



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL  
DESARROLLO  
CARRERA: INGENIERIA ELECTRICO-MECÁNICA**

PORTADA

**TÍTULO**

DISEÑO DE BANCO PARA COMPROBACIÓN Y REPARACIÓN  
DEL SISTEMA INDICADOR TACOMETRO DE LOS  
HELICOPTEROS BELL 206 Y TH-57 DE LA FUERZA AEREA  
ECUATORIANA.

**AUTOR: VALLADARES BARCO JOSÉ ANTONIO**

**PARA LA OBTENCIÓN DEL TITULO DE INGENIERO  
ELECTRICO-MECANICO**

**TUTOR: INGENIERO LUCERO HUGO. MGS**

**Guayaquil, Ecuador**

**2015**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA: INGENIERIA ELECTRICO-MECANICA**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por JOSÉ ANTONIO VALLADARES BARCO, como requerimiento parcial para la obtención del Título de INGENIERIA ELECTRICO-MECANICA.

**TUTOR**

\_\_\_\_\_  
**ING. LUCERO HUGO. MGS**

**OPONENTE**

\_\_\_\_\_  
**ING. LOPEZ CAÑARTE JUAN. MGS**

**DIRECTOR DE LA CARRERA**

\_\_\_\_\_  
**ING. HERAS ARMANDO. MGS**

**Guayaquil, a los 16 días del mes de Febrero del año 2015**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA: INGENIERIA ELECTRICO-MECÁNICA**

### **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **José Antonio Valladares Barco**

#### **DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación **DISEÑO DE BANCO PARA COMPROBACION Y REPARACION DEL SISTEMA INDICADOR TACOMETRO DE LOS HELICOPTEROS BELL 206 Y TH-57 DE LA FUERZA AEREA ECUATORIANA**. Previa a la obtención del Título de **INGENIERO ELECTRICO-MECANICO**, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, a los 16 días del mes de Febrero del año 2015**

**JOSE ANTONIO VALLADARES BARCO**

---



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA: INGENIERIA ELECTRICO-MECÁNICA**

## **AUTORIZACIÓN**

**Yo, José Antonio Valladares Barco**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: DISEÑO DE BANCO PARA COMPROBACION Y REPARACION DEL SISTEMA INDICADOR TACOMETRO DE LOS HELICOPTEROS BELL 206 Y TH-57 DE LA FUERZA AEREA ECUATORIANA , cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 16 días del mes de Febrero del año 2015**

**JOSE ANTONIO VALLADARES BARCO**

---

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de titulación se lo dedico a Dios por estar siempre conmigo y permitirme concluir con este gran sueño de prepararme en el camino del conocimiento, por permitirme llegar hasta donde he llegado, por bendecirme permitiéndome trabajar en tan noble institución como es la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

A toda mi familia que siempre ha estado presente en los momentos más difíciles y complicados de mi carrera y han constituido un apoyo incondicional, a todos ellos dedico mi esfuerzo.

**JOSE ANTONIO VALLADARES BARCO**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil por ofrecerme la oportunidad de estudiar y convertirme en un verdadero profesional de las ramas eléctrica y mecánica.

A todos mis superiores en Fuerza Aérea que me guiaron durante toda mi carrera y motivaron que siempre apuntara hacia el camino de la superación personal.

A todos los Ingenieros profesores de la Universidad por su esfuerzo y dedicación, quienes con sus conocimientos, experiencia, motivación y paciencia permitieron la culminación de mis estudios con éxito.

A toda mi familia que gracias a su apoyo y también esfuerzo me condujeron en el camino de conseguir tan valioso título.

A mi esposa por todo el cariño, apoyo y dedicación a mi hogar que me permitieron prepararme y demostrar mis capacidades en la consecución de este enorme honor, a todos ellos dedico mi esfuerzo.

**JOSE ANTONIO VALLADARES BARCO**

## **TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

---

**ING. LUCERO HUGO. MGS**  
TUTOR

---

**ING. LOPEZ CAÑARTE JUAN. MGS**  
OPONENTE

---

**ING. HERAS ARMANDO. MGS**  
DIRECTOR DE LA CARRERA



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA: INGENIERIA ELECTRICO-MECÁNICA

**CALIFICACIÓN**

---

**INGENIERO LUCERO HUGO. MGS**



## ÍNDICE GENERAL

Portada.....	i
Certificación .....	ii
Declaración de responsabilidad .....	iii
Autorización .....	iv
Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento .....	vii
Tribunal de sustentación .....	viii
Calificación.....	ix
Índice general .....	x
Índice de tablas.....	xiii
Índice de gráficos.....	xiv
Resumen.....	xvii
CAPITULO I.....	1
GENERALIDADES .....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Tema del trabajo de titulación .....	5
1.3 Planteamiento del problema.....	5
1.4 Delimitación del problema .....	5
1.5 Objetivos .....	6
1.5.1 Objetivo general .....	6
1.5.2 Objetivos específicos .....	6
1.6 Justificación.....	6
1.7 Descripción de la propuesta.....	7
1.8 Beneficiarios.....	7
CAPITULO 2.....	8
FUNDAMENTACION TEÓRICA .....	8
2.1 Introducción conceptos básicos.....	8
2.2 El helicóptero.....	8

2.2.1.	Funcionamiento del helicóptero .....	9
2.3	El motor de reacción o turborreactor .....	10
2.3.1	Funcionamiento del turborreactor .....	11
2.4.1	Caja de accesorios .....	12
2.5.1	El campo magnético .....	14
2.6	El motor eléctrico.....	16
2.6.1	Constitución del motor.....	16
2.6.2	Principio de funcionamiento del motor eléctrico. ....	19
2.7	Tipos de motores eléctricos.....	20
2.7.1	Motores de corriente alterna: .....	20
2.7.1.1	Por su velocidad de rotación. ....	22
2.7.1.2	Por el tipo de rotor.....	24
2.7.1.3	Por su número de fases de alimentación. ....	24
2.7.2	Motores de corriente continua:.....	24
2.7.2.1	Tipos de rotores .....	25
2.7.3	Motores universales: .....	27
2.8	Motor síncrono.....	27
2.9	Principio de funcionamiento del sistema de indicación de rpm. ....	29
2.10	Partes del sistema .....	30
2.10.1	Generador tacómetro de transmisión.....	30
2.10.2	Generador tacómetro de motor o de N2.....	31
2.10.3	Instrumento doble o indicador doble de rpm. ....	31
2.11	Características eléctricas de las partes del sistema .....	31
	CAPITULO 3.....	33
	INVESTIGACIÓN Y DISEÑO.....	33
3.1	Introducción a la investigación .....	33
3.2	Metodología de la investigación. ....	33
3.3	Diseño de la investigación.....	33
3.4	Investigación de campo.....	53
3.5	Resultados. ....	57
3.6	Diseño de la propuesta.....	59
3.6.1	Premisas de diseño.....	59

3.6.2	Diseño según el requerimiento.....	59
3.7	Partes y equipos requeridos.....	61
3.8	Calculo de parámetros .....	67
3.9	Programación del variador de frecuencia .....	72
3.9.1	Puesta en servicio estándar .....	72
3.9.2	Puesta en Servicio Rápida .....	75
3.10	Diseño eléctrico .....	76
3.11	Programación del software.....	77
3.12	Pruebas funcionales .....	79
	Conclusiones .....	81
	Recomendaciones .....	82
	Bibliografía.....	83
	Anexos.....	87

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Muestras tomadas en los Helicópteros en funcionamiento .	57
Tabla 2: Comparativa entre datos medidos y calculados .....	57
Tabla 3: Características de Equipos.....	70
Tabla 4: Porcentaje, Frecuencia y Velocidad .....	71
Tabla 5: Ajuste de fábrica para el convertidor Sinamics g110 variante analógica .....	74
Tabla 6: Ajustes de fábrica para variante uss.....	75

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

FIGURA 1: Un helicóptero del Ala de Combate 22 en pleno conflicto con el Perú .....	1
FIGURA 2: Miembros del ala 22 de la FAE realizando evacuación aeromédica.....	2
FIGURA 3: Fotografía página compañía Bell Helicopter .....	2
FIGURA 4: Helicóptero Bell tipo TH-57. ....	3
FIGURA 5: Indicador Tacómetro del Helicóptero th-57. ....	4
FIGURA 6: Rotor Principal del Helicóptero.....	10
FIGURA 7: Turborreactor .....	11
FIGURA 8: Turborreactor de Helicóptero Bell 206 .....	12
FIGURA 9: Caja de Accesorios .....	13
FIGURA 10: Bobina Eléctrica .....	15
FIGURA 11: Motor Eléctrico .....	16
FIGURA 12: Estator .....	17
FIGURA 13: Rotor .....	17
FIGURA 14: Colector desmontado de rotor.....	18
FIGURA 15: Escobillas varios tipos.....	19
FIGURA 16: Campos magnéticos giratorios.....	20
FIGURA 17: Explicación de la ley de Lenz.....	21
FIGURA 18: Formula del resbalamiento .....	23
FIGURA 19: rotor de jaula de ardilla simple .....	26
FIGURA 20: Rotor de jaula de ardilla doble con indicación de jaula de arranque y jaula de trabajo.....	27
FIGURA 21: generador tacometro de motor vista frontal .....	29
FIGURA 22: Helicóptero TH-57 en plataforma del Ala 22. ....	34
FIGURA 23: Helicóptero Bell 206 en plataforma del ala 22.....	34
FIGURA 24: Organigrama Ala de Combate 22. ....	35
FIGURA 25: Organigrama Ala de Combate 22. ....	35

FIGURA 26: organigrama escuadrón mantenimiento de sistemas aeronáuticos.....	36
FIGURA 27: Fuselaje Helicóptero TH-57 y Bell 206.....	38
FIGURA 28: Ubicación del motor en el fuselaje del Helicóptero Bell 206 .....	39
FIGURA 29: Motor del Helicóptero TH-57 y Bell 206 .....	39
FIGURA 30: desmontaje del motor desde el Helicóptero Bell 206 ....	40
FIGURA 31: Vista frontal del motor del Helicóptero Bell 206 con la ubicación de los generadores tacómetros .....	40
FIGURA 32: Interconexión de potencia desde el motor .....	41
FIGURA 33: Trasmisión del Helicóptero Bell 206.....	42
FIGURA 34: Partes Trasmisión principal con ubicación de generador tacómetro .....	42
FIGURA 35: Panel de instrumentos Helicóptero Bell 206 .....	43
FIGURA 36: Vista instrumentos básicos .....	44
FIGURA 37: Grafica de Indicador Doble .....	47
FIGURA 38: Grafica de Gas Producer .....	48
FIGURA 39: Grafica de valores límites de funcionamiento del indicador .....	49
FIGURA 40: Diagrama circuito tacómetro .....	50
FIGURA 41: Codificación del cableado .....	52
FIGURA 42: Generador tacómetro de trasmisión desarmado.....	54
FIGURA 43: Generador tacómetro de motor vista posterior.....	55
FIGURA 44: diagrama de primera parte de banco .....	60
FIGURA 45: diagrama de segunda parte de banco .....	60
FIGURA 46: tarjeta principal arduino.....	62
FIGURA 47: Pantalla LCD Arduino .....	63
FIGURA 48: Vista frontal variador de frecuencia.....	64
FIGURA 49: Placa de datos del variador de frecuencia .....	65
FIGURA 50: Basic Operator Panel (BOP).....	66
FIGURA 51: Circuito conexión estrella entre generador e indicador .	67
FIGURA 52: Posición del interruptor DIP .....	73

FIGURA 53: Puerto analógico para control del Variador de Frecuencia .....	74
FIGURA 54: Tabla de puesta en servicio rápida .....	76
FIGURA 55: Grafica de conexión de Arduino a Lcd .....	77
FIGURA 56: Muestra de Programa Arduino .....	78
FIGURA 57: Código de Programa indicador rpm .....	79

## **RESUMEN**

Este trabajo de titulación se expone una investigación de campo en la Fuerza Aérea Ecuatoriana específicamente en los helicópteros Bell 206 y TH-56 modelos fabricados por la compañía BELL HELICOPTER TEXTRON, en los cuales se determina el funcionamiento y de que partes consta el sistema de indicación de rpm de los helicópteros, mediante una recopilación de datos tomados de la información técnica disponible y completaremos la información midiendo directamente en las aeronaves los parámetros requeridos; encontraremos el porqué de varias unidades son intercambiables a pesar de ser producidas por diferentes fabricantes y con esta información se diseñara un banco de prueba para comprobar y reparar dicho sistema.



# CAPITULO I

## GENERALIDADES

### 1.1 Introducción

La presente investigación va a ser desarrollada en la FUERZA AEREA ECUATORIANA que es la institución que se encarga de defender el espacio aéreo del Ecuador además de participar en el desarrollo del país. Para conseguir este objetivo la FAE provee de un servicio social fundamental que es la búsqueda y rescate de personas involucradas en accidentes aéreos y terrestres o personas con diagnósticos médicos graves que necesitan ser transportados con rapidez desde lugares de difícil acceso a las diferentes casas asistenciales alrededor de todo el territorio nacional; para realizar esto la FAE posee diferentes aeronaves, entre ellas se encuentran los helicópteros que son administrados por el ALA DE COMBATE 22, asentada en la ciudad de Guayaquil, provincia del Guayas, ejerciendo esta noble labor desde 1962.

**FIGURA 1: Un helicóptero del Ala de Combate 22 en pleno conflicto con el Perú**



**FUENTE:** <http://www.militar.org.ua/foro/fuerzas-armadas-del-ecuador-2010-2014.html>

**Autor:** (FORO MILITAR, 2014)

Los helicópteros son aeronaves muy versátiles que pueden por sus características de vuelo vertical, aterrizar en lugares congestionados o de difícil acceso y transportar con seguridad a personas que tuvieran alguna clase de accidente.

**FIGURA 2: Miembros del ala 22 de la FAE realizando evacuación aeromédica**



**FUENTE:** <http://www.defensa.gob.ec/2013/05/>

**AUTOR:** (MINISTERIO DE DEFENSA, 2013)

Dentro de la extensa variedad de este tipo de aeronaves se encuentran los Helicópteros Bell 206 y TH-57 fabricados en Estados Unidos de Norteamérica por la compañía “BELL HELICOPTER A TEXTRON COMPANY” (BELL HELICOPTER, 2014).

**FIGURA 3: Fotografía página compañía Bell Helicopter**



**FUENTE:** <http://www.bellhelicopter.com/>

**AUTOR:** (BELL HELICOPTER, 2014)

Los Helicópteros llegaron al país en 1990 y se han mantenido operando durante todos estos años gracias al mantenimiento que se ha logrado brindar a dichas aeronaves.

**FIGURA 4: Helicóptero Bell tipo TH-57.**



**FUENTE:** fotografía directa

**AUTOR:** (JOSE VALLADARES)

Hace años se han venido suscitando varias novedades con la entrega de los repuestos necesarios para mantener operativas las aeronaves debido a que la empresa fabricante ha dejado de construir este modelo y sus partes, además los costos de operación y de adquisición de repuestos son muy elevados tanto que sobrepasan los límites de los presupuestos asignados por el estado ecuatoriano, lo que impide que muchos equipos no puedan ser reparados debidamente.

Existen varios sistemas de orden eléctrico y mecánico que se encuentran dentro de estas aeronaves que permiten su funcionamiento, entre ellos se encuentra la determinación o medición de la velocidad del motor y rotor, la cual tiene gran importancia, puesto que junto con parámetros tales como presión y temperatura de aceite, la presión de torque y temperatura interna de la turbina o motor, permiten mantener un control exacto sobre la actuación del motor.

Esta velocidad del motor es monitoreada por un sistema eléctrico que emplea Tacómetros accionados mecánicamente que transforman ese movimiento mecánico en una señal eléctrica que es visualizada en un indicador de RPM ubicado en la cabina de la aeronave, estableciendo la

velocidad del rotor principal y del motor, indicados en forma de porcentaje como indica la gráfica.

**FIGURA 5: Indicador Tacómetro del Helicóptero th-57.**



**FUENTE:** fotografía directa

**AUTOR:** JOSE VALLADARES

Al comenzar a funcionar el helicóptero en su fase de arranque se puede visualizar en la indicación que las dos agujas del instrumento se desplazan iguales hasta alcanzar el 60 por ciento de RPM que corresponde al ralentí del motor y rotor, luego se acelera hasta alcanzar el 100 por ciento de RPM que es el parámetro necesario para que el helicóptero pueda despegar, pero se empezó a visualizar que en algunos casos las agujas no se desplazan iguales y se mantenían diferencias entre las RPM del rotor y RPM del motor en el orden de hasta el 4 por ciento, diferencias que provocaban que se manipule erróneamente las calibraciones del motor, las cuales derivaban en pérdidas de potencia y en otros casos sobre velocidades de los motores, con consecuencias de sobre temperaturas y daños internos en los componentes del motor.

En algunos casos después de varios esfuerzos por determinar la ubicación del fallo se determinó que los indicadores en ciertas ocasiones perdían sus características y presentaban indicaciones erróneas; en otros casos los generadores tacómetros también sufrían daños los cuales también derivaban en indicaciones erróneas y finalmente la vetustez del cableado eléctrico en ciertas aeronaves también resulta en una mala indicación, brindando a los

técnicos una apreciación errónea del daño que realmente posee el helicóptero y manteniendo en la mayoría de veces las aeronaves por mucho tiempo reportadas y para posibilitar su operación se adquiere unidades nuevas que después de un corto uso son desechadas por no poseer un dispositivo donde se pueda visualizar de forma segura las RPM que tiene el motor y determinar donde se encuentra el daño del sistema, además de proporcionar una indicación comparativa para reparar indicadores y generadores tacómetros.

## **1.2 Tema del trabajo de titulación**

DISEÑO DE BANCO PARA COMPROBACIÓN Y REPARACIÓN DEL SISTEMA INDICADOR TACOMETRO DE LOS HELICOPTEROS BELL 206 Y TH-57 DE LA FUERZA AEREA ECUATORIANA.

## **1.3 Planteamiento del problema**

El problema se origina en el sistema de indicación de rpm en el helicóptero bajo ciertas circunstancias indica una lectura errónea y al no poseer otra forma de medir y comparar este parámetro no se puede reparar la aeronave ni sus componentes.

## **1.4 Delimitación del problema**

Es necesario el diseño de un banco de prueba para comprobación del sistema indicador tacómetro de los helicópteros tipo TH-57 Y BELL 206, que será construido en su totalidad y con la finalidad de ser utilizado en el Ala de Combate No. 22, Escuadrón Mantenimiento 2222, por los técnicos de la Escuadrilla Electrónica Aeronáutica 2222, unidad militar asentada en la ciudad de Guayaquil como parte de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

Analizar el funcionamiento del Sistema Indicador de RPM y sus efectos en los Helicópteros TH-57 y BELL 206, realizando una investigación de Campo en las instalaciones del Ala de Combate 22 de la Fuerza Aérea Ecuatoriana con el fin de diseñar un equipo para comprobar dicho sistema tacométrico.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- 1) Determinar el funcionamiento del sistema de Indicación de RPM y de cada uno de sus componentes.
- 2) Establecer la importancia del sistema de Indicación de RPM y la interrelación que mantiene con los demás equipos que componen la aeronave.
- 3) Construir el dispositivo mediante el conocimiento adquirido en esta investigación, determinando las partes que sean necesarias para su elaboración.

## **1.6 Justificación**

Este tema de estudio es de alta importancia porque encara varias materias de pertinencia social y científica determinando la problemática y consiguiente solución.

Es socialmente pertinente su realización porque presenta la problemática y solución de un sistema eléctrico-mecánico perteneciente a un helicóptero, aeronave utilizada en el rescate de personas accidentadas y diversas misiones dentro del territorio ecuatoriano que al transportar contingente humano se determina como recurso de alta prioridad para el país y cualquier

iniciativa que aumente la seguridad en los vuelos y a su vez cuide de la vida de los pasajeros es de suma importancia.

Es científicamente pertinente porque el diseño de un equipo como el que se propone realizar necesita una investigación profunda del funcionamiento de equipos creados en los años 1980 y de cómo unir esa tecnología analógica y llevarla a la tecnología digital utilizando conocimientos científicos actuales modernizando la aeronave y su forma de reparación.

Evidentemente es importante su implementación porque disminuye el tiempo en que la aeronave se encuentra en reparación, además de bajar considerablemente los costos de mantenimiento, para la Fuerza Aérea Ecuatoriana y por ende para el país.

## **1.7 Descripción de la propuesta**

Una solución a este problema derivaría en la construcción de un equipo que mida las revoluciones reales y permita la reparación de todos los equipos que componen el sistema de indicación de rpm.

## **1.8 Beneficiarios.**

Los beneficiarios directos de este proyecto es el personal técnico de la Escuadrilla Electrónica Aeronáutica del Escuadrón Mantenimiento No. 2222 del Ala de Combate No. 22 de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, dicho personal no cuenta con un equipo o banco que pueda comprobar y reparar los componentes del sistema de Indicación de rpm de los helicópteros TH-57 y BELL 206, con lo cual está logrando independencia de mano de obra extranjera y ahorrando valiosas divisas del estado ecuatoriano.

## **CAPITULO 2**

### **FUNDAMENTACION TEÓRICA**

#### **2.1 Introducción conceptos básicos**

Iniciaremos con varias explicaciones de dispositivos que conciernen a este proyecto de titulación, situados desde el equipo visto en su totalidad hasta el sistema que fundamenta nuestra investigación.

Estos dispositivos eléctricos y mecánicos se encuentran distribuidos en la vida cotidiana moderna de nuestra sociedad. En la industria se los puede ubicar en el transporte de pasajeros, en la generación eléctrica de diversas fábricas o establecimientos y equipos que requieren fuentes de energía accesible fácilmente transportable.

Nuestro tema nos lleva a establecer primeramente el funcionamiento del equipo del cual se deriva este trabajo de titulación como es el Helicóptero.

#### **2.2 El helicóptero**

El helicóptero es un equipo impulsado por uno o más rotores horizontales, en los cuales se encuentran aspas o palas. La palabra helicóptero fue puesta en circulación por el francés (Gustave de Ponton 1861). Su significado etimológico deriva del griego hélix (espiral o girar) y de pteron que simboliza (ala).

La principal utilidad del helicóptero es que se puede desplazar hacia arriba y mantenerse en el aire con mucha facilidad sin que tenga que moverse hacia delante, como es el caso de los aviones. Esto les permite aterrizar y decolar verticalmente en un pequeño espacio y sin necesidad de una pista de aterrizaje. (Helicóptero, 2014)



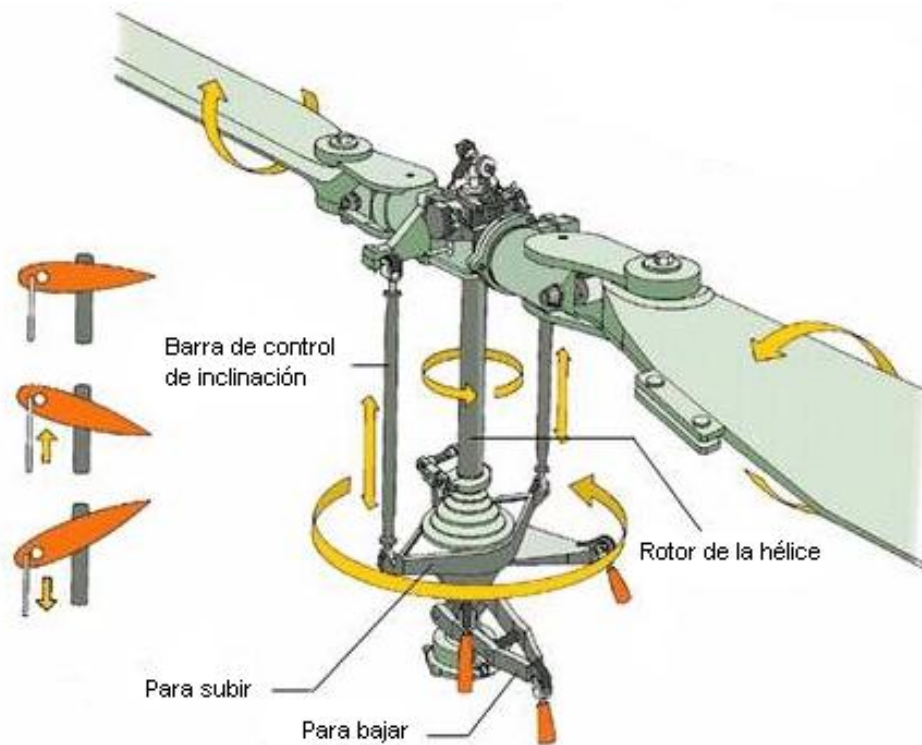
Como lo demuestra este concepto los helicópteros son aeronaves de alas giratorias que crean sustentación mediante las palas que giran alrededor de un eje vertical sin que el equipo este desplazándose, esto hace que la aeronave sea sumamente compleja en cuanto a sus componentes pero a la vez sus sistemas lo hacen muy versátil, de pilotaje seguro y con la posibilidad de aterrizar en cualquier lugar donde lo requiera.

### **2.2.1. Funcionamiento del helicóptero**

Las palas del rotor principal posee un perfil aerodinámico igual a las alas de un avión común, en otras palabras, tienen una curva que forma una elevación en la parte alta del ala, y lisas o incluso cóncavas en la parte inferior. Cuando se inicia el giro del rotor esta forma hace que se forme sustentación, la cual eleva al equipo. La velocidad del rotor principal es constante, y permite que el helicóptero escale o descienda dependiendo de la variación en el ángulo de ataque establecido por las palas del rotor; a mayor inclinación de las palas, mayor será la sustentación y viceversa.

Una vez despegado, el helicóptero tiende a girar sobre su eje vertical en sentido contrario al giro del rotor principal. Para contrarrestar que esto ocurra, salvo que el piloto lo desee, los helicópteros disponen, en un lado de la cola una hélice más pequeña, denominada rotor de cola, instalada verticalmente, que compensa la tendencia a girar del aparato y lo mantiene en un solo sentido. (Google friend, 2009)

**FIGURA 6: Rotor Principal del Helicóptero**



**FUENTE:**<http://www.proteccioncivil.org/catalogo/carpeta02/carpeta24/vademecum12/vdm023.htm>

**AUTOR:** (Dirección General de Protección civil y emergencias, ministerio del interior España)

Otra de las partes importantes que debemos mencionar en nuestro trabajo es el equipo que proporciona la potencia o el tren de fuerza para que el helicóptero pueda desplazarse es el denominado motor o turbina.

### **2.3 El motor de reacción o turboreactor**

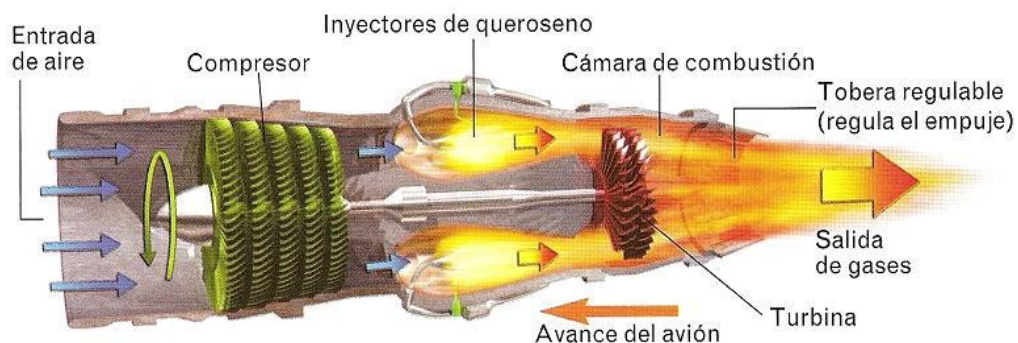
“El turboreactor (en inglés: turbojet) es el tipo más antiguo de los motores de reacción de propósito general. Son motores pertenecientes al grupo de las turbinas de ciclo abierto, con la única diferencia que para llamarse turboreactor es indispensable que en él se encuentre un compresor o turbocompresor, de ahí viene su prefijo turbo.” (TARINGA, 2012)

Su uso es general porque lo encontramos en varios tipos de aviones de ala fija y rotora cambiando solo su potencia, peso y su consumo de combustible.

### 2.3.1 Funcionamiento del turborreactor

Con la ayuda de grandes compresores axiales o centrífugos se lleva enormes volúmenes de aire a una presión aproximada de 8 atmósferas para comprimirlos. Una vez que se dispone del aire comprimido, se introduce en cámaras de combustión en las que se quemará combustible de forma continua para proporcionar energía a ese aire. El aire, a mayor presión y a mayor temperatura, se traslada hasta la turbina. Allí se expande parcialmente y consigue la energía necesaria para mover el compresor. (TARINGA, 2012)

FIGURA 7: Turborreactor



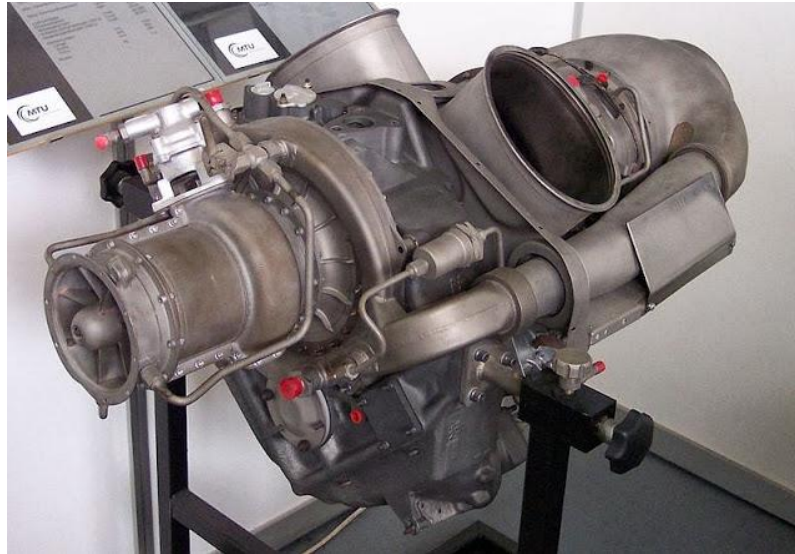
FUENTE: <http://motordeaviones.blogspot.com/2014/06/volar.html>

AUTOR: (MARTÍN Blog, 2014)

En la figura 7 se describe el funcionamiento básico del turborreactor con la tobera de salida de gases que propulsan hacia delante al avión, en nuestro caso las turbinas proporcionadas por la Compañía ROLLS-ROYCE para uso en los Helicópteros Bell 206 y TH-57, poseen una modificación que recoge el aire comprimido dividiéndolo y enviándolo hacia la parte final del motor para calentarlo y desplazarlo hacia las toberas de salida ubicadas en la mitad del turborreactor no sin antes proporcionar fuerza a la turbina de potencia la cual

por medio de la caja de accesorios interconecta mediante piñones al eje de salida o Eje de potencia que provee de la torsión suficiente para que funcione el helicóptero.

**FIGURA 8: Turborreactor de Helicóptero Bell 206**



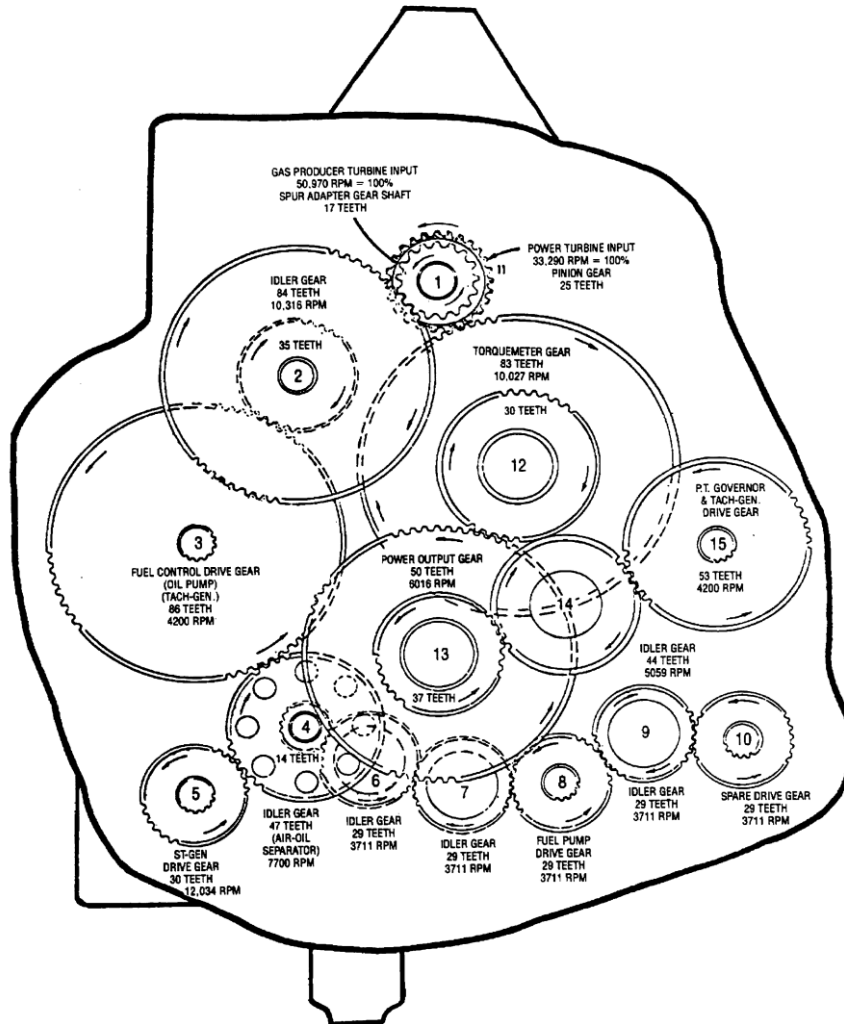
**FUENTE:** <http://fdra.blogspot.com/2011/07/tecnologia-motor-aeronautico-parte-1.html>

**AUTOR:** (Blog de las Fuerzas de Defensa de la República, 2011)

### **2.4.1 Caja de accesorios**

Mecanismo donde se juntan todos los dispositivos que interconectan el turborreactor, por ejemplo, el control de combustible, bombas de aceite y combustible, generador arrancador eléctrico y los generadores tacómetros. Es una caja de piñones que baja las RPM desde las 50.970 RPM que mantiene en las turbinas del motor hasta las 6,016 RPM del Eje de potencia o los 4200 RPM para el uso de los dispositivos de control del motor.

**FIGURA 9: Caja de Accesorios**



**FUENTE:** Manual Mantenimiento Bell

**AUTOR:** (ROLLS-ROYCE, 2001)

En la caja de accesorios se ven instalados dos de los dispositivos que son de fundamental importancia para nuestro estudio, los cuales son los Generadores Tacómetros que entran en la definición de Motores eléctricos y a la vez generadores eléctricos razón por la cual es menester iniciar su estudio desde su modo de funcionamiento y constitución.

En el hogar los motores eléctricos hacen funcionar refrigeradores, aspiradoras, batidoras, equipos de aire acondicionado y muchos otros equipos

similares, en talleres estos motores impulsan herramientas que en consecuencia hacen que nuestra vida sea más cómoda y eficiente.

Las Maquinas Eléctricas son dispositivos que pueden convertir energía mecánica en energía eléctrica o viceversa. Cuando se utiliza para transformar fuerza mecánica en eléctrica se llama GENERADOR ELECTRICO, cuando cambia fuerza eléctrica en mecánica se señala como MOTOR ELECTRICO. Casi todos los motores o generadores convierten energía de una u otra forma a través del manejo de campos magnéticos.

Debido a lo cual Iniciaremos su estudio determinando una parte muy importante de su concepto o básicamente el efecto físico que determina su funcionamiento.

### **2.5.1 El campo magnético**

El campo magnético  $B$  es una magnitud vectorial. Puede estar producido por una carga puntual en movimiento o por un conjunto de electrones en movimiento, es decir, por una corriente eléctrica. (S. Burbano, 2006)

La unidad de campo magnético en el Sistema Internacional es el tesla (T). Un tesla se define como el campo magnético que ejerce una fuerza de 1 N (newton) sobre una carga de 1 C (culombio) que se mueve a velocidad de 1 m/s dentro del campo y perpendicularmente a las líneas de campo. (Real Decreto 1317, 1989).

El tesla es una unidad muy grande, por lo que a veces se emplea como unidad de campo magnético el gauss (G) que, aunque no pertenece al Sistema Internacional sino al sistema CGS, tiene un valor más acorde con el orden de magnitud de los campos magnéticos que habitualmente se manejan. (M. Blas y A. Serrano, Fernandez, 2014)

Este campo magnético puede visualizarse cuando se espolvorea una fina capa de limaduras de hierro encima de un papel en presencia de un imán permanente a estas se las llama Espectro Magnético.

(H. Chistian Oersted, 1820) profesor danés descubrió que la corriente eléctrica interactuaba con el campo magnético, observando que al circular corriente eléctrica por un conductor y acercarlo a una brújula esta cambiaba de sentido, evidenciándose que dicha corriente generaba un campo magnético alrededor del conductor, este efecto se aprovechó enrollando dicho conductor, agrupando el campo magnético, a este dispositivo se le denominó Bobina la cual tiene por mismas razones un polo norte y uno sur, igual que los imanes naturales; de este concepto se deriva el llamado Motor eléctrico y la bobina consta como una de sus partes más importantes.

**FIGURA 10: Bobina Eléctrica**



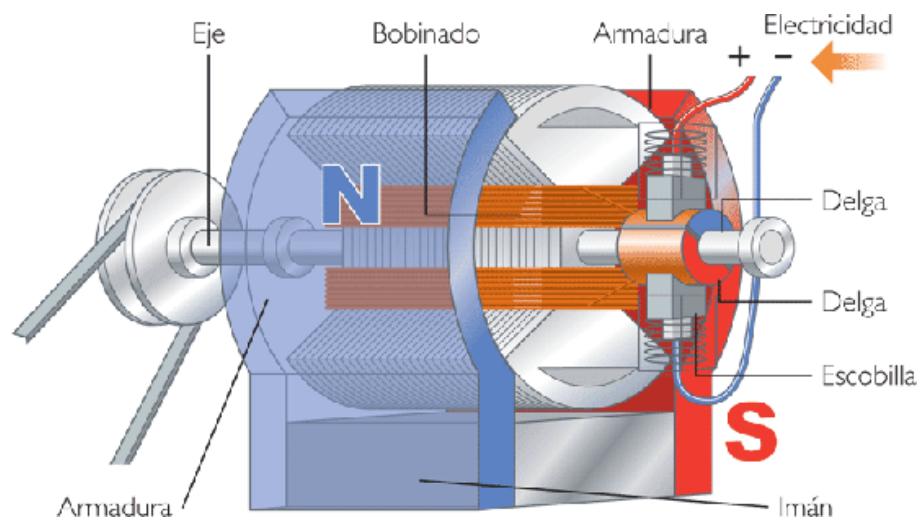
**FUENTE:** [http://www.quimicaweb.net/grupo\\_trabajo\\_fyq3/tema9/index9.htm](http://www.quimicaweb.net/grupo_trabajo_fyq3/tema9/index9.htm)

**AUTOR:** (MAGNETISMO, 2014)

## 2.6 El motor eléctrico

El denominado motor eléctrico es un artefacto eléctrico que gira su eje y convierte una fuente eléctrica en energía mecánica utilizando su capacidad electromagnética.

**FIGURA 11: Motor Eléctrico**



**FUENTE:** <http://berenice-aguilar.blogspot.com/2012/06/el-generador-y-motor-electrico.html>

**AUTOR:** (CHACON, 2012)

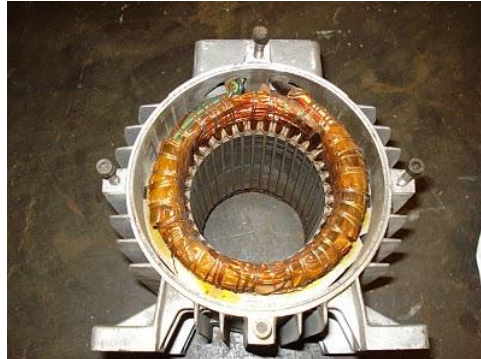
### 2.6.1 Constitución del motor.

Los motores eléctricos están dispuestos en su mayor parte por:

- a) **Estator.-** El estator es un dispositivo que contiene el bobinado inductor y retiene una serie de núcleos también llamados culata, los cuales constan de un aro de acero laminado, donde están instalados los bobinados o núcleos de los polos principales, siendo este el lugar donde se genera el campo magnético necesario para el funcionamiento del motor.



**FIGURA 12: Estator**



**FUENTE:** [http://electricistaindustrial-jfranco.blogspot.com/2011\\_04\\_18\\_archive.html](http://electricistaindustrial-jfranco.blogspot.com/2011_04_18_archive.html)

**AUTOR:** (Blogger., 2011)

**b) Rotor.-** Esta es la parte rotora, constituido a veces de un eje imán permanente, en otras ocasiones está armado mediante láminas o chapas superpuestas de características ferromagnéticas. Dichas laminas, poseen unas ranuras o caminos en donde se disponen las bobinas ensambladas en un orden específico o también de una constitución llamada jaula de ardilla; su velocidad, constitución y características dependen directamente del tipo de motor el que está dispuesto.

**FIGURA 13: Rotor**

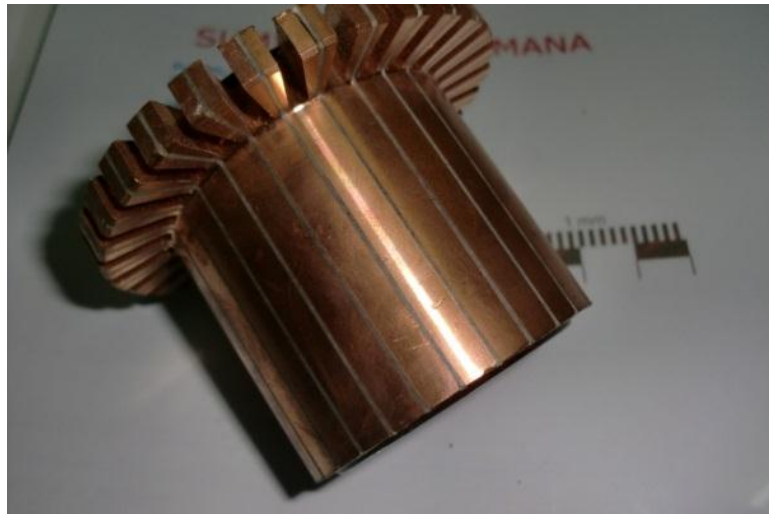


**FUENTE:** <http://www.directindustry.es/prod/sintex/rotores-iman-permanente-ferrita-38214-1260009.html>

**AUTOR:** (MYDIRECTINDUSTRY, 2015)

**c) Colector.-** Es un conjunto de conexiones donde se interconectan los diferentes bobinados del inducido a la alimentación eléctrica por medio de las escobillas. También se denominan anillos rozantes porque cada final y principio de las bobinas se conectan a un anillo o delga ubicada en el eje del rotor. La alimentación eléctrica del rotor se realiza interconectando cada una de estas delgas por medio de unas escobillas o carbones.

**FIGURA 14: Colector desmontado de rotor**

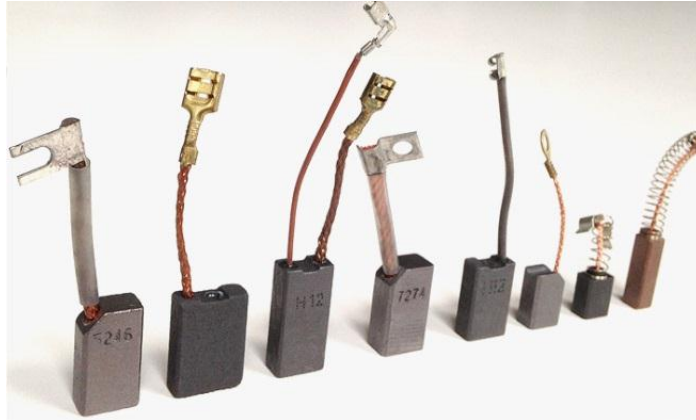


**FUENTE:** <http://www.colectores-electricos-vimana.com/catalogo.php>

**AUTOR:** (VIMANA - CATALOGO, 2014)

**4) Escobillas.-** Las escobillas son las que recolectan o también inyectan la energía eléctrica al y desde el inducido. Esta parte constituye la fuente más habitual de daños en los motores eléctricos que las poseen, solucionando el problema con su cambio regularmente.

**FIGURA 15: Escobillas varios tipos**



**FUENTE:** <http://www.asein.com/es/catalogo/maquinas-electroportatiles>

**AUTOR:** (ASEIN A, 2014)

## **2.6.2 Principio de funcionamiento del motor eléctrico.**

Existen varias partes de los que se encuentran conformados los motores eléctricos, estas partes cambian de acuerdo al tipo de motor, pero en la mayoría podemos encontrar dos partes muy importantes como son el Estator y el Rotor, que como sus nombres lo indican el uno permanece estático y el otro gira en su propio eje.

Dentro del concepto de magnetismo se encuentra la existencia de dos polos: polo norte (N) y polo sur (S), que son las regiones donde se concentran las líneas de fuerza de un imán. Un motor para funcionar se vale de las fuerzas de atracción y repulsión que existen entre los polos. Acorde con esto, decimos que todo motor eléctrico tiene que estar formado con polos alternados entre el estator y el rotor, ya que los polos magnéticos iguales se repelen, y polos magnéticos diferentes se atraen, produciendo así el movimiento de rotación.

Dicho movimiento podemos visualizarlo en la siguiente gráfica de la página (Así Funciona).

**FIGURA 16: Campos magnéticos giratorios**



**FUENTE:** <http://asifunciona.com>

**AUTOR:** (ASÍ FUNCIONA, 2015)

## **2.7 Tipos de motores eléctricos**

Existen varios tipos de motores eléctricos basados mayormente en los componentes que poseen, en varias literaturas consultadas (Chapman, 2005) se puede encontrar por ejemplo:

### **2.7.1 Motores de corriente alterna:**

Son altamente difundidos en la industria, más que todo, el motor trifásico asíncrono de rotor de jaula de ardilla, esto se debe fundamentalmente a su sencillez constructiva, su robustez, buen rendimiento y bajo mantenimiento aunado con sus altas prestaciones. (TARINGA, 2012).

Acotando esta definición podemos explicar brevemente su funcionamiento concepto de gran importancia para este trabajo.

Considerando un grupo de tres bobinados iguales colocadas de tal manera que su posición forme un ángulo de 120 grados las cuales son conectadas por una red trifásica, es decir con tensiones desfasadas 120 grados una de la otra. En cada uno de los bobinados se inducirá un campo electromagnético el cual a su vez se encontraran desplazado 120 grados en el espacio.

Luego en el transcurso del tiempo se visualizara en el centro de los bobinados un campo magnético cambiante, el cual posee una velocidad angular y oscilación que se corresponde a la frecuencia de la tensión aplicada.

Ahora supongamos que dentro de este campo magnético colocamos una espira de una bobina en cortocircuito dispuesta en un eje lista para girar, en este instante observaremos que la espira comenzara a girar siguiendo el movimiento del campo magnético circundante, girando su eje del rotor a una velocidad casi igual a la frecuencia que mantiene el equipo.

Según varios autores consultados este fenómeno surge de la Ley de Lenz, (Vicmanper, 2012), el cual se describe en la siguiente figura:

**FIGURA 17: Explicación de la ley de Lenz**

# 9

6 Ley de Lenz

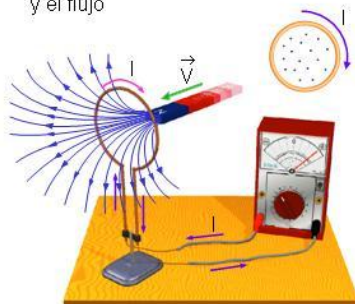
## Inducción electromagnética

Física  
2º BACHILLERATO

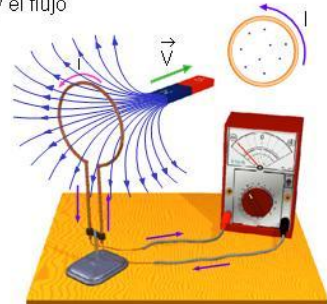
- El sentido de la corriente inducida se opone a la variación del flujo que la produce

$$\mathcal{E} = - \frac{d\phi}{dt}$$

- Al acercar el imán a la espira, aumenta el campo magnético que la atraviesa, y el flujo



- Al alejar el imán de la espira, disminuye el campo magnético que la atraviesa, y el flujo



- La corriente inducida circula en el sentido en el que se genera un campo magnético por la espira, cuyo flujo tiende a contrarrestar el del campo magnético del imán

**FUENTE:** <http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/15220341/Para-que-sirve-la-ciencia-basica.html>

**AUTOR:** (TARINGA, 2012)

Adicionalmente podemos numerar los Motores del tipo tensión alterna de muchas maneras diferentes; por su velocidad de rotación, por el tipo de inducido que poseen y por el número de fases que lo alimentan.

### 2.7.1.1 Por su velocidad de rotación.

#### a) Asíncronos.

El motor eléctrico determinado como asíncrono tiene la velocidad de giro del campo magnético formado por el estator, prevaleciendo mayormente a la velocidad de rotación del rotor. En su funcionamiento interviene un concepto muy importante llamado resbalamiento.

Para explicar este fenómeno primeramente partimos de la consideración que en un sistema de voltajes trifásicos con una frecuencia de 60 herzs que alimentan a un conjunto de tres bobinados iguales desplazados  $120^\circ$ , dará como conclusión un campo magnético giratorio cuya velocidad angular será:

$$W = 2\pi F$$

DONDE:

- W: VELOCIDAD ANGULAR
- $\pi$ : PI
- F: FRECUENCIA

Así veremos que si la frecuencia es de 60 hz o 60 ciclos por segundo los transformamos en minutos obteniendo 3600 revoluciones por minuto. Matemáticamente hablando, sin embargo, la verdad es que la velocidad del campo magnético depende de la forma en la cual se ubica el bobinado en el estator y cuanto establece de diferencia un cierto número de pares de polos, en situación de los cuales la velocidad, llamada velocidad sincrónica, está dada por:

Si los polos fueran igual a "1" entonces la velocidad del campo sería igual a la velocidad angular. Pero si se variara la cantidad de polos, la velocidad también variaría.

Por otro lado si el rotor gira porque el campo magnético lo traspasa, al girar el rotor a la misma velocidad del campo magnético sería como si el campo

estuviera estático y se evaporaría el principio que mantiene en movimiento al motor, así que para que se conserve en movimiento debe suceder que el rotor tiene que girar a una velocidad diferente a la del campo; A la diferencia entre estas dos velocidades se lo llama resbalamiento.

**FIGURA 18: Formula del resbalamiento**

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad \text{o bien} \quad S(\%) = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100$$

**FUENTE:** WWW.MAILXMAIL.COM

**AUTOR:** (D. SOSA, 2014)

El resbalamiento no es un valor absoluto, este depende directamente de la potencia del motor, consideremos que; si el motor mueve cargas más pesadas que su capacidad nominal, su velocidad baja porque el resbalamiento aumenta tanto que si la carga es demasiado alta para la cabida del motor este se detendría diciéndose que el valor del resbalamiento es igual a 100%.

Por consiguiente la potencia absorbida por el motor es la consecuencia entre la tensión al que esta sometidos sus bobinados y la corriente que los atraviesa por lo cual notaremos que mientras mayor sea la carga a mover mayor será la potencia que requiere y si el voltaje es constante encontramos que quien subiría sería la corriente por lo cual podemos concluir que a mayor resbalamiento más grande la corriente absorbida por el motor.

**b) Síncronos.-** Cuando un equipo eléctrico es determinado como síncrono la rapidez de giro del campo electromagnético del estator es igual a la rapidez de rotación del rotor también llamada velocidad angular. En el

conjunto de esta clase de motores eléctricos, se establece una sub categorización:

- Motores eléctricos síncronos de tres fases.
- Motores eléctricos asíncronos sincronizados.
- Motores eléctricos de rotor tipo imán permanente.

#### **2.7.1.2 Por el tipo de rotor.**

- Motores eléctricos de anillos o delgas rozantes.
- Motores eléctricos con colector.
- Motores eléctricos de tipo jaula de ardilla.

#### **2.7.1.3 Por su número de fases de alimentación.**

- Motores eléctricos de una fase.
- Motores eléctricos de dos fases.
- Motores eléctricos de tres fases.
- Motores eléctricos con arranque auxiliar bobinado.
- Motores de arranque auxiliar bobinado y condensador.

### **2.7.2 Motores de corriente continua:**

Suelen utilizarse mayormente cuando se necesita precisión en la variación de la velocidad, los motores de voltaje continuo poseen muchos detalles que los diferencian de los de tensión alterna. Uno de los principios importantes de estos dispositivos radica en que pueden funcionar a la inversa, es decir, no solamente pueden ser usados para pasar la energía eléctrica en energía mecánica, sino que también pueden ocuparse como generadores de energía eléctrica, cambiándolos de motores a generadores eléctricos.



Estos equipos de voltaje continuo gozan de un par de arranque alto, comparándolos con los de tensión alterna, también su control se puede establecer con mucha sencillez en lo relativo a la velocidad. Son utilizados en ferrocarriles eléctricos, coches eléctricos, tranvías, ascensores y muchas otras acciones donde el control de las funciones del motor lo hacen esencial.

Esta clase de motores eléctricos se catalogan en función de los ejemplares de bobinados del inductor y del rotor o inducido (Chapman, 2005):

- Motor eléctrico de cd de excitación separada.
- Motor eléctrico de cd en derivación.
- Motor eléctrico de cd de imán permanente.
- Motor eléctrico de cd en serie
- Motor eléctrico de cd compuesto

### **2.7.2.1 Tipos de rotores**

En esta categorización existen varios prototipos de estos elementos, enumeraremos algunos de ellos:

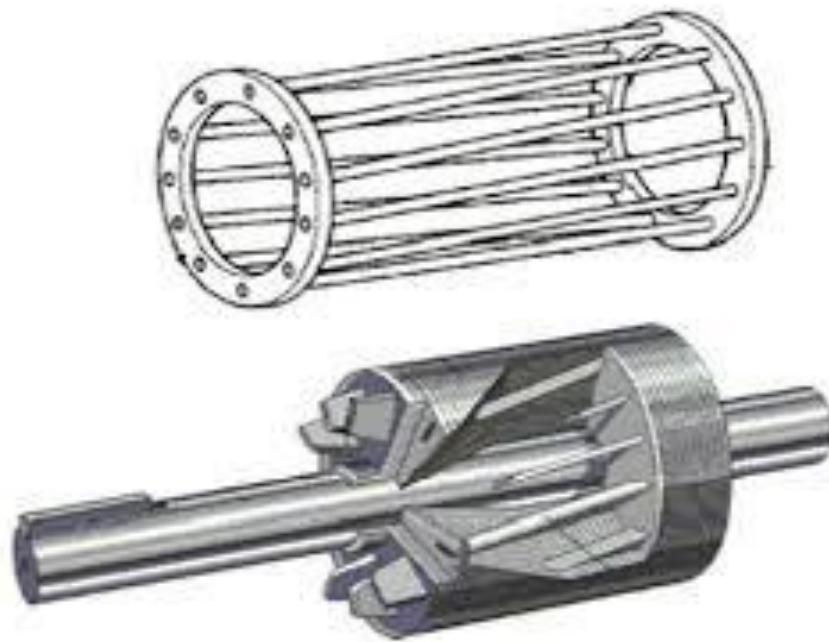
- Motor eléctrico de Rotor tipo jaula de ardilla simple.
- Motor eléctrico de Rotor tipo Jaula de ardilla Doble

Este rotor es en la actualidad el de mayor demanda por lo cual lo mencionamos en este trabajo de titulación.

El motor eléctrico con rotor de jaula de ardilla simple es el utilizado para motores pequeños, en cuyo arranque la intensidad nominal supera de 6 ó 8 veces a la intensidad nominal del motor. Es infructuoso en presencia de picos de corriente altos por lo cual se lo sustituye por los rotores de jaula de ardilla

doble en motores de potencia media. Su par de arranque no sobrepasa el 140 % del normal". (Google, 2014)

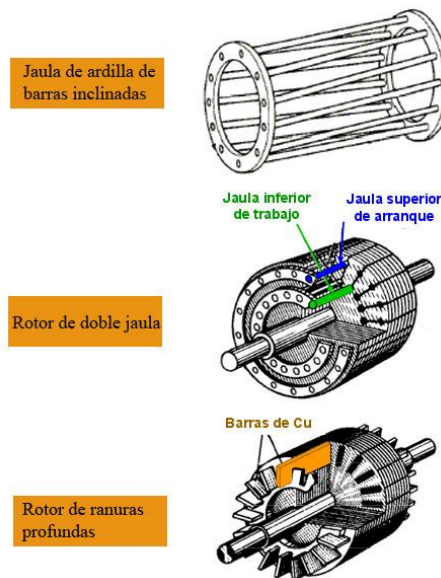
**FIGURA 19: rotor de jaula de ardilla simple**



**FUENTE:**[http://alonelectricalscience.blogspot.com/2009\\_06\\_01\\_archive.htm](http://alonelectricalscience.blogspot.com/2009_06_01_archive.htm)

**AUTOR:** (JEISSY, 2009)

**FIGURA 20: Rotor de jaula de ardilla doble con indicación de jaula de arranque y jaula de trabajo**



**FUENTE:** <http://apuntescientificos.org/motores.html>

**AUTOR: (APUNTES CIENTÍFICO)**

### **2.7.3 Motores universales:**

Equipos que trabajan con tensión alterna o continua, su uso es muy difundido en electrodomésticos y entre sus características básicas poseen colector en su mayoría.

Para este trabajo de titulación solo se tomara en cuenta el motor síncrono por su característica de velocidad que es la razón por la cual es utilizado para indicar la velocidad en los sistemas de aviación.

## **2.8 Motor síncrono**

Los motores síncronos son dispositivos síncronos que se usan para transformar potencia eléctrica en potencia mecánica.” (Chapman, 2005).

En donde una tensión introducida en el motor genera un campo magnético en estado estático, aplicando a un conjunto de voltajes trifásicos lo que origina

un flujo de corriente trifásica en los bobinados lo que a su vez produce un campo magnético giratorio uniforme, por consiguiente a esto el rotor trata constantemente de alinearse siguiendo este campo giratorio siendo la velocidad de giro del campo magnético igual a la velocidad de giro de su eje.

Los motores síncronos pertenecen a un tipo de motor eléctrico de tensión alterna en el que la rotación del eje está armonizada con la frecuencia de la corriente de suministro; el período de revolución es exactamente análogo a un número entero de ciclos de CA. Su velocidad de rotación es invariable y obedece enteramente de la frecuencia de la potencia de la red eléctrica a la que esté vinculada y por el número de pares de polos del equipo, siendo llamada esa velocidad como Velocidad de Sincronismo. Este tipo de motor contiene bobinados en el estator del motor que crean un campo magnético que rota en el tiempo a una velocidad llamada de sincronismo.

La fórmula matemática que relaciona la velocidad de la máquina con la frecuencia, el número de polos y la velocidad de sincronismo es:

$$\omega_{\text{sinc}} = 2\pi f / P$$

$$f = N_m P / 120$$

Dónde:

f: Frecuencia de la red eléctrica a la que está ligada el motor (Hz)

P: Número de pares de polos que abriga el motor.

$\omega$ : velocidad angular expresada en radianes por segundo (rad/s)

p: Número de polos que tiene el motor.

N<sub>m</sub>: Velocidad de sincronismo del motor (revoluciones por minuto)

Por ejemplo, si se tiene una máquina de cuatro polos (2 pares de polos) conectada a una red de 50 Hz, la máquina operará a 1.500 revoluciones por minuto.

En el conjunto de los motores eléctricos síncronos nos corresponde diferenciar:

- Los motores eléctricos síncronos.
- Los motores eléctricos asíncronos sincronizados.
- Los motores eléctricos de imán permanente.

El motor síncrono de imán permanente es el dispositivo del que se encuentra conformado nuestro generador tacómetro, objeto de nuestro estudio.

## **2.9 Principio de funcionamiento del sistema de indicación de rpm.**

El generador tacómetro del helicóptero es básicamente es un motor síncrono que se constituye de un rotor de imán permanente que rota en medio de un estator laminado que lleva un bobinado trifásico conectado en estrella. El rotor es bipolar (dos polos) los cuales se encuentran sesgados, de forma que cuando un extremo de un polo deja un diente del estator, el otro extremo entra en el siguiente. Esto produce la mejor forma de onda y permite una torsión de accionamiento constante. Generando una corriente de salida en este dispositivo.

**FIGURA 21: generador tacometro de motor vista frontal**



**FUENTE:** Fotografía directa

**AUTOR:** (JOSE VALLADARES)

Para girar el eje del rotor se utiliza un acoplamiento mecánico cuadrado que proporciona el torque o fuerza para que gire el generador tacómetro

reduciendo las RPM del motor de 50970 RPM que existen en el tren de potencia de la Productora de Gas a 4200 RPM para la utilización de los generadores tacómetros.

Este generador bipolar se utiliza para interconectar un indicador con un motor síncrono trifásico que unido con un elemento de accionamiento y un elemento indicador de velocidad de arrastre por corriente parasita proporciona una indicación de velocidad o RPM.

Por ser un motor síncrono la velocidad que mantiene este dispositivo es igual a la velocidad del campo magnético, por consiguiente la frecuencia es directamente proporcional a las RPM que indica el equipo. Esto es necesario porque varias partes de ciertas aeronaves son reemplazables entre aviones, de esta manera aseguramos que las indicaciones de velocidad son reales de un avión a otro.

## **2.10 Partes del sistema**

En esta sección se indicara dos de las partes más importantes del sistema, el generador tacómetro y el indicador doble de rpm.

Iniciando con el generador tacómetro este dispositivo se presenta en dos tipos:

### **2.10.1 Generador tacometro de trasmisión.**

El dispositivo está ubicado en la parte frontal de la trasmisión específicamente en el cuerpo del reservorio de líquido hidráulico del sistema de controles de vuelo; en el Manual Ilustrado de partes se lo nombra como "TACH GENERATOR, ROTOR" (BELL HELICOPTER, 2006). Como esta acoplado a un eje que lo interconecta con la trasmision principal y lo impulsa a 4200 RPM.

### **2.10.2 Generador tacómetro de motor o de N2.**

De la misma manera este equipo, está instalado en la parte frontal del motor del helicóptero, específicamente en la caja de accesorios lado izquierdo que provee el eje de impulso para este dispositivo; particularmente en el lado derecho se encuentra otro equipo idéntico a este, el cual es el Generador Tacómetro de la Productora de Gas o de N1, que igual al anterior funciona a 4200 RPM en régimen de 100% de potencia de la aeronave.

### **2.10.3 Instrumento doble o indicador doble de rpm.**

El Instrumento Doble es un indicador tipo aguja doble de carcasa semi sellada para evitar el empañamiento de su caratula, su indicación la muestra en tipo porcentaje; su nombre es INDICATOR DUAL TACHOMETER (BELL HELICOPTER, 2006) y básicamente es un indicador con motor AC síncrono trifásico, en donde los tres bobinados son alimentados con la corriente generada previamente en los Generadores Tacómetros, formándose un campo giratorio que interactúa con el campo magnético del rotor de imán permanente, haciéndolo girar a la misma velocidad, o sea a una velocidad síncrona.

Este rotor esta interconectado a una jaula de ardilla dispuesta dentro del instrumento, en la cual cada barra de cobre de la jaula se ve inducido una fuerza electromotriz que produce una corriente eléctrica que a su vez establece un campo magnético giratorio en la jaula que interactúa con el campo del estator girando proporcionalmente

## **2.11 Características eléctricas de las partes del sistema**

### **a) Generador tacómetro de transmisión**

- RPM de funcionamiento: 4200
- Frecuencia de funcionamiento: 70hz

- Generador trifásico desfasado 120 grados
- Resistencia entre bornes: 43 ohms
- Numero de polos: 02
- Conexión: Estrella
- Voltaje: 21 VAC

### **b) Generador tacómetro de motor**

- RPM de funcionamiento: 4200
- Frecuencia de funcionamiento: 70hz
- Generador trifásico desfasado 120 grados
- Resistencia entre bornes: 20 ohms
- Numero de polos: 02
- Conexión: Estrella

### **c) Instrumento doble o indicador doble de rpm**

- RPM de funcionamiento: 4200
- Frecuencia de funcionamiento: 70hz
- Generador trifásico desfasado 120 grados
- Resistencia entre bornes: 97 ohms
- Numero de polos: 02
- Conexión: Estrella
- Indicación de: 0% a 120%



## **CAPITULO 3**

### **INVESTIGACIÓN Y DISEÑO**

#### **3.1 Introducción a la investigación**

Una vez establecidas las bases de conocimiento necesarias para entender de mejor manera las partes que constituyen el sistema de indicación de rpm de los helicópteros y contando con el vacío de conocimiento del funcionamiento real del sistema en mención, nos centraremos en la investigación de campo realizada para tener una línea de acción en la solución al problema que nos compete.

#### **3.2 Metodología de la investigación.**

En el desarrollo de este proyecto utilizaremos una metodología experimental, probando el sistema en el propio helicóptero obteniendo variables que después podrán ser comparadas con cálculos matemáticos derivados de una investigación científica que se realizara al mismo tiempo. Con estos datos podremos elaborar una tabla de velocidades y porcentajes indicada en los instrumentos y luego diseñar los componentes que llevara el proyecto.

La razón de tomar esta metodología es derivada de la poca información que se dispone sobre este sistema, teniendo en cuenta que es un circuito sencillo pero de gran beneficio para las aeronaves; el resolver los vacíos técnicos que se tiene al respecto de los helicópteros es fundamental para mantener su seguridad y la de los ocupantes.

#### **3.3 Diseño de la investigación.**

Iniciamos nuestra investigación en las instalaciones del Ala de Combate 22 de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, específicamente en el Hangar No. 1 que

pertenece al Escuadrón Mantenimiento 2222 que provee sostenimiento técnico a la flota de helicópteros tipo TH-57, BELL 206 y avionetas CESSNA T206 y PIPER CENECA.

**FIGURA 22: Helicóptero TH-57 en plataforma del Ala 22.**



**FUENTE:** fotografía directa

**AUTOR:** JOSE VALLADARES

**FIGURA 23: Helicóptero Bell 206 en plataforma del ala 22.**



**FUENTE:** fotografía directa

**AUTOR:** (JOSE VALLADARES).

El problema que nos compete se deriva del sistema de indicación de rpm de los helicópteros el cual es responsabilidad de una Escuadrilla adjunta a Mantenimiento, llamada Escuadrilla Electrónica Aeronáutica, que a continuación se presenta en los siguientes organigramas:

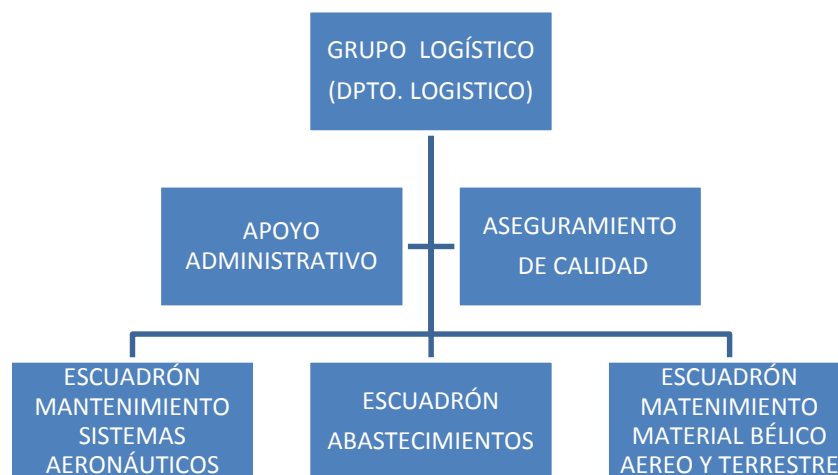
**FIGURA 24: Organigrama Ala de Combate 22.**



**FUENTE:** Manual general Mantenimiento

**AUTOR:** (FUERZA AEREA ECUATORIANA, DIRECCIÓN GENERAL DE LOGÍSTICA, 2013)

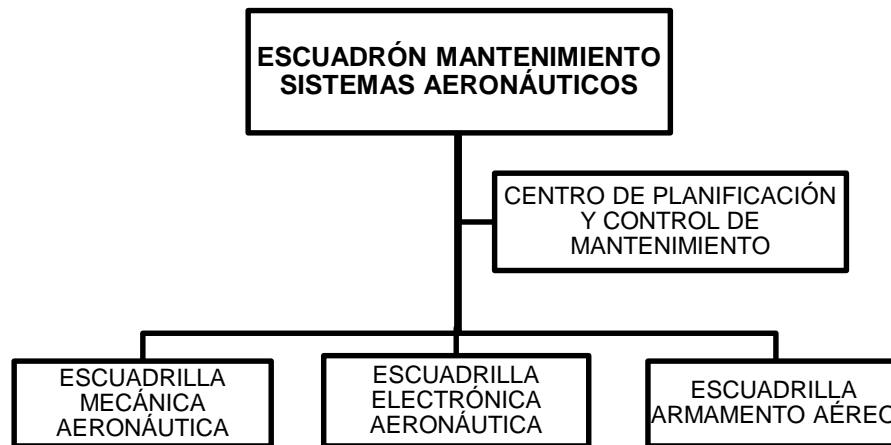
**FIGURA 25: Organigrama Ala de Combate 22.**



**FUENTE:** Manual General Mantenimiento

**AUTOR:**(FUERZA AEREA ECUATORIANA, DIRECCIÓN GENERAL DE LOGÍSTICA, 2013.)

**FIGURA 26: organigrama escuadrón mantenimiento de sistemas aeronáuticos**



**FUENTE:** Manual General Mantenimiento

**AUTOR:** (FAE, DIRECCIÓN GENERAL DE LOGÍSTICA, 2013.)

“La Escuadrilla Electrónica Aeronáutica tiene como responsabilidades:

- 1) Planificar, organizar, dirigir y controlar todas las actividades de mantenimiento electrónico y eléctrico de las aeronaves.
- 2) Generar las propuestas de cambio requeridas para lograr la mejora continua.
- 3) Determinar los requerimientos de mantenimiento electrónico y equipos de comprobación necesarios para el soporte de la operación de las aeronaves.
- 4) Establecer anualmente los requerimientos de capacitación.
- 5) Verificar y controlar que el personal esté debidamente habilitado para el cumplimiento de sus responsabilidades asignadas.
- 6) Verificar que la información técnica se encuentre disponible y actualizada”. (FUERZA AEREA ECUATORIANA, DIRECCIÓN GENERAL DE LOGÍSTICA, 2013.)

Como se puede visualizar, la Escuadrilla Electrónica Aeronáutica se encarga del mantenimiento de todo equipo eléctrico o electrónico que pertenezca a alguna aeronave a nuestro cargo.

Dentro de este concepto primero describiré a breves rasgos los elementos más importantes que componen este tipo de helicóptero, esta información es descrita en la documentación técnica entregada por el fabricante como es la siguiente:

El Manual de Mantenimiento (MM) proporciona los datos necesarios para hacer el mantenimiento y reparación mecánica de los helicópteros Modelo 206A, 206B, 206B3; también se lo denomina con el siguiente enunciado. BHT-206A/B-SERIES-MM-1. (ANEXO 1)

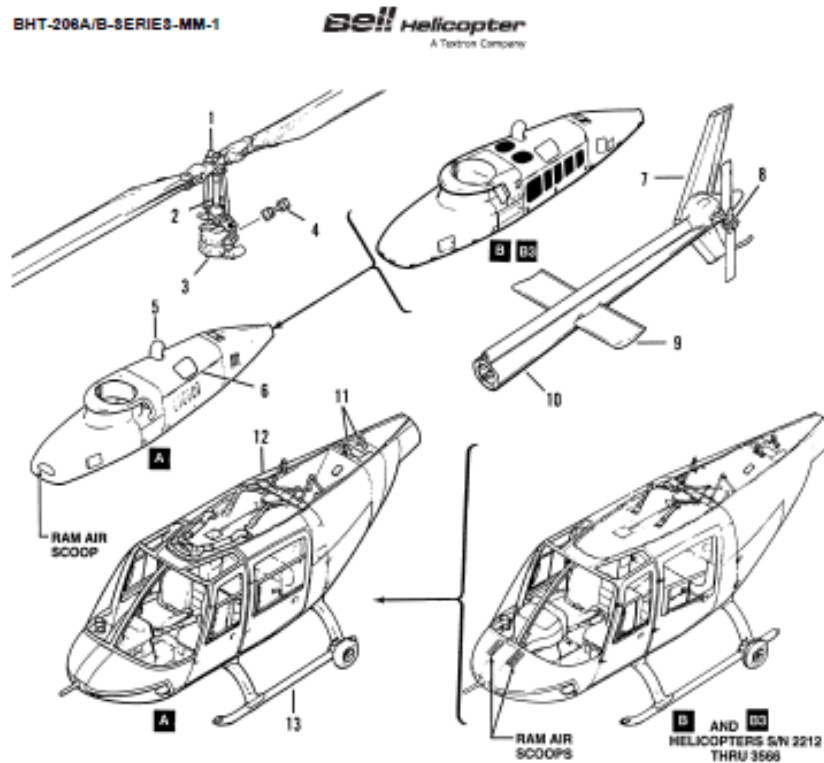
El Manual Ilustrado de partes (IPB), que refiere las partes de las que está conformado el helicóptero, también se lo identifica con la siguiente descripción. BHT-206A/B-SERIES-IPB. (ANEXO 2)

El Manual de Prácticas Eléctricas Estándar, en donde se expresan todas las acciones que se deben tomar para realizar un mantenimiento eléctrico adecuado en la aeronave. También se lo designa mediante las siglas. BHT-ELEC-SPM. (ANEXO 3)

Los anteriores son solo algunos ejemplos de la documentación técnica que se posee en Escuadrón Mantenimiento; también se describe en brevedad de que se trata esta aeronave, por supuesto traducida desde el idioma inglés al español para un mejor entendimiento de este trabajo de titulación.

“El conjunto consta de fuselaje delantero y un botalón de cola. El fuselaje delantero encierra la cabina y la célula de combustible y proporciona soporte al motor y la transmisión que se apoyan en la parte superior en la viga longitudinal central” (BELL HELICOPTER MANUAL, 2013).

**FIGURA 27: Fuselaje Helicóptero TH-57 y Bell 206**



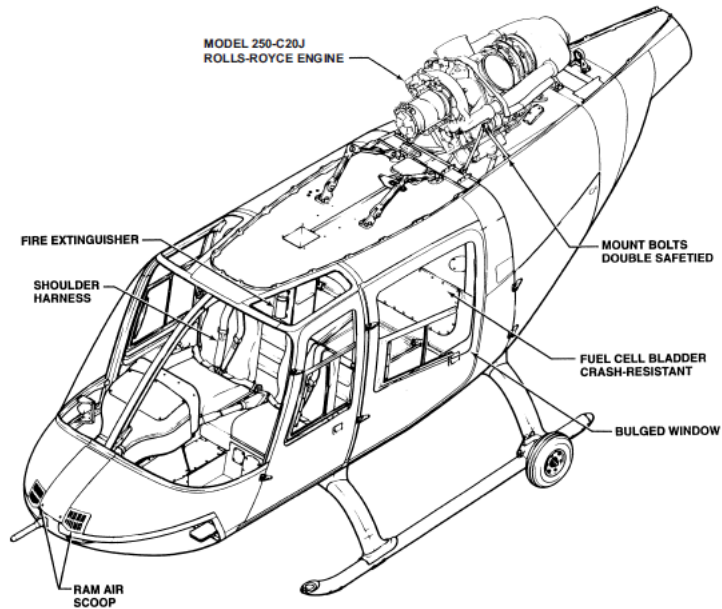
**FUENTE:** Manual mantenimiento Bell

**AUTOR:** (BELL HELICOPTER MANUAL, 2013)

En el Manual de Mantenimiento se describen algunas de las partes más importantes, entre sus componentes mayores, llamados así por lo voluminoso de su tamaño y de la importancia que radica su buen funcionamiento, podemos mencionar:

El motor consiste de un compresor, una cámara de combustión, dos turbinas productoras de gas y dos turbinas que proveen potencia hacia un eje de potencia y una caja de accesorios. Es construido por la fábrica Rolls-Royce, en una división llamada ALLISON ENGINE COMPANY; la salida de potencia posee 33,290 RPM que son reducidos en la caja de accesorios a 6016 RPM en el eje de potencia.

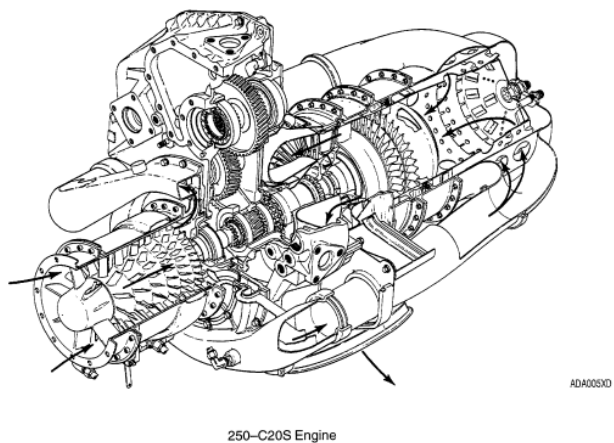
**FIGURA 28: Ubicación del motor en el fuselaje del Helicóptero Bell 206**



**FUENTE:** Manual Mantenimiento Bell

**AUTOR:** (BELL HELICOPTER MANUAL, 2013)

**FIGURA 29: Motor del Helicóptero TH-57 y Bell 206**



250-C20S Engine

**FUENTE:** Manual mantenimiento motor

**AUTOR:** (ROLLS-ROYCE, 2001)

**FIGURA 30: desmontaje del motor desde el Helicóptero Bell 206**

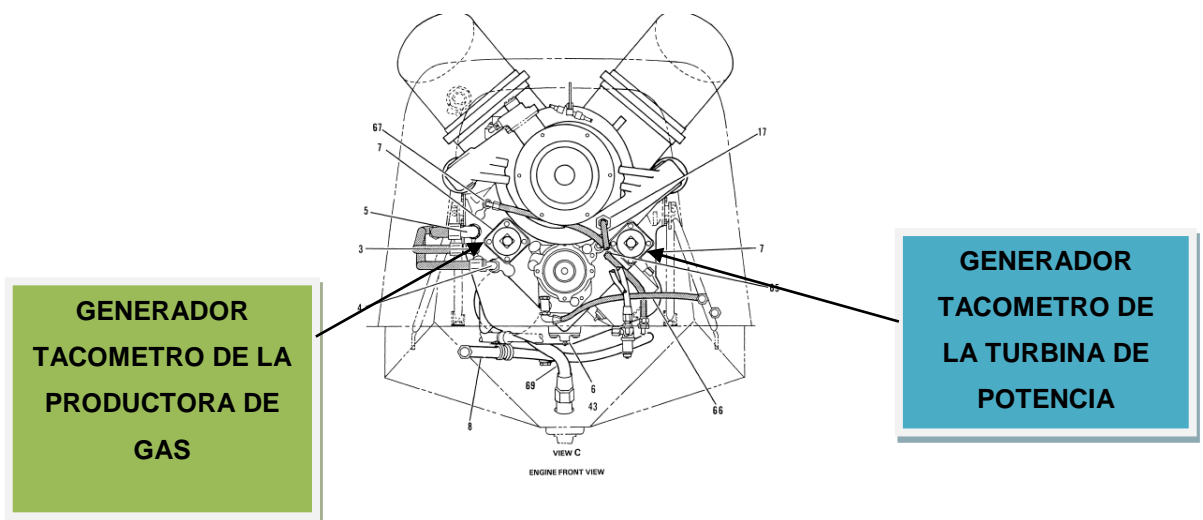


**FUENTE:** Fotografía directa

**AUTOR:** JOSE VALLADARES

Como características el motor o turbina posee de 400 a 420 HP; su temperatura de funcionamiento es de hasta los 810 grados centígrados, sus dimensiones son: 40 pulgadas de largo por 22.6 de ancho y profundidad de 19.1 pulgadas, con un peso de 159 libras. Consume 0.9 litros en 5 horas de combustible JP1.

**FIGURA 31: Vista frontal del motor del Helicóptero Bell 206 con la ubicación de los generadores tacómetros**



**FUENTE:** Manual Mantenimiento Motor

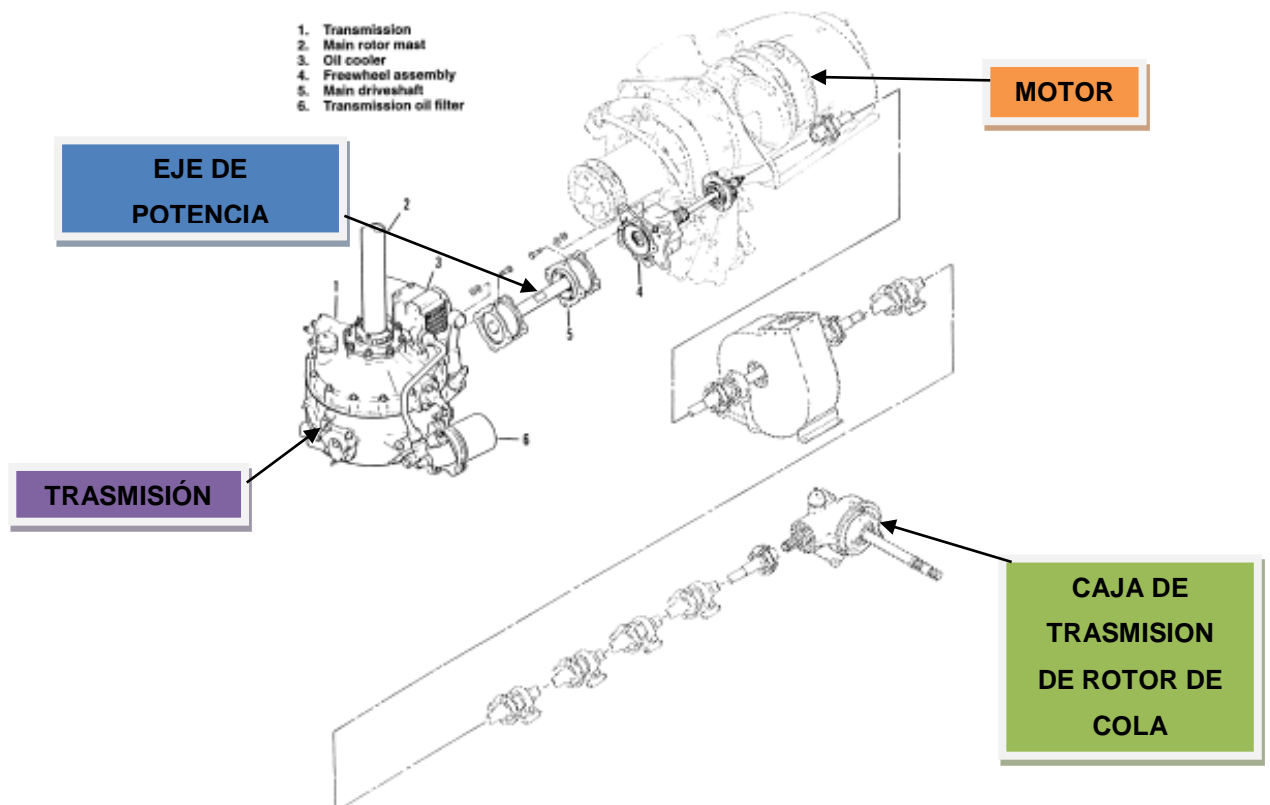
**AUTOR:** (ROLLS-ROYCE, 2001)



En la figura 15 se expresa la ubicación de los generadores tacómetros del motor, que son dos dispositivos que convierten las revoluciones por minuto producidas en la caja de accesorio en señales que luego son visualizadas en la cabina.

Como otra parte importante de este trabajo de titulación tenemos la transmisión principal, este es el equipo que proporciona la fuerza al rotor principal, este está interconectado al motor por medio de un eje llamado Eje de Potencia que absorbe los movimientos que tiene el helicóptero al desplazarse.

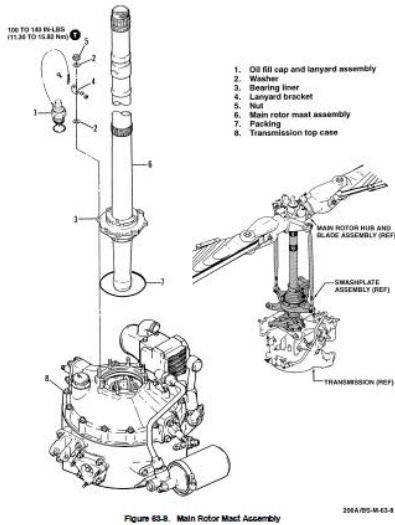
**FIGURA 32: Interconexión de potencia desde el motor**



**FUENTE:** Manual Mantenimiento Bell

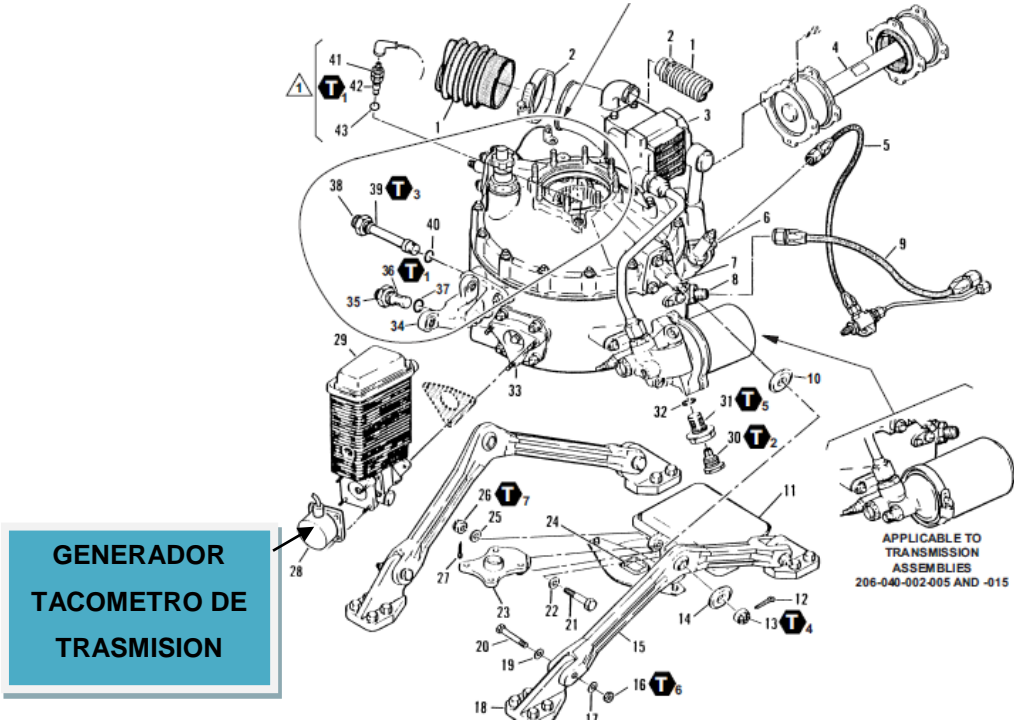
**AUTOR:** (BELL HELICOPTER MANUAL, 2013)

**FIGURA 33: Trasmisión del Helicóptero Bell 206**



**FUENTE:** Manual Mantenimiento Bell  
**Autor:** (BELL HELICOPTER MANUAL, 2013)

**FIGURA 34: Partes Trasmisión principal con ubicación de generador tacómetro**



**FUENTE:** Manual Mantenimiento Bell  
**AUTOR:** (BELL HELICOPTER MANUAL, 2013)

En las anteriores descripciones pudimos observar las ubicaciones de los denominados Generadores tacómetros; en esta parte describiré la importancia de estos equipos en esta investigación.

Primeramente necesitamos centrarnos en las indicaciones de la cabina de los helicópteros que permiten al piloto maniobrar la aeronave de forma segura.

En la cabina de una aeronave existe un tablero principal denominado panel de Instrumentos que se ubica frente a los pilotos y permite su fácil visualización; dentro de este conjunto se conjugan los diferentes tipos de instrumentos.

**FIGURA 35: Panel de instrumentos Helicóptero Bell 206**



**FUENTE:** Manual Mantenimiento Bell

**AUTOR:** (BELL HELICOPTER MANUAL, 2013)

Los diferentes tipos de instrumentos están divididos según los criterios de varios autores, su importancia en el avión, su utilización (Manual de vuelo del PIPER) o su función (Enciclopedia colaborativa en la red, 2015) así tenemos:

**Instrumentos de vuelo.-** Se denominan Instrumentos de vuelo al conjunto de Indicadores que conforman una aeronave y que son usados por

el piloto para brindar una operación de vuelo en escenarios seguros, estos se dividen a su vez en: (Enciclopedia colaborativa en la red, 2015)

- instrumentos básicos
- instrumentos de navegación
- instrumentos del motor

**Instrumentos Básicos.-** Los instrumentos básicos de vuelo son aquellos que nos informan de la altura y velocidad del avión, su actitud con respecto al suelo sin necesidad de tomar referencias, si está en ascenso, descenso o nivelado, y en qué dirección vuela. Estos instrumentos básicos, salvo la brújula, se suelen dividir en dos grupos: los que muestran información basándose en las propiedades del aire (anemómetro, altímetro, y variómetro) y los que se basan en propiedades giroscópicas (indicador de actitud, indicador de giro/viraje, e indicador de dirección).

**FIGURA 36: Vista instrumentos básicos**



**FUENTE:**[https://play.google.com/store/apps/details?id=org.baltazar.XPlaneRemotePlus&hl=es\\_419](https://play.google.com/store/apps/details?id=org.baltazar.XPlaneRemotePlus&hl=es_419)

**AUTOR: (GOOGLE PLAY BLOG, 2014)**

**Instrumentos de Navegación.-** Los instrumentos de navegación son equipos que permiten al piloto orientarse y desplazarse en una ruta prevista con anterioridad.

Dentro de esta clasificación existen instrumentos de uso común por aeronaves de baja envergadura como el helicóptero Bell 206 estos son:

- Brújula Magnética.- Indica la dirección del polo norte magnético.
- Indicador ADF (Automatic Direction Finder). - Indica la dirección de la estación a la cual se encuentra sintonizada.
- Indicador DME (Distance measuring equipment).- equipo medidor de distancia.
- Indicador ILS (Instrumental Landing System).- sistema de aterrizaje instrumental
- Piloto automático (AUTOPILOT o Automatic pilot)
- GPS.- Equipo de posicionamiento Global que indica la posición de la aeronave sobre el mundo.

**Instrumentos del Motor.-** Los instrumentos del motor son indicadores que muestran el estado de funcionamiento de este dispositivo en sus diferentes fases de funcionamiento. Los indicadores que encontramos en cualquier aeronave son:

- El Indicador de RPM del motor.
- indicador de presión de aceite del motor.
- indicador de temperatura de aceite del motor.
- indicador de torque o par motor.

- indicador de cantidad de combustible.
- indicador de presión de combustible.
- indicador de voltaje y amperaje.

En el helicóptero en el cual realizamos el estudio; también dentro de esta clasificación se encuentran los instrumentos que supervisan el funcionamiento de las demás sistemas de la aeronave:

- Indicador de RPM de la transmisión principal
- Indicador de presión de aceite de la transmisión
- Indicador de temperatura de aceite de la transmisión.
- Indicador de TOT, (Temperatura de salida de Turbina)
- Indicador de RPM Gas Producer, (Productora de gas).

En el helicóptero Bell 206 y en el TH-57 existen pequeñas variaciones en lo que se refiere al diseño de estos indicadores pero básicamente poseen instrumentos similares que indican las mismas característica de funcionamiento.

En la información técnica proporcionada por el fabricante se juntan estos conceptos y describen a los instrumentos del motor como:

**“PROPULSION INSTRUMENTS.-** The propulsion instruments consist of the dual tachometer, gas producer tachometer, engine oil temperature, engine oil pressure, transmission oil temperature, transmission oil pressure, engine torquemeter, and turbine outlet temperature indicators” (BELL HELICOPTER A TEXTRON COMPANY, 2013)

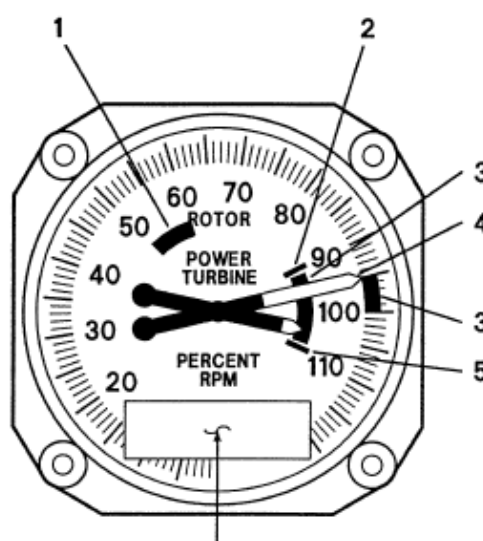
En esta descripción se expresa cuales constituyen los instrumentos de propulsión también llamados instrumentos del motor como se estableció anteriormente; indicando dos de los más importantes en el helicóptero, los

cuales a su vez proveen información de las dos partes mas importantes de las que esta constituido el motor; por un lado el compresor o productora de gas comunmente llamada N1 que comprime el aire y lo impulsa dentro del motor y por otro lado la turbina de potencia o tambien llamada N2 que es un dispositivo impulsado por el aire comprimido que se expande por acción de la combustión interna del motor los cuales se los llama: Dual Tachometer y el Gas Producer Tachometer.

En el objeto que justifica este proyecto de titulación ubicamos el Indicador de RPM del motor y el Indicador de RPM de la trasmisión que constituyen dos de las más importantes informaciones que requiere el piloto para determinar el estado de la aeronave; con ellos verifica el correcto funcionamiento del motor y la trasmisión ya que si no tuvieran las Revoluciones por Minuto adecuadas el helicóptero podría sufrir un accidente.

Estas Indicaciones se encuentran en las dos aeronaves contenidos dentro de un solo encapsulado denominándolo como INDICADOR DE N2, INDICADOR DOBLE o DUAL TACHOMETER (TACOMETRO DOBLE).

**FIGURA 37: Grafica de Indicador Doble**



**FUENTE:** Manual Mantenimiento Bell

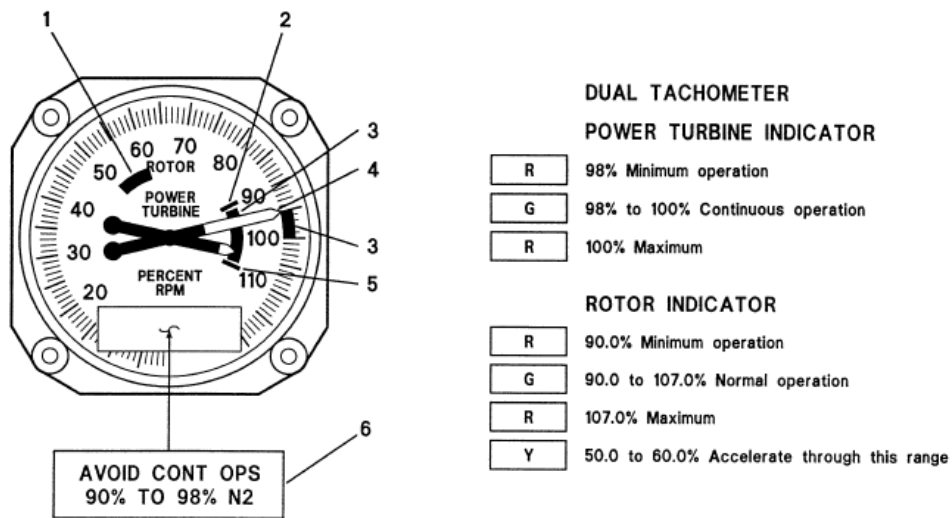
**AUTOR:** (BELL HELICOPTER MANUAL, 2013)





En los helicópteros tipo BELL 206 Y TH-57 estos valores están expresado de la siguiente forma:

**FIGURA 39: Grafica de valores límites de funcionamiento del indicador**



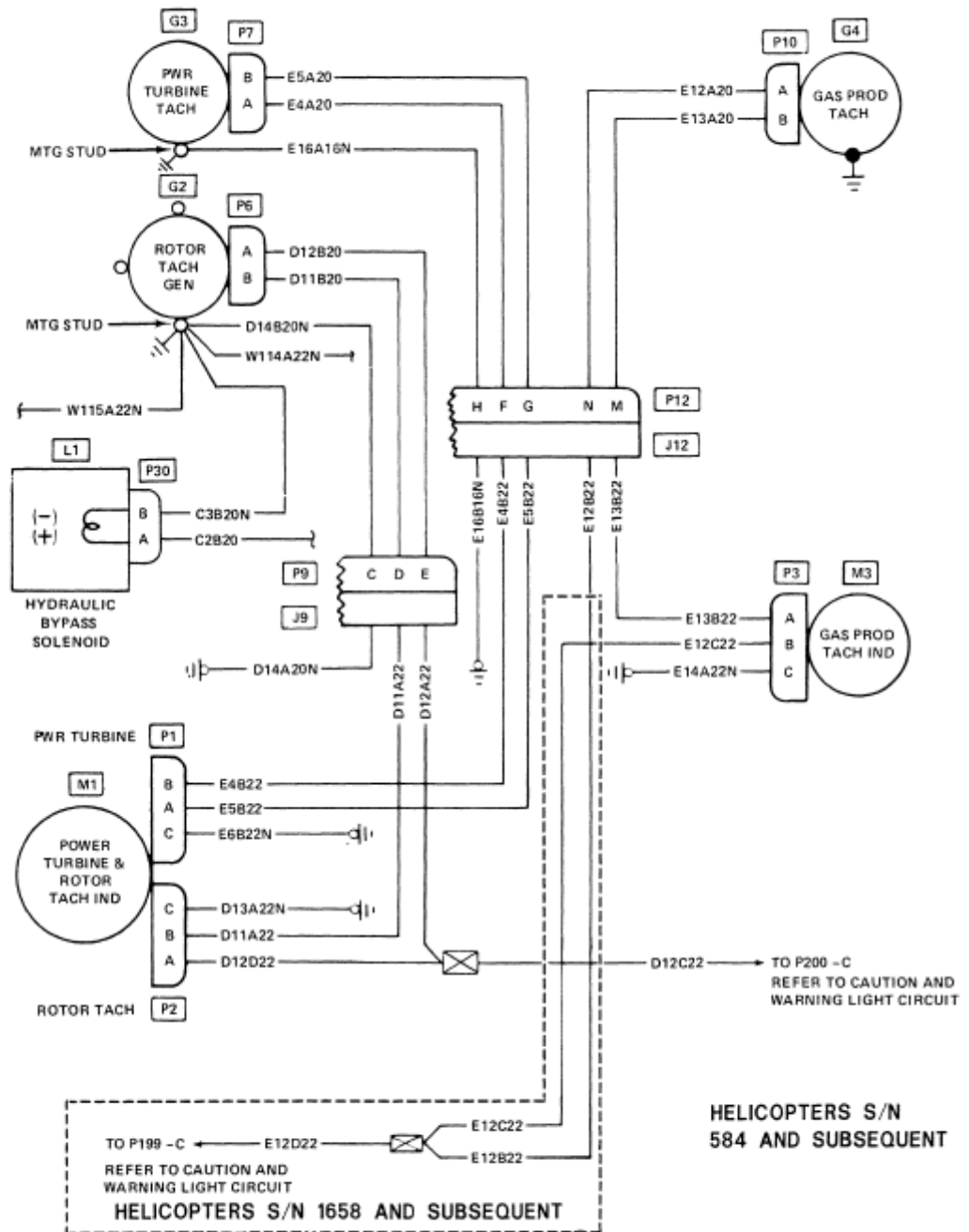
1. Yellow arc
2. Red line
3. Green arc
4. Power turbine pointer
5. Rotor pointer
6. Limits placard
7. Gas producer pointer

**FUENTE:** Manual Mantenimiento Bell

**AUTOR:** (BELL HELICOPTER MANUAL, 2013)

En lo consiguiente veremos las demás partes de las que se encuentra constituido el Sistema de Indicación de RPM, objeto de nuestro estudio; por lo cual necesitaremos ubicar y entender el diagrama eléctrico de este sistema pero primeramente necesitaremos conocer una tabla de símbolos eléctricos utilizados en el helicóptero en cual se expresa en él. ANEXO 4.

**FIGURA 40: Diagrama circuito tacómetro**



206A/BS-M-98-9-2

**FUENTE:** Manual Mantenimiento Bell  
**AUTOR:** (BELL HELICOPTER MANUAL, 2013)

En este diagrama se grafican cada una de las partes que pertenecen al sistema de Indicación de RPM o tacométrica, entre ellas podemos visualizar:

- indicador doble.- (power turbine y rotor tach ind), (m1).
- generador tacometro de turbina.- (pwr turbine tach), (g3).
- generador tacometro de rotor.- (rotor tach gen), (g2).
- conector tacometro turbina.- (pwr turbine), (p1).
- conector tacometro rotor.- (rotor tach), (p2).
- conector principal del sistema (p9 y j9).
- conector gen tach turbine.- (p7).
- conector gen tach rotor.- (p6).
- cableado o denominado arnés eléctrico.

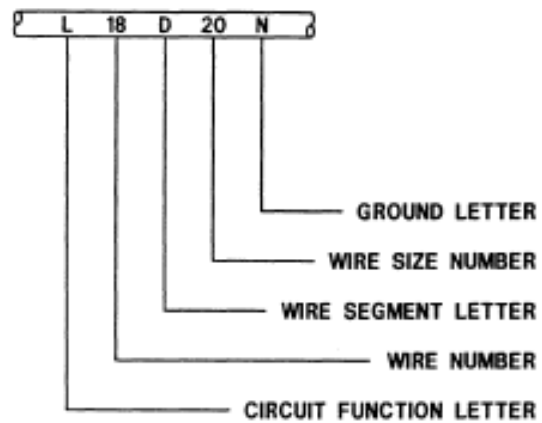
Como se puede observar la representación de las partes eléctricas en el diagrama se la realiza de forma simple y se nombra a cada unidad del sistema con un código que determina sus características y uso, así:

- p1, p2, p3.....pn: conector eléctrico tipo macho.
- j1, j2, j3.....jn: conector eléctrico tipo hembra.
- m1, m2, m3.....mn: indicadores.
- g1, g2, g3.....gn: generadores.

Además para la identificación del tipo de cableado y su uso en el sistema eléctrico se utiliza la siguiente codificación.

**FIGURA 41: Codificación del cableado**

CODE	NOMENCLATURE
C	CONTROL SURFACES
D	INSTRUMENTS (OTHER THAN FLIGHT OR ENGINE)
E	ENGINE INSTRUMENTS
F	FLIGHT INSTRUMENTS
H	HEATING, VENTILATING, AND ANTI-ICING
J	IGNITION
K	ENGINE CONTROL
L	LIGHTING
M	MISCELLANEOUS ELECTRIC
N	GROUND
P	DC POWER



**FUENTE:** Manual Mantenimiento Bell  
**AUTOR:** (BELL HELICOPTER MANUAL, 2013)

Además tenemos la información acerca del Sistema de Indicación Tacométrica que se muestra en el Manual de Mantenimiento de la siguiente manera:

**Tachometer generators.** - Tachometer generators (G2 and G4) are three-phase alternating current generators that generate signals to drive dual and gas producer tachometer indicators.

Rotor tachometer generator is located on forward left side of transmission. The power turbine tachometer generator is mounted on forward left side and gas producer tachometer generator is mounted on forward right side of power and accessory gearbox.” (BELL HELICOPTER A TEXTRON COMPANY, 2013)

Con esta información adjuntada podemos hacer un bosquejo del funcionamiento de este Sistema.

De esta manera podemos decir que el Sistema consta de Dos Generadores Tacómetros instalados uno en la caja de accesorios del motor y el otro en la parte delantera de la transmisión, los cuales son generadores de tres fases de corriente alterna. Ahora se debe determinar qué características poseen estos equipos y como las aplican para la medición de velocidad en el helicóptero.

### **3.4 Investigación de campo**

Una vez consultada toda la información proporcionada por el fabricante del helicóptero se evidencia un vacío de conocimiento y de diseño; por qué se utiliza este tipo de dispositivos en el sistema; así que se recurre a visualizar de primera mano cada uno de estos dispositivos buscando si en su placa de características se encuentran los datos que requerimos para este trabajo de titulación.

Se consigue un generador tacómetro de transmisión que ya no está en uso por un daño estructural de su carcasa de protección y se procede a determinar sus características. En la placa que posee el dispositivo se puede visualizar varias informaciones que posemos utilizar:

- Generador de tres fases

- Dos polos
- Velocidad 4200 rpm
- Frecuencia 70 hz
- 21 vac

Se procede a desarmar y se determina que está conformado por tres bobinados conectados en estrella con un núcleo de imán permanente.

**FIGURA 42: Generador tacómetro de transmisión desarmado**



**FUENTE:** fotografía directa

**AUTOR:** (JOSE VALLADARES)

Se consultar otras fuentes de información, (Fernández, 2002) y (RUEDA, 2007) encontramos que hablan sobre el control de velocidad en los aviones donde se utilizan los motores síncronos trifásicos determinando que estos dispositivos son los que se usa más comúnmente en la aviación de la actualidad para determinar la velocidad de las maquinas rotacionales, motivado mayormente por regulaciones exigidas por la Federación Americana de Aviación ente regulador de la aviación a nivel de Estados Unidos de

Norteamérica y cuyas exigencias son también tomadas por la aviación civil ecuatoriana.

De la misma manera se procede a conseguir el generador tacómetro del motor que fue facilitado de una aeronave que no se encuentra en funcionamiento.

**FIGURA 43: Generador tacómetro de motor vista posterior**



**FUENTE:** Fotografía directa

**AUTOR:** (JOSE VALLADARES)

Se procede a determinar sus características pero estas están limitadas por no poseer placa de características; solo dispone de una única información:

- Generador de dos polos

Así que sin más información se toma la decisión de utilizar el helicóptero como Banco de Pruebas, poniendo en plena operación a la aeronave, realizando un arnés interconectando a los tacómetros y midiendo directamente las señales que son producidas por los equipos en los diferentes estados de funcionamiento del helicóptero.

Estos denominados estados son límites de funcionamiento donde se establece el correcto funcionamiento de la aeronave.

- Encendido del helicóptero
- Establecimiento del Ralentí del motor
- Establecimiento del 100%, Operación normal.

En el encendido de la aeronave se efectúa el arranque del motor visualizándose en el Indicador Tacómetro Doble una progresión del porcentaje de las RPM desplazándose desde la posición cero (0), hasta ubicarse en el 60% de las RPM indicadas.

En la etapa de Ralentí se persigue obtener el régimen mínimo de revoluciones por minuto que necesita tener el motor para permanecer en funcionamiento conjuntamente con los equipos mínimos para el funcionamiento normal de la aeronave. Dentro de estos equipos se encuentra el generador que requiere una velocidad básica para proveer de energía eléctrica al helicóptero.

El procedimiento indica que se debe acelerar el motor hasta el 70% de las RPM indicadas para conectar el generador, visualizar que genere o entre en línea para luego reducir las RPM al 60%, manteniendo un voltaje estable y los equipos adicionales funcionando normalmente a este estado se le denomina ralentí.

En la etapa de pleno funcionamiento se acelera el motor del helicóptero hasta el 100% indicado, manteniendo este estado durante todo el vuelo.

Para captar los datos requeridos para nuestra investigación nos propondremos tomar muestras o mediciones en dos helicópteros BELL 206 completamente funcionales dentro de los estados principales de funcionamiento; en relanty, en 70% y al 100% de la indicación del instrumento en cabina, tomando en cuenta que los indicadores son relativamente nuevos y no ha presentado fallas con respecto a indicación por lo que se puede tomar como una base de medición bastante segura; además utilizaremos como instrumento medidor el Multímetro FLUKE 117 perteneciente a la Escuadrilla



Mantenimiento, equipo que tiene un año y medio de calibración según los registros de la Escuadrilla.

**Tabla 1:** Muestras tomadas en los Helicópteros en funcionamiento

ETAPAS MUESTRA	HELICOPTERO 1 414	HELICOPTERO 2 415
60%	42,29Hz	42,3Hz
70%	53,89Hz	52,6Hz
100%	69,30Hz	68,50Hz

En la tabla anterior se puede visualizar la relación entre el porcentaje indicado y la frecuencia medida directamente en el helicóptero, con esta información realizamos una comparación con datos calculados según la indicación de porcentaje mostrada en el Indicador Doble.

**Tabla 2:** Comparativa entre datos medidos y calculados

ETAPAS MUESTRA	HELICOPTERO 1 414	HELICOPTERO 2 415	DATOS CALCULADOS
60%	42,29Hz	42,3Hz	42Hz
70%	53,89Hz	52,6Hz	49Hz
100%	69,30Hz	68,50Hz	70Hz

### 3.5 Resultados.

El resultado que tenemos después de reunir la información anteriormente citada es que el Sistema de Indicación de Rpm de los helicópteros esencialmente está conformado por motores síncronos, utilizados por su capacidad de mantener constante la relación entre la velocidad y la frecuencia derivada de estos equipos además al realizar la comparación se describe una

indicación muy similar entre las frecuencias medidas y la frecuencia calculada lo que deriva en la afirmación que los datos bases de funcionamiento del sistema de Indicación de RPM del helicóptero son: 70Hz corresponden a 4200 RPM y al 100% mostrado en el Indicador Doble.

Las diferencias entre las medidas se comprueban al comparar las RPM reales del motor en los mismos estados bases de funcionamiento con las RPM proporcionadas por las características del Turborreactor, evidenciándose una pequeña diferencia que se incrementa o disminuye según las cargas que tiene que soportar la aeronave, por ejemplo los vientos predominantes en el momento que se enciende el helicóptero además también pueden existir errores sistemáticos debidos a perdidas por la instalación eléctrica realizada para tomar los datos; además del error de lectura del indicador que se encuentra siempre presente, determinando que la indicación puede tener un rango de error que se puede ubicar basándonos en el error del Indicador Doble objeto de nuestro estudio, obteniendo que este instrumento posee un error entre el 0.4% que es un requerimiento establecido por ser un Instrumento analógico utilizado en una aeronave. Estas características son exigidas por los Estados Unidos de América y su CODIGO DE REGULACIONES FEDERALES (The Code of Federal Regulations of the United States of America), el cual mediante la codificación TSO-C49a expresa los estándares mínimos de calidad, las especificaciones técnicas para los tacómetros eléctricos que requieren los modelos de aeronaves producidas después de 15 de Octubre de 1960.

El problema del cual se establece este trabajo de titulación está basado en la incapacidad de medir la frecuencia producida por los generadores tacómetros y compararla con la indicación mostrada por el Indicador Doble.

La solución que se deriva de los conceptos anteriormente citados radica en la construcción de un equipo que permita medir de primera mano la frecuencia derivada de los generadores tacómetros y visualizarla en un indicador digital que traduzca a su vez, la indicación de frecuencia a

porcentaje para poder comparar esta medida con la indicación del Instrumento Doble del helicóptero.

### **3.6 Diseño de la propuesta**

Para poder diseñar este equipo se requiere establecer que se pretende obtener del mencionado banco de prueba, así que se propone varias premisas que deberán cumplirse para que el equipo sea funcional.

#### **3.6.1 Premisas de diseño**

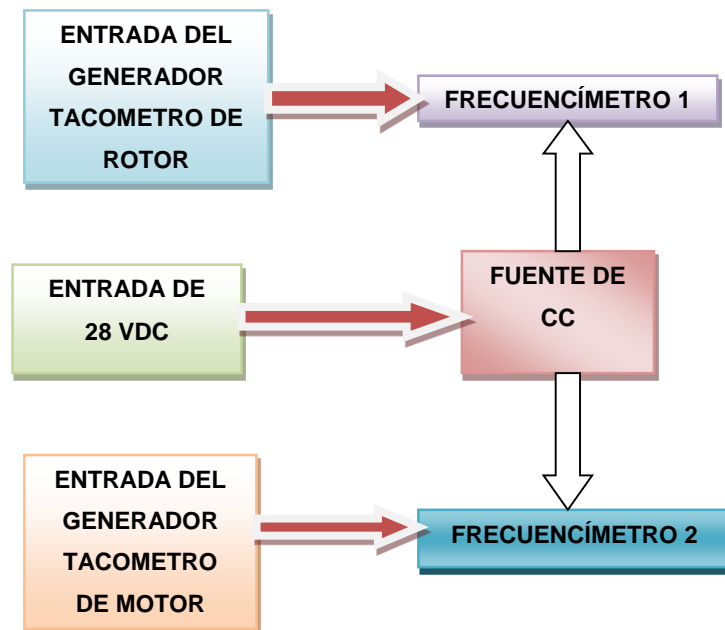
- El equipo debe poder utilizarse para calibrar y reparar instrumentos en el laboratorio de la escuadrilla electrónica aeronáutica.
- El dispositivo debe poder entregar una visualización de la variación de frecuencia en el helicóptero para poder comparar esos datos y calibrar adecuadamente a la aeronave.
- El dispositivo debe ser de fácil transporte y manejo.
- Su alimentación de voltaje debe ser acorde con la disponibilidad de energía en el escuadrón.
- El equipo debe mantener las normas de seguridad en plena operación del helicóptero.

#### **3.6.2 Diseño según el requerimiento.**

En esta parte se describe como suplir la necesidad enmarcándose en las premisas previamente establecidas.

Así se requiere dos visualizadores de frecuencia independientes el uno del otro con una alimentación de 24VDC que es el voltaje que se encuentra presente en la aeronave y que además es bastante seguro para su uso, por lo que se establece un diagrama de bloques de la parte en cuestión.

**FIGURA 44: diagrama de primera parte de banco**



**FUENTE:** Grafica directa  
**AUTOR:** (JOSE VALLADARES)

**FIGURA 45: diagrama de segunda parte de banco**



**FUENTE:** Grafica directa  
**AUTOR:** (JOSE VALLADARES)

### **3.7 Partes y equipos requeridos**

Como se pudo observar el parámetro base para realizar este proyecto de titulación es la variación de frecuencia, evidentemente al trabajar con motores síncronos su velocidad angular es idéntica a la velocidad de rotación del campo magnético y de la frecuencia.

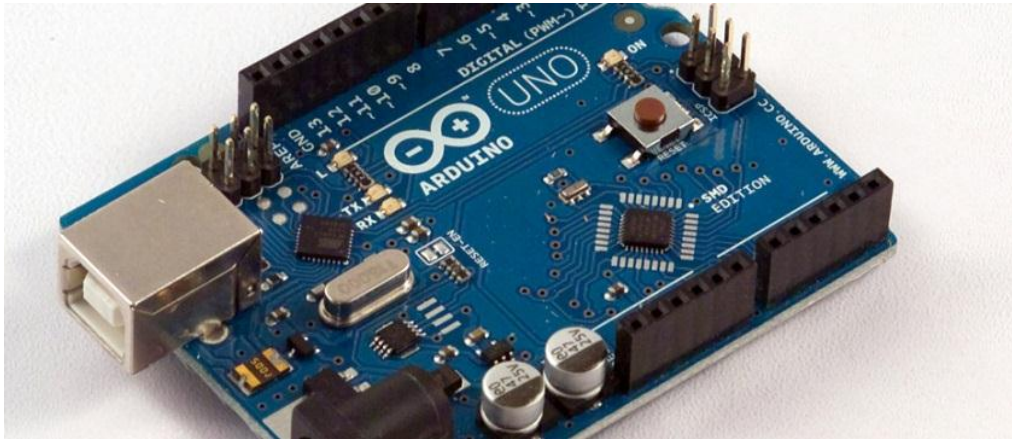
Para la primera parte se requerirá dos indicadores de frecuencia o frecuencímetros conectados cada uno a la salida de los generadores tacómetros del motor y del rotor respectivamente que contengan visualizadores digitales que bajen el nivel de error que está siempre presente en la lectura de los indicadores. Para realizar esta acción nos dispondremos a utilizar una tecnología libre de uso y que se ajusta a nuestro requerimiento, la cual es denominada ARDUINO, o también se usaría un frecuencímetro de uso común que se puede encontrar fácilmente.

“Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basado en hardware y software fácil de usar. Está dirigido a cualquier persona que hace proyectos interactivos.” (Arduino , 2015).

Básicamente arduino es una tecnología basada en la programación de microprocesadores con utilidades muy diversas, de fácil manejo y entendimiento, que provee la oportunidad de desarrollar experimentos electrónicos a todo nivel.

La utilización de esta tecnología radica en varios hechos que son; es asequible, de uso libre, de sencilla manipulación y se adapta fácilmente al objetivo de este trabajo de titulación, que es el de permitir una visualización en tiempo real de la frecuencia y a la vez el porcentaje de RPM que posee el sistema permitiéndonos comparar fácilmente la medida con la indicación del Instrumento Doble.

**FIGURA 46:** tarjeta principal arduino



**FUENTE:** <http://www.arduino.cc/>

**AUTOR:** (Arduino , 2015)

En la tecnología arduino encontramos diversas partes para infinidad de proyectos, en nuestro trabajo utilizaremos dos dispositivos; primeramente la tarjeta principal de arduino, la denominada UNO, Figura: 46; la cual constituye la base del proyecto donde introduciremos el programa a utilizar y además conectaremos los demás dispositivos del proyecto.

También utilizaremos una pantalla LCD Arduino, Figura: 47; de 16 bits y dos filas en la cual visualizaremos la frecuencia además del porcentaje de rpm que mantiene el sistema.

El LCD arduino es un dispositivo de fácil uso que según la cantidad de filas para su visualización provee de indicaciones variadas las cuales dependen del código o programación que se utilice en su módulo de comando que constituye la tarjeta arduino; tiene adicional una luz con capacidad para visualización nocturna.

Para el trabajo que se desarrolla en esta titulación se lo utilizara para mostrar una indicación en tiempo real de la frecuencia que mantienen los generadores tacómetros y cambiar está a una indicación en porcentaje.

**FIGURA 47:** Pantalla LCD Arduino



**FUENTE:** <http://www.arduino.cc/>

**AUTOR:** (Arduino , 2015)

Para alimentar estos dispositivos dispondremos de una fuente de corriente continua de 24 a 28 vdc de entrada y derive una salida de 9 vdc con 300 a 500 miliamperios para el uso de los dispositivos arduino.

Una segunda fuente simétrica con voltajes de 12vdc positivos y negativos para la alimentación de un circuito de onda cuadrada necesario para el acoplamiento de la señal de muestra hacia el LCD del arduino.

Para la segunda parte necesitaremos un equipo que simule una variación de frecuencia y de esa manera variar la velocidad de los motores de entrada del indicador, toda esta instalación debe estar interconectada a un frecuencímetro donde se indicara la frecuencia del sistema que comparándola con una tabla de valores respectivos al porcentaje permitiría la comparación de indicaciones presentadas en el Indicador Doble haciendo que sea posible su calibración o reparación.

Para esto se consiguió un equipo variador de frecuencia de la fábrica SIEMENS, SINAMICS G110 CPM110 AIN (ANEXO 5) este equipo tiene la posibilidad de programar su salida para que se adapte a cualquier tipo de motor que este entre su capacidad de amperaje manejable; como el motor del indicador es de baja potencia el equipo Sinamics es suficiente para nuestro trabajo de titulación.

**FIGURA 48: Vista frontal variador de frecuencia**



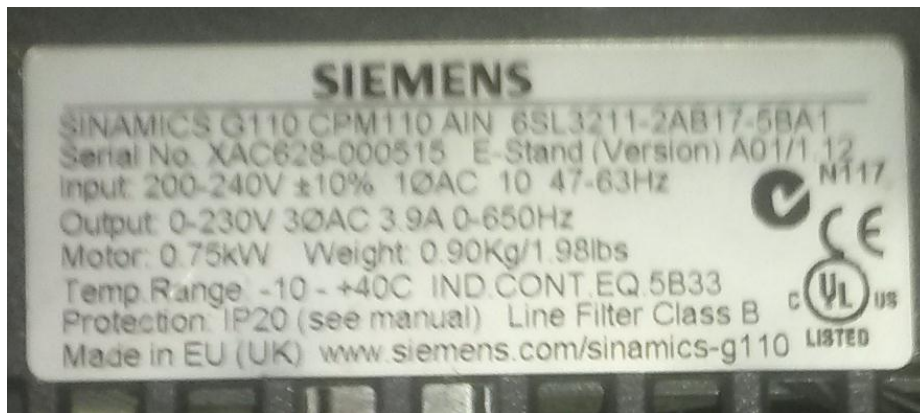
**FUENTE:** <http://www.solucionesyservicios.biz/Variadores-SINAMICS/SINAMICS-G110>

**AUTOR:** (SIEMENS, SINAMICS G110 Variador de frecuencia sencillo, 2014)

A continuación presento en la siguiente grafica la placa de características de mencionado equipo.



**FIGURA 49: Placa de datos del variador de frecuencia**



**FUENTE:** Fotografía directa

**AUTOR:** (JOSE VALLADARES)

Los G110s SINAMICS de la compañía SIEMENS son una gama de convertidores de frecuencia o variadores de frecuencia para controlar la velocidad de motores trifásicos de corriente alterna, posee una gama de modelos disponibles a partir de 120 W a 3,0 kW para entrada monofásica.

Los variadores de frecuencia están controlados por un microprocesador y utilizan procesos de última generación tecnología de puerta aislada de Transistor Bipolar (IGBT). Esto los hace fiables y versátiles. El método de modulación por ancho de pulso especial de frecuencia hace el funcionamiento silencioso del motor. El equipo ofrece una excelente protección para el motor.

El CPM110 SINAMICS G110 con sus configuraciones de fábrica por defecto es ideal para una gran gama de aplicaciones sencillas de control de motores. El uso de la gama completa de parámetros programables se proporcionan con el inversor, la unidad se pueden adaptar para un amplia gama de aplicaciones.

Los parámetros pueden ser cambiados usando USS comunicaciones o el Basic Operator Panel (BOP).

**FIGURA 50: Basic Operator Panel (BOP).**



**FUENTE:**<http://www.solucionesyservicios.biz/Variadores-SINAMICS/SINAMICS-G110>

**AUTOR:** (SIEMENS, SINAMICS G110 Variador de frecuencia sencillo, 2014)

El SINAMICS G110 está disponible en dos variantes; la variante analógica controlada y el USS variante que utiliza protocolo RS485 controlado. Están disponibles como convertidores sin filtro y filtrada, incluyendo una versión de placa plana, que completa la gama. Pueden ser utilizados tanto en aplicaciones donde se encuentre aislado, así como su integración en Sistemas Automáticos. (A. RODRIGO, 2011)

Por todas estas características fue escogido para utilizarlo en nuestro proyecto de titulación.

Además de lo anteriormente citado utilizaremos conectores para la alimentación por una parte de 28 VCD y otra para los 220 VAC.

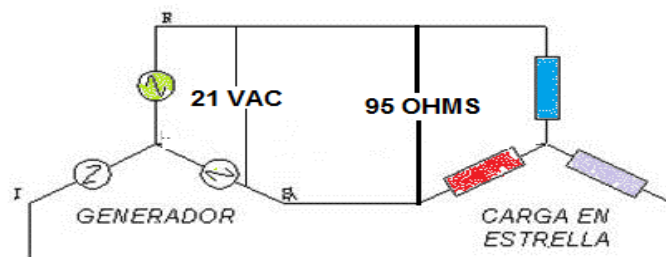
Para la protección del dispositivo utilizaremos 01 breaker doble de 15 Amperios según el requerimiento de alimentación del variador de frecuencia, por otra parte usaremos fusibles de 300 miliamperios para proteger la alimentación de la fuente del equipo arduino.

Para el control del equipo dispondremos de un interruptor con indicación de luz piloto, además se dispondrá de una luz indicadora de presencia de alimentación 220VAC o 28VDC para evitar equivocaciones de manejo.

### 3.8 Cálculo de parámetros

En el capítulo que se desarrolló las características de los dispositivos que conforman el circuito de Indicación de RPM del motor y del rotor pudimos puntualizar las características técnicas de los motores que conforman el sistema, estos datos podemos tomarlos para realizar la programación del variador de frecuencia y poner en marcha nuestro circuito, pero existen ciertos datos que se desconocen por lo cual deben ser calculados matemáticamente a partir de los datos ya conocidos.

**FIGURA 51: Circuito conexión estrella entre generador e indicador**



**FUENTE:** Grafica directa

**AUTOR:** (JOSE VALLADARES)

Calculo de Intensidad Nominal en motor de Indicador.

Si Intensidad de Fase es igual a cero porque estamos en circuito abierto, entonces la Intensidad de Fase es igual a Intensidad de Línea.

Y si la Tensión que se conoce es el voltaje de Fase que es = 21VAC.

Entonces:

$$I = \frac{V}{R}$$

$$IF = \frac{VF}{R}$$

$$IF = \frac{21 \text{ VAC}}{95 \text{ OHMS}}$$

$$**IF = 0,2210 AMP = IL**$$

Con este resultado podemos calcular la potencia del motor en cuestión. La potencia es igual a:

$$**P = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos}\delta**$$

Dónde:

P: Potencia nominal

V: voltaje

I: Corriente

Cos&: Coseno Fi o Factor de Potencia

Como podemos ver existen dos parámetros que desconocemos pero son calculables.

El Voltaje que presenta el equipo debido a que está conectado en circuito Estrella sería la Tensión de Línea por lo cual utilizaríamos la siguiente expresión:

$$VL = \sqrt{3} \times VF$$

$$VL = \sqrt{3} \times 21VAC$$

$$VL = 36.37 VAC$$

Y el Coseno Fi o Factor de Potencia impondremos uno dé o,80 primeramente tomado este valor porque no es posible calcularlo hasta no disponer de la potencia del equipo y en segundo lugar lo determinamos mediante la convicción que el motor a propulsarse es de bajas dimensiones y potencia así que su consumo no es muy elevado disponiendo este valor porque es una media racionalmente normal.

Entonces:

$$P = \sqrt{3} \times VL \times IL \times \text{Cos}\delta$$

$$P = \sqrt{3} \times 36.37 VAC \times 0.2210 \times 0.80$$

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos}\delta$$

$$P = 11.13WATT$$

$$P = 11.13W \times \frac{1 \text{ HP}}{746W}$$

$$**P = 0.0149HP**$$

Las respuestas obtenidas se las presenta en la siguiente tabla de cada equipo que pertenece al sistema de Indicación de RPM y se las utilizara en la programación del convertidor de frecuencia.

**Tabla 3: Características de Equipos**

<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>GENERADOR DE TRASMISION</b>	<b>GENERADOR DE MOTOR</b>	<b>MOTOR DE INDICADOR</b>
RPM	4200	4200	4200
Frecuencia (HZ)	70	70	70
grados desfase polos	120	120	120
Resistencia bobinados	43	20	95
Numero de polos	2	2	2
Conexión de bobinados	estrella	estrella	estrella
Voltaje Linea (VAC)	36.37	36.37	36.37
voltaje Fase (VAC)	21	21	21
Intesidad de fase (A)	0.4883	1.05	0.2210
Potencia nominal HP	0.0329	0.0709	0.0149
factor de potencia	0.80	0.80	0.80

En la tabla se puede apreciar resaltadas las características del motor del indicador el cual estableceremos como prioridad ya que serán estos datos los requeridos para programas el convertidor de frecuencia.

Una vez obtenidos estos datos podemos concentrarnos en establecer una relación entre la frecuencia del motor, sus revoluciones por minuto y el porcentaje indicado en el Instrumento Doble del helicóptero teniendo como base que a 70 Hz debe mantener 4200 RPM, así tenemos:

**Tabla 4: Porcentaje, Frecuencia y Velocidad**

NUM	PORCENTAJE (%)	VELOCIDAD TACOMETRO (RPM)	FRECUENCIA (Hz)	VELOCIDAD EJE DE POTENCIA (RPM)
1	10	420	7	601,6
2	20	840	14	1203,2
3	30	1260	21	1804,8
4	40	1680	28	2406,4
5	50	2100	35	3008
6	60	2520	42	3609,6
7	61	2562	42,7	3669,76
8	62	2604	43,4	3729,92
9	63	2646	44,1	3790,08
10	64	2688	44,8	3850,24
11	65	2730	45,5	3910,4
12	66	2772	46,2	3970,56
13	67	2814	46,9	4030,72
14	68	2856	47,6	4090,88
15	69	2898	48,3	4151,04
16	70	2940	49	4211,2
17	80	3360	56	4812,8
18	90	3780	63	5414,4
19	100	4200	70	6016

	VALORES NOMINALES
	VALORES EN RELANTY

En esta tabla podemos ver resaltados en color rojo el valor base de RPM que debe mantener el motor y la transmisión a pleno funcionamiento o 100% de su velocidad, además también se presentan resaltados en amarillo los porcentajes que debe tener en relanty 60% y hasta 70% que es cuando se activa el generador estableciendo todas las cargas que hasta ese momento deben funcionar de manera normal.

## **3.9 Programación del variador de frecuencia**

Para iniciar la utilización del variador de frecuencia se puede llevar a cabo con uno de los métodos de programación que se indican a continuación lo que facilita su uso.

Utilizando el variador de frecuencia con los ajustes de fábrica, prescribiendo comandos y consignas por medio de las entradas digitales y analógicas o por medio de la interface RS485.

Usando el panel básico de operaciones BOP (Basic Operator Panel).

### **3.9.1 Puesta en servicio estándar**

El SINAMICS G110 se provee con parámetros pre ajustados en fábrica, con las siguientes características:

Los datos del motor, como tensión, corriente y frecuencia se encuentran almacenados en la memoria del equipo y se han grabado tomando las características de un motor apropiado al variador de frecuencia.

Los SINAMICS G110 están pre ajustados para dispositivos con una frecuencia nominal de 50 Hz. Se pueden adecuar, mediante un interruptor (DIP) que se encuentra en la parte frontal del equipo, para el funcionamiento con motores de 60 Hz. (A. RODRIGO, 2011).



**FIGURA 52: Posición del interruptor DIP**



**FUENTE:** tesis construcción de un módulo variador de frecuencia

**AUTOR:** (A. RODRIGO, 2011)

La potencia de salida, en la posición 50 Hz, se visualiza en Kw (si hay un BOP o teclado y pantalla de control incorporado). Los datos específicos del motor se calculan en base a 50 Hz.

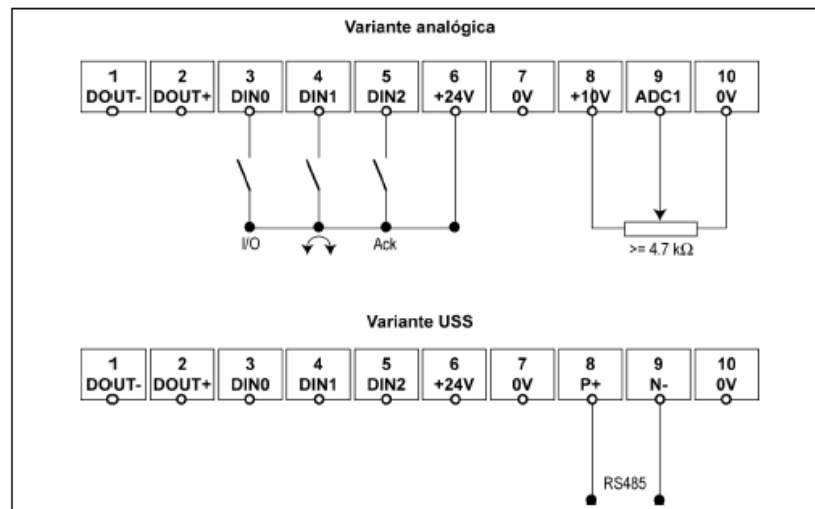
Cambiando la posición del interruptor DIP a 60 Hz se pone antes de aplicar voltaje de red. Al conectar la tensión se lee la posición del interruptor y se calculan los siguientes parámetros específicos del motor:

- Frecuencia nominal del motor
- Frecuencia máxima del motor
- Frecuencia de referencia

El variador de frecuencia SINAMICS G110 viene ajustado para emplearlo en aplicaciones estándar con un motor asíncrono trifásico de 4 polos que tenga los mismos datos de potencia que el convertidor.

El control de velocidad del motor se lleva a cabo a través de las entradas analógicas en la variante analógica o a través de un potenciómetro como lo muestra la figura 53.

**FIGURA 53: Puerto analógico para control del Variador de Frecuencia**



**FUENTE:** tesis construcción de un módulo variador de frecuencia

**AUTOR:** (A. RODRIGO, 2011)

En el modo estándar se ubican los parámetros siguiendo la numeración de los bornes que se indican en la siguiente tabla.

**Tabla 5: Ajuste de fábrica para el convertidor Sinamics g110 variante analógica**

Descripción	Bornes	Parámetros ajuste de fábrica	Función
Fuente consigna frecuencia	9	P1000 = 2	Entrada analógica
Fuente de órdenes	3,4 y 5	P0700 = 2	Posterior se indica
Entrada digital 0	3	P0701 = 1	ON/OFF1
Entrada digital 1	4	P0702 = 12	Inversión de sentido de giro
Entrada digital 2	5	P0703 = 9	Acuse de fallo
Tipos de control vía bornes	-	P0727 = 0	Control Siemens estándar

**FUENTE:** TESIS VARIADOR DE FRECUENCIA

**AUTOR:** (A. RODRIGO, 2011)

El control de velocidad del motor se puede efectuar mediante un potenciómetro ( $\geq 4,7k\Omega$ ) en la entrada analógica (variante analógica) y mediante la interface RS485.

**Tabla 6: Ajustes de fábrica para variante uss**

Descripción	Bornes	Parámetros- ajuste de fábrica	Función
Dirección USS	8/9	P2011 = 0	Dirección USS = 0
Transmisión USS	8/9	P2010 = 6	Vel.transmisión USS = 9600 bps
Longitud PZD USS	8/9	P2012 = 2	En la parte PZD del telegrama USS hay dos palabras de 16 bits. (PZD = datos de proceso)
Consigna de frecuencia	8/9	P1000 = 5	protocolo USS (HSW = consigna principal)
Fuente de órdenes	8/9	P0700 = 5	Vía protocolo USS (STW = palabra de mando)

**FUENTE:** TESIS VARIADOR DE FRECUENCIA

**AUTOR:** (A. RODRIGO, 2011)

### 3.9.2 Puesta en Servicio Rápida

Esta puesta en servicio rápida es un conjunto de órdenes de programación que daremos al equipo para asegurar que los parámetros de marcha estén bajo los límites requeridos por el Indicador Doble de rpm del helicóptero, su uso es de suma importancia y es esta la razón de haber establecido previamente todos los parámetros de funcionamiento del sistema de rpm.

Esta puesta en marcha permite ubicar los datos más básicos de marcha del motor por medio del programador BOP, para luego ser alimentado por el variador de frecuencia, adicional le permite al equipo realice ciertas valoraciones eléctricas en pleno funcionamiento y determinar el mejor punto de funcionamiento alertando de algún fallo o parámetro mal ingresado.

**FIGURA 54: Tabla de puesta en servicio rápida**

<b>No</b>	<b>Nombre</b>	<b>Nivel de acceso</b>	<b>Cstat</b>
P0100	Europa / Norte América	1	C
P0304	Tensión nominal del motor	1	C
P0305	Corriente nominal del motor	1	C
P0307	Potencia nominal del motor	1	C
P0308	CosPhi nominal del motor	3	C
P0309	Rendimiento nominal del motor	3	C
P0310	Frecuencia nominal del motor	1	C
P0311	Velocidad nominal del motor	1	C
P0335	Ventilación del motor	3	CT
P0640	Factor de sobrecarga del motor [%]	3	CUT
P0700	Selección de la fuente de órdenes	1	CT
P1000	Selección de la consigna de frecuencia	1	CT
P1080	Velocidad Mín.	1	CUT
P1082	Velocidad Máx.	1	CT
P1120	Tiempo de aceleración	1	CUT
P1121	Tiempo de deceleración	1	CUT
P1135	Tiempo de deceleración OFF3	3	CUT
P1300	Modo de control	2	CT
P3900	Fin de la puesta en servicio	1	C

**FUENTE:** <http://www.solucionesyservicios.biz/Variadores-SINAMICS/SINAMICS-G110>

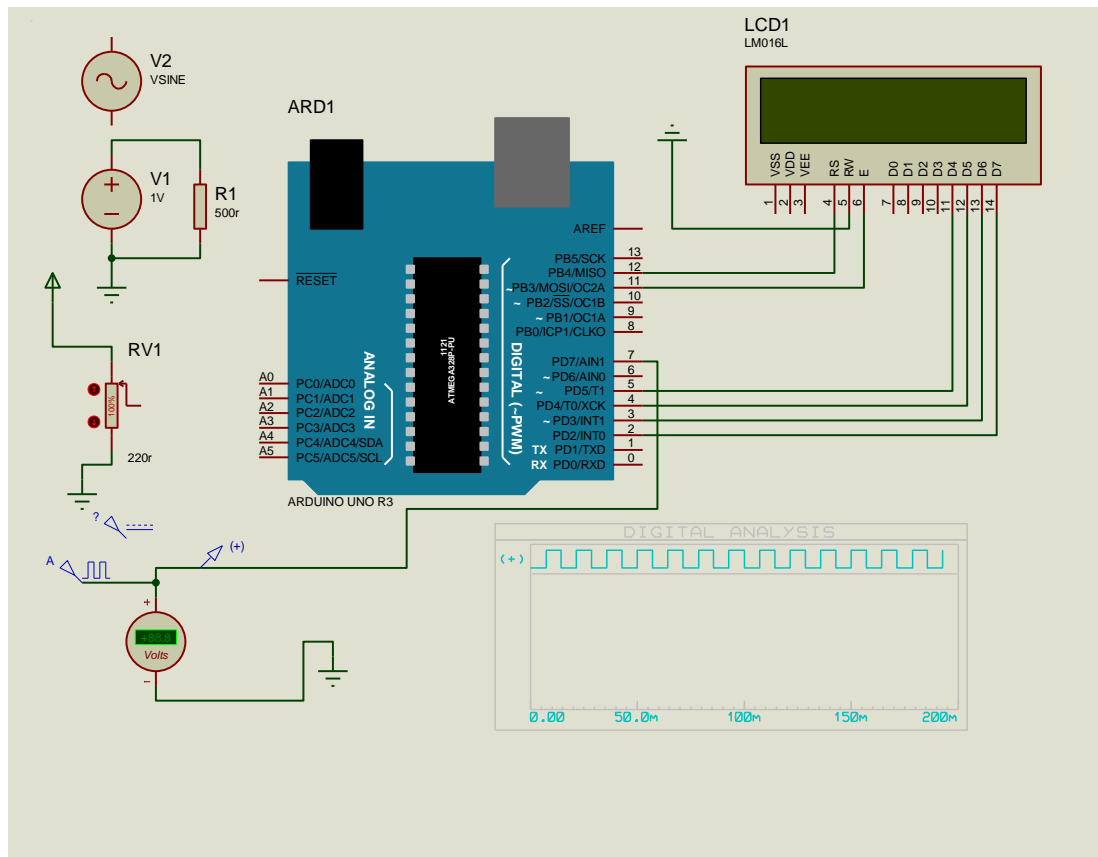
**AUTOR:** (SIEMENS, SINAMICS G110 Variador de frecuencia sencillo, 2014)

### **3.10 Diseño eléctrico**

La interconexión que se realizará, permite alimentar los dispositivos que conforman nuestro equipo, utilizando cable número 14 para alimentar el equipo de 220vac, para los dispositivos ubicados dentro del equipo se utilizara cable 18 y para las señales tomadas de los equipos del helicóptero usaremos cable 22 blindado de aviación por su dureza y facilidad de manejo; realizando un arnés protegido para impedir la entrada de ruido en la medición de la frecuencia.

En la siguiente grafica esta expresado la forma de conexión de los equipos arduino y los parámetros que requiere para su funcionamiento.

**FIGURA 55: Grafica de conexión de Arduino a Lcd**



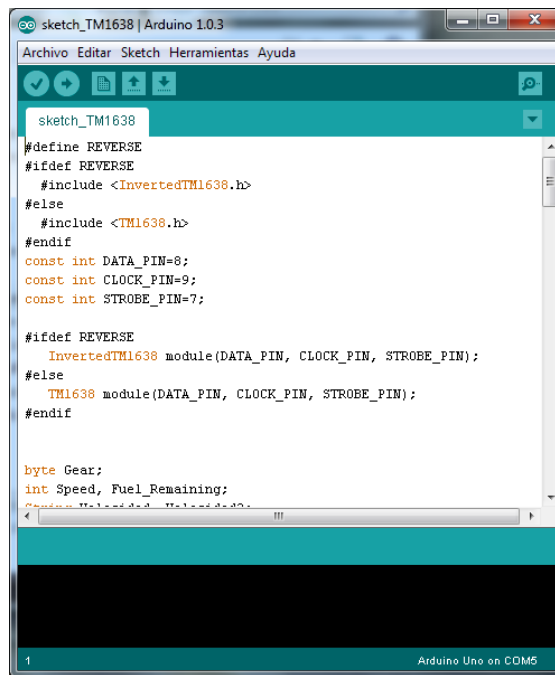
**FUENTE:** Diseño en programa Proteus

**AUTOR:** JOSE VALLADARES

### 3.11 Programación del software

La programación de los dispositivos arduino se realizan utilizando un programa desarrollado por la misma tecnología arduino, el cual es de uso libre y es descargable desde su página de internet. (Arduino , 2015).

**FIGURA 56: Muestra de Programa Arduino**



```
sketch_TM1638
#define REVERSE
#ifdef REVERSE
  #include <InvertedTM1638.h>
#else
  #include <TM1638.h>
#endif
const int DATA_PIN=8;
const int CLOCK_PIN=9;
const int STROBE_PIN=7;

#ifdef REVERSE
  InvertedTM1638 module(DATA_PIN, CLOCK_PIN, STROBE_PIN);
#else
  TM1638 module(DATA_PIN, CLOCK_PIN, STROBE_PIN);
#endif

byte Gear;
int Speed, Fuel_Remaining;
```

**FUENTE:** <http://www.arduino.cc/>

**AUTOR:** (Arduino , 2015)

El programa posee variada librería y ejemplos de programación que se tomaran en cuenta para la realización de nuestro programa, adicionalmente arduino tiene funciones de diagnóstico que nos permiten visualizar errores de código.

Dependiendo lo que se requiere manejar, buscamos en el índice la librería adecuada, en nuestro caso, utilizaremos todo lo referente a las pantallas lcd, una vez realizada esta acción se designa los pines a usarse de la tarjeta arduino en conexión de pantallas lcd. Después de este paso nos centraremos en los códigos a usarse conociendo primeramente que existen dos lazos en el programa:

- Void setup.- es el lazo donde arranca la unidad y es donde la programación se realizara por una solo vez.
- Void loop.- es el lazo de repetición en donde la programación se activara constantemente, en una progresión de inicio a final y de nuevo a inicio.

Después de realizar varias pruebas y de correr el programa en simulación en el programa “Proteus” nuestro código de programación queda de la siguiente manera.

**FIGURA 57: Código de Programa indicador rpm**



```
e06_medircorr
LiquidCrystal lcd(12,11,5,4,3,2);
int pin=7;
unsigned long tiempo;
unsigned long tiempo1;
unsigned long tiempo2;
float t=0.0;
void setup(){
  lcd.begin(16,2);
  lcd.setCursor(0,0);lcd.print("HZ:  PORCENTAJE:");
  pinMode(pin,INPUT);
}
void loop(){

  tiempo1=pulseIn(pin,HIGH);
  tiempo2=pulseIn(pin,LOW);
  tiempo=tiempo1+tiempo2;
  t=1000000/tiempo;
  lcd.setCursor(0,1);lcd.print(t);
  lcd.setCursor(9,1);lcd.print(t*100/70);
  lcd.setCursor(15,1);lcd.print("%");

  delay(2000);
}
```

**FUENTE:** Diseño en Programa Arduino

**AUTOR:** JOSE VALLADARES

### 3.12 Pruebas funcionales

Se realizó las pruebas funcionales del equipo en los helicópteros en pleno trabajo, tomando en cuenta que las aeronaves en las que se realizan los ensayos poseen todos los parámetros correctos y que no se ha reportado daños en el sistema de indicación de rpm.

Pudimos notar que las mediciones de las rpm arrojadas por el equipo son similares a las ya tomadas anteriormente en esta investigación y se encuentran detalladas en las tablas 1 y 2 que uniéndolas con el rango de error establecido, podemos argumentar que la indicación digital del equipo es muy similar a la señal expresada en el Indicador Doble de RPM del helicóptero; para lo cual se adjunta un video de comprobación de lo anteriormente citado.

De la misma forma se requería chequear el estado de un instrumento tacómetro doble perteneciente al helicóptero TH-57 FAE 401 que se encuentra en mantenimiento y no se puede encender hasta no realizar varios trabajos adicionales, así que se utilizó el equipo diseñado para comprobar si las indicaciones eran las adecuadas, comparando los parámetros con la tabla calculada y verificándose el estado del instrumento, ahorrando de esta manera tiempo y dinero a la Fuerza Aérea Ecuatoriana.



## Conclusiones

Se determinó el funcionamiento real del sistema de Indicación de RPM y cada uno de sus componentes estableciendo que el parámetro base es la variación de frecuencia la cual va de acuerdo con la velocidad que mantienen los dispositivos, de esta manera se establece que la medida es una característica general de diseño en las aeronaves y a la vez permite su chequeo y reparación.

El sistema de indicación de RPM del helicóptero constituye uno de los parámetros a visualizar más importantes dentro del funcionamiento del helicóptero, su constante supervisión determina la condición de funcionamiento óptimo y mantiene en pleno funcionamiento todos los demás dispositivos o componentes de la aeronave.

Con toda la información recopilada se logró diseñar un equipo que puede medir directamente las rpm tomadas del motor y la transmisión principal, presentando los resultados en dos pantallas lcd en forma de frecuencia y porcentaje, valores con los cuales puede realizarse la reparación de los componentes de la aeronave, además el mismo equipo permite simular la variación de velocidad, alterando la medida de la frecuencia, con lo cual se permite verificar el estado de los Instrumentos tacómetros dobles y establecer si su indicación está de acuerdo con los parámetros requeridos por el helicóptero.

El resultado de la investigación realizada arroja como dato principal que el parámetro que determina la medición de RPM en los helicópteros es la variación de frecuencia desde los 0hz hasta los 70Hz que describen los 4200 RPM al 100% trabaja normalmente el helicóptero, determinando los valores exactos que debe indicar el Instrumento Doble de N2 en la tabla 4 de esta investigación con un rango de error de  $\pm 2$ .

## **Recomendaciones**

Se recomienda utilizar el banco de pruebas junto con la tabla de resultados expresada en esta investigación conjunto a un medidor laser de rpm con el cual se medirá las revoluciones del eje de potencia determinando una relación entre la frecuencia y porcentaje expresado en pantalla y las rpm reales establecidas en la salida de potencia del motor.

Además cuando se utilice el quipo en modo chequeo de instrumentos asegurarse que se use una línea de 220vac con conexión a tierra como medida de seguridad del sistema y de los operarios del dispositivo.

## BIBLIOGRAFÍA

- A. RODRIGO, Á. O. (27 de ABRIL de 2011). TESIS DE GRADO. *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO VARIADOR DE FRECUENCIA PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES ASINCRÓNICOS*. RIOBAMBA, TUNGURAGUA, ECUADOR.
- APUNTES CIENTÍFICO. (s.f.). *Scontacto@apuntescientificos.org*. Obtenido de [MOTORES ELECTRICOS: http://apuntescientificos.org/motores.html](http://apuntescientificos.org/motores.html)
- Arduino . (2015). *ARDUINO*. Obtenido de HOME: <http://www.arduino.cc/>
- ASEIN A. (2014). *ASEIN A CATALOGO*. Obtenido de <http://www.asein.com/es/catalogo/maquinas-electroportatiles>
- ASÍ FUNCIONA, Á. J. (31 de ENERO de 2015). *¡ASÍ FUNCIONA!* Obtenido de <http://asifunciona.com>
- BELL HELICOPTER. (2006). *ILLUSTRATED PARTS BREAKDOWN MANUAL*. TEXTRON COMPANY.
- BELL HELICOPTER. (2014). *Bell Helicopter Textron Inc*. Obtenido de Home: <http://www.bellhelicopter.com/>
- BELL HELICOPTER MANUAL, T. (2013). *MAINTENANCE MANUAL*.
- Blog de las Fuerzas de Defensa de la República, A. (20 de julio de 2011). *Tecnología: Motor aeronáutico (Parte 1)*. Obtenido de Motor aeronáutico: <http://fdra.blogspot.com/2011/07/tecnologia-motor-aeronautico-parte-1.html>
- Blogger., P. A. (18 de ABRIL de 2011). *"ELECTRICISTA INDUSTRIAL-J.FRANCO"*. Obtenido de [http://electricistaindustrial-jfranco.blogspot.com/2011\\_04\\_18\\_archive.html](http://electricistaindustrial-jfranco.blogspot.com/2011_04_18_archive.html)
- CHACON, B. A. (20 de JUNIO de 2012). *FÍSICA • ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO* •. Obtenido de <http://berenice-aguilar.blogspot.com/2012/06/el-generator-y-motor-electrico.html>
- Chapman, S. J. (2005). *MÁQUINAS ELECTRICAS*. AUSTRALIA: McGraw-Hill Interamericana.

D. SOSA, D. (2014). *MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA*. Obtenido de WWW.MAILXMAIL.COM

Dirección General de Protección civil y emergencias, ministerio del interior España. (s.f.). *Red Radio de Emergencia*. Obtenido de Helizonas y Heliosuperficies:

<http://www.proteccioncivil.org/catalogo/carpeta02/carpeta24/vademecum12/vdm023.htm>

Enciclopedia colaborativa en la red, c. (7 de FEBRERO de 2015). *ECURED*.

Obtenido de [http://www.ecured.cu/index.php/Instrumentos\\_de\\_vuelo](http://www.ecured.cu/index.php/Instrumentos_de_vuelo)

Fernández, M. P. (2002). *Electricidad en los aviones*. Madrid: Paraninfo.

FORO MILITAR, G. (2014). *militar.org.ua*. Obtenido de <http://www.militar.org.ua/foro/fuerzas-armadas-del-ecuador-2010-2014-t29528-180.html>

FUERZA AEREA ECUATORIANA, DIRECCIÓN GENERAL DE LOGÍSTICA. (2013). *MANUAL GENERAL DE MANTENIMIENTO AERONAUTICO*. QUITO.

Google friend, C. (19 de OCTUBRE de 2009). *BLOG FISICA*. Obtenido de FUNCIONAMIENTO DEL HELICÓPTERO: <http://fisicajuanpablo.blogspot.com/2009/10/funcionamiento-del-helicoptero.html>

GOOGLE PLAY BLOG. (2014). *XPLANEREMOTE PANEL PLUS*. Obtenido de [https://play.google.com/store/apps/details?id=org.baltazar.XPlaneRemotePlus&hl=es\\_419](https://play.google.com/store/apps/details?id=org.baltazar.XPlaneRemotePlus&hl=es_419)

Google, A. (s.f.). *Electricidad y automatismos*. Obtenido de tipos de rotores: <http://www.nichese.com/rotor.html>

Helicóptero, E. (2014). *GUÍA HELICÓPTEROS*. Obtenido de EL HELICÓPTERO: <http://guiahelicopteros.com/>

JEISSY, R. R. (1 de JUNIO de 2009). *BLOG MOTORES*. Obtenido de [http://aloneelectricalscience.blogspot.com/2009\\_06\\_01\\_archive.html](http://aloneelectricalscience.blogspot.com/2009_06_01_archive.html)

M. Blas y A. Serrano, Fernandez. (OCTUBRE de 2014). *CURSO DE FÍSICA BÁSICA*. Obtenido de

<http://acer.forestales.upm.es/basicas/udfisica/asignaturas/fisica/default.htm>

MAGNETISMO. (2014). *UNIDAD DIDACTICA 9*. Obtenido de MAGNETISMO: [http://www.quimicaweb.net/grupo\\_trabajo\\_fyq3/tema9/index9.htm](http://www.quimicaweb.net/grupo_trabajo_fyq3/tema9/index9.htm)

Manual de vuelo del PIPER, P.-1. (s.f.). *Instrumentos de vuelo avioneta PIPER*. Obtenido de <file:///C:/Users/joe%20valladares/Downloads/Manual%20de%20vuelo%20del%20PIPER%20PA-11.%20Instrumentos%20de%20vuelo.pdf>

MARTÍN Blog, C. M. (18 de JUNIO de 2014). *MOTOR DE AVIONES*. Obtenido de <http://motordeaviones.blogspot.com/2014/06/volar.html>

MINISTERIO DE DEFENSA, N. (31 de MAYO de 2013). *ecuador ama la vida*. Obtenido de <http://www.defensa.gob.ec/2013/05/>

MYDIRECTINDUSTRY. (2015). *DIRECT INDUSTRY*. Obtenido de <http://www.directindustry.es/prod/sintex/rotores-iman-permanente-ferrita-38214-1260009.html>

Real Decreto 1317. (27 de octubre de 1989). *Unidades y medidas*. Obtenido de Sistema Internacional de Unidades: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/unidades/unidades/unidades.htm>

ROLLS-ROYCE. (2001). *OPERATION AND MAINTENANCE MANUAL*.

RUEDA, J. M. (2007). *SISTEMAS ELECTRICOS Y ELECTRONICOS DE LAS AERONAVES*. MADRID: THOMSON PARANINFO.

S. Burbano, E. B. (2006). *Física General 32a*. Mexico: ALFAOMEGA.

SIEMENS, SINAMICS G110 Variador de frecuencia sencillo. (2014). *SolucionesyServicios.biz*. Obtenido de Aparatos Eléctricos y Electrónicos: <http://www.solucionesyservicios.biz/Variadores-SINAMICS/SINAMICS-G110>

TARINGA. (2012). *CIENCIA-EDUCACIÓN*. Obtenido de ¿PARA QUE SIRVE LA CIENCIA BÁSICA?: <http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/15220341/Para-que-sirve-la-ciencia-basica.html>

Vicmanper, B. (15 de abril de 2012). *APLICACIONES DE LA LEY DE LENZ*. Obtenido de <http://victoperez437.blogspot.com/>

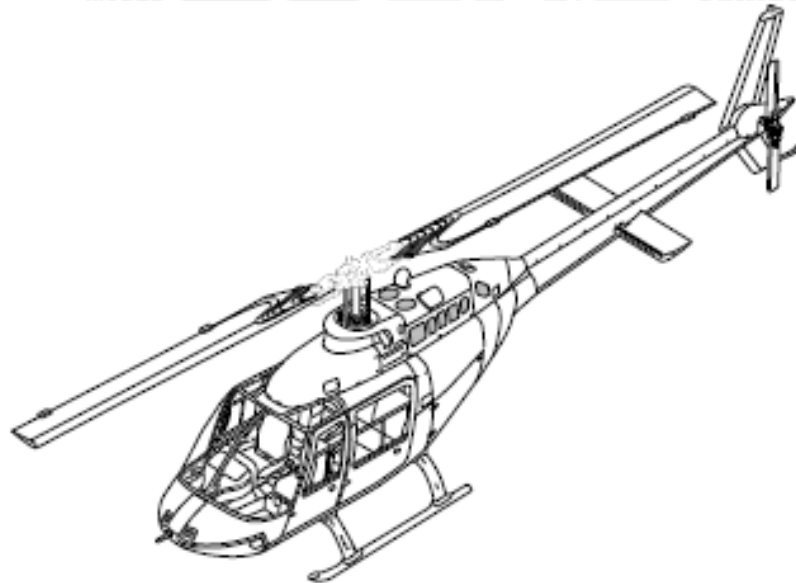
VIMANA - CATALOGO, C. P.-0.-T. (2014). *VIMANA*. Obtenido de <http://www.colectores-electricos-vimana.com/catalogo.php>

# ANEXOS

## ANEXO 1: Manual de Mantenimiento Bell

BHT-206A/B-SERIES-MM-1

**Bell** **206A/B** **SERIES**  
MODEL



### MAINTENANCE MANUAL

### VOLUME 1

### GENERAL INFORMATION

#### NOTICE

The instructions set forth in this manual, as supplemented or modified by [Alert Service Bulletins \(ASB\)](#) or other directions issued by Bell Helicopter Textron Inc. and [Airworthiness Directives \(AD\)](#) issued by the applicable regulatory agencies, shall be strictly followed. This manual covers 206A, 206B, and 206B3 helicopters SN 4 through and including current production. TH-57/TH-67 helicopters are covered along with the use of manual supplements. 206B1 helicopters are not covered by this manual.

FOR MODELS 206A, 206B, AND 206B3 HELICOPTERS

**Bell** Helicopter  
A Textron Company

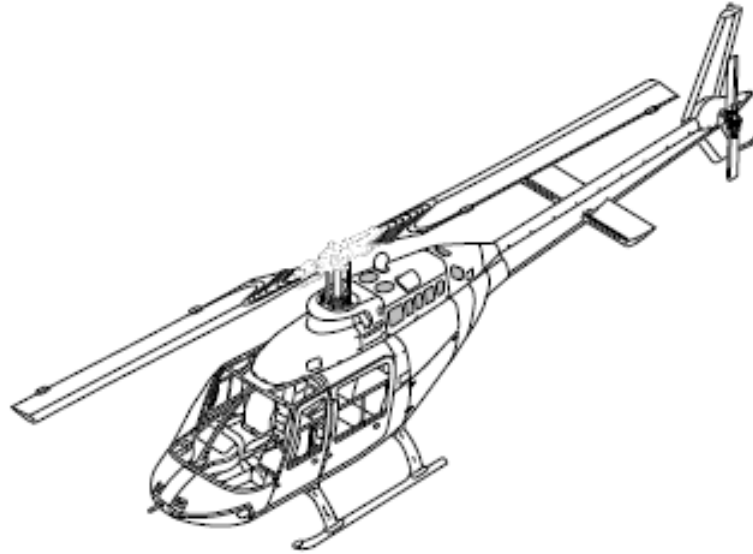
POST OFFICE BOX 492 • FORT WORTH, TEXAS 76101

Export Classification C, ECCN EAR99

## ANEXO 2: Manual Ilustrado de Partes

BHT-206A/B-SERIES-IPB

**Bell**  
MODEL **206A/B** SERIES



### ILLUSTRATED PARTS BREAKDOWN MANUAL

#### NOTICE

The instructions set forth in this manual, as supplemented or modified by Alert Service Bulletins (ASB) or other directions issued by Bell Helicopter Textron Inc. and Airworthiness Directives (AD) issued by the applicable regulatory agencies, shall be strictly followed.

**Bell Helicopter**

A Textron Company

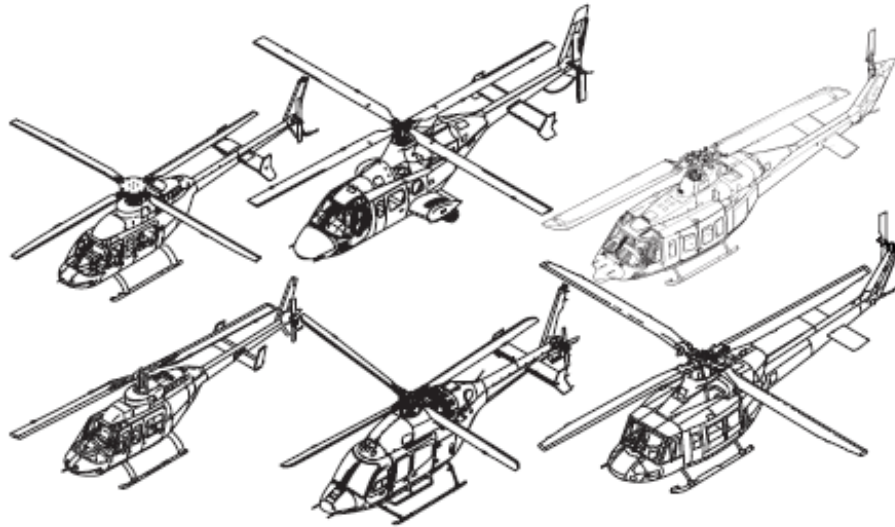
POST OFFICE BOX 402 • FORT WORTH, TEXAS 76101

Export Classification C, ECCN EAR99



## ANEXO 3: Manual de Practicas Estándar

BHT-ELEC-SPM



# ELECTRICAL STANDARD PRACTICES MANUAL

FOR ALL BELL HELICOPTER COMMERCIAL PRODUCTS

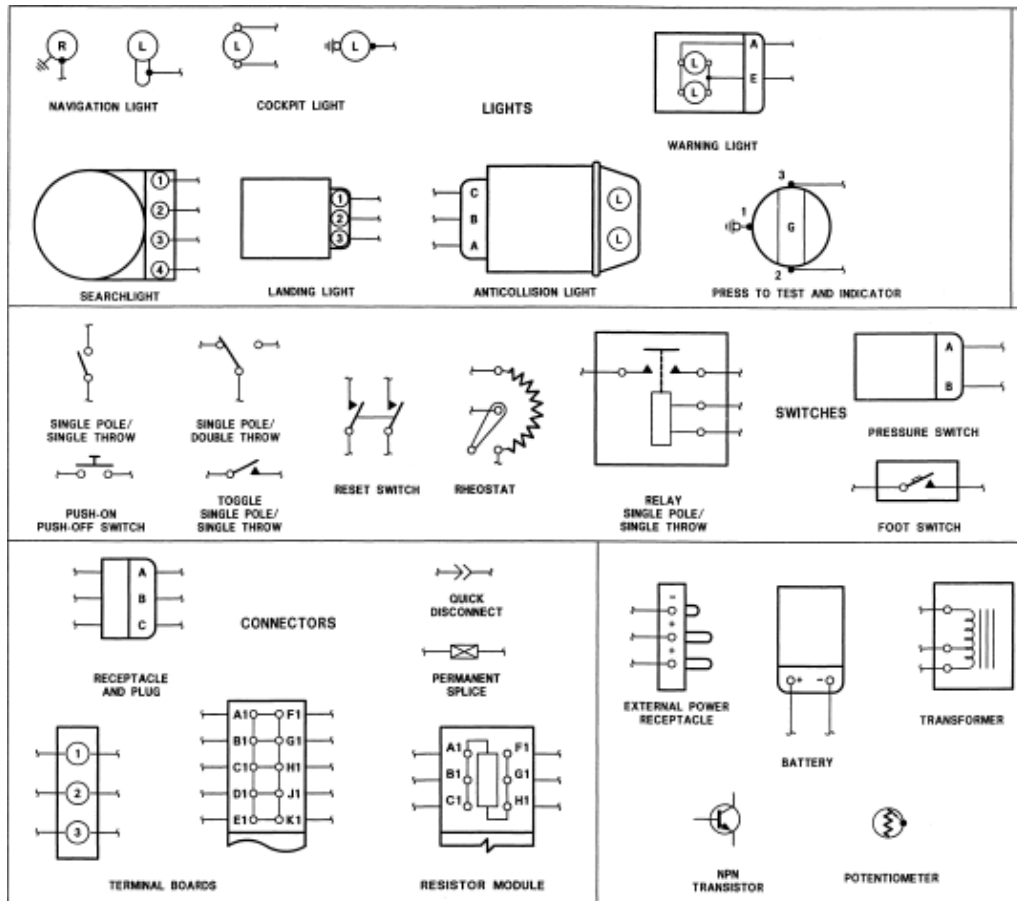
### NOTICE

The instructions set forth in this manual, as supplemented or modified by [Alert Service Bulletins \(ASB\)](#) or other directions issued by Bell Helicopter Textron Inc. and [Airworthiness Directives \(AD\)](#) issued by the applicable regulatory agencies, shall be strictly followed.

**Bell Helicopter**  
A Textron Company

POST OFFICE BOX 482 • FORT WORTH, TEXAS 76101

## ANEXO 4: Símbolos Eléctricos



**SIMBOLOS ELECTRICOS (BELL HELICOPTER A TEXTRON COMPANY, 2013, CAP: 98, PAG: 8)**

## ANEXO 5: Manual de usuario del Sinamics g110

