

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

***Facultad de Ingeniería Mecánica***

***Sección de Post - Grado***



**ADAPTACIÓN DEL BANCO DE PRUEBA TURBOHÉLICE PROTOTIPO  
PARA LA VERIFICACIÓN DE LAS PERFORMANCES DEL MOTOR  
AI-20D SERIE V QUE EQUIPA A LOS AVIONES ANTINOV AN-32**

**.”  
TESIS**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADEMICO DE  
MAESTRO EN INGENIERIA AERONAUTICA**

**MENCION: MOTORES DE TURBINA A GAS**

**MANUEL AUGUSTO GARCES GHILARDI**

**PROMOCION 99-H**

*LIMA - PERÚ*

*2000*

## RESUMEN DEL TEMA DE TESIS

El estudio del Banco Turbo – Hélice para la comprobación de los parámetros y performance de los motores AI-20D Serie V se resume en lo siguiente:

Se ha analizado los datos técnicos y sistemas componentes del Banco de Prueba Turbo – Hélice utilizado para el corrido del motor ALLISON 50I-D22A y compararlos con parámetros del motor AI-20D Serie V.

Se ha realizado el estudio, diseño y ejecución de las adaptaciones requeridas para el corrido del motor AI-20D serie V (fabricación del banco – soporte Instalación del Sistema de Refrigeración de la Turbina y Arrancadores Eléctricos, Cálculos, Diseño, Fabricación de los Tensores del Banco – soporte, fabricación del eje de acople).

Se ha efectuado el estudio de instalación del dinamómetro KHAN, adecuación y reforzamiento del sistema de refrigeración existente.

Se ha realizado pruebas de comprobación y performance del motor AI-20D Serie V en el Banco de Prueba Turbo Hélice adaptada, obteniéndose resultados satisfactorios de acuerdo a tolerancias de los parámetros patrones de corrido suministrado por el fabricante.

En conclusión el SEMAN – FAP se encuentra implementado y potencialmente en capacidad de realizar las pruebas de corrido del motor AI-20D Serie V, que equipan los aviones AN-32 FAP de fabricación Ucraniana. Asimismo dar Servicio de Mantenimiento a diversas Cías de América Latina, que cuentan con este tipo de motor instalados en Aviones AN-32B.

# INDICE

<b>CAPITULO</b>	<b>PAG.</b>
<b>PRESENTACIÓN</b>	<b>1</b>
<b>PRIMERA PARTE</b>	
<b>FORMULACION DEL PROBLEMA Y METODO DE TRABAJO</b>	<b>13</b>
<b>1.1 FORMULACION DEL PROBLEMA</b>	<b>14</b>
1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	14
1.2 ALCANCE DEL ESTUDIO	19
1.3 OBJETIVO DEL ESTUDIO	19
1.4 PROFUNDIDAD DEL ESTUDIO	20
1.5 NIVEL DE IMPACTO	20
<b>1.2 METODO DE TRABAJO</b>	<b>21</b>
1.1 METODO EMPLEADO	21
1.1.1 FASE DE BÚSQUEDA Y ACOPIO DE INFORMACIÓN	21
1.1.2 FASE DE ORDENAMIENTO	22
1.2 FORMATO UTILIZADO	22
1.2.1 INSTRUMENTOS UTILIZADOS	22
1.2.2 DEPENDENCIAS DONDE SE HA OBTENIDO LA INFORMACION	28
<b>SEGUNDA PARTE</b>	
<b>DIAGNOSTICO SITUACIONAL</b>	<b>30</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>31</b>
2.1 ASPECTOS ORGANIZATIVOS	32
2.2 INDAGACION Y ESTUDIO DEL ASPECTO MATERIAL	34

2.3	DOCUMENTOS ADICIONALES	36
2.4	COMPARACION DE LOS DATOS Y PARÁMETROS DE LOS SISTEMAS	38

### TERCERA PARTE

	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL BANCO DE PRUEBA TURBO-HELICE, SISTEMAS Y SU ADAPTACIÓN	48
--	--	----

3.1	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL BANCO DE PRUEBA TURBO-HELICE	49
-----	--	----

1.1	CABINA DE CONTROL	49
-----	-------------------	----

1.1.1	SISTEMA DE MONITOREO DE AIRE	49
-------	------------------------------	----

#### SALIDA/ENTRADA DEL BANCO DE PRUEBA

1.1.2	SISTEMA DE MONITOREO DE TEMPERATURA	49
-------	-------------------------------------	----

#### MISCELÁNEO

1.1.3	SISTEMA DE MONITOREO DE TEMPERATURA DE	49
-------	--	----

#### ENTRADA DE LA TURBINA

1.1.4	SISTEMA DE INDICACIÓN DE PRESION	49
-------	----------------------------------	----

1.1.5	SISTEMA DE INDICACION DE VELOCIDAD DEL ROTOR	51
-------	--	----

1.1.6	SISTEMA DE MEDICION DE FLUJO DE COMBUSTIBLE	52
-------	---	----

1.1.7	SISTEMA DE MONITOREO DE VIBRACIÓN	53
-------	-----------------------------------	----

1.1.8	SISTEMA DE INDICACIÓN DE ANGULOS DE LOS ALABES	53
-------	--	----

1.2	SALA DE MAQUINAS	53
-----	------------------	----

1.3	CELDA DE PRUEBA	53
-----	-----------------	----

1.4	SISTEMAS DEL BANCO DE PRUEBA TURBO HELICE	54
-----	---	----

1.4.1	SISTEMA DE COMBUSTIBLE	54
-------	------------------------	----

1.4.2	SISTEMA DE LUBRICACIÓN	55
-------	------------------------	----

1.4.3	SISTEMA DE ARRANQUE NEUMÁTICO	56
-------	-------------------------------	----

1.4.4	SISTEMA NEUMÁTICO	56
-------	-------------------	----

1.4.5	SISTEMA DE ACELERACIÓN	56
1.4.6	SISTEMA ELECTRICO	57
1.4.7	SISTEMA DE MEDICION DE TORQUE, DINAMÓMETRO CLAYTON MODELO T-22-5000	57
1.4.8	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN Y RECIRCULACIÓN DE AGUA	58
3.2	MONTAJE DE LAS PARTES ADAPTADAS AL BANCO DE PRUEBA TURBO-HELICE PARA LAS PRUEBAS FUNCIONALES DEL MOTOR AI-20D SERIE V	61
1.1	PARAMETROS DEL MOTOR AI-20D SERIE V	63
1.2	CALCULO DE LAS ADAPTACIONES DEL MOTOR AI-20D SERIE V EN BANCO DE PRUEBA TURBO HELICE	70
1.2.1	CALCULO DEL CONSUMO DE AIRE DE REFRIGE- RACIÓN PARA LA TURBINA DEL MOTOR AI-20D SERIE V	70
1.2.2	CALCULO DEL CONSUMO DE AIRE DE REFRIGE- RACIÓN PARA LOS ARRANCADORES ELÉCTRICOS	70
1.2.3	CALCULO DE LOS TENSORES DEL BANCO-SOPORTE DEL MOTOR AI-20D SERIE V	71
1.2.4	EJE DE ACOUPLE	75
1.2.5	ACOPLAMIENTO FLEXIBLE	75
1.2.6	DINAMOMETRO "KAHN"	75
1.2.7	SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN PROPUESTA	103
3.3	PERFORMANCES DEL MOTOR AI-20D SERIE V Y FALLAS ENCONTRADAS	116
1.1	PARAMETROS DE PRUEBA MINIMOS Y MÁXIMOS DEL MOTOR AI-20D SERIE PARA EL CORRIDO EN BANCO TURBO-HELICE	117
1.2	PARAMETROS OBTENIDOS DEL MOTOR AI-20D SERIE V DURANTE EL CORRIDO EN BANCO TURBO HELICE	118
1.3	FALLAS ENCONTRADAS DURANTE EL CORRIDO DEL MOTOR AI-20D EN BANCO TURBO HELICE	120
1.3.1	FUGA DE AIRE POR BRIDAS DEL COMPRESOR DURANTE EL CORRIDO	120
1.3.2	VIBRACION EN LA ZONA DE TURBINA	120

## **CUARTA PARTE**

<b>4.1</b>	<b>CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>121</b>
1.1	CONCLUSIONES	122
1.2	RECOMENDACIONES	123

	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>124</b>
--	---------------------	------------

## PRESENTACIÓN

La economía del estado siempre depende de las comunicaciones. El análisis de ellas dice lo siguiente:

1.- El Sistema de Carreteras en gran parte del territorio nacional no está desarrollada adecuadamente y es insuficiente. En la costa el eje vial más importante es la Carretera Panamericana con una extensión de 3.337 Km.; en la sierra lo es la Carretera Longitudinal, discontinua y quebrada; y en la hilería amazónica lo es la Carretera Marginal de la Selva, igualmente discontinua. Entre las transversales es importante la que parte de Eten y atraviesa el Paso de Porculla a una altura sobre el nivel del mar de 2 141 m, el más bajo nivel del macizo andino, alcanzando las orillas mismas del Marañón. También es importante la Carretera Central que, desde La Oroya, conecta Lima con Pucallpa por el Noreste, con Chanchamayo por el Este, y con Huancayo por el Sur. Igualmente es importante la que partiendo de Nazca termina en el Desaguadero, vía Apurímac-Cuzco. En total, sobre 58 561 Km. de superficie de rodamiento, existentes en 1980, 6.256 Km. de carreteras son asfaltados, 12.534 Km. de carretera son afirmados, 14.911 Km. de carretera son sin afirmar, y 24.815 Km. de carretera son trocha y carrozable.

2.- Las Ferrovías peruanas suman un total de 2,552.3 Km. De ellos, 1.957 Km. corresponden al servicio público y 566 al servicio privado de las empresas mineras y de las cooperativas agrarias. Destaca el ferrocarril que conecta El Callao con Cerro de Pasco, el más alto del mundo, ya que corre sobre una

altitud máxima de 4.850 metros sobre el nivel del mar , cuya infraestructura, ferroviaria, como el puente del Infiernillo, constituye una obra maestra de la ingeniería universal.

3.- La Marina Mercante Nacional presta sus servicios en 24 puertos fluviales, y en un puerto lacustre (Puno) Cuenta con 50 naves (45 marítimas y cinco lacustres), que en conjunto desplazan 472.880 TRB y 299.295 TRN.

4 - Por Vía Aérea 60 aeródromos cubren la infraestructura aeroportuaria correspondiente, siendo dos aeropuertos de hormigón, 17 aeropuertos de asfalto, 11 aeropuertos de ripio, uno de gras, 24 de tierra, y cinco de arena. Motivo por el cual el Perú debe contar con una fuerte y grandiosa aviación de transporte, para poder llevar pasajeros y carga a los lugares mas alejados del territorio nacional; donde aún no ha llegado las vías de comunicación terrestre y la única manera de ingresar o salir de estos puntos de nuestro territorio nacional es a través de la aviación de transporte.

La aviación de transporte de carga y pasajeros en el Perú se encuentra catalogada en dos tipos:

a.- Aviones de alta capacidad (Hércules, Boeing, DC-8) que requieren de una infraestructura aeroportuaria adecuada, sostenida y con todas las ayudas de navegación necesarias, para poder operar desde aeropuertos con pistas de hormigón. Requerimiento que en el Perú es de 02 pistas únicamente como se mencionó con anterioridad; además el volumen y capacidad de carga de las

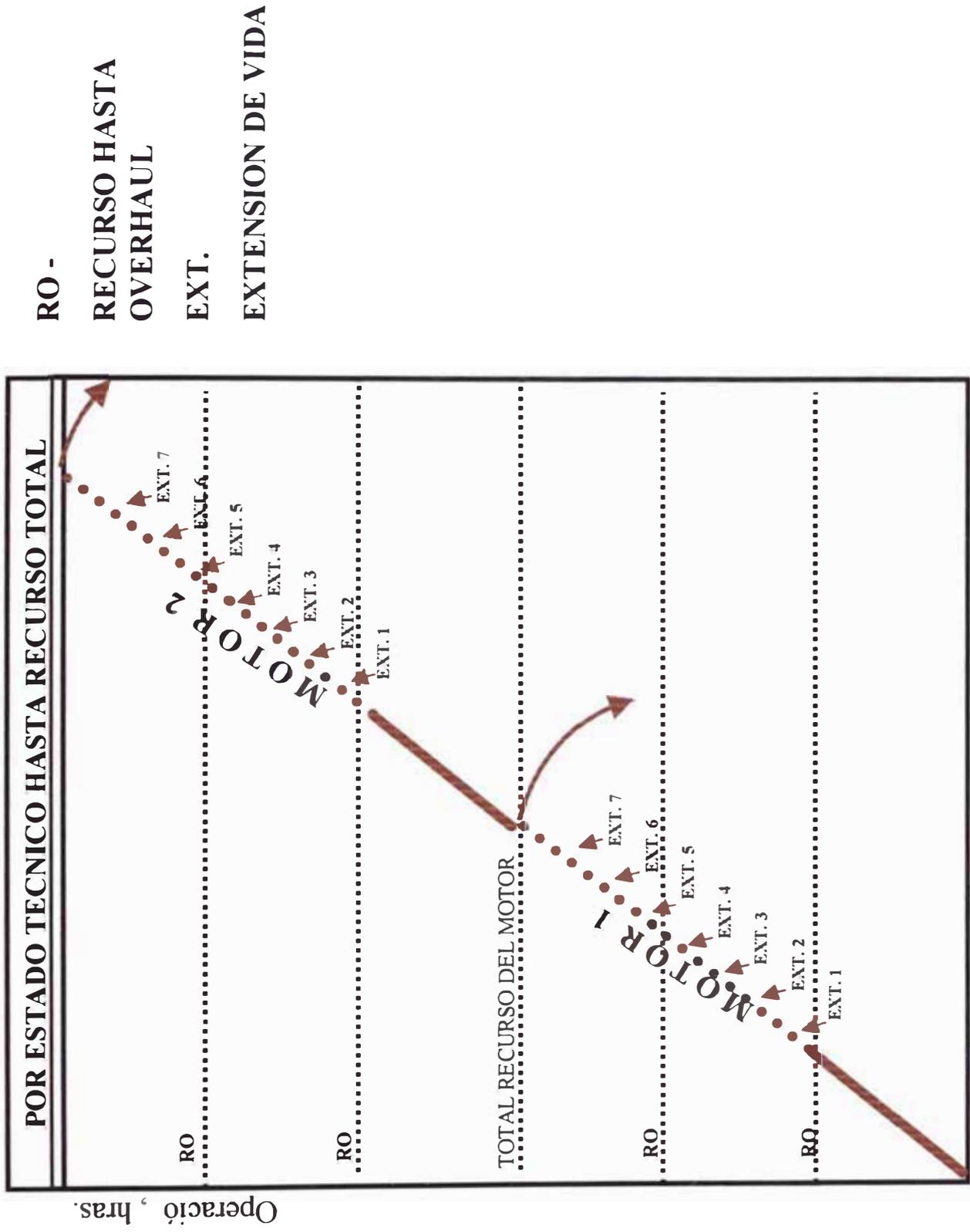
citadas aeronaves no es requerido en su plenitud en vista de no contar con mucha carga aérea a transportar a un determinado lugar.

- b - Aviones medianos, como el tipo AN-32 y AN-32B que poseen la característica de ser aeronaves que decolan y aterrizan en aeropuertos o aeródromos no preparados, de pistas cortas, en campos de altura; y su capacidad de carga a transportar es la adecuada, para el transporte de personal y carga a cualquier punto del Perú en cualquier condición de pista y terreno; por las características particulares y de diseño de los aviones AN-32 y AN-32B. En base a esta característica de los aviones AN-32 y AN-32B de poder ingresar a cualquier punto del País, tienen un elevado consumo del recurso horario del avión y del recurso por ciclaje del avión.

Aunado a la grave situación económica por la que atraviesa el país en la actualidad, y desde hace aproximadamente doce (12) años no ha permitido a la FAP contar con una logística de reposición adecuada ( repuestos, listas standard de inspecciones, material misceláneo, etc.) conllevando a adoptar otras medidas de explotación de las aeronaves. Esta situación difícil es para todas las instituciones del Estado (Ejército, Marina, Policía Nacional) ; motivo por el cual debemos buscar las estrategias, de extender los recursos horario, recurso calendario y recurso de ciclaje de la de la flota aérea (incluyendo los aviones AN-32 y aviones AN-32B.).

Unas variantes de las estrategias se explican en los diagramas (FIG N° 1, 2, 3). Eso se puede analizar desde tres enfoques necesarios; los mismos que serían los siguientes:





Calendario

**FIG. 2 - ESTRATEGIAS DE EXPLOTACION N° 2**



En la Fig. N° 1 se explica la estrategia de la explotación con la realización de los overhaules promedios dentro del recurso total, de acuerdo con la documentación técnica. Con esta estrategia necesitamos comprar por lo menos tres motores para proveer la operatividad del avión en el tiempo del recurso total de cada uno de ellos.

- Con la estrategia de explotación presentada en la Fig. N° 2; hacemos las extensiones del recurso hasta el recurso total. Este es la explotación por estado técnico de los motores con una limitación hasta el recurso total sin realizar overhaules promedios. Esto da una posibilidad económica, usar solamente dos motores para mantener la operatividad de la aeronave.

La prolongación de la vida a través de las inspecciones especiales con desarmado del motor y pruebas posteriores en el banco de prueba, antes de ser instalado en el ala del avión ( Fig. N° 3).

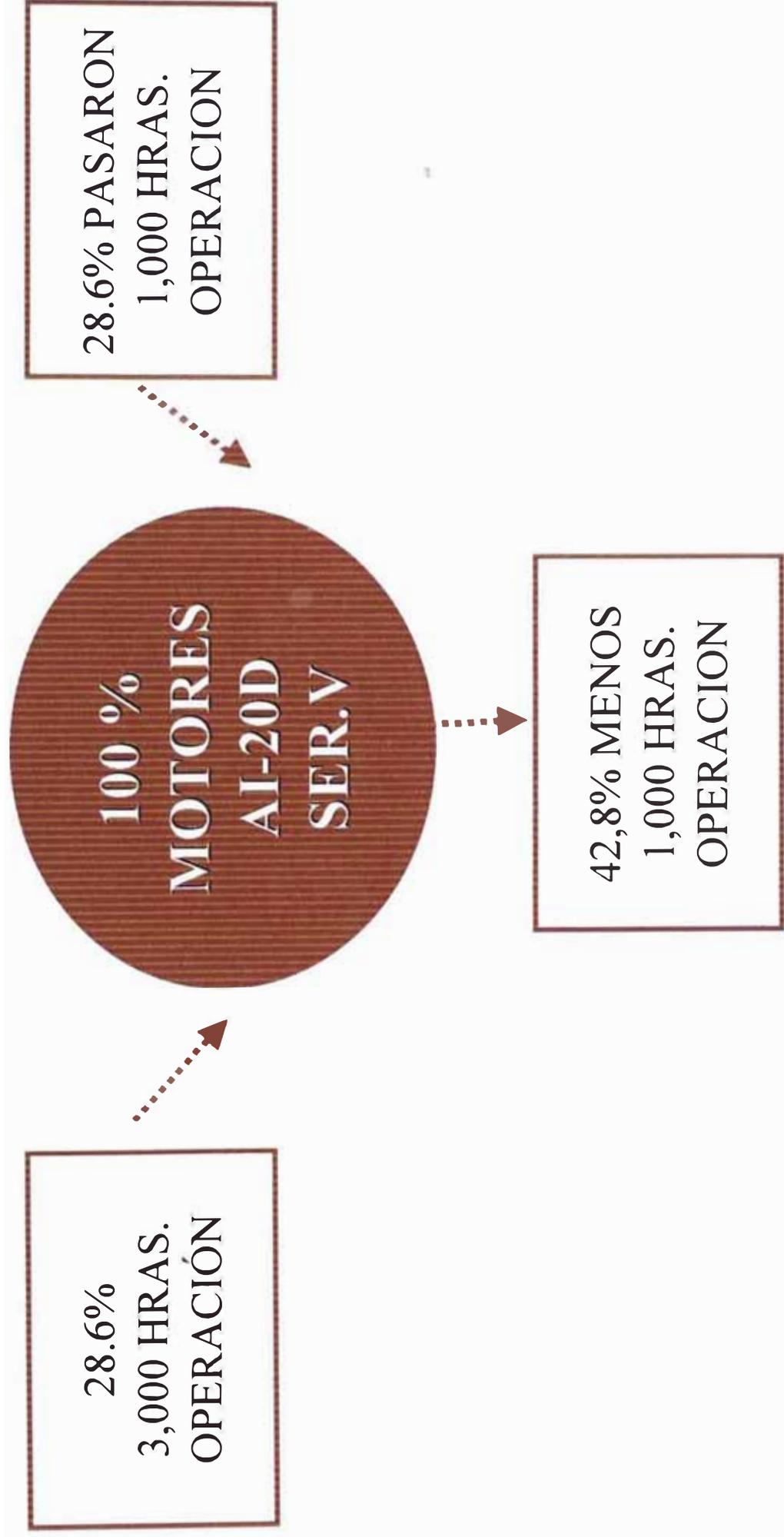
Sobre los puntos mencionados en los párrafos anteriores y dado los buenos resultados obtenidos utilizando el programa CONDITION MONITORING, es factible proporcionar dicho programa a las instituciones, usuarias de este material, permitiendo un ingreso de divisas al SEMAN-FAP y de esta manera recuperar la inversión a realizarse en la adaptación del Banco de Prueba para motores Turbo-Hélice.

La Aviación del Perú dentro de su flota destinada al transporte aéreo, posee aviones Turbo-Hélice, Antonov AN-32, los cuales tienen como planta motriz los motores AI-20D Serie V. Con los cuales las empresas de Aviación y Fuerza Armada del Perú vienen operando con los motores AI-20D Serie V, desde el año 1987, durante ese periodo de tiempo, 28.6 % de los motores alcanzaron las 3,000 horas de operación continua, 28.6 % de los motores pasaron el tiempo entre overhaul (T.B.O.) de 1,000 horas y 42.8 % de los motores se encuentran con tiempos de operación menores a las 1,000 horas, donde se tiene que aplicar una estrategia de explotación (Fig. 4).

Durante la explotación de los motores, estos presentaron fallas de diferente índole, requiriendo en muchos de los casos que los motores sean inspeccionados y verificadas sus performances en un Banco de Prueba, sin embargo estas verificaciones se llevaron a cabo utilizando una aeronave como banco de prueba con la consiguiente indisponibilidad de la aeronave y la degradación de los diferentes accesorios del avión. Asimismo, cabe señalar que debido a evaluaciones técnicas y económicas realizadas por los operadores Aéreos, Gerencias de Mantenimiento, y el SEMAN, han permitido que la operación de los motores AI-20D Serie V pasadas las 1,000 Horas de trabajo continúen mediante extensiones parciales de 250 Horas, aplicando un sistema de mantenimiento denominado Condición-Vigilancia (CONDITION MONITORING) hasta llegar a las 3,000 Horas; una vez alcanzada esta etapa deberá ser sometidos a dos overhaules.

Para realizar estos tipos de trabajo en los motores, es decir levantamiento de reportajes, extensiones y reparaciones después de un overhaul o una investigación especial, es necesario que dichos motores sean corridos en un Banco de Prueba con el propósito de realizar verificación de los parámetros funcionales y realización de las pruebas de aceptación técnica

# MOTORES AI-20D SERIE V



**FIG. 4 AN-23 Y AN-32B**

puesta a punto y verificar sus diferentes rangos de potencia de acuerdo a lo señalado en el Manual de Explotaciones, logrando de esta forma una confiabilidad acorde con las normas de aeronavegabilidad; lo cual permite establecer medidas que disminuyan al mínimo las posibilidades de ocurrencia de falla, manteniendo un elevado nivel de operatividad y una seguridad de vuelos adecuada.

La presente Tesis, cuyo título es **"ADAPTACION DEL BANCO DE PRUEBA TURBO-HELICE PROTOTIPO PARA LA VERIFICACION DE LAS PERFORMANCES DEL MOTOR AI-20D SERIE V QUE EQUIPA A LOS AVIONES ANTONOV AN-32"**, pretende lograr dicha adaptación basado en la experiencia del personal de la Fuerza Aérea del Perú, adquirida durante las implementaciones, modificaciones y operaciones de los Bancos de Prueba, con la finalidad de verificar los diferentes parámetros de trabajo del motor AI-20D Serie V, a través de un banco de prueba para motores Turbo-hélice donde se realiza la prueba de los motores: Allison 501-D22A/T56, PRATT & WHITNEY PT6A-27/28, PT6T-3B, en el Servicio de Mantenimiento de la FAP.

Esto permitirá disminuir progresivamente la dependencia del extranjero, posibilitando un empleo más racional de los recursos que posee el gobierno peruano, aumentando la disponibilidad de motores y un ahorro considerable de divisas al país.

Para el desarrollo de la Tesis se ha empleado el "Método de Indagación y Estudio", siguiendo los lineamientos que establece la documentación técnica de la FAP, con la finalidad de sistematizar toda la información disponible respecto a la Adaptación del Banco de Prueba de Motores Turbo-Hélice para los Motores AI-20D aplicable a los aviones AN-32 del gobierno peruano; dicho método se componen de cuatro partes bien definidas:

**Primera Parte** : **Formulación del Problema y Método de Trabajo.-** En ella se establecerá la necesidad de tener un Banco de Prueba para el corrido de los motores AI-20D y su posible adaptación; del mismo modo, quedará establecida la metodología utilizada para el desarrollo del trabajo

**Segunda Parte** : **Análisis de la versibilidad de adaptación del Banco Turbo-Hélice del SEMAN-PERU para la comprobación de los motores AI-20D Serie 5.-** Aquí se procederá a la verificación comparativa de todas los sistemas y parámetros del Banco y del motor con el objetivo de adaptación.

**Tercera Parte** : **Desarrollo del Banco.-** En esta parte se desarrollará la Tesis propiamente dicha, es decir, se presentará la “ADAPTACION DEL BANCO DE PRUEBA PROTOTIPO PARA EL MOTOR AI-20D SERIE V”. Basado en la necesidad de disponer de un Banco de Prueba que permita verificar los diferentes parámetros de trabajo de dicho motor y aprovechar el Know-How, infraestructura y equipamiento que se dispone en el Servicio de Mantenimiento de la FAP.

**Cuarta Parte** : **Conclusiones Generales y Recomendaciones.-** Los trabajos se han cumplido en el proceso de adaptación del Banco y están presentando en la Fig. 5.

## **PRIMERA PARTE**

### **FORMULACION DEL PROBLEMA Y METODO DE TRABAJO**

## CAPITULO 1.1

### FORMULACION DEL PROBLEMA

#### 1.1 DEFINICION DEL PROBLEMA

- (1) Durante la explotación de los motores AI-20D Serie V pueden realizarse los trabajos de dos tipos (FIG N° 6); sin desmontaje del avión y con desmontaje y desarmado del motor.

El sistema mantenimiento establecido por el fabricante para los motores AI-20D Serie V, consta de un mantenimiento preventivo y un mantenimiento correctivo, con un programa que esta regido por evaluaciones periódicas de acuerdo a su tiempo horario (HARD TIME). Actualmente se ha establecido un programa de mantenimiento por Condición-Vigilancia (CONDITION-MONITORING), con el propósito de optimizar los tiempos de operación segura y de la forma más económica; lo cual realiza la F.A.P. desde el año 1,993.

- (2) Este programa establece la Extensión Técnica de los motores AI-20D Serie V con el propósito de incrementar el TBO hasta las 3,000 hrs., con extensiones parciales de 250 horas, permitiendo un seguimiento continuo de los motores a fin de detectar oportunamente cualquier deterioro.(FIG N° 2).

(3) La estadística de explotación con esta estrategia ha dado los siguientes resultados:

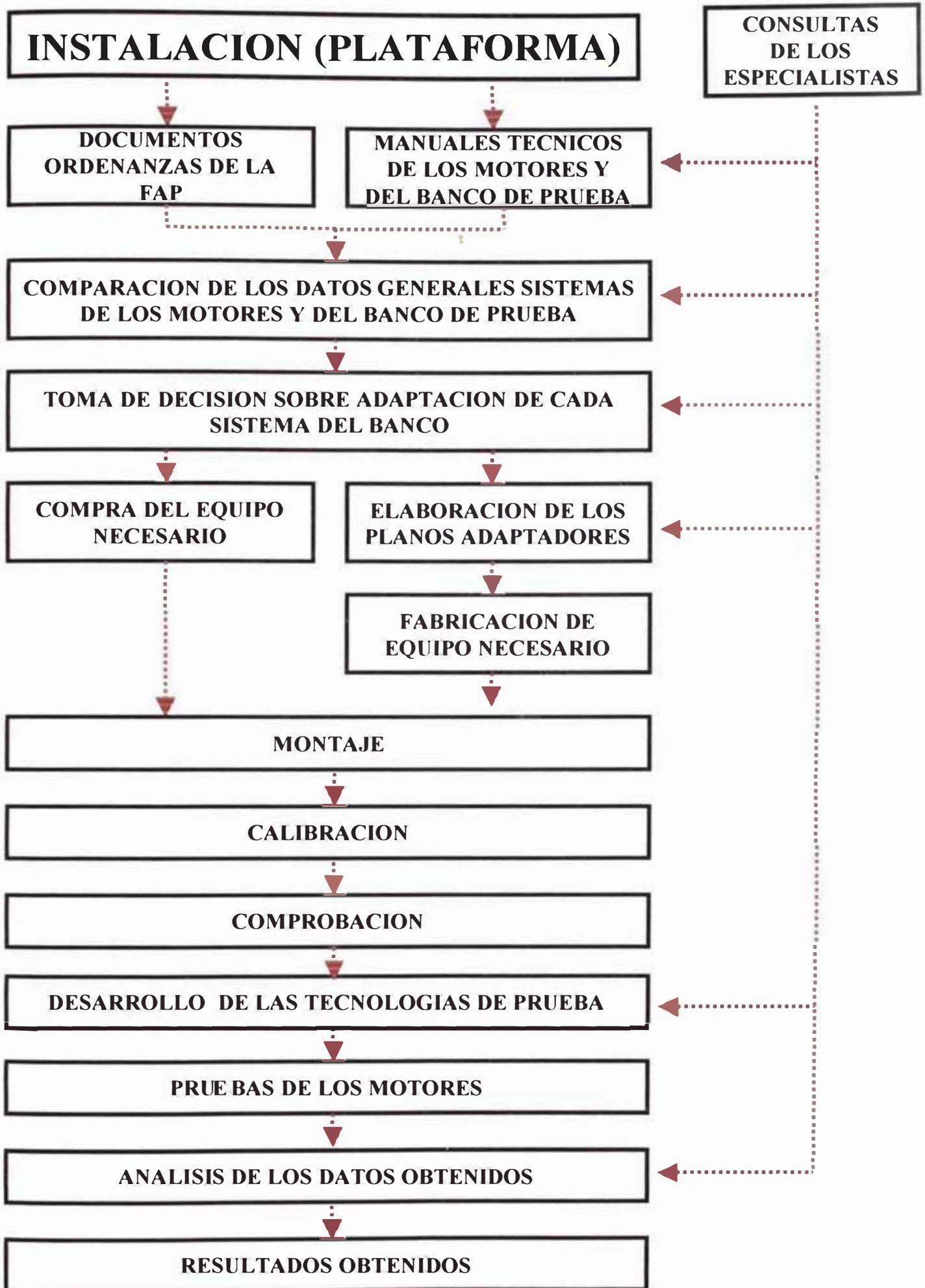
N °	CONDICION DE LOS MOTORES	CANTIDAD %
1	ALCANZARON 3,000 HRS	28.6 %
2	DESMONTADOS POR LAS FALLAS DE OPERACIÓN: - 500 – 1,000 HRS - 1,000 – 1,500 HRS - 1,500 – 2,000 HRS - 2,000 – 2,500 HRS - 2,500 – 2,750 HRS	42.8 % 12.03 % 16.48 % 0.06 % 0.03 %

(4) Como explica el diagrama ( FIG N ° 6 ) hay unos trabajos que se cumplen para mantener la operatividad de los motores, con desarmado del motor con el recurso dado:

- (a) Fallas mecánicas.
- (b) Fallas de los parámetros
- (c) Inspección total.
- (d) Recuperación parcial.

Todos los motores Turbo-hélice, después de un desarmado del motor para una reparación parcial o un overhaul, o por otras necesidades deben inspeccionarse en un Banco de Prueba para verificar su funcionamiento, ser regulados y alcanzar de manera óptima los diferentes parámetros de trabajo, con la finalidad de lograr la confiabilidad exigida por las normas de aeronavegabilidad.

- (5) Los costos de los Bancos de Prueba son grandes. Para obtener la economía necesitamos buscar las variantes de uso del equipo peruano que permite realizar todos los trabajos con mínimos gastos. El Servicio de Mantenimiento de la FAP al poseer un Banco de Prueba para motores Turbo-Hélice de requerimientos similares a los motores AI-20D Serie V, permite que el Know-how obtenido, la infraestructura así como su equipamiento sea utilizado en provecho de los motores mencionados, con una inversión mínima, comparado con el costo de implementación de un Banco de Prueba nuevo. Por lo tanto es necesario realizar un Estudio sobre la adaptación del Banco de Prueba de los motores Turbo-hélice para los motores AI-20D Serie V.
- (6) La estructura de la investigación esta presentada en la FIG N ° 7.



**FIG. 7 - ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACION**

## 1.2 ALCANCE DEL ESTUDIO

El alcance de la investigación es. "La adaptación deberá permitir efectuar pruebas funcionales, verificar los trabajos realizados, así como las reparaciones menores y overhaul de los motores AI-20D", de acuerdo a la documentación, exigencias, reglas, normas y demás exigencias que reglamentan los procedimientos de estos tipos de trabajo.

## 1.3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

La investigación tiene los objetivos siguientes:

- (1) Establecer el diagnóstico de la situación actual del Banco de Prueba de los motores Turbo-hélice.
- (2) Presentar un Estudio sobre la adaptación del Banco de Prueba de motores Turbo-hélice para la verificación de los parámetros funcionales y realización de pruebas de aceptación técnica para motores AI-20D Serie V, permitiendo lo siguiente:
  - Verificar la operatividad de los motores, en todo los regímenes de acuerdo a la documentación técnica.
  - Regular y lograr los diversos parámetros de trabajo del motor.
  - Optimización del ciclo térmico y la disminución de la fatiga mecánica y térmica de las diversas partes del motor, especialmente de la zona caliente, permitiendo prolongar los tiempos de operación del motor.
  - Utilización del Know-how, infraestructura, equipamiento que posee la FAP, permitiendo implementar la experiencia de su personal al realizar la adaptación del Banco de Prueba.
  - Reducir la degradación de los accesorios de la aeronave.
  - Disminuir la dependencia tecnológica del extranjero y obtener un

considerable ahorro de divisas al gobierno peruano.

#### **1.4 PROFUNDIDAD DEL ESTUDIO**

- (1) Se ha revisado, seleccionado y analizado la información disponible en el País sobre Bancos de Prueba, para motores Turbo-Hélice existente en el medio, asimismo se ha solicitado información a numerosas Compañías que fabrican dinamómetros para estos Bancos.
- (2) Se hará un diagnóstico del equipamiento actual disponible en el Banco ubicado en el SEMAN.
- (3) En base a los criterios mencionados, recomienda realizar la Adaptación del Banco del SEMAN para los motores AI-20D Serie V, detallando los siguientes sistemas.
  - (a) Dinamómetro
  - (b) Refrigeración y recirculación
  - (c) Neumático
  - (d) Lubricación
  - (e) Combustible
  - (f) Control Automático
  - (g) Instrumentos
  - (h) Arranque y parada
  - (i) Calibración y verificación
  - (j) Comprobación del funcionamiento de los motores
  - (k) Recomendaciones y resultados obtenidos.

#### **1.5 NIVEL DE IMPACTO**

El contenido de la Tesis es de un nivel específico y está directamente relacionado a los motores AI-20D Serie V, instalados en los aviones AN-32 y AN-32B .

## CAPITULO 1.2

### METODO DE TRABAJO

#### **1.1 METODO EMPLEADO**

La Metodología empleada corresponde al "**METODO DE INDAGACION Y ESTUDIO**", el cual se caracteriza porque acopia y agota toda la información existente sobre el problema. Exige un análisis y revisión estricta de la documentación en forma ordenada y sistemática, lo que finalmente permite obtener y emitir conclusiones y recomendaciones claras, precisas, oportunas y factibles.

##### **1.1.1 Fase de búsqueda y Acopio de Información:**

La documentación de base y referencial utilizada en el desarrollo del presente Tema, es en su gran mayoría documentación de carácter Técnico-Operativo de procedencia diversa (USA, INGLATERRA , PERU Y URSS ), obtenida como consecuencia de una amplia fase de Búsqueda y Acopio de Información y experiencias personales así como de expertos consultados, reflejando las vivencias adquiridas durante los años que participaron en las diversas fases de modificaciones y modernizaciones que tuvo el Banco de Prueba de motores Turbo-Hélice. La antigüedad de la documentación obtenida esta directamente relacionada con su procedencia, es así que los documentos más antiguos son los de procedencia americana, y los más recientes los de origen inglés y americano, con una antigüedad de actualización no mayor a los dos (02) años.

### 1.1.2 Fase de Ordenamiento:

El presente trabajo considera aspectos de Organización, Operativos y de Material tendientes a establecer un ordenamiento lógico de la información contenida en cada uno de ellos con el fin de efectuar un análisis secuencial que nos permita establecer conclusiones y recomendaciones razonables a fin de proponer una alternativa viable de solución al problema planteado son siguientes.

## 1.2 FORMATO UTILIZADO

El Formato utilizado en el desarrollo de la presente Tesis es "FORMATO DE ESTUDIO" que corresponde al Método de Indagación y Estudio, dicho formato comprende las siguientes partes bien definidas que son:

### 1.2.1 Instrumentos Utilizados

#### (1) Instrumentos de Facto

Para el desarrollo del Tema se utilizaron los siguientes instrumentos de Facto ubicados en las diferentes Unidades de la FAP y bibliotecas:

Aspecto de Organización:

- (a) Manual de Doctrina Aeroespacial y Doctrina Básica de la FAP, (1 Libro).
- (b) Manual de Metodica FAP, (1 Libro).
- (c) Ordenanzas FAP, ( 7 Libros).
- (d) Directiva SEMAN, ( 1 Directiva).

Aspecto Operativo:

- (a) Directivas FAP, ( 3 Directivas).

(b) Planes de Entrenamiento FAP, (3 Libros).

Aspecto de Material:

(a) Un (01) Oficio sobre el Programa de Extensión Técnica de los motores AI-20D.

(b) Documentación sobre Bancos de Prueba.

(c) Una (01) Circular Consultiva.

(d) Tres (03) Normas Técnicas Aeronáuticas (FAR, MIL, STAT).

(e) Un (01) Manual del Ingeniero Mecánico de MARKS.

(f) Un (01) Manual de Termodinámica de FAIRES.

(g) Tres (03) Manuales Técnicos concernientes al Banco de Prueba y Dinamómetros

(h) Un (01) Manual Técnico del motor AI-20D.

(i) Un (01) Manual Técnico de Corrido de motores Allison 501-D22A.

(j) Tres (03) Cartas de empresas fabricantes de dinamómetros.

(k) Partes Mensuales de Análisis y Estadística de Fallas.

(2) Instrumentos Interpersonales

Entrevistas : Para el desarrollo de la presente Tesis se llevaron a cabo entrevistas con diferentes especialistas por los diferentes temas:

Proyección sobre la Explotación de los motores AI-20D.

Métodos de confiabilidad para establecer tiempos de operación de los motores AI-20D.

Planeamiento Estratégico y las Proyecciones del SEMAN para la implementación de sus Talleres y Bancos de Prueba y lo relacionado con la Adaptación del Banco Turbo-Hélice y su Proyección de Explotación.

Modificaciones y Adaptaciones del Sistema de Instrumentos y obtención de datos del Banco Turbo-Hélice.

Sistemas de Refrigeración para Dinamómetros.

Adaptación de accesorios y suministro de energía para arranque del motor AI-20D.

Explotación y Rendimiento de los motores AI-20D.

Orientación para la presentación de la presente Tesis.

Selección e Instalación de Dinamómetros.

Parámetros de corrido de los motores AI-20D Serie V.

Selección e Instalación de Dinamómetros.

➤ Diseño de Torres de Enfriamiento.

### (3) Instrumentos Bibliográficos

Para el desarrollo de la presente tesis, se ha recurrido a la consulta de los siguientes Instrumentos Bibliográficos, considerando el Aspecto Material, Operativo y de Organización:

Manuales FAP (02).

Ordenanzas FAP (07).

Directivas FAP( 04).

Planes de Entrenamiento ALAR2 (03).

Partes Mensuales de Análisis y Estadística de Fallas de los Motores AI-20D Serie V (26).

Oficio FAP ( 01).

Informes sobre el Banco de Prueba Turbo-Hélice ( 11 ).

Circular Consultiva FAA ( 01 ).

Normas Técnicas Aeronáuticas ( 03 ).

Manual Técnico de Explotación de Motor AI-20D (01).

Manual de Corrido de los motores Allison 501-D22A ( 01)

Manual de Ingeniero Mecánico ( 01).

Manual de Termodinámica ( 01)

Manuales del Banco de Prueba y Dinamómetros (01).

Carta de la Cía. FROUDE CONSINE ( 01)

Cartas de la Cía. KAIM ( 02).

Manual del Dinamómetro ( 01).

(4) Relación de Documentos Utilizados.

Manual "Doctrina Aeroespacial y Doctrina Básica de la Fuerza Aérea del Perú" N° 001-01 del 06 de Julio de 1994.

Manual ESFAP M-CCEM-05 "Metódica FAP": Método de Indagación y Estudio-Método de Investigación y Tesis, 1989.

Ordenanza FAP 5-1 "Sistema de Publicaciones de la FAP" del 24 de Julio de 1992 y su modificatoria, Ordenanza 5-1A del 10 de Setiembre de 1996.

Ordenanza FAP 5-4 "Formulación y Trámite de Aprobación de Ordenanzas, Manuales y Directivas FAP" del 23 de Agosto de 1994.

Ordenanza FAP 14-13 "Juntas y Comisiones", Junta Permanente de Comprobación Anual de Aptitud Teórico-Profesional del Personal Superior Concursante a Promoción del 29 de Octubre de 1990.

Ordenanza FAP 20-47 "Servicio de Mantenimiento" del 19 de Julio de 1965

Ordenanza FAP 20-69 "Sistema de Investigación y Desarrollo de la FAP", del 10 de Marzo de 1988.

Ordenanza FAP 20-101 "Principios, Políticas y Disposiciones de Organización de la FAP", del 09 de Julio de 1992.

Proyecto de Ordenanza FAP 20-52 "Servicio de Mantenimiento de la FAP"

Directivas COMOP 55-1 "Entrenamiento de las Unidades Aéreas" de 1995, 1996 y 1997.

Directiva SEMAN 1-1 "Planeamiento Estratégico del Servicio de Mantenimiento" del 03 de Enero de 1997.

Planes ALAR2 55-1 "Entrenamiento de las Tripulaciones Aéreas" de 1995, 1996 y 1997.

Circular Consultiva AC No.120-17A "Control de Mantenimiento mediante método de Confiabilidad" del Departamento de Transporte Aéreo de la Administración de la Aviación Federal (FAA) del 27 de Marzo de 1978.

Norma MIL-STD-1843 (USAF) "MÉTODOS DE CONFIABILIDAD PARA MANTENIMIENTO DE AERONAVES, MOTORES Y EQUIPOS" DEL 08 DE FEBRERO DE 1985

Normas de Regulación de Aviación Federal (FAR), partes 121 y 127.

Manual del Ingeniero Mecánico de MARKS de 1979

Manual de Termodinámica de FAIRES de 1978

Manual TURBOPROP ENGINE TEST CELL FACILITY para la FAP, del 25 de Mayo de 1984

Manual de Corrido de motores Allison 501-D22A del 15 de Enero de 1991

Manual de Mantenimiento y Operación del Dinamómetro CLAYTON del 22 de Junio de 1964

Manual para Explotación y Técnicas de Operaciones del motor Turbo-Hélice AI-20D Serie V/20-550-010 RY de Enero de 1990.

Manual del Dinamómetro Hidráulico KAIIN Modelo 061 del 27 de Marzo de 1979

Manual del Dinamómetro Hidráulico KAIIN Serie 302 Modelo 302-350-001 de Febrero de 1997

Oficio sobre el Programa de Extensión Técnica de los motores AI-20D del 23 de Agosto de 1993.

Partes mensuales de Análisis y Estadísticas de Fallas de los años 1995, 1996 y 1997

Documentación sobre Bancos de Prueba de los Dptos de Control de Calidad, Motores e Ingeniería del SEMAN.

Carta de la Cía KAIIN del 08 de Setiembre de 1995

Carta de la Cía KAHN del 13 de Setiembre de 1995

Carta de la Cía. FROUDE CONSINE del 19 de Setiembre de 1995.

(5) Nivel de Impacto

El Nivel de Impacto del presente Tema es de "**Impacto de Área**", debido a que se refiere a un aspecto puntual de la organización de la Fuerza Armada del Perú, directamente relacionado a la Adaptación del Banco Turbo-Hélice para el corrido de los motores AI-20D.

**1.2.2 Dependencias donde se ha obtenido la Información**

(1) Dependencias FAP

Comando de Material

Escuela Superior de Guerra Aérea

Grupo Aéreo No. 8

Servicio de Mantenimiento FAP

(2) Dependencias Extra-FAP

Dirección General de Transporte Aéreo

Compañía FROUDE CONSINE de Inglaterra

Compañía KAHN de los EE.UU

(3) Nombres de los Expertos Consultados

COR FAP Oscar Bauer Lozano

COR FAP Alfredo Cortes Rodríguez

COR FAP Jorge Chávez Cateriano

CMD FAP Oscar Santa María Herrera

CMD FAP Alberto Carpio Avila

MAY FAP Fernando Romero Laines

MAY FAP Eduardo Gandolfo Corbacho

Dr. Carlos Cárdenas Guillén

Dr. Victor Panamarchuck

Ing. Sergei Solonitza

Ing. Neporozhniy Genady

Ing. Claudio Flores

Srs. Oficiales Ingenieros Aeronáuticos del SEMAN

Srs. Oficiales Pilotos del EA-843

Srs. Oficiales Ingenieros Electrónicos del SELEC

TCOS. y SSOO. del Bancos de Prueba de motores Turbo-Hélice del  
SEMAN

Srs. Tcos y SSOO del EMA-806

## **SEGUNDA PARTE**

### **DIAGNOSTICO SITUACIONAL**

## INTRODUCCION

La técnica aérea tiene su importante particularidad : Las aeronaves durante su operación (vuelo) no pueden pararse por las fallas y esperar cualquier auxilio mecánico, reparación, etc. Por tal motivo toda la vida en la aviación esta debidamente reglamentada en su forma, estableciéndose procedimientos y normas generales y/o específicas para proveer la máxima seguridad

Generalmente hay dos tipos de documentación técnica:

- 1.- DOCUMENTACIÓN ESTRUCTURAL.- Que ordena todos los procedimientos, las relaciones entre dependencias del Estado , las compañías Aéreas y además establece la estrategia general de la explotación de cada tipo de aeronave.
- 2 - DOCUMENTACIÓN TÉCNICA - (Manuales de Tipos diferentes, cartas Tecnológicas, Boletines, tecnologías de Procedimiento, etc). De esta manera cualquier operación (acción) debe corresponder a ambos tipos de documentación de cada país y de cada tipo de la técnica.

## CAPITULO 2.1

### ASPECTOS ORGANIZATIVOS

- (1) La Doctrina que gobierna el accionar de la FAP, está definida claramente y se basa en los Planes de Defensa y Desarrollo Nacional, estableciéndose las diferencias existentes entre Operaciones Aéreas Estratégicas, Tácticas, de Defensa y en Apoyo al Desarrollo, determinando además, su tiempo y lugar y los objetivos a alcanzar con cada una de ellas
- (2) La Organización de la Fuerza Aérea del Perú, está debidamente normada y reglamentada, estableciendo funciones y responsabilidades de cada uno de sus miembros en todos los niveles de la FAP, siendo particularmente específico en lo concerniente al Servicio de Mantenimiento como órgano ejecutivo del sistema de Investigación y Desarrollo de la FAP y en el que se determina con precisión la Misión de la Unidad y de sus elementos subordinados, orientados a la Defensa y Desarrollo Nacional
- (3) De las Ordenanzas FAP se deduce que la organización esta estructurada de tal forma y actividad que le permite cumplir con la misión asignada, la cual esta orientada a efectuar el mantenimiento mayor del material aéreo y conexo de la FAP y ejecutar trabajos comerciales en el ámbito aeronáutico, a fin de contribuir a alcanzar y mantener la máxima operatividad de las Unidades Aéreas y participar en el desarrollo nacional, disminuir progresivamente la dependencia del extranjero, permitiendo un empleo racional de los recursos que posee la FAP.

- (4) La estructura de la FAP incluye el Servicio de Mantenimiento (SEMAN) con las siguientes tareas:
- (a) Elaboración de los Programas de Mantenimiento.
  - (b) Investigación y desarrollo de las recomendaciones por los problemas que tienen las flotas de la FAP.
  - (c) Reparación parcial y mayor de la técnica aérea.
  - (d) Comprobación de varias unidades aéreas
- (5) Desde el punto de vista Operativo, se demuestra que las horas de vuelo, voladas por los aviones AN-32 de la FAP, dentro de los Programas de Entrenamiento correspondiente a cada año pueden considerarse apropiadas en número, lo cual ha sido una de las causas que a contribuido a tomar la decisión de optar para la realización del mantenimiento denominado CONDITION-MONITORING, permitiendo dar extensiones parciales de 250 hrs. Llevando al motor AI-20D serie V de su TBO de 1,000 a 3,000 Hrs

### **CONCLUSIONES**

Toda la documentación de la FAP está debidamente reglamentada en su forma, estableciéndose procedimientos y normas generales y/o específicas, dependiendo del tipo de documento o de su alcance, el mismo que puede orientarse a temas genéricos a ser aplicados a nivel Fuerza Aérea o a temas particulares sobre una realidad determinada a ser aplicados en el área de influencia del tema tratado.

## CAPITULO 2.2

### INDAGACION Y ESTUDIO DEL ASPECTO DE MATERIAL

#### **DOCUMENTOS DIVERSOS**

Se cuenta con información técnica e histórica de las modificaciones y variaciones que ha sido objeto a través del tiempo el Banco de Prueba para motores Turbo-Hélice.

El Manual del Ingeniero Mecánico de MARKS, en el que se definen términos propios como la Fatiga Estática, Fatiga Dinámica, Fatiga Térmica, el Envejecimiento y la Corrosión de materiales; también establece condiciones y característica que deben tener los sistemas de lubricación y lubricantes, sistemas de acondicionamiento de aire, sistemas de refrigeración y control automático e instrumentos.

Los Manuales de Termodinámica, establecen el proceso de combustión del ciclo Brayton y sus variantes a fin de optimizar el trabajo útil de los motores.

Normas de carácter general y específico en el control de resistencia de materiales a la fatiga y pruebas de resistencia límites.

La Norma MIL-STD-1843 (USAF) del 08 de Febrero de 1985 adecua los métodos de confiabilidad para su empleo en aeronaves militares.

El Manual Turboprop Engine Test Cell Facility, describe la disposición del equipamiento del Banco de Prueba y como están constituido la cabina de control, el sistema eléctrico, sistema de lubricación, sistema de combustible, sistema hidráulico, sistema de refrigeración y dispositivo dinamómetro-motor.

Los Manuales Técnicos de los motores AI-20D Serie V y Allison 501-D22A, establecen los diversos parámetros de consumo de combustible, temperaturas, RPM, potencia, presiones de aceite y de combustible, así como los requerimientos de energía eléctrica para los distintos regimenes de trabajo (marcha lenta, decolaje, máximo, nominal y crucero).

## CAPITULO 2.3

### **DOCUMENTOS ADICIONALES**

Los Manuales de Mantenimiento y Operación de los Dinamómetros CLAYTON Modelo T-22-5000 y KAIIN Modelo 061 establece las condiciones que deben tener los sistemas auxiliares para un funcionamiento adecuado del dinamómetro, describen además los sistemas de control y las formas de operación.

La Carta de la Compañía KAIIN del 08 de Setiembre de 1995, informa sobre la solicitud realizada por el SEMAN sobre dinamómetros para probar el motor Allison 501-D22A. Indican que posee dos (02) modelos de dinamómetros Series 302 y 505, detallando en forma general los rangos de operación, beneficios, aplicabilidad y las condiciones básicas que debe tener el sistema de refrigeración y recirculación de agua

La Carta de la Cía. KAIIN del 13 de Setiembre de 1995 informa acerca de la solicitud realizada por el SEMAN sobre un dinamómetro que tenga sentido de rotación horario y antihorario, señalando que el dinamómetro más adecuado sería el dinamómetro hidráulico KAIIN Serie 302 debido a que cumple con las condiciones proporcionadas de potencia, RPM y torque de los motores AI-20D Serie V y Allison 501-D22A, asimismo posee un eje impulsor "BAJO" que permite probar a ambos motores en el modo de baja velocidad. También informa sobre los diferentes usuarios que se encuentran operando dicho dinamómetro, señala que de colocarse el pedido a firme, la entrega del dinamómetro demoraría catorce (14) meses.

La Carta de la Cía. FROUDE CONSINE del 19 de Setiembre de 1995, informa sobre la solicitud realizada por el SEMAN sobre dinamómetros con sentido de giro horario y anti-horario, señala que disponen del dinamómetro hidráulico Modelo F63 que satisface los requerimientos proporcionados de potencia, velocidad y torque de los motores AI-20D Serie V y Allison 501-D22A, además señala que después de colocarse el pedido afirma la demora de entrega del dinamómetro es de dieciocho (18) meses

## CAPITULO 2.4

### COMPARACION DE LOS DATOS Y SISTEMAS

Condicionamente el Banco de Prueba consta de distintos sistemas, la operación de los mismos se ha representado en la fig. 8.

En concordancia con el objetivo de la presente Tesis debemos analizar todas las Componentes de los sistemas indicados, para obtener una apreciación real sobre la utilidad o modificación de cada una de ellas, para la adaptación del motor AI-20D Serie 5.

#### DATOS GENERALES DE LOS MOTORES

PARÁMETRO	AI-20D Ser. V	Allison 501-D22A
Potencia Total, HP.	5,200	4,800
RPM del rotor.	12,300	13,820
RPM del eje de la hélice	1,074	1,021
Dirección giro de la hélice.	Antihorario	Horario
Consumo combustible Kg. / Hr.		
-En el régimen GMT	340	400
- En el régimen de descolaje	1,205	1,220

# COMPARACION DE PARAMETROS DE LOS SISTEMAS DEL BANCO DE PRUEBA TURBO-HELICE Y MOTOR AI-20D SERIE V

PARAMETROS	MOTOR AI-20D SERIE 5	MOTOR ALLISON 501-D22A	SOLUCION
<u>SISTEMA HELICE -</u> <u>CAJA REDUCTORA</u>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ MEDICION DE TORQUE Y RPM</li> </ul>	<p>DINAMOMETRO KAHN, CON INDICADOR DIGITAL DE TORQUE Y RPM</p>	<p>DINAMOMETRO CLAYTON CON VALVULAS DE CONTROL DE CARGA Y DESCARGA NEUMATICO</p>	<p>ADQUISICION DE UN DINAMOMETRO UNIVERSAL DE GIRO HORARIO Y ANTIHORARIO CON INDICADOR DIGITAL EN PANEL DE MEDICION DE TORQUE E INDICACION ROTACIONAL EN PORCENTAJE Y RPM</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ VELOCIDAD ROTACIONAL DE LA HELICE</li> </ul>	<p>INDICADOR DIGITAL (HASTA 1077 RPM)</p>	<p>INDICADOR DIGITAL (HASTA 1021 RPM)</p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ SENTIDO DE ROTACION</li> </ul>	<p>ANTHORARIO</p>	<p>HORARIO</p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ PRESION DE ACEITE EN LA CAJA REDUCTORA</li> </ul>		<p>MANOMETRO DE 0-300 PSIG (DE 170 + 220) PSIG</p>	

PARAMETROS	MOTOR AI-20D SERIE 5	MOTOR ALLISON 50 1-D22A	SOLUCION
<p><b><u>COMPRESOR</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ PRESION DE DESCARGA DE AIRE DEL COMPRESOR (GRADO DE COMPRESION DE AIRE)</li> </ul>	INDICADOR DE PRESION DE 0-300 PSIG	INDICADOR DE PRESION DE 0-300 PSIG	NO REQUIERE

PARAMETROS	MOTOR AI-20D SERIE 5	MOTOR ALLISON 501-D22A	SOLUCION
<p><b><u>CAMARA DE COMBUSTION</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>♦ <b>TEMPERATURA DE SALIDA DE LOS GASES DE LA CAMARA DE COMBUSTION (TEMPERATURA DELANTE DE LA TURBINA)</b></li> </ul>		<p><b>INDICADOR CON INSTRUMENTO DIGITAL RANGO 0-9999 (DE 1040 ÷ 1070) °C</b></p>	<p><b>NO REQUIERE</b></p>

PARAMETROS	MOTOR AI-20D SERIE 5	MOTOR ALLISON 501-D22A	SOLUCION
<p><b><u>SISTEMA DE COMBUSTIBLE</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ TIPO DE COMBUSTIBLE</li> <li>◆ CONSUMO HORARIO DE COMBUSTIBLE</li> <li>◆ PRESION DE COMBUSTIBLE EN EL MOTOR</li> <li>◆ TEMPERATURA MAXIMA DELANTE LA TURBINA</li> <li>◆ TEMPERATURA DEL GAS DETRÁS DE LA ULTIMA ETAPA DE TURBINA</li> <li>◆ TEMPERATURA MAXIMA ADMISIBLE DEL GAS DETRÁS DE LA ULTIMA ETAPA DE TURBINA</li> <li>◆ REVOLUCIONES DEL MOTOR DURANTE EL CORRIDO</li> <li>◆ VIBRACION ADMISIBLE DE GIRO DEL MOTOR</li> </ul>	<p>TURBO A-1</p> <p>FLUJOMETRO E INDICADOR DIGITAL (NO MAYOR DE 1205 KGR/HRA)</p> <p>INDICADOR CON INSTRUMENTO DIGITAL RANGO DE 0-9999 (DE 300 + 750) °C</p> <p>INDICADOR CON INSTRUMENTO DIGITAL RANGO 0-9999</p> <p>INSTRUMENTO DIGITAL (NO MAYOR DE 12300 RPM)</p> <p>INSTRUMENTO INDICADOR DE VIBRACION DE 0-15 MILS (± 1) MILS</p>	<p>TURBO A-1</p> <p>FLUJOMETRO E INDICADOR DIGITAL (DE 0-300 PPH)</p> <p>MANOMETRO DE 0-100 PSIG (DE 5-40 PSIG)</p> <p>INDICADOR CON INSTRUMENTO DIGITAL DE 0-9999 (HASTA 1049 °C)</p> <p>INSTRUMENTO DIGITAL (NO MAYOR DE 13820 ± 70 RPM)</p> <p>INSTRUMENTO INDICADOR DE VIBRACION DE 0-15 MILS (± 1) MILS</p>	<p>ADQUISICION INSTRUMENTO ELECTRICO TRIPLE DE RANGO DE 0-100 KGR/CM<sup>2</sup></p> <p>ADQUISICION INSTRUMENTO DIGITAL PARA MEDIR LAS REVOLUCIONES DEL MOTOR EN PORCENTAJES</p>

PARAMETROS	MOTOR AI-20D SERIE 5	MOTOR ALLISON 501-D22A	SOLUCION
<p><b><u>SISTEMA DE LUBRICACION</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ TIPO DE ACEITE</li> <li>◆ PRESION DE ACEITE EN EL MOTOR</li> <li>◆ TEMPERATURA DE ACEITE A LA SALIDA DEL MOTOR</li> <li>◆ PERDIDA DE ACEITE A TRAVES DEL MOTOR</li> <li>◆ TIPO DE REFRIGERACION DEL ACEITE</li> </ul>	<p>MEZCLA DE ACEITE 25% DE ACEITE MARCA 1100 75% DE ACEITE MARCA 1010</p> <p>INDICADOR CON INSTRUMENTO DIGITAL RANGO DE 0-9999 (NO MAYOR DE 115 °C EN 15 MIN.)</p> <p>INDICADOR DIGITAL NO MAYOR DE 0.8 LIT/HRA</p> <p>RADIADOR AGUA -ACEITE</p>	<p>MOVIL JET SAE 10</p> <p>MANOMETRO DE 0-100 PSIG (50 - 60 PSIG)</p> <p>INDICADOR CON INSTRUMENTO DIGITAL RANGO DE 0-9999 (DE 60 + 85 °C)</p> <p>INDICADOR DIGITAL (NO MAYOR DE 0.2 PPH)</p> <p>RADIADOR AGUA-ACEITE</p>	<p>ADAPTAR UN TANQUE DE ACERO INOXIDABLE CON UNA CAPACIDAD DE 80 GALONES PARA LA MEZCLA DE ACEITE 25% DE ACEITE MARCA 1100 75% DE ACEITE MARCA 1010</p> <p>ADQUISICION DE INSTRUMENTO ELECTRICO TRIPLE DE RANGO DE 0-8 KGR/CM<sup>2</sup></p>

PARAMETROS	MOTOR AL-20D SERIE 5	MOTOR ALLISON 501-D22A	SOLUCION
<p><b><u>SISTEMA DE ARRANQUE</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ TIPO DE ARRANQUE</li> <li>◆ TIPO DE CORRIENTE</li> <li>◆ POTENCIA MAXIMA CONSUMIDA POR LOS ARRANCADORES</li> <li>◆ PRESION REQUERIDA PARA EL ARRANQUE</li> <li>◆ CORRIENTE REQUERIDA PARA EL ARRANQUE</li> <li>◆ TENSION MAXIMA DE ARRANQUE</li> <li>◆ PARTICULARIEDAD DEL ARRANQUE</li> </ul>	<p>ELECTRICO</p> <p>27.5 VCC</p> <p>24 KW</p> <p>600 + 800 AMP.</p> <p>56 + 65 VCC</p> <p>CONTROL DE SALTO DE EGT POR MEDIO DE UN BOTON ESPECIAL Y MANETA DE ACELERACION</p>	<p>NEUMATICO</p> <p>1.15 VCA, 400 HZ</p> <p>28 VCC</p> <p>(45 - 50 ) PSIG</p> <p>ARRANQUE AUTOMATICO POR MANETA DE ARRANQUE Y OTRO MANETA DE ACELERACION</p>	<p>ADAPTACION DE UN SISTEMA ELECTRICO PARA EL ARRANQUE CON LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS : 27.5 VCC, 24 KW, (600 + 800) AMP. Y TENSION DE (56 + 65) VCC</p> <p>ADAPTACION DEL SWITH DE ARRANQUE Y MANETA PARA ACELERACION</p>

PARAMETROS	MOTOR AI-20D SERIE 5	MOTOR ALLISON 501-D22A	SOLUCION
<p><u>SISTEMA PARADA</u></p> <p>PARADA RUTINAL</p> <p>PARADA DE EMERGENCIA</p>	<p>ELECTRICAMENTE POR MEDIO DE UN SWITH</p> <p>ACCIONADO CON PRESION HIDRAULICA 100 KGR/CM<sup>2</sup></p>	<p>ELECTROMECHANICO CON DOS MANETAS</p> <p>MECANICO Y ELECTRICO</p>	<p>ADAPTACION DE UN SISTEMA ELECTRICO POR MEDIO DE UN SWITH PARA PARADA RUTINARIA</p> <p>ADAPTACION DE UN SISTEMA HIDRAULICO 100 KGR/CM<sup>2</sup> PARA PARADA DE EMERGENCIA</p>

PARAMETROS	MOTOR AI-20D SERIE 5	MOTOR ALLISON 501-D22A	SOLUCION
<p><u>SISTEMA NEUMATICO</u></p> <p>REFRIGERACION DEL CUERPO DE LA TURBINA</p> <p>REFRIGERACION DEL TERMOCOONECTOR DEL ACCESORIO KTA-5DM</p>	<p>REQUIERE</p> <p>REQUIERE</p>	<p>NO TIENE</p> <p>NO TIENE</p>	<p>TOMA DE AIRE EXTERNA DEL BANCO DE PRUEBA</p> <p>TOMA DE AIRE EXTERNA DEL BANCO DE PRUEBA</p>

## **TERCERA PARTE**

### **DESCRIPCIÓN GENERAL DEL BANCO DE PRUEBA TURBO**

#### **HELICE, SISTEMAS Y SU ADAPTACIÓN**

## CAPITULO 3.1

### DESCRIPCIÓN GENERAL DEL BANCO DE PRUEBA TURBO

#### HELICE

El Banco de Prueba de motores Turbo-Hélice esta compuesto por:

1.1 La Cabina de Control (FIG. 9) que consiste de 4 módulos de consola básica Central Engineering Company. La cabina tiene los siguientes sistemas:

1.1.1 **SISTEMA DE MONITOREO DE AIRE SALIDA/ENTRADA DEL BANCO DE PRUEBA.**

1.1.2 **SISTEMA DE MONITOREO DE TEMPERATURA MISCELANEO.-**

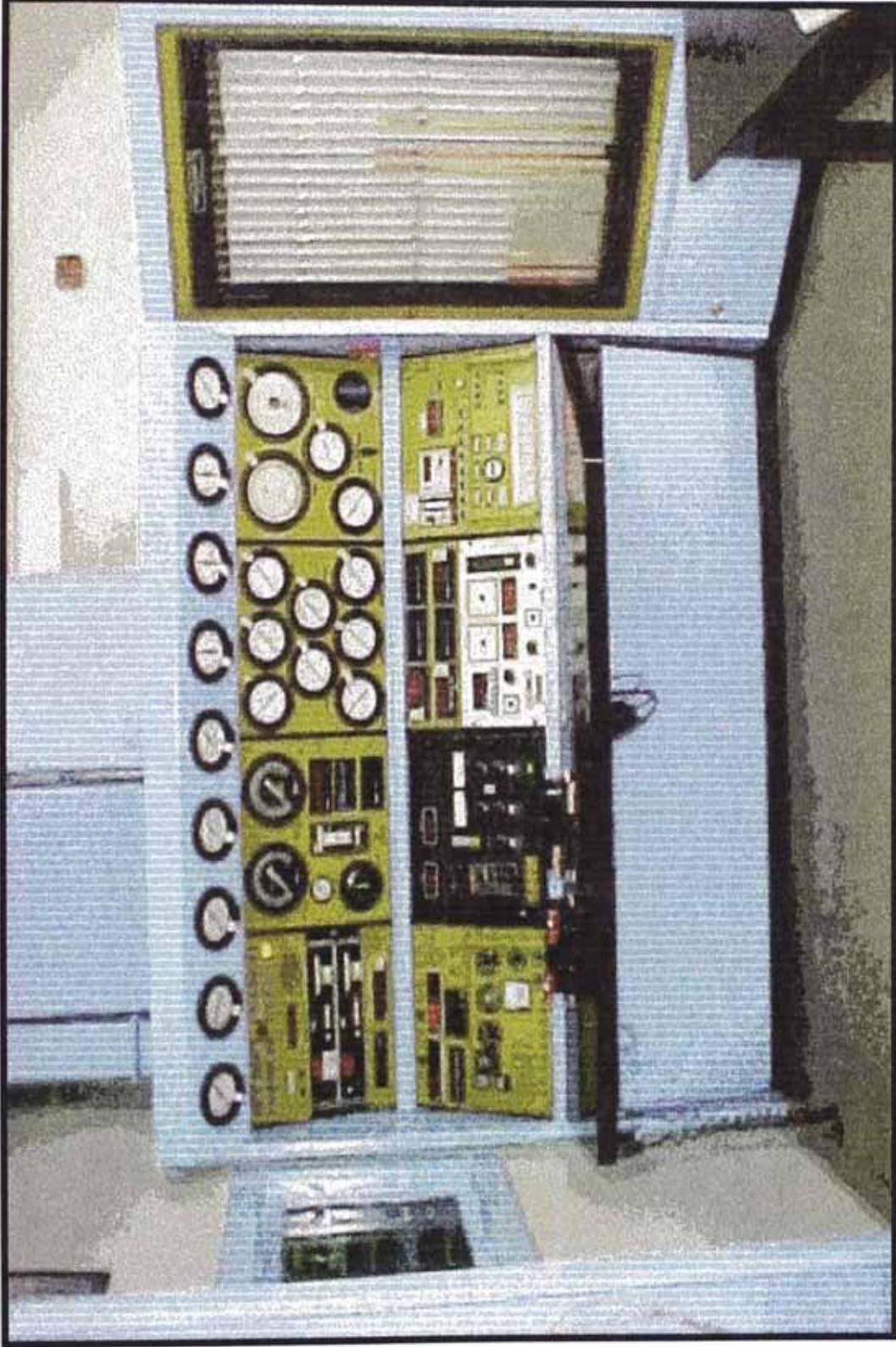
Las diversas temperaturas del sistema de monitoreo son mostradas a través de señales digitales. Este sistema esta compuesto por:

- (1) Temperaturas de aceite
- (2) Temperaturas de combustibles
- (3) Temperaturas anti-hielo

1.1.3 **SISTEMA DE MONITOREO DE TEMPERATURA DE ENTRADA DE LA TURBINA.**

1.1.4 **SISTEMA DE INDICACION DE PRESION.-** El sistema de indicación está constituido de los siguientes tipos de manómetros:

- (1) Manómetros de presión auto-contenido.
  - (a) Presión barométrica (Pbar)
  - (b) Ps3 de tubo Bourdon de 0 – 300 psig
  - (c) Cuatro manómetros de tubo Bourdon, rango 0-100 psig.



**FIG. 9- CABINA DE CONTROL DEL BANCO DE PRUEBA**

- (d) Aire almacenado de tubo Bourdon, rango 0-200 psig.
  - (e) Tres manómetros de tubo Bourdon, rango comprendido entre 30" Hg a +15 psig
- (2) Manómetros de presión tipo recepción
- (a) Presión de suministro de aceite del motor de tubo Bourdon, utilizado con transmisores neumáticos, rango comprendido entre -30" Hg a +30 psig
  - (b) Presión del suministro de combustible de tubo Bourdon, utilizado con transmisor neumático, rango comprendido entre -30" Hg a +60 psig.
  - (c) Cuatro manómetros de presión tubo Bourdon con transmisores de presión neumática, rango 0- 100 psig.
  - (d) Presión de descarga de la unidad de control de combustible  
Manómetro de tubo Bourdon, utilizado con transmisor de presión neumática, rango 0-800 psig.
  - (e) Presión de descarga de la bomba de combustible  
Manómetro de presión de tubo Bourdon, utilizado con transmisor de presión neumática rango de 0-600 psig.
  - (f) Presión de aceite en la caja reductora  
Manómetro de tubo Borudon, utilizado con transmisor neumático, rango 0-300 psig.

#### **1.1.5 SISTEMA DE INDICACION DE VELOCIDAD DEL ROTOR.-**

Consiste de 2 indicadores de velocidad y un panel selector de modo de tiempo.

Estos contadores calculadores convierten las señales de velocidad generada por los transductores de velocidad del motor a pantalla digital de las velocidades del rotor del motor. La velocidad puede ser mostrada en rpm o % de la escala completa de velocidad

Los indicadores tienen un dispositivo especial incorporado, que permite que sean utilizados como cronómetros para tomar el tiempo de aceleración, arranques y otras funciones. El selector del panel de control de modo de tiempo, es usado para controlar esta función. En esta instalación, estos modelos de puentes son cableados dentro de los módulos de control del motor individual. Por lo tanto, el programa correcto es regulado en forma automática dentro de los indicadores, siempre que el módulo de control del motor este conectado a la consola

#### **1.1.6 SISTEMA DE MEDICION DEL FLUJO DE COMBUSTIBLE.-**

Contiene un contador de factorización programable Digitec 8151, 2 flujómetros de turbina, ubicados en el paquete de medición de combustible y un pre-amplificador oscilador, ubicado en la base de la consola de control. Este posibilita usar el sistema para diferentes tipos de los motores:

El flujómetro de rango bajo es un medidor de 3/8 - 2.5 con un rango de 186 -950 libra por hora (pph). Es utilizado solo para pruebas del motor PT6A-27 y es seleccionado en forma automática.

El flujómetro de alto rango, o primario, es un medidor 1/2 con un rango de 511-4.550 pph. Para motores tipo Allison 501-D22A y AI-20D Series V.

Tiempo base –  $K2 \text{ factor} = 3600 (\text{S.G.})/0.199K1$

Donde: S.G. – Gravedad específica

K1 Factor K del flujómetro en galones.

**1.1.7 SISTEMA DE MONITOREO DE VIBRACION.-** El sistema esta conformado de los siguientes componentes:

- (1) Un amplificador de vibración Endevco modelo 6634M33.
- (2) Un filtro de paso alto 25 Hz.
- (3) Un filtro de paso alto 70 Hz.
- (4) Un filtro de paso bajo 200 Hz.
- (5) Un filtro de paso alto 150 Hz.
- (6) Un filtro de rastreo de canal simple Endevco modelo 6726.
- (7) Un módulo ratio generador de frecuencia Endevco modelo 35333C.
- (8) Un módulo de generador de frecuencia de sintonización manual Endevco modelo 3533E.
- (9) Un acelerómetro Endevco 4815A

**1.1.8 SISTEMA DE INDICACION DE ANGULOS DE LOS ALABES.-**

Sistema que no se utiliza para el motor AI-20D Series V.

**1.2.- Sala de Máquinas** donde se encuentran los paneles de control eléctrico, rectificadores, inversores y conversores, que suministran el voltaje y la corriente necesaria para el funcionamiento de los diferentes accesorios. Asimismo se encuentra el sistema de contra incendio, parte del sistema de combustible y el sistema de lubricación para la Caja Reductora y la Sección de Potencia (motor).

**1.3.- La Celda de Prueba** donde se encuentran:

- 1.3.1 El banco-soporte donde se ubica el motor a correr.
- 1.3.2 El dinamómetro Clayton con su banco-soporte.
- 1.3.3 El cono de salida de los gases calientes.
- 1.3.4 El sistema neumático.

1.3.5 El sistema hidráulico del dinamómetro Clayton.

1.3.6 La cuna soporte-superior, donde se ubican las distintas líneas de servicio, así como las cajas receptoras de las señales de temperatura y presión

#### **1.4.- Sistemas de Banco de Prueba**

##### **1.4.1.- SISTEMA DE COMBUSTIBLE**

Es el sistema que se encarga de abastecer y medir el flujo de combustible necesario para poder realizar el corrido de los motores en el banco de prueba, en los distintos regímenes de trabajo. Está compuesto por:

- (1) **Unidad de Poder.-** Es la unidad que se encarga de suministrar el combustible desde los tanques de almacenamiento a la celda de prueba, de acuerdo a la presión y caudal requerido. Esta unidad comprende:
  - (a) Tanques de combustible de 5,000 galones cada uno.
  - (b) Bombas centrífugas de combustible de 25HP, 220V, 60Hz. con una capacidad de 15 galones por hora.
  - (c) Válvulas relief de diámetro 3/4" y de rango 0-100 PSI.
  - (d) Filtros de malla 40 de 2 micrones.
  - (e) Manómetros de presión de rango 0-100 PSI.
- (2) **Unidad de Medición de Combustible.-** Es la unidad que se encarga de medir y proporcionar la información de consumo de combustible durante el corrido de motor. Las partes que comprende la unidad son:
  - (a) Acumulador de combustible de diámetro: 20 cm. y de 60 cm. de longitud.
  - (b) Filtros de diámetro: 1" y filtrado de 2 micrones.

(c) Medidores de combustible (marca Fisher).- de diámetros de: 3/8",  
1/2"

Fisher Ø 3/8: caudal máximo 5 glns./minuto

Fisher Ø 1/2: caudal máximo 10 glns./minuto

(d) Válvulas reguladoras de línea de: Ø 3/4", de rango 0-150 PSI.

**(3) Líneas de Servicios.-** Complementa el sistema de combustible desde los tanques de almacenamiento hasta la toma de combustible del motor

(a) Líneas de tuberías de: Ø 1".

(b) Mangueras con acoples rápidos N° 16 – Aereoquip.

(c) Válvulas de accionamiento rápido de Ø 1"

(d) Válvulas reguladoras de presión. Ø 1", de rango 0-100 PSI

#### **1.4.2.- SISTEMA DE LUBRICACIÓN**

Es el sistema que se encarga de lubricar la caja reductora, la sección de potencia así como a los accesorios mecánicos del motor durante la prueba de corrido. El aceite usado es el Jet Móvil Oil. Las partes que comprende el sistema es:

**(1) Unidad de Poder.-** Es la unidad que se encarga de suministrar el lubricante en las condiciones adecuadas de presión y caudal que requiere el motor y sus accesorios para su operación. Comprende las siguientes partes:

(a) Tanque de almacenamiento de 7 galones.

(b) Tanque de almacenamiento de 5 galones.

(c) Bomba centrífuga de 3.5 HP, 220V, 60WZ (bomba para caja reductora).

(d) Bomba centrífuga de 2.5 HP, 220V, 60Hz (bomba de motor).

(e) Filtros de : Ø 1", de 25 micrones

(f) Válvulas Relief de: Ø 1", de rango 0-800 PSI.

(g) Intercambiadores de calor de 2 pasos: Ø 1".

(h) Válvulas termo-eléctricas de 0-150°C

**(2) Líneas de Servicios.-** Complementa el sistema y comprende:

(a) Tuberías de acero inoxidable de: Ø 1 1/2"

(b) Acoples rápidos: Ø 1".

(c) Mangueras Aeroquip N° 16.

### **1.4.3.- SISTEMA DE ARRANQUE NEUMÁTICO**

No es aplicable para el motor AI-20D Serie V

### **1.4.4.- SISTEMA NEUMÁTICO**

Es el sistema que se encarga de suministrar el aire a presión a los diferentes accesorios del motor y dinamómetro. Asimismo proporciona aire a presión los diferentes sistemas auxiliares del Banco de Prueba.

**(1) Unidad de Poder.-** Encargado de aspirar y comprimir el aire a una presión de 100 PSI. Está compuesto por:

(a) Compresor de 6.5 HP, 220V, 60Hz, presión de trabajo 0-100 PSI.

(b) Filtros de aire de. Ø 1" y 25 micrones de filtrado.

**(2) Líneas de Servicio**

(a) Líneas de tuberías de: Ø 3/4" distribuido en todo el banco.

(b) Acoples rápidos de: Ø 3/4".

### **1.4.5.- SISTEMA DE ACELERACION**

Es el sistema que interconecta la Consola de Control con el motor, para regular el acceso de combustible necesario para el corrido de motor. Esta

regulación se realiza por medio de dos manetas reguladas conectadas a un sistema de cables de acero de Ø 3/32" y a través de un sistema articulado, que permite suministrar las condiciones de operación (válvula de corte rápido, FCU y bomba de combustible).

#### **1.4.6.- SISTEMA ELECTRICO**

Se encarga de abastecer tensión y amperaje a:

- (1) Accesorios del motor.
- (2) Dinamómetro.
- (3) Instrumentos de la Cabina de Control.
- (4) Señalizadores de Peligro
- (5) Sistemas Auxiliares del Banco de Prueba

Asimismo tiene relación con el sistema de medición de temperaturas (termocuplas), sistema de RPM, sistema de vibración y módulo de arranque.

El Banco de Prueba tiene una alimentación de corriente de 220 voltios, 60Hz, trifásico; un convertor de 115 VAC, 60Hz a 28V DC; un inversor de 220V, 60Hz que convierte a 115 VAC, 400 Hz.

#### **1.4.7.- TEMA DE MEDICION DE TORQUE, DINAMOMETRO CLAYTON MODELO T-22-5000**

Es aquel dispositivo que permite medir y comprobar el torque que realiza el motor Allison 501-D22A, en sus diferentes regimenes de potencia. Lo hace utilizando un sistema de frenado a través de una turbina absorvedora de potencia, cuyo fluido de trabajo es el fluido hidráulico, él que ingresando entre las turbinas internas del dinamómetro, logra impedir el libre giro de éstas, produciendo el frenado, pero manteniendo constante la velocidad del motor. La indicación de potencia del motor es obtenida de dos formas: una a

través del pick-up del eje de torque de motor y la otra mediante la unidad absorbidora de potencia. El dinamómetro es refrigerado por agua, siendo la máxima temperatura de entrada de 32°C y la temperatura máxima de salida de 70°C. La parte más crítica de refrigeración son los rodajes, en los cuales se soporta todo el movimiento y peso del dinamómetro, es en estos rodajes, donde la temperatura logra su mayor incremento por tal motivo, el sistema de refrigeración deberá mantener una temperatura menor a 70°C, a fin de preservar el dinamómetro.

Debido a que su fabricación se encuentra descontinuada y no se cuenta con suministro de repuestos ni información técnica para su reparación mayor, la confiabilidad del dinamómetro a disminuido con el tiempo, de forma tal que, en la actualidad desarrolla como máximo una potencia de 4750 BHIP, siendo por diseño su potencia máxima nominal de 5000 BHIP; el requerimiento del motor Allison 501-D22A es de 4800 BHIP. Es por esta razón que durante el corrido del motor a máxima potencia en el banco de prueba presenta indicaciones poco confiables

#### **1.4.8.- SISTEMA DE REFRIGERACION Y RECIRCULACION DE AGUA**

Es el sistema que se encarga de suministrar el agua a presión y caudal necesario, de manera que, el flujo sea lo más uniforme posible, logrando de esta manera, que la temperatura de entrada de agua al dinamómetro sea la menor posible. Está formado por:

- (1) **Sistema de Ablandamiento de Agua.-** Es el sistema que se encarga de disminuir la dureza del agua que llega del suministro de Sedapal, con un índice hasta de 100 ppm y una acidez hasta de 7.4 PH. Esto se logra mediante el paso del agua a través del tanque que contiene la

zeolita, la cual es lavada después de un periodo 7 días, mediante el agua salada, con la finalidad que esta sustancia se regenere y esté en condiciones de quitar la dureza y acidez del agua. Las partes que componen son:

- (a) Dos (02) tanques de hidroneumáticos.
- (b) Dos (02) motobombas de 2.5HP, 220V, 60HZ.
- (c) Un (01) tanque de salmuera.
- (d) Un (01) tanque de ablandamiento que contiene la resina zeolita.
- (e) Tuberías de Fe, de: Ø 1".

**(2) Tanque o Sumidero de Agua.-** Es el depósito de agua ablandada, necesaria para el funcionamiento de los dinamómetros. Las partes que comprende son:

- (a) Un (01) tanque de agua ablandada de 12 m<sup>3</sup>.
- (b) Una (01) bomba de. 10 HP, con una capacidad de 133 GPM,1750 RPM, 220V y 60Hz
- (c) Tuberías de Fe, de: Ø 3".
- (d) Válvulas de accionamiento manual tipo mariposa de: Ø 3".
- (e) Válvulas de accionamiento electro-neumático de: Ø 2 1/2".

**(3) Torre de Enfriamiento.-** Es la unidad encargada de refrigerar el agua calentada de 70°C aproximadamente a la salida del dinamómetro hasta una temperatura ambiente, con la ayuda de un separador de vapor el cual expulsa al aire los vapores de agua. Asimismo cuenta con un sistema de aire refrigerado, proporcionado por tres ventiladores. La conforman las siguientes partes:

- (a) Una (01) bomba de 7.5 HP, 220V, 60Hz, 1750 RPM.
- (b) Una (01) torre de enfriamiento con una capacidad de 2 millones BTU/Hr. La capacidad de flujo a refrigerar es de 266 G.P.M.
- (c) Un (01) motor de 15 HP, 220V, 60 Hz, 1750 RPM
- (d) Tuberías de retorno de Fe, de: Ø 6".
- (e) Tuberías dirigidas a la torre de enfriamiento de: Ø 3".

**(4) Líneas de Servicios.-**

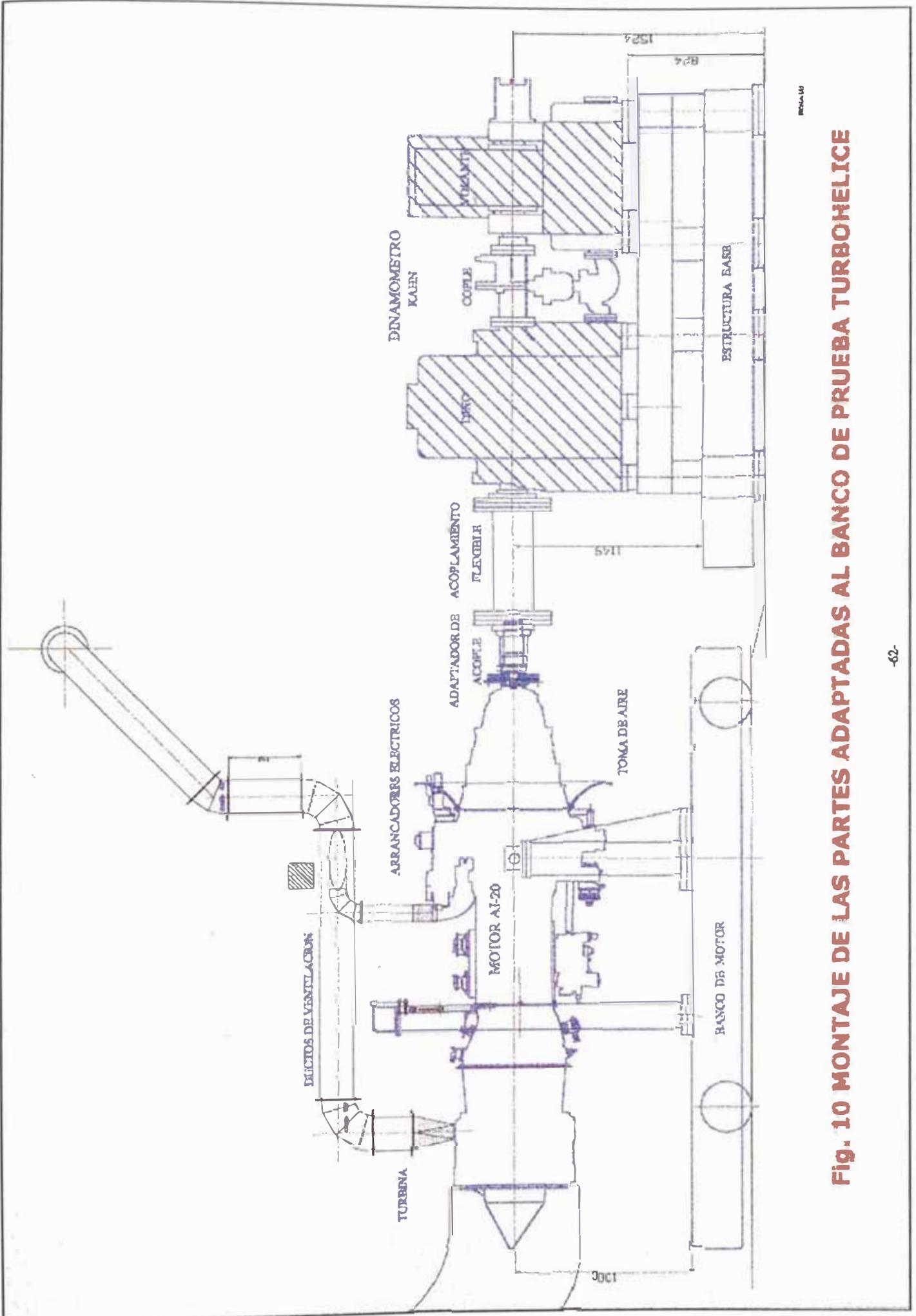
- (a) Tuberías de. Ø 3' y 6".
- (b) Válvulas relief de: ø 3", de 150 Psi

## CAPITULO 3.2

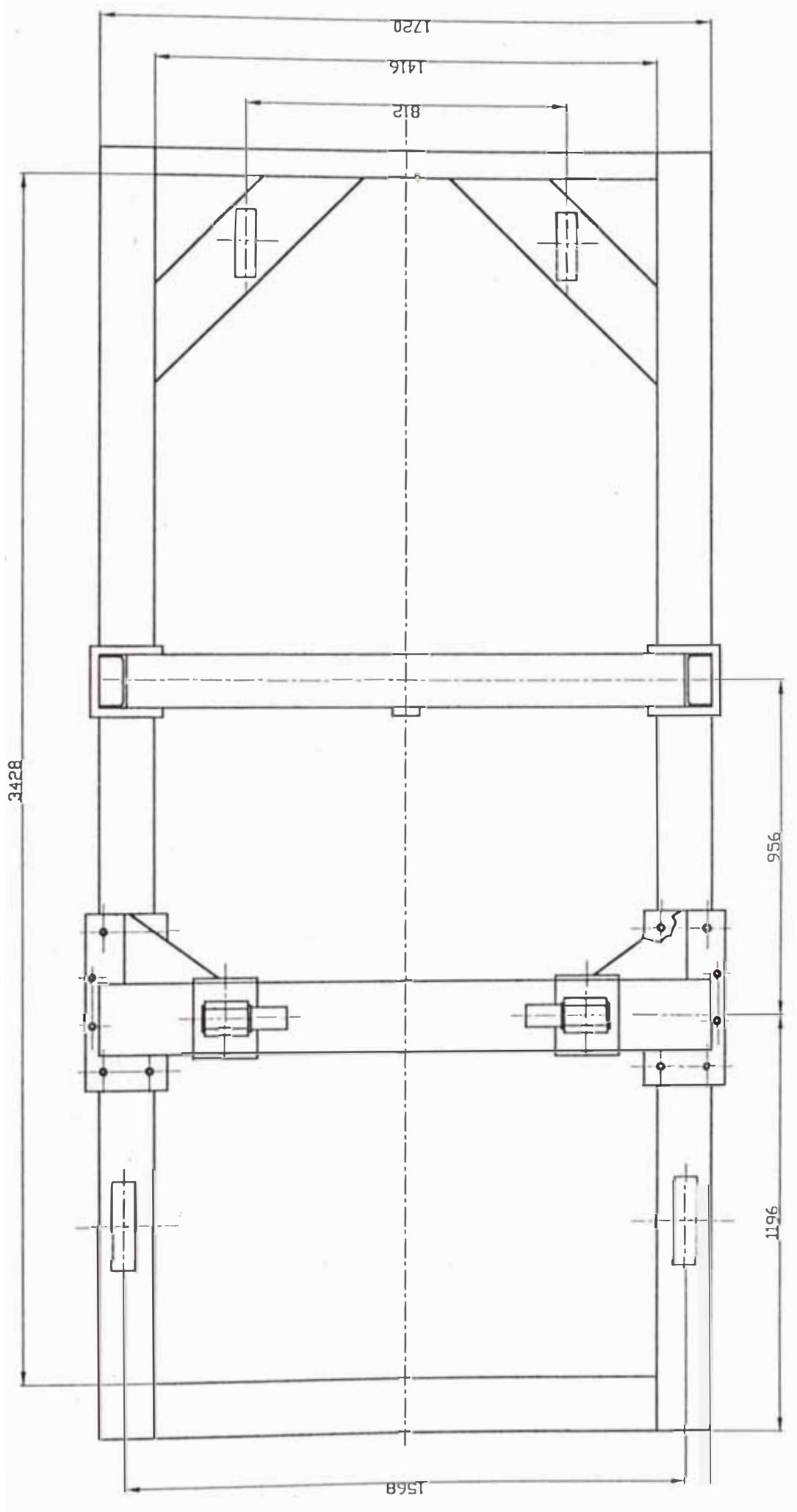
MONTAJE DE LAS PARTES ADAPTADAS AL BANCO DE PRUEBA

TURBO HELICE PARA LAS PRUEBAS FUNCIONALES DEL

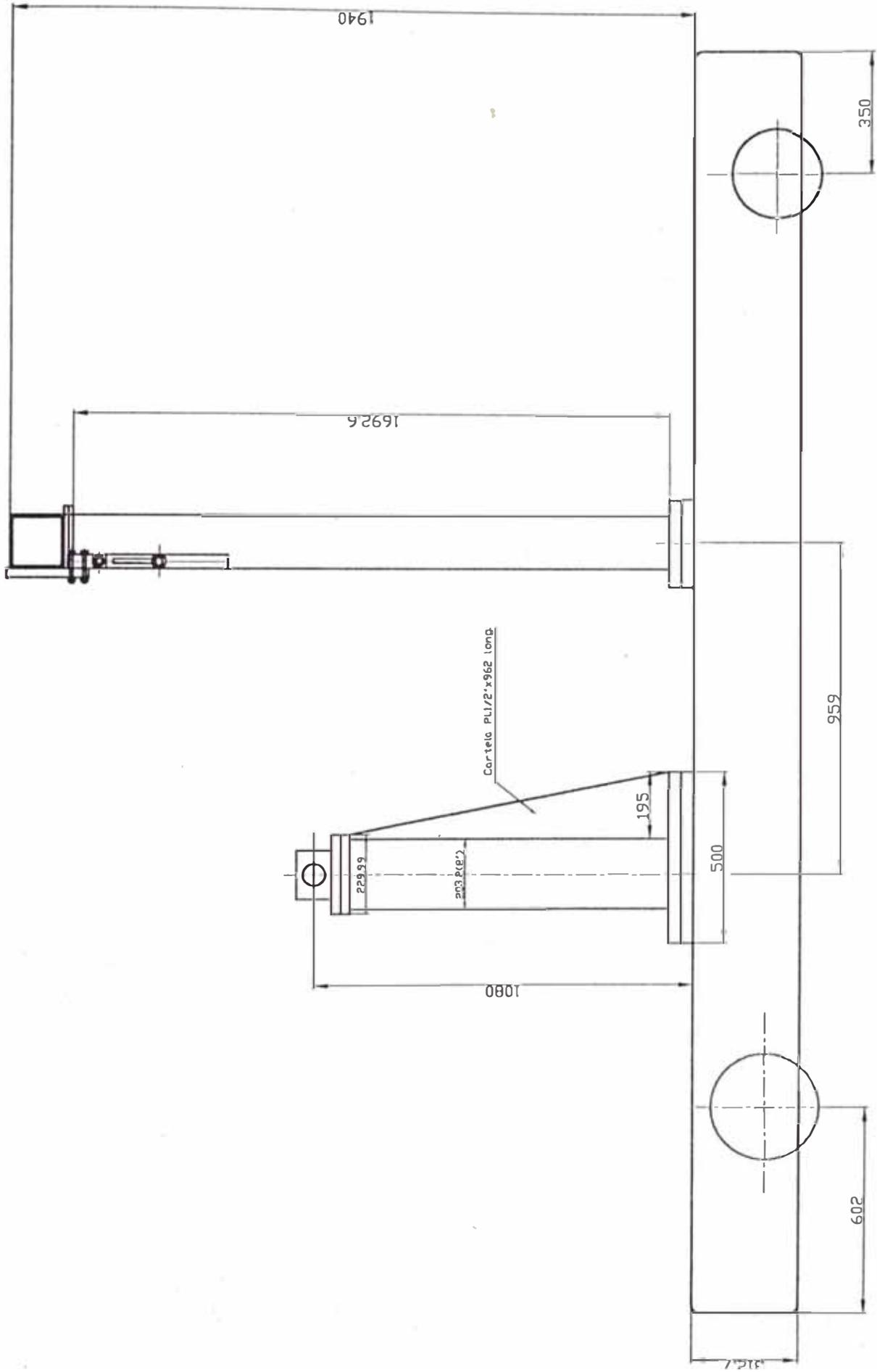
MOTOR AI-20D SERIE V



**Fig. 10 MONTAJE DE LAS PARTES ADAPTADAS AL BANCO DE PRUEBA TURBOHELICE**



BANCO DE MONTAJE DE MOTOR AI-20D (VISTA SUPERIOR)  
 PARA BANCO DE PRUEBA



BANCO DE MONTAJE DE MOTOR AI-20D (VISTA FRONTAL)  
 PARA BANCO DE PRUEBA

## **1.1 PARAMETROS TECNICOS DEL MOTOR AI-20D SERIE V**

## DATOS DIMENSIONALES

<b>MOTOR</b>	<b>ALLISON 501-D22A</b>	<b>AI-20D SERIEV</b>
LONGITUD	370.8 cm.	310.5 cm.
ANCHO	69.22 cm.	84.7 cm.
PESO	850 kg	1180 kg.

# TECNICOS DEL MOTOR AI-20D SERIE V

---

## ☆ DATOS TECNICOS DEL MOTOR

- ◆ TIPO DE MOTOR TURBOHELICE
- ◆ DIRECCION DE MOVIMIENTO DE LA HELICE Y ROTOR DEL MOTOR ANTIHORARIO  
(SI SE OBSERVA EN DIRECCION DE LA TOBERA REACTIVA)

## ☆ REDUCTOR

- ◆ TIPO PLANETARIO CON MEDICION DEL MOMENTO TORSOR Y SENSOR DE EMPUJE NEGATIVO.
- ◆ RELACION DE TRANSMISION 0.08732
- ◆ MEDIDOR DEL MOMENTO TORSOR EN EL EJE DE LA HELICE HIDRAULICO
- ◆ SENSOR DE EMPUJE NEGATIVO HIDROMECHANICO
- ◆ REGULACION DEL SENSOR DE EMPUJE NEGATIVO (Kgr) 1200 ± 50
- ◆ POTENCIA DE LA HELICE MEDIDA POR EL INDICADOR DEL MOMENTO TORSOR (HP) EN EL REGIMEN DE DESPEGUE HASTA  $N_B = 72:75 \text{ PIKM}$

## 1.2 Cálculo de las Adaptaciones del Motor AI-20D Serie V en el Banco de Prueba Turbo Hélice

De acuerdo a la tarea de la tesis este capítulo contiene los aspectos de cálculo y diseño de las adaptaciones al Banco de Prueba Turbo Hélice (ver figura 11).

### 1.2.1.- CÁLCULO DEL CONSUMO DE AIRE DE REFRIGERACIÓN PARA LA TURBINA DEL MOTOR AI-20D SERIE V

El cálculo del consumo de aire para refrigerar la Turbina del Motor AI-20D Serie V, en el Banco de Prueba Estacionario, se efectúa partiendo de la condición de que la velocidad promedio de vuelo del avión es  $V \sim 320 \text{ Km/h}$ , y que las dimensiones de la cubierta en el motor es de 7.5 cm x 17.0 cm

$$\text{Si: } V \approx 320 \frac{\text{Km}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ hora}}{3600 \text{ seg.}} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ Km}} = 88.88 \text{ m/seg.}$$

$$A = 7.5 \text{ cm} \times 17 \text{ cm} = 127.5 \text{ cm}^2 \times \frac{1 \text{ m}^2}{(100)^2 \text{ cm}^2} = 127.5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Entonces tenemos

$$G_{\text{aire}} = S_{\text{toma}} \times V$$

$$G_{\text{aire}} = 127.5 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times 88.8 \text{ m/seg.}$$

$$G_{\text{aire}} = 1.13 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

De donde

$$S = \text{Superficie de la toma} \quad [\text{m}^2]$$

$$V = \text{Velocidad de Vuelo} \quad [\text{m/seg.}]$$

$$G_{\text{aire}} = \text{Consumo de aire} \quad [\text{m}^3/\text{seg.}]$$

### 1.2.2.- CÁLCULO DEL CONSUMO DE AIRE DE REFRIGERACIÓN PARA LOS ARRANCADORES ELÉCTRICOS (2 EA)

Este cálculo también se efectúa de la condición de la velocidad de vuelo del avión:

$V \sim 320 \text{ Km/seg.}$  y la superficie de la toma de aire de radio 0.5 cm.

- Potencia del motor en el eje de la hélice = 5200 HP.
- Rotación del motor en el eje de la hélice = 1074 rpm.

De la condición:

$$P(\text{hp}) = \frac{\text{Torque (ft} \times \text{lb)} \times \text{Velocidad (rpm)}}{5252}$$

Determinamos el Torque (ft × lb)

$$\therefore \text{Torque (ft} \times \text{lb)} = \frac{5252 \times P(\text{hp})}{\text{Velocidad (rpm)}}$$

Reemplazando datos:

$$\text{Torque} = \frac{5252 \times 5200}{1074} = 25428.67 \text{ ft} \times \text{lb}$$

Determinamos la fuerza de reacción ( $R_1$ )

$$T_{\text{torque}} = R_1 \times d$$

Tenemos:

$$R_1 = \frac{T_{\text{torque}}}{d}$$

$$R_1 = \frac{25428.67 \text{ (ft} \times \text{lb)}}{3 \text{ ft}} = 8476.22 \text{ lb.f}$$

$$R_{2\text{emp}} = 10\% (R_1) = 10\% (8476.22) \text{ lb.f} = 847.6 \text{ lb.f}$$

Determinamos la fuerza de reacción total ( $R_T$ )

$$R_T^2 = R_1^2 + R_2^2$$

$$R_T = \sqrt{(8476.22)^2 + (847.62)^2}$$

$$R_T = 8518.50 \text{ lb}$$

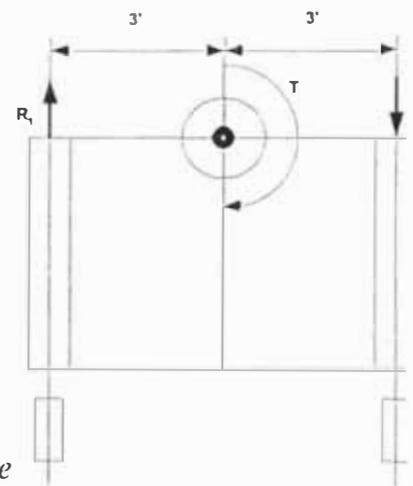
Transformando unidades al Sistema Métrico

$$R_T = 8518.5 \text{ lb.f} \times \frac{1 \text{ Kg.f}}{2.2 \text{ lb.f}} = 3872 \text{ Kg.f}$$

De donde:

$R_1$  = Reacción del torque

$d$  = Distancia entre el eje central y soporte de anclaje



De acuerdo a catálogo BOILER, seleccionamos el acero VCN-150 recomendable para nuestro cálculo con una resistencia a la tracción  $\sigma = 81,63$  Kg- f/mm<sup>2</sup> 0

$$\sigma = \frac{R_T}{A_c} \therefore A = \frac{R_T}{\sigma}$$

$$\pi R^2 = \frac{R_T}{\sigma} \Rightarrow R = \sqrt{\frac{R_T}{\pi \sigma}}$$

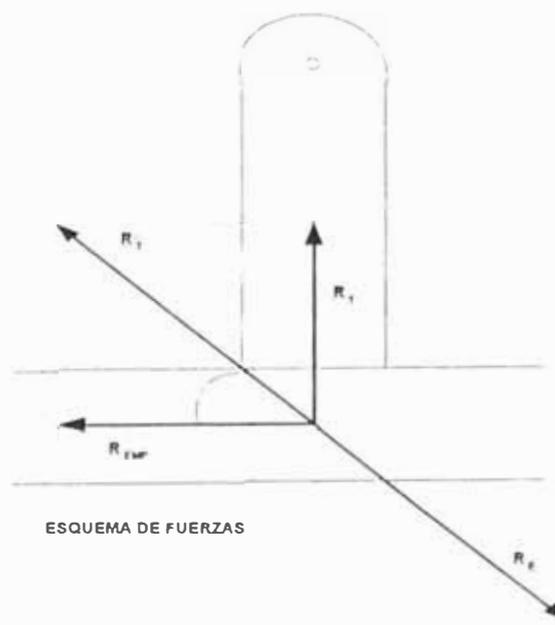
$$R = \frac{3872}{\pi \times 81.63} \cong 4 \text{ mm}$$

El diámetro del Tensor  $\phi = 8 \text{ mm}$

Factor de Seguridad del diámetro ( $\phi_\eta$ )

$$\phi_\eta = \phi \times \eta \quad \text{De donde: } \eta = 4$$

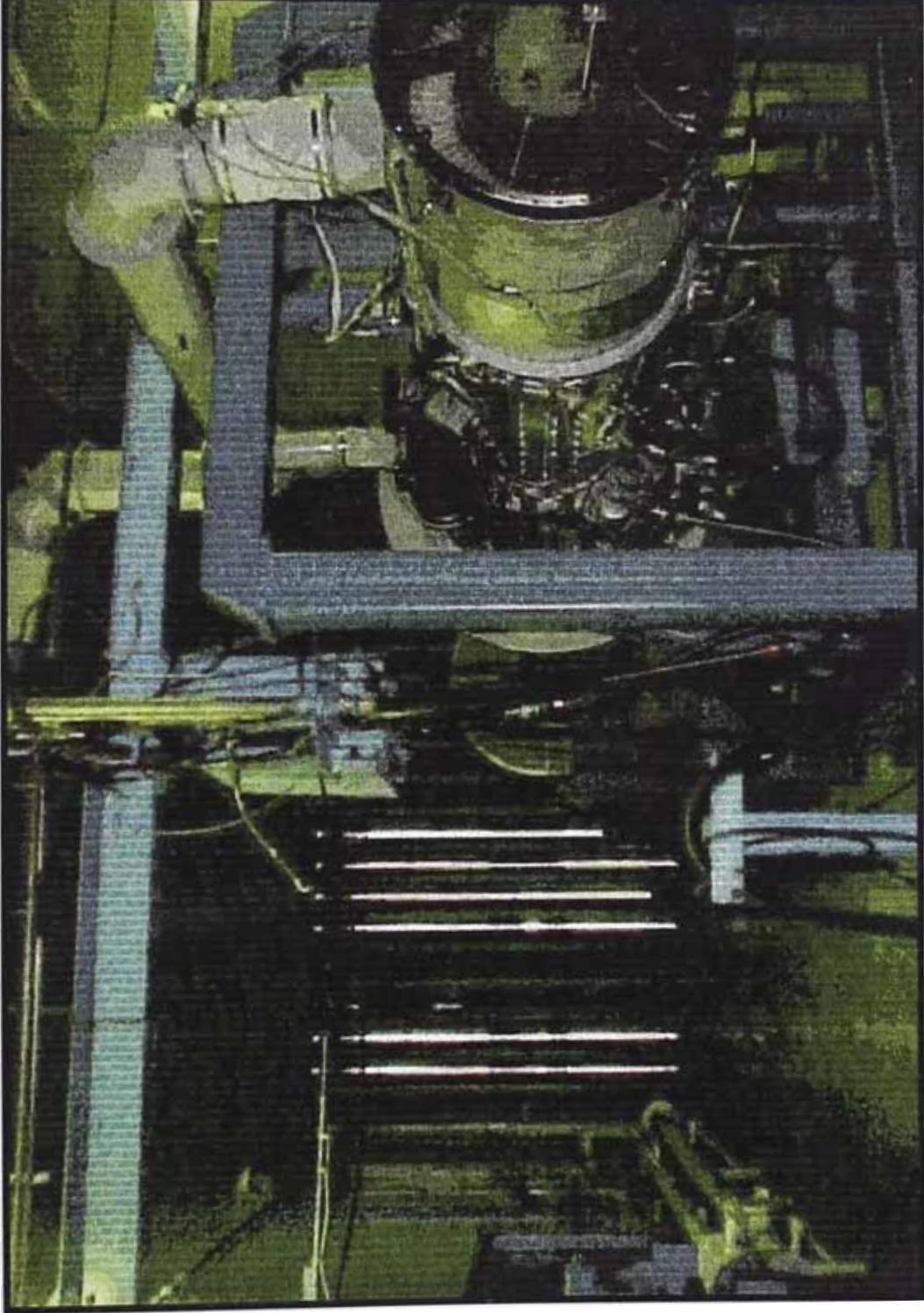
$$\phi_\eta = 8 \times 4 = 32 \text{ mm} \approx 1 \frac{1}{4} \text{''}$$



Conclusión: Los Tensores se fabrican de diámetro de  $\phi 1 \frac{1}{4}$ '' para garantizarla resistencia y rigidez.

El diseño de Instalación de los Tensores, está presentado en el figura 11.





**FIG. 11a - SISTEMA DE REFRIGERACIÓN**

#### 1.2.4.- EJE DE ACOUPLE

La Tapa de Acople está fabricado de material acero Boeler VCL-150, con una resistencia a la tracción entre 7.80 / 930 N/mm<sup>2</sup> (79.5 / 94.9 Kg -f /mm<sup>2</sup>).

Para su fabricación de la brida de acople se ha tomado en cuenta el torque promedio de su diámetro medio  $\varnothing$  260 mm, siendo la transmisión entre el motor y el acople flexible por medio de eje dentado y rueda dentada. Asimismo se le ha hecho un tratamiento térmico nitrugado para aumentar la dureza de los dientes de hasta 58 HRC, y se la ha tratado galvánicamente de superficie con un fosfatado para evitar la presencia de corrosión superficial. (fig. 12, 13a y 13b)

#### 1.2.5.- ACOPLAMIENTO FLEXIBLE

El acoplamiento flexible se ha diseñado de dos bridas compuestas de platinas tipo acordeón y unidos por un tubo de estructura soldada y normalizada.

El acoplamiento flexible une la tapa de acople del motor y el dinamómetro KAHN longitudinalmente y diametralmente alineado y balanceado. (fig. 11)

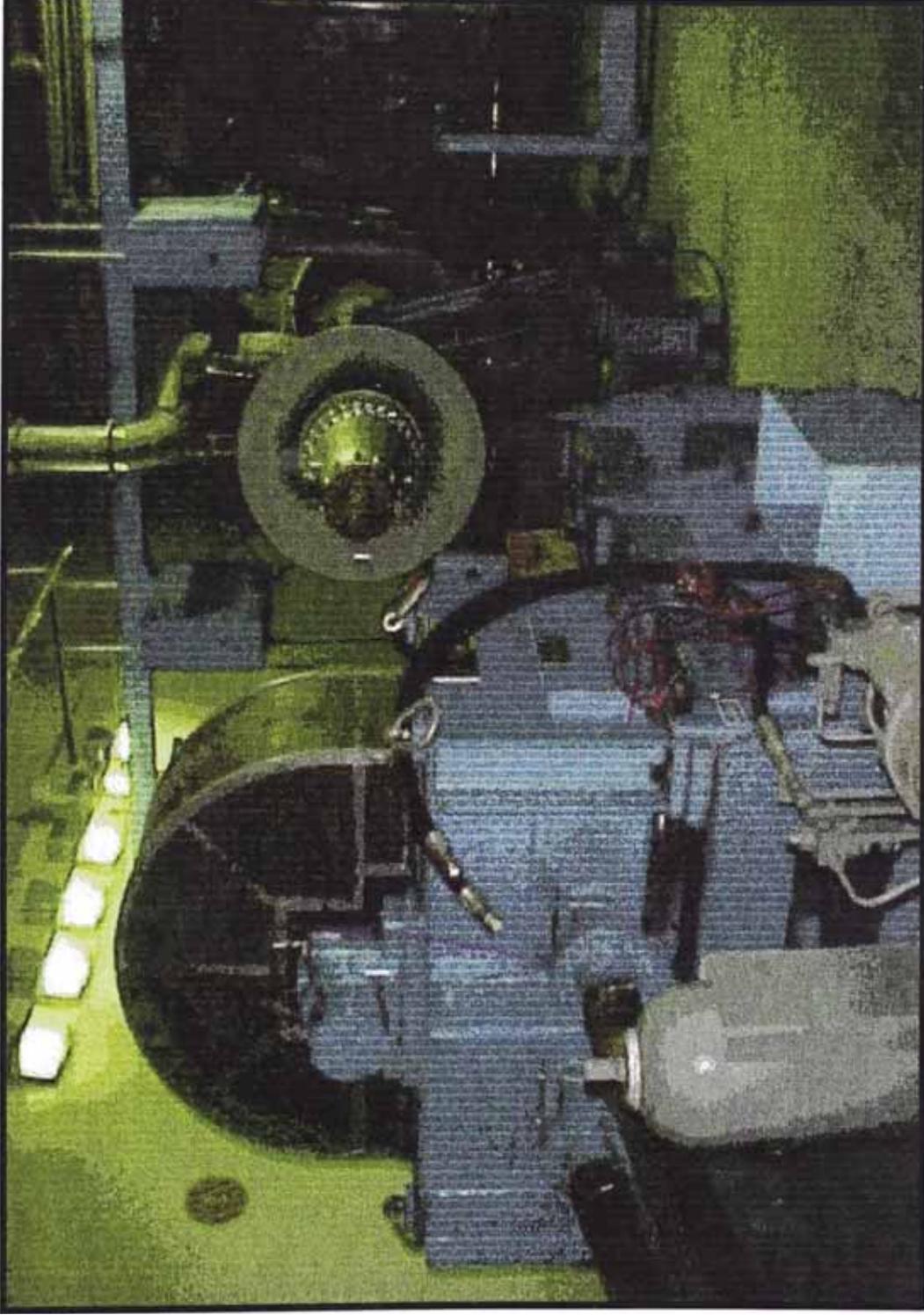
#### 1.2.6.- DINAMÓMETRO “KAHN”

**DINAMOMETRO PROPUESTO: KAHN MODELO 302 (fig. 12)**

##### (1) Especificaciones Técnicas

###### (a) Rango de operación

Potencia máxima	6600 hp
Velocidad máxima	2600 rpm
Torque máximo	35,000 pies-lbs



**FIG. 12- UBICACION DE ACOUPLE**



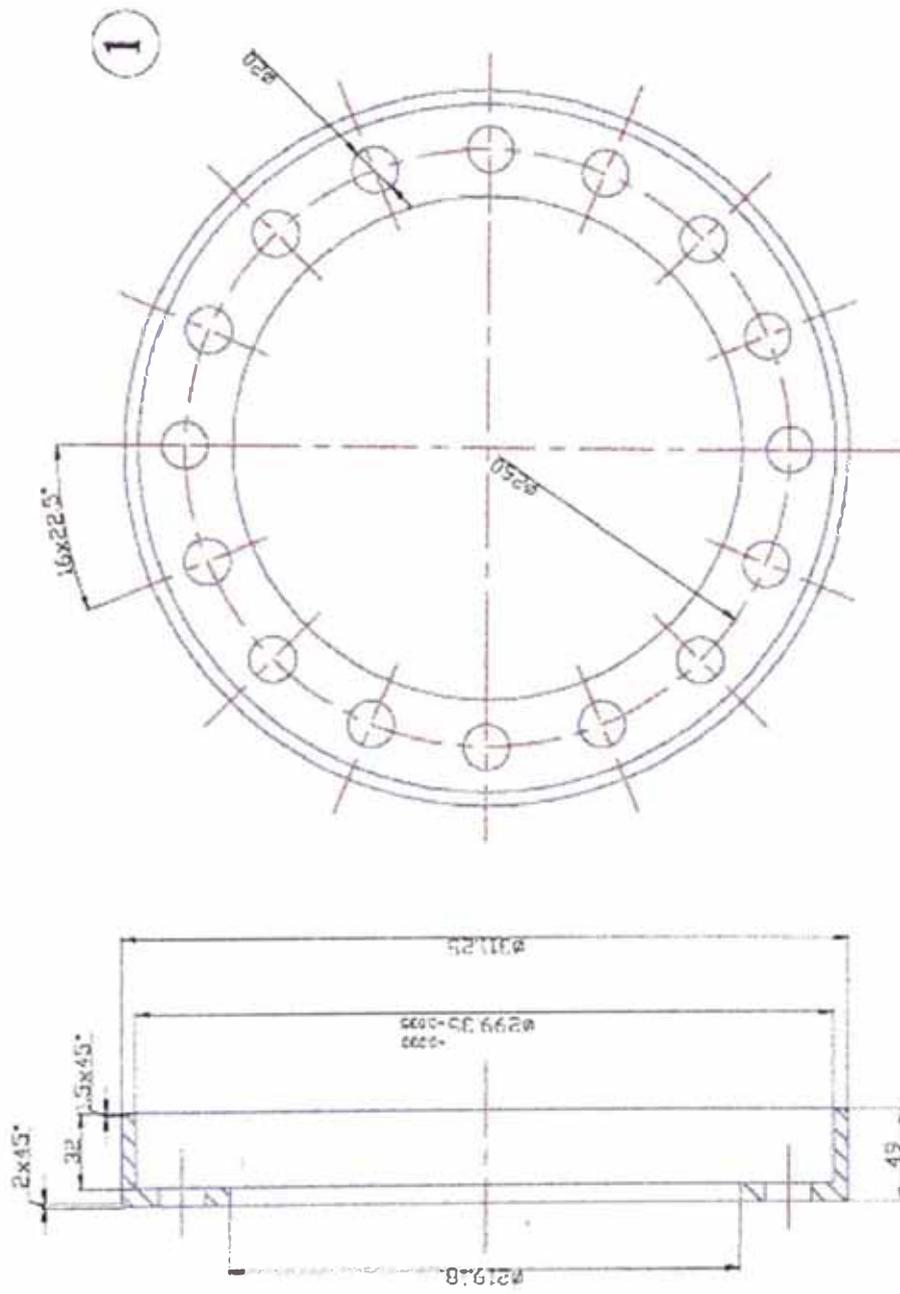


Fig. 13b ANILLO DE ACOPLE

(b) Peso y momento de inercia

Peso seco aproximado	4500 lbs
Momento de inercia WR2	13.1 slug pie <sup>3</sup>

(c) Datos de lubricación

Tipo de Lubricación	Grasa empaquetada
Lubricante	Exxon Unirex N3

(d) Requisitos de suministro de agua

Régimen de flujo	
específico de agua	4-8 gal/hr hp*
Presión de sum. de agua	50 psig
Temperatura máxima del suministro de agua	180°F
Filtración	340 microm

\* Dependiendo de la subida de temperatura del agua.

**(2) Instalación**

(a) Puntos de anclaje.- Los dinamómetros hidráulicos son máquinas vibratoras, fuerzas dinámicas no equilibradas son producidas por el proceso de absorción de potencia en las cámaras del rotor. Para absorber la energía vibratoria generada en el dinamómetro, deberá proporcionarse un punto de anclaje, adecuado de acuerdo a las características del dinamómetro (Peso y Potencia).

El block de anclaje deberá ser de una masa de por lo menos 3 veces la masa del dinamómetro y el motor. Debe ser hecho de concreto con acero reforzado y deberá proporcionar un soporte que sea rígido permanentemente para mantenerse siempre alineado.

La longitud y ancho mínimo del block de anclaje, esta determinado por el tamaño del equipo a ser sostenido por una carga adecuada sobre el terreno. La profundidad mínima del block de anclaje deberá ser tal que, la deformación estructural causada por la carga estática y dinámica sea insignificante. Debe ser aislado del piso por una capa de material de amortiguación adecuada

La frecuencia natural del block de anclaje en la tierra (oscilaciones horizontal y vertical), deben estar por debajo o encima de las frecuencias excitadoras generadas por el dinamómetro y el motor en prueba

- (b) Eje de unión (Fig. 11) - El torque entre el motor y el dinamómetro deberá ser transmitido a través de un eje de unión flexible. Los más comúnmente utilizados son los ejes de unión de tipo disco flexible.

El eje de unión deberá ser del tamaño de los requisitos de velocidad y

torque actual. Debe tener un movimiento angular y axial suficiente para compensar un mal alineamiento anticipado y expansión térmica durante la operación. Para asegurar una operación libre de vibración y suave, el eje de unión deberá ser balanceado dinámicamente de acuerdo a los standards de la turbina.

- (c) Conexiones de Servicio - Para asegurar un movimiento libre del alojamiento del dinamómetro en sus rodajes de muñón, hay

provistas uniones en forma de anillo ó flexibles, entre los orificios de entrada y salida de agua en el alojamiento del dinamómetro y las correspondientes pestañas en la base. Las válvulas de control del dinamómetro están normalmente instaladas directamente a las bridas de salida y entrada del agua, en la base del dinamómetro.

Además a los orificios de entrada y salida de agua, son provistos los siguientes orificios de servicio en la base del dinamómetro

Drenaje de agua interna delantero

Drenaje de agua interno posterior

Drenaje de agua externo delantero

Drenaje de agua externo posterior

(d) Instrumentación.- La lectura de velocidad y torque de los instrumentos es suministrado normalmente con el sistema de control del dinamómetro. Los instrumentos adicionales para monitoreo de los siguientes parámetros de operación deberán ser suministrados e instalados por el usuario del dinamómetro.

DESCRIPCIÓN	TIPO SENSOR	LIM.DE OPER
Pres.sum.de agua	Transductor	60 psi
Temp.sum.de agua	Termocuple	32°C
Temp.des.de agua	Termocuple	82°C
Temp.rodaje,delan.	Termocuple	93°C
Temp.rodaje, post	Termocuple	93°C

Las amplitudes de vibración vertical a varias velocidades de operación, no deben exceder de los siguientes límites (pico a pico).

rpm	mils	microns
1500	4.0	100
3000	2.0	50
6000	1.0	25

Utilice un filtro de paso alto con una frecuencia de ROLLOFF a 50% de velocidad de operación máxima de dinamómetro, es decir use un filtro de paso alto de 30 Hz para un dinamómetro de 3600 RPM

Instale el transductor de presión de agua en la tubería de suministro de agua corriente arriba desde la válvula de control de entrada. Instale los termocuplas en las tuberías corriente arriba desde la válvula de control de entrada y corriente abajo desde la salida de la válvula de control.

(c) Sistema de Alarma.- Además de los instrumentos listados más arriba, el usuario del dinamómetro deberá instalar un sistema de alarma para monitoreo seguro del dinamómetro y motor. Los parámetros de operación crítica deben ser cableados al circuito de corte de emergencia del motor.

<b>Descripción</b>	<b>Pto.de reg. de alarma</b>
Sobrevelocidad	2600 RPM
Sobretorque	35000 FT-LB
Baja pres. de suminis de agua	40 psig
Alta temp. del agua de salida	82°C
Alta temp. del rodaje, delant.	93°C
Alta temp. rodaje post.	93°C

(f) Sistema de Suministro General.- Los sistemas de agua generalmente no proporcionan un suministro de agua estable, causando fluctuaciones de presión debido a que otros usuarios que retiran o emplean el agua del mismo sistema y hacen difícil regular y mantener estable los puntos de operación con el dinamómetro. Los reguladores de presión en línea, provistos de resorte no son recomendados para usarse en reducir las fluctuaciones de suministro de agua.

Para eliminar los problemas de estabilidad potencial asociados con el sistema de agua suministrado, se recomienda instalar un tanque de agua intermedio con una bomba centrífuga y una válvula de regulación de presión de refuerzo.

El tanque de agua debe ser de un tamaño tal, que permita un tiempo de sedimentación de por lo menos de 3 min. este es el volumen de agua activa en galones que debe ser, 3 veces el máximo del régimen de flujo de agua en gal/min. Para evitar la aereacion del agua debido a la turbulencia, la línea de succión de la bomba debe separarse de la línea de suministro de agua por un separador. Una válvula operada con flotador en la línea de suministro de agua sirve para mantener el nivel de agua en el compartimiento de succión de la bomba.

(g) Sistemas de recirculación de agua.- En vista de las restricciones ambientales en la alta temperatura del agua de salida y los costos de agua de refresco, debe considerarse un sistema de refrigeración de circulación de agua para los requisitos de agua por encima de 20 gal/min (45 m<sup>3</sup>/h). Tres métodos pueden ser empleados para sacar el calor del agua recirculante.

(a) Torre de refrigeración

(b) Intercambiador de calor

(c) Radiador refrigerado por aire

(h) Bombas Centrifugas - La bomba de suministro del dinamómetro debe ser controlada para que suministre un régimen de flujo de agua especificada, a una presión estable de aproximadamente 50 psig (3.5 bar) corriente arriba desde la entrada de la válvula de control. Todas las pérdidas de presión en la tubería entre la bomba y válvula de entrada, es decir las pérdidas de presión debido a los

codos, válvulas de corte, válvula de retén, filtros, reductores de tuberías, deben tomarse en cuenta cuando controle la bomba

Las bombas centrífugas operan mejor a o cerca de su punto de diseño. Un régimen de flujo significativamente por encima o debajo del punto de diseño, puede desarrollar una cavitación o recirculación interna entre las palas y restringir temporalmente el flujo de agua a través de la bomba. Esto hará que el flujo y la presión fluctúen amplia y erráticamente

Bajo condiciones de operación normal, el régimen de flujo de agua a través de un dinamómetro hidráulico puede variar desde flujo cero a flujo con rango. De modo de mantener la bomba operando en un rango de performance estable a o cerca del punto de diseño, es necesario instalar una válvula de regulación de presión de respaldo (backpressure) la cual devuelve el agua al reservorio.

Para una mejor performance, la bomba debe ser instalada con la "succión inundada" esto es, la bomba debe estar ubicada debajo del nivel de agua en el reservorio. La tubería de succión debe ser lo más corta posible y debe tener aproximadamente 2 veces el tamaño del orificio de succión de la bomba.

Para evitar los remolinos y que quede aire atrapado todas las tuberías de agua en el reservorio deben terminar por debajo del nivel de agua y la tubería de succión de la bomba debe ser separada de las otras tuberías por medio de un separador.

Un suministro de agua estable es uno de los prerrequisitos más importantes para la operación satisfactoria del dinamómetro. Las fluctuaciones del flujo de agua, sean introducidas por una cavitación de la bomba, aire atrapado, oscilación de la válvula de control o simplemente por alta turbulencia en la tubería son difíciles de corregir una vez que el sistema de agua haya sido instalado.

### **(3) Operación**

(a) Chequeo Inicial.- Previo al arranque, verifique que el dinamómetro y su sistema de soporte o apoyo hayan sido instalados adecuadamente. Efectúe el chequeo funcional de todos los sistemas de acuerdo a los procedimientos listados más abajo.

Verificar que el dinamómetro este sujeto en forma apropiada a un punto de anclaje.

Verificar que el dinamómetro tenga acceso libre para su observación, calibración de peso muerto y mantenimiento

Chequear por instalación, alineamiento apropiado de la unión.

Si fuese posible, gire a mano el eje del dinamómetro. Verifique por libre movimiento.

Inspeccionar todas las mangueras y cables conectados al alojamiento del dinamómetro. Verifique que no afectan el movimiento libre del alojamiento del dinamómetro en sus rodajes de muñón.

Inspeccionar el sistema de control del dinamómetro. Verifique que todos los sensores y transductores estén instalados

correctamente y que todo el cableado fue efectuado de acuerdo con los diagramas de cableado.

Conectar la potencia eléctrica en la consola de control. Chequee que las lecturas se encuentren en cero de todos los indicadores. Verifique la calibración de la velocidad, torque y los indicadores de potencia. Chequee los puntos de regulación (setpoints) en todos los switches de alarma.

Instalar el sistema de calibración de torque de peso muerto en el dinamómetro. Efectué el chequeo de calibración estática del dinamómetro y sistema de medición de torque.

Chequear las flechas de dirección del flujo en la salida y entrada de las válvulas de control. Verifique que no haya codos, reductores de tuberías y conexión "T" dentro de los diámetros de la tubería desde las válvulas de control.

Conectar el suministro de aire y/o suministro hidráulico a la entrada y salida de las válvulas de control. Efectué un chequeo funcional de las válvulas de control.

Inspeccionar el sistema de agua. Chequee los tamaños de la manguera y tuberías. Verifique que la tubería fue diseñada apropiadamente y que todas las tuberías estén sostenidas en forma apropiada.

Chequear la curva de performance de la bomba de suministro del dinamómetro. Verifique que la bomba tenga "succión inundada" y que la línea de succión haya sido medida en forma

apropiada e instalada. Verifique el tamaño y la regulación de la válvula de presión de refuerzo.

Inspeccionar el reservorio de agua. Verifique todas las tuberías termine por debajo del nivel de agua mas bajo, y que la tubería de succión de la bomba y tubería de retorno de agua sean separadas por un separador.

Cerrar la válvula de control de entrada del dinamómetro y abra la salida de la válvula de control completamente. Arranque las bombas de agua, inspeccione el sistema de agua por fuga, ruido inusual, aire atrapado y vibración.

Verificar que el motor de prueba esté equipado con un sistema de corte de emergencia manual o automático efectivo. Evalúe el efecto de los siguientes modos de falla: falta de agua, falla de aire, y/o falla.

Hidráulica (válvulas de control) falla de potencia eléctrica, falla de señal de control.

- (b) Verificación del Pre-Arranque.- Previo a cada prueba de corrida, verificar el estado operacional del dinamómetro y sus sistemas de apoyo de acuerdo a los siguientes procedimientos.

Si fuese posible, chequear la rotación libre del eje del dinamómetro a mano.

Verificar el alineamiento apropiado del eje de unión.

Conectar la potencia eléctrica al panel de control. Verifique que la lectura sea cero en todos los indicadores.

Conectar el suministro de aire y/o suministro hidráulico a la entrada y salida de la válvula de control. Abra y cierre las válvulas de control. Chequear el movimiento libre y recorrido completo.

Cerrar la entrada de la válvula de control y abra la salida de la válvula de control aproximadamente 50% o a una posición previamente determinada. Conecte el suministro de agua. Verifique por fuga de agua, ruido inusual, vibración y aire atrapado.

(c) Procedimientos de Operación.- Mientras esté operando en el modo de control manual (lazo-abierto), puede usarse cualquier válvula para controlar el dinamómetro. El abrir o cerrar las válvulas de control de entrada afectan la carga del dinamómetro así como el régimen de flujo. El abrir o cerrar la válvula de control de salida normalmente no afecta el régimen de flujo de agua.

Previo a arrancar el motor, cierre la válvula de control de entrada y abra la válvula de control de salida aproximadamente 50% o a una posición determinada previamente.

Durante la operación, vea todas las indicaciones en la cabina de control y verifique que todas las lecturas estén dentro de los límites de operación del dinamómetro. Registre la velocidad, torque, potencia, presión, temperaturas, amplitud de vibración, posición de las válvulas y el flujo por el sello de agua en forma periódica, especialmente durante las corridas iniciales. Chequear

periódicamente y verificar que el punto de operación esté dentro de la performance de operación del dinamómetro. Para asegurar el control efectivo, no opere en la curva full-fill, del dinamómetro.

(d) Recomendaciones de Operación.- En la región de operación típica, entre el 70% y 100% del rango de velocidad, el torque del motor disminuye cuando aumenta la velocidad. Los motores no gobernados son probados ya sea, aumentando en forma alterna la carga con las válvulas de control del dinamómetro y aumentando la velocidad con el acelerador del motor (palanca de potencia de turbina) Obtenga los puntos de operación deseados, de acuerdo al siguiente procedimiento.

<b>Acción de Control</b>	<b>Torque</b>	<b>Velocidad</b>
Carga del dinamómetro	Aumenta	Disminuye
Descarga del dinamómetro	Disminuye	Aumenta
Acel abierto del motor	Aumenta	Aumenta
Acel abierto del motor	Disminuye	Disminuye

Los gobernadores de velocidad de los motores son probados modulando la carga con las válvulas de control de dinamómetro. La velocidad rotación es controlada por el gobernador de velocidad del motor.

Hasta a un máximo de 30% de la velocidad máxima, el dinamómetro puede ser operado con agua. A velocidades más

altas, una pequeña cantidad de agua debe añadirse para evitar el sobrecalentamiento de los rodajes. sellos de carbón y o'rings.

#### (4) Sistema de Control Automático Propuesto

##### (a) Especificaciones

Calib del controlador veloc.100%	1500 rpm
Calib del controlador torq.100%	26000 ft-lb
Capac.celda de carga del strain gage	20,000 lbs
Long del brazo de torque	24,000 pulg
Rango de torq.del strain gage	40000 ft-lb
Rango de potencia	7426 HP
Precisión de Medición de torque	$\pm 0.2\%$ F.S
Precisión de Medición de velocidad	$\pm 0.1\%$ F.S.

Tamaño-tipo de válvula de control de entrada: válvula globo electro-hidráulica de 4"

Tamaño-tipo de válvula control de salida: válvula mariposa electro-neumática de 4"

Requisitos del sistema de apoyo:

➤ Potencia eléctrica para cabina de control 220V/60Hz monofase.

Potencia eléctrica para la unidad de potencia hidráulica 220V/50Hz/trifásica

➤ Presión a la entrada de la válv. de control de presión 2000 psig (138 bar).

(b) Consola de Control.- La 5353 puede ser suministrada ya sea en una consola de 19" con todo sus instrumentos, diseñada para ser

instalada sobre una mesa o por separado en un chasis montante de soporte ancho de 19". El sistema completo incluye un sistema de instrumentos de dinamómetro con indicadores digitales de torque y velocidad, un controlador PID, juegos dobles de potenciómetros de control de la válvula manual de 10 vueltas (switch seleccionable para prueba de transición), potenciómetro de regulación de 10 vueltas, potenciómetros de inclinación y offset. Cuatro switches de selector de modo de control, indicadores de posición de válvula analógica, y 3 switches selectores de control remoto-local. Los requisitos de potencia eléctrica son 240V 50 Hz, monofase.

(c) Sistema de Instrumentos del Dinamómetro.- Las señales de torque y velocidad desde la celda de carga strain-gage (sensor de reacción de torque) el pick up magnético de velocidad son condicionados, procesados y mostrados en panel de instrumento del dinamómetro. Los controles convenientes permite una calibración y medición precisa y una escala de señal de salida, y verse en la pantalla así como las regulaciones de los límites de alarma. Los indicadores digitales muestran valores precisos de velocidad, torque y potencia. Las salidas analógicas de alto nivel (4-20mA dc) proporcionales a la velocidad de rotación torque y potencia están continuamente disponibles para la adquisición de datos y propósitos de registro.

(d) Controlador del Proceso.- Una configuración de un microprocesador base de un controlador PID, es utilizado para

controlar el lazo-cerrado del dinamómetro. El panel frontal del controlador lleva 2 pantallas de barras gráficas verticales del proceso variable (velocidad, torque) y valores de punto de regulación,. La barra gráfica horizontal pequeña es utilizada para indicar la regulación de la válvula de salida. Además, una pantalla de 4 dígitos indica el porcentaje del proceso variable, salida de control o valor de punto de regulación. Un terminal de entrada de datos portátil el cual puede ser enchufado dentro del orificio de comunicaciones en serie del panel delantero. Es utilizado para acceso a todos los parámetros de control interno. El controlador es programado para proporcionar las siguientes funciones de control

#### Control de la Válvula de Entrada

<b>PARAMETRO</b>	<b>RANGO</b>
Banda proporcional (PB)	0.1 - 999.9%
Tiempo Integral (TI)	0.01 - 99.99 segs
Tiempo derivado (TD)	0.01 - 99.99 segs

La válvula de entrada del dinamómetro puede controlarse automáticamente, ya que la función lineal del punto de regulación de torque o nivel de potencia del motor por medio de un circuito offset y escala analógica. Están provistas las siguientes capacidades de ajuste:

## Control de la Válvula de Salida

PARAMETRO	RANGO
Pendiente (multiplicador de torque)	0-200.0%
Offset (factor adicional)	0-100.0%

Ambos parametros son regulados continuamente mediante los potenciómetros del panel delantero de 10 vueltas.

(e) Válvulas de Control - La válvula de control de salida es suministrada como un conjunto completo, consiste de un cuerpo actuador de pistón neumático de doble actuación y un posicionador electro-neumático de alta performance. Un filtro de aire es instalado corriente arriba del posicionador para asegurar un suministro limpio de aire.

PARAMETRO	RANGO
Presión de suministro de aire	100-150psig
Consumo uniforme de aire/válvula	0.4 scfm a 100 psig
Demanda max. de aire por válvula	20 scfm a 100 psig
Señal de entrada	4-20mA
Polaridad de la válvula	cerrar:+

La válvula de control de entrada esta equipada con un pistón hidráulico de doble actuación y una servo válvula electro-hidráulica.

<b>PARAMETRO</b>	<b>RANGO</b>
Tiempo de carrera completa	0.2 seg. max.
Fluido hidráulico	MIL-II-5606
Régimen máximo de flujo	7.0 gal/min
Presión de suministro hidráulico	2000 psig
Señal de entrada	0-10 VDC
Polaridad de la válvula	cerrar:+

(f) Medición de Torque.- La salida de torque del motor es medida ya sea, por una celda de carga strain gage, la cual está instalada al brazo de torque del dinamómetro o instalada coaxialmente al sensor de reacción de torque. El sensor o celda de carga operan en tensión (+) y compresión (-). Tienen que ser calibradas por el fabricante con pesos muertos precisos dados en el U.S. National Institute of Standards and Technology (normalmente National Bureau of Standards)

(g) Medición de La Velocidad.- La velocidad de rotación es medida por un pick up magnético de velocidad instalado en el dinamómetro. Opera conjuntamente con un engranaje generador de pulsación de 60 dientes o de 30 dientes, el cual esta instalado en el eje del dinamómetro. El error de medición total de la velocidad es de  $\pm 0.1\%$  del rango del indicador de velocidad.

(h) Requisitos de Suministro de Agua.- Los dinamómetros hidráulicos convierten la energía mecánica a calor. Un flujo continuo de agua a través del dinamómetro es requerido para proporcionar resistencia

a la rotación y sacar el calor. El requerimiento del régimen de flujo de agua depende de la potencia absorbida y en la elevación de la temperatura y es el mismo para todos los dinamómetros hidráulicos, a pesar el tipo o marca.

#### **(4) Instalación**

El sistema de control Serie 535, consiste de los siguientes componentes mayores:

- \* Consola de control
- \* Válvulas de control de entrada y salida
- \* Sello de la válvula de agua y medidor de flujo
- \* Pick up magnetico de velocidad y celda de carga del strain-gage (o sensor reacción de torque).
- \* Cables de conexión.

#### **(5) Instrumentación**

Para las unidades de consola, colocar la consola de control en una mesa o pedestal adecuado en el cuarto de control adyacente a la posición del operador. Proporcione espacio suficiente en la parte posterior de la consola de control para permitir libre acceso para la instalación de los cables de conexión. Para unidades instaladas en soportes (racks) instalar el drawer de control y drawer de instrumento del dinamómetro en el rack de instrumento deseado.

Inspeccionar la disposición de montaje de la celda de carga del strain-gage. Verificar que la celda de carga se mueva libremente en los extremos de la varilla del rodaje esférico y que los pernos de tope y contra tuercas estén ajustadas.

Chequear el ajuste del pick up magnético de velocidad. Afloje la contratuerca, gire a la derecha el pick up magnético hasta que toque el engranaje de 60 dientes instalado en el eje del dinamómetro. Luego gire el pick up magnético a la izquierda aproximadamente 30° para obtener una luz de .005" (.13 mm). Gire el eje del dinamómetro a mano para asegurarse que no haya interferencia entre el engranaje y recolector magnético. Ajuste la contratuerca para asegurar el recolector magnético.

Instalar los cables blindados entre la celda de carga del strain-gage, el pick up magnético de velocidad y la consola de control o unidad drawer. Enchufe el cable de potencia, gire el switch selector a MANUAL y chequear la lectura cero en el panel de instrumentos del dinamómetro y controlador de procesos.

Instalar los termocuples en los orificios apropiados. Instale el cableado de los termocuples y conectar cada uno a su unidad de alarma de temperatura.

#### **(6) Válvulas de Control**

Utilizar una cuerda de nylon para subir el conjunto de válvula. Siempre que sea posible, instalar las válvulas de control con el actuador en una posición hacia arriba. Si la válvula va a ser instalada con el actuador en la posición horizontal, sostenga el actuador con cables de acero.

Verificar que el filtro de aire en la válvula de control de entrada esté orientada con la válvula de drenaje hacia el punto más bajo.

Previo a la instalación de las válvulas de control, soplar con aire comprimido todas las tuberías para sacar el sedimento de la tubería, restos de soldadura u otro material extraño dentro de estas.

Instalar las válvulas de control lo más cerca posible a los orificios de entrada y salida del dinamómetro para minimizar el retardo de capacitancia debido al agua almacenada entre las válvulas y el dinamómetro. Instale las válvulas de control por lo menos 10 diámetros de tubería más adelante, lejos de la fuente de turbulencia es decir, codos, conexión en "T" múltiples, reductores de tuberías. Coloque la válvula de control de salida de agua en o por debajo del nivel de la brida de salida del dinamómetro para asegurar una drenaje completo del dinamómetro. Proporcione espacio suficiente alrededor de las válvulas de control para permitir una fácil instalación y acceso libre para observación y mantenimiento.

Instalar las válvulas tipo globo con la flecha de dirección de flujo en el cuerpo de la válvula que señala corriente abajo. Utilizar una empaquetadura de buen material para las conexiones con bridas. Utilizar compuesto de hilo para conexiones roscadas.

Instalar las válvulas de corte rápido (válvulas de mariposa) con el eje corriente abajo. Asegure el cuerpo de la válvula y empaquetaduras entre las bridas de cara levantadas de 300lb ANSI. Utilizar pernos prisioneros ANSI A-193 GR B7 y tuercas A-194 GR 2H.

Se requiere una fuente de aire seco, limpio, regulada para operar la válvula de entrada. Para mejor performance de la válvula. La

presión de suministro de aire el posicionador de la válvula electro-neumática deberá ser de por lo menos 100 psig (7 bars). Conectar el suministro de aire a un orificio de ¼ NPT en los filtros de aire.

Usar tuberías de 3/8", tubería de ¼" o manguera flexible de ¼", de D.I. para líneas de suministro de aire hasta 20 pies (6.0 m). Para líneas de suministro de aire más grandes, usar tuberías de ½". Instale el manómetro con un rango de 160psig (11.0 bar) en la línea de suministro de aire. Previo a conectar la válvula de control, soplar la línea de suministro de aire comprimido con aire para sacar el polvo, sedimento de la tubería desperdicios de soldadura y otro material extraño.

Instalar las líneas de suministro y abastecimiento hidráulico entre la unidad de potencia hidráulica y el actuador de la válvula de entrada. Use tubería de acero inoxidable de alta presión de 3/4 O D y mangueras flexibles de alta presión. Previo a conectarla con el actuador y unidad de potencia hidráulica, soplar con aire comprimido la tubería y mangueras para sacar el polvo u otro material extraño. Se recomienda las siguientes conexión de mangueras y fittings y adaptadores:

<b>SUMINISTRO</b>		<b>RETORNO</b>
Mang. AEROQUIP	N/P 2781-12	N/P 2781-12
Mang.-fitt AEROQUIP	N/P 4721-12S	N/P 4721-12S
Adap. AEROQUIP	N/P202702-12-12S	N/P 202702-16-12S

Instalar la manguera sin torceduras o dobladuras. Proporcionar una radio de banda ancha suficiente y que esté también, lo suficientemente floja para permitir que se encoja y expanda durante la operación. Ajuste todos fittings con chaflan de 37° (metal a sello de metal) en forma adecuada para evitar la fuga.

Sin ninguna potencia en la servo-válvula, opere la unidad de potencia hidráulica por lo menos 1 hr. para enjuagar todo el polvo y contaminación del sistema hidráulico. Después de completar el procedimiento de enjuague, chequear los filtros y reemplazar los elementos del filtro si fuese necesario.

Instalar el cableado eléctrico entre las cajas de unión de la válvula de control y consola de control. Use conductores rígidos y flexibles para ubicaciones peligrosas.

#### **(7) Calibración del Instrumento**

- (a) Procedimiento de Calibración.- De modo de mantener una precisión de medición óptima, calibre los indicadores de potencia y torque digitales cada 3 meses o 200 hrs de operación.
- (b) Pantalla de Torque.- Efectué la calibración de la pantalla digital de torque, utilizando la calibración de peso muerto de acuerdo con el manual de instrucción del dinamómetro.
- (c) Pantalla de Velocidad - Calibrar la pantalla de velocidad utilizando un generador de frecuencia como simulador de señal de RPM. Regular la señal de salida (onda cuadrada o sinusoidal) desde un generador de -2.5/+2.5 V P -P con cero de offset DC.

(d) Pantalla de Potencia.- Para la calibración de la pantalla de potencia es necesario generar a la vez, la señal de velocidad y señal de torque.

(e) Limites de Velocidad y Torque.- Las alarmas de velocidad, y torque están reguladas utilizando modo de programación en los indicadores digitales.

Los indicadores de torque y velocidad están equipados con 2 alarmas de contacto en forma de C para 5 amperios. 120/240VAC ó 28 VDC 1/8 hp 120 VAC (carga inductiva. Los límites de alarma están regulados en la factoría como "III" con regulación automática lo cual significa que el indicador genera alarma si el valor del proceso actual excede el punto de regulación.

(f) Salidas Analógicas.- Los indicadores digitales de torque y velocidad proporcionan salidas de alto nivel analógico de 4-20 mdc proporcional a la velocidad de rotación, torque y potencia la salida analógica proporciona los siguientes parámetros:

- \* Salida: 4-20 mdc, defecto (default) de fábrica dentro del rango completo de torque, velocidad y potencia (ejem, 0-10,000 RPM rango total de velocidad igual a 4-20mA<sub>dc</sub> de salida).
- \* Precisión 0.1% de escala total
- \* Resolución: 12 bits
- \* Cumplimiento de voltaje: 10 VDC (500 Ohms máximo de impedancia)

## (8) Operación

Para la operación del dinamómetro previo arranque, el operador debe efectuar el siguiente procedimiento: inicial

Chequeo Funcional

Calibración de la Válvula de Control

Operación y Regulación del Controlador PID

Chequeo de Pre Arranque Previo a cada prueba de corrido

Manual de Procedimientos de Operación

Procedimiento de Operación del Modo de Transición

Procedimiento de Operación Automática

Sintonización del Controlador

Localización de Fallas.-

Los siguientes procedimientos de localización de fallas se refieren principalmente a estabilidad operacional y se aplica a modos de control MANUAL, SEMI AUTO y AUTO. Generalmente, un sistema de motor-dinamómetro es considerado estable cuando las fluctuaciones de torque y la velocidad en estado uniforme, están dentro de  $\pm 0.1\%$  a  $\pm 0.5\%$  de la escala completa. La operación inestable (fluctuación, oscilaciones, ciclaje, desvío) puede ser causado por una de las siguientes fuentes:

- \* Fluctuación de suministro de agua
- \* Oscilación del vástago de la válvula
- \* Salida fluctuante del motor de torque
- \* Controlador de proceso, sintonizado en forma incorrecta
- \* Señales de retroalimentación ruidosa.

## 1.2.7.- SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN PROPUESTA

### (1) Suministro Estable de Agua

Un suministro de agua uniforme no fluctuante, es el pre-requisito más importante para la operación estable de un dinamómetro hidráulico. Las fluctuaciones del suministro de agua, donde sean introducidos por una bomba de cavitación, aire atrapado, oscilación de la válvula de control, turbulencia o simplemente por la presencia de otros usuarios, son difíciles de corregir una vez que el sistema de agua haya sido instalado.

Los dinamómetros hidráulicos son dispositivos esencialmente pasivos, y cualquier fluctuación en el suministro de agua, dará como resultado una fluctuación de velocidad y torque. Por esta razón, es extremadamente importante un suministro de agua estable. El sistema de agua debe ser capaz de proporcionar suministro de agua estable a una presión de 50 psig, (3,5 bar) a todo el flujo de agua, corriente arriba de la válvula de control de entrada del dinamómetro.

Para aplicaciones de prueba de alta velocidad, con inercia de rotación relativamente bajas (es decir turbinas industrial y de avión), las fluctuaciones de suministro de agua deberá ser menos de  $\pm 0.5\%$  del flujo, de modo de obtener estabilidad operacional satisfactoria. Para dampear las fluctuaciones inducidas de la tubería y bombas se recomienda un acumulador.

El acumulador debe tener un diseño de flujo completo con un volumen de aire atrapado de 15% a 25% y el volumen total debe ser por lo menos 3 veces el régimen de flujo de agua máximo en gal/min. Un

modo para diagnosticar y monitorear el sistema de agua, uno debe instalar un medidor de flujo preciso de respuesta rápida, capaz de medir las frecuencias y amplitudes de fluctuación de flujo, corriente arriba de la válvula de control de entrada del dinamómetro.

Para reducir la turbulencia, los usuarios del dinamómetro deben considerar también la instalación de un enderezador de flujo directamente corriente arriba desde la válvula de control de entrada del dinamómetro.

## **(2) Calidad de Agua**

La calidad de agua no afecta la función o precisión del dinamómetro, pero puede acortar su vida de servicio. La dureza excesiva de agua promueve la formación de depósitos de sedimentos que pueden causar desgaste prematuro a los sellos de carbón. Agua de alta acidez puede causar corrosión electrolítica en metales disimilares. Debe considerarse el tratamiento del agua si las propiedades exceden los siguientes límites.

Contenido de carbonato de calcio (dureza) 100 ppm

Valor de Ph.(acidez) 7 a 8.5.

Los usuarios del dinamómetro deben ponerse en contacto con la firma de agua local, para un análisis y recomendaciones específicas en el tratamiento de agua. Como regla general, la formación de sedimento y corrosión debe ser siempre descartada operando el dinamómetro con temperaturas de salida de agua bajas. El agua de mar y agua de pozos no debe usarse.

La entrada de materia sólida dentro del dinamómetro, debe ser restringida instalando un filtro de malla 40 (340 micron), reemplazable corriente arriba de la válvula de control de entrada.

### **(3) Sistema de Desagüe de Agua**

Los sistemas de agua municipales o de planta, generalmente no proporcionan un suministro de agua estable. Inherentemente, las fluctuaciones de presión errática, causadas por otros usuarios de agua que toman del mismo sistema, hacen difícil regular los puntos de operación estable con el dinamómetro. Reguladores de presión provistos de resorte, no son recomendados para reducir las fluctuaciones de suministro de agua.

Para eliminar los problemas de estabilidad potencial con los sistema de planta o municipal, uno debe instalar una tanque de agua intermedio con una bomba centrífuga, tal como se ve en el plano No.12, debe medirse el tanque para permitir un tiempo de sedimentación de por lo menos 3 minutos, estos es el volumen de agua activa en galones que deberá ser por lo menos 3 veces el régimen de flujo máximo de agua en gal/min. Para evitar la aeración del agua debido a la turbulencia, la tubería de succión de la bomba debe ser separada de la tubería del suministro de agua por un separador. Una válvula flotadora en la línea de suministro de agua sirve para mantener el nivel de agua en el compartimiento de succión de la bomba.

### **(4) Sistemas de Recirculación de Agua**

En vista de las restricciones ambientales en los costos de subir agua fresca y temperaturas de descarga de agua caliente, debe considerarse

un sistema de agua refrigerada de recirculación para requisitos de por encima de 20 gal/min (75 l/min). Tres métodos son empleados para extraer el calor del agua recirculante:

- (a) Torre de refrigeración
- (b) Intercambiador de calor de tubería
- (c) Radiador de aire

Los más comúnmente utilizados, son las torres de refrigeración evaporativa de arrastre-forzado. En dichos sistemas, sólo una pequeña cantidad de agua de aproximadamente 5% del régimen de flujo de recirculación es necesario purgar.

La purga, se refiere al agua que es descargada continuamente para ayudar a mantener los sólidos disueltos, contenidos en la recirculación de agua dentro de los límites aceptables. Drift se refiere a las gotas de agua que son sopladas lejos por el viento en forma líquida (es decir no evaporado).

Debido a la resistencia de la temperatura del material de la torre de refrigeración, corrosión y crecimiento orgánico, la temperatura de entrada de agua a la torre de refrigeración es limitada generalmente a 140°F (60°C).

#### **(5) Bombas Centrifugas**

La bomba del dinamómetro, debe ser medida para proporcionar un régimen de flujo de agua especificado, a una presión estable de aproximadamente 50 psig (3.5 bar) corriente arriba de la válvula de control de entrada de agua. Todas las pérdidas de presión en la tubería, entre la bomba y válvula de entrada, es decir, debido a los codos,

válvulas de corte, válvulas retén, filtros, reductores de tuberías, deben tomarse en cuenta cuando regule la bomba

Para una mejor performance, la bomba deberá tener una característica de cabeza escalonada y ningún otro usuario debe usar la bomba para otros fines

Las bombas centrífugas operan mejor a/o cerca del punto de diseño. A regímenes de flujo significativamente por encima o debajo del punto de diseño puede desarrollarse entre las palas, una cavitación o recirculación interna y restringir temporalmente el flujo de agua a través de la bomba. Esto puede causar que la presión y flujo fluctúe amplia y erráticamente

Bajo condiciones de operación normal, el régimen de flujo de agua a través de un dinamómetro hidráulico puede variar desde cero a un flujo indicado. El modo de mantener operando la bomba en un rango de performance estable, es necesario instalar una válvula de regulación de presión de refuerzo, la cual a su vez devuelve el agua que no se necesita al reservorio, para operación del dinamómetro.

Otro problema de performance de bomba que ocurre frecuentemente, es relacionado a la "cabeza de succión positiva de la net (NPSH) de la bomba. La performance de la bomba es inestable, cavita y parece ocurrir cuando la caída de presión en la línea de succión de la bomba es mas alto y el NPSH disponible es más bajo que el NPSH requerido por el fabricante de la bomba. Para evitar problemas relacionados con NPSH, uno debe instalar la bomba en "succión inundada" es decir coloque la bomba debajo del nivel de agua en el reservorio. La tubería

de succión debe ser lo más corto posible y debe tener un diámetro igual o mayor que el orificio de succión de la bomba. Los codos deben ser ubicados por lo menos a 10 diámetros de tubería, lejos del orificio de succión de la bomba. Si se utiliza un filtro de succión, el área abierta del filtro deberá ser significativamente mayor que el área de la tubería de succión.

**(6) Tuberías y Mangueras**

Todas las tuberías excepto la línea de succión de la bomba, deberá ser medida para velocidades de agua de máximo 10-15 pies/sec y debe ser instalada de acuerdo a la practica standard. Los diámetros de la tubería deben ser igual o mayor que el tamaño nominal de las válvulas de control. Si usa un enderezador de flujo, debe instalarse aproximadamente a un diámetro de tubería, corriente arriba de la válvula de control de entrada del dinamómetro. Cambios repentinos en el diámetro de la tubería deben ser evitados utilizando reductores de tuberías. Las tuberías deben ser lo más corto posible y el número de codos y dobladuras debe mantenerse al mínimo. Todas las tuberías deben ser fuertemente asegurada por colgadores y soportes diseñados apropiadamente. No deben colocarse cargas externas en las conexiones de la bomba y válvula.

Para evitar remolinos y aire atrapado, todas las líneas de succión básico o en todas las tuberías de retorno deben terminar por debajo del nivel más bajo del reservorio. Las válvulas de control deben ubicarse por lo menos 10 diámetros de tubería lejos de cualquier fuente de

turbulencia, es decir, codos, conexiones en T, múltiples y reductores de tuberías.

En caso donde las válvulas de control son instaladas directamente al dinamómetro, deben conectarse con una unidad de expansión flexible, para reducir a las fuerzas externas que actúan en las válvulas y evitar la transmisión de ruido y vibración al dinamómetro. Para reducir la turbulencia, las uniones de expansión deben ser de diámetros interiores no corrugados, la válvula de salida de agua debe ser ubicada en o por debajo del nivel del orificio de salida del dinamómetro para permitir un drenaje completo del mismo. La tubería de descarga del agua debe ser inclinada hacia abajo y debe terminar en un drenaje de agua abierto o reservorio. Previo a la instalación de las válvulas de control y bomba, todas las tuberías deben ser sopladas con aire para sacar el sedimento, soldadura y otro material extraño

La brida en los dinamómetros, deben conectarse con una manguera flexible de entrada y salida de agua para asegurar un giro libre del alojamiento del dinamómetro en los rodajes del muñón. Las mangueras deben ser hechas de jebe con acero reforzado y ser capaces de soportar presiones de agua de hasta 2000 psig, (13,8 bar). Para mejores medición de torque, la longitud libre de la manguera debe ser por lo menos 30 veces el tamaño nominal de la manguera y estas deben permanecer en el plano central vertical del dinamómetro en toda su longitud.

Las torres de desviación inducida son fabricadas de dos secciones básicas, una cuerpo de torre de polietileno y una sección de conjunto de ventilador. Ambas secciones son armadas en el taller y embaladas en forma separada para su instalación en el campo.

(d) Sistema de Control.- Los sistemas de Control Automático, están diseñados para el control de lazo-cerrado de dinamómetros hidráulicos.

En el modo de Control Manual (lazo-abierto), la carga del dinamómetro es modulada con las válvulas de control de entrada y salida de acuerdo a la siguiente tabla:

<b>OBJETIVO</b>	<b>VAL. ENTRADA</b>	<b>VAL.SALIDA</b>
Incrementar carga	Abierta	Cerrada
Reducir carga	Cerrada	Abierta

Cualquier válvula puede usarse para controlar el dinamómetro. El abrir o cerrar la válvula de control de entrada afecta tanto la carga del dinamómetro y régimen de flujo de agua. El abrir o cerrar la válvula de salida no afecta normalmente el régimen de flujo de agua. Hay provistos 2 juego de controles de válvulas manuales para facilitar la prueba de transición.

En el modo de control automático (lazo-cerrado), la carga del dinamómetro es modulada con la válvula de control de entrada, mientras la válvula de control de salida es utilizada para regular el régimen de flujo de agua. El sistema de control está diseñado para proporcionar los siguientes modos automáticos.

(c) Tratamiento del Agua.- La torre de refrigeración para la mayoría de los plásticos fabricados con resistencia a la corrosión , son resistentes al tratamiento químico del agua, incluyendo los fungicidas y bactericidas comunes.

Siga las prácticas de tratamiento de agua apropiado, tal como se requiere y tome pruebas de muestras simples en forma frecuente para evitar la posible contaminación del agua. También recomendamos el mantenimiento del tratamiento de agua como una medida de protección para el medio ambiente en la vecindad de cualquier torre de refrigeración o de otro equipo abierto a la atmósfera

La purga también es importante para la calidad del agua, la evaporación del agua recirculada no saca los sólidos disueltos que están presentes en el agua Sin la purga, la formación continua de estos sólidos, impedirán el funcionamiento apropiado de la tubería y de otros equipos en el sistema.

Una línea de purga puede ser conectada en cualquier parte del sistema sin causar inconvenientes. Normalmente, es mas deseable hacer esta conexión en la línea de agua caliente en la torre de refrigeración. Se recomienda una válvula tipo petcock (gallo). Purgue normalmente de 1% a 2% del flujo de agua de recirculación, esto es satisfactorio.

**Carga de Calor:** Es la cantidad de calor que será extraída del agua circulante dentro de la torre. La carga de calor es igual al (valor) índice de circulación de agua (gpm), multiplicado por el rango de refrigeración, multiplicado por 500 y es expresada en Btu/hr. La carga de calor es también un parámetro importante en determinar el costo y tamaño de la torre.

**Ton:** Un ton de refrigeración evaporativa es 15,000 Btu/hr

**Temperatura Wet-Bulb:** Es la temperatura más baja que el agua teóricamente puede alcanzar por evaporación. La temperatura wet-bulb es un parámetro extremadamente importante en el diseño y selección de la torre y debe medirse por un sicrómetro.

- **Cabeza de Bombeo:** Es la presión requerida para bombear el agua desde el recipiente de la torre, a través de todo el sistema completo y regresar a la parte superior de la torre.
- **Make up:** Es la cantidad de agua requerida para reemplazar las pérdidas normales causadas por la purga, desviación y evaporación

**Purga:** Es el agua circulante en la torre que es descargada a desagüe para ayudar a mantener la concentración de los sólidos disueltos del agua por debajo de un límite máximo permisible. Como resultado de la evaporación, la concentración de sólidos disueltos continuará aumentando a menos que sea reducida por la purga.

## (7) Torres de Refrigeración

(a) Principios de las Torres de Refrigeración.- Todas las torres de refrigeración operan bajo el principio de extraer el calor del agua, evaporando una pequeña parte del agua la que es recirculada a través de la unidad.

El calor extraído es llamado calor latente de vaporización.

Cada libra de agua que es evaporada extrae aproximadamente 1,000 Btu en la forma de calor latente.

(b) Definiciones y Términos de la Torre de Refrigeración

**Btu:** Es la energía calorífica requerida para elevar la temperatura de 1 lb de agua 1°F, en el rango de 32°F a 212°F.

**Rango de Refrigeración:** Es la diferencia de temperatura entre el agua caliente que ingresa a la torre y el agua fría que sale de la torre.

**Aproximación:** La diferencia entre la temperatura de agua fría que deja la torre y la temperatura de bulbo mojado de aire es conocida como la aproximación. El establecimiento de la aproximación, fija la temperatura de operación de la torre y es un parámetro muy importante para la determinación del tamaño y costo de la torre.

**Desviación (drift):** Es agua atrapada en el flujo de aire y descargada a la atmósfera. La pérdida por desviación no incluye la pérdida de agua por evaporación. El diseño y operación apropiado de la torre pueden minimizar la pérdida por desviación.

## MODO DE CONTROL    SEÑAL DE RETROALIMENTACION

Velocidad constante	Velocidad (N)
Torque constante	Torque (T)

En los modos de control SEMI AUTO o AUTO, el valor deseado del proceso variable (velocidad torque) es regulada en el controlador de proceso. En SEMI AUTO, la válvula de salida es controlada manualmente; en AUTO la regulación de la válvula de salida es derivada a través de una función lineal del punto de regulación de torque (en el modo control de torque) o regulación de la palanca de potencia del motor (en el modo de control de velocidad).

El controlador compara continuamente el punto de regulación con la señal de retroalimentación desde el dinamómetro. En el caso de una desviación, el controlador produce una señal correctiva que abre o cierra la válvula de control de entrada, de acuerdo a la magnitud, polaridad, duración y tiempo de cambio de la desviación. La acción correctiva continua hasta que la desviación se vuelva cero y el punto de regulación coincida con la señal de retroalimentación.

En Control Remoto hay 3 switches selectores LOCAL-REMOTE en la parte delantera de la consola de control, para la operación del dinamómetro desde una computadora o programador remoto.

Las señales de entrada analógicas de 0-10 VDC son requeridas para la operación a control remoto en los siguientes elementos de control:

- \* Punto de regulación del controlador
- \* Válvula de control de entrada
- \* Válvula de control de salida

## PARTE ECONOMICA DEL PROYECTO

### **COSTO EQUIPOS NUEVOS**

1.- DINAMÓMETRO HIDRÁULICO KHAN	\$ 105,495.00
2.- CONJUNTO EJE Y VOLANTE	59,466.00
3.- EJE FLEXIBE PARA ACOPLAMIENTO DEL DINAMOMETRO	29,721.00
4.- SISTEMA DE CALIBRACIÓN	6,015.00
5.- SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO	39,888.00
6.- UNIDAD DE POTENCIA HIDRÁULICA	9,378.00
7.- SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA	80,885.00
8.- CARRO DE TRANSPORTE	3,650.00
9.- DUCTOS – SISTEMA DE REFRIGERACION	3,500.00
10.- BANCADA O BASE DEL DINAMOMETRO	5,950.00
11.- ASESORAMIENTO	8,000.00
12.- COSTO M.O.D.	4,000.00
	\$ 334,848.00

**COSTO OVERHAUL 01 MOTOR \$ 85,000.00**

### **COSTO OVERHAUL EN U.R.S.S**

Reparación 01 Motor	\$ 85,000.00
Gastos Transporte	\$ 15,000.00
Fletes y seguros, aduanas	total \$ 100,000.00

### **RECUPERACIÓN DE INVERSIÓN**

Costo de Proyecto	\$ 334,848.00
Costo Total de Reparación de un Motor en URSS	\$ 100,000.00
Recuperación	<b>CUARTO MOTOR</b>

De los datos obtenidos se demuestra que en el cuarto motor se recupera la inversión.

### CAPITULO 3.3

## PERFOMANCES DEL MOTOR AI-20D SERIE V Y FALLAS

### ENCONTRADAS

**1.1 PARAMETROS DE PRUEBA MINIMOS Y MÁXIMOS DEL MOTOR AI-20D SERIE V PARA EL CORRIDO EN BANCO TURBO HELICE**

REGIMEN	ANGULO DE GIRO DEL RUD POR EL LIMBO "KTA" "GRADOS"	VELOCIDAD		CONSUMO DE HORARIO DE COMBUSTIBLE (Kg/Hr) MAX.	TEMPERATURA DE LOS GASES DE ESCAPE °C MAX.	PRESION DE ACEITE Kg/cm <sup>2</sup>	TEMPERATURA DE ACEITE °C	TORQUE Kg/cm <sup>2</sup>	PRESION DE COMBUSTIBLE Kg/cm <sup>2</sup>	VIBRACION
		RPM	%							
MINIMO	0	10400 <sup>+200</sup> <sub>-50</sub>	85.5...82.5	360 <sup>±2</sup>	340 <sup>±1</sup>	4.0...5.5	65 ... 80	4 <sup>±0.5</sup>	12 <sup>±1</sup>	0.7 <sup>±0.5</sup>
CRUCERO	70 <sup>Max</sup>	12300 <sup>+90</sup>	95.5...96.2	890 <sup>±2</sup>	470 <sup>±1</sup>	4.0...5.5	65 ... 80	46 <sup>±0.5</sup>	47 <sup>±1</sup>	0.7 <sup>±0.5</sup>
NORMAL	79 <sup>±2</sup>	12300 <sup>90</sup>	95.5...96.2	1040 <sup>±2</sup>	400 <sup>±1</sup>	4.0...5.5	65 ... 80	53 <sup>±0.5</sup>	50 <sup>±1</sup>	0.7 <sup>±0.5</sup>
MAXIMUM	90 <sup>±2</sup>	12300 <sup>+90</sup>	95.5...96.2	1140 <sup>±2</sup>	550 <sup>±1</sup>	4.0...5.5	65 ... 80	59 <sup>±0.5</sup>	59 <sup>±1</sup>	±1.0
DECOLAJE	100 <sup>±2</sup>	12300 <sup>+90</sup>	95.5...96.2	1205 <sup>±2</sup>	600 <sup>±1</sup>	4.0...5.5	65 ... 80	69 <sup>±0.5</sup>	69 <sup>±1</sup>	±1.0

TEMPERATURA MAXIMA PERMISIBLE DE LOS GASES DE ESCAPE [°C]... 750 MAXIMUM

## 1.2 PARAMETROS OBTENIDOS DEL MOTOR AI-20D SERIE V DURANTE EL CORRIDO EN BANCO TURBO HELICE

(1) **MOTOR M1 N/S H28815D072R.**  
**NUMERO DE CICLOS : 2865**  
**1% = 128.85**

REGIMEN	ANGULO DE GIRO DEL RUD POR EL LIMBO "KTA" "GRADOS"	VELOCIDAD		CONSUMO DE HORARIO DE COMBUSTIBLE (Kg/Hr) MAX.	TEMPERATURA DE LOS GASES DE ESCAPE °C MAX.	PRESION DE ACEITE DE ACEITE Kg/cm <sup>2</sup>	TEMPERATURA DE ACEITE °C	TORQUE Kg/cm <sup>2</sup>	PRESION DE COMBUSTIBLE Kg/cm <sup>2</sup>	VIBRACION
		RPM	%							
MINIMO	0	10565.7	82 %	360	300	5.2	72	4	13	0
CRUCERO	70	1224.75	96.0%	880	405	5.4	72	50	46	1.2
NORMAL	80	12305.17	85.5%	960	450	5.2	72	58	52	1.1
MAXIMUM	90	12369.6	96%	1040	480	6	73	67	60	1.2
DECOLAJE	100	12369.6	96%	1120	520	5.2	73	74	68	1.2

(2) **MOTOR M2 N/S H28645D072R.**  
 NUMERO DE CICLOS : 2473  
 1% = 128.85

REGIMEN	ANGULO DE GIRO DEL RUD POR EL LIMBO "KTA" "GRADOS"	VELOCIDAD		TEMPERATURA DE LOS GASES DE ESCAPE °C MAX.	PRESION DE ACEITE DE ACEITE Kg/cm <sup>2</sup>	TEMPERATURA DE ACEITE °C	TORQUE Kg/cm <sup>2</sup>	PRESION DE COMBUSTIBLE Kg/cm <sup>2</sup>	VIBRACION
		RAM	%						
MINIMO	0	10565.7	82.0 %	280	4.8	68	3	10	0
CRUCERO	70	12176.32	94.5%	350	4.9	72	46	42	0.5
NORMAL	80	12305.17	96.5%	410	4.9	73	56	51	0.5
MAXIMUM	90	12343.83	95.8%	440	4.9	73	68	60	0.5
DECOLAJE	100	12369.6	96.0%	490	4.9	73	77	73	0.5

### **1.3 FALLAS ENCONTRADAS DURANTE EL CORRIDO DEL MOTOR AI-20D SERIE V EN BANCO TURBO HELICE**

Las Fallas de Funcionamiento de los Motores solamente pueden ser detectadas en Banco de Prueba, para el Motor AI20-D Serie V durante el corrido de performance se detectó lo Siguiente:

- 1.3.1 Fuga de aire por bridas posteriores del compresor durante el corrido.
- 1.3.2 Vibración en la zona de turbina, se aflojan los pernos, se abren las bridas, con esa condición cae la potencia, aumenta la temperatura de los gases de escape del motor.

## **CUARTA PARTE**

### **CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES**

## 1.1 CONCLUSIONES

- 1.1.1 En la Tesis dada se han presentado las principales direcciones de las investigaciones para solucionar las tareas de extensión de los tiempos de operación de los motores de aviación AI-20D Serie V, con la realización de trabajos adicionales en el SEMAN. (desarmado, análisis, cambio o recuperación de las unidades, armado, comprobación en el banco de prueba, etc.)
- 1.1.2 Todas las soluciones se han tomado de acuerdo a las exigencias de la documentación:
- De la FAP – Por parte de su doctrina, organización, normas, etc.
  - Técnica – Por parte de sus parámetros, adaptación, calibración, etc.
- 1.1.3 La experiencia obtenida durante la explotación de los motores AI-20D Serie V permite suficientemente aumentar su operatividad y de esta manera obtener la economía.
- 1.1.4 Durante los trabajos de adaptación del banco de prueba se han realizado:
- Comprobaciones y cálculos necesarios correspondientes a las particularidades del motor.
  - Desarrollo de la tecnología, de comprobaciones y calibraciones, etc.
- 1.1.5 Resultados prácticos obtenidos después de la reparación parcial garantiza la posibilidad y confiabilidad de los trabajos realizados en el SEMAN en los motores AI-20D Serie V con el objetivo de su operación hasta el cumplimiento de su recurso total.
- 1.1.6 Con el corrido de los motores en el banco de prueba permite descubrir y eliminar varias fallas que es imposible detectar en condiciones de explotación y de esta manera aumentar su seguridad.

- 1.1.7 El desarrollo de la experiencia en las investigaciones de los motores AI-20D Serie V en el futuro puede permitir pasar a un método más progresivo: La explotación por el estado técnico con cambio de unidades desconfiables.
- 1.1.8 Con la explotación según el estado técnico para unos motores se puede prolongar su tiempo de vida mayor que el recurso total y que permitirá obtener la economía adicional manteniendo las normas de seguridad.

## 1.2 RECOMENDACIONES

En función a las conclusiones obtenidas, se recomienda que:

- 1.2.1 El SEMAN deberá en el corto plazo implementarse con un banco de prueba adicional que simule las pruebas de operación conjunta motor básico – hélice, en vista que el sistema de paso alto, paso bajo, paso fijo, empuje (negativo) no se pueden comprobar durante el corrido del motor empleando el dinamómetro “KHAN”.
- 1.2.2 El SEMAN debe a mediano plazo encontrarse en capacidad de procesar motores de diversas Cías. de Latinoamérica que operan con este tipo de motor AI-20D Serie V que equipan los aviones AN-32, AN-32B.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1.- FUERZA AEREA DEL PERU ORDENANZA FAP 5-1  
"SISTEMA DE PUBLICACIONES DE LA FAP" ED. FAP LIMA, 1992
- 2.- FUERZA AEREA DEL PERU ORDENANZA FAP 5-4  
"FORMULACION Y TRÁMITE DE APROBACIÓN DE ORDENANZAS,  
MANUALES Y DIRECTIVAS FAP" ED. FAP. LIMA, 1994
- 3.- FUERZA AEREA DEL PERU ORDENANZA FAP 14-13  
"JUNTAS Y COMISIONES" ED. FAP. LIMA, 1990
- 4.- FUERZA AEREA DEL ORDENANZA FAP 20-47 "SERVICIO DE  
MANTENIMIENTO" ED. FAP. LIMA, 1965.
- 5.- FUERZA AEREA DEL PERU ORDENANZA FAP 20-69  
"SISTEMA DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA FAP" ED. FAP. LIMA, 1988.
- 6.- FUERZA AEREA DEL PERU ORDENANZA FAP 20-101  
"PRINCIPIOS, POLITICAS Y DISPOSICIONES DE ORGANIZACIÓN DE LA FAP."  
ED. FAP. LIMA, 1992
- 7.- FUERZA AEREA DEL PERU PROYECTO DE ORDENANZA FAP 20-52  
"SERVICIO DE 'O' " ED. FAP. LIMA, 1996.
- 8.- FUERZA AEREA DEL PERU MANUAL "DOCTRINA AEROESPACIAL Y DOCTRINA  
BÁSICA DE LA FAP" ED. FAP. LIMA, 1994.
- 9.- FUERZA AEREA DEL PERU DIRECTIVA COMOP 55-1  
"ENTRENAMIENTO DE LA UNIDADES AÉREAS" ED. FAP. LIMA, 1995 A 1997.

- 10.- FUERZA AEREA DEL PERU DIRECTIVA SEMAN I-1  
"PLANEAMIENTO EXTRATÉGICO DEL SERVICIO DE MANTENIMIENTO"ED. FAP.  
LIMA, 1997
- 11.- FUERZA AEREA DEL PERU PLANES ALAR2 55-1  
"ENTRENAMIENTO DE LA TRIPULACIONES AÉREAS"ED. FAP. LIMA, 1995 A 1997.
- 12.- FUERZA AEREA DEL PERU OFICIO N°1090 ED. SEMAN; LIMA, 1993.
- 13.- FUERZA AEREA DEL PARTES MENSUALES ED. GRUP8; LIMA,
- 14.- FUERZA AEREA DEL PERU DOCUMENTACIÓN DE BANCOS DE PRUEBA  
ED. SEMAN; LIMA, 1988 A 1997.
- 15.- CARDENAS GUILLEN MANUAL ESFAP M-CCEM-05 "METODICA FAP"  
ED. ES FAP; LIMA, 1989.
- 16.- ADMINISTRACION DE CIRCULAS CONSULTIVA N° 120-17A FEDERAL "CONTROL DE  
MANTENIMIENTO MEDIANTE MÉTODOS DE CONFIABILIDAD" ED. FAA.
- 17.- FUERZA AEREA NORMAS STAT. ED. EIA; ARGENTINA 1979. ARGENTINA
- 18.- FUERZA AEREA NORMAS FAR. ED. USAF; USA.
- 19.- FUERZA AEREA NORMAS MIL. ED. USAF; USA.
- 20.- FUERZA AEREA NORMAS MIL-STD-1843  
"MÉTODOS DE USA CONFIABILIDAD PARA MANTENIMIENTO DE AERONAVES,  
MOTORES Y EQUIPOS" ED. USAF; USA 1985.
- 21.- BAUMEISTER Y MARKS "MANUAL DEL INGENIERO MECÁNICO DE MARKS" ED.  
UTEHA; MÉXICO, 1980.
- 22.- MORING Y FAIRES "MANUAL DE TERMODINÁMICA"  
ED. UTEHA; ESPAÑA, 1980.
- 23.- CIA. ALLISON "MANUAL DE CARRIDO DE MOTORES 501-  
D22A" ED. ALLISON; USA, 1988.

- 24.- CIA. CLAYTON "MANUAL DE DINAMÓMETRO T-22-5000"  
ED. CLAYTON; USA, 1966.
- 25.- CIA. MOTOR SICH "MANUAL DE EXPLOTACIÓN AI-20D"  
ED. MOTOR SICH; UCRANIA, 1987.
- 26.- CIA. KAHN "MANUAL DE DINAMÓMETRO MODELO 061"  
ED. KAHN, USA, 1989.
- 27.- CIA. KAHN "MANUAL DE DINAMÓMETRO MODELO 302" 997.
- 28.- CIA. KAHN "CARTA NRO 204"  
ED. KAHN; USA, 1995.
- 29.- CIA. KAHN "CARTA NRO 213"  
ED. KAHN; USA, 1995.
- 30.- CIA. FROUDE CONSINE "CARTA NRO 143"  
ED. FROUDE; INGLATERRA, 1995.