

**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO**

**CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA**

**“CONSTRUCCIÓN DE UN MONTANTE PARA DESMONTAJE,  
TRASLADO, INSTALACIÓN O ALMACENAMIENTO DEL MOTOR  
TURBOMECA TM 333 2B2 DE LOS HELICÓPTEROS DHRUV EN  
EL ALA DE COMBATE NO. 22 DE LA FAE”**

**POR:**

**VILLAGÓMEZ CHÁVEZ LUIS FERNANDO**

**Trabajo de Graduación como requisito previo para la obtención del Título  
de:**

**TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA-MENCIÓN  
MOTORES**

**2013**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente Trabajo de Graduación fue realizado en su totalidad por el Sr. VILLAGÓMEZ CHÁVEZ LUIS FERNANDO, como requerimiento parcial para la obtención del título de: TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN - MOTORES.

---

Ing. Pablo Espinel  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

Latacunga, Agosto 20 del 2013

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a mis padres, que han cultivado en mí valor humano, ético y cristiano, y sobre todo por su apoyo incondicional para salir adelante y subir un escalón en mi vida profesional.

A mi hermano Geovanny que ha puesto su grano de arena para ayudarme en la complicada vida estudiantil fuera de casa.

A toda mi familia por el apoyo moral incondicional que siempre me ha brindado, cultivando valores y las fuerzas para no decaer en medio camino.

**Luis Fernando Villagómez Chávez**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por darme la sabiduría para pensar, el corazón para actuar y la salud para cumplir este objetivo que me propuse, lo visioné, trabajé y pude lograrlo con mucho esmero.

De todo corazón a mis padres Luis y Mary les agradezco por brindarme su apoyo y comprensión incondicional en las decisiones que tomaba, por entenderme en mis desánimos de días difíciles y en mis momentos de alegrías; a mi hermano Geovanny por brindarme sus sabios consejos para tomar buenas decisiones y no salirme de mi camino enmarcado.

Al Cabo Primero de la Fuerza Aérea Ecuatoriana Luis Vélez, quién fue el motor del presente trabajo, que me brindó su apoyo y su trabajo para la culminación del proyecto.

Por todo esto, Dios gracias por rodearme de personas sabias y buenas que respetan mi filosofía y apoyan mis decisiones.

**Luis Fernando Villagómez Chávez**

# ÍNDICE

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
RESUMEN.....	xiii
SUMMARY.....	xiv

## CAPÍTULO I

### EL TEMA

1.1	Antecedentes .....	1
1.2	Justificación e importancia.....	2
1.3	Objetivos .....	3
1.3.1	Objetivo general .....	3
1.3.2	Objetivos específicos .....	3
1.4	Alcance .....	3

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

2.1	Helicóptero Dhruv .....	4
2.2	Características de diseño .....	5
2.3	Planta motriz .....	6
2.3.1	Descripción y operación del motor.....	6
2.3.2	Etapas del motor Turbomeca TM 333 2B2.....	9
2.3.3	Características dimensionales del motor Turbomeca TM 333 2B2.....	22
2.4	Definiciones científicas .....	23
2.4.1	Condiciones de Equilibrio.....	24
2.4.2	Centro de Gravedad.....	24

2.4.3	Gravedad.....	24
2.4.4	Fuerza.....	25
2.4.5	Masa .....	25
2.4.6	Inercia .....	25
2.4.7	Vector.....	25
2.4.8	Momento flector .....	26
2.4.9	Fuerza cortante (v) .....	27
2.5	Esfuerzos en los elementos de una estructura .....	27
2.5.1	Tipos de esfuerzos a que pueden ser sometidos los materiales .....	28
2.5.2	Ensayos y sus tipos .....	29
2.5.3	Teoría de falla de un material .....	30
2.5.4	Teoría de energía de distorsión de materiales dúctiles .....	30
2.6	Análisis de los materiales y sus propiedades a emplear en la construcción del montante .....	33
2.6.1	Hierro .....	33
2.6.2	Acero.....	34
2.7	El acero estructural .....	37
2.7.1	Propiedades mecánicas de los aceros estructurales .....	38
2.7.2	Acero ASTM A36 .....	38
2.7.3	Requerimientos de tensión.....	38
2.7.4	Métodos de unión .....	39
2.7.5	Aplicaciones del Acero A36.....	39
2.7.6	Perfiles estructurales .....	40
2.8	Definiciones de procesos de fabricación .....	43
2.8.1	Medición y trazado.....	43
2.8.2	Corte .....	46
2.8.3	Esmerilado .....	46
2.8.4	Soldadura .....	47
2.8.5	Pintado.....	50
2.8.6	Normas de seguridad .....	51

CAPÍTULO III  
DESARROLLO DEL TEMA

3.1	Preliminares .....	53
3.2	Planteamiento y análisis de alternativas.....	53
3.2.1	Selección de la mejor opción planteada .....	56
3.3	Análisis de la estructura seleccionada.....	57
3.3.1	Análisis de la estructura base superior .....	58
3.4	Proceso de construcción.....	72
3.4.1	Orden de construcción .....	73
3.5	Equipos, herramientas y materiales usados para la construcción .....	89
3.5.1	Equipo de protección .....	89
3.5.2	Herramientas.....	89
3.5.3	Máquinas.....	91
3.5.4	Materiales a utilizar .....	91
3.6	Diagrama de flujo operacional .....	92
3.6.1	Proceso de construcción de la estructura marco inferior .....	93
3.6.2	Proceso de construcción de la estructura marco superior .....	94
3.6.3	Proceso de construcción de las columnas de la estructura .....	95
3.6.4	Proceso de ensamble de la estructura marco inferior, superior con las columnas de la estructura. ....	96
3.6.5	Proceso de construcción de la base rectangular.....	97
3.6.6	Proceso de ensamble de la estructura base inferior con la estructura de tubo rectangular .....	98
3.6.7	Acople del tubo para la movilización del montante.....	99
3.7	Evaluación del montante.....	99

CAPÍTULO IV  
ANÁLISIS ECONÓMICO

4.1	Preliminares .....	106
4.1.1	Recursos .....	106
4.1.2	Costos primarios .....	106
4.1.3	Costos secundarios.....	109

4.1.4	Costo total del proyecto .....	109
-------	--------------------------------	-----

**CAPÍTULO V**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1	Conclusiones.....	110
5.2	Recomendaciones.....	111

GLOSARIO.....	112
ABREVIATURAS.....	114
BIBLIOGRAFÍA.....	115
ANEXOS.....	116

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**CAPÍTULO II**

Figura 2.1: Esquema de mimetismo de la versión utilitaria de la FAE.....	4
Figura 2.2: Perfil de tres vistas.....	5
Figura 2.3: Esquema del motor.....	6
Figura 2.4: Operación básica de una turbina de gas.....	7
Figura 2.5: Ciclo Brayton.....	8
Figura 2.6: Ensamble del compresor.....	9
Figura 2.7: Vista transversal del compresor axial.....	10
Figura 2.8: Vista transversal del compresor centrífugo.....	11
Figura 2.9: Funda de turbina .....	13
Figura 2.10: Ensamble de la cámara de combustión.....	14
Figura 2.11: Flujo de aire de la cámara de combustión.....	15
Figura 2.12: Turbina de generador de gas.....	17
Figura 2.13: Turbina potencia.....	18
Figura 2.14: Tubo de escape y cono de escape.....	20

Figura 2.15: engranaje de reducción y caja de engranaje.....	21
Figura 2.16: Características dimensionales.....	22
Figura 2.17: Componentes del motor.....	23
Figura 2.18: Vector.....	26
Figura 2.19: Momento flector (m).....	26
Figura 2.20: Tipos de esfuerzos.....	28
Figura 2.21: Teoría de energía de distorsión para materiales dúctiles.....	31
Figura 2.22: Perfiles estructurales.....	41
Figura 2.23: Ángulos.....	41
Figura 2.24: Tubo rectangular.....	42
Figura 2.25: Tubo redondo.....	42
Figura 2.26: Platinas.....	43
Figura 2.27: Medición y tazado del perfil.....	44
Figura 2.28: Metro.....	44
Figura 2.29: Escuadra.....	45
Figura 2.30: Nivel.....	45
Figura 2.31: Calibrador pie de rey.....	45
Figura 2.32: Corte de material.....	46
Figura 2.33: Esmerilado de material.....	46
Figura 2.34: Soldado de material.....	47
Figura 2.35: Electrodo.....	49
Figura 2.36: Corrosión.....	50
Figura 2.37: Proceso de pintado.....	51
Figura 2.38: Equipo de protección personal.....	52

### CAPÍTULO III

Figura 3.1: Contenedor metálico.....	54
Figura 3.2: Montante transportador.....	55
Figura 3.3: Modelado del montante seleccionado.....	57
Figura 3.4: Puntos de aplicación de la carga.....	58
Figura 3.5: Estudio de tensiones (estructura base superior).....	61
Figura 3.6: Estudio de desplazamiento (estructura base superior).....	62

Figura 3.7: Estudio de deformaciones (estructura base superior).....	63
Figura 3.8: Distribución del factor de seguridad (estructura base superior).....	64
Figura 3.9: Puntos de aplicación de la carga.....	66
Figura 3.10: Estudio de tensiones (estructura base inferior).....	69
Figura 3.11: Estudio de desplazamiento (estructura base inferior).....	70
Figura 3.12: Estudio de deformaciones (estructura base inferior).....	70
Figura 3.13: Distribución del factor de seguridad de la (estructura base inferior).....	71
Figura 3.14: Fabrica DIPAC.....	73
Figura 3.15: Medición y trazado del material.....	74
Figura 3.16: Corte del material.....	74
Figura 3.17: Soldado del marco inferior.....	75
Figura 3.18: Medición, trazado y corte del material.....	75
Figura 3.19: Soldado del marco superior.....	76
Figura 3.20: Soldado de los fuerzas triangulares.....	76
Figura 3.21: Columnas del montante.....	77
Figura 3.22: Cubo de la estructura base del montante.....	77
Figura 3.23: Placas para acople de ruedas.....	78
Figura 3.24: Soldado de las placas rectangulares.....	78
Figura 3.25: Soldado de las placas triangulares.....	79
Figura 3.26: Taladrado para sujeción de ruedas.....	79
Figura 3.27: Soldado de punto de sujeción para barra de traslado del montante.....	80
Figura 3.28: Barra con empuñadura.....	80
Figura 3.29: Primera capa de pintura a la estructura del montante.....	81
Figura 3.30: Soldado de la base rectangular.....	82
Figura 3.31: Corte y unión de las placas a la base rectangular.....	82
Figura 3.32: Torneado de piezas cilíndricas.....	83
Figura 3.33: Soldado de las piezas cilíndricas.....	83
Figura 3.34: Soporte frontal y posterior.....	84
Figura 3.35: Muesca “U” del soporte frontal.....	84
Figura 3.36: Miembros laterales de soporte frontal.....	85
Figura 3.37: Miembro del soporte posterior.....	85

Figura 3.38: Modelado de la placa en solidworks 2010.....	86
Figura 3.39Primera capa de pintura a la segunda parte del montante.....	86
Figura 3.40: Proceso final de pintado.....	87
Figura 3.41: Ruedas industriales para el montante.....	88
Figura 3.42: Montante terminado.....	88
Figura 3.43: Kit de equipo de protección.....	89
Figura 3.44: Montante con el motor Turbomeca TM 333 2B2.....	101

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO II

Tabla 2.1: Características principales de los compresores.....	12
Tabla 2.2: Características principales de la cámara de combustión.....	16
Tabla 2.3: Características principales de la turbina generador de gas.....	17
Tabla 2.4: Características principales de la turbina de potencia.....	19
Tabla 2.5: Características principales del tubo de escape.....	19
Tabla 2.6: Dimensiones del motor Turbomeca TM 333 2B2.....	22
Tabla 2.7: Especificación del acero A36.....	39
Tabla 2.8: Tipos de electrodos.....	48
Tabla 2.9: Tipo de revestimiento y corriente eléctrica.....	49

### CAPÍTULO III

Tabla 3.1: Propiedades del material y sus características base superior.....	59
Tabla 3.2: Restricciones de la estructura base superior.....	60
Tabla 3.3: Cargas de la estructura base superior.....	60
Tabla 3.4: Información de la malla para la estructura base superior.....	61
Tabla 3.5: Resultados de tensiones de la estructura base superior.....	62
Tabla 3.6: Resultado de desplazamiento de la estructura base superior.....	62
Tabla 3.7: Resultado de deformaciones de la estructura base superior.....	63
Tabla 3.8: Propiedades del material y sus características base inferior.....	66

Tabla 3.9: Restricciones de la estructura base inferior.....	68
Tabla 3.10: Cargas de la estructura base inferior.....	68
Tabla 3.11: Información de la malla para la estructura base inferior.....	68
Tabla 3.12: Resultados de tensiones de la estructura base inferior.....	69
Tabla 3.13: Resultado de desplazamiento de la estructura base inferior.....	70
Tabla 3.14: Resultado de deformaciones de la estructura base inferior.....	71
Tabla 3.15 Medida de ángulos.....	73
Tabla 3.16 Simbología de los procesos de construcción.....	93
Tabla 3.17 Primera prueba de funcionamiento del montante construido.....	100
Tabla 3.18 Segunda prueba de funcionamiento del montante construido.....	101

#### CAPÍTULO IV

Tabla 4.1 Costos Primarios.....	107
Tabla 4.2 Costos secundarios.....	109
Tabla 4.3 Costo Total del proyecto.....	109

## RESUMEN

Previo a un estudio preliminar, se determinó que el Escuadrón de mantenimiento del Ala de Combate N°22 ubicado en la ciudad de Guayaquil, debe contar con una equipo de apoyo en tierra para que los técnicos de mantenimiento puedan realizar sus tareas de una manera efectiva y ordenada.

El presente trabajo realizado es acerca de la construcción de un montante para desmontaje, traslado, instalación o almacenamiento del motor Turbomeca TM 333 2B2 de los helicópteros Dhruv del Ala de Combate N°22 de la FAE.

Antes de efectuar el proyecto de construcción del montante del motor fue necesario realizar un estudio bibliográfico, realizar el diseño y simulación respectivo del mismo en el programa Autodesk Simulation y el SolidWorks, programa en el cual se hizo la gráfica del montante en 3D, para posteriormente construirlo.

Éste montante construido es de fácil maniobrabilidad y cuenta con la resistencia confiable para soportar el peso del motor, para que el montaje respectivo se lo pueda realizar de forma segura y espontánea.

Tomando en cuenta esto se realizó la construcción de un montante, con el fin de colocar el motor Turbomeca TM 333 2B2 de los helicópteros Dhruv del Ala de Combate N°22 de la FAE, una vez que el mismo haya sido desmontado.

Concluida la realización del montante de motor, se realizaron las pruebas de funcionamiento con el propósito de dar cumplimiento a los objetivos de construcción del mismo.

## SUMMARY

Prior to a preliminary study, it was determined that maintenance Squadron Fighter Wing No. 22 located in the city of Guayaquil, must have a ground support equipment for maintenance technicians can perform their tasks effectively and tidy.

This work is about building a stud for removal, transportation, storage facility or Turbomeca TM 333 2B2 Dhruv helicopters Combat Wing No. 22 of the FAE.

Before the construction project motor mounting was necessary to conduct a literature review, making the design and simulation of the same in the respective Autodesk and SolidWorks Simulation, a program in which the graph of the amount made in 3D, later build.

This amount is easily constructed maneuverability and has the reliable strength to support the weight of the engine, so that the respective mounting it can be performed safely and spontaneous.

Considering this construction was a stud, in order to place the Turbomeca TM 333 2B2 Dhruv helicopters Combat Wing No. 22 of the FAE, once it has been dismantled.

After the realization of the amount of engine, performance test conducted for the purpose of fulfilling the objectives of construction.

# **CAPÍTULO I**

## **EL TEMA**

### **1.1 Antecedentes**

El Escuadrón de Mantenimiento No. 2221 localizado en el Ala de Combate No. 22 acantonado en la ciudad de Guayaquil, colabora con la autoridades nacionales y seccionales para llevar a cabo todas las operaciones de rescate y servicios como trabajos de apoyo al desarrollo de la educación, al mejoramiento de la salud y en este último con su propio programa denominado “Alas para la salud”.

El Escuadrón de Mantenimiento No. 2221, dentro de sus instalaciones cuenta con la sección de mantenimiento el mismo que por la falta de herramientas especiales como equipos de apoyo para dar mantenimiento a las aeronaves, ha conllevado a los aerotécnicos a buscar alternativas que no lleven una fundamentación técnica adecuada para dicho trabajo y así dar solución a los problemas que se presenta a diario con las aeronaves y a su vez con los motores instalados en las mismas.

Las tareas de mantenimiento de las aeronaves son frecuentes para mantener su disponibilidad y así poder enfrentar cualquier emergencia, por ende la implementación de nuevas herramientas como los montantes para los motores Turbomeca TM 333 2B2 que se encuentran instalados en el Helicóptero Dhruv mejorarán el desenvolvimiento práctico de los aerotécnicos y la calidad de trabajo, con un enfoque en el desmontaje, instalación o almacenamiento del motor Turbomeca TM 333 2B2 del helicóptero Dhruv.

Este Escuadrón cuenta actualmente con una flota de 5 Helicópteros Dhruv, los cuales son requeridos para misiones de rescate, evacuación aeromédica, transporte de personal, patrullaje, etc. en todo el país.

Para contribuir a cambiar en parte esta situación, el presente proyecto busca mejorar el almacenamiento, movilización y tener una fácil organización al momento de instalar el motor en la aeronave.

## **1.2 Justificación e importancia**

La sección de mantenimiento del Helicóptero Dhruv, cuenta con personal calificado con un amplio conocimiento de los procedimientos que se realizan en las aeronaves, es por ello que deben existir las facilidades respectivas y seguridades, para que el potencial de los técnicos sea aprovechado en un cien por ciento y de una forma correcta, teniendo una organización adecuada para realizar sus tareas.

Es importante destacar que los componentes utilizados en aviación, son sumamente delicados y muy caros, es por ello que hay que tomar muchas precauciones al momento de desmontarlos, almacenarlos, reemplazarlos e instalarlos, por esta razón se considera de gran utilidad contar con un equipo de apoyo para un componente específico, en este caso el Motor Turbomeca TM 333 2B2, del Helicóptero Dhruv, de esta manera nos permitirá contar con las respectivas seguridades para preservar el tiempo de vida útil del motor.

Por todo lo antes mencionando es de gran importancia y esencial contar con un equipo de apoyo para el Motor Turbomeca TM 333 2B2, así se tendrá una buena organización al transportarlo e instalarlo; beneficiando de esta manera a la sección de mantenimiento del Ala de Combate No. 22, así como al personal técnico que labora en la misma.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Construir un montante para el Motor Turbomeca TM 333 2B2, del Helicóptero Dhruv, para la sección de mantenimiento del Ala de Combate No. 22.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Indagar sobre las características, funcionamiento y operaciones del motor Turbomeca TM 333 2B2, del Helicóptero Dhruv.
- Realizar un análisis de materiales y sus propiedades para la construcción del montante.
- Construir el montante.
- Pruebas de funcionamiento.
- Elaborar manuales de seguridad, operación y de mantenimiento del montante.

### **1.4 Alcance**

Este proyecto está enfocado para facilitar las tareas de mantenimiento y el ahorro de tiempo que se emplea al momento de desmontar, almacenar e instalar el motor Turbomeca TM 333 2B2 del helicóptero Dhruv , evitando así riesgos y accidentes que puedan ocurrir al personal técnico de mantenimiento o como también daños a los componentes del motor, contribuyendo así con el desarrollo del Escuadrón de Mantenimiento No 2221 del Ala de Combate No 22, cabe indicar que dicho montante será implementado para el aérea de mantenimiento para su utilización inmediata.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Helicóptero Dhruv

“Dhruv (Transcrito al español: "estrella polar") es un helicóptero multi-función desarrollado y fabricado por la compañía india Hindustan Aeronautics Limited (HAL). El helicóptero es militar, pero también hay una versión civil.

En la versión militar el Dhruv es capaz de volar a gran altura, un requisito esencial para el Ejército, en Octubre del 2007, un Dhruv voló a una altitud de 27.500 pies (8.400 m), ASL en Siachen. Además HAL también produce una variante civil del Dhruv para transporte VIP, rescate, uso policial, las operaciones en el mar y ambulancia aérea, entre otros”<sup>1</sup>.



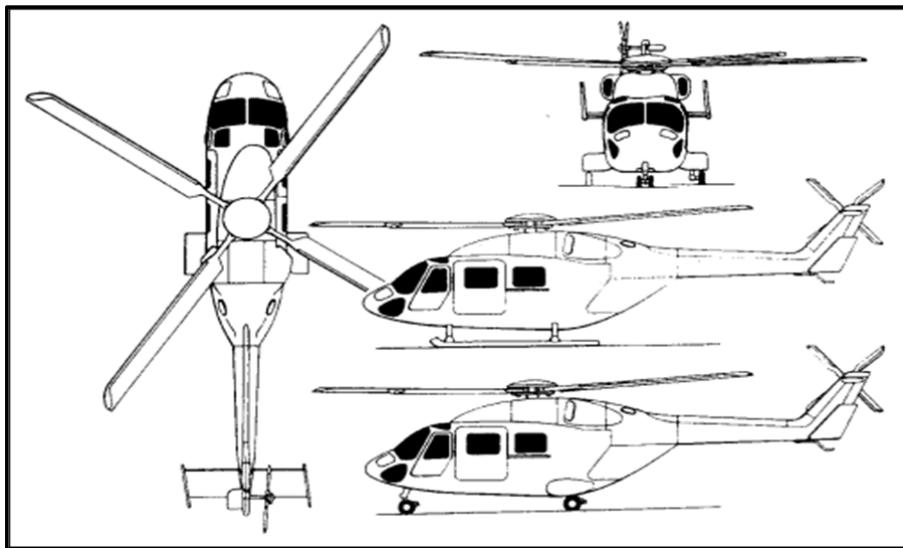
**Figura 2.1:** Esquema de mimetismo de la versión utilitaria de la FAE

**Fuente:** <http://seccionsegunda.blogspot.com>

<sup>1</sup> [http://es.helicopter-engines.org/wiki/HAL\\_Dhruv](http://es.helicopter-engines.org/wiki/HAL_Dhruv)

## 2.2 Características de diseño

El Dhruv ofrece un rotor principal de alta inercia de cuatro palas del tipo rígido (tipo Bolköw) con palas de compuestos de fibra de carbono. El Perfil de las mismas es muy avanzado, reducen considerablemente el ruido y ofrecen una tolerancia balística contra disparos de calibres hasta de 12.7 mm. La cabeza de rotor es elastomérica de fibra de carbono, sostiene las palas entre un par de estrellas/placas (de 4 puntas). El rotor de cola, también de 4 palas de materiales compuestos, está ubicado a estribor de la cola.



**Figura 2.2:** Perfil de tres vistas

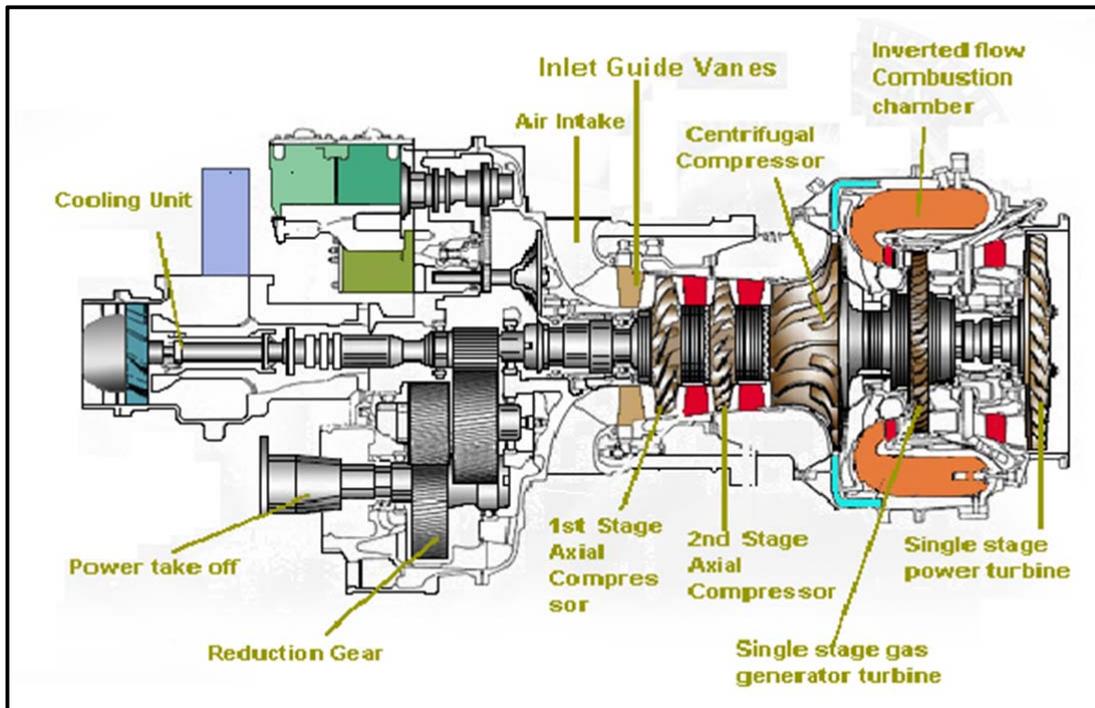
**Fuente:** <http://seccionsegunda.blogspot.com>

La transmisión es integrada, abarca el cubo del rotor, la transmisión principal, los controles superiores y los controles hidráulicos del rotor principal. El diseño del helicóptero permite a la tripulación sobrevivir a impactos verticales de hasta 30 pies/seg, gracias a asientos de seguridad y un diseño de deformación controlada del fuselaje.

La cabina fue diseñada con una capacidad de 12 personas, no obstante se pueden acomodar 14 en configuración de alta densidad. Las puertas posteriores del habitáculo de pasajeros se abren deslizándose hacia atrás (tipo UH-1) y se pueden quitar según el requerimiento de la misión.

## 2.3 Planta motriz

“El TM 333 2B2 tiene una potencia de 825 kW (1105 Shp) potencia de despegue. Su eje de salida de potencia tiene una velocidad de rotación nominal de 6000 rpm. El TM 333 2B2 es una turbina de potencia con un eje que pasa por el motor turbo eje delantero del motor”<sup>2</sup>



**Figura 2.3:** Esquema del motor

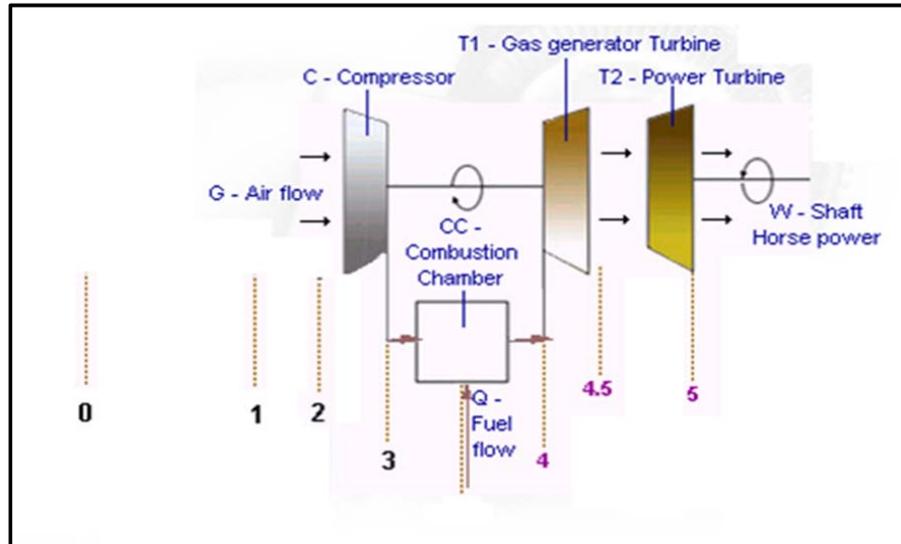
**Fuente:** <http://www.turbomeca.com/english/our-products/helicopter-engines/tm-333-46/tm-333-2b2-23.html>

### 2.3.1 Descripción y operación del motor

El Helicóptero Avanzado Ligero (ALH) es conectado por dos motores de TM 333-2B2. El TM- 333-2B2, es un libre motor de turbo eje. La turbina de potencia está conectada independientemente a la caja principal de transmisión.

<sup>2</sup> <http://www.turbomeca.com/english/our-products/helicopter-engines/tm-333-46/tm-333-2b2-23.html>

El TM 333-2B2 es un motor de turbo eje diseñado para encontrar los requisitos de la potencia de helicópteros de nueva generación. Cuenta con un diseño modular: un módulo de reductor y un módulo generador de gas.



**Figura 2.4:** Operación básica de una turbina de gas

**Fuente:** Turbomeca Training – March 2010

#### **Estaciones:**

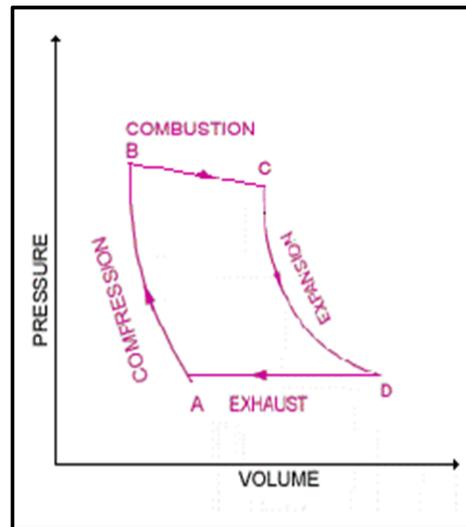
0. Condiciones ambientales
1. Entrada de aire al motor
2. Entrada al compresor axial de primera etapa
- 2.4 Salida del compresor axial de segunda etapa (P2.4)
- 2.6 Presión de punta de compresor del flujo centrífugo (P2.6)
3. La salida de compresor centrífugo (P3)
4. Entrada a la turbina de generador de gas
- 4.5 Salida del turbina de generado de gas (T4.5)
5. Salida de la turbina de energía

El diseño de este motor es basado en un ciclo termodinámico optimizado.

### 2.3.1.1 Ciclo termodinámico

El motor del turbo eje opera en el Ciclo Brayton. La figura 2.5 muestra el principio de trabajo del ciclo de turbina de gas. El ciclo de trabajo sobre el que el motor de turbina de gas está representada en su forma más sencilla en el esquema de Volumen vs Presión.

El punto A representa aire a presión atmosférica que es comprimida por la línea AB, de B al C se añade calor al aire por introducir y quemar el combustible a presión constante así aumentando considerablemente el volumen de aire. La reducción de la presión en la cámara de combustión es indicada como la reducción entre B y C. De C a D los gases que resultan de combustión expanden por la turbina y el tubo de escape. Durante esta parte de ciclo la energía (energía cinética, energía de presión) de los gases es convertido en la energía mecánica.



**Figura 2.5:** Ciclo Brayton

**Fuente:** Turbomeca Training – March 2010

Este motor del turbo eje es semejante a los motores de IC (Ignición a carburador). Las diferencias principales entre el motor de IC y motor de turbo eje son las siguientes:

### Cuadro 2.1: Comparación entre motores

MOTOR DE CARBURADOR (Motor IC funcionando en el ciclo Otto)	MOTOR TURBO EJE
1. La combustión ocurre a volumen constante. (ciclo Otto)	1. La combustión ocurre a presión constante.
2. Las fases operadoras son intermitentes.	2. Las fases operadoras son continuas

Fuente: <http://seccionsegunda.blogspot.com>

### 2.3.2 Etapas del motor Turbomeca TM 333 2B2

#### 2.3.2.1 Compresión

La compresión de aire es realizada en 2 fases. La compresión de la primera fase es hecha por compresor axial de flujo de dos etapas. La compresión de la segunda fase es hecha por un compresor centrífugo del flujo de una sola etapa.

Cada etapa consiste en un rotor y un estator. Los rotores (palas de compresor) son montados en el eje de turbina de generador de gas. Los estatores (difusores) son montados en la cubierta de motor. La figura 2.6 muestra los detalles del ensamblaje del compresor.

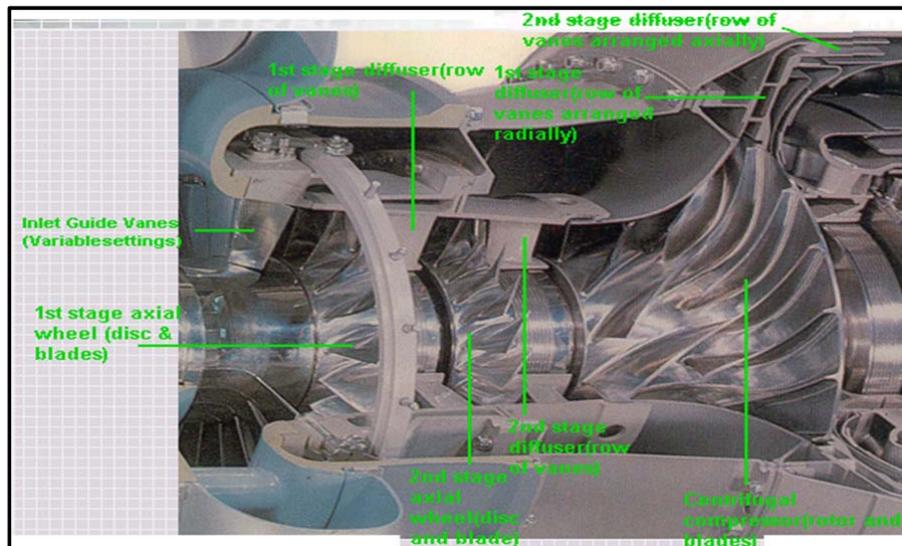


Figura 2.6: Ensamblaje del compresor

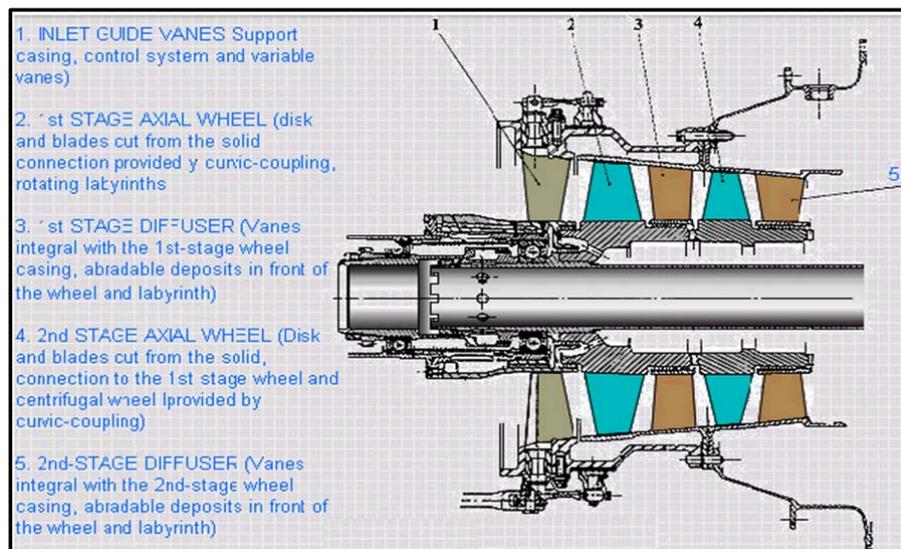
Fuente: Turbomeca Training – March 2010

### 2.3.2.1.1 Principio de operación del compresor axial del flujo

Cuando el compresor es girado por la turbina, el rotor es girado, el aire está inducido continuamente en el motor por las IGV. Las hojas giratorias aceleran el aire, lo barren hacia atrás al difusor o estator de primera etapa. Aquí la energía cinética es transformada en la energía de presión por las veletas de estator. (El estator transforma la velocidad en presión).

La compresión axial del flujo sucede en dos etapas. El aire comprimido por el compresor axial de flujo de dos etapas, entra al compresor centrífugo que es llamado la segunda etapa de compresión.

El compresor axial del flujo ayuda a súper cargar el compresor centrífugo de flujo.



**Figura 2.7:** Vista transversal del compresor axial

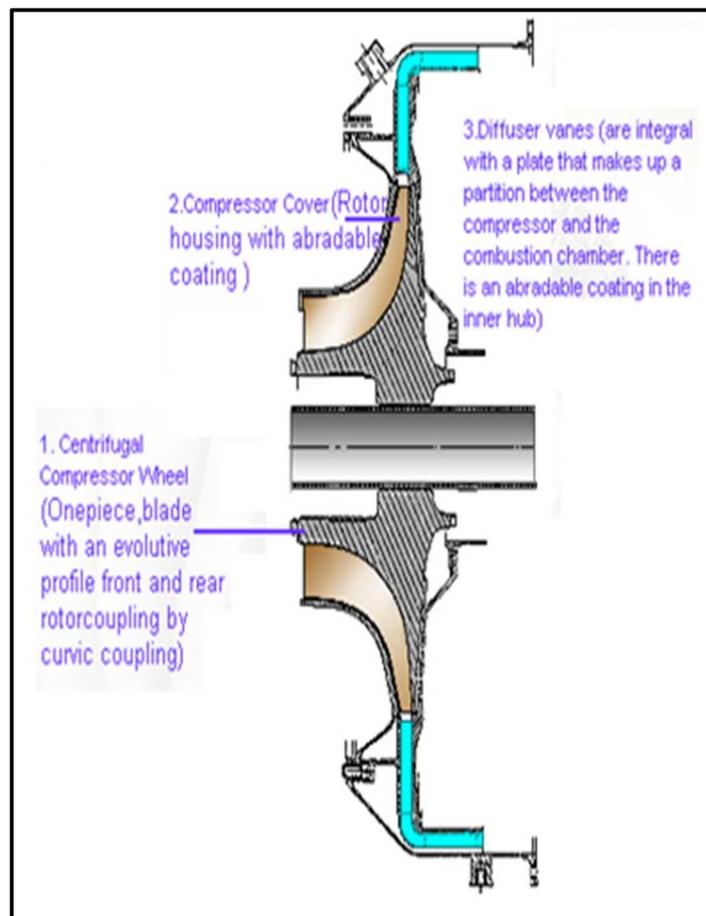
**Fuente:** Turbomeca Training – March 2010

### 2.3.2.1.2 Principio de operación del compresor centrífugo de flujo

El aire comprimido del compresor axial de flujo entra en la rueda de compresor centrífugo de flujo. Este compresor consiste en: ojo, propulsor y palas. Los difusores están en dos etapas.

En la primera etapa las veletas están arregladas radialmente, llamado difusor radial. En la segunda etapa las veletas están arregladas axialmente, llamado difusor axial.

El aire entra en el ojo del compresor. Este compresor junto con el compresor axial de flujo es conducido por la turbina de generador de gas. Debido a fuerza centrífuga el aire es empujado radialmente hacia afuera en la energía cinética. El aire que sale del propulsor se pasa en el difusor radial y luego al difusor axial. El difusor radial y el difusor axial reducen la velocidad y aumentan la presión. El difusor axial endereza el flujo de aire en la cámara de combustión. La proporción de la compresión total del compresor es 10:1.



**Figura 2.8:** Vista transversal del compresor centrífugo

**Fuente:** Turbomeca Training – March 2010

**Tabla 2.1:** Características principales de los compresores

<b>Compresor axial de flujo</b>			
Primera etapa		Segunda etapa	
# total de palas	17	# total de palas	23
# total de veletas de difusor	37	# total de veletas de difusor	31
Presión de la entrada	1 bar	Presión de la entrada	1.54 bar
Temperatura de la entrada	15°C	Temperatura de la entrada	56°C
<b>Compresor centrífugo</b>			
# total de palas	22		
Presión de entrada	2.2 bar		
Temperatura de la entrada	97°C		
Temperatura de la salida	345°C		
<b>Compresor principal</b>			
Tasa de flujo de masa	3.3 kg/s		
Proporción de compresión total	10:1		
eficiencia	80%		

**Fuente:** Turbomeca Training – March 2010

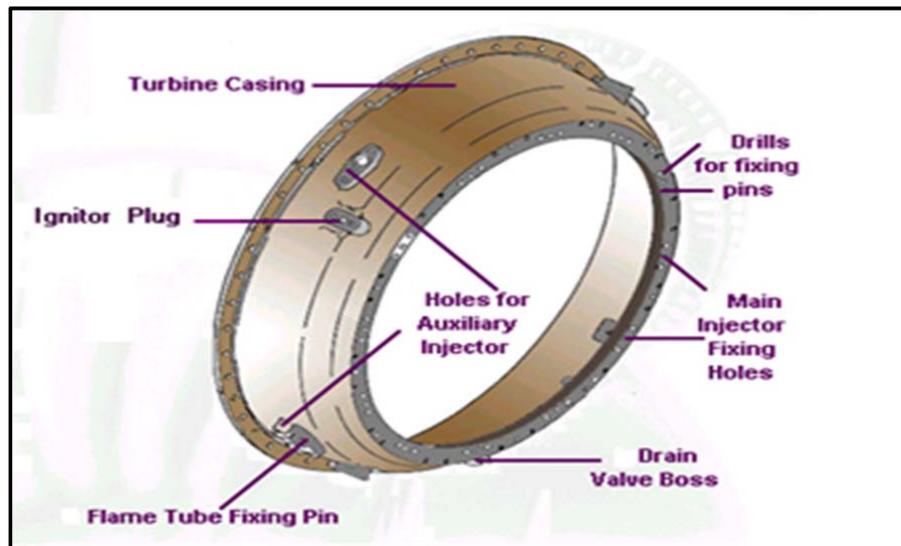
### 2.3.2.2 Combustión

La Cámara de combustión consiste en tres partes.

- **Pliegue exterior.-** El pliegue exterior consiste en placas anulares, soldadas juntas. Su filo interior es albergado en la ranura de la H.P, turbina NGV, y su reborde exterior entra en contrafuerte contra el difusor centrífugo, que permite expansión libre de las placas durante la operación de motor. Tiene orificios calibrados para la circulación del aire enfriadora.
- **Tubo quemador.-** El tubo quemador consiste en placas anulares soldadas juntas. Está inmovilizado en la frente por el accesorio alrededor de pliegue exterior y H.P. turbina NGV, y en el trasero está inmovilizado por cuatro alfileres de sujeción. Comprende de varias series de orificios calibrados de diferentes diámetros, dependiendo de si ellos permiten el pasaje de aire de

combustión o aire de dilución. El combustible para arrancar es suministrado por cuatro inyectores auxiliares y encendido por dos bujías de encendido, ellos están albergados en anillos de guía situados alrededor del esqueleto exterior a intervalos de 90°.

- **Funda de turbina.-** Hecha de acero, la funda de turbina rodea la parte trasera de la cámara de combustión. La figura 2.9 muestra los hoyos de taladro en la funda de turbina .Alrededor de su periferia hay once abolladuras: cuatro abolladuras para la instalación de inyectores auxiliar/de arranque de combustible, dos de los cuales son asociados con dos bujías de encendido, cuatro abolladuras en los que están instalados alfileres de sujeción, y en el reborde trasero comprende de doce taladros para la instalación de los principales inyectores, así como doce pares de perforaciones para los tornillos de sujeción.



**Figura 2.9:** Funda de turbina

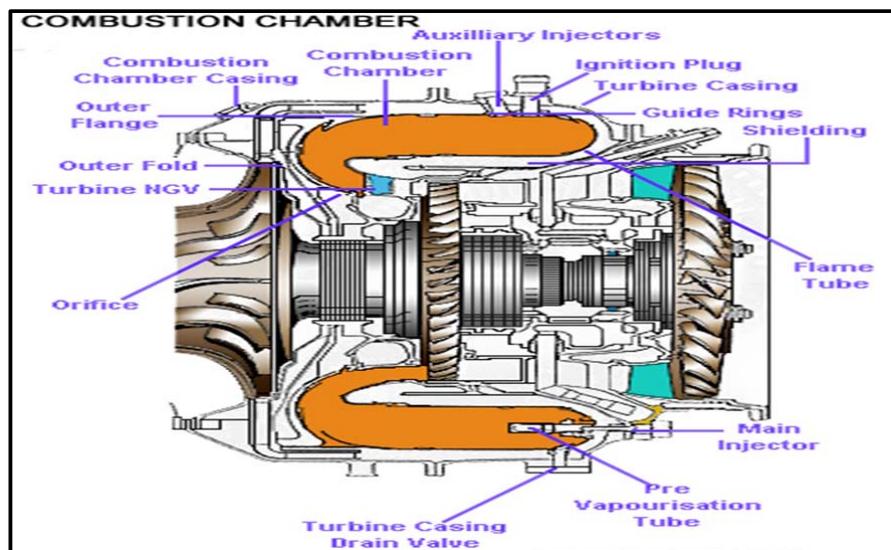
**Fuente:** Turbomeca Training – March 2010

#### 2.3.2.2.1 Operación de la cámara de combustión

El aire comprimido del compresor centrífugo es pasado por veletas radiales y axiales de difusor en la cámara de combustión. La cámara de combustión tiene

4 inyectores de arranque, 2 bujías de encendido y 12 quemadores de vaporización, situados alrededor de la cámara de combustión.

Los quemadores de vaporización son instalados en tres (6+5+1) colectores. En la fase inicial de arrancar, el combustible es suministrado a la cámara de combustión por todos los cuatro inyectores de arranque. La mezcla del aire /combustible es encendida por los dos bujías de encendido que son proporcionados con dos de los inyectores de arranque y de allí, la llama propaga hacia los inyectores de relevo.



**Figura 2.10:** Ensamble de la cámara de combustión

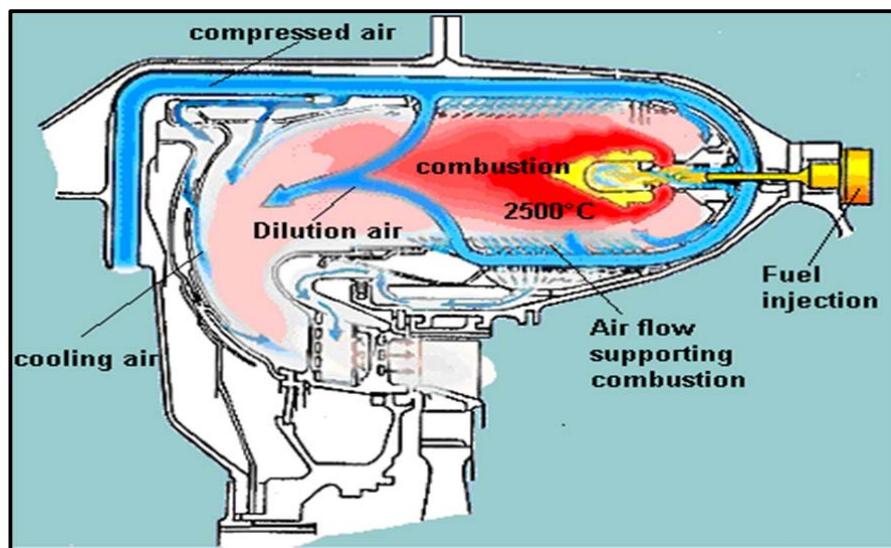
**Fuente:** Turbomeca Training – March 2010

### 2.3.2.2.2 Esquema de flujo de aire y gas en combustión

La figura 2.11 muestra el flujo de aire de cámara de combustión. El aire comprimido del compresor entra la cámara de combustión y es dividido en dos flujos:

- Un flujo primario para la combustión
- Un flujo secundario para la dilución de los gases.

- **Flujo primario (Para combustión).**- El flujo primario es dividido en dos corrientes, la primera corriente entra la cámara de combustión por ranuras para apoyar la combustión y la segunda suministra las barras de pre-vaporización para la combustión.
- **Flujo secundario (Para dilución).**- El flujo secundario es aproximadamente tres y un medios veces de la cantidad del flujo primario. Su propósito es de bajar la temperatura de gas a un valor que está dentro de límites aceptables por las turbinas.



**Figura 2.11:** Flujo de aire de la cámara de combustión

**Fuente:** Turbomeca Training – March 2010

Este flujo es dividido en dos corrientes:

- El aire de dilución, que entra por orificios (1) para reducir la temperatura de gas.
- El aire enfriador para las paredes, representada por las flechas negras en la figura.

Las ventajas principales de cámara de combustión de flujo inverso anular son reducciones en la longitud del eje de turbina.

**Tabla 2.2:** Características principales de la cámara de combustión

Tipo	Flujo inverso anular
Presión de la entrada	10.62 bares
Temperatura de la entrada	345°C
Reducción en la presión	4%
Proporción total de aire combustible	1/45
Proporción estequiometría	1/15
Eficiencia de la combustión	99%

**Fuente:** Turbomeca Training – March 2010

### 2.3.2.3 Expansión

Después de la combustión de la mezcla de combustible y aire se despiden una enorme cantidad de energía. Esta energía es utilizada para conducir la turbina. La expansión ocurre en dos etapas.

- a. Turbina de generador de gas
- b. Turbina de potencia (turbina libre)

#### 2.3.2.3.1 Turbina de generador de gas

La expansión de gases de la primera etapa ocurre en la turbina generador de gas, que es conducido por los gases del sistema de combustión y es utilizado para conducir los compresores.

##### 2.3.2.3.1.1 Operación de la turbina generador de gas

La turbina generador del gas es una turbina de solo una etapa de flujo axial.

Una fila de NGV es proporcionada antes del generador de gas. El propósito principal de la tobera es de aumentar la velocidad y disminuir la presión de aire. Los gases de cámara de combustión que tiene cantidad enorme de energía son

pasados en la turbina generador de gas por la veleta de guía de tobera. La velocidad aumentada es utilizada para conducir la turbina.

La turbina del generador del gas realiza las funciones siguientes:

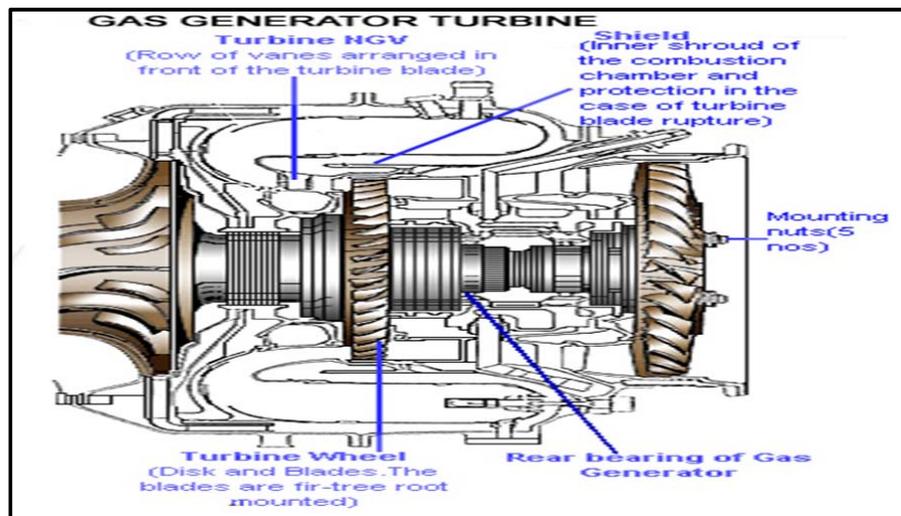
- a.- Conducir los compresores convirtiendo la energía térmica en la energía giratoria de alta velocidad.
- b.- Producir gases de alta velocidad, para conducir la turbina libre.

En la expansión de la turbina generador de gas la presión se reduce, la velocidad aumenta y su temperatura disminuye.

**Tabla 2.3:** Características principales de la turbina generador de gas

Tipo	Tipo flujo axial
Proporción de expansión	3.2
Velocidad de rotación (nominal)	45000 rpm (100%)
Numero de palas	47
Numero de NGVs	47
Presión de entrada	10.25 bares
Temperatura de entrada	1230°C
Método de instalar las palas	Método de raíz de árbol de abeto
Eficiencia	96%

**Fuente:** Turbomeca Training – March 2010



**Figura 2.12:** Turbina de generador de gas

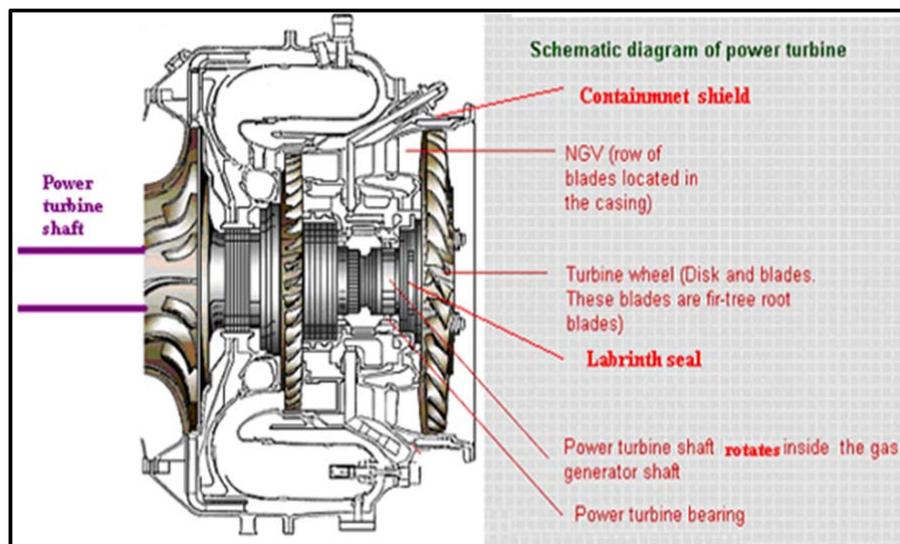
**Fuente:** Turbomeca Training – March 2010

### 2.3.2.3.2 Turbina de potencia

La turbina de la potencia también es llamada turbina libre, conduce el rotor por la MGB. Esta turbina no es conectada mecánicamente a la turbina del generador de gas. Los gases después de trabajar en la turbina generador de gas son utilizados para conducir la turbina de potencia. La salida de la energía es tomada del eje de turbina de potencia.

### 2.3.2.3.3 Operación de la turbina de potencia

La segunda etapa de expansión sucede en la turbina de potencia o turbina libre. Los gases después de trabajar en la turbina generador de gas es pasado por la veleta de guía de tobera de la turbina de potencia que tiene una fila de veletas de estator, que acelera los gases y los dirige a la turbina de potencia.



**Figura 2.13:** Turbina potencia

**Fuente:** Turbomeca Training – March 2010

No hay conexiones mecánicas entre generador de gas y turbina de potencia. Cuando se pasa el gas por la turbina de potencia, el gas se expande y se transforma la energía cinética y potencial en la energía mecánica giratoria. Los caballos (de fuerza) del eje se obtienen de la turbina de potencia después de las dos etapas de reducción.

Esta turbina de potencia está conectada al rotor principal por la caja de transmisión de reducción de motor, eje flexible y caja principal de transmisión. Después de pasar por la turbina de potencia, los gases escapan a la atmósfera a través del tubo de escape.

**Tabla 2.4:** Características principales de la turbina de potencia

Tipo	Tipo flujo axial
Proporción de expansión	2.9
Velocidad de rotación	37562 rpm (100%)
Numero de palas de turbina de potencia	35
Numero de NGVs de la turbina de potencia	35
Presión de la entrada	3.31 bares
Temperatura de la entrada	938°C
Método de instalar las palas	Método de raíz de árbol de abeto
Eficiencia	96%

**Fuente:** Turbomeca Training – March 2010

#### 2.3.2.4 Escape

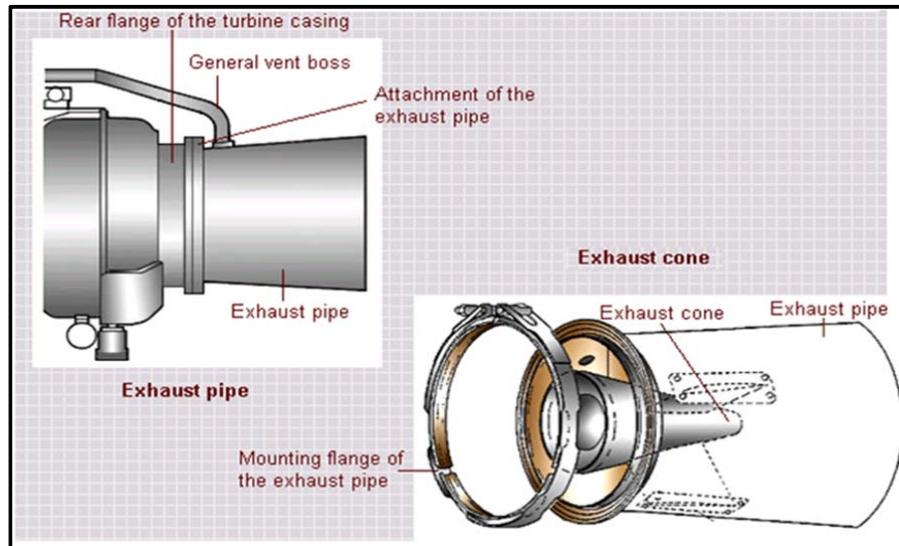
Los gases después de trabajar en la turbina de potencia son expulsados a la atmósfera para continuar el proceso de expansión y evacúa con la potencia restante.

La figura 2.14 muestra el tubo de escape y cono de escape. El sistema de escape es diseñado para la disposición segura de gases de escape con pérdida mínima de presión. Los gases que salen de la turbina tendrán una reducción alta de presión que puede llevar a formación de remolinos. El cono del escape evita la formación de remolinos y suaviza los flujos y reduce el empuje residual.

**Tabla 2.5:** Características principales del tubo de escape

Tipo	Anular (parte no modular)
Presión máximo admisible de atrás	5%
Presión de la entrada	1.13 bares
Velocidad de la entrada	282 m/s (salida de la turbina de potencia)
Temperatura de los gases	700°C en la salida de la turbina
	150°C en la salida del tubo de escape

**Fuente:** Turbomeca Training – March 2010



**Figura 2.14:** Tubo de escape y cono de escape

**Fuente:** Turbomeca Training – March 2010

### 2.3.2.5 Accesorios y engranaje de reducción

#### 2.3.2.5.1 Caja de engranaje accesorio de impulsión

La caja de engranaje accesorio de impulsión está situada en la parte superior de la cubierta de la caja de engranaje de reducción. La figura 2.15 muestra el engranaje de reducción y caja de engranaje accesorio de impulsión. Los piñones son conducidos por el rotor del generador de gas. El acoplamiento es asegurado por un piñón, que conduce el tren cinemático del accesorio de arrastre por medio de piñón de arrastre de bomba LP de combustible. Los piñones de caja de engranajes accesorio son lubricados por ignición de aceite, utilizando aceite del engranaje de reducción. En el fin de piñón está una rueda doble fónica, que es utilizada para proporcionar la indicación de la velocidad del rotor de generador de gas (NG).

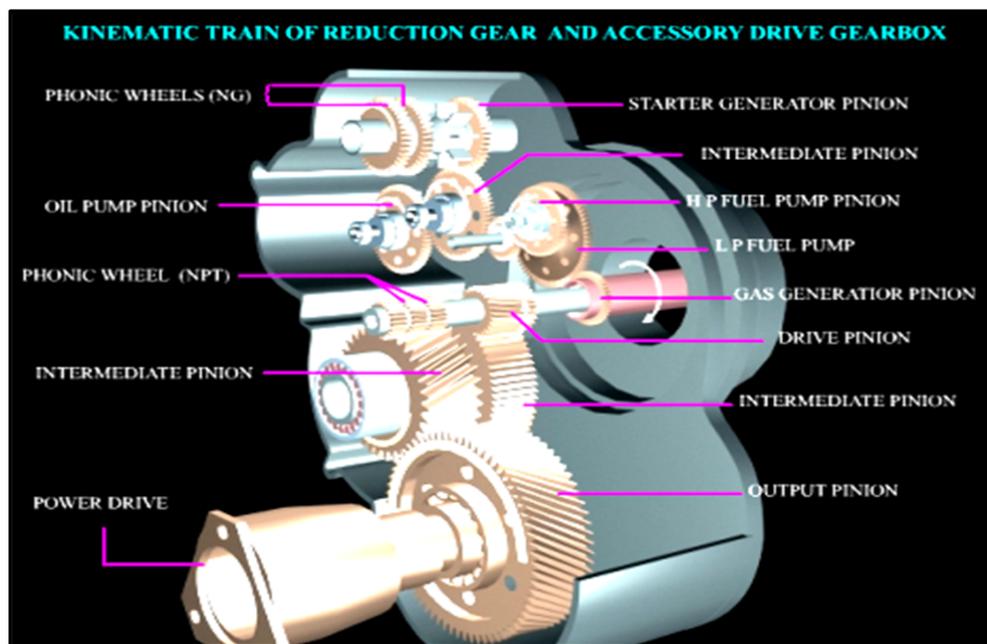
#### 2.3.2.5.2 Engranaje de la reducción

El engranaje de la reducción está situado en el fondo de la cubierta de engranaje de reducción: tiene el sistema de engranaje de reducción de dos etapas que reduce la velocidad de turbina de energía según una proporción de

1/6.260. Es acoplado al túnel de la turbina de la energía por el piñón de arrastre, alrededor del cual está instalado.

En el fin de piñón de arrastre hay una rueda triple fónica, cuyo propósito es de proporcionar indicación de velocidad de rotación de turbina de energía. El piñón de arrastre conduce el piñón intermedio, en el que está albergado émbolo del metro de momento de torsión.

El piñón intermediario conduce el piñón salida, en el que está instalado el arrastre de energía. Los piñones son engranajes helicoidales, y son lubricados con sus cojinetes a través de ductos y jet internos. El sistema de la medición del momento de torsión del motor es un metro hidráulico de momento de torsión operado por sistema de aceite del motor albergado en el doble engranaje helicoidal e intermedio. El piñón del arrastre y la rueda triple fónica son sujetados en el eje de turbina de potencia por una tuerca y conducen el eje de ventilador enfriador de aceite.



**Figura 2.15:** engranaje de reducción y caja de engranaje

**Fuente:** Turbomeca Training – March 2010

### 2.3.2.5.3 Accesorio de impulsión

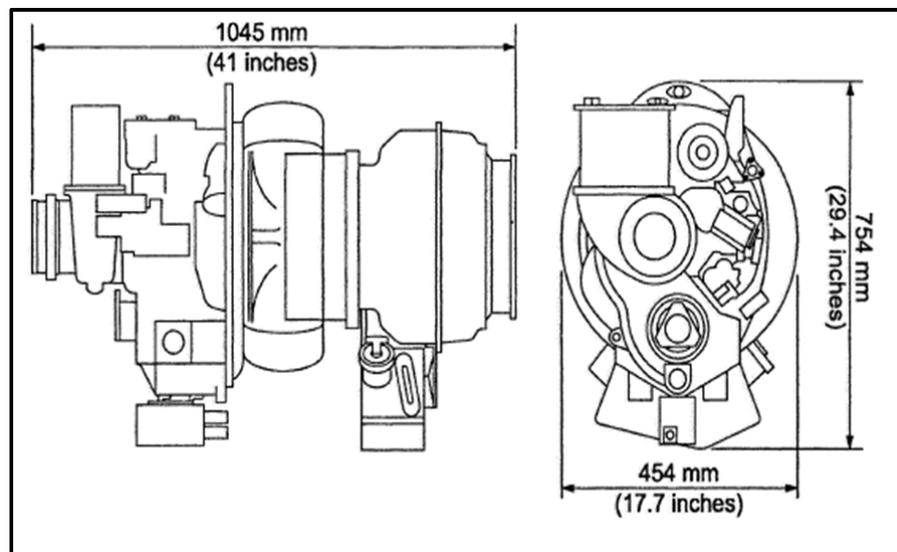
- **Eje de salida.-** El arrastre de la energía gira a 6000 Rpm (CCW visto de la frente). Consiste en reborde acanalado, instalado en el eje de salida de engranaje de reducción y sujetado al mismo por medio de una tuerca. El sello entre la cubierta de engranaje de eje de salida es asegurado por un SEAL OIL de tipo fuelle. El reborde está equipado con tres tornillos cautivos para la conexión al arrastre de la energía del helicóptero.

### 2.3.3 Características dimensionales del motor Turbomeca TM 333 2B2

**Tabla 2.6:** Dimensiones del motor Turbomeca TM 333 2B2

<b>Peso (en seco)</b>	
Motor con equipamiento específico	167 Kg (367 libras)
<b>Dimensiones del motor</b>	
Longitud	1045 mm (41 pulgadas)
Ancho	454 mm (17.7 pulgadas)
Altura	754 mm (29.4 pulgadas)

**Fuente:** Turbomeca Training – March 2010



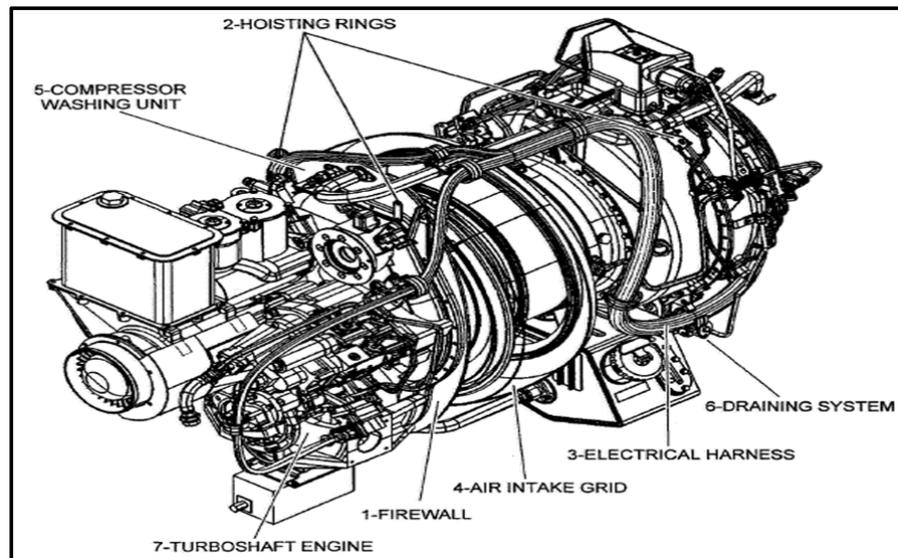
**Figura 2.16:** Características dimensionales

**Fuente:** Manual de Mantenimiento Turbomeca TM 333 2B2

### 2.3.3.1 Componentes del motor Turboshaft

El motor Turboshaft tiene:

- Mamparo contra incendio (1),
- Anillos de elevación (2),
- Arnés eléctrico (3),
- Una rejilla de admisión de aire (4),
- Una unidad de lavado del compresor (5),
- Un sistema de drenado (6).



**Figura 2.17:** Componentes del motor

**Fuente:** Manual de Mantenimiento Turbomeca TM 333 2B2

## 2.4 Definiciones científicas

En Estática se trata de estudiar las condiciones de equilibrio que deben cumplir las fuerzas exteriores o cargas aplicadas sobre cuerpos, a los que se considera resistentes e indeformables.

Para que un objeto este en equilibrio es necesario que todas las fuerzas que actúan sobre él, se compense exactamente. Cuando, empleado este criterio,

se establece que un objeto este en equilibrio, se puede deducir la estabilidad de dicho equilibrio.

La estática tiene como objetivo, establecer si bajo la acción simultánea de varias fuerzas, un cuerpo se halla o no en equilibrio.

#### **2.4.1 Condiciones de Equilibrio**

Si se aplican fuerzas a un cuerpo rígido, su equilibrio con respecto a un sistema de referencia inercial estará determinado por:

- **Primera condición de equilibrio.-** Es la suma de las fuerzas aplicadas al cuerpo es cero.
- **Segunda condición de equilibrio.-** Es la suma algebraica de los momentos con respecto a un punto de las fuerzas aplicadas es igual a cero.

#### **2.4.2 Centro de Gravedad**

Es el punto de aplicación de la resultante de todas las fuerzas de gravedad que actúan sobre las distintas porciones materiales de un cuerpo, de tal forma que el momento respecto a cualquier punto de esta resultante aplicada en el centro de gravedad es el mismo que el producido por los pesos de todas las masas materiales que constituyen dicho cuerpo.

Es decir, el centro de gravedad de un cuerpo es el punto respecto al cual las fuerzas que la gravedad ejerce sobre los diferentes puntos materiales que constituyen el cuerpo producen un momento resultante nulo.

#### **2.4.3 Gravedad**

Fuerza de atracción que efectúa la masa de la Tierra sobre los cuerpos situados en el campo gravitatorio terrestre. Esta fuerza produce la caída de los cuerpos hacia la superficie terrestre con una aceleración independiente de la masa del cuerpo que cae, cuyo valor es  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  y que se conoce por aceleración de la gravedad.

#### **2.4.4 Fuerza**

Es una magnitud vectorial que mide la intensidad del intercambio de momento lineal entre dos partículas o sistemas de partículas. Según una definición clásica, fuerza es todo agente capaz de modificar la cantidad de movimiento o la forma de los cuerpos materiales. En el Sistema Internacional de Unidades, la fuerza se mide en Newton (N).

#### **2.4.5 Masa**

La masa ( $m$ ) es una magnitud física cuyo valor es constante en cualquier parte del universo. Su unidad en el sistema internacional (S.I) es el kilogramo (kg).

#### **2.4.6 Inercia**

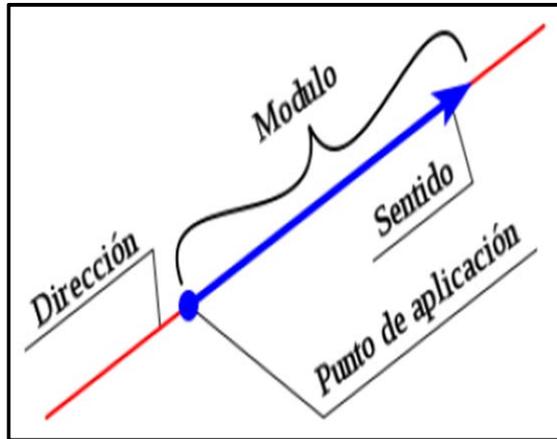
Es la propiedad que tienen los cuerpos de permanecer en su estado de reposo o movimiento, mientras la fuerza sea igual a cero, o la resistencia que opone la materia al modificar su estado de reposo o movimiento. Como consecuencia, un cuerpo conserva su estado de reposo o movimiento rectilíneo uniforme si no hay una fuerza actuando sobre él.

#### **2.4.7 Vector**

En física, un vector es una herramienta geométrica utilizada para representar una magnitud física que tiene: módulo, dirección, sentido y punto de aplicación.

El módulo de un vector es la distancia entre el punto de aplicación y la punta de la flecha, el módulo también es el valor absoluto del vector.

La dirección del vector es la recta soporte sobre la que se traza el vector. Punto de aplicación es aquel sobre el que se aplica el vector, en la representación gráfica la parte opuesta a la flecha.



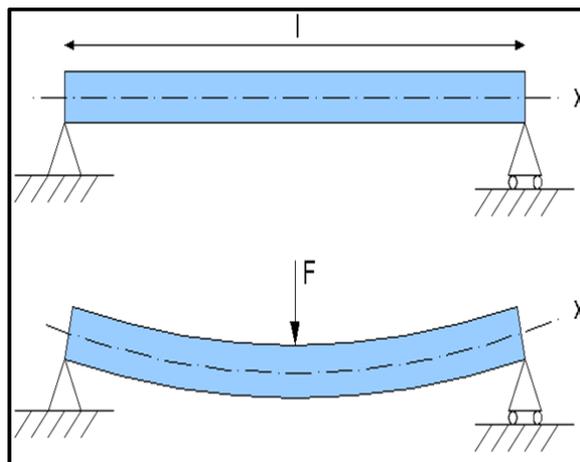
**Figura 2.18:** Vector

**Fuente:** <http://fisica12.bligoo.es/cuantas-caracteristicas-tiene-un-vector>

#### 2.4.8 Momento flector

Se denomina momento flector, un momento de fuerza resultante de una distribución de tensiones sobre una sección transversal de un prisma mecánico flexionado o una placa que es perpendicular al eje longitudinal a lo largo del que se produce la flexión.

El momento flector es positivo cuando considerada la sección a la izquierda tiene una rotación en sentido horario.



**Figura 2.19:** Momento flector (m)

**Fuente:** [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Beam\\_bending.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Beam_bending.png)

### 2.4.9 Fuerza cortante (v)

Es la suma algebraica de todas las fuerzas externas perpendiculares al eje de la viga o elemento estructural que actúan a un lado de la sección considerada.

## 2.5 Esfuerzos en los elementos de una estructura<sup>3</sup>

Esfuerzo ( $\sigma$ ), intensidad de fuerza que actúa en una determinada área. El esfuerzo se debe justamente a que las fuerzas internas de un elemento están ubicadas dentro del material por lo que se distribuyen en toda el área.

La fuerza por unidad de área, o la intensidad de las fuerzas distribuidas de una sección dada, se llama *esfuerzo* sobre esa sección y se representa con la letra griega  $\sigma$  (sigma).

El esfuerzo en un elemento con área transversal (A) sometido a una carga axial (P) se obtiene, por lo tanto, al dividir la magnitud  $P$  de la carga entre el área A:

$$\sigma = P / A$$

Se empleará un signo positivo para indicar un esfuerzo de tensión (el elemento a tensión) y un signo negativo para indicar un esfuerzo compresivo (el elemento a compresión).

El esfuerzo utiliza unidades de fuerza sobre unidades de área, en el sistema internacional (SI) la fuerza (P) es en Newton (N) y el área (A) en metros cuadrados (m<sup>2</sup>), el esfuerzo ( $\sigma$ ) se expresa en (N/m<sup>2</sup>). Esta unidad se denomina pascal (Pa).

Sin embargo, el pascal es una unidad muy pequeña, por lo que en la práctica, deben emplearse múltiplos de esta unidad, como el kilo pascal (kPa), el mega pascal (MPa) y el giga pascal (GPa)

---

<sup>3</sup> Mecánica de Materiales, Cap. 1; Esfuerzos en los elementos de una estructura, pág. 5

## 2.5.1 Tipos de esfuerzos a que pueden ser sometidos los materiales

### 2.5.1.1 Esfuerzo de tracción o tensión

Es cuando las cargas que actúan sobre la pieza tienden a estirarla, tal y como sucede, por ejemplo, con los cables de un puente colgante.

### 2.5.1.2 Esfuerzo de compresión

Es cuando las cargas que soporta la pieza tienden a aplastarla, como es el caso, por ejemplo, de las columnas. Este esfuerzo no puede ser soportado por los tirantes.

### 2.5.1.3 Esfuerzo de flexión

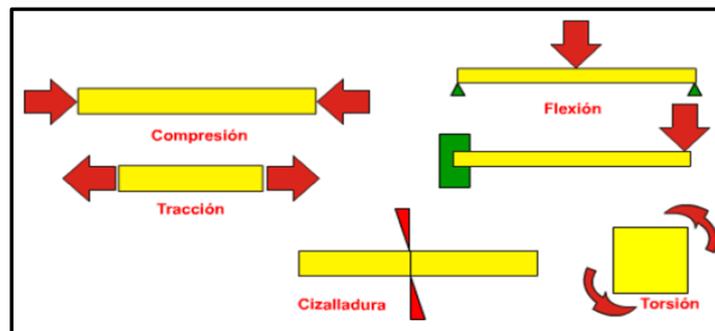
Es cuando las cargas que actúan sobre la pieza tienden a doblarla, como sucede con las vigas.

### 2.5.1.4 Corte o cizalladura

Cuando las cargas que soporta la pieza tienden a cortarla.

### 2.5.1.5 Esfuerzo de torsión

Cuando las cargas que soporta la pieza tienden a retorcerla.



**Figura 2.20:** Tipos de esfuerzos

**Fuente:** <http://cienciasnaturalesmolonas.blogspot.com/2012/01/tipos-de-esfuerzos-de-una-estructura.html>

## **2.5.2 Ensayos y sus tipos**

Los ensayos son procedimientos normalizados que permiten conocer o comprobar las características y propiedades de los materiales. Debido a la gran cantidad de tipos de ensayos que se realizan en la industria, se han clasificado en tres criterios para clasificarlos.

### **2.5.2.1 Dependiendo de la forma de realizar los ensayos**

- **Ensayos destructivos.-** Son aquellos en los que los materiales sometidos a este tipo de experimentos ven alteradas su forma y presentación inicial.
- **Ensayos no destructivos.** Son aquellos en los que los materiales sometidos a este tipo de experimentos no ven alteradas su forma y presentación inicial.

### **2.5.2.2 Dependiendo de los métodos empleados en la determinación de las propiedades de los materiales**

- **Ensayos químicos.** Son aquellos que nos permiten conocer la composición química cualitativa y cuantitativa del material, así como su comportamiento ante los agentes químicos.
- **Ensayos metalográficos.** Son aquellos en los que se estudia la estructura interna del material con ayuda del microscopio.
- **Ensayos físicos y físico-químicos.** Son aquellos que nos permiten determinar las propiedades físicas, las imperfecciones y las malformaciones del material.
- **Ensayos mecánicos.** Son aquellos que determinan las características elásticas y de resistencia de los materiales sometidos a esfuerzos o deformaciones.

### **2.5.3 Teoría de falla de un material<sup>4</sup>**

Al diseñar elementos mecánicos que resistan las fallas se debe estar seguro de que los esfuerzos internos no rebasen la resistencia del material.

Si el que se empleará es dúctil entonces lo que más interesa es la resistencia de fluencia, ya que una deformación permanente sería considerada como falla.

La resistencia de los materiales dúctiles son casi las mismas a tensión que a compresión.

La falla en el caso de materiales dúctiles con carga estática a la tensión es provocada por los esfuerzos cortantes.

### **2.5.4 Teoría de energía de distorsión de materiales dúctiles**

La teoría de la energía de distorsión, también conocida como teoría de Von Mises, es mejor para materiales dúctiles uniformes, cuyas resistencias a la tensión y a la compresión son aproximadamente las mismas, y cuyas resistencias cortantes son menores que sus resistencias a la tensión. Se considera que estos materiales fallan con el esfuerzo cortante, y la teoría de distorsión es la mejor que predice sus fallas.<sup>5</sup>

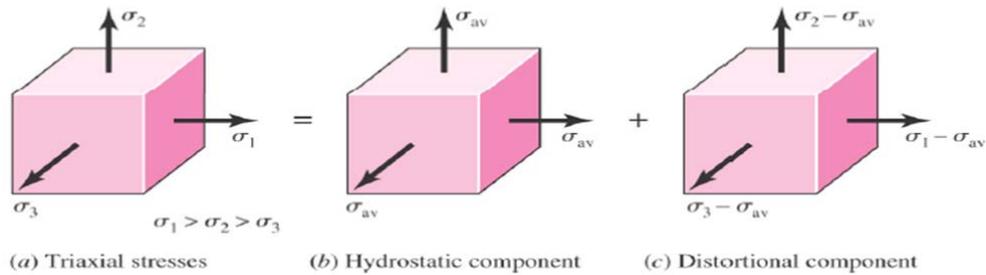
#### **Teoría de la energía de la distorsión (Cont.)**

- Se originó de la observación que los materiales dúctiles sometidos a esfuerzos hidrostáticos presentan resistencias a la fluencia que exceden en gran medida los valores que resultan del ensayo de tensión simple.
- Postula que la fluencia no es un fenómeno de tensión o compresión simples, sino que está relacionada con la energía proveniente de la distorsión (angular) del elemento de esfuerzo.

---

<sup>4</sup> Diseño en Ingeniería Mecánica, Cap. 6; Diseño por Resistencia Estática, pág. 245

<sup>5</sup> Diseño de Máquinas, Cap. 3; Teoría de Fallas Estáticas, pág. 215



**Figura 2.21:** Teoría de la energía de la distorsión de materiales dúctiles

**Fuente:** Diseño de Elementos Mecánicos ME-5600. Capítulo 5 Teoría de Falla por Carga Estática

- a) Elemento con esfuerzos triaxiales; este elemento experimenta cambio de volumen y distorsión angular.
- b) Elemento sometido a tensión hidrostática que solo experimenta cambio de volumen.
- c) Elemento con distorsión angular sin cambio de volumen.

- Teoría: La fluencia comienza cuando la energía de distorsión por unidad de volumen iguala la energía de distorsión por unidad de volumen correspondiente a la resistencia a la fluencia en tensión o en compresión del mismo material.
- La energía de distorsión es (ver desarrollo en el Shigley)

$$u_d = u - u_v = \frac{1 + \nu}{3E} \left[ \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]$$

- Una pieza de ensayo a tensión tiene los siguientes valores cuando comienza a fluir:  $\sigma_1 = S_y$  y  $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$
- La energía de distorsión para esta pieza es

$$u_d = \frac{1 + \nu}{3E} S_y^2$$

- La Teoría de la energía de la distorsión se obtiene igualando las dos expresiones dadas arriba

$$\left[ \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{1/2} \geq S_y$$

## Esfuerzo de Von Mises

- El esfuerzo de von Mises es el lado izquierdo de la ecuación de arriba

$$\sigma' = \left[ \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{1/2}$$

- Para esfuerzo plano se simplifica a  $(\sigma_A$  y  $\sigma_B$  los esfuerzos principales no nulos)

$$\sigma' = (\sigma_A^2 - \sigma_A \sigma_B + \sigma_B^2)^{1/2}$$

- En términos del eje cartesiano xyz, en tres dimensiones

$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[ (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) \right]^{1/2}$$

- En términos del eje cartesiano xyz, para esfuerzo plano

$$\sigma' = (\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2)^{1/2}$$

## Teoría de la Energía de la Distorsión con von Mises

- El esfuerzo de von Mises puede ser pensado como un valor único de esfuerzo (esfuerzo efectivo) para el estado general de esfuerzo dentro de un elemento de esfuerzo
- La teoría de la energía de distorsión simplemente compara el esfuerzo de von Mises con la resistencia a la fluencia

$$\sigma' \geq S_y$$

- Introduciendo un factor de seguridad n,

$$\sigma' = \frac{S_y}{n}$$

- Resolviendo para n,

$$n = \frac{S_y}{\sigma'}$$

Dónde:

$S_y$ : Resistencia de fluencia del material.

$\sigma'$ : Esfuerzo efectivo del material.

n: factor de seguridad en materiales dúctiles bajo carga estática.

## **2.6 Análisis de los materiales y sus propiedades a emplear en la construcción del montante**

### **2.6.1 Hierro**

El hierro o fierro es un elemento químico de número atómico 26 situado en el grupo 8, periodo 4 de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es Fe (del latín ferrum) y tiene una masa atómica de 55,6 u.

El hierro es el metal duro más usado, con el 95% en peso de la producción mundial de metal. El hierro puro (pureza a partir de 99,5%) no tiene demasiadas aplicaciones, salvo excepciones para utilizar su potencial magnético. El hierro tiene su gran aplicación para formar los productos siderúrgicos, utilizando éste como elemento matriz para alojar otros elementos aleantes tanto metálicos como no metálicos, que confieren distintas propiedades al material. Se considera que una aleación de hierro es acero si contiene menos de un 2,1% de carbono; si el porcentaje es mayor, recibe el nombre de fundición.

#### **2.6.1.1 Propiedades del hierro**

##### **2.6.1.1.1 Propiedades mecánicas del hierro**

- Propiedades mecánicas a elevadas temperaturas. La resistencia a la tracción de los hierros dúctiles perlíticos disminuye continuamente con el aumento de la temperatura y a los 400°C es aproximadamente 2/3 de la resistencia a temperatura ambiente.
- El sigma 0.2%, tanto para hierros ferríticos como perlíticos, prácticamente se mantiene estable hasta los 350-400°C, por encima de esta temperatura falla rápidamente.

- La dureza en caliente se mantiene también hasta los 400°C, fallando por encima de este valor. Para temperaturas de hasta 300°C la tensión admisible en estructuras estáticas, como a temperatura ambiente, puede basarse sobre los valores del sigma 0.2% obtenidos a temperatura ambiente. A temperaturas superiores a los 300°C, las tensiones admisibles deben calcularse sobre datos de fluencia.

#### **2.6.1.1.2 Propiedades físicas del hierro**

- Coeficiente de expansión térmica: las características de expansión de las fundiciones de hierro son complejas debido a las transformaciones que tienen lugar en la solución, debidas a la precipitación del grafito, la grafitización de la perlita y la formación de austenita por encima de los 700°C.
- Resistencia a la corrosión: en algunas aplicaciones la resistencia a la corrosión del hierro dúctil es similar a la del hierro gris y frecuentemente superior a la de los aceros. Los tubos de hierro dúctil normalmente aplicados en cloacas, pueden ser protegidos por anodinado, revestido de zinc, cubiertas plásticas y, en algunos casos, revestido con poliuretano

#### **2.6.2 Acero**

El acero es una aleación de hierro y carbono, donde el carbono no supera el 3.5% que le otorga mayor resistencia y pureza, alcanzando normalmente porcentajes entre el 0.2% y el 0.3% para aceros de bajo carbono, que son los utilizados para las construcciones. Porcentajes mayores al 3.5% de carbono dan lugar a las fundiciones, aleaciones que al ser frágiles y no poderse forjar, se moldean. Algunas veces otros elementos de aleación específicos tales como el Cr (Cromo) o Ni (Níquel) se agregan con propósitos determinados.

No se debe confundir el hierro con el acero, dado que el hierro es un metal en estado puro al que se le mejoran sus propiedades físico-químicas con la adición de carbono y demás elementos.

Por la variedad y disponibilidad de los elementos primordiales que abundan en la naturaleza ayudan facilitando de su producción en cantidades industriales, los aceros son las aleaciones más utilizadas en la construcción de maquinarias, herramientas, edificios y obras públicas, habiendo contribuido al alto nivel de desarrollo tecnológico de las sociedades industriales

### 2.6.2.1 Propiedades del acero

$$4450 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \leq \text{limite de fluencia (fy)} \leq 5100 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Resistencia a la tracción: } \sigma_t \geq 6450 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

#### 2.6.2.1.1 Propiedades físicas del acero

- Su densidad media es de  $7850 \text{ kg/m}^3$ . 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  $1.510 \text{ }^\circ\text{C}$  en estado puro (sin alear), sin embargo el acero presenta frecuentemente temperaturas de fusión de alrededor de  $1.375 \text{ }^\circ\text{C}$ . Por otra parte el acero rápido funde a  $1.650 \text{ }^\circ\text{C}$ . Su punto de ebullición es de alrededor de  $3.000 \text{ }^\circ\text{C}$ .

#### 2.6.2.1.2 Propiedades mecánicas del acero

- **Tenacidad:** Es la capacidad que tiene un material de absorber energía sin producir fisuras (resistencia al impacto). El acero es un material muy tenaz, especialmente en alguna de las aleaciones usadas para fabricar herramientas.
- **Ductilidad:** Es relativamente dúctil. Con él se obtienen hilos delgados llamados alambres. 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:  $\delta L = \alpha \delta t^\circ L$ , siendo  $\alpha$  el coeficiente de

dilatación, que para el acero vale aproximadamente  $1,2 \cdot 10^{-5}$  (es decir  $\alpha = 0,000012$ ).

- **Maleable:** Se pueden obtener láminas delgadas llamadas hojalata. La hojalata es una lámina de acero, de entre 0,5 y 0,12 mm de espesor.
- **Maquinabilidad:** Es la facilidad que posee un material que permitir el proceso de mecanizado<sup>6</sup>.
- **Dureza:** La densidad promedio del acero es 7850 kg/m<sup>3</sup>. Es la resistencia que ofrece un acero para dejarse penetrar.
- **Conductividad eléctrica:** Posee una alta conductividad eléctrica.

#### 2.6.2.1.3 Propiedades térmicas del acero

- Conductividad eléctrica: Es la facilidad que presenta un material para dejar pasar a través de él la corriente eléctrica.
- Conductividad térmica: Es la facilidad que presenta un material para dejar pasar a través de él una cantidad de calor. El coeficiente de conductividad térmica  $k$  nos da la cantidad de calor que pasaría a través de un determinado metal en función de su espesor y sección.
- Dilatación: Es el aumento de las dimensiones de un metal al incrementarse la temperatura.

Al terminar con un pequeño análisis de las características y propiedades del hierro y del acero se concluye que el material más adecuado y fiable para la construcción del montante es el acero por la facilidad de adquisición, su costo, eficiencia, etc.

---

<sup>6</sup> El mecanizado es un proceso de fabricación que comprende un conjunto de operaciones de conformación de piezas mediante la eliminación de material, ya sea por arranque de viruta o por abrasión.

## 2.7 El acero estructural

Es el material estructural más usado para construcción de estructuras en el mundo.

Es fundamentalmente una aleación de hierro (mínimo 98 %), con contenidos de carbono menores del 1 % y otras pequeñas cantidades de minerales como manganeso, para mejorar su resistencia, y fósforo, azufre, silicio y vanadio para mejorar su soldabilidad, resistencia a la corrosión y resistencia a la fractura.

Es un material usado para la construcción de estructuras, de gran resistencia, producido a partir de materiales muy abundantes en la naturaleza. Entre sus ventajas está la gran resistencia a tensión y compresión y el costo razonable.

Como el acero tiene propiedades prácticamente idénticas a tensión y compresión, por ello su resistencia se controla mediante el ensayo de probetas pequeñas a tensión.

La deformación del acero a partir de la fluencia es denominada ductilidad. Esta es una cualidad muy importante en el acero como material estructural y es la base de los métodos de diseño plástico.

Permite, que la estructura absorba grandes cantidades de energía por deformación, circunstancia muy importante en zonas sísmicas, en las cuales es necesario que la estructura libere la energía introducida en su base por los terremotos.

El Módulo de Elasticidad es prácticamente independiente del tipo de acero está alrededor de  $2000000 \text{ kgf/cm}^2$ .

### 2.7.1 Propiedades mecánicas de los aceros estructurales

- **Alta resistencia mecánica:** Los aceros son materiales con alta resistencia mecánica al someterlos a esfuerzos de tracción y compresión.
- **Soldabilidad:** Es un material que se puede unir por medio de soldadura y gracias a esto se pueden componer una serie de estructuras con piezas rectas.
- **Trabajabilidad:** Se pueden cortar y perforar a pesar de que es muy resistente y aun así sigue manteniendo su eficacia.
- **Elasticidad:** El acero es el material que más se acerca a un comportamiento linealmente elástico hasta alcanzar esfuerzos considerables.
- **Ductilidad:** El acero permite soportar grandes deformaciones sin falla, alcanzando altos esfuerzos en tensión.
- **Disponibilidad de secciones y tamaños:** el acero se encuentra disponible en perfiles para optimizar su uso en gran cantidad de tamaños y formas.

### 2.7.2 Acero ASTM A36

El acero A36 es una aleación de acero al carbono de propósito general muy comúnmente usado en los Estados Unidos, aunque existen muchos otros aceros, superiores en resistencia, cuya demanda está creciendo rápidamente.

La denominación A36 fue establecida por la ASTM, American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Prueba de Materiales).

### 2.7.3 Requerimientos de tensión

El A36, tiene una densidad de  $7850 \text{ kg/m}^3$  ( $0.28 \text{ lb/in}^3$ ). El acero A36 en barras, planchas y perfiles estructurales tiene un esfuerzo mínimo de fluencia ( $F_y$ ) de  $250 \text{ MPa}$  ( $36 \text{ ksi}$ ), y un límite de rotura mínimo de  $410 \text{ MPa}$  ( $58 \text{ ksi}$ ).

Normalmente, el material de conexión se especifica como A36, sin importar el grado de sus propios componentes primarios. El esfuerzo último de tensión ( $F_u$ )

de este acero varía de 58ksi a 80 ksi (400-550 Mpa); para cálculos de diseño se utiliza el valor mínimo especificado.

**Tabla 2.7:** Especificación del acero A36

<b>Nombre</b>	<b>Designación</b>
Acero Estructural al carbono	Designado A36
Esfuerzo mínimo de fluencia	$F_y=2400 \text{ kg/cm}^2$
Resistencia mínima especificada a la tensión	( $F_u$ ) de 58-80 ksi. (400-550 Mpa)

**Fuente:** Citing ASTM Standards

#### 2.7.4 Métodos de unión

Las piezas hechas a partir de acero A36 son fácilmente unidas mediante casi todos los procesos de soldadura. Los más comúnmente usados para el A36 son los menos costosos y rápidos como la Soldadura por arco metálico protegido (SMAW, Shielded metal arc welding), Soldadura con arco metálico y gas (GMAW, Gas metal arc welding), y soldadura oxiacetilénica.

Para el acero A36 se recomienda utilizar las siguientes tipos de electrodos: 6010, 6011, 6013, 7018, 7024, 308, 309, 312, 316, ER70S-6, ER70S-3, E71T-1.

El acero A36 es también comúnmente atornillado y remachado en las aplicaciones estructurales: edificios, puentes, torres, etc.

#### 2.7.5 Aplicaciones del Acero A36

Las aplicaciones comunes del acero estructural A36 es en la construcción, y es moldeado en perfiles y láminas, usadas en edificios e instalaciones industriales; cables para puentes colgantes, atirantados y concreto reforzado; varillas y mallas electro soldadas para el concreto reforzado; láminas plegadas usadas para techos y pisos.

## **2.7.6 Perfiles estructurales**

Conjunto de elementos resistentes, convenientemente vinculados entre sí, que accionan y reaccionan bajo los efectos de las cargas. Su finalidad es resistir y transmitir las cargas a los apoyos manteniendo el espacio arquitectónico, sin sufrir deformaciones incompatibles.

Para la construcción de estructuras metálicas y obras públicas, se obtiene a través de la laminación de acero en una serie de perfiles normalizados.

Las clasificaciones normalizadas de aceros como la AISI<sup>7</sup>, ASTM<sup>8</sup> y establecen valores mínimos o máximos para cada tipo de elemento.

Estos se agregan para obtener unas características determinadas como templabilidad, resistencia mecánica, dureza, tenacidad, resistencia al desgaste, soldabilidad o maquinabilidad, entre otras.

### **2.7.6.1 Tipos y formas de los perfiles estructurales**

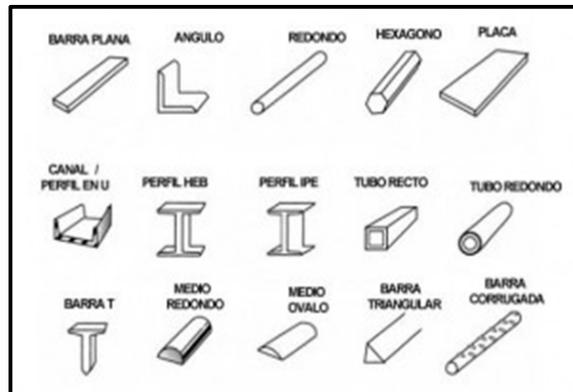
El acero estructural puede laminarse en forma económica en una gran variedad de formas y tamaños sin cambios apreciables en sus propiedades físicas.

Generalmente los miembros estructurales más convenientes son aquellos con grandes momentos de inercia en relación con sus áreas, y son designados por la forma de sus secciones transversales. Por ejemplo, se tienen perfiles en ángulo, tés, zetas, C, U, omega, G, y placas.

---

<sup>7</sup> American Iron and Steel Institute (Instituto americano del hierro y el acero)

<sup>8</sup> American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)



**Figura 2.22:** Perfiles estructurales

**Fuente:** [http://sistestructura6.blogspot.com/2013/06/normas-tecnicas-complementarias-para\\_12.html](http://sistestructura6.blogspot.com/2013/06/normas-tecnicas-complementarias-para_12.html)

### 2.7.6.1.1 Perfil tipo L o Ángulo



**Figura 2.23:** Ángulos

**Fuente:** <http://www.solostocks.com./perfiles-estructurales-angulos-811438>

Los perfiles L se conocen como angulares, formado por 2 lados llamados alas, estos pueden ser con lados iguales y desiguales. La designación L 30x30x3 indica un ángulo de 30mm x 30mm x 3mm de espesor. Se utilizan en conexiones, carpintería metálica, etc. (ANEXO B)

### 2.7.6.1.2 Tubo rectangular



**Figura 2.24:** Tubo rectangular

**Fuente:** [http://www.metaza.com.co/productos-y-servicios/tubo rectangular](http://www.metaza.com.co/productos-y-servicios/tubo%20rectangular)

Se utilizan en todo tipo de elementos estructurales como columnas, vigas, cerchas, etc., su esfuerzo de fluencia es  $F_y = 3.515 \text{ Kg } +/\text{cm}^2$ ,  $F_b = 0.72 \times F_y$ . (ANEXO C)

### 2.7.6.1.3 Tubo redondo



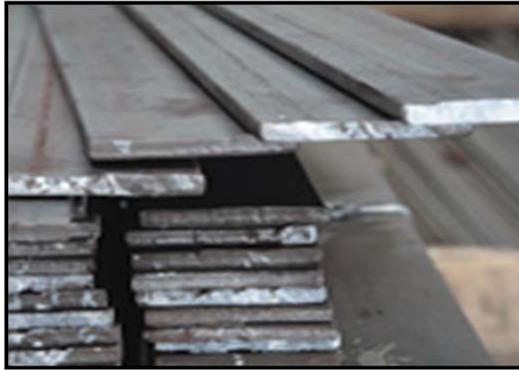
**Figura 2.25:** Tubo redondo

**Fuente:** [http://www.metaza.com.co/productos-y-servicios/tubo redondo](http://www.metaza.com.co/productos-y-servicios/tubo%20redondo)

Por su forma cerrada y bajo peso presentan un mejor comportamiento a esfuerzos de torsión y resistencia al pandeo. Esfuerzo de fluencia es  $F_y = 3.515$

Kg  $+/\text{cm}^2$ , Flexión  $F6 = 0.72 \times Fy$ . Recomendado como columnas, por soportar grandes cargas axiales.

#### 2.7.6.1.4 Platinas



**Figura 2.26:** Platinas

**Fuente:** <http://www.metaza.com.co/productos-y-servicios/platinas>

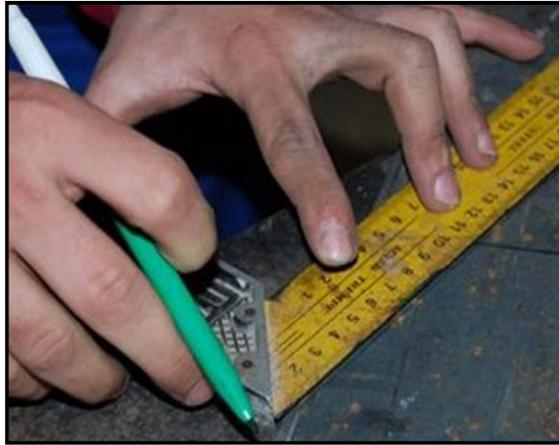
Se utilizan para múltiples propósitos dentro del sector metal-mecánico, cerrajería ornamental, manufactura de muebles, carrocerías vehiculares, herramientas manuales y trabajos de carpintería metálica en general. Fabricadas en largo estándar de 6 metros y sus longitudes especiales bajo pedido.

## 2.8 Definiciones de procesos de fabricación

### 2.8.1 Medición y trazado

**Medir.-** Es la operación por la cual se compara en magnitud una parte de la otra, con el fin de conocer cuánto vale una magnitud con exactitud según la implementación de los instrumentos empleados para dicha etapa del proceso de construcción.

**Trazado.-** El objetivo de esta técnica consiste en medir exactamente el material y hacer un trazado perfecto para luego realizar y obtener un corte preciso del mismo.



**Figura 2.27:** Medición y tazado del perfil

**Fuente:** [http://bricolaje.facilísimo.com/herramientas-de-medicion\\_183309.html](http://bricolaje.facilísimo.com/herramientas-de-medicion_183309.html)

#### 2.8.1.1 Herramientas para medir y trazar

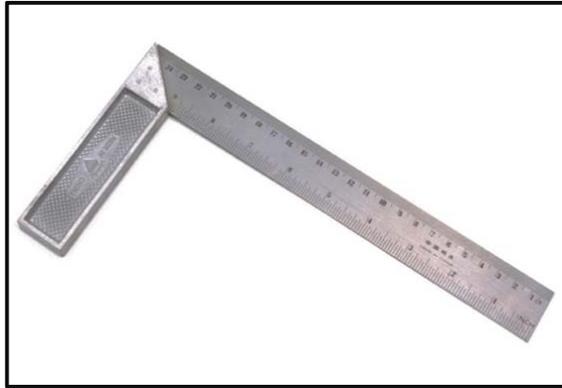
- **Flexo metro (metro).** Tiene gran exactitud y vale para tomar todo tipo de medidas.



**Figura 2.28:** Metro

**Fuente:** <http://tecno147.blogspot.com/2010/12/metro.html>

- **Escuadra.** Su función es comprobar, marcar o trazar ángulos y líneas rectas. Tiene un ángulo fijo entre dos superficies planas ( $90^\circ$ ).



**Figura 2.29:** Escuadra

**Fuente:** <http://tecno147.blogspot.com/2010/12/escuadra.html>

- **Nivel.** El nivel sirve para medir la horizontalidad o verticalidad de un elemento. Es una herramienta que no puede faltar ya que se utiliza constantemente.



**Figura 2.30:** Nivel

**Fuente:** [Www.amig.es/es/nivel-mod-247/g](http://www.amig.es/es/nivel-mod-247/g)

- **Calibrador Pie de Rey.** El calibrador pie de rey es un instrumento para medir con precisión elementos pequeños como: tornillos, orificios, pequeños objetos, etc. La precisión de esta herramienta llega a la décima e incluso a la media décima de milímetro.



**Figura 2.31:** Calibrador pie de rey

**Fuente:** [portaleso.com/usuarios/Toni/web-medición](http://portaleso.com/usuarios/Toni/web-medición)

### 2.8.2 Corte

El método de corte más apropiado es el de corte con disco abrasivo, ya que es el que provoca la menor cantidad de daños en relación con el tiempo de la operación.



**Figura 2.32:** Corte de material

**Fuente:** <http://hitachifeseppsa.blogspot.com/2010/12/imagenes-mas-que-palabras.html>

### 2.8.3 Esmerilado

Consiste en la eliminación del material mediante la utilización de partículas de abrasivos fijadas a un disco que tiene movimiento rotacional, estas partículas extraen virutas del material en el que se está trabajando.



**Figura 2.33:** Esmerilado de material

**Fuente:** <http://hitachifeseppsa.blogspot.com/2010/12/imagenes-mas-que-palabras.html>

## 2.8.4 Soldadura

La operación de soldadura tiene como propósito unir dos o varios metales para formar un cuerpo continuo, para realizar este proceso es necesario producir calor a través del paso de una corriente eléctrica que genera un arco entre el electrodo y la pieza, alcanzando una temperatura que varía entre 4000 y 5000 °C. Existen dos tipos de soldadura:

- **Homogénea.** La cual se realiza cuando el metal de aporte es igual al metal de base.
- **Heterogénea.** Cuando el metal de aporte es diferente al metal de base.



**Figura 2.34:** Soldado de material

**Fuente:** <http://hitachifeseppsa.blogspot.com/2010/12/imagenes-mas-que-palabras.html>

### 2.8.4.1 Electrodo

Son varillas metálicas en su centro a la que se denomina núcleo, generalmente de forma cilíndrica recubierta de sustancias no metálicas con composiciones químicas que pueden ser variadas según las características que se necesiten ( ANEXO D).

Todos los electrodos tienen una designación y medidas diferentes en su diámetro, lo que varía según el uso que se necesite unir.

**Tabla 2.8:** Tipos de electrodos

ELECTRODO	DIAMETRO	
6011		
6013		
7018		3/32"
INOXIDABLE		1/8"
REGARGUE DURO		5/32"
ALUMINIO		3/16"
6012		
8018		

**Fuente:** Catálogo soldadura DIPAC

La designación de los electrodos es dada por la A.W.S y A.S.M.E (Sociedad Americana de Soldadura y Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos) generalmente por el tipo de revestimiento de los electrodos ya que la varilla metálica suele ser la misma de acero al carbón con un porcentaje de 0,08-0,12%C.

En los electrodos usados para soldar hierro dulce, la A.W.S ha designado 4 o 5 dígitos a los que se les antepone la letra E cuyo significado indica a un electrodo para soldar por arco.

Los números que siguen a la **E** denominan lo siguiente:

<u>E</u>	<u>XX</u>	<u>X</u>	<u>X</u>
A	B	C	D

- A. Prefijo de electrodo para soldar por arco.
- B. Resistencia a la tracción mínima del depósito expresada en miles libras por pulgada cuadrada (lbs/plg<sup>2</sup>).
- C. Posición de soldar, ya sea:
  - 0) Posiciones plana y horizontal
  - 1) Todas las posiciones
- D. Tipo de revestimiento y corriente eléctrica



**Figura 2.35:** Electrodos

**Fuente:** [Indura.net/productos\\_detalle.asp](http://Indura.net/productos_detalle.asp)

**Tabla 2.9:** Tipo de revestimiento y corriente eléctrica

CIFRA	REVESTIMIENTO	CORRIENTE ELÉCTRICA	PENETRACIÓN
0	Celulósico sódico	CC	Profunda
1	Celulósico potásico	CA – CC	Profunda
2	Rutílico sódico	CA – CC	Mediana
3	Rutílico potásico	CA – CC	Ligera
4	Rutílico + Hierro en polvo	CA – CC	Ligera
5	Bajo hidrógeno sódico	CC	Mediana
6	Bajo hidrógeno potásico	CA – CC	Mediana
7	Mineral + Hierro en polvo	CA – CC	Mediana
8	Bajo hidrógeno + Hierro en polvo	CA – CC	Mediana

**Fuente:** Clasificación e identidad de los electrodos

La elección del electrodo y corriente adecuada garantiza una unión perfecta, resistente y duradera evitando deformaciones posteriores.

## 2.8.5 Pintado

Es el proceso final de la construcción donde se le da un acabado, con el objetivo de cuidar la estructura de los ataques de la oxidación producida por el ambiente.

### 2.8.5.1 Pintura anticorrosiva

La pintura anticorrosiva es una base o primera capa de imprimación de pintura que se ha de dar a una superficie, que se aplica directamente a los cuerpos de acero, y otros metales. Para ello puede usarse un proceso de inmersión o de aspersión. Éste tiene el propósito principal de inhibir la oxidación del material, y secundariamente el de proporcionar una superficie que ofrezca las condiciones propicias para ser pintada con otros acabados, esmaltes y lustres coloridos. Su función es, principalmente la de evitar la degradación del hierro.



**Figura 2.36:** Corrosión

**Fuente:** <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Corrosion.jpg>

#### 2.8.5.1.1 Pintado final

El acabado superficial o pintado final, ayuda al anticorrosivo a prevenir la oxidación del metal pero además nos da una señal de alerta por lo llamativo de su color, en este caso el amarillo, facilitando su visibilidad y como señal de alerta a los operarios para evitar de esta manera accidentes laborales.



**Figura 2.37:** Proceso de pintado

**Fuente:** Luis Villagómez- Autor

El pintado se debe realizar lo más uniforme posible para evitar una mala presentación en el producto final y de esta manera también se economiza al gastar una menor cantidad de pintura.

### **2.8.6 Normas de seguridad**

Para la realización de todo proyecto de construcción es necesario y en cierto grado obligatorio usar un equipo de seguridad que cuide la integridad física del operario.

- Una adecuada vestimenta ayuda mucho en la seguridad e higiene en el proceso de trabajo, la ropa adecuada evita quemaduras y cortes, esta debe ser de una tela gruesa y de preferencia anti flama.
- Los guantes de cuero por tener mayor resistencia al calor se los utiliza en el proceso de la soldadura, evitando quemaduras y cortes con las aristas del material a trabajar.
- Los zapatos son muy importantes ya que previene de golpes fuertes por el descuido o por la mala fortuna del operario. Los zapatos adecuados para el trabajo en talleres son los que en su punta tienen acero que resiste a los golpes y recubiertos de cuero para aislar de la electricidad, calor evitando quemaduras.

- Las gafas están diseñadas para proporcionar una mayor protección ocular. Cuentan con lentes y armazones mucho más fuertes que los anteojos comunes, las gafas de seguridad proporcionan protección en circunstancias de trabajo donde hay polvo, astillas o partículas flotantes.



**Figura 2.38:** Equipo de protección personal

**Fuente:** Microsoft Encarta 2011

## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO DEL TEMA**

#### **3.1 Preliminares**

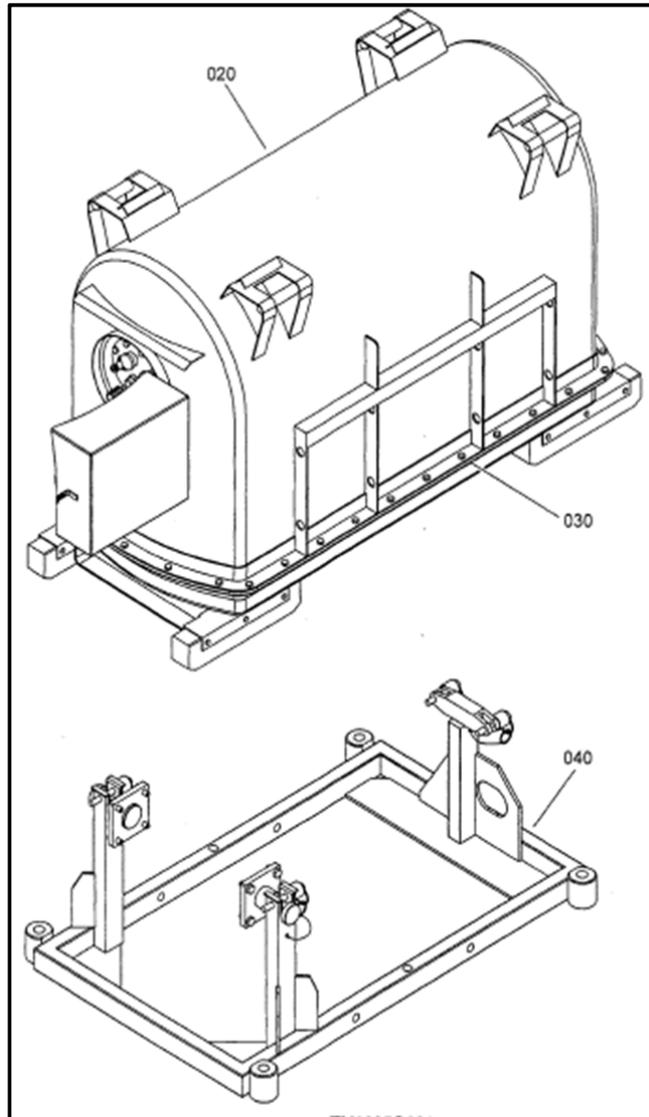
En la actualidad el Escuadrón de Mantenimiento No. 2221 dispone de diferentes herramientas y equipos de apoyo aptos para la realización de actividades y procesos de mantenimiento en sus aeronaves, pero en ciertos componentes no cuenta con un número suficiente de equipos de apoyo o a su vez estos son provisionales e improvisados y no brindan suficientes seguridades para el manejo de dichos componentes.

Por ende el proyecto **“CONSTRUCCIÓN DE UN MONTANTE PARA DESMONTAJE, TRASLADO, INSTALACIÓN O ALMACENAMIENTO DEL MOTOR TURBOMECA TM 333 2B2 DE LOS HELICÓPTEROS DHRUV EN EL ALA DE COMBATE NO. 22 DE LA FAE”**, espera contribuir con un equipo de apoyo para el motor, facilitando su transporte, almacenamiento y previniendo que el motor y sus componentes sufra golpes y/o caídas durante su manipulación ya que podrían afectar su vida útil.

#### **3.2 Planteamiento y análisis de alternativas**

Para la selección de las alternativas para desarrollar el trabajo, se planteó dos opciones de montantes para el motor Turbomeca TM 333 2B2 del helicóptero Dhruv, siendo las siguientes:

**Opción N° 01: Contenedor metálico**



**Figura 3.1:** Contenedor metálico

**Fuente:** engine-maint tools catalogue/Technical manual

Recipiente metálico de forma rectangular de gran tamaño con la cual mantiene al motor en una posición estable y asegurado, facilitando su almacenamiento y protección de todos sus componentes.

**Cuadro 3.1:** Características de la Opción No 1

<b>Tipo de soporte</b>	<b>Características</b>
<b>Contenedor metálico</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Base rectangular</li><li>• Cuatro puntos de sujeción</li><li>• Carcasa de gran tamaño</li><li>• Protege todos los componentes</li><li>• Almacenamiento al vacío</li></ul>

**Fuente:** engine-maint tools catalogue/Technical manual

**Opción N° 02:** Montante para movilización



**Figura 3.2:** Montante transportador

**Fuente:** Ala de Combate No 22

Herramienta con la cual mantiene al motor en una posición estable y asegurado, facilitando su almacenamiento y movilización dentro del hangar, teniendo una mejor organización al momento de instalar el motor en el helicóptero, cuidando así la vida útil de los componentes, que podría ser perjudicado con alguna caída o golpe.

**Cuadro 3.2:** Características de la Opción No 2

Tipo de soporte	Características
<b>Montante para movilización</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Base rígida cuadrada</li> <li>• Ruedas fijas y giratorias.</li> <li>• Estructura hecha con ángulos y material de resistencia estructural elevada.</li> </ul>

**Fuente:** engine-maint tools catalogue/Technical manual

**Cuadro 3.3:** Factores de construcción para las dos opciones

	FACTOR	VENTAJAS/DESVENTAJAS
<b>Contenedor metálico</b>	Tiempo de construcción	Mayor tiempo
	Seguridad	Mantiene estable y asegurado el motor
	costo	Complejidad en construirlo
<b>Montante transportador</b>	Tiempo de construcción	Menor tiempo
	Seguridad	La base lo hace más estable, seguro y fácil de movilizarlo.
	costo	Facilidad de material.

**Fuente:** Investigación de campo

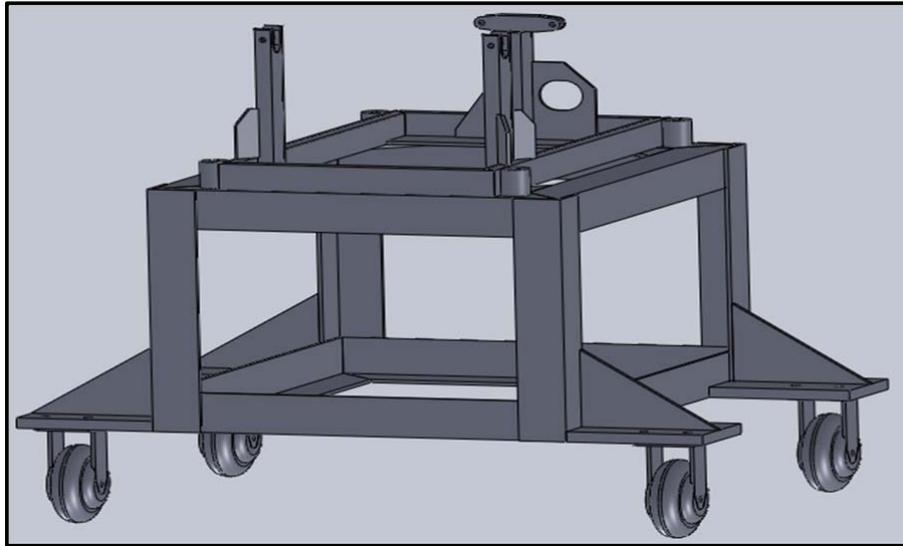
### 3.2.1 Selección de la mejor opción planteada

Después de haber planteado las opciones anteriores se comprobó que existe una gran diferencia entre ambas, por lo cual se puede plantear que la alternativa más idónea es la opción N° 02, siendo la más segura, económica y sencilla en su construcción beneficiando así el proceso de traslado del motor y disminuyendo cualquier tipo de accidentes.

Una vez revisado y analizado las dos opciones del montante para el motor Turbomeca TM 333 2B2, y haber examinado varios factores se tomó como opción

idónea la del montante para movilización, por su buen desempeño, costo y tiempo en construcción.

Por lo expuesto el investigador construyó mencionado montante con la finalidad de almacenar, trasladar, ayudar con la organización al momento de instalar o desinstalar los componentes del motor del Helicóptero Dhruv.



**Figura 3.3:** Modelado del montante seleccionado

**Fuente:** Investigación de campo-Solidworks 2010

### **3.3 Análisis de la estructura seleccionada**

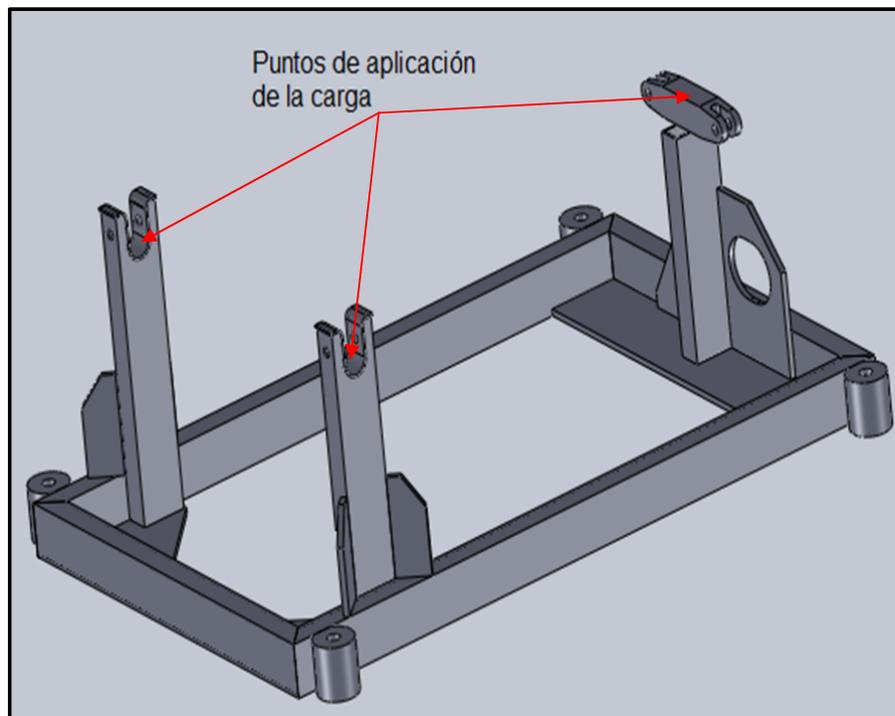
Se hace un análisis de las partes críticas de la estructura del montante, para determinar que sea apta al momento de soportar el peso del motor para su posterior traslado. Mediante la utilización del software de diseño SolidWorks, el modelo y los elementos que conforman la estructura se estimaron en base a una estructura ya existente diseñada y construida por el fabricante.

Las partes analizadas van a ser, la estructura base inferior del montante, los puntos de sujeción del motor (estructura base superior), esto de acuerdo a las especificaciones del material; calculados con una carga de 167kgf (1636.6N), que es la carga que soportará la estructura al momento de colocar el motor.

### 3.3.1 Análisis de la estructura base superior

Se procedió a realizar un análisis computarizado con la ayuda del software SolidWorks para dibujar la estructura del montante y con la aplicación del Autodesk Simulation hacer el estudio de la estructura y así obtener datos importantes del análisis estructural.

La carga a la cual va ser sometido este proyecto será 167kgf (1636.6N), la misma que es el peso vacío del motor Turbomeca TM 333 2B2.



**Figura 3.4:** Puntos de aplicación de la carga

**Fuente:** Investigación de campo - Solidworks 2010

Esta fuerza de 1636 N, está distribuida para los tres puntos de sujeción del motor siendo la fuerza total a soportar por cada punto de 545 N.

**Tabla 3.1:** Propiedades del material y sus características base superior

<b>Nº</b>	<b>Nombre de sólido</b>	<b>Material</b>	<b>Masa</b>	<b>Volumen</b>
1	Acople perforado 4.45 cm x 5.8 cm -1	ASTM A36 Acero	0.548933 kg	6.99278e-005 m <sup>3</sup>
2	acoples perforados 4.45 cm x 5.8cm -2	ASTM A36 Acero	0.548933 kg	6.99278e-005 m <sup>3</sup>
3	acoples perforados 4.45 cm x 5.8cm -3	ASTM A36 Acero	0.548933 kg	6.99278e-005 m <sup>3</sup>
4	acoples perforados 4.45 cm x 5.8cm -4	ASTM A36 Acero	0.548933 kg	6.99278e-005 m <sup>3</sup>
5	ensamblaje tubo frontal-1/asiento tubo rt-1	ASTM A36 Acero	0.0553591 kg	7.05211e-006 m <sup>3</sup>
6	ensamblaje tubo frontal-1/tubo rt front 29.2-1	ASTM A36 Acero	0.763229 kg	9.72266e-005 m <sup>3</sup>
7	ensamblaje tubo frontal-2/asiento tubo rt-1	ASTM A36 Acero	0.0553591 kg	7.05211e-006 m <sup>3</sup>
8	ensamblaje tubo frontal-2/tubo rt front 29.2-1	ASTM A36 Acero	0.763229 kg	9.72266e-005 m <sup>3</sup>
9	nervios-1	ASTM A36 Acero	0.162752 kg	2.07327e-005 m <sup>3</sup>
10	nervios-2	ASTM A36 Acero	0.162752 kg	2.07327e-005 m <sup>3</sup>
11	nervios-3	ASTM A36 Acero	0.162752 kg	2.07327e-005 m <sup>3</sup>
12	nervios-5	ASTM A36 Acero	0.162752 kg	2.07327e-005 m <sup>3</sup>
13	plancha de 13cm x 13cm -1	ASTM A36 Acero	0.567638 kg	7.23106e-005 m <sup>3</sup>
14	plancha de 13cm x 13cm -2	ASTM A36 Acero	0.567638 kg	7.23106e-005 m <sup>3</sup>
15	plancha de 39.12 cm x 8cm x e= 6.35	ASTM A36 Acero	1.56003 kg	0.00019873 m <sup>3</sup>
16	plancha rear mount 15cm x 10cm	ASTM A36 Acero	0.461712 kg	5.88169e-005 m <sup>3</sup>
17	plancha rear mount 15 x 15 perforada	ASTM A36 Acero	0.519008 kg	6.61157e-005 m <sup>3</sup>
18	soporte rear	ASTM A36 Acero	0.600844 kg	7.65407e-005 m <sup>3</sup>
19	tubo rt 44.2 cm-1	ASTM A36 Acero	1.16423 kg	0.00014831 m <sup>3</sup>
20	tubo rt 44.2 cm-2	ASTM A36 Acero	1.16423 kg	0.00014831 m <sup>3</sup>
21	tubo rt 75.5-3	ASTM A36 Acero	2.03894 kg	0.000259738 m <sup>3</sup>
22	tubo rt 75.5-4	ASTM A36 Acero	2.03894 kg	0.000259738 m <sup>3</sup>
23	tubo rt rear mount 21.2 cm-1	ASTM A36 Acero	0.592455 kg	7.5472e-005 m <sup>3</sup>

<b>Nombre de material:</b>	ASTM A36 Acero
<b>Tipo de modelo del material:</b>	Isotrópico elástico lineal
<b>Criterio de error predeterminado:</b>	Tensión máxima de von Mises

<b>Nombre de propiedad</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>	<b>Tipo de valor</b>
Módulo elástico	2e+011	N/m <sup>2</sup>	Constante
Coefficiente de Poisson	0.26	NA	Constante
Módulo cortante	7.93e+010	N/m <sup>2</sup>	Constante
Densidad	7850	kg/m <sup>3</sup>	Constante
Límite de tracción	4e+008	N/m <sup>2</sup>	Constante
Límite elástico	2.5e+008	N/m <sup>2</sup>	Constante

**Fuente:** Investigación de campo - Solidworks 2010

Se han de indicar las restricciones y cargas a que estará sometido el elemento mecánico, así como las cargas con punto de aplicación, distribución, valor, etc.

**Tabla 3.2:** Restricciones de la estructura base superior

<b>Nombre de restricción</b>	<b>Conjunto de selecciones</b>
fijo-1 <acople perforado 4.45 cm x 5.8Ccm -1, acople perforado 4.45 cm x 5.8cm -2, acoples perforados 4.45 cm x 5.8cm -3, acoples perforados 4.45 cm x 5.8cm-4>	Activar 4 Cara(s) fijo.

**Fuente:** Investigación de campo - Solidworks 2010

**Tabla 3.3:** Cargas de la estructura base superior

<b>Nombre de carga</b>	<b>Conjunto de selecciones</b>	<b>Tipo de carga</b>
Fuerza-1 <ensamblaje tubo frontal-2/asiento tubo rt-1, ensamblaje tubo frontal-1/asiento tubo rt-1, soporte rear-1>	activar 3 Cara(s) aplicar fuerza normal 545 N utilizando distribución uniforme	Carga secuencial

**Fuente:** Investigación de campo - Solidworks 2010

Se define las características del estudio que se llevara a cabo:

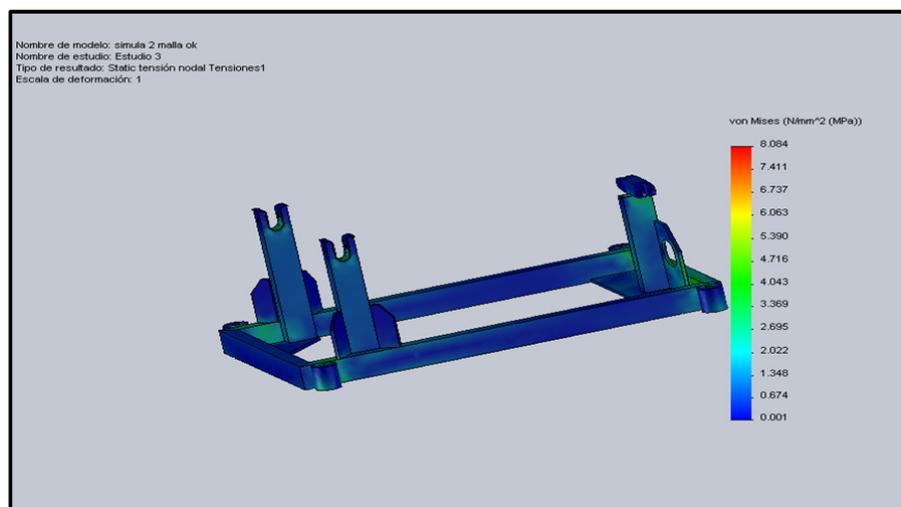
**Tabla 3.4:** Información de la malla para la estructura base superior

Tipo de malla:	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Transición automática:	Desactivar
Superficie suave:	Activar
Verificación jacobiana:	4 Points
Tamaño de elementos:	0 cm
Tolerancia:	0 cm
Calidad:	Alta
Número de elementos:	8432
Número de nodos:	16320
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:06
Nombre de computadora:	KAMILOSOFT

**Fuente:** Investigación de campo - Solidworks 2010

### 3.3.1.1 Resultados de esfuerzos de estructura base superior

Se analizaran los esfuerzos a que está sometido, siguiendo el criterio de Von Mises, se obtienen los resultados analíticamente y gráficamente.



**Figura 3.5:** Estudio de tensiones (estructura base superior)

**Fuente:** Investigación de campo - Solidworks 2010

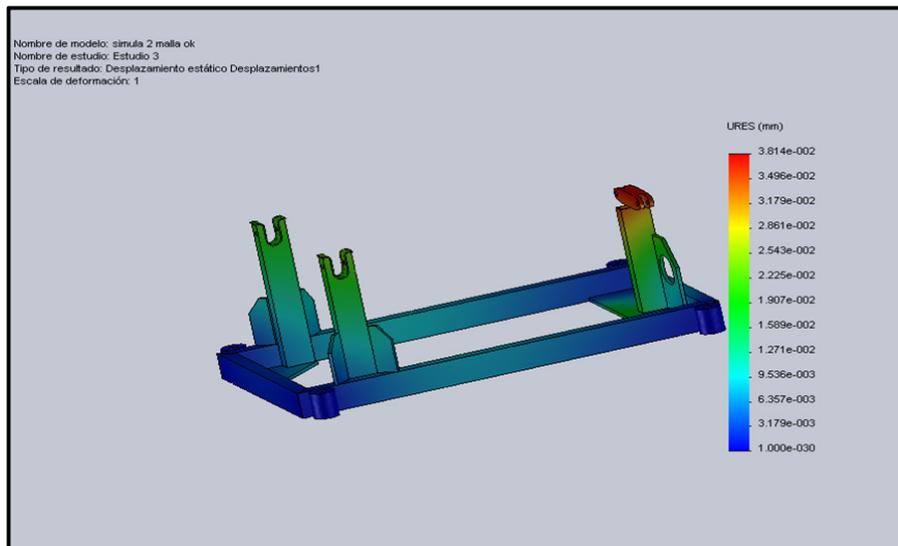
**Tabla 3.5:** Resultados de tensiones de la estructura base superior

Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0.000710611 N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nodo: 10702	(-13.103 cm, -19.0409 cm, 28.5617 cm)	8.0843 N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nodo: 15723	(-78.1192 cm, 3.29534 cm, 44.075 cm)

**Fuente:** Investigación de campo - Solidworks 2010

### 3.3.1.2 El desplazamiento resultante (URES) de la estructura base superior

Se obtiene como combinación de los desplazamientos las tres direcciones X,Y,Z.



**Figura 3.6:** Estudio de desplazamiento (estructura base superior)

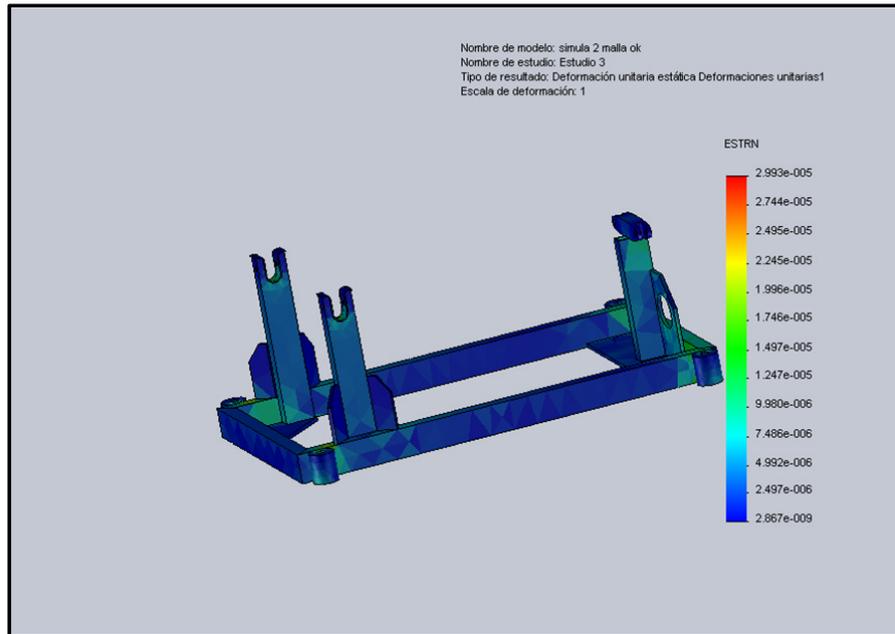
**Fuente:** Investigación de campo - Solidworks 2010

**Tabla 3.6:** Resultado de desplazamiento de la estructura base superior

Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo : 3	(-9.15988 cm, 3.42033 cm, 44.2 cm)	0.0381 435 mm Nodo: 10563	(-13.1034 cm, -21.4132 cm, 25.25 cm)

**Fuente:** Investigación de campo - Solidworks 2010

### 3.3.1.3 Resultados de deformación estructura base superior



**Figura 3.7:** Estudio de deformaciones (estructura base superior)

**Fuente:** Investigación de campo - Solidworks 2010

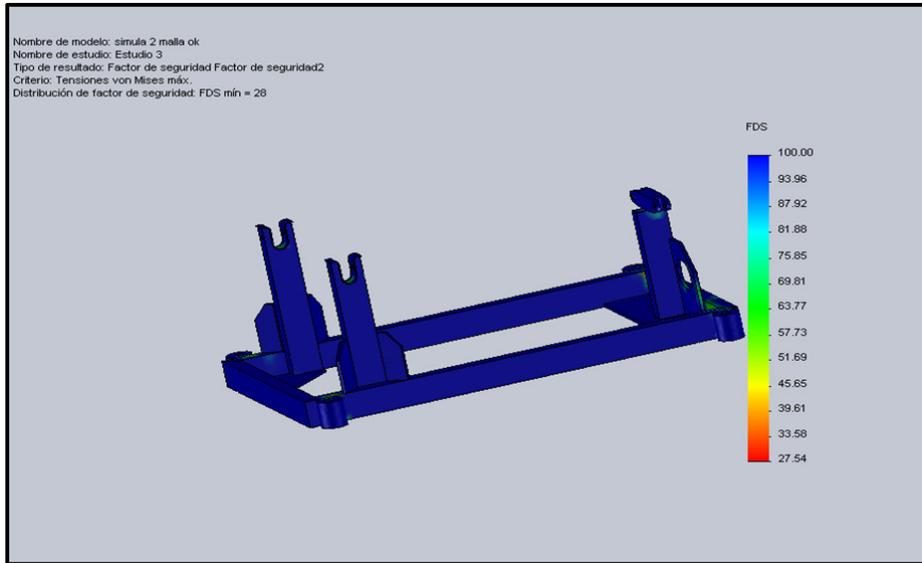
**Tabla 3.7:** Resultado de deformaciones de la estructura base superior

Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	2.86745e-009 Elemento: 5534	(-12.7176 cm, -19.6415 cm, 15.5931 cm)	2.99349e-005 Elemento: 6857	(-78.6786 cm, 3.04034 cm, 0.0625032 cm)

**Fuente:** Investigación de campo - Solidworks 2010

### 3.3.1.4 Resultados de verificación de diseño estructura base superior

Donde gráficamente, se puede comprobar el factor de seguridad de cada una de las zonas de la estructura, advirtiendo los puntos críticos.



**Figura 3.8:** Distribución del factor de seguridad (estructura base superior)

**Fuente:** Investigación de campo - Solidworks 2010

### 3.3.1.5 Cálculo manual del factor de seguridad para la estructura base superior

Si se tiene que evitar una falla estructural, las cargas que una estructura es capaz de soportar deben ser mayores que las cargas a las que se va a someter cuando este en servicio. Como la resistencia es la capacidad de una estructura para resistir cargas, el criterio anterior se puede replantear como sigue; la resistencia real de una estructura debe ser mayor que la resistencia requerida. La relación de la resistencia real entre la resistencia requerida se llama factor de seguridad  $n$ :

$$\text{factor seguridad } (n) = \frac{\text{resistencia real}}{\text{resistencia requerida}}$$

Se calcula el factor seguridad con el valor máximo dado y con el valor del esfuerzo del material 36ksi (248MPa)

$$n = \frac{s_y}{s_c}$$

Dónde:

Sy = esfuerzo del material

Sc = valor máximo dado

$$n = \frac{248}{8.0843}$$

**Factor de seguridad = 30**

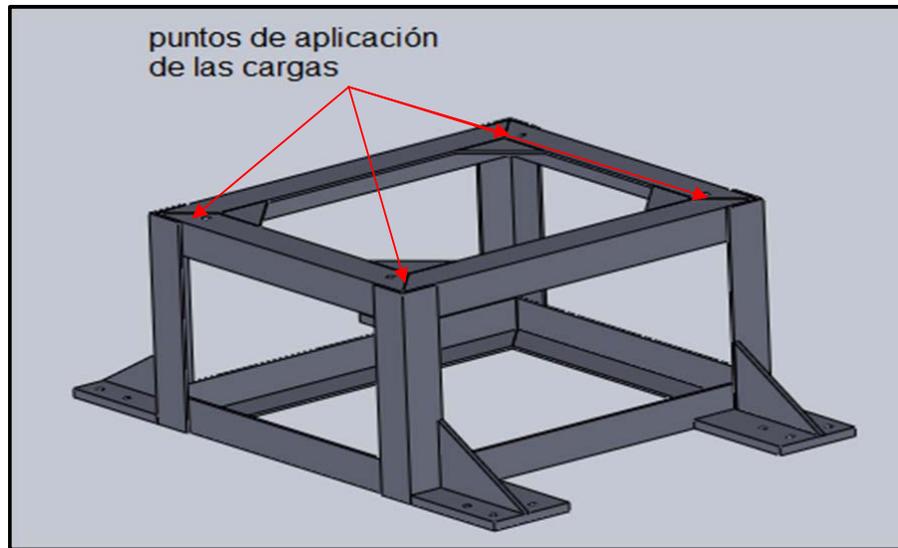
Naturalmente, el factor de seguridad debe ser mayor que 1.0 para evitar falla. Dependiendo de las circunstancias, los factores de seguridad varían desde un poco más que 1.0 hasta 10.

Con la simulación realizada se adquirió un FS= 30 al usar el acero A36 y al aplicar 1636N de fuerza. Se obtuvo también un  $\sigma_{\max} = 8.0843\text{MPa}$ , que indica que el acero es adecuado ya que resiste 36 ksi (248MPa).

#### **3.3.1.6 Análisis de la estructura base inferior**

Luego del análisis y estudio de la estructura base superior, y la comprobación estructural, se procede a realizar el análisis y estudio de la estructura base inferior con el fin de completar el estudio total de la estructura del montante.

De la misma manera la estructura base inferior estará sometida a la carga de 167kgf (1636.6N).



**Figura 3.9:** Puntos de aplicación de la carga

**Fuente:** Investigación de campo - Solidworks 2010

La fuerza de 1636 N, está distribuida para los cuatro puntos donde está sentado la estructura base superior siendo la fuerza total a soportar por cada punto 409 N.

**Tabla 3.8:** Propiedades del material y sus características base inferior

Nº	Nombre de sólido	Material	Masa	Volumen
1	ángulo 47 cm-1	ASTM A36 Acero	3.42171 kg	0.000435886 m <sup>3</sup>
2	ángulo 47 cm-2	ASTM A36 Acero	3.42171 kg	0.000435886 m <sup>3</sup>
3	ángulo 47 cm-3	ASTM A36 Acero	3.42171 kg	0.000435886 m <sup>3</sup>
4	ángulo 47 cm-4	ASTM A36 Acero	3.42171 kg	0.000435886 m <sup>3</sup>
5	ángulo 65 cm a 45°-3	ASTM A36 Acero	4.4206 kg	0.000563134 m <sup>3</sup>
6	ángulo 65 cm a 45°-4	ASTM A36 Acero	4.4206 kg	0.000563134 m <sup>3</sup>
7	ángulo 78 cm-3	ASTM A36 Acero	5.36703 kg	0.000683698 m <sup>3</sup>
8	ángulo 78 cm-4	ASTM A36 Acero	5.36703 kg	0.000683698 m <sup>3</sup>
9	ensamblaje tapa superior-1/ángulo 65 superior-1	ASTM A36 Acero	4.40525 kg	0.000561179 m <sup>3</sup>
10	ensamblaje tapa superior-1/ángulo 65 superior-2	ASTM A36 Acero	4.40525 kg	0.000561179 m <sup>3</sup>

11	ensamblaje tapa superior-1/ángulo 78 superior-1	ASTM A36 Acero	5.36703 kg	0.000683698 m <sup>3</sup>
12	ensamblaje tapa superior-1/ángulo 78 superior-2	ASTM A36 Acero	5.36703 kg	0.000683698 m <sup>3</sup>
13	nervio 220 x 150-1	ASTM A36 Acero	1.29525 kg	0.000165 m <sup>3</sup>
14	nervio 220 x 150-2	ASTM A36 Acero	1.29525 kg	0.000165 m <sup>3</sup>
15	nervio 220 x 150-3	ASTM A36 Acero	1.29525 kg	0.000165 m <sup>3</sup>
16	nervio 220 x 150-4	ASTM A36 Acero	1.29525 kg	0.000165 m <sup>3</sup>
17	nervio esquinero 6 inch-1	ASTM A36 Acero	0.289437 kg	3.68709e-005 m <sup>3</sup>
18	nervio esquinero 6 inch-2	ASTM A36 Acero	0.289437 kg	3.68709e-005 m <sup>3</sup>
19	nervio esquinero 6 inch-3	ASTM A36 Acero	0.289437 kg	3.68709e-005 m <sup>3</sup>
20	nervio esquinero 6 inch-4	ASTM A36 Acero	0.289437 kg	3.68709e-005 m <sup>3</sup>
21	placa base 225 x 165 x 20 mm-1	ASTM A36 Acero	5.6731 kg	0.000722688 m <sup>3</sup>
22	placa base 225 x 165 x 20 mm-2	ASTM A36 Acero	5.6731 kg	0.000722688 m <sup>3</sup>
23	placa base 225 x 165 x 20 mm-3	ASTM A36 Acero	5.6731 kg	0.000722688 m <sup>3</sup>
24	placa base 225 x 165 x 20 mm-4	ASTM A36 Acero	5.6731 kg	0.000722688 m <sup>3</sup>

<b>Nombre de material:</b>	ASTM A36 Acero
<b>Tipo de modelo del material:</b>	Isotrópico elástico lineal
<b>Criterio de error predeterminado:</b>	Tensión máxima de von Mises

Nombre de propiedad	Valor	Unidades	Tipo de valor
Módulo elástico	2e+011	N/m <sup>2</sup>	Constante
Coefficiente de Poisson	0.26	NA	Constante
Módulo cortante	7.93e+010	N/m <sup>2</sup>	Constante
Densidad	7850	kg/m <sup>3</sup>	Constante
Límite de tracción	4e+008	N/m <sup>2</sup>	Constante
Límite elástico	2.5e+008	N/m <sup>2</sup>	Constante

**Fuente:** Investigación de campo - Solidworks 2010

Se indican las restricciones y cargas a la que va estar sometida la estructura base inferior.

**Tabla 3.9:** Restricciones de la estructura base inferior

Nombre de restricción	Conjunto de selecciones
fijo-1 <placa base 225 x 165 x 20 mm-2, placa base 225 x 165 x 20 mm-4, placa base 225 x 165 x 20 mm-3, placa base 225 x 165 x 20 mm-1>	Activar 4 Cara(s) fijo.

**Fuente:** Investigación de campo - Solidworks 2010

**Tabla 3.10:** Cargas de la estructura base inferior

Nombre de carga	Conjunto de selecciones	Tipo de carga
fuerza-1 <ángulo 47 cm-2, ángulo 47 cm-1, ángulo 47 cm-3, ángulo 47 cm-4>	activar 4 Cara(s) aplicar fuerza normal 409 N utilizando distribución uniforme	Carga secuencial

**Fuente:** Investigación de campo - Solidworks 2010

Se define las características del estudio que se llevara a cabo en la estructura base inferior.

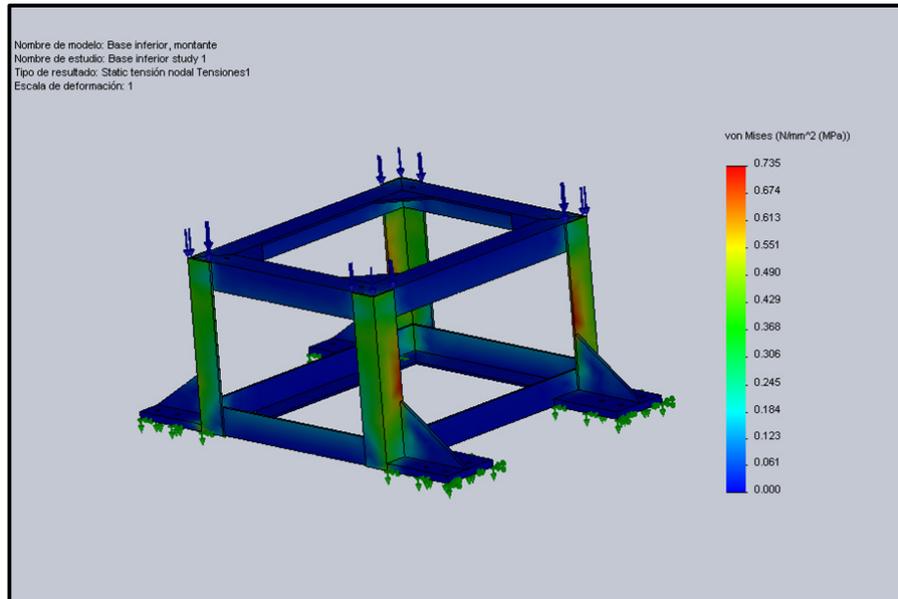
**Tabla 3.11:** Información de la malla para la estructura base inferior

Tipo de malla:	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Transición automática:	Desactivar
Superficie suave:	Activar
Verificación jacobiana:	4 Points
Tamaño de elementos:	0 mm
Tolerancia:	0 mm
Calidad:	Alta
Número de elementos:	7070
Número de nodos:	14371
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:04
Nombre de computadora:	KAMILOSOFT

**Fuente:** Investigación de campo - Solidworks 2010

### 3.3.1.7 Resultados de esfuerzos de la estructura base inferior

De la misma manera se aplica el criterio de Von Mises, para obtener resultados analíticamente y gráficamente.



**Figura 3.10:** Estudio de tensiones (estructura base inferior)

**Fuente:** Investigación de campo - Solidworks 2010

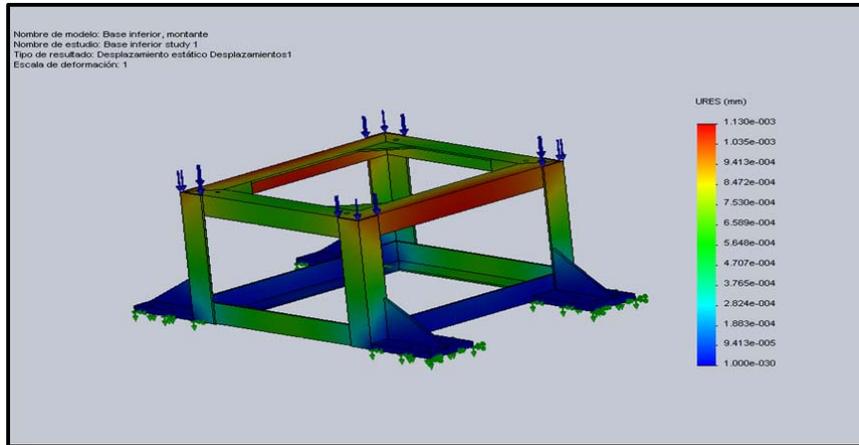
**Tabla 3.12:** Resultados de tensiones de la estructura base inferior

Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	7.91517e- 006 N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nodo: 9052	(-369.846 mm, 587.914 mm, -288.801 mm)	0.735009 N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nodo: 83	(511.503 mm, 400.415 mm, -377.601 mm)

**Fuente:** Investigación de campo - Solidworks 2010

### 3.3.1.8 El desplazamiento resultante (URES) de la estructura base inferior

Se obtiene como combinación de los desplazamientos las tres direcciones X,Y,Z.



**Figura 3.11:** Estudio de desplazamiento (estructura base inferior)

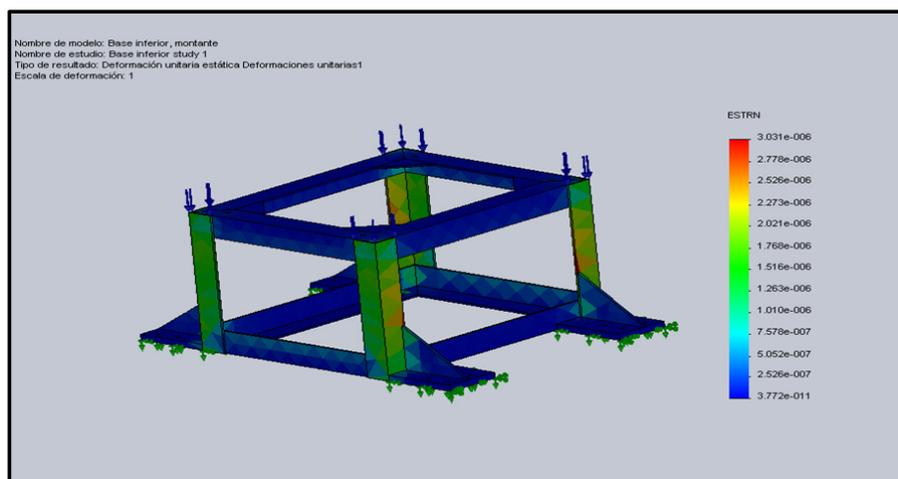
**Fuente:** Investigación de campo - Solidworks 2010

**Tabla 3.13:** Resultado de desplazamiento de la estructura base inferior

Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo : 19	(511.504 mm, 607.914 mm, -453.801 mm)	0.0011 2957 mm Nodo: 5943	(505.154 mm, 214.115 mm, -57.4513 mm)

**Fuente:** Investigación de campo - Solidworks 2010

### 3.3.1.9 Resultados de deformación de la estructura base inferior



**Figura 3.12:** Estudio de deformaciones (estructura base inferior)

**Fuente:** Investigación de campo - Solidworks 2010

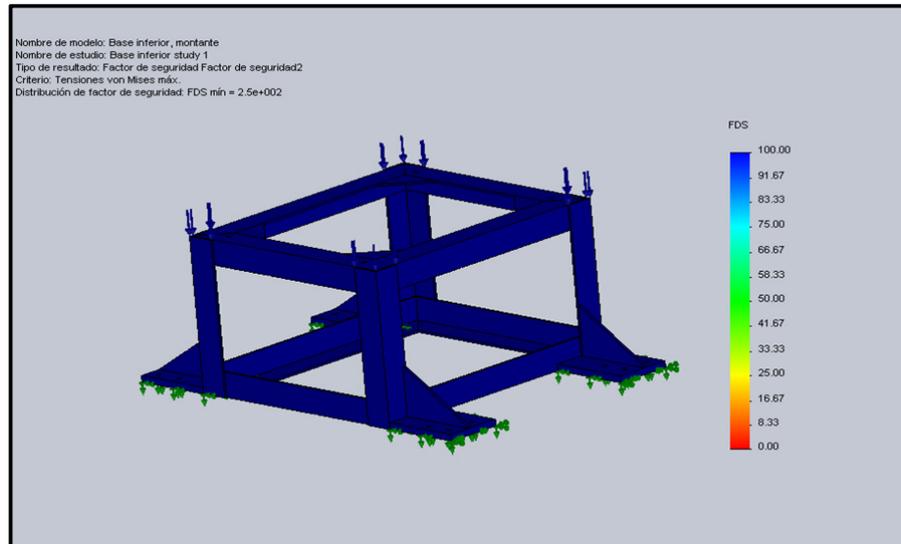
**Tabla 3.14:** Resultado de deformaciones de la estructura base inferior

Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	3.77232e-011 Elemento: 3694	(662.658 mm, 590.314 mm, -296.966 mm)	3.031e-006 Elemento: 98	(509.916 mm, 402.915 mm, -380.101 mm)

**Fuente:** Investigación de campo - Solidworks 2010

### 3.3.1.10 Resultados de verificación de diseño de la estructura base inferior

Gráficamente, se puede comprobar el factor de seguridad de cada una de las zonas de la estructura, advirtiendo los puntos críticos.



**Figura 3.13:** Distribución del factor de seguridad de la (estructura base inferior)

**Fuente:** Investigación de campo - Solidworks 2010

### 3.3.1.11 Cálculo manual del factor de seguridad de la estructura base inferior

De la misma manera que se calculó manualmente el factor de seguridad de la estructura base superior lo hacemos con la estructura base inferior, siendo:

$$\text{factor seguridad } (n) = \frac{\text{resistencia real}}{\text{resistencia requerida}}$$

Debemos obtener el factor seguridad con el valor máximo dado y con el valor del esfuerzo del material 36ksi (248MPa)

$$n = \frac{sy}{sc}$$

Donde:

Sy = esfuerzo del material

Sc = valor máximo dado

$$n = \frac{248}{0.735009}$$

**Factor de seguridad = 337**

Con la simulación realizada adquirimos un FS= 337 al usar el acero A36 y al aplicar 1636N de fuerza. Se tiene también un  $\sigma_{\max} = 0.735009$  MPa, que indica que el acero es adecuado ya que resiste 36 ksi (248MPa).

Se concluye que mediante un estudio, y el análisis respectivo de la estructura del montante con el software solidworks, se obtuvo resultados muy alentadores debido a que el diseño de la estructura soportara el peso del motor y varias cargas adicionales, de esta manera procedemos a la construcción del montante.

### **3.4 Proceso de construcción**

Luego del análisis de las alternativas y con el estudio de los comportamientos estructurales se procede a la adquisición del material y las herramientas faltantes para llevar a cabo la construcción del tema propuesto. Para tal efecto se procede a realizar cotizaciones en diferentes establecimientos dedicados al comercio de dichos productos tomando como proveedor a la mejor opción.



**Figura 3.14:** Fabrica DIPAC

**Fuente:** Luis Villagómez- Autor

Como en el mercado local el material de perfilería se comercializa por unidad y con una longitud de 6 m, se debe cortar a la medida que sea necesario, por ejemplo, el ángulo se compró 2 unidades, siendo un total de 12 m.

Se procede entonces a marcar la distancia donde se realizarían los cortes, midiendo desde el extremo del material hasta la longitud adecuada como muestra la tabla siguiente.

**Tabla 3.15** Medida de ángulos

CANTIDAD	LONGITUD (cm)
4	78
4	65
4	47
2	7.5

**Fuente:** Investigación de campo

### **3.4.1 Orden de construcción**

#### **3.4.1.1 Estructura marco inferior**

Como primer paso, se realizó la medición y trazado de los ángulos, según las medidas especificadas en los planos (ANEXO F).



**Figura 3.15:** Medición y trazado del material

**Fuente:** Luis Villagómez- Autor

Luego de haber medido y trazado se procedió a cortar los ángulos.



**Figura 3.16:** Corte del material

**Fuente:** Luis Villagómez- Autor

Para conformar el marco, mediante la utilización de puntos de suelda se sujetó los ángulos cortados, así cuadramos y verificamos las medidas para posteriormente soldar el marco completamente.



**Figura 3.17:** Soldado del marco inferior

**Fuente:** Luis Villagómez- Autor

### 3.4.1.2 Estructura marco superior

Para conformar esta parte de la estructura, se procede de la misma manera que el paso anterior: medición, trazado y corte del material.



**Figura 3.18:** Medición, trazado y corte del material

**Fuente:** Luis Villagómez- Autor

Luego de las respectivas verificaciones de las medidas, se procede a soldar completamente la estructura marco superior, de la misma manera que se procedió a soldar la estructura marco inferior.



**Figura 3.19:** Soldado del marco superior

**Fuente:** Luis Villagómez- Autor

Al incorporar fuerzas triangulares<sup>9</sup> al marco superior, este proporcionara mayor compactibilidad y rigidez al mismo.



**Figura 3.20:** Soldado de las fuerzas triangulares

**Fuente:** Luis Villagómez- Autor

---

<sup>9</sup> Fuerzas triangulares.- Platina cortada en forma de triángulo de 10 cm X 10 cm y e=6 mm

### 3.4.1.3 Acople de las estructuras marco inferior/superior con las columnas

Para esta parte del montante, se procedió a cortar 4 ángulos de 47 cm. de longitud, los mismos que sirvieron para unir las estructuras del marco superior e inferior, con las respectivas columnas.



**Figura 3.21:** Columnas del montante

**Fuente:** Luis Villagómez- Autor

Se procedió a soldar cada columna con la estructura del marco superior e inferior, formando de esta manera el cubo de la estructura base inferior del montante.



**Figura 3.22:** Cubo de la estructura base del montante

**Fuente:** Luis Villagómez- Autor

#### 3.4.1.4 Proceso de soldado de placas para ruedas industriales

Se procedió a cortar cuatro placas rectangulares del acero ASTM A36 de 22.5 cm x 16.5 cm con un espesor de 2 cm y además se procedió a cortar cuatro placas en forma triangular de 22 cm x 15 cm con 1 cm de espesor.



**Figura 3.23:** Placas para acople de ruedas

**Fuente:** Luis Villagómez- Autor

Las cuatro placas rectangulares se procedió a soldar en cada esquina del cubo de la estructura base inferior del montante



**Figura 3.24:** Soldado de las placas rectangulares

**Fuente:** Luis Villagómez- Autor

Las cuatro placas triangulares se procedió a soldar entre las placas rectangulares y las columnas del cubo de la estructura base inferior del montante.



**Figura 3.25:** Soldado de las placas triangulares

**Fuente:** Luis Villagómez- Autor

Una vez soldadas estas placas se procede a medir, marcar y taladrar los agujeros para la sujeción de las ruedas fijas y móviles.



**Figura 3.26:** Taladrado para sujeción de ruedas

**Fuente:** Luis Villagómez- Autor

### 3.4.1.5 Punto de sujeción para barra de traslado del montante

Para dirigir al montante, se requiere de una barra, la misma que va sujeta a sus respectivos puntos de sujeción.



**Figura 3.27:** Soldado de punto de sujeción para barra de traslado del montante

**Fuente:** Luis Villagómez- Autor

La barra es de tubo redondo con las siguientes dimensiones: diámetro 1 ½" x 75 cm y con un espesor de 2mm; la cual en uno de sus extremos lleva soldado un cilindro macizo de 1 ¾" y L=82 mm, con una perforación de ½" de diámetro. En el otro extremo cuenta con una empuñadura plástica para facilitar su manipulación.



**Figura 3.28:** Barra con empuñadura

**Fuente:** Luis Villagómez- Autor

### 3.4.1.6 Primera capa de pintura a la estructura base inferior del montante

Al culminar con la primera etapa de la construcción del montante se procedió a lijar la misma para aplicar la primera capa de pintura de color gris (fondo), con el propósito de prevenir la corrosión del material.



**Figura 3.29:** Primera capa de pintura a la estructura del montante

**Fuente:** Luis Villagómez- Autor

Se ha concluido con la construcción de la estructura base inferior del montante, ahora se procede a realizar la estructura base superior donde se sujetará el motor Turbomeca TM 333 2B2.

### 3.4.1.7 Estructura de tubo rectangular

Se procede con la medición, trazado y corte de los tubos rectangulares de 1" x 2" x 2.5 mm de espesor.

Para esta base rectangular, se procedió a cortar 2 tubos de 44.2 cm y dos tubos de 75.5 cm, de esta manera se conforma la base rectangular requerida.



**Figura 3.30:** Soldado de la base rectangular

**Fuente:** Luis Villagómez- Autor

Posteriormente se colocó en cada esquina de un extremo dos placas triangulares 13cm x 13cm y  $e=6.35$ , y en el extremo opuesto una placa rectangular de 39cm x 8cm con un espesor de 6.35 cm.



**Figura 3.31:** Corte y unión de las placas a la base rectangular

**Fuente:** Luis Villagómez- Autor

Continuando con esta parte de la estructura se realizó el torneado de cuatro piezas cilíndricas las cuales sirven como soporte y acople entre las dos partes del montante.



**Figura 3.32:** Torneado de piezas cilíndricas

**Fuente:** Luis Villagómez- Autor

Estas piezas cilíndricas se hallan soldadas una en cada esquina de la base rectangular.



**Figura 3.33:** Soldado de las piezas cilíndricas

**Fuente:** Luis Villagómez- Autor

Se realizó la medición, trazado y corte de dos tubos rectangulares 29.2cm x 2.54 cm y 2.5 mm de espesor y un tubo de 21.2cm x 2.54 cm y 2.5mm de espesor, (gráfico 3.38). Los dos primeros constituyen los soportes frontales del motor que van soldados sobre las placas triangulares, y el último es el soporte posterior el cual se encuentra soldado sobre la placa rectangular.



**Figura 3.34:** Soporte frontal y posterior

**Fuente:** Luis Villagómez- Autor

Cabe mencionar que los soportes frontales en su parte superior tiene una muesca en forma de “U” en la cual se desliza y asienta el soporte del motor Turbomeca TM 333 2B2. Esta muesca es atravesada por un agujero de 3/8” de diámetro.



**Figura 3.35:** Muesca “U” del soporte frontal

**Fuente:** Luis Villagómez- Autor

Una vez colocados los soportes frontales, a cada uno de estos se le colocan dos platinas laterales los cuales le dan mayor rigidez. Estas platinas laterales tienen dimensiones de 9.5cm x 3.8cm con 6.35mm de espesor.



**Figura 3.36:** Miembros laterales de soporte frontal

**Fuente:** Luis Villagómez- Autor

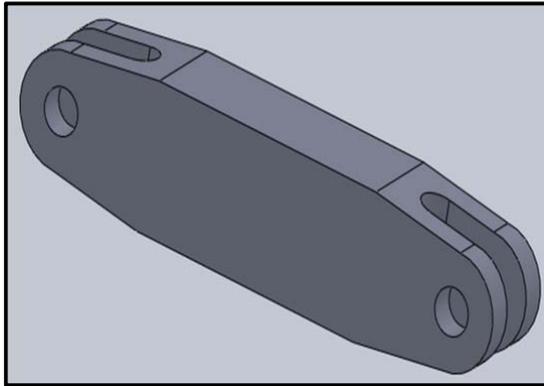
De la misma manera al soporte posterior se colocó dos platinas uno a cada lado, estas platinas tienen diferente forma entre sí, uno de forma triangular con dimensiones 15cm x 10 cm y 6.35mm de espesor; y la otra con dimensiones de 15cm x 10 cm y 6.35mm, además este cuenta con un agujero ovoide en el centro, (ver gráfico 3.37), el cual permite remover el tapón del reservorio de aceite cuando el motor se encuentra sobre el montante. Estas platinas ayudan a la rigidez del soporte posterior.



**Figura 3.37:** Miembro del soporte posterior

**Fuente:** Luis Villagómez- Autor

Para completar el conjunto del soporte posterior, este lleva en la parte superior una placa con extremos terminados en forma elíptica con las siguientes dimensiones 13.7cm x 3cm x 2.5cm. Los extremos de esta pieza son elaborados con una muesca por la cual atraviesa y se sujeta el motor, con los pines de acople rápido.



**Figura 3.38:** Modelado de la placa en solidworks 2010

**Fuente:** Luis Villagómez- Autor

#### **3.4.1.8 Primera capa de pintura a la parte superior de la estructura del montante**

Al terminar de acoplar todas las piezas de la parte superior del montante, se procede a lijar las mismas para aplicar la primera capa de pintura de color gris (fondo), con el propósito de prevenir la corrosión del material.



**Figura 3.39:** Primera capa de pintura a la segunda parte del montante

**Fuente:** Luis Villagómez- Autor

### **3.4.1.9 Proceso de pintado final de la estructura completa**

Una vez terminadas las partes; superior e inferior, y la barra de movilización, se procede a prepararlas para el proceso de pintura.

Se cuida que las superficies a pintar estén libres de polvo, grasas, residuos de soldadura y otras suciedades.

Mediante soplete se aplica la pintura de color amarillo Caterpillar sobre toda la estructura dándole así un acabado brillante, evitando de esta manera el proceso de corrosión natural de los metales y alargando la vida útil del material del montante.



**Figura 3.40:** Proceso final de pintado

**Fuente:** Luis Villagómez- Autor

### **3.4.1.10 Proceso de acople de las ruedas industriales**

Las ruedas que se utilizó para el montante, son ruedas de polipropileno marca SUPO ideales para pisos de concreto, asfalto, entre otros. Son de 6" de diámetro, cada rueda soporta entre 300 y 600 Kg. de peso.



**Figura 3.41:** Ruedas industriales para el montante

**Fuente:** [www.alibaba.com](http://www.alibaba.com)

Para culminar con la construcción del montante se procede a colocar las respectivas ruedas, siendo sujetadas con pernos de  $\frac{1}{2}$ " x 2". En la parte delantera se colocan las ruedas de base giratoria las cuales le brindan la dirección deseada al momento de movilizar el motor. Estas ruedas cuentan con un dispositivo de freno de fácil accionamiento.

En la parte posterior se colocan las ruedas fijas.



**Figura 3.42:** Montante terminado

**Fuente:** Luis Villagómez- Autor

### **3.5 Equipos, herramientas y materiales usados para la construcción**

#### **3.5.1 Equipo de protección**

Para empezar con el proceso de construcción del soporte se debe tomar en cuenta las medidas de protección y seguridad para no tener ningún percance durante la realización del trabajo. Y este equipo de protección consta de:

- Casco para soldar
- Casco para pulir
- Protectores auditivos
- Guantes de cuero largos
- Mascara de protección
- Overol de trabajo
- Zapatos de punta de acero



**Figura 3.43:** Kit de equipo de protección

**Fuente:** Luis Villagómez- Autor

#### **3.5.2 Herramientas**

Las herramientas que se utilizaran para la construcción son del tipo industrial y fue de gran ayuda para trabajos específicos, estas son:

##### **3.5.2.1 Herramientas de medición y trazado**

- Flexómetro
- Calibrador pie de rey (Vernier)

- Escuadras de 90° y 45°
- Nivel de línea
- Rayador
- Escariador
- Granete

### **3.5.2.2 Herramientas de corte**

- Arco de sierra
- Limas
  - redonda
  - plana
- Brocas: 1/8", 1/4", 3/8", 1/2", 3/16", 9/16"
- Cortadora de tubo

### **3.5.2.3 Herramientas de percusión**

- Maceta de hule
- Martillo
- Combo de 3 Kg

### **3.5.2.4 Herramientas de sujeción**

- Playos de presión
- Prensas en "C"
- Playos
- Entenalla (prensa)
- Llave mixta 19 mm

### **3.5.2.5 Herramientas de acabado**

- Disco de corte
- Disco de desbaste
- Disco de lijado

- Cepillo de alambre
- Pistola de pintar

### **3.5.2.6 Herramientas varias**

- Extensión eléctrica de 110V – 220V
- Extensión neumática
- Destornillador estrella
- Mesa de trabajo

### **3.5.3 Máquinas**

Las máquinas empleadas en la construcción y elaboración de este proyecto son:

- Máquina de soldar
- Compresor de aire
- Amoladora
- Taladros
- Torno
- Cortadora de plasma
- Sierra de banco

### **3.5.4 Materiales a utilizar**

Los materiales que se utilizaron fueron los siguientes:

- Dos ángulos de 3" x ¼"
- Tubo rectangular 1" x 2" x 2.5 mm
- Cuatro placas de 22.5 cm x 16.5cm x 2cm
- Dos placas de 22cm x 15cm x 1cm
- Cuatro unidades de acero de transmisión (SAE 1018) de 1 ¾" x 5.5cm
- Cuatro unidades de placa de 1 ½" x 10 cm x ¼" de espesor

- Dos placas de 15cm x 10cm x 1/4"
- Una placa de 40cm x 8cm x 1/4"
- Cuatro ruedas industriales de 6" (dos fijas y dos giratorias)
- Dieciséis pernos de 1/2" de diámetro por 2" de longitud
- Una unidad de acero de transmisión (SAE 1018) de 1 3/4" x 3 1/4"
- Tubo redondo de 1 1/2" x 74cm de longitud por 2mm de espesor
- Cuatro pernos de 1/2" de diámetro por 3" de longitud
- Un perno de 1/2" de diámetro por 6" de longitud
- Un galón de esmalte anticorrosivo naval industrial color amarillo Caterpillar
- Un galón de fondo (color gris)
- Un galón de diluyente
- Disco de corte (7" de diámetro)
- Disco de desbaste (7" de diámetro)
- Cinco kilos de soldadura AGA 6011
- Seis sierras Sanflex (24 dientes por pulgada)
- Seis pliegos de lija para metal
- Una placa de 14cm x 3cm y e=2.5cm
- Cuarenta y dos arandelas planas de 1/2" de diámetro interior por 1 1/8" de diámetro exterior y e=2mm
- Una empuñadura plástica
- Una platina galvanizada de 20cm de longitud por 1" x 1 1/8" de ancho

### **3.6 Diagrama de flujo operacional**

Para realizar la construcción del montante se debe considerar la existencia de normas que se debe tomar en cuenta para evitar daños materiales o personales, así que la construcción será un proceso de pasos y parámetros a ser cumplidos.

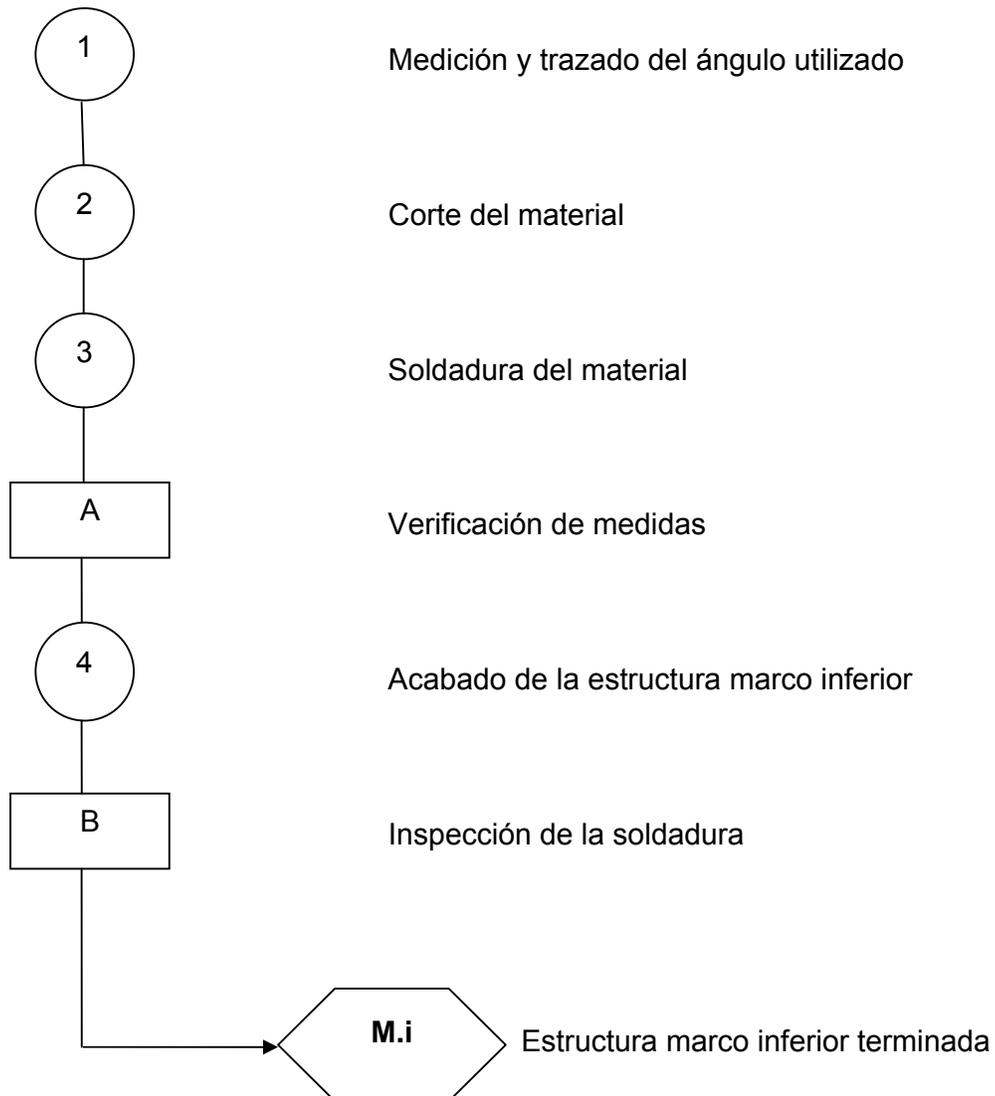
En la siguiente tabla se describe la simbología que se va a utilizar para cada uno de los procesos de construcción del montante.

**Tabla 3.16** Simbología de los procesos de construcción

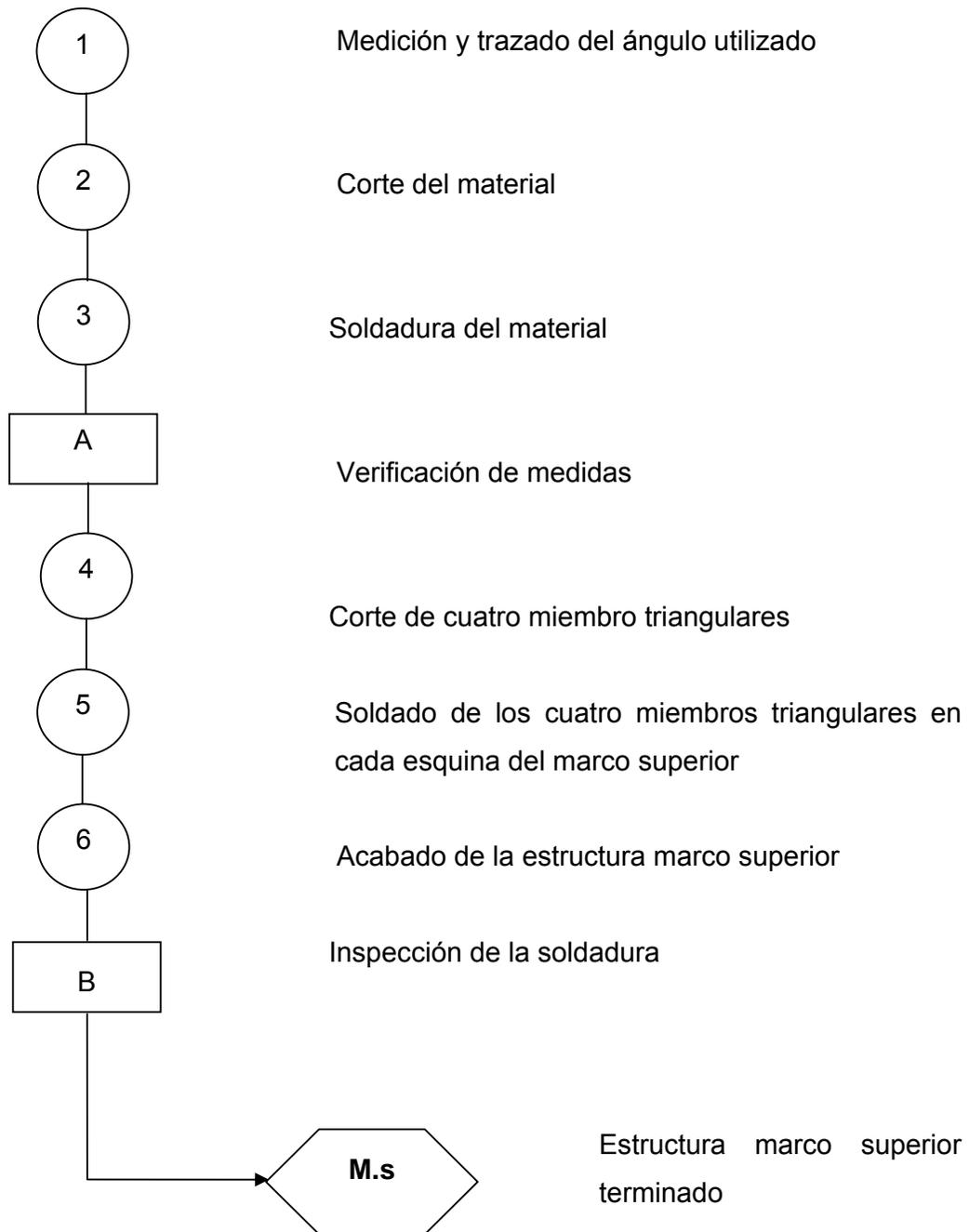
Nº	Simbología	Significado
1		Proceso
2		Inspección y Verificación
3		Procesos terminados
4		Ensamble
5		Conector

**Fuente:** Investigación de Campo

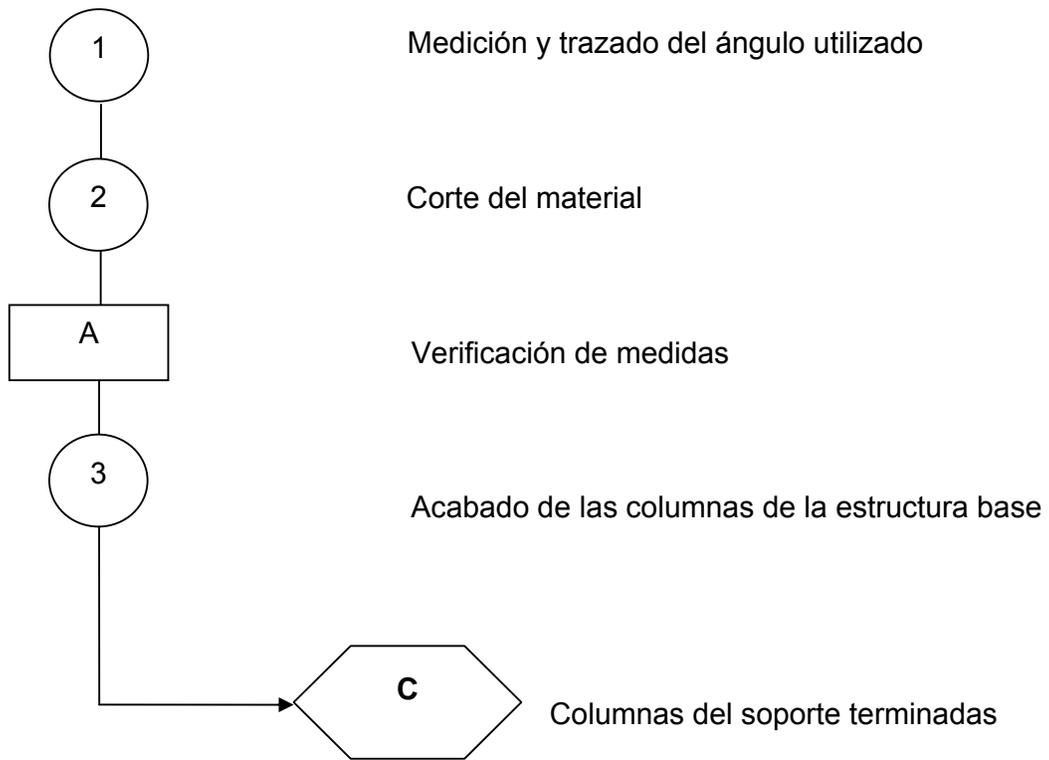
### 3.6.1 Proceso de construcción de la estructura marco inferior



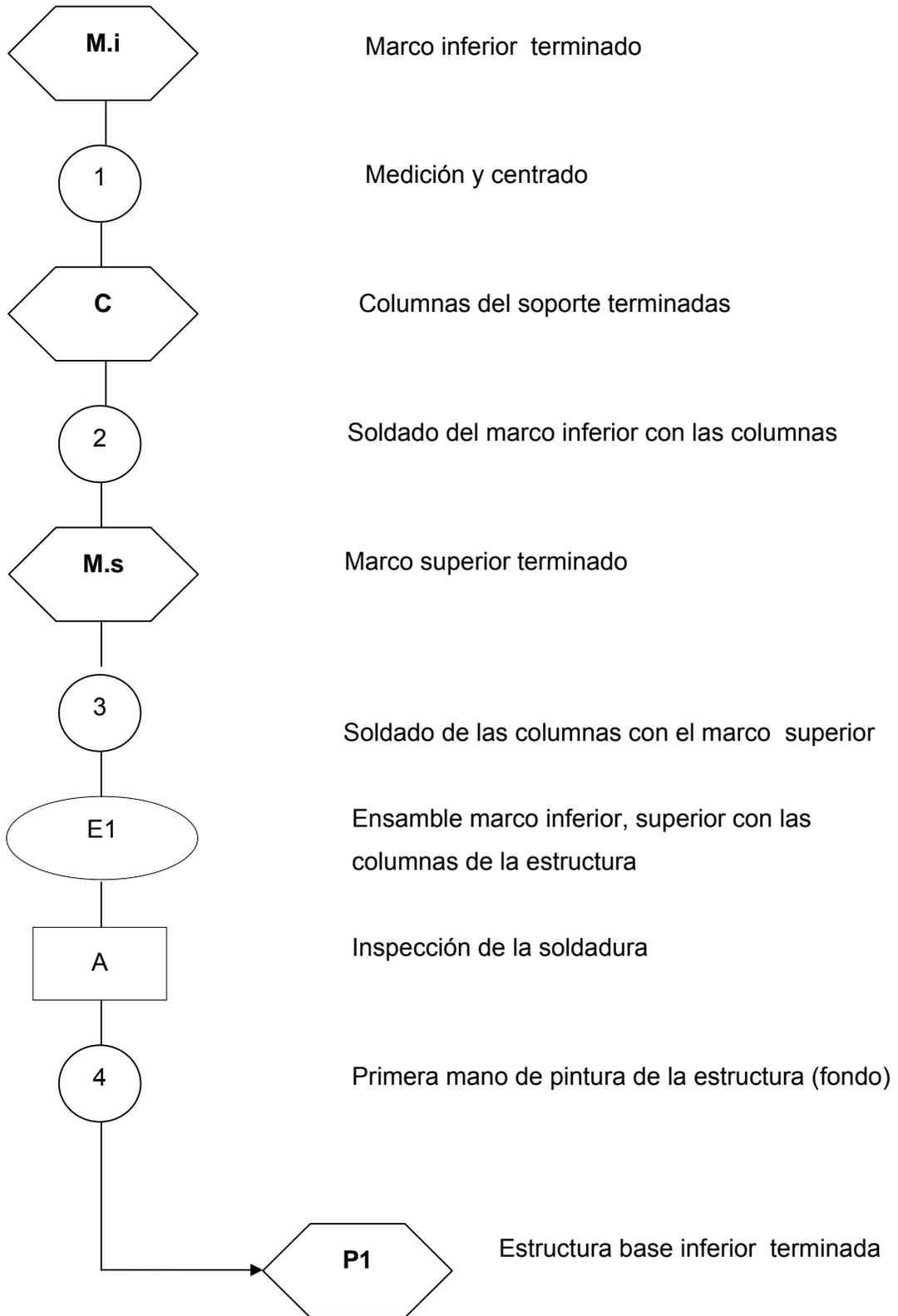
### 3.6.2 Proceso de construcción de la estructura marco superior



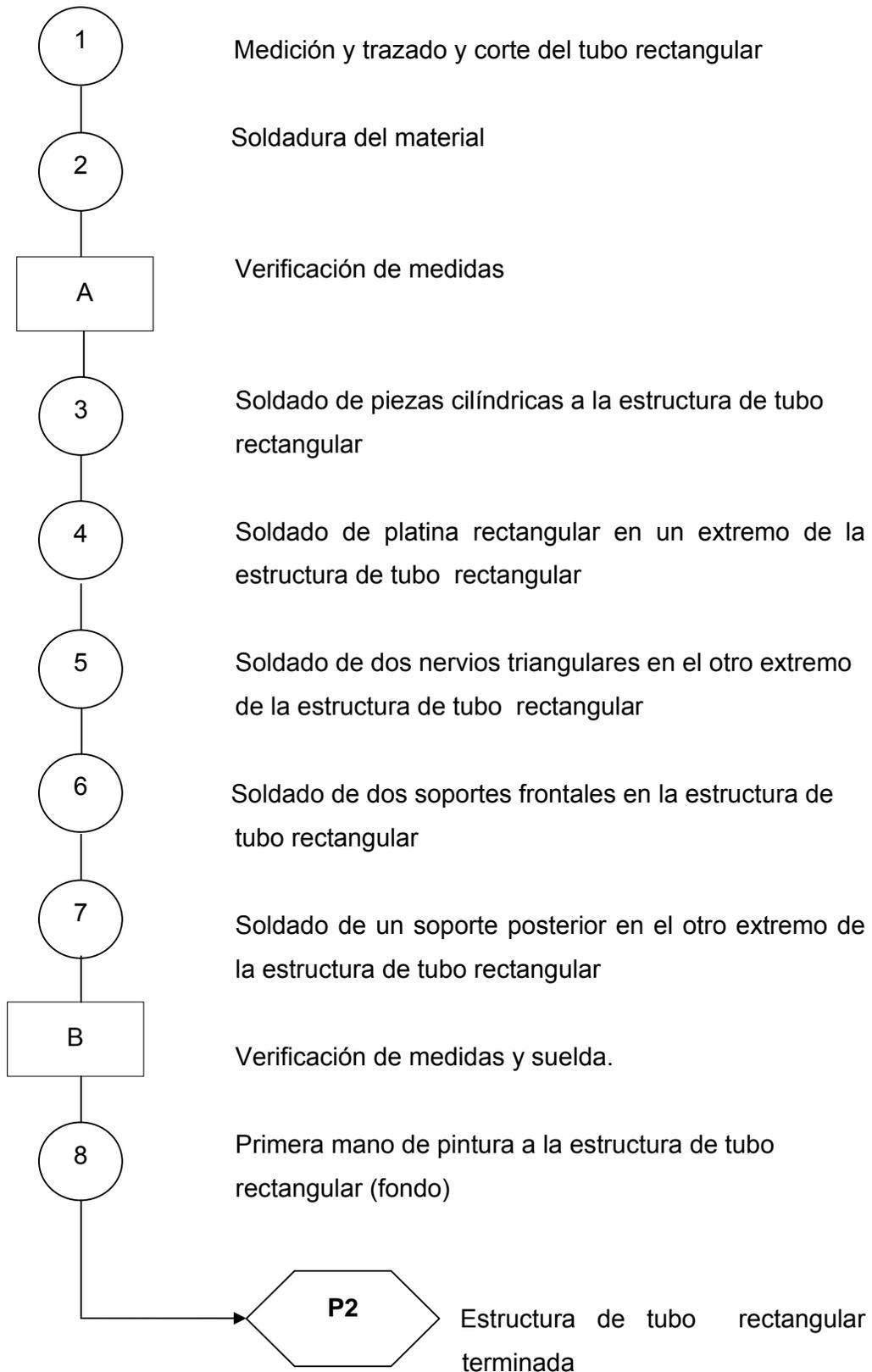
### 3.6.3 Proceso de construcción de las columnas de la estructura



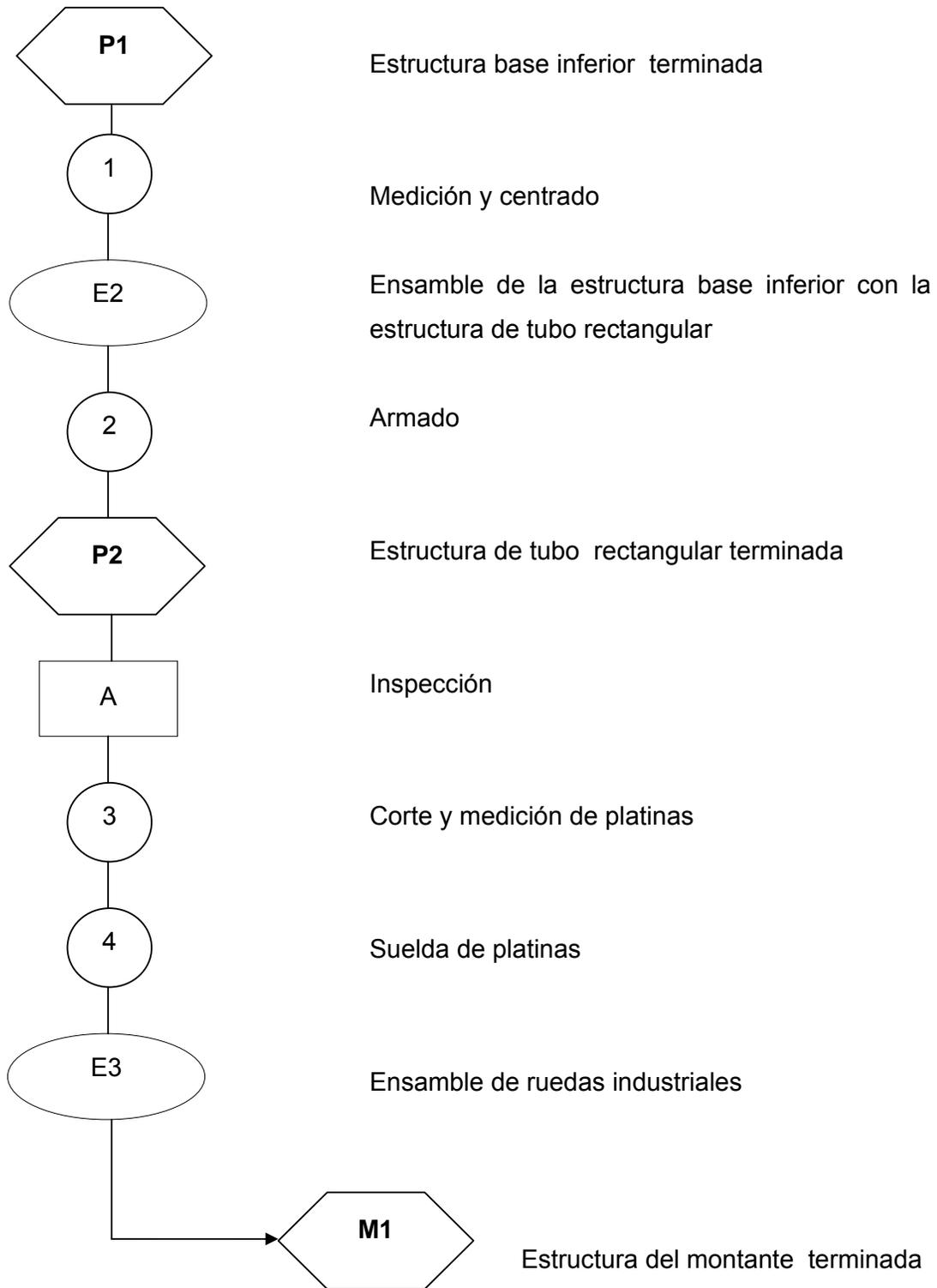
**3.6.4 Proceso de ensamble de la estructura marco inferior, superior con las columnas de la estructura.**



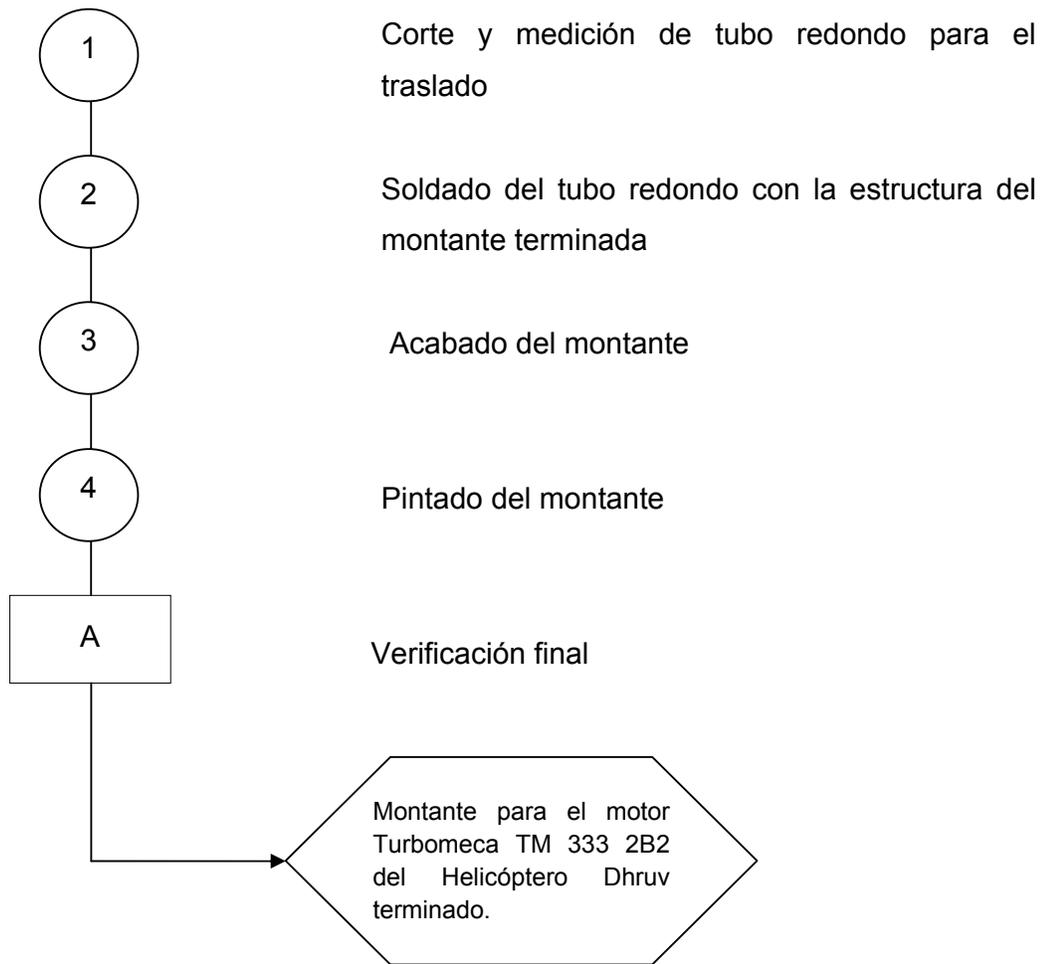
### 3.6.5 Proceso de construcción de la base rectangular



### 3.6.6 Proceso de ensamble de la estructura base inferior con la estructura de tubo rectangular



### 3.6.7 Acople del tubo para la movilización del montante.



### 3.7 Evaluación del montante

Una vez terminado la construcción del montante se realizó las respectivas pruebas de funcionamiento con el motor Turbomeca TM 333 2B2, el cual va a ocuparlo. Con la ayuda del tecele se procedió a colocar el motor Turbomeca TM 333 2B2 para probar que el montante construido se encuentre apropiado para dicho motor.

**Tabla 3.17** Primera prueba de funcionamiento del montante construido.

Nº	PRUEBAS	CUMPLE	NO CUMPLE
		SI	NO
1	Posición correcta de los puntos de sujeción del motor.		✓
2	Seguridad		✓
3	Estabilidad		✓
4	Resistencia al peso		✓
5	Resistencia de la suelda		✓
6	Movilidad y transporte del mismo		✓
7	Facilidad de uso		✓
9	Vibración de las redas		✓

**Fuente:** Investigación de Campo

Después de realizar la primera prueba de funcionamiento del montante, se obtuvo un error de posición en los soportes frontales de la estructura base superior, estos realizan mucha fricción entre los soportes adheridos del motor con las paredes de los soportes frontales.

Para dar solución a este problema se procedió a lijar y a colocar una capa de pintura con menos grosor que la anterior en la zona antes mencionada, y de esta manera dar paso a la segunda prueba de funcionamiento.

**Tabla 3.18** Segunda prueba de funcionamiento del montante construido.

Nº	PRUEBAS	CUMPLE	NO CUMPLE
		SI	NO
1	Posición correcta de los puntos de sujeción del motor.	✓	
2	Seguridad	✓	
3	Estabilidad	✓	
4	Resistencia al peso	✓	
5	Resistencia de la suelda	✓	
6	Movilidad y transporte del mismo	✓	
7	Facilidad de uso	✓	
9	Vibración de las redas	✓	

**Fuente:** Investigación de Campo

La segunda prueba de funcionamiento demuestra que el montante construido para el motor Turbomeca TM 333 2B2 del Helicóptero Dhruv, es factible y va ser de gran uso, ya que además se lo podrá movilizar de un lugar a otro con gran facilidad y sin causar daños.



**Figura 3.44:** Montante con el motor Turbomeca TM 333 2B2

**Fuente:** Luis Villagómez - Autor

Después de haber terminado con las pruebas al montante se implementa el manual de mantenimiento del mismo con el objetivo de dar uso adecuado al montante de una forma correcta y segura además de facilitar así su operación a desempeñar.

Los manuales de seguridad, operación y de mantenimiento del montante construido son detallados a continuación:

  <b>FAE</b>	<b>MANUAL DE SEGURIDAD</b>	<b>Pág:</b>
	<b>MONTANTE PARA EL MOTOR TURBOMECA TM 333 2B2 DEL HELICÓPTERO DHRUV</b>	1 de 1
	<b>Elaborado por:</b> A/C Luis Villagómez	<b>Revisión N°:</b> Original
	<b>Aprobado por:</b> Ing. Pablo Espinel	<b>Fecha:</b> 11-08-13

**OBJETIVOS:**

- Prevenir accidentes y daños físicos al operar y hacer uso del montante.
- Operar correctamente el montante para evitar daños en la estructura del mismo.

**MEDIDAS DE SEGURIDAD:**

- Utilizar el equipo de protección personal adecuada, como: overol, guantes, protección para oídos, zapatos punta de acero, gafas, etc.
- Revisar que los frenos de las ruedas estén accionados.
- Despejar el área de trabajo de cualquier objeto que impida el izamiento del motor.
- Confirmar que el motor se encuentre correctamente alineada con el montante.
- Verificar que el motor esté correctamente apoyado en los puntos de sujeción del montante para poder liberar la eslinga del motor.
- Examinar que no existan roces entre los componentes del motor y la estructura del montante.

 <p><b>FAE</b></p>	<b>MANUAL DE OPERACIÓN</b>	<b>Pág:</b>
	<b>MONTANTE PARA EL MOTOR TURBOMECA TM 333 2B2 DEL HELICÓPTERO DHRUV</b>	1 de 1
	<b>Elaborado por:</b> A/C Luis Villagómez	<b>Revisión N°:</b> Original
	<b>Aprobado por:</b> Ing. Pablo Espinel	<b>Fecha:</b> 11-08-13

**OBJETIVO:**

Documentar procedimientos a seguir para operar el montante de una manera adecuada, rápida y segura.

**ALCANCE:**

Proporcionar información adecuada para la correcta utilización del montante.

**PROCEDIMIENTO:**

- Contar con conocimientos básicos en el desmontaje del motor, para una correcta ubicación de sus puntos de anclaje.
- Verificar que los frenos de las ruedas del montante se encuentren asegurados.
- Anclar primeramente el motor en el soporte posterior y asegurar con sus respectivos pines.
- Proceder a anclar el motor en los soportes frontales derecho e izquierdo en su correcta ubicación.
- Verificar la correcta colocación del motor en el montante.
- Realizar una inspección final y asegurar los pines correctamente.

 <p><b>FAE</b></p>	<b>MANUAL DE MANTENIMIENTO</b>	<b>Pág:</b>
	<b>MONTANTE PARA EL MOTOR TURBOMECA TM 333 2B2 DEL HELICÓPTERO DHRUV</b>	1 de 1
	<b>Elaborado por:</b> A/C Luis Villagómez	<b>Revisión N°:</b> Original
	<b>Aprobado por:</b> Ing. Pablo Espinel	<b>Fecha:</b> 11-08-13

**OBJETIVO:**  
Establecer los procedimientos para proporcionar mantenimiento a la estructura del montante.

**ALCANCE:**  
Otorga a través de este documento, una continuidad y extensión de la vida útil de la estructura del montante.

**PROCEDIMIENTO:**

**Mantenimiento Trimestral:**

- Chequear visualmente y limpiar el montante.
- Revisar y engrasar los rodamientos de las garruchas fijas y móviles.
- Realizar una inspección general del estado de la estructura del montante.

**Mantenimiento Anual**

- Verificar la condición de los componentes y garruchas del montante por desgaste, reemplazarlos de ser necesario.

**TÉCNICO RESPONSABLE**

**Nombre:** \_\_\_\_\_

**Firma:** \_\_\_\_\_

**Fecha:** \_\_\_\_\_

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS ECONÓMICO

#### 3.8 Preliminares

El estudio económico es de vital importancia y es necesario ya que permite establecer el costo real de la construcción del montante para el motor Turbomeca TM 333 2B2, de manera que se detallaran con exactitud los recursos económicos empleados en materiales herramientas, equipos y mano de obra.

##### 3.8.1 Recursos

Se contará con el talento humano que en este caso será el apoyo del director del proyecto y el autor del mismo.

**Cuadro 4.1** Recursos Humanos

Nº	Talento Humano	Denominación
1	Villagómez Chávez Luis Fernando	Autor e investigador del proyecto
2	Ing. Pablo Espinel	Director del proyecto

**Fuente:** Investigación de Campo

##### 3.8.2 Costos primarios

Comprende el costo de los materiales utilizados, herramientas, etc.

**Tabla 4.1** Costos Primarios

DESCRIPCIÓN DE MATERIAL	CANTIDAD	COSTO UNITARIO USD	COSTO TOTAL USD
Perfil tipo L (ángulo)	2	65	130
Tubo rectangular 1"x2"x2.5 mm	1	18	18
Placas de 22.5cmx16.5cmx2cm	4	15	60
Placas de 22cmx15cmx10mm	2	8	16
Acero de transmisión 1 ¾" x 55 mm	4	5	20
Placa de 1 ½" x 10cm x ¼"	4	2.50	10
Placas de 15cmx10cmx1/4"	2	7	14
Placa de 40cmX8cmX1/4"	1	10	10
Acero de transmisión de 1 ¾"x 3 ¼"	1	5	5
Tubo redondo de 1 ½" x 74cm x 2mm	1	2.5	2.5
Sierras Sanflex	6	1.70	10.20
Ruedas Industriales fijas	2	20	40
Ruedas Industriales giratorias	2	22.00	44.00
Disco de corte de metal	3	1.90	5.70
Placa de 14cmx3cm e=2.5cm	1	5	5

Disco de desgaste de metal	3	2.20	6.60
Pernos de ½" X 2"	16	0.80	12.80
Pernos de ½" X 3"	4	1.5	6.00
Perno de ½" X 6"	1	2.5	2.5
Arandela plana	42	0.05	2.10
Broca de acero 1/8	3	0.50	1.5
Broca de acero 3/16	2	1.30	2.6
Broca de acero ¼	2	1.50	3.00
Broca de acero 3/8	2	2.80	5.60
Broca de acero 1/2	1	3.20	3.20
Broca de acero 9/16	1	4.50	4.50
Electrodos	12 lbs.	1.10	13.40
Cepillo de acero	1	0.80	0.80
Lija gruesa	3	1.00	3.00
Anticorrosivo (Caterpillar)	1 galón	15.00	15.00
Fondo (color gris)	2 lts.	5.00	10.00
Diluyente	1 galón	8	8.00
Empuñadura plástica	1	6	6.00
Platina galvanizada de 20cm x 1" x 1 1/8"	2	1	2
<b>TOTAL</b>			<b>502.00</b>

**Fuente:** Investigación de Campo

### 3.8.3 Costos secundarios

Comprende el gasto realizado a parte de la construcción del proyecto.

**Tabla 4.2** Costos secundarios

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>COSTO</b>
Derechos de asesoría	300.00
Mano de obra construcción total	500.00
Hospedaje	120.00
Transporte	50.00
Copias, anillado, empastado	100.00
Internet e impresiones	70.00
Transporte del soporte	80.00
Varios	100.00
<b>total</b>	<b>1.320.00</b>

**Fuente:** Investigación de Campo

### 3.8.4 Costo total del proyecto

Detalla el costo final del proyecto realizado, el mismo que es asumido por el investigador.

**Tabla 4.3** Costo Total del proyecto

<b>COSTOS</b>	<b>VALOR USD</b>
Primario	502.00
Secundario	1320.00
<b>Total</b>	<b>1822,00</b>

**Fuente:** Investigación de Campo

El costo total de la construcción del montante para el motor Turbomeca TM 333 2B2, es de **MIL OCHOCIENTOS VEINTE Y DOS DOLARES AMERICANOS.**

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- Se indagó sobre las características, funcionamiento y operación del motor Turbomeca TM 333 2B2, en los manuales del mismo, los cuales me permitieron obtener información muy importante al desarrollar este proyecto.
- Se obtuvieron los mejores resultados luego de las diferentes pruebas, además que gracias a dicho montante se podrá realizar un trabajo de mayor calidad optimizando el tiempo y reduciendo riesgos de accidentes, tanto para técnicos como para el motor.
- Se construyó el montante para el motor Turbomeca TM333 2B2 del helicóptero Dhruv del ala de combate N° 22, el mismo que cuenta con toda la seguridad y funcionalidad, permitiendo que los técnicos de mantenimiento del escuadrón puedan realizar sus trabajos de mantenimiento de una manera adecuada.
- Se elaboró manuales de mantenimiento para el soporte, teniendo como objetivo documentar y mantener las partes del mismo en buen estado, además de cuidar la seguridad de quienes lo operaran, teniendo en cuenta el adecuado estado y funcionamiento de la estructura.

## **4.2 Recomendaciones**

- Es importante que el personal que labore en el área de mantenimiento del escuadrón del helicóptero Dhruv, ya sean técnicos o estudiantes que realicen sus labores de pasantías, estén familiarizados con el motor y con la correcta operación del montante.
- Al momento de instalar el motor en el montante asegurar el motor en los puntos de sujeción del montante verificando que este se encuentre alineado y estable.
- Se recomienda utilizar el soporte solo para el trabajo del motor designado y no superar el peso máximo recomendado.
- Es necesario prestar atención al manual del soporte al momento de realizar el chequeo respectivo cada cierto tiempo.

## GLOSARIO

### A

**Accesorio.-** Cualquier mecanismo, equipo, parte, aparato, o dispositivo, incluyendo equipo de comunicaciones que no es fundamental para el funcionamiento de un producto aeronáutico.

**Aeronave.-** Es todo vehículo apto para el traslado de personas o cosas, y destinado a desplazarse en el espacio aéreo, en el que se sustenta por reacciones del aire con independencia del suelo.

### D

**Desmontaje.-** Acción y efecto de desmontar (poner el disparador en posición de que no funcione).

**Difusor.-** Que difunde o extiende.

### E

**Escuadrón.-** Unidad aérea de un número importante de aviones.

**Estator.-** Parte fija o inmóvil de un motor o generador eléctrico, que se contrapone al rotor.

### F

**Fuelle.-** Instrumento para recoger aire y lanzarlo con dirección determinada.

### H

**Helicóptero.-** Aerodino que se mantiene en vuelo principalmente en virtud de la reacción del aire sobre uno o más rotores propulsados por motor que giran alrededor de ejes verticales o casi verticales.

**Herramientas.**-Se refieren a utensilios resistentes (hechos de diferentes materiales, pero inicialmente se materializaban en hierro), útiles para realizar trabajos mecánicos que requieren la aplicación de una cierta fuerza física

## **M**

**Mantenimiento.**- Ejecución de los trabajos requeridos para asegurar el mantenimiento de la aeronavegabilidad de la aeronave, lo que incluye una o varias de las siguientes tareas; reacondicionamiento, inspección, reemplazo de piezas, rectificación de defectos e incorporación de una modificación o reparación.

**Montaje.**-Colocación o ajuste de las piezas de un aparato, máquina o instalación en el lugar que les corresponde.

**Motor.**-Un motor aeronáutico o motor de aviación es aquel que se utiliza para la propulsión de aeronaves mediante la generación de una fuerza de empuje.

## **P**

**Parte.**- La que es necesaria para la integridad o totalidad del compuesto, pero no para su esencia.

**Procedimientos.**- Es un término que hace referencia a la acción que consiste en proceder, que significa actuar de una forma determinada. El concepto, por otra parte, está vinculado a un método o una manera de ejecutar algo.

**Piñón.**- Rueda pequeña y dentada que engrana con otra mayor en un mecanismo

## **R**

**Rotor.**-Es la parte rotativa de un helicóptero que genera la sustentación aerodinámica. El rotor de helicóptero, también llamado el sistema rotor, normalmente hace referencia al rotor principal del helicóptero que está montado en un mástil vertical sobre la parte superior del helicóptero.

## ABREVIATURAS

<b>HAL</b>	Hindustan Aeronautics Limited (Industria aeronáutica India)
<b>ALH</b>	Advanced Light Helicopter (Helicóptero Avanzado Ligero)
<b>FAE</b>	Fuerza Aérea Ecuatoriana
<b>SHP</b>	Shaft horse power (Caballos de potencia en el eje)
<b>IGV</b>	Inlet guide vanes (Alabes guía de entrada)
<b>MGB</b>	Main gear box (Caja principal de engranajes)
<b>NGV</b>	Nozzle guide vanes (Alabes guía de salida)
<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales)
<b>TBO</b>	Time Between Overhaul (Tiempo entre inspecciones)
<b>DGAC</b>	Dirección General De Aviación Civil

## BIBLIOGRAFÍA

### Libros:

- **MAINTENANCE** Manual VOLUME 1 Original issue: Dec. 14/2001
- **MAINTENANCE** MANUAL First issue: Oct 29/2008
- **MAINTENANCE** Tools Catalogue 64511 BORDES CEDEX - FRANCE
- **TURBOMECA** training. Edición March 2010
- **GERE** James “Mecánica de Materiales”. Editorial Thomson
- **McCORMAC** Jack 2002 “Diseño de estructuras de acero” 2da Edición Editorial ALFAOMEGA GRUPO EDITOR SA. México DF.
- **VIDONDO** Tomás & **ALVAREZ** Claudino 1891. “Tecnología Mecánica 2” Editorial Don Bosco. Barcelona-Sarriá

### Páginas web:

- [http://www.fuerzaaerea.net/index\\_menu\\_HELOS.htm](http://www.fuerzaaerea.net/index_menu_HELOS.htm)
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Hindustan\\_Aeronautics\\_Limited](http://es.wikipedia.org/wiki/Hindustan_Aeronautics_Limited)
- [http://fuerzaaereaecuatoriala.mil.ec/new/index.php?option=com\\_content&view=article&id=106&Itemid=208](http://fuerzaaereaecuatoriala.mil.ec/new/index.php?option=com_content&view=article&id=106&Itemid=208)
- [http://www.fuerzaaerea.net/index\\_menu\\_DhruvTECH.html](http://www.fuerzaaerea.net/index_menu_DhruvTECH.html)
- [http://es.wikipedia.org/wiki/HAL\\_Dhruv](http://es.wikipedia.org/wiki/HAL_Dhruv)
- <http://seccionsegunda.blogspot.com/2011/05/helicoptero-hal-dhruv-de-la-fuerza.html>
- <http://www.turbomeca.com/english/our-products/helicopter-engines/tm-333-46/tm-333-2b2-23.html>
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Turbomeca\\_TM\\_333#Specifications\\_.28TM333\\_2B2.29](http://en.wikipedia.org/wiki/Turbomeca_TM_333#Specifications_.28TM333_2B2.29)
- <http://www.arqhys.com/contenidos/mecanicas-hierro.html>
- <http://www.avionescomerciales.es.tl/Glosario-Aeronautico.htm>

# ANEXOS

# **ANEXO A**

**SOLICITUD DE APROBACIÓN A LA APLICABILIDAD DEL  
PRESENTE PROYECTO PARA EL ALA DE COMBATE  
N°22**

REPÚBLICA DEL ECUADOR



"EL ECUADOR HA SIDO, ES  
Y SERÁ PAÍS AMAZÓNICO"



## FUERZA AÉREA ECUATORIANA

### ALA DE COMBATE No.22

Oficio N°: FA-ECO-Ca-2013-001-O-OF

Guayaquil, enero 02 del 2013

ASUNTO: Confirmación Tesis.-

Señor  
Luis Villagómez Chávez  
**Alumno I.T.S.A.**  
**FUERZA AÉREA ECUATORIANA**  
Latacunga.-

De mi consideración.-

De acuerdo al oficio S/N. de fecha 07 de Diciembre del 2012, presentado a este reparto, comunico a usted, señor Villagómez, que este Comando, confirma la conveniencia y aplicabilidad del proyecto titulado Diseño y Construcción de un Montante para el motor Turbomeca TM-333, perteneciente a los helicópteros Dhruv.

Agradeceré se sirva informar la fecha de ésta tesis, y cualquier enlace, sírvase coordinar con el señor Comandante del Grupo Logístico No.222 y/o Comandante del Escuadrón Mantenimiento No.2221, a fin de brindar las facilidades que el caso amerite.

Atentamente,  
DÍOS, PATRIA Y LIBERTAD.

Antonio Puga Dávila  
Cm. E.M.C. Ave.  
**COMANDANTE**



LMC/GVG./N. Veloz

Cdla. FAE. Av. Macará S/N. y Pedro Menéndez Gilbert  
Tel.: 042-282570 Ext. 35016  
[www.fuerzaaereaecuadoriana.mil.ec](http://www.fuerzaaereaecuadoriana.mil.ec)

# **ANEXO B**

## **PERFIL TIPO L O ÁNGULO**



**PERFILES IMPORTADOS**  
**ANGULOS**

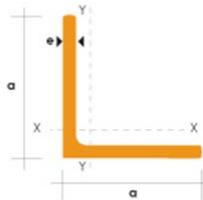
Especificaciones Generales

- Calidad** ASTM A36 SAE 1008
- Otras calidades** Previa Consulta
- Largo normal** 6.00m
- Otros largos** Previa Consulta
- Acabado** Natural
- Otro acabado** Previa Consulta



DENOMINACION	DIMENSIONES		PESO		AREA
	mm		kg/m	kg/6m	cm2
	a	e			
AL 20X2	20	2	0.60	3.62	0.76
AL 20X3	20	3	0.87	5.27	1.11
AL 25X2	25	2	0.75	4.56	0.96
AL 25X3	25	3	1.11	6.68	1.41
AL 25X4	25	4	1.45	8.75	1.84
AL 30X3	30	3	1.36	8.13	1.71
AL 30X4	30	4	1.77	10.63	2.24
AL 40X3	40	3	1.81	11.00	2.31
AL 40X4	40	4	2.39	14.34	3.04
AL 40X6	40	6	3.49	21.34	4.44
AL 50X3	50	3	2.29	13.85	2.91
AL 50X4	50	4	3.02	18.33	3.84
AL 50X6	50	6	4.43	26.58	5.64
AL 60X6	60	6	5.37	32.54	6.84
AL 60X8	60	8	7.09	42.54	9.03
AL 65X6	65	6	5.84	35.25	7.44
AL 70X6	70	6	6.32	38.28	8.05
AL 75X6	75	6	6.78	40.65	8.64
AL 75X8	75	8	8.92	54.18	11.36
AL 80X8	80	8	9.14	55.84	11.60
AL 100X6	100	6	9.14	56.95	11.64
AL 100X8	100	8	12.06	74.05	15.36
AL 100X10	100	10	15.04	90.21	19.15
AL 100X12	100	12	18.26	109.54	22.56

También en galvanizado e inoxidable



# **ANEXO C**

## **TUBO ESTRUCTURAL RECTANGULAR**

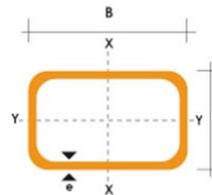
## TUBO ESTRUCTURAL RECTANGULAR

### Especificaciones Generales

<b>Norma</b>	ASTM A-500
<b>Recubrimiento</b>	Negro o galvanizado
<b>Largo normal</b>	6.00m
<b>Otros largos</b>	Previa Consulta
<b>Dimensiones</b>	Desde 12.00mm x 25.00mm a 40.00mm x 80.00mm
<b>Espesor</b>	Desde 2.00mm a 3.00mm



DIMENSIONES			PESO Kg/m	AREA		EJES X-X			EJES Y-Y		
A mm	B mm	ESPESOR mm		AREA cm <sup>2</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm	
20	40	1,2	1,09	1,32	2,61	1,30	1,12	0,88	0,88	0,83	
20	40	1,5	1,35	1,65	3,26	1,63	1,40	1,09	1,09	0,81	
20	40	2,0	1,78	2,14	4,04	2,02	1,37	1,33	1,33	0,79	
25	50	1,5	1,71	2,10	6,39	2,56	1,74	2,19	1,75	1,02	
25	50	2,0	2,25	2,74	8,37	3,35	1,75	2,80	2,24	1,01	
25	50	3,0	3,30	4,14	12,56	5,02	1,74	3,99	3,19	0,99	
30	50	1,5	1,88	2,25	7,27	2,91	1,80	3,32	2,21	1,21	
30	50	2,0	2,41	2,94	9,52	3,81	1,80	4,28	2,85	1,21	
30	50	3,0	3,30	4,21	12,78	5,11	1,74	5,66	3,77	1,16	
30	70	2,0	3,03	3,74	22,20	6,34	2,44	5,85	3,90	1,25	
30	70	3,0	4,48	5,41	30,50	8,71	2,37	7,84	5,23	1,20	
40	60	1,5	2,29	2,91	14,90	4,97	2,26	7,94	3,97	1,65	
40	60	2,0	3,03	3,74	18,08	6,13	2,22	9,81	4,90	1,62	
40	60	3,0	4,48	5,41	25,31	8,44	2,16	13,37	6,69	1,57	
30	70	1,5	2,34	2,91	18,08	5,17	2,49	4,76	3,17	1,28	
30	70	2,0	2,93	3,74	22,20	6,34	2,44	5,85	3,90	1,25	
30	70	3,0	4,25	5,41	30,50	8,71	2,37	7,84	5,23	1,20	
40	80	1,5	2,76	3,74	31,75	7,94	2,91	10,77	5,39	1,70	
40	80	2,0	3,66	4,54	37,32	9,33	2,87	12,70	6,35	1,67	
40	80	3,0	5,42	6,61	52,16	13,04	2,81	17,49	8,75	1,63	
50	100	2,0	4,52	5,74	74,94	14,99	3,61	25,65	10,26	2,11	
50	100	3,0	6,71	8,41	106,34	21,27	3,56	35,97	14,39	2,07	
50	150	2,0	6,17	7,74	207,45	27,66	5,18	37,17	14,87	2,19	
50	150	3,0	9,17	11,41	298,35	39,78	5,11	52,54	21,02	2,15	



# **ANEXO D**

## **TIPOS DE ELECTRODO**

Tipo de electrodo	Ventajas	Inconvenientes	Aplicaciones
<b>Ácido</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-bajo coste</li> <li>-arco estable</li> <li>-corriente CA y CC</li> <li>-escoria fácil de eliminar</li> <li>-elevada desoxidación</li> <li>-fácilmente conservables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-baño fluido</li> <li>-escaso efecto de limpieza</li> <li>-elevado aporte de hidrógeno</li> <li>-escoria no se puede refundir</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-soldadura en horizontal</li> <li>-aceros bajo en carbono y con poca presencia de impurezas</li> <li>-soldaduras económicas y con características mecánicas aceptables (buena resistencia, pero con riesgo de grietas)</li> </ul>
<b>Rutilo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-bajo coste</li> <li>-arco estable</li> <li>-fácil cebado</li> <li>-corriente CA y CC</li> <li>-cordón de estética mejor</li> <li>-fácil conservación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-baño fluido</li> <li>-escaso efecto de limpieza</li> <li>-elevado aporte de hidrógeno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-soldadura en horizontal</li> <li>-soldadura en vertical y en esquina para pequeños espesores</li> <li>-aceros bajo en carbono y con poca presencia de impurezas</li> <li>-soldaduras de estética buena y de características mecánicas aceptables (buena resistencia, pero con riesgo de grietas)</li> </ul>
<b>Celulósico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-elevada penetración</li> <li>-elevada manejabilidad</li> <li>-escoria reducida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-son necesarios generadores de CC con elevada tensión de vacío</li> <li>-elevado aporte de hidrógeno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-soldadura en todas las posiciones, incluida la vertical descendente</li> <li>-soldaduras en tubos o donde no sea posible el cordón al reverso</li> <li>-soldaduras en la que el acceso del electrodo resulta crítico</li> <li>-aceros bajos en carbono con escasa presencia de impurezas</li> </ul>
<b>Básicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-óptima limpieza del material</li> <li>-aporte de hidrógeno muy reducido</li> <li>-baño frío</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-arco poco estable</li> <li>-escoria que no se puede refundir y de difícil eliminación</li> <li>-arco corto y difícil de trabajar</li> <li>-cebado difícil</li> <li>-generadores de CC</li> <li>-de difícil conservación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-soldaduras en todas las posiciones, incluso con grandes espesores</li> <li>-elevadas velocidades de depósito</li> <li>-soldaduras de elevada calidad mecánica, incluso con materiales que contengan impurezas</li> </ul>

# **ANEXO E**

## **HOJA DE REGISTRO PARA EL MANTENIMIENTO DEL MONTANTE**



# **ANEXO F**

## **PLANOS DEL MONTANTE CONSTRUIDO**











## **Curriculum Vitae**

**Luis Fernando Villagómez Chávez**  
Juan L. Mera y Eugenio Espejo, Baños  
Tel. 032 741-797 Cel. 0998162141  
[luisvillagomez12@hotmail.com](mailto:luisvillagomez12@hotmail.com)



### **EXPERIENCIA PROFESIONAL**

**Octubre-2012 Centro de Mantto. Aeronáutico (Latacunga-Ecuador)**

**Mantenimiento - Pasantía.**

- Asistente de mecánico aeronáutico para aviones Boeing 737-200

**Agosto-2012: 200 horas Comando Aéreo de Transporte, Ala 11 (Quito-Ecuador)**

**Mantenimiento - Pasantía.**

- Asistente de mecánico aeronáutico para aviones Boeing 727-100 y 727-200

**Febrero-2012: 160 horas Centro de Mantto. Aeronáutico (Latacunga-Ecuador)**

**Mantenimiento - Pasantía.**

- Aprendiz de mecánico aeronáutico para aviones Boeing 737-200.

**2007: 160 horas Servicio Aéreo Achuar AeroTsentsak (Shell-Ecuador)**

**Mantenimiento - Pasantía.**

- Aprendiz de mecánico aeronáutico para avionetas Cessna 206F y Cessna 182E.

### **CURSOS Y SEMINARIOS**

- Curso de Chofer Profesional en el Sindicato de Choferes del Cantón Baños de Agua Santa. Diciembre 2012 – Junio 2013.

## FORMACIÓN ACADÉMICA

- Terciario:            Tecnólogo en Mecánica Aeronáutica.  
                          Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico, Latacunga, Ecuador
- Secundario:        Bachiller Físico-Matemático.  
                          Colégio "San Alfonso de Ligorio". Ambato, Ecuador. (1999-2005)

## OTROS CONOCIMIENTOS

- Manejo de AutoCad, Windows, Office, Internet

## IDIOMAS

- Instituto de idiomas del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico, Latacunga, Ecuador.  
Título obtenido: SUFICIENCIA EN IDIOMA INGLES
- Beginner, Level One, (80 horas)  
CEC, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, 2005
- Basic One, Level Two, (80 horas).  
CEC, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, 2005

## OTROS DATOS PERSONALES

25 años  
Ecuatoriano  
06/06/1987  
Cedula: 180413117-3  
Casado

**HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS**

**DEL CONTENIDO DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN SE RESPONSABILIZA  
EL AUTOR**

---

**Luis Fernando Villagómez Chávez**

**DIRECTOR DE LA CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA**

---

**Ing. Hebert Atencio**

---

**Latacunga, Agosto 20 del 2013**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL**

Yo, LUIS FERNANDO VILLAGÓMEZ CHÁVEZ, Egresado de la carrera de Mecánica Aeronáutica Mención Motores, en el año 2012, con Cédula de Ciudadanía N° 180413117-3, autor del Trabajo de Graduación “**CONSTRUCCIÓN DE UN MONTANTE PARA DESMONTAJE, TRASLADO, INSTALACIÓN O ALMACENAMIENTO DEL MOTOR TURBOMECA TM 333 2B2 DE LOS HELICÓPTEROS DHRUV EN EL ALA DE COMBATE NO. 22 DE LA FAE**”, cedo mis derechos de propiedad intelectual a favor del Escuadrón de Mantenimiento No. 2221 localizado en el Ala de Combate No. 22.

Para constancia firmo la presente cesión de propiedad intelectual.

---

**Luis Fernando Villagómez Chávez**

---

**Latacunga, Agosto 20 del 2013**