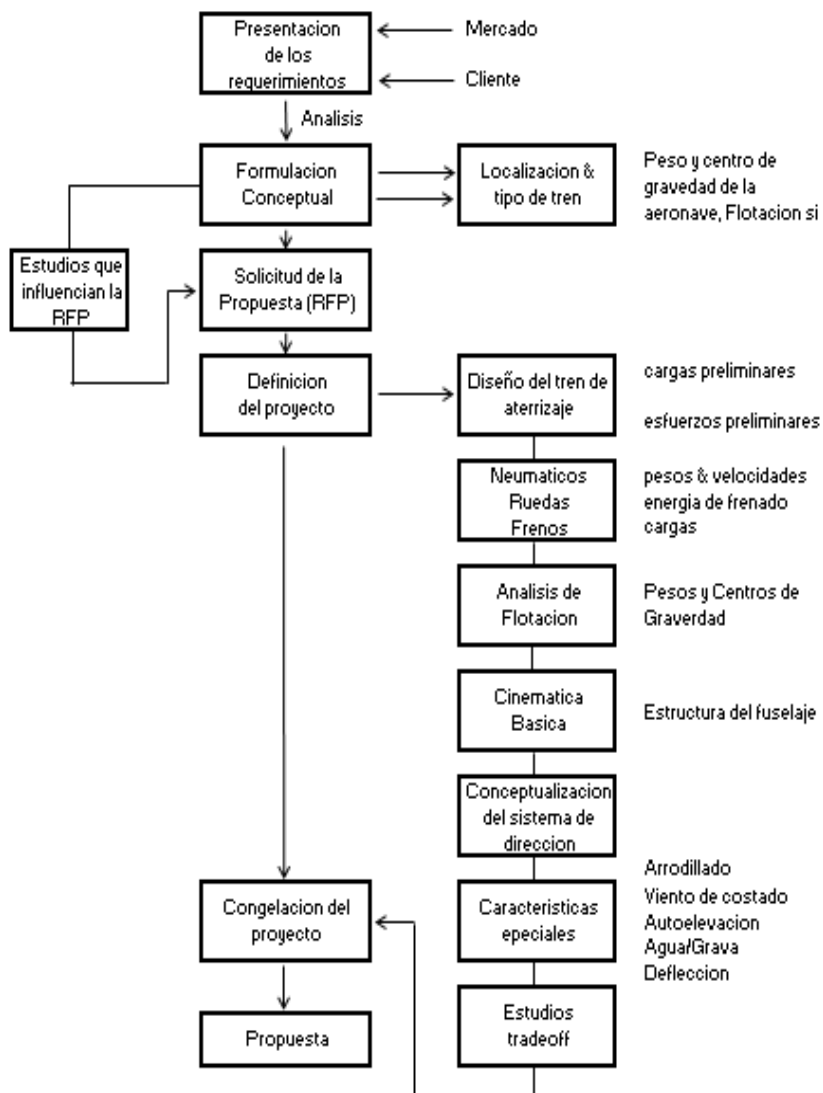


Fig. 19 Actividades en el diseño preliminar

Refiriéndonos a la figura 19, durante el desarrollo de la fase de formulación conceptual se debe reconocer que “3” sería probablemente el número de variables de los diferentes conceptos de diseño de la aeronave por lo cual un breve análisis sería necesario para cada una de las configuraciones. Como mínimo, el diseñador del tren debe saber el peso de la aeronave y el rango de su centro de gravedad (c.g.). A partir de esto, las opciones para el número de ruedas y tamaños puede ser determinado. Por ejemplo, dos neumáticos grandes o 4 neumáticos pequeños al final de puntal de cada tren principal.

Estas opciones serían revisadas para ver como coinciden con la estructura del avión y los requerimientos de flotación (si los hubiese). Costo, peso, disponibilidad, complejidad general, son otros factores a considerar en la evaluación de las opciones.

La localización del tren y las longitudes son determinadas mediante la posición de los centros de gravedad en la estructura, los requerimientos del ángulo de cola, para cumplir con las altitudes necesarias de despegue y aterrizaje, ángulo de volcamiento, y la configuración general estructural. La flotación es comprobada para varios tamaños de rueda, usando la reglamentación para suelos rígidos flexibles y sin pavimentar según sea el caso. Como se señaló anteriormente, es necesario un pequeño estudio económico para determinar la distribución más rentable para el tren de aterrizaje.

Durante esta fase, casi siempre hay una discusión considerable, con el cliente potencial, quien esta tratando de formular la RFP y los resultados de varios estudios económicos, que pueden ser utilizados para modificar los requerimientos iniciales. Una vez se ha hecho la solicitud a los candidatos del RFP, las discusiones informales con el cliente llegan a su fin. Las preguntas y el debate tienen lugar en una conferencia de licitantes que se realiza poco después de la solicitud de las RFP, pero todos los competidores están presentes y las preguntas deben, por lo tanto ser formuladas con mucha precaución (normalmente escritas) para no revelar las propias ideas o inquietudes a la competencia.

En la fase de definición del proyecto subsecuente, es necesario congelar el diseño conceptual rápidamente. Se selecciona el mejor concepto general del avión, y el diseño del tren de aterrizaje se torna mas detallado. Los continuos análisis de pesos y posición de los centros de gravedad (y posteriormente la derivación de las cargas) le permite al diseñador, refinar la localización del tren y las cargas q deberá soportar. Basado en las tasas de hundimiento, los desplazamientos aproximados de amortiguación están determinados tanto para el tren principal como el tren de nariz y, desde el esquema del diseño, se establecen las dimensiones y tamaños del tren de aterrizaje. Entonces el diseño esta preparado para ser evaluado, y en particular para documentar, los ángulos de cola, ángulos de volcamiento, y tolerancias para superficies irregulares, la posición del motor, y hélices (si se usa) con diferentes condiciones de longitud de la estructura principal del tren e inflación/deflación del neumático.

En esta parte del proceso, los proveedores de los neumáticos, las ruedas y los frenos son solicitados. Si es necesario que un nuevo neumático deba ser diseñado para el avión o la adición de capas a un neumático ya existente, ambas opciones deben ser sometidas a una negociación con el proveedor. La coincidencia entre la rueda y el tamaño del neumático al tamaño del freno es otro factor importante a tomar en cuenta. Para abordar adecuadamente este tema, la carga, velocidad y tiempo de despegue, mas las cargas dinámicas de carretear y las cargas de aterrizaje deben estar disponibles, como también el perfil de velocidad de despegue utilizado para los cálculos de la energía cinética en el sistema de frenado. El relativo costo/tamaño y peso de frenos en acero, berilio y carbono serán evaluados hasta entonces, aunque el berilio a estado desapareciendo con la implementación del carbono.

Ya determinado el tamaño de los neumáticos, la disposición de las ruedas, las cargas soportadas y el rango del centro de gravedad, los cálculos de los requerimientos de

flotación se retoman. Los requerimientos de la pista de aterrizaje también deberán ser evaluados para este momento

La cinemática básica del tren de aterrizaje exige una gran cantidad de ingenio por parte del diseñador. Involucra los mecanismos de retracción, extensión y retención teniendo en cuenta, las condiciones de emergencia, incluyendo la caída libre del mecanismo. Esto involucra una amplia variedad de posibles mecanismos que van desde un simple desplazamiento arriba/abajo hasta sistemas que rotan completamente el puntal sobre su mismo eje, mientras posicionan de manera adecuada la estructura completa que compone el tren. En todos los casos, el objetivo es retraer el tren en una cavidad, de tal forma que afecte en menor medida la estructura interna de la aeronave como también evitar los contornos externos sobre la superficie aerodinámica que podrían aumentar la resistencia al viento.

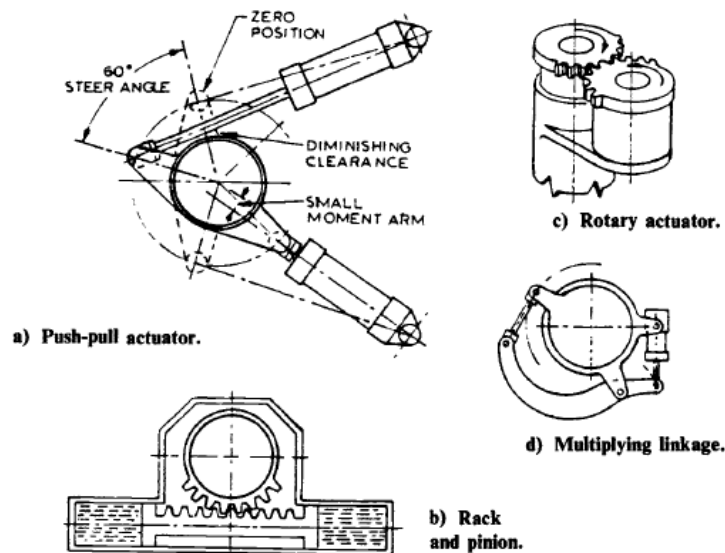


Fig. 20 Tipos comunes de sistemas de dirección

La delineación conceptual, es una parte fundamental para el diseño del tren de nariz y debe ser estipulada antes de la preparación de la propuesta. La figura 20 ilustra los 4 tipos de sistemas de direccionamiento comunes, con sus correspondientes delimitaciones con respecto a los actuadores. Sin embargo este último, es el mecanismo de dirección utilizado normalmente.

En la figura 19 se enlista cuatro requerimientos particulares para el desarrollo del C-5A, descritos anteriormente tales como: posición “de rodillas”, posicionamiento en viento cruzado, auto-elevación y “salpicaderas”. Las dos primeras características son buenas consideraciones para aviones de gran tamaño, aunque el posicionamiento de viento cruzado es muy discutible. La auto elevación se refiere a la capacidad que tiene el tren de permitir cambiar los neumáticos sin tener que utilizar gatos mecánicos o hidráulicos, un atributo requerido para aviones militares con ruedas pinchadas después de un aterrizaje en una base remota y/o aislada. Las salpicaderas son algunas veces necesarias para evitar que el agua o grava que se rocía desde la rueda de nariz ingresen en los motores, estas están acompañadas normalmente por bandas

de rodaduras impresas en los neumáticos o por placas deflectoras unidas al tren de nariz. Otra propiedad especial para demarcar es la “deflación de los neumáticos en vuelo”, característica que permite a los neumáticos, adaptarse a pistas blandas o pistas escabrosas.

Algunos estudios mencionados anteriormente, y otros nombrados en la fase de definición del proyecto deben ser completamente documentados y archivados. Como por ejemplo

- 1) Numero y tamaño de las ruedas versus el costo, peso, y flotabilidad
- 2) Localización del tren principal (ala, góndola o fuselaje) versus costo, peso y rendimiento
- 3) Selección del material de frenado
- 4) Uso de sistema auxiliar de frenado
- 5) Sistemas hidráulicos versus sistemas eléctricos para retracción, extensión y frenos.

Cuando todas las anteriores tareas estén completas, en la fase de definición del proyecto, el concepto es congelado, la propuesta es escrita y la próxima etapa será la adjudicación del contrato. El cliente puede haber sido influenciado por ciertos aspectos de la propuesta del competidor y como resultado, puede solicitar ciertos cambios en la presente fase del proyecto, con el impacto adecuado en el precio, peso y rendimiento de la aeronave.

7. CRONOGRAMA

El siguiente proyecto se realizara basándonos en la siguiente distribución de actividades:

FASE	ACTIVIDAD	DURACIÓN (Semanas)																					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
FASE CONCEPTUAL	Diseño conceptual	■	■	■																			
	Sistema de amortiguación				■	■	■	■															
FASE PRELIMINAR	Selección de neumáticos							■	■	■	■												
	Sistema de frenado									■	■	■	■										
	Calculo cinemático												■	■	■	■							
	Sistema de dirección															■	■	■	■				
	Análisis FEA																				■	■	■

8. PRESUPUESTO

Presupuesto General Proyecto		
Duración estimada en meses	6	
Semanas	26	
Descripción	Costo asociado	Fuentes de financiación
Recurso Humano Asociado	\$ 5.258.625	
0 Autores del proyecto	\$ 2.000.000	Personal
0 Director o tutor (interno)	\$ 1.966.900	Institucional
1 Director o tutor (externo)	\$ 491.725	
1 Profesor (responsable interno)	\$ 500.000	
0 Apoyo técnico	\$ 100.000	
0 Apoyo administrativo	\$ 100.000	
0 Asesor	\$ 100.000	
Software o equipo de apoyo	\$ 2.000.000	
Gastos Generales	\$ 330.000	
Subtotal	\$ 7.588.625	
0% Imprevistos	\$ -	
Total presupuestado	\$ 7.588.625	