



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“REPOTENCIACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS PARA LOS
INYECTORES DEL MOTOR PT6 A-68C DEL AVIÓN A-29B
SUPER TUCANO PERTENECIENTE AL GRUPO LOGÍSTICO No.
232 DE LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA”**

OCAÑA SÁNCHEZ CHRISTIAN FABRICIO
LÓPEZ VELASTEGUÍ DANIEL ALEJANDRO

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2018

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2018-08-02

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

OCAÑA SÁNCHEZ CHRISTIAN FABRICIO

Titulado:

**“REPOTENCIACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS PARA LOS INYECTORES
DEL MOTOR PT6 A-68C DEL AVIÓN A-29B SUPER TUCANO
PERTENECIENTE AL GRUPO LOGÍSTICO No. 232 DE LA FUERZA AÉREA
ECUATORIANA”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Santiago Alejandro López Ortiz
DIRECTOR

Ing. Juan Pablo Chuquín Vasco
MIEMBRO

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2018-08-02

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

LÓPEZ VELASTEGUÍ DANIEL ALEJANDRO

Titulado:

**“REPOTENCIACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS PARA LOS INYECTORES
DEL MOTOR PT6 A-68C DEL AVIÓN A-29B SUPER TUCANO
PERTENECIENTE AL GRUPO LOGÍSTICO No. 232 DE LA FUERZA AÉREA
ECUATORIANA”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Santiago Alejandro López Ortiz
DIRECTOR

Ing. Juan Pablo Chuquín Vasco
MIEMBRO

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: OCAÑA SÁNCHEZ CHRISTIAN FABRICIO

TÍTULO DE LA TESIS: “REPOTENCIACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS PARA LOS INYECTORES DEL MOTOR PT6 A-68C DEL AVIÓN A-29B SUPER TUCANO PERTENECIENTE AL GRUPO LOGÍSTICO No. 232 DE LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA”

Fecha de Examinación: 2018-08-02

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Santiago López. DIRECTOR DEL PROYECTO			
Ing. Juan Pablo Chuquín. MIEMBRO DEL PROYECTO			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: LÓPEZ VELASTEGUÍ DANIEL ALEJANDRO

TÍTULO DE LA TESIS: “REPOTENCIACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS PARA LOS INYECTORES DEL MOTOR PT6 A-68C DEL AVIÓN A-29B SUPER TUCANO PERTENECIENTE AL GRUPO LOGÍSTICO No. 232 DE LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA”

Fecha de Examinación: 2018-08-02

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Santiago López. DIRECTOR DEL PROYECTO			
Ing. Juan Pablo Chuquín. MIEMBRO DEL PROYECTO			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de Titulación que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Ocaña Sánchez Christian Fabricio

López Velasteguí Daniel Alejandro

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Christian Fabricio Ocaña Sánchez y Daniel Alejandro López Velasteguí, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Ocaña Sánchez Christian Fabricio

Cedula de Identidad: 180380499-4

López Velasteguí Daniel Alejandro

Cedula de Identidad: 180392807-4

DEDICATORIA

Principalmente dedico mi logro a Dios ya que sin él no hubiese podido iniciar, mucho menos culminar esta etapa de mi vida, que con su luz me guio y me dio fuerzas para seguir adelante.

A mis padres Luis Ocaña y María Sánchez por su invaluable y constante apoyo, quienes con tanto cuidado, sacrificio y abnegación, supieron encaminarme para cumplir esta meta; a mis hermanas Daniela y Vane por su cariño, motivación y apoyo incondicional.

A mis abuelitos, mis tías y primos por creer en mí y por estar presente cuando más los necesitaba, a todos mis amigos y docentes que me acompañaron en esta etapa de mi vida.

Christian Fabricio Ocaña Sánchez

El presente trabajo quiero dedicar a Dios, por brindarme la salud, sabiduría y paciencia, por haber puesto en mi camino aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante este trayecto.

A mis padres Jorge, Nelson, Yolanda y Carmita, por creer en mí, por sus valores que me ha permitido ser una persona de bien y su apoyo incondicional, a mis abuelitos Fausto y Olga que me guiaron y fueron fuente de inspiración, esto también se los debo a ustedes gracias papitos, mis hermanos Tatiana, Lorena y Cristian, por su apoyo, a mis sobrinos J, D, K que vean en mí un ejemplo a seguir los amo.

A todos mis amigos y docentes quienes sin su ayuda no lo hubiera podido hacer a todos ellos se los agradezco desde el fondo de mi alma.

Daniel Alejandro López Velasteguí

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por darnos la salud y vida, a nuestras familias por brindarnos todo el apoyo y confianza para ver culminada una meta más.

Nuestro agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Facultad de Mecánica, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por darnos la oportunidad de obtener una profesión, y ser un aporte para la sociedad; al Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, al Capitán Técnico de Aviación, Jefe del Área de Mecánica Aeronáutica y demás personal técnico militar quienes con su valioso aporte y cooperación contribuyeron a la culminación de esta Tesis.

Agradecemos al Ing. Santiago López, Director de Tesis; al Ing. Juan Pablo Chuquín Asesor de Tesis, por su ayuda y asesoramiento en este proyecto, quienes con su conocimiento y experiencia se logró elaborar el presente documento.

Los Autores

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Antecedentes	1
1.2	Planteamiento del problema.....	2
1.3	Justificación	2
1.3.1	<i>Justificación teórica</i>	2
1.3.2	<i>Justificación metodológica</i>	2
1.3.3	<i>Justificación práctica</i>	2
1.4	Objetivos	3
1.4.1	<i>Objetivo general</i>	3
1.4.2	<i>Objetivos específicos</i>	3
2	MARCO REFERENCIAL	4
2.1	Atomizadores de presión.....	4
2.1.1	<i>Clasificación de atomizadores de presión</i>	4
2.2	Motor turbohélice.....	8
2.2.1	<i>Etapas de funcionamiento del motor</i>	8
2.2.2	<i>Motor PT6 A-68C</i>	9
2.3	Combustible Jet A-1.....	9
2.3.1	<i>Propiedades del Jet A-1</i>	10
2.4	Sistema de combustión y componentes.....	11
2.5	Clasificación de inyectores de combustible	12
2.5.1	<i>Inyector simplex</i>	12
2.5.2	<i>Inyector dúplex</i>	13
2.5.2.1	<i>Inyector dúplex de un solo colector</i>	13
2.5.2.2	<i>Inyector dúplex de doble colector</i>	13
2.6	Funcionamiento de los inyectores del motor PT6.....	14
2.7	Procedimiento de inspección de inyectores según Pratt & Whitney.....	15
2.7.1	<i>Inspección visual</i>	15
2.7.2	<i>Limpieza</i>	15
2.7.3	<i>Prueba de pulverización</i>	15
2.8	Etapas de pulverización.....	16
2.9	Defectos de pulverización	17
2.10	Variables y tipos de inspección.....	18
2.11	Sistema de visión artificial	19
2.12	Descripción de los bloques del sistema de visión artificial.....	21
2.13	Descripción de los componentes del sistema de formación de imágenes	21
2.13.1	<i>Iluminación</i>	21
2.13.1.1	<i>Tipos de fuente de luz o iluminación</i>	22
2.13.1.2	<i>Técnicas de iluminación</i>	22
2.13.2	<i>Cámara</i>	24
2.13.2.1	<i>Cámaras analógicas</i>	24
2.13.2.2	<i>Cámaras digitales</i>	25
2.13.3	<i>Computador</i>	26
2.13.4	<i>Tarjeta de adquisición</i>	26
2.13.5	<i>Comunicaciones</i>	26

2.14	Sistema de procesamiento de imágenes	27
2.14.1	<i>Algoritmos de análisis de imagen</i>	27
2.14.2	<i>Filtros en el dominio espacial</i>	27
2.14.3	<i>Segmentación</i>	28
2.15	Visión artificial basada en pc	28
2.16	Imagen digital	29
2.16.1	<i>Propiedades de una imagen digital</i>	29
2.17	Tipos de imágenes.....	29
2.17.1	<i>Imágenes en escala de grises</i>	30
2.17.2	<i>Imágenes a color</i>	30
2.18	Conceptos básicos de sistemas de medición y control.....	31
2.18.1	<i>Instrumentos por el tipo de función</i>	31
2.18.2	<i>Instrumentos por el tipo de variable de proceso</i>	32
2.19	Repotenciación de maquinaria	33
2.19.1	<i>Procedimiento para la repotenciación</i>	33
3	ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL Y REPOTENCIACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS PARA INSPECCIÓN DE INYECTORES	35
3.1	Análisis del estado actual del equipo	36
3.1.1	<i>Descripción del banco de pruebas para inyectores</i>	36
3.1.2	<i>Evaluación del estado de los elementos del banco de pruebas</i>	38
3.1.3	<i>Funcionamiento del banco de pruebas</i>	40
3.1.4	<i>Inconvenientes en el funcionamiento del sistema</i>	40
3.2	Análisis para la repotenciación	42
3.3	Requerimientos para la repotenciación	42
3.3.1	<i>Rediseño del banco de pruebas como alternativa de repotenciación</i>	43
3.3.2	<i>Funcionamiento del nuevo sistema hidroneumático</i>	45
3.4	Descripción de los elementos que conforman el nuevo sistema	46
3.4.1	<i>Recipiente a presión</i>	46
3.4.2	<i>Manómetro</i>	47
3.4.3	<i>Presostato</i>	47
3.4.4	<i>Electroválvula</i>	47
3.4.5	<i>Válvula reguladora de presión</i>	48
3.4.6	<i>Válvula de seguridad</i>	48
3.4.7	<i>Válvula de paso tipo bola</i>	49
3.4.8	<i>Válvula anti retorno</i>	49
3.4.9	<i>Tablero de control</i>	49
3.4.10	<i>Tuberías y accesorios</i>	50
3.5	Selección de equipos e instrumentos.....	50
3.5.1	<i>Selección de manómetros</i>	50
3.5.2	<i>Selección del presostato</i>	51
3.5.3	<i>Selección de la válvula de alivio</i>	52
3.5.4	<i>Selección de la válvula reguladora de presión</i>	52
3.5.5	<i>Selección de las electroválvulas</i>	54
3.5.6	<i>Selección del filtro</i>	55
3.6	Selección de los componentes del sistema de visión artificial.....	56
3.6.1	<i>Selección de la cámara</i>	56
3.6.2	<i>DAQ 6218</i>	57

3.6.3	<i>Computador</i>	57
3.6.4	<i>Lámpara de iluminación</i>	58
3.6.5	<i>Elementos de apertura y cierre</i>	59
3.6.6	<i>Conexión eléctrica</i>	59
3.7	Esquema del sistema de potencia.....	59
3.8	Selección de elementos de control y tuberías.....	60
3.9	Diagrama hidráulico.....	61
3.10	Estructura del banco.....	61
3.10.1	<i>Materiales</i>	61
3.10.2	<i>Descripción de la estructura del banco de pruebas</i>	62
3.10.3	<i>Descripción de la cabina de inspección</i>	62
3.11	Montaje de equipos e instrumentos del banco de pruebas.....	63
3.11.1	<i>Montaje del inyector para las pruebas</i>	63
3.11.2	<i>Montaje de la cámara</i>	64
3.12	Interfaz en LabVIEW.....	65
3.13	Diagrama de bloque de LabVIEW.....	67
4	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y MANUALES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	68
4.1	Pruebas de funcionamiento.....	68
4.1.1	<i>Verificación del recipiente a presión</i>	68
4.1.2	<i>Verificación de conexiones hidráulicas</i>	68
4.1.3	<i>Verificación de conexiones eléctricas</i>	69
4.2	Prueba de pulverización en inyectores.....	69
4.2.1	<i>Inspección visual del cono de pulverización</i>	69
4.2.2	<i>Patrones de pulverización</i>	70
4.2.3	<i>Etapas de pulverización</i>	70
4.2.4	<i>Pruebas con inyector dúplex óptimo</i>	71
4.2.4.1	<i>Prueba a 20 psi línea primaria</i>	71
4.2.4.2	<i>Prueba a 60 psi línea primaria</i>	72
4.2.4.3	<i>Prueba a 30 psi línea secundaria</i>	72
4.2.4.4	<i>Prueba a 60 psi línea secundaria</i>	73
4.2.4.5	<i>Visualización del cono de pulverización con visión artificial</i>	73
4.2.5	<i>Pruebas con inyectores dúplex defectuosos</i>	74
4.2.5.1	<i>Visualización del cono de pulverización defectuoso con visión artificial</i>	75
4.2.6	<i>Prueba con inyector simplex</i>	75
4.3	Medición de los ángulos de pulverización.....	76
4.4	Manual de operación.....	77
4.5	Manual de mantenimiento.....	81
4.5.1	<i>Inspección externa e interna del equipo</i>	82
4.5.2	<i>Ajuste y calibración</i>	82
4.5.3	<i>Pruebas funcionales por partes y completas</i>	82
4.5.4	<i>Estructura metálica</i>	83
4.5.5	<i>Recipiente a presión</i>	83
4.5.6	<i>Tuberías y accesorios</i>	84
4.5.7	<i>Tablero de control</i>	84
4.6	Reemplazo o reparación de partes defectuosas.....	85
4.6.1	<i>Reparación válvula reguladora de presión</i>	85

4.6.2	<i>Reparación electroválvula</i>	86
4.6.3	<i>Reparación válvula seguridad</i>	88
4.7	Programa de mantenimiento del banco de pruebas para inyectores del motor PT6....	88
5	ANÁLISIS DE COSTOS	90
5.1	Análisis de costos.....	90
5.1.1	<i>Costos directos</i>	90
5.1.1.1	<i>Costo de accesorios y materiales</i>	90
5.1.1.2	<i>Costos de maquinaria y equipos utilizados</i>	92
5.1.1.3	<i>Costos de mano de obra</i>	92
5.1.2	<i>Costos indirectos</i>	93
5.1.3	<i>Costos totales</i>	93
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
6.1	Conclusiones	94
6.2	Recomendaciones.....	95

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

Tabla 1-2: Méritos relativos para atomizadores de presión	7
Tabla 2-2: Propiedades del combustible Jet A1	10
Tabla 3-2: Aplicaciones del sistema de visión artificial	20
Tabla 4-2: Ventajas y desventajas del uso de cámaras analógicas.....	25
Tabla 5-2: Ventajas y desventajas del uso de cámaras estándar paralelo	25
Tabla 6-2: Ventajas y desventajas del uso de estándar camera Link	25
Tabla 7-2: Ventajas y desventajas del uso de estándar IEE 1394	25
Tabla 1-3: Evaluación del estado de los principales componentes del banco.....	39
Tabla 2-3: Inconvenientes detectados en el proceso de inspección	41
Tabla 3-3: Identificación de las terminales de conexión para electroválvulas.....	60
Tabla 4-3: Características de la estructura general	62
Tabla 5-3: Menú de usuario	65
Tabla 6-3: Sección controles.....	66
Tabla 1-4: Toma de datos de los ángulos de aspersión.....	76
Tabla 2-4: Flujograma del procedimiento de operación del nuevo banco	81
Tabla 3-4: Problemas y soluciones aplicadas a la válvula reguladora de presión.....	86
Tabla 4-4: Problemas y soluciones que aplican a electroválvulas	86
Tabla 5-4: Programa de mantenimiento del banco de pruebas	89
Tabla 1-5: Costos de accesorios y materiales hidráulicos.....	90
Tabla 2-5: Costos de accesorios y materiales electrónicos	91
Tabla 3-5: Costos de maquinaria y equipos utilizados.....	92
Tabla 4-5: Costos de mano de obra.....	92
Tabla 5-5: Costos directos	92
Tabla 6-5: Costos indirectos	93
Tabla 7-5: Costos totales.....	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-2: Tipos de atomizadores de presión.....	4
Figura 2-2: Atomizador orificio plano.....	5
Figura 3-2: Atomizador simplex.....	5
Figura 4-2: Atomizador dúplex.....	6
Figura 5-2: Atomizador doble orificio.....	6
Figura 6-2: Partes del motor turbohélice	9
Figura 7-2: Motor PT6.....	9
Figura 8-2: Funcionamiento del divisor de flujo	12
Figura 9-2: Entrada de combustible por colector primario y secundario.....	12
Figura 10-2: Partes del inyector dúplex de un solo colector.....	13
Figura 11-2: Ingreso de combustible a un inyector dúplex de doble colector	14
Figura 12-2: Conexión de inyectores simplex con línea primaria y secundaria	14
Figura 13-2: Paso de combustible por inyector dúplex de doble colector	15
Figura 14-2: Esquema del sistema de inspección de inyectores con	16
Figura 15-2: Etapas de pulverización en inyectores	17
Figura 16-2: Defectos de pulverización.....	18
Figura 17-2: Pulverizaciones aceptables.....	18
Figura 18-2: Porcentaje máximo de aceptación en la pulverización	19
Figura 19-2: Aplicaciones de la visión artificial en la industria para control	20
Figura 20-2: Diagrama de bloque del sistema de visión artificial	21
Figura 21-2: Tipos de iluminación mediante a) fibra óptica.....	22
Figura 22-2: Técnica de retroiluminación	22
Figura 23-2: difusa axial.....	23
Figura 24-2: Luz estructurada.....	23
Figura 25-2: De campo oscuro.....	23
Figura 26-2: De campo brillante	24
Figura 27-2: Cenital difusa	24
Figura 28-2: Aplicación de filtro pasa altos.....	27
Figura 29-2: Aplicación de realce de bordes mediante Laplace	27
Figura 30-2: Aplicación de detección de bordes y.....	28
Figura 31-2: Aplicación de la segmentación basada en detección de bordes	28
Figura 32-2: Imagen con extracción de píxeles	29
Figura 33-2: Escala de grises	30
Figura 34-2: Modelo de imagen RGB y CMYK	31
Figura 35-2: Procedimiento de repotenciación	34
Figura 1-3: Flujograma de repotenciación.....	35
Figura 2-3: Partes del banco original de inspección.....	36
Figura 3-3: Banco de pruebas	40
Figura 4-3: Función principal del nuevo banco	43
Figura 5-3: Sub funciones del nuevo banco.....	43
Figura 6-3: Alternativa de rediseño del banco de pruebas.....	44
Figura 7-3: Diagrama P&ID del sistema hidroneumático	45
Figura 8-3: Banco de pruebas finalizado	46
Figura 9-3: Recipiente a presión	46
Figura 10-3: Manómetro.....	47
Figura 11-3: Presostato.....	47
Figura 12-3: Electroválvulas.....	48
Figura 13-3: Válvula.....	48
Figura 14-3: Válvula.....	48
Figura 15-3: Válvula de bola	49
Figura 16-3: Válvula check.....	49
Figura 17-3: Tablero de control	49
Figura 18-3: Tuberías y accesorios.....	50

Figura 19-3: Cámara analógica VIZ	56
Figura 20-3: DAQ 6218.....	57
Figura 21-3: Monitor/ computador	58
Figura 22-3: Sistema de iluminación	58
Figura 23-3: Módulo de relés.....	59
Figura 24-3: Esquema del sistema de potencia.....	59
Figura 25-3: Esquema hidráulico del nuevo sistema	61
Figura 26-3: Ensamble de componentes del sistema de distribución	61
Figura 27-3: Estructura general del banco	62
Figura 28-3: Montaje del inyector	63
Figura 29-3: Acoples boquilla-inyector	63
Figura 30-3: Indicador de punto	64
Figura 31-3: Soporte de la cámara.....	64
Figura 32-3: Diagrama de control de electroválvulas	67
Figura 1-4: Flujograma de pruebas de funcionamiento	68
Figura 2-4: Cono pulverizado, a) vista frontal, b) vista lateral, c) vista posterior	69
Figura 3-4: Comparación de imágenes reales con patrones de pulverizado	70
Figura 4-4: Comparación de imágenes reales con defectos de pulverización	70
Figura 5-4: Etapas de pulverizado	71
Figura 6-4: Medición del ángulo con inyector dúplex a 20 psi en línea primaria	72
Figura 7-4: Medición del ángulo con inyector dúplex a 60 psi en línea primaria	72
Figura 8-4: Medición del ángulo con inyector dúplex a 30 psi en línea secundaria.....	73
Figura 9-4: Medición del ángulo con inyector dúplex a 60 psi en línea secundaria.....	73
Figura 10-4: Visualización de contorno del.....	74
Figura 11-4: Defecto por goteo presente en inyector dúplex a 60 psi	74
Figura 12-4: Visualización de contorno del inyector.....	75
Figura 13-4: Pulverización inyector simplex.....	75
Figura 14-4: Reporte de resultado del programa BPI.....	76
Figura 15-4: Pruebas y tomas de datos en el CIDFAE	77
Figura 16-4: Inspección previa del banco.....	77
Figura 17-4: Suministro de combustible.....	78
Figura 18-4: Conexión de las líneas de alimentación	78
Figura 19-4: Activación de breakers.....	78
Figura 20-4: Encendido del computador	78
Figura 21-4: Montaje del inyector	79
Figura 22-4: Verificación de todo el sistema.....	79
Figura 23-4: Ejecución del software.....	79
Figura 24-4: Inserción de datos en la interfaz.....	80
Figura 25-4: Inspección del cono pulverizado.....	80
Figura 26-4: Finalización del proceso	80
Figura 27-4: Desconexión y drenaje de combustible.....	81

LISTA DE ABREVIATURAS

FAE	Fuerza Aérea Ecuatoriana
CIDFAE	Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana
SHP	Shaft Horse Power
CCD	Dispositivo de Carga Acoplada
CMOS	Semiconductor Complementario de Óxido Metálico
IMAQ	Adquisición de Imágenes
NI	National Instruments
ID	Identificación
EV	Electroválvula
PLC	Controlador Lógico Programable
RGB	Rojo Verde Azul
CMYK	Cian Magenta Amarillo Negro
NPT	Rosca Nacional de Tubos
VAC	Voltaje de Corriente Alterna
NC	Normalmente Cerrado
NA	Normalmente Abierto
ON	Encendido
OFF	Apagado
IP	Protocolo de Internet
GPH	Galones por Hora
USB	Bus de Comunicación Universal
VGA	Arreglo de Video Gráfico
AVI	Intercalación de Audio y Video
DAQ	Adquisición de Datos
AWG	Calibre de Alambre Americano
HMI	Interfaz Hombre Máquina
KVS	Coficiente de caudal
P&W	Pratt & Whitney
SVA	Sistema de Visión Artificial
BPI	Banco de Pruebas para Inyectores

LISTA DE ANEXOS

Anexo A	Ficha técnica del banco de pruebas
Anexo B	Selección del manómetro
Anexo C	Selección del presostato
Anexo D	Selección de la válvula de alivio
Anexo E	Selección de la válvula reguladora de presión
Anexo F	Selección de la electroválvula para combustible
Anexo G	Selección del filtro
Anexo H	Selección de accesorios
Anexo I	Diagrama P&ID del sistema hidroneumático
Anexo J	Esquema hidráulico del nuevo sistema

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como finalidad repotenciar un banco de pruebas para inyectores del motor PT6 A-68C del avión A-29B perteneciente al grupo Logístico N° 232 de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, buscando que de esta manera sea más funcional y versátil para quienes realizan las tareas de mantenimiento en los inyectores, para lo cual se desarrolló una evaluación del equipo existente como fase previa a la alternativa de repotenciación con mejoras consistentes en el diseño original del banco. Se comenzó con la recopilación de información acerca del motor PT6, funcionamiento, procedimiento de inspección en inyectores aeronáuticos, y visión artificial, se seleccionó equipos e instrumentos en base a parámetros y características que se ajustan al nuevo sistema hidroneumático, para la adquisición y automatización del proceso se utilizó la tarjeta DAQ USB NI 6218, su elección es principalmente por su fácil comunicación y conexión, además de poseer los puertos de entrada y salida para señales digitales necesarias para la ejecución del proyecto. Las conexiones hidroneumáticas están constituidas por neoprenos de acero inoxidable y mangueras de nitrilo mismas que son compatibles con el fluido de trabajo. Para la programación se utilizó el software Labview, el mismo que cuenta con licencia corporativa tanto de la Facultad de Mecánica como del Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, se desarrolló una interfaz que facilita el control del sistema de forma rápida, logrando de esta manera aumentar la efectividad en la inspección de inyectores con una amplia visualización del cono de pulverización. Se elaboró dos manuales uno de operación y el otro de mantenimiento para el nuevo banco, el primero para conocer los pasos a seguir antes durante y después de las pruebas, y el segundo manual para garantizar el buen funcionamiento y durabilidad de todo el equipo.

Palabras clave: <TECNOLOGÍAS Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <MECÁNICA>, <REPOTENCIACIÓN>, <INYECTORES AERONÁUTICOS>, <PULVERIZACIÓN>, <FUNCIONAMIENTO>, <MANTENIMIENTO>, <INSPECCIÓN>.

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La misión constitucional de las Fuerzas Armadas, y por ende de la Fuerza Aérea, es la defensa de la soberanía e integridad territorial, garantizar la paz y estabilidad ciudadana, es así que está consciente de que el desarrollo científico y tecnológico está basado en un personal calificado y comprometido. Por ello la FAE aprueba el 1 de enero del 2009 el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana “CIDFAE”, dotándole de una nueva estructura organizacional y misión que sea específicamente para realizar proyectos de tipo aeronáutico y aeroespacial, que además esté orientado al apoyo y al desarrollo del país.

Actualmente el CIDFAE se ha posicionado como un importante centro de desarrollo tecnológico de las Fuerzas Armadas, con capacidad de enfrentar mayores proyectos, en beneficio del mejoramiento de la capacidad operativa para la defensa, disminuyendo la dependencia tecnológica extranjera. Es así que con la incorporación de los modernos equipos A-29 Súper Tucano a la flota de aviones de ataque ligero de la FAE ha permitido que nuestro país recobre su capacidad operativa enfocada a cumplir las operaciones aéreas en la región amazónica y en nuestras fronteras. Estos aviones están diseñados para operar en los escenarios más complejos de combate, incluyendo la capacidad de empleo nocturno, uso de armas inteligentes y tecnología de enlace de datos. La flota aeronáutica está conformado por motores PT6 (Pratt & Whitney) de origen canadiense, es un motor turbohélice simple de pequeño tamaño y peso con una potencia de generación de 1.193 kW (1.600 SHP) (Fuerza Aérea Ecuatoriana, 2017).

El banco de pruebas para los inyectores del motor PT6 A-68C que actualmente da mantenimiento el Grupo Logístico No. 232, la orden técnica que manda el fabricante consiste en enviar Jet A1 a través de una cañería que maneja presiones en flujo primario de 20 y 60 psi, y en el flujo secundario de 30 y 60 psi, es decir probar la calidad de rociado del inyector cuatro veces consecutivas, por cada inyector; el motor PT-6 A-68C tiene 14 inyectores, lo que al final resulta probar 56 veces de forma manual el conjunto de inyectores. El banco de prueba requiere como entradas, presión neumática, y llenar en un reservorio aproximadamente 2.5 litros de combustible

Jet A1 para que pase por una válvula reguladora de presión y así el operario pueda regular las presiones anteriormente descritas una a la vez y de forma manual (Guijarro, y otros, 2015).

1.2 Planteamiento del problema

La inspección de los inyectores pertenecientes al motor PT6 A-68C se realiza de una manera visual y empírica, a través de un equipo que se utiliza dentro de las instalaciones de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, el nivel de experiencia del técnico influye mucho en la efectividad del proceso, convirtiéndose la inspección en un procedimiento tedioso, razón que puede generar efectos negativos en los resultados de la operación, además afectando al personal involucrado debido a que se encuentra expuesto directamente a la contaminación por contacto del combustible con la piel, ojos y nariz durante un tiempo aproximado de una jornada de trabajo, afectando notablemente su salud. Estos efectos negativos durante el proceso de inspección hacen que el taller de mantenimiento tenga una baja productividad y confiabilidad de los componentes, los mismos que provocan retrasos en las reparaciones de las aeronaves.

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación teórica

Para el desarrollo de este proyecto se basará en la investigación y recopilación bibliográfica a cerca de los tipos de inyectores aeronáuticos y repotenciación de equipos, con lo que se procederá a establecer soluciones concretas, con el fin de brindar mejores resultados en la pulverización y a su vez reducir el contacto directo con el técnico durante el proceso de inspección.

1.3.2 Justificación metodológica

La metodología de estudio se realizará mediante la evaluación del estado técnico actual del banco de pruebas y las condiciones de funcionamiento de los instrumentos previo a la fase de repotenciación, además del uso de herramientas tecnológicas y elementos mecánicos que permitirán alcanzar una mayor productividad.

1.3.3 Justificación práctica

La repotenciación ayudará a mejorar las condiciones y características del banco de pruebas en el proceso de inspección para inyectores, buscando de esta manera contar con un entorno práctico y funcional, logrando una mayor interpretación de los resultados obtenidos en cada práctica a realizarse.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Repotenciar el banco de pruebas para inyectores del motor PT6 A-68C del avión A 29B de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, basándose en procesos de repotenciación, selección de elementos y utilizando LabView para determinar parámetros estándares de inspección de acuerdo al manual de mantenimiento del fabricante.

1.4.2 Objetivos específicos

Recopilar información acerca del motor PT-6 mediante estudios bibliográficos para conocer el procedimiento de inspección en inyectores aeronáuticos.

Evaluar el estado actual del equipo mediante una inspección visual y analizar los requerimientos para mejorar el diseño existente.

Automatizar el banco de pruebas y utilizar un sistema de visión artificial para determinar el ángulo y patrones de pulverización según el manual de mantenimiento de Pratt & Whitney.

Realizar pruebas de funcionamiento en el nuevo banco, elaborar manuales de operación y mantenimiento mediante planes de control e inspección del equipo para prolongar su vida útil.

CAPÍTULO II

2 MARCO REFERENCIAL

2.1 Atomizadores de presión

Los atomizadores de presión dependen de la conversión de presión, en energía cinética para lograr una alta velocidad relativa entre el combustible y el aire o el gas circundante. Muchos de los atomizadores en uso general son de este tipo, incluyen boquillas de orificio plano, simple y doble orificio etc. Estos tipos de atomizadores de presión se discuten abajo (Lefebvre, et al., 2017).

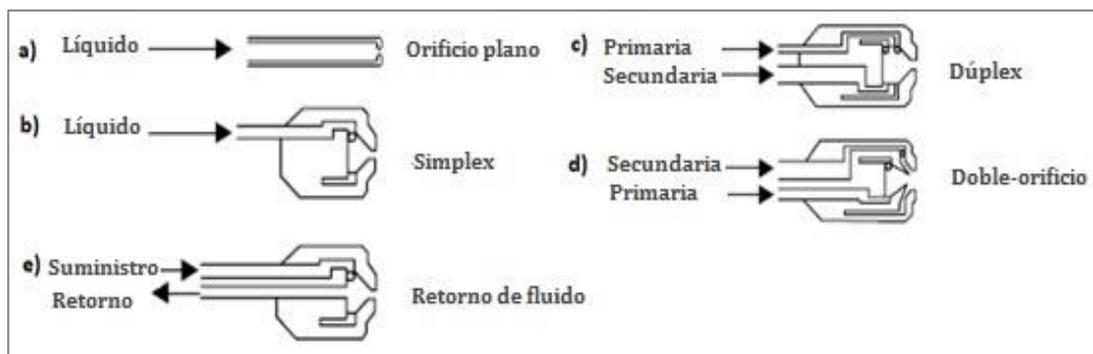


Figura 1-2: Tipos de atomizadores de presión

Fuente: (Lefebvre, et al., 2017)

2.1.1 Clasificación de atomizadores de presión

Atomizador de orificio plano. La atomización de un combustible de baja viscosidad se logra fácilmente pasando a través de un pequeño orificio circular, como se ilustra en la figura 2-1. Si la velocidad es baja, el líquido emerge como un lápiz delgado distorsionado, pero si la presión de líquido excede la presión del gas ambiental en aproximadamente 150 kPa, una alta velocidad forma un chorro de combustible, que se desintegra rápidamente en una pulverización bien atomizada. La desintegración del chorro es promovida por un aumento en la presión de inyección de combustible, que aumenta tanto el nivel de turbulencia en el chorro de combustible como la aerodinámica de fuerzas ejercidas por el medio circundante.

La aplicación más conocida de atomizadores de orificio plano es para posquemadores (sistemas de recalentamiento), turbo jets, estatorreactores, motores diésel y motores de cohetes (Lefebvre, et al., 2017)

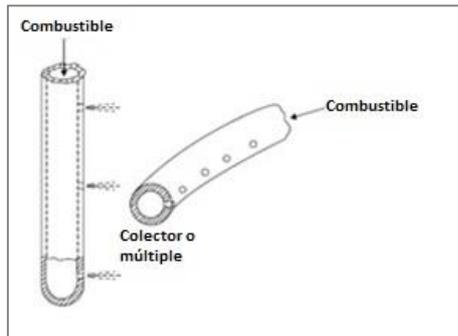


Figura 2-2: Atomizador orificio plano

Fuente: (Lefebvre, et al., 2010)

Atomizador simple. Un orificio de salida circular es precedido por una cámara de remolino en la que fluye el líquido a través de una serie de agujeros o ranuras tangenciales, como se ilustra en la figura 2-1b). El remolino líquido crea un núcleo de aire y gas que se extiende desde el orificio de descarga en la parte posterior de la cámara de remolino. El líquido sale del orificio de descarga como una hoja anular, que se extiende radialmente hacia afuera para formar un spray cónico hueco, el rango de pulverización va de 30 ° a casi 180 °, dependiendo de la aplicación. El rendimiento de la atomización es generalmente bueno por ende lo mejor de la atomización se produce a altas presiones de entrega (Lefebvre, et al., 2017).

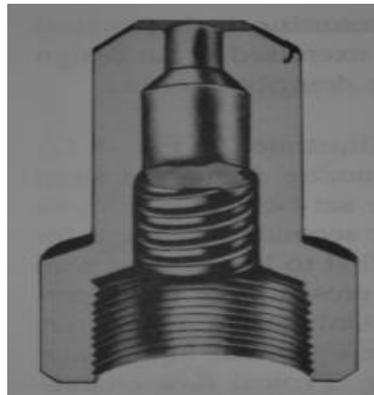


Figura 3-2: Atomizador simple

Fuente: (Lefebvre, et al., 2010)

Atomizador doble. La boquilla dúplex alimenta la cámara de remolino a través de dos ranuras de distribución, como se ilustra en la figura 2-1c), cada una con su propio suministro de líquido separado. Un juego de ranuras es mucho más pequeño en el área de la sección transversal que el otro, las ranuras pequeñas se denominan primarias y las ranuras grandes secundarias. A tasas de flujo bajo, todo el líquido fluye para ser atomizado en la cámara de remolino a través de las ranuras principales. A medida que aumenta la velocidad de flujo, la presión de inyección aumenta en

cierto nivel, permitiendo que una válvula de flujo se abra y admita líquido en la cámara de remolino a través de las ranuras secundarias. Las boquillas dúplex permiten una buena atomización en un rango de tasas de flujo de líquido de aproximadamente 40: 1 sin la necesidad de recurrir a presiones de entrega excesivamente altas. Además, el ángulo del cono de pulverización cambia con la tasa de flujo, siendo más amplio al menor índice de flujo y convirtiéndose más estrecho a medida que aumenta la velocidad de flujo (Lefebvre, y otros, 2017).

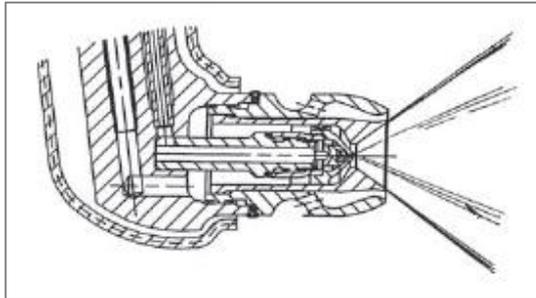


Figura 4-2: Atomizador dúplex

Fuente: (Lefebvre, et al., 2010)

Atomizador de doble orificio. Este es similar a la boquilla dúplex, excepto que se proporcionan dos cámaras de remolino separadas, una para el flujo primario y el otro para el flujo secundario, como se ilustra en la figura 2-1d). Las dos cámaras de remolino están alojadas concéntricamente dentro de un solo cuerpo para formar una boquilla dentro de otra boquilla. A tasas de flujo bajo el líquido pasa a través de la boquilla interna primaria, a altas velocidades de flujo el líquido continúa fluyendo a través de la boquilla principal, pero la mayor parte del líquido se pasa a través de la boquilla secundaria externa que está diseñada para caudal mucho más grande.

Las boquillas de doble orificio ofrecen más flexibilidad que las boquillas dúplex. Por ejemplo, si se desea el aerosol primario y secundario puede fusionarse justo en la boquilla para formar un solo spray. Alternativamente, el primario y las boquillas secundarias se pueden diseñar para producir diferentes ángulos de pulverización, el primero optimizado para bajos caudales y el último optimizado para caudales altos (Lefebvre, y otros, 2017).

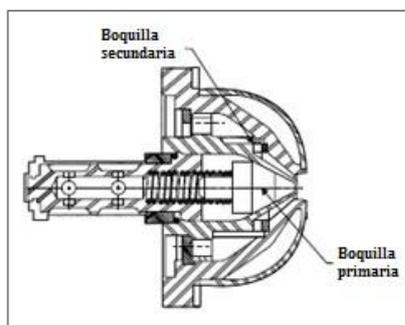


Figura 5-2: Atomizador doble orificio

Fuente: (Lefebvre, y otros, 2017)

Atomizador con retorno de fluido. Básicamente es un atomizador simplex, excepto que la pared posterior de la cámara de remolino en lugar de ser sólida contiene un pasaje a través del cual, el combustible que es excedente para los requisitos de combustión ingresa a la línea de retorno y regresa al tanque de combustible, como se muestra en la figura 2-1e). El principal atractivo de este sistema es que la presión de inyección de combustible siempre es alta, incluso a la más baja tasa de flujo de combustible, por lo tanto, la calidad de atomización es siempre excelente.

Otro atractivo es que incluyen la ausencia de partes móviles y debido a los pasajes de flujo están diseñados para manejar grandes flujos todo el tiempo, libres de "obstrucciones" por contaminantes en el combustible. Los principales inconvenientes del atomizador se dan por el sistema de derrames que requiere una bomba de mayor capacidad para manejar los grandes flujos de recirculación (Lefebvre, y otros, 2017).

Tabla 1-2: Méritos relativos para atomizadores de presión

Tipo	Clasificación	Ventajas	Desventajas	Aplicaciones
Atomizadores de presión	Orificio Plano	<ul style="list-style-type: none"> - Simple - Barato - Resistente 	<ul style="list-style-type: none"> - Ángulo de pulverización estrecho - Cono de pulverización sólido 	<ul style="list-style-type: none"> - Motores diésel - Motor jet de poscombustión - Estatorreactores
	Simplex	<ul style="list-style-type: none"> - Simple - Barato - Amplio ángulo de pulverización (hasta 180°) 	<ul style="list-style-type: none"> - Necesita altas presiones de suministro - El ángulo del cono varía con la presión diferencial y la densidad del gas ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> - Turbinas de gas - Hornos industriales
	Dúplex	<ul style="list-style-type: none"> - Igual que simplex - Mejor atomización sobre un muy amplio rango de tasas de flujo de líquido 	<ul style="list-style-type: none"> - El ángulo de pulverización disminuye a medida que aumenta la tasa de flujo del líquido 	<ul style="list-style-type: none"> - Combustores de turbina de gas
	Doble Orificio	<ul style="list-style-type: none"> - Buena atomización - Coeficiente de cobertura de 50: 1 - Ángulo de pulverización constante 	<ul style="list-style-type: none"> - Mala atomización en intervalos de transición - Complejidad de diseño - Susceptibilidad de los conductos pequeños al bloqueo 	<ul style="list-style-type: none"> - Amplia gama de aviones - Turbinas de gas industriales
	Retorno de fluido	<ul style="list-style-type: none"> - Buena atomización - Ratio de reducción muy grande - Agujeros y pasajes de flujo grandes 	<ul style="list-style-type: none"> - Ángulo de pulverización varía con el caudal - Los requisitos de energía mayor que con otras boquillas de presión excepto en descarga máxima 	<ul style="list-style-type: none"> - Varios tipos de combustores

Realizado por: Autores 2018

Fuente: (Lefebvre, y otros, 2017)

2.2 Motor turbohélice

Las turbinas convierten la energía cinética de un fluido en movimiento en energía mecánica mediante el movimiento del fluido hacia los rotores. Los gases calientes comprimidos salen del motor a alta velocidad, generando la fuerza o empuje en la hélice que mueve al avión hacia adelante (Repsol, 2000).

Este motor también conocido como turboeje tiene una hélice montada delante del reactor mismo que es propulsada por una segunda turbina o turbina libre que mueve el compresor (Pasión por volar, 2012).

Normalmente en la turbina se tiene exceso de potencia que se invierte en mover además del compresor, la hélice (utilizando reductores de revoluciones), pues la hélice trabaja a menores velocidades que la turbina. El rango de velocidades en que se utilizan motores turbohélices es en el subsónico bajo (hasta Mach= 0.6) que serían 400-500 km/h dependiendo de la altura (Ganado, 2014).

Las principales ventajas de un motor de turbohélice son:

- Potencias altas
- Menor uso de combustible que los turborreactores
- Mayor eficacia que los turborreactores

2.2.1 Etapas de funcionamiento del motor

Las turbinas poseen tres secciones, en las cuales cumplen con una función importante para su funcionamiento.

Sección de compresión. Introduce y comprime aire del ambiente y entrega aire comprimido a la sección de combustión.

Sección de combustión. El aire comprimido llega a la cámara de combustión donde se mezcla con el combustible. En esta sección se produce la combustión y los gases calientes que salen a través de una tobera.

Sección de la turbina. Los rotores están conectados al compresor por un eje. El empuje de los gases de combustión en movimiento contra los álabes del rotor mueve la turbina, y por consiguiente el compresor (Repsol, 2000).

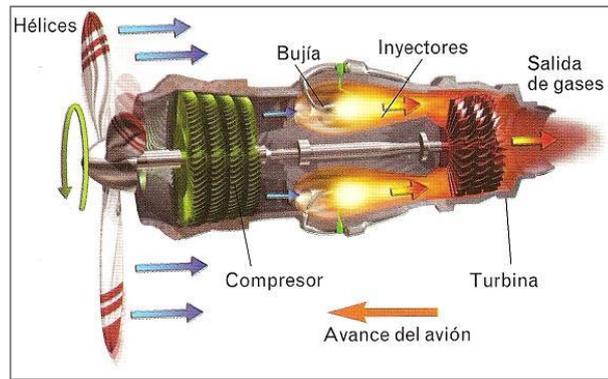


Figura 6-2: Partes del motor turbohélice

Fuente: (Ganado, 2014)

2.2.2 Motor PT6 A-68C

Es un motor aeronáutico de tipo turbohélice fabricado por la compañía Pratt & Whitney Canadá, este motor presenta como variante principal el PT6A, actualmente se dispone de varios modelos los mismos que dependen del rango de potencia que va desde 550 a 1 600 SHP (shaft horse power) y de la relación de compresión del compresor que varía desde 6.3:1 a 12.0:1. La compañía canadiense además de ser uno de los principales fabricantes de motores aeronáuticos también fabrica turbinas para la industria, turbinas marinas, motores para trenes y motores para cohetes.



Figura 7-2: Motor PT6

Fuente: (Pavez, et al., 2014)

La designación de un motor aeronáutico se interpreta de la siguiente manera:

PT6	Prefijo básico para la familia de aeromotores
A	Posee dos etapas de engranajes de reducción para la hélice
6, 20,60,etc	Números que son designaciones según el modelo

2.3 Combustible Jet A-1

Es el combustible que se utiliza en las turbinas de motores a reacción. Su nombre químico es el queroseno hidrodesulfurado el cual se obtiene de la destilación del crudo del petróleo, su función

principal es suministrar potencia al avión, siendo parámetro clave su contenido energético y la calidad de combustión (Repsol, 2000).

Tabla 2-2: Propiedades del combustible Jet A1

Fórmula química	$C_{11}H_{21}$
Punto de inflamabilidad	38°C
Temperatura de auto ignición	210°C
Punto de congelación	- 47°C
Temperatura de quemado en espacio abierto	260-315°C
Densidad a 15°C	0,804 kg/L
Energía específica	43,15 MJ/kg
Densidad de energía	34,7 MJ/L
Tensión superficial	0,02595 N/m
Viscosidad cinemática a 40 °C	1-2 cSt

Realizado por: Autores 2018

Fuente: (Repsol, 2000)

2.3.1 *Propiedades del Jet A-1*

Contenido energético. La turbina genera potencia mediante la conversión de la energía química en energía mecánica y calor (43,15 MJ/kg).

Características de combustión. En una turbina de avión, durante los procesos de combustión se forman prematuramente pequeñas partículas carbonosas. Estas partículas continúan quemándose a medida que pasan por la llama y se consumen totalmente, si estas partículas carbonosas no son completamente consumidas por la llama pueden impactar sobre los álabes de la turbina y sobre los estatores causando la erosión de los materiales.

Estabilidad. Existen factores que pueden deteriorar la calidad del combustible: el tiempo (estabilidad al almacenaje) y exposición del Jet A-1 a altas temperaturas en el motor (estabilidad térmica).

Lubricidad. Las turbinas de avión están diseñadas para trabajar con Jet A-1 dentro de un rango de viscosidad, en el cual el combustible provee una adecuada lubricación hidrodinámica.

Viscosidad. El combustible se inyecta a alta presión dentro de la cámara de combustión de la turbina a través de los inyectores. Allí el combustible líquido se transforma en gotas muy pequeñas en forma de spray, que se evaporan rápidamente al mezclarse con el aire. El tamaño de gota está influenciado por la viscosidad del combustible (1-2 cSt) a 40 °C. Si ésta es muy alta, el motor puede tener dificultades de reencendido en vuelo.

Punto de congelación. El principio básico del combustible para su normal funcionamiento es su bombeabilidad, que es la habilidad que posee el combustible para ser movido desde el tanque hasta la turbina. El combustible generalmente permanece bombeable de 4 °C a 15 °C por debajo de su punto de congelación (-47°C).

Corrosión. El combustible no debe corroer los materiales con los que está en contacto durante su distribución. El Jet A-1 contiene compuestos potencialmente corrosivos aunque limitados por las especificaciones.

Limpieza. Un combustible limpio implica estar libre de partículas sólidas y de agua. Las partículas, como suciedad, óxidos, etc., pueden obstruir filtros y aumentar el desgaste en la bomba de combustible. El agua, además de no quemar, se congela a elevadas altitudes con la consiguiente formación de hielo y el riesgo de bloquear el sistema de flujo de combustible, además puede facilitar la corrosión de algunos metales (Repsol, 2000).

2.4 Sistema de combustión y componentes

Es el encargado de suministrar al motor combustible limpio a la presión y flujo necesario para permitir el control de la potencia del motor (Pratt & Whitney, 2002).

Los principales componentes del sistema de combustión en el motor PT-6 son:

- Calentador de combustible
- Bomba de combustible
- Unidad de control de combustible
- Divisor de flujo
- Inyectores de combustible
- Válvulas de drenaje de combustible. (Pratt & Whitney, 2002)

Divisor de flujo. Es el componente que tiene como propósito dividir en dos trayectorias, primaria y secundaria el flujo de combustible entrante es decir cuando se aplica presión de combustible al divisor de flujo durante la secuencia de arranque, éste empuja la válvula primaria y los resortes hacia la derecha abriendo el paso al múltiple primario. A medida que el motor se acelera y la presión del combustible aumenta en el divisor de flujo, la válvula secundaria se desplaza a la derecha y presuriza el múltiple secundario. (Pratt & Whitney, 2002)

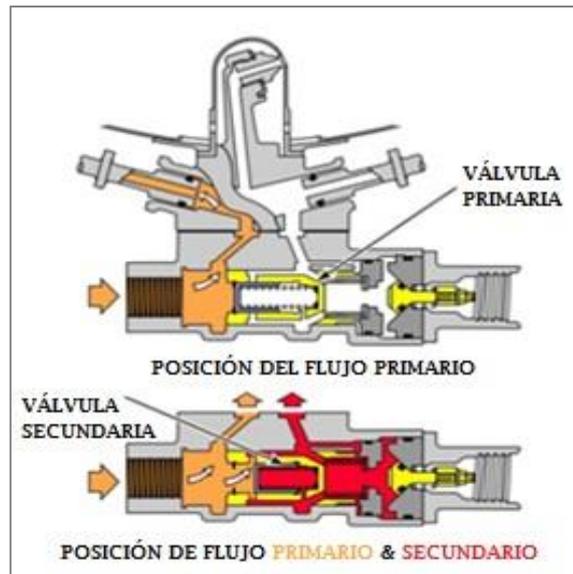


Figura 8-2: Funcionamiento del divisor de flujo

Fuente: (Pratt & Whitney, 2002)

Inyectores de combustible. Los inyectores cumplen la función de distribuir o descargar el combustible en la cámara de combustión en forma de atomización.

2.5 Clasificación de inyectores de combustible

Los inyectores del motor PT6 se clasifican en dos tipos:

- Simplex
- Dúplex

2.5.1 Inyector simplex

Tiene un solo orificio, donde el combustible sale pulverizado en pequeñas gotas muy finas formando un cono. Las desventajas de este tipo es la mala atomización a baja presión ya que están diseñados para ser eficaces cuando se trabaja a altas presiones.

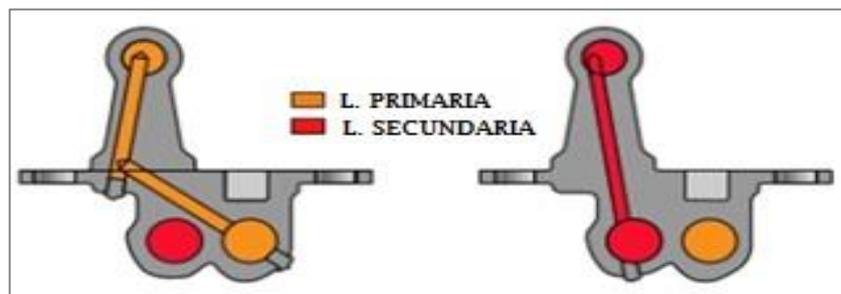


Figura 9-2: Entrada de combustible por colector primario y secundario en inyector simplex

Fuente: (Pratt & Whitney, 2002)

2.5.2 *inyector dúplex*

Este inyector, se clasifican según el tipo de colector.

2.5.2.1 *inyector dúplex de un solo colector*

Posee una válvula divisora de flujo que permite al combustible pulverizar desde un orificio central primario en un espectro amplio de pulverización para el arranque de la aeronave. El aumento de presión hace abrir el divisor de flujo de tal manera que el combustible fluye por el orificio secundario. El incremento de volumen del combustible secundario y la alta presión a la que sale del inyector estrechan el espectro de pulverización (Rivas, 2003).

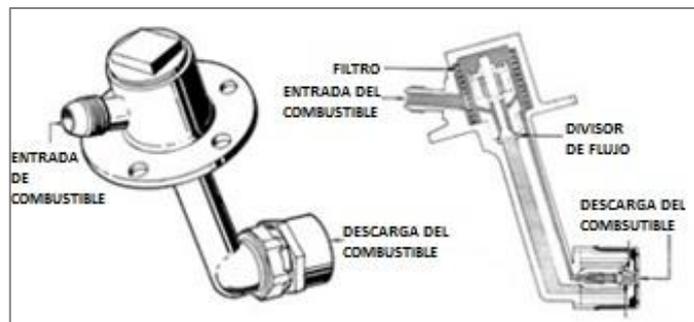


Figura 10-2: Partes del inyector dúplex de un solo colector

Fuente: (Rivas, 2003)

2.5.2.2 *inyector dúplex de doble colector*

Posee dos líneas de flujo independiente primario y secundario, por las cuales fluye el combustible. Cuando el motor está arrancando, el combustible procedente de la unidad de control de combustible incrementa la presión lo suficiente para abrir la válvula hacia el colector primario de combustible. Este combustible fluye dentro del inyector y se pulveriza a través del orificio de descarga primario en un espectro de pulverización ancho. Cuando el motor acelera y la presión del combustible procedente de la unidad de control de combustible aumenta, la válvula de presurización cargada con muelle se abre más y permite que el combustible también fluya a través del colector de combustible secundario dentro del inyector y salga a través del orificio de descarga secundario, este orificio rodea al orificio primario. En este tipo de inyectores el combustible que fluye por la línea primaria es pulverizado a través de un orificio en el centro del inyector mientras que por la línea secundaria es pulverizado a través de una serie de orificios que rodean concéntricamente al orificio central. (Rivas, 2003)

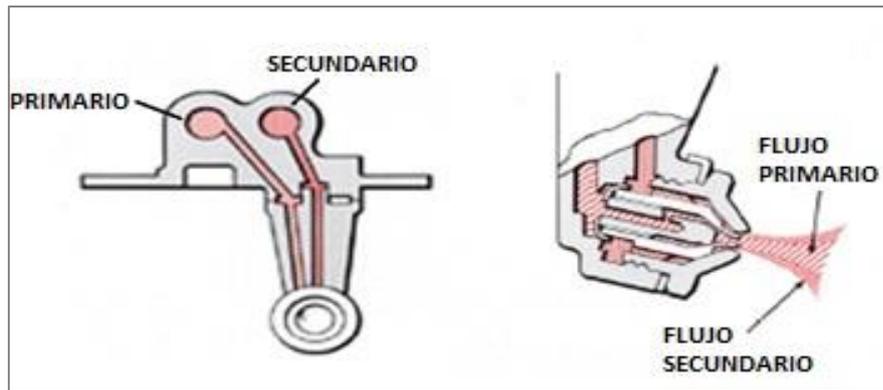


Figura 11-2: Ingreso de combustible a un inyector dúplex de doble colector

Fuente: (United Turbine)

2.6 Funcionamiento de los inyectores del motor PT6

Al arrancar el motor, el divisor de flujo envía combustible al múltiple primario para conseguir mejores características de arranque en motores equipados con inyectores de tipo simplex los múltiples primarios envían combustibles a los inyectores de combustible primario dispuestos con 10 o 4 inyectores. La posición de dichos inyectores permite que el combustible sea pulverizado en círculo a las bujías de chispa para facilitar la ignición.

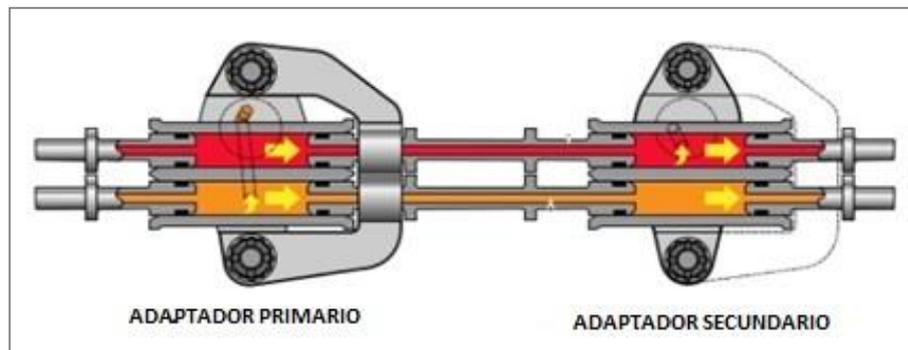


Figura 12-2: Conexión de inyectores simplex con línea primaria y secundaria

Fuente: (Pratt & Whitney, 2002)

Algunos PT6 están equipados con inyectores de combustión tipo dúplex cada inyector está conectado a los colectores primario y secundario, al arrancar los 14 inyectores envían combustible a través de sus orificios primarios, a la cámara de combustión. Un aumento de la N_g o N_1 (revoluciones del compresor) provoca un aumento de la presión del combustible y hacen que los inyectores de combustible múltiple secundario pulvericen el combustible en la cámara de combustión.

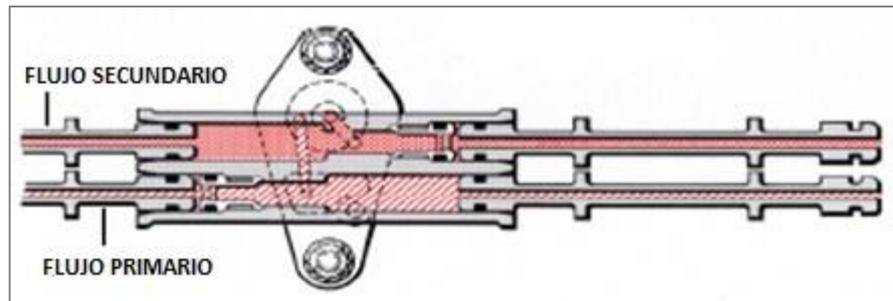


Figura 13-2: Paso de combustible por inyector dúplex de doble colector

Fuente: (United Turbine)

2.7 Procedimiento de inspección de inyectores según Pratt & Whitney

En el mantenimiento aeronáutico la inspección de sistemas, equipos y componentes permite detectar fallas o averías, las mismas que se aplica el debido mantenimiento preventivo o correctivo.

De acuerdo con (Pratt & Whitney , 2003), para un correcto mantenimiento de los inyectores de combustible se debe tomar en cuenta los siguientes procesos:

- Inspección visual
- Limpieza
- Prueba de pulverización

Para obtener el mantenimiento correcto de los inyectores se debe seguir con las instrucciones del manual de mantenimiento PT6.

2.7.1 *Inspección visual*

Después de retirar los inyectores, realizar una inspección visual rápida donde se debe verificar que la punta no presente daños visibles además observar la forma básica del cono una vez pulverizado (AviationPros, 2011).

2.7.2 *Limpieza*

Se realiza con ultrasonido de acuerdo al manual de mantenimiento, la limpieza incorrecta puede causar daños en los inyectores o puntas (AviationPros, 2011).

2.7.3 *Prueba de pulverización*

Básicamente, los inyectores de combustible se prueban a dos presiones diferentes. En la presión más baja, se busca la forma básica del patrón de pulverización, a mayor presión, podrá inspeccionar los defectos en el patrón de pulverización (AviationPros, 2011).

Según el manual (Pratt & Whitney , 2003) para reducir los tiempos de verificación se recomienda aplicar las siguientes mejoras:

- Adquirir una máquina de ultrasonido más grande.
- La fase más crítica durante la inspección es la verificación manual, en la cual se puede realizar un sistema de inspección basado en visión artificial, que a través de un sistema automatizado mejore drásticamente los tiempos y no dependa de la disponibilidad de técnicos con un alto nivel de pericia.

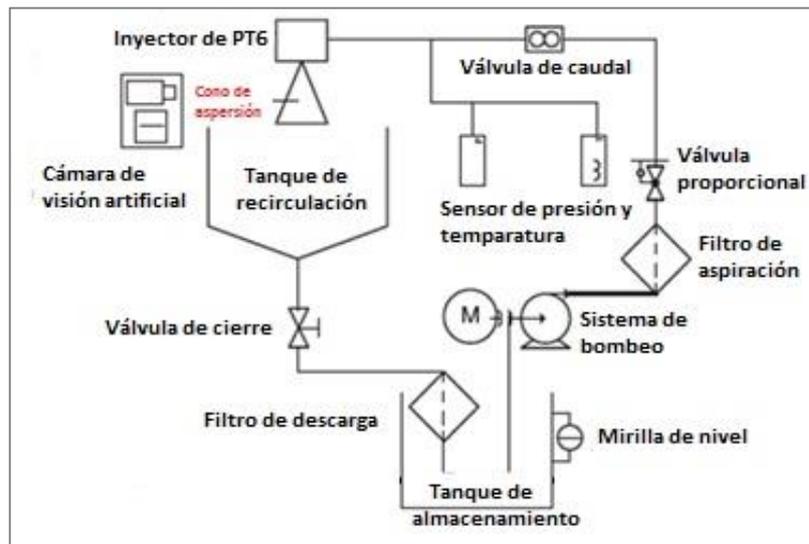


Figura 14-2: Esquema del sistema de inspección de inyectores con visión artificial

Fuente: (Pratt & Whitney , 2003)

2.8 Etapas de pulverización

El desarrollo del spray debe pasar por varias etapas a medida que la presión de inyección del combustible se incrementa desde cero.

Etapas de goteo. Esta etapa comienza con el goteo de combustible desde el orificio.

Lápiz distorsionado. El combustible sale como un lápiz delgado distorsionado.

Etapas de cebolla. Se forma un cono en el orificio, se contrae por fuerzas de tensión superficial en una burbuja cerrada. Esto se conoce como la etapa de "cebolla".

Etapas de tulipán. La burbuja se abre en forma de "tulipán" hueco, que termina en un borde desigual, donde el combustible se desintegra en gotas bastante grandes.

Atomización completa. La superficie curva se endereza para formar una hoja cónica. Como la hoja se expande, su espesor disminuye, y pronto se vuelve inestable y se desintegra en ligamentos y luego cae en forma de un bien definido spray de cono hueco (Lefebvre, et al., 2017).

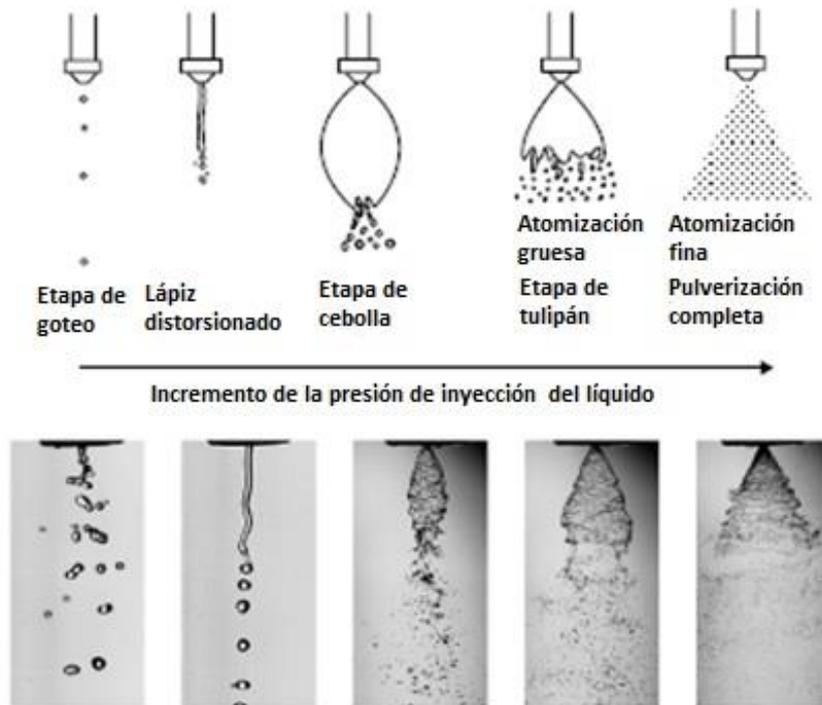


Figura 15-2: Etapas de pulverización en inyectores

Fuente: (Lefebvre, y otros, 2017)

2.9 Defectos de pulverización

A continuación se describe los posibles defectos de pulverización presentes en la inspección de inyectores de combustible.

Streakiness (rayas). Variación en la cantidad de pulverización entre las diferentes partes del cono de pulverización y que aparece en forma de rayas más claras o más oscuras en spray.

Void (vacíos). Área de pulverización de combustible que muestra discontinuidad en el flujo de combustible.

Skewness (asimétrico). La pulverización no está centrada, o no es uniforme alrededor del cono de pulverización.

Drooling (goteo). Formación de grandes gotas de combustible no atomizado en la cara del inyector.

Spitting (salpicar). Existe cuando se producen grandes cantidades de combustible no atomizado intermitentemente y generalmente en el exterior del cono de pulverización (AviationPros, 2011).

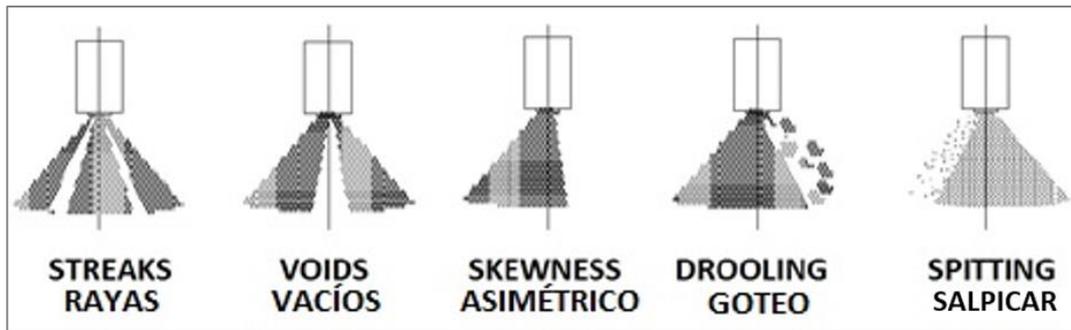


Figura 16-2: Defectos de pulverización

Fuente: (Pratt & Whitney, 2002)

El manual de mantenimiento brinda límites para cada uno de los defectos. A continuación se muestran algunas pulverizaciones aceptables de acuerdo con Pratt & Whitney Canadá.

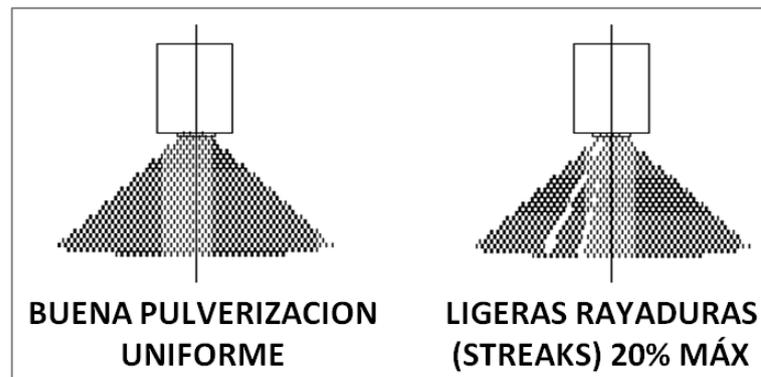


Figura 17-2: Pulverizaciones aceptables

Fuente: (Pratt & Whitney, 2002)

Para algunos defectos, la limpieza adicional (ya sea con un cepillo u otra ronda de limpieza con ultrasonido) puede resolver el problema, algunos defectos como rayas y vacíos pueden ser difíciles de identificar para el ojo no entrenado. Después de pulverizar con éxito los inyectores, no se debe tocar la punta del inyector debido a que los aceites en la piel afectarán negativamente el patrón de pulverización (AviationPros, 2011).

2.10 Variables y tipos de inspección

Las variables que se analizan en la inspección, permiten determinar el estado y el correcto funcionamiento del inyector, estos son:

- Ángulo de aspersión
- Aristas
- Presión del combustible

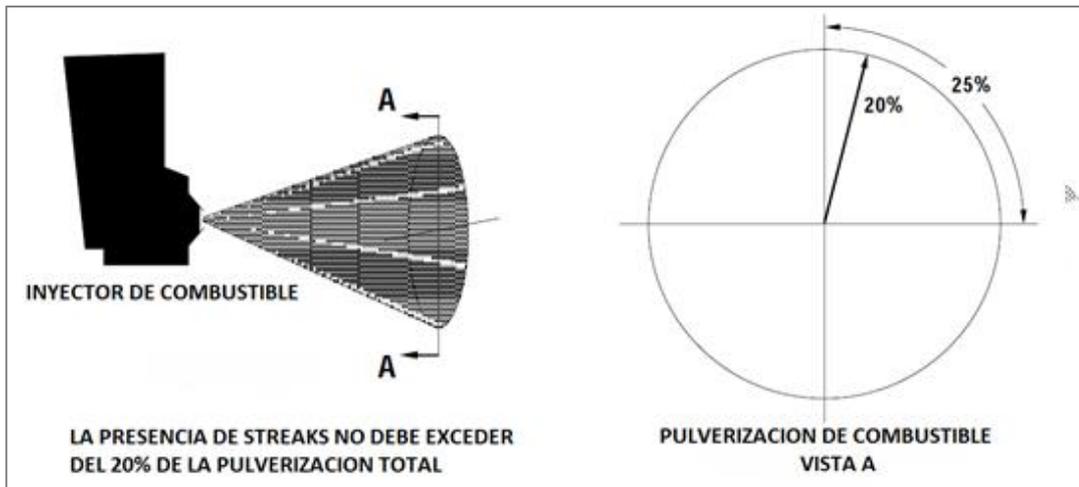


Figura 18-2: Porcentaje máximo de aceptación en la pulverización

Fuente: (Pratt & Whitney, 2002)

En la actualidad la inspección de inyectores son realizadas de dos formas:

1. La inspección es realizada por el técnico en mantenimiento de manera visual. La duración depende directamente del nivel de pericia del técnico, afectando directamente los tiempos y la disponibilidad de estos elementos en las aeronaves (Pratt & Whitney , 2003).
2. Los inyectores son enviados a casas fabricantes del motor, debido a que no se tiene equipos disponibles en talleres de mantenimiento.

2.11 Sistema de visión artificial

La visión artificial ayuda a resolver labores industriales en forma más confiable, con esta tecnología se puede realizar inspecciones, detectar defectos así como imperfecciones funcionales y otras irregularidades presenten en elementos o en procesos industriales.

Según (Platero, 2008) los pilares fundamentales del sistema de visión artificial son: el sistema de formación de imágenes y el sistema de procesamiento. El primero está constituido por el subsistema de iluminación, de captación de imagen y de adquisición de la señal en el computador. Una vez introducida la señal en el computador, esta es procesada mediante los algoritmos para transformarla en información de alto nivel, dichos sistemas serán detallados más adelante.

Características principales en un sistema de visión artificial

- Detecta formas y bordes
- Actúan sin contacto directo con el objeto (no deforman el material)
- Analiza objetos en movimiento

- Son automáticos (alta velocidad de procesamiento)
- Basados en software

Ventajas de la visión artificial aplicados en los diferentes campos de la industria

- Automatizar tareas repetitivas de inspección realizadas por operadores
- Realizar controles de calidad de productos que no era posible verificar por métodos tradicionales
- Realizar inspecciones de objetos sin contacto físico
- Realizar la inspección del 100% de la producción (calidad total) a gran velocidad
- Reducir el tiempo de ciclo en procesos automatizados
- Eliminar la contaminación humana y proteger a las personas frente a entornos peligrosos

Tabla 3-2: Aplicaciones del sistema de visión artificial

Área de producción	Aplicación
Control de calidad	<ul style="list-style-type: none"> - Inspección de productos - Identificación de piezas - Etiquetados (fechas de caducidad)
Robótica	<ul style="list-style-type: none"> - Control de soldadura
Astronomía	<ul style="list-style-type: none"> - Exploración de campo
Control de tráfico	<ul style="list-style-type: none"> - Matrículas de vehículos
Militares	<ul style="list-style-type: none"> - Seguimiento de objetivos - Vigilancia satelital

Realizado por: Autores 2018

Fuente: (Platero, 2008)

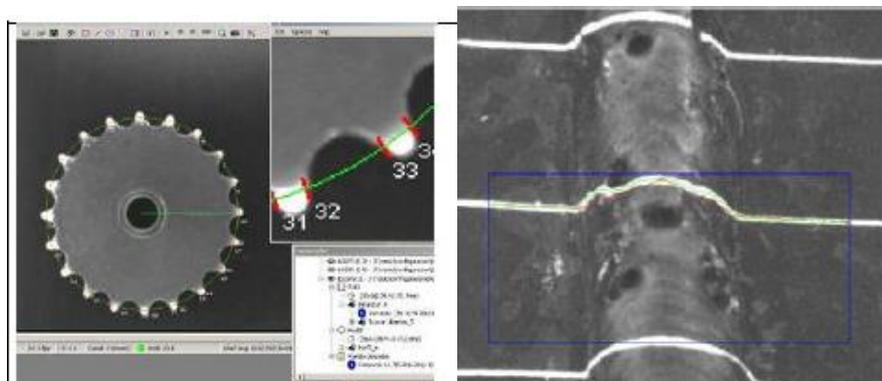


Figura 19-2: Aplicaciones de la visión artificial en la industria para control de calidad

Fuente: (Ministerio de educación de España, 2012)

2.12 Descripción de los bloques del sistema de visión artificial

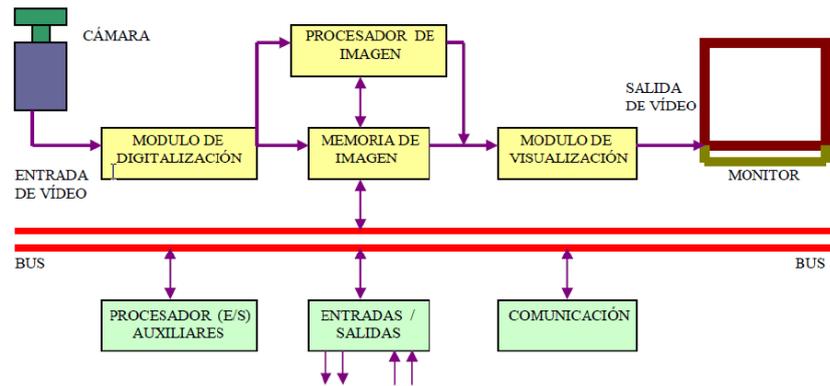


Figura 20-2: Diagrama de bloque del sistema de visión artificial

Fuente: (Ministerio de educación de España, 2012)

Módulo de digitalización. Este módulo tiene la función de convertir la señal analógica que proporciona la cámara a una señal digital, este resultado sirve para un procesamiento posterior.

Memoria de imagen. Lugar donde se almacena la señal procedente del módulo de digitalización.

Módulo de visualización. Convierte la señal digital en memoria.

Procesador de imagen. Módulo encargado de procesar e interpretar las imágenes tomadas o captadas por la cámara.

Módulo de entradas/salidas. Permite la sincronización entre la entrada (imagen captada) y las salidas de control (dispositivos externos).

Comunicaciones. Se realiza mediante vía in/out, ethernet, etc.

2.13 Descripción de los componentes del sistema de formación de imágenes

Los principales componentes del sistema de formación de imágenes son: iluminación, cámara, computador, tarjeta de adquisición y comunicaciones.

2.13.1 Iluminación

Ilumina el objeto a ser inspeccionado, además permite una visión más clara de la cámara convirtiéndose en una de las partes más importantes del sistema de visión. Una correcta iluminación depende de la fuente de luz y su posición con respecto a la pieza y la cámara. Algunas de las consideraciones para una buena iluminación son:

- Intensidad de luz
- Superficie a iluminar

- Reflectividad del objeto
- Tipo de cámara a implementar

2.13.1.1 Tipos de fuente de luz o iluminación

Iluminación por fibra óptica. Proporcionan gran intensidad de luz uniforme, ideal para iluminar objetos pequeños. Pueden ser del tipo circular y semirrígido.

Iluminación fluorescente. Presentan varios tipos como anulares, lineales y de panel, proporciona una luz brillante, sin sombras. Se utilizan en lugares donde se requiere mucha luz y no existan sombras (inspección, ensamblaje, visión industrial, laboratorios, control de calidad y robótica).

Iluminación mediante diodos led. Presentan una luz difusa muy útil para la aplicación en ciertos objetos. Pueden ser de iluminación directa y en anillo.

Iluminación mediante láser. Son utilizados para aplicaciones de medida de profundidad, y de superficies irregulares.

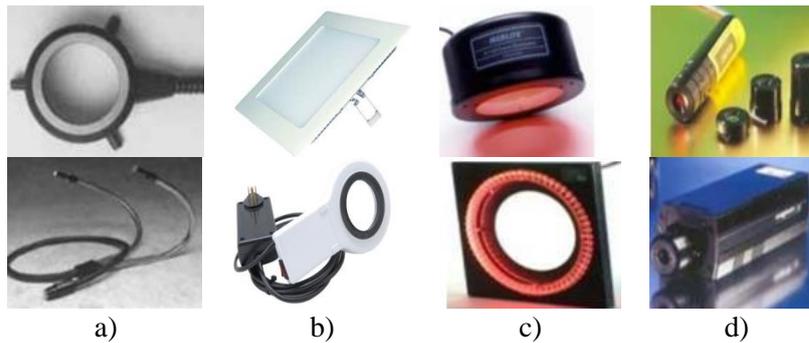


Figura 21-2: Tipos de iluminación mediante a) fibra óptica b) fluorescente c) diodos leds d) laser

Fuente: (Ministerio de educación de España, 2012)

2.13.1.2 Técnicas de iluminación

Retroiluminación. Esta técnica ayuda a mejorar, detectar las formas y bordes de un objeto, haciendo más fiables las medidas externas (Cognex, 2016).

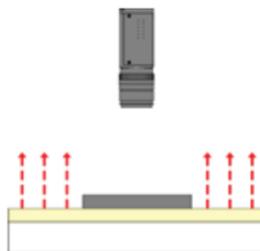


Figura 22-2: Técnica de retroiluminación

Fuente: (Cognex, 2016)

Iluminación difusa axial. La iluminación difusa axial corta la luz en la trayectoria óptica desde el lateral (coaxialmente). Un espejo semitransparente iluminado desde el lateral proyecta la luz hacia abajo sobre la pieza. La pieza refleja la luz hacia la cámara a través del espejo semitransparente, con el resultado de una imagen homogénea e iluminada uniformemente (Cognex, 2016).

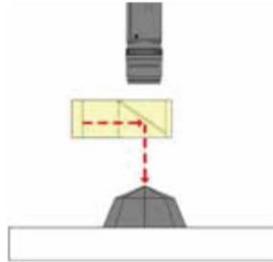


Figura 23-2: difusa axial

Fuente: (Cognex, 2016)

Luz estructurada. Es la proyección de un patrón de luz (rejilla o plano) en un ángulo conocido sobre el objeto. Esta técnica se utiliza en inspecciones superficiales, adquirir información dimensional y cálculo de volúmenes (Cognex, 2016).

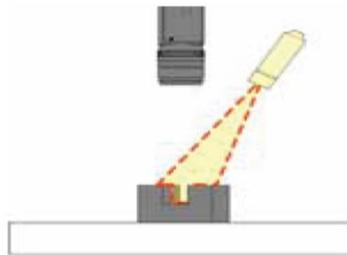


Figura 24-2: Luz estructurada

Fuente: (Cognex, 2016)

Iluminación de campo oscuro. La iluminación direccional revela con más facilidad los defectos superficiales e incluye la iluminación de campo oscuro y campo brillante (Cognex, 2016).

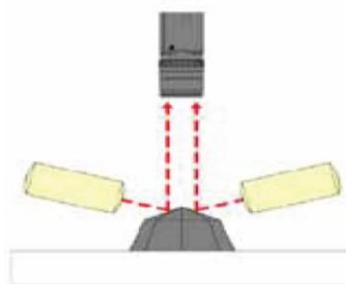


Figura 25-2: De campo oscuro

Fuente: (Cognex, 2016)

Iluminación de campo brillante. La iluminación de campo brillante es ideal para aplicaciones de alto contraste (Cognex, 2016).

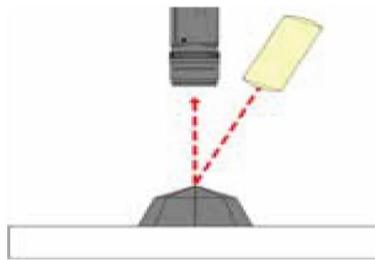


Figura 26-2: De campo brillante

Fuente: (Cognex, 2016)

Iluminación cenital difusa. La iluminación cenital difusa ofrece la iluminación más uniforme de las características de interés, y puede enmascarar irregularidades que no se consideren de interés y confundir la escena (Cognex, 2016).

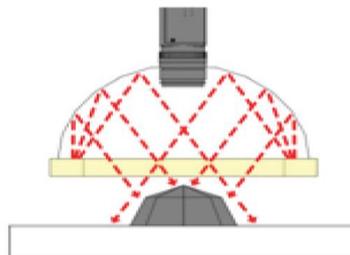


Figura 27-2: Cenital difusa

Fuente: (Cognex, 2016)

2.13.2 Cámara

Su función es capturar la imagen para luego ser transferida a un sistema electrónico. Las cámaras que se utilizan en sistemas de visión artificial son más sofisticadas que las cámaras convencionales.

Existen múltiples tipos de cámaras de acuerdo a la aplicación a desarrollar, entre ellas están: cámaras con sensores CCD y CMOS, analógicas o digitales, cámaras lineales monocromáticas y de color, Giga Ethernet, Firmware IEEE 1394, webcam, de alta resolución, de alta calidad, de alta velocidad, térmicas, infrarrojas, etc. (Chiguano, et al., 2011).

La selección de una cámara para un sistema de visión artificial de gran importancia de tal manera es importante conocer las ventajas y desventajas de las cámaras utilizadas en la industria.

2.13.2.1 Cámaras analógicas

Tabla 4-2: Ventajas y desventajas del uso de cámaras analógicas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Tecnología establecida - Bajo costo (dentro del rango de \$50 hasta \$2000 USD) - Resolución estándar de 640 x 480 pixeles a una velocidad de 30 cuadros por segundo es suficiente para la mayoría de las aplicaciones 	<ul style="list-style-type: none"> - Poca flexibilidad en características como tamaño de imagen, tasa de adquisición, y resolución en bits - Incapacidad de cambiar la configuración de programación de la cámara durante la operación - Poca variación en el mercado

Realizado por: Autores 2018

Fuente: (National Instruments, 2003)

2.13.2.2 Cámaras digitales

Si su aplicación requiere alta resolución en pixeles y en bytes mayor a 8 bits, se debe considerar una cámara digital. A continuación se presenta las ventajas y desventajas de las principales cámaras digitales.

Tabla 5-2: Ventajas y desventajas del uso de cámaras estándar paralelo

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Alta velocidad - Alta resolución - Imágenes más grandes - Opciones y funcionalidades fáciles de configurar 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere de cableado y conectores personalizados - Caras (entre \$1500 y \$10,000) - Requieren del uso de archivos específicos para el uso de dispositivos de adquisición de imágenes IMAQ NI

Realizado por: Autores 2018

Fuente: (National Instruments, 2003)

Tabla 6-2: Ventajas y desventajas del uso de estándar camera Link

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Alta velocidad - Alta profundidad en pixeles y tamaños de imágenes más grandes - Fácil de configurar opciones y otras funcionalidades de las cámaras - Cableado uniforme entre fabricantes de cámaras y dispositivos de adquisición de imágenes 	<ul style="list-style-type: none"> - Pocos productos disponibles actualmente - Son muy costosas (\$1500 y \$10,000) - Requieren el uso del archivos específicos de dichas cámaras para el uso de dispositivos de adquisición de imágenes IMAQ de National Instruments

Realizado por: Autores 2018

Fuente: (National Instruments, 2003)

Tabla 7-2: Ventajas y desventajas del uso de estándar IEE 1394

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo - No requiere de archivos de cámara - Soporta una gran variedad de tasas de adquisición y tamaños de imágenes - Soporta múltiples cámaras en un solo adquirente de imágenes 	<ul style="list-style-type: none"> - Tasa de transferencia de datos más lenta - Sin memoria integrada para guardar imágenes - Menos soporte de disparo - Difícil sincronización con otros dispositivos

Realizado por: Autores 2018

Fuente: (National Instruments, 2003)

2.13.3 Computador

Es uno de los elementos encargado de procesar, recoger y mostrar las imágenes capturadas. alguna de las actividades que realiza una pc dentro de un sistema de visión son:

- Realizar la lectura de las imágenes
- Procesar los datos proporcionados por las cámaras para su análisis
- Desarrollar interfaz con el usuario
- Establecer comunicación con elementos para detener el proceso en caso de daños en el mismo
- Controlar todos los elementos (hardware)

2.13.4 Tarjeta de adquisición

Su función es transferir la imagen captada desde la cámara a la memoria del ordenador para el procesamiento de las imágenes. Se debe considerar algunos aspectos en las tarjetas de adquisición tales como la velocidad de transmisión, el formato de los datos, la capacidad de controlar los parámetros de la cámara en tiempo real.

2.13.5 Comunicaciones

Los sistemas de visión utilizan varios componentes de comunicación, los mismos que deben conectarse fácil y rápidamente a la máquina. La comunicación se establece mediante una señal de entrada/salida discreta o datos enviados, las cuales se conectan a un PLC para el control de indicadores luminosos o directamente un solenoide que podría usarse para activar un mecanismo.

2.14 Sistema de procesamiento de imágenes

2.14.1 Algoritmos de análisis de imagen

Consiste en utilizar transformaciones, filtros que faciliten la extracción de información precisa durante la inspección y toman una decisión. Los algoritmos utilizados marcan la diferencia por lo que es el componente clave a evaluar cuando se comparan soluciones.

2.14.2 Filtros en el dominio espacial.

La aplicación de filtros sobre los píxeles permite mejorar la calidad de imagen y tener un mayor enfoque hacia el objetivo.

Filtro pasa altos. Permite el aumento de brillo debido que el filtro tiene coeficientes negativos.



Figura 28-2: Aplicación de filtro pasa altos

Fuente: (Prisma 2, 2017)

Realce de bordes mediante Laplace. Se utiliza para realzar los bordes del objeto en toda dirección, el realce se basa en la intensidad de luz en el pixel.

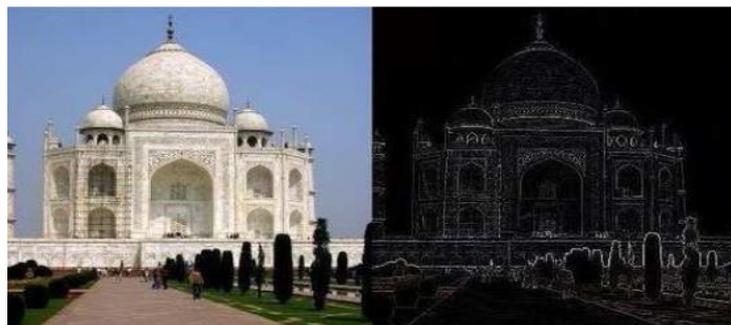


Figura 29-2: Aplicación de realce de bordes mediante Laplace

Fuente: (Prisma 2, 2017)

Detección de bordes y filtros de contorno. Principalmente se utiliza para detectar formas, debido a que resaltan los contornos causados por la intensidad de luz en píxeles aledaños.



Figura 30-2: Aplicación de detección de bordes y filtros de contorno

Fuente: (Prisma 2, 2017)

2.14.3 Segmentación

Consiste en separar la imagen digital en regiones obteniendo como resultado el resalte de alguna característica como brillo, forma o color. Este proceso se realiza para obtener una mejor clasificación e identificación de piezas en su análisis respectivo.

Segmentación basada en detección de bordes. Considerada como una de las técnicas de segmentación más utilizada en la actualidad. La segmentación divide una imagen digital en varios grupos de píxeles, la finalidad es cambiar la representación de una imagen a otra más fácil de analizar. Esta técnica permite localizar objetos, encontrar límites dentro de la imagen, cada uno de los píxeles de una región es similar en alguna característica, como el color, la intensidad o la textura. La segmentación por bordes en su mayoría es implementada en base a filtros espaciales como por ejemplo: filtro de Laplace entre otros filtros (Chiguano, et al., 2011).



Figura 31-2: Aplicación de la segmentación basada en detección de bordes

Fuente: (Arevalo, 2012)

2.15 Visión artificial basada en pc

Los sistemas basados en pc interconectan fácilmente con las cámaras de conexión directa o las placas de adquisición de imágenes y son compatibles con software de aplicaciones de visión artificial configurable. Además, las pc ofrecen multitud de opciones de desarrollo de código

personalizado con un lenguaje familiar y bien respaldado como Visual C/C++, Visual Basic y Java, además de entornos de programación gráficos (Cognex, 2016).

2.16 Imagen digital

En el procesamiento de una imagen digital, un sensor convierte una imagen en un número infinito de píxeles. El sensor asigna a cada píxel una coordenada y un nivel de gris o color que especifique el brillo o el color del píxel.

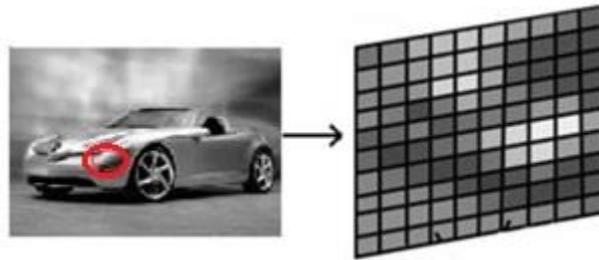


Figura 32-2: Imagen con extracción de píxeles

Fuente: (Valencia Andrade, 2012)

2.16.1 Propiedades de una imagen digital

Resolución. Hace referencia al número de filas (m) y columnas (n) que contiene una imagen cuando a este se le realiza un píxel.

Definición. Indica el número de tonos que se puede ver en la imagen. La profundidad de bits de una imagen es el número de bits utilizados para codificar el valor de un píxel. Para una representación en n bits, la imagen tiene una definición de 2^n , lo cual significa que un píxel puede tener 2^n valores diferentes.

Por ejemplo, si n es igual a 8 bits, un píxel puede tener 256 valores diferentes como se observa en la figura 2-33, que van desde 0 hasta 255. Si n es igual a 16 bits, un píxel puede tener 65536 valores diferentes que van desde 0 hasta 65535 o desde -32768 hasta 32768 (Valencia Andrade, 2012).

2.17 Tipos de imágenes

Las librerías de IMAQ visión se maneja en dos tipos: escala de grises y de color. El uso de imágenes a color puede ocupar cuatro veces más el espacio de la memoria de una imagen en escala de grises.

2.17.1 *Imágenes en escala de grises*

Una imagen en escala de grises se compone de un solo plano de píxeles, mismos que se puede codificar mediante los siguientes formatos numéricos:

- Codificación de 8 bits es suficiente para obtener la información del contorno de objetos
- Enteros de 8 bits sin signo que representa los valores de escala de grises entre 0 y 255
- Enteros de 16 bits con signo que representan los valores de escala de grises entre -32768 y 32767

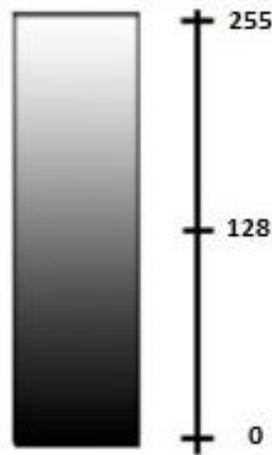


Figura 33-2: Escala de grises

Fuente: (Valencia Andrade, 2012)

2.17.2 *Imágenes a color*

Modelo RGB (red, green, blue). Se basa en una representación del color por el método aditivo. En imágenes de 8 bits por canal, los valores varían de 0 (negro) a 255 (blanco) para cada uno de los componentes RGB, siendo así el blanco la concurrencia de todos los colores y el negro la ausencia de los mismos.

Ejemplo, un color rojo brillante puede tener un valor de 246 en rojo, un valor de 20 en verde y un valor de 50 en azul. Si los valores de los tres componentes son idénticos, se obtiene gris neutro, mientras que si los valores de todos los componentes son de 255 se obtiene un blanco puro y negro puro si el valor es de 0. Este sistema es utilizado en monitores, televisores, proyectores de video.

Modelo CMYK (cyan, magenta, yellow, black). Se basa en una representación del color por un método sustractivo. Los colores más claros tienen un porcentaje mínimo de tinta, mientras que colores oscuros tienen porcentajes mayores.

Ejemplo un rojo brillante puede tener 4% de cian, 90% de magenta, 91% de amarillo y 0% de negro. En las imágenes CMYK el blanco puro se genera con los cuatro componentes en valores de 0%.



Figura 34-2: Modelo de imagen RGB y CMYK

Fuente: (Prisma 2, 2017)

2.18 Conceptos básicos de sistemas de medición y control

Los instrumentos de medición y control se clasifican por la función del instrumento y por la variable a medir.

2.18.1 Instrumentos por el tipo de función

Elementos primarios. Son aquellos instrumentos que están en contacto con la variable a medir o el fluido. Algunos de los ejemplos típicos son: placa orificio y elementos de temperatura (termopares o termo resistencias). Instrumentos compactos tales como manómetros, termómetros, transmisores de presión, etc. El elemento primario está dentro del propio instrumento.

Transmisores. Este tipo de instrumentos captan la variable de proceso, generalmente puede ser a través de un elemento primario, transmiten a distancia de diferentes formas como, señal neumática (3-15 psi), electrónica (4-20 mA), pulsos, bus de campo (Profibus) (Maraña, 2005).

Indicadores locales. Son instrumentos capaces de captar las variables de proceso y mostrar en una escala visible. Los indicadores locales más utilizados son los manómetros (presión), termómetros (temperatura), rotámetros (caudal), etc.

Interruptores. Son instrumentos todo o nada y su función es captar la variable de proceso y actuar con un valor establecido sobre el interruptor. Su funcionamiento es cambiar de estado de reposo a activo cuando llega al valor predeterminado. Los instrumentos más utilizados son interruptores de nivel, presostatos (presión), termostatos (temperatura), etc.

Elementos finales de control. Son instrumentos que reciben un tipo de señal procedente de un controlador y modifica el caudal del fluido. Algunos de estos elementos son válvulas de control, servomotor o variador de frecuencia (Maraña, 2005).

2.18.2 Instrumentos por el tipo de variable de proceso

Indicadores locales de presión. El manómetro es el instrumento más utilizado en la industria, basado en el tubo “bourdon” el cual consta de un tubo de sección elíptica que forma un anillo casi completo, cerrado por un extremo. Al aumentar la presión en el interior del tubo, este tiende a enderezarse y el movimiento es transmitido a la aguja indicadora. Los materiales que se utilizan en este indicador son acero inoxidable o aleaciones especiales hastelloy o monel (Maraña, 2005).

Las medidas de presión utilizadas a nivel industrial son:

- Presión absoluta
- Presión relativa o manométrica
- Presión diferencial

Interruptores de presión. Los presostatos utilizan el mismo funcionamiento de un manómetro convencional la diferencia que marca este instrumento es que incluye un contacto eléctrico calibrado a un valor de presión establecido.

Elementos finales de control. En la mayor parte de los procesos industriales aparecen lazos de control formados por tres elementos típicos: transmisor, regulador y válvula. Actuando conjuntamente garantizan una operación controlada y eficiente de la planta junto con otros equipos automáticos. A diferencia de otros instrumentos, la válvula de control está siempre modulando energía y es pieza clave que puede minimizar la eficacia de un sistema de control sofisticado y caro. Las válvulas de control tienen la misma constitución mecánica que las válvulas manuales como las válvulas de globo o asiento, mariposa, bola, compuerta o diafragma.

Las válvulas de control se dividen en dos grupos tales como:

- Válvulas todo o nada
- Válvulas de control

La diferencia es que la primera actúa en dos posiciones abierta o cerrada y se suele utilizar en controles on off. La segunda se utiliza para el control continuo de procesos y está continuamente modulando y buscando la posición de equilibrio requerida por el sistema.

2.19 Repotenciación de maquinaria

La repotenciación es un término de ingeniería mecánica que es utilizado para rediseñar o mejorar la reestructuración de un sistema o equipo. Actualmente se utilizan recursos tecnológicos y metodológicos los mismos que permiten el mejoramiento de los equipos y sistemas (Quilo Farinango, 2014).

La repotenciación no es más que la modificación y adaptación del diseño existente, realizando modificaciones o reemplazos de sus componentes, buscando aumentar la productividad y competitividad en la industria (Metal Actual, 2014).

Repotenciar una máquina implica que alguna de las partes (sistemas, subsistemas, elementos, accesorios, etc.) que conforman la máquina original dejen de ser funcionales, lo que obliga a que estas partes sean modificadas o reemplazadas. Además se define como un estudio de mantenimiento para mejorar y optimizar el funcionamiento de una determinada maquinaria, equipo, sistema o componente con el objetivo de modificar las condiciones de estado y funcionamiento original (Barros Enríquez, 2013).

Para repotenciar equipos se usan varias tecnologías avanzadas siendo más significativas el uso de servomotores, manipuladores eléctricos, sensores, PLC, software, componentes de seguridad y dispositivos robóticos (Metal Actual, 2014).

Según (Metal Actual, 2014) dice que al modernizar una máquina o sistema, se obtiene ventajas como:

- Aumento de productividad
- Mejor precisión
- Reducción de pausas y tiempos de parada
- Obtención de datos de forma confiable y segura (Metal Actual, 2014)

2.19.1 Procedimiento para la repotenciación

Consiste en determinar las fallas y zonas críticas con el fin de buscar las diferentes soluciones prácticas para un correcto funcionamiento del equipo. A continuación se presenta el flujograma que detalla el procedimiento práctico para la repotenciación.

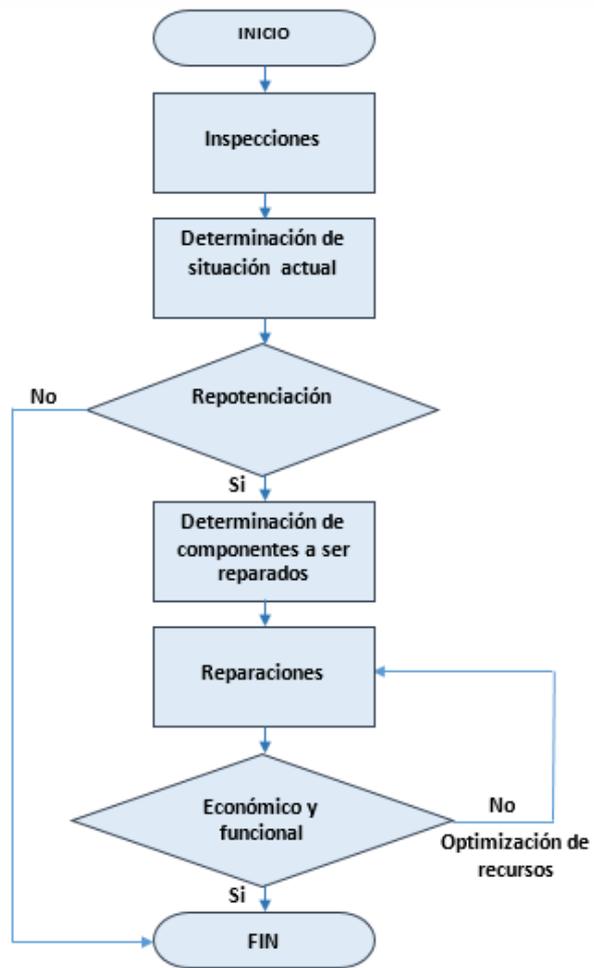


Figura 35-2: Procedimiento de repotenciación

Fuente: (Pratt & Whitney , 2003)

CAPÍTULO III

3 ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL Y REPOTENCIACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS PARA INSPECCIÓN DE INYECTORES

El desarrollo del capítulo sigue un orden de acuerdo a los pasos emitidos en el siguiente flujograma desarrollado por los autores.

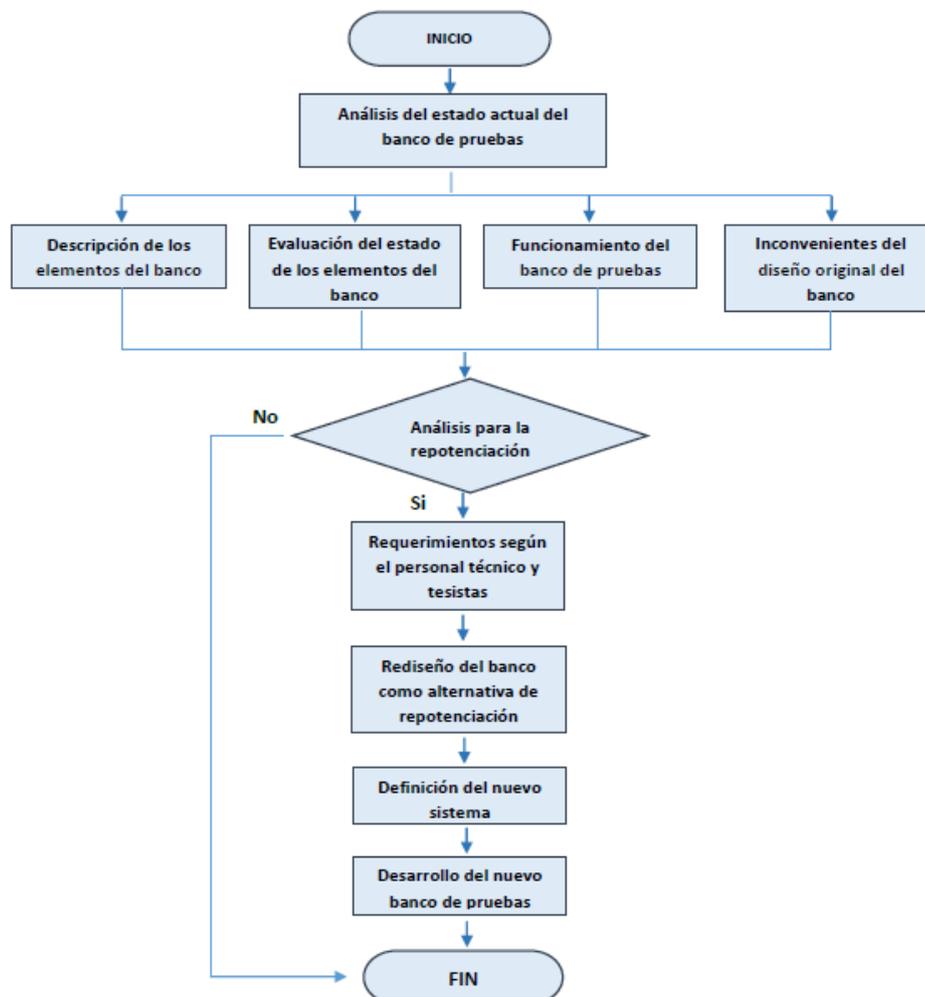


Figura 1-3: Flujograma de repotenciación

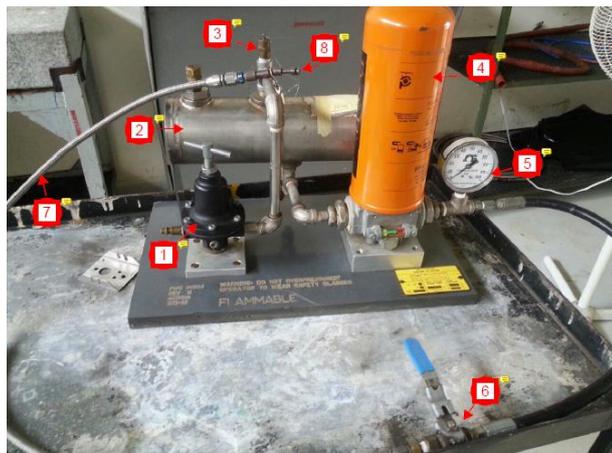
Realizado por: Autores

3.1 Análisis del estado actual del equipo

El objetivo de este capítulo es determinar las posibles fallas y averías mediante inspecciones visuales de los componentes del banco de pruebas durante su funcionamiento, las mismas razones pueden afectar en los resultados durante la inspección de inyectores.

3.1.1 Descripción del banco de pruebas para inyectores

A continuación se detalla el funcionamiento de cada componente que forma parte del banco primitivo.



1. Válvula reguladora de presión
2. Tanque de combustible
3. Válvula de alivio
4. Filtro
5. Manómetro de presión
6. Válvula de paso tipo bola
7. Manguera flexible
8. Boquilla

Figura 2-3: Partes del banco original de inspección

Fuente: (CIDFAE, 2017)

Válvula reguladora de presión manual. En el banco de inspección se utiliza una válvula reguladora de presión neumática de accionamiento manual como se muestra en la figura 3-2, esta válvula se encuentra montada en la parte frontal del banco y es la encargada de regular el aire comprimido a la presión deseada.

DATOS TÉCNICOS

- Marca: IMI NORGREM
- Modelo: 11-002-061
- Regulador de aire
- Conexión: NPT 1/2"
- Presión máxima: 400 psi

Tanque de combustible. Ubicado en la parte posterior del banco, en este recipiente se realiza la presurización del combustible, tiene una capacidad aproximada de 2,5 litros.

DATOS TÉCNICOS

- Material: acero inoxidable
- Capacidad: 2,5 litros

Válvula de seguridad. También llamada válvula de alivio y tiene como propósito aliviar la presión en exceso de un fluido ya sea en tanques presurizados o sistemas con el fin de evitar daños severos en caso de que la presión exceda el límite.

DATOS TÉCNICOS

- Modelo: 1095-125
- Material: latón
- Presión máxima: 125 psi
- Rosca macho NPT ¼"
- Resortes en acero inoxidable

Filtro. Es el encargado de evitar que pasen partículas sólidas o impurezas durante el proceso de inspección. Se encuentra montado a la salida del tanque de combustible.

DATOS TÉCNICOS

- Marca: Donaldson
- Modelo: HMK04
- Presión trabajo: 500 psi
- Fibra natural
- Conexión: NPT 1"

Manómetro de presión. Es el instrumento encargado de medir las presiones a la salida del sistema. Se utiliza un manómetro con escala de 100 psi debido a que la presión de trabajo máximo es de 60 psi.

DATOS TÉCNICOS

- Marca: Omega
- Modelo: PGS-25L-100
- Material: acero inoxidable
- Conexión NPT ¼"
- Precisión: 1

Válvula de paso tipo bola. Se utiliza para dar paso al combustible además permite tener un mejor control ya que esta válvula posee un cierre rápido de ¼ de vuelta el cual facilita el proceso de inspección.

DATOS TÉCNICOS

- Material: acero inoxidable 304
- Conexión: NPT ¼"

Manguera flexible. Posee un recubrimiento especial y soporta una presión de trabajo de hasta 120 psi, la cual se encarga de conducir el combustible presurizado hacia la boquilla para dar apertura a la línea primaria o secundaria del inyector.

DATOS TÉCNICOS

- Marca: Futura
- Material: hule sintético nitrilo
- Presión máxima: 120 psi
- Temperatura de trabajo: -40 a 60 °C

Boquilla. Es el acople que permite conectar la manguera flexible con el inyector, además brinda facilidad al operario para realizar el cambio de inyector y de líneas al colector.

DATOS TÉCNICOS

- Material: acero inoxidable

3.1.2 Evaluación del estado de los elementos del banco de pruebas

La evaluación se realiza de dos formas, la primera es inspeccionar visualmente los equipos que estén al alcance, esta actividad se realiza con la finalidad de verificar el estado físico de los instrumentos, la segunda es poner en funcionamiento al banco de pruebas, con el objetivo de determinar las fallas o averías que presentan los componentes los cuales pueden afectar los resultados finales de la inspección.

La evaluación de los elementos principales del banco de inspección se determina de acuerdo a las condiciones físicas y funcionabilidad en relación a los siguientes estados:

- Bueno: Cuando los componentes del banco están en óptimo estado.
- Regular: Cuando los componentes presentan pequeñas anomalías en el funcionamiento.
- Malo: Cuando las anomalías de los componentes son considerables.

Tabla 1-3: Evaluación del estado de los principales componentes del banco

Componente	Ilustración	Observaciones	Estado
Válvula reguladora de presión		Tornillo de ajuste de presión gira con normalidad sin presentar oposición alguna. Perdidas de presión a la entrada del elemento. Falta de un instrumento de medición de presión.	REGULAR
Tanque de combustible		Baja capacidad de almacenamiento del combustible. No presenta fugas visibles del recipiente. Ausencia de un instrumento de medición para presión.	REGULAR
Válvula de alivio		Material compatible con fluido de trabajo. Rango de presión correcta. No presenta fugas en la conexión.	BUENO
Filtro		No presenta daños en el elemento filtrante ni golpes en la carcasa. Funcionalmente correcto.	BUENO
Manómetro de presión		Material compatible con el combustible. Rango de presión de acuerdo con la presión máxima de trabajo. El movimiento de la aguja es normal.	BUENO
Válvula de bola		El material del elemento de control es compatible con el fluido. La apertura y el cierre se realizan con facilidad.	BUENO
Mangueras flexibles		Primer tramo manguera de nitrilo. Material compatible con el fluido. Ausencia de fugas o pérdidas de presión. Segundo tramo no es la manguera correcta para su propósito (su uso fue para permitir mayor flexibilidad en la inspección).	REGULAR
Boquilla		Presenta buen estado sin oxidación, ni corrosión, ni golpes en las puntas las cuales puedan afectar la conexión con el colector del inyector.	BUENO

Realizado por: Autores 2018

3.1.3 Funcionamiento del banco de pruebas

Antes de iniciar cualquier tipo de prueba se debe verificar que las válvulas estén cerradas completamente y el manómetro encerrado (libre de presión en las líneas). Previamente se debe cargar el compresor hasta una presión de 100 psi y colocar el combustible dentro del tanque y ajustar el tapón de entrada del combustible.

Conectar la línea neumática a la válvula reguladora de presión este elemento controla el paso de presión de manera manual, la misma que es conducida al recipiente donde está almacenado el combustible, aquí se presuriza el fluido de trabajo y se envía por la línea de descarga el mismo que tiene que pasar por un filtro, manómetro y mangueras flexibles las cuales en el final del tramo se encuentran conectados las tapones y boquillas que permiten el montaje y desmontaje del inyector. El paso del fluido presurizado se controla con una válvula de bola de ¼ de apertura la cual es accionada para iniciar el proceso de inspección del inyector.

3.1.4 Inconvenientes en el funcionamiento del sistema

El banco de pruebas proveniente de la FAE resulta tener inconvenientes durante las inspecciones debido a que el combustible presurizado se dispersa sin control en el entorno y a su vez genera demora en la regulación de presiones, careciendo también de un soporte fijo para el montaje del inyector.



Figura 3-3: Banco de pruebas listo para la inspección

Fuente: (CIDFAE, 2017)

La siguiente tabla muestra las condiciones en las que se realizan las pruebas de inspección y los inconvenientes detectados.

- Alto: Cuando se presentan elevados inconvenientes en el proceso.
- Medio: Cuando se presentan inconvenientes moderados en el proceso.
- Bajo: Cuando los inconvenientes encontrados en el proceso son mínimos.

Tabla 2-3: Inconvenientes detectados en el proceso de inspección

Inconveniente	Descripción	Grado
	<p>La despresurización del tanque se realiza mediante la válvula de alivio, esta técnica se utiliza con frecuencia durante el proceso de inspección debido a que se necesita variar las presiones de 60 a 20 o 30 psi.</p>	<p>MEDIO</p>
	<p>La inspección se realiza con la presencia de dos técnicos, los mismos que se encuentran expuestos permanentemente al combustible, dichos técnicos cumplen con la función de calibrar las presiones en la válvula reguladora y verificar el estado del inyector mediante la pulverización.</p>	<p>ALTO</p>
	<p>Para la detección del cono es necesario el uso de iluminación artificial, la finalidad es poder contrastar de una mejor forma el área de pulverización y poder determinar los defectos presentes en los inyectores durante las pruebas.</p>	<p>ALTO</p>
	<p>La medición del ángulo cono de aspersión es imposible debido a que no cuenta con alguna técnica o tecnología que facilite detectar dicho parámetro.</p>	<p>ALTO</p>

Realizado por: Autores 2018

3.2 Análisis para la repotenciación

Debido a la evaluación del estado de cada uno de los componentes que conforman el banco original y a la determinación de inconvenientes presentes en el sistema durante el proceso de inspección se plantea la alternativa de repotenciación con cambios y mejoras consistentes para un nuevo banco de pruebas.

3.3 Requerimientos para la repotenciación

Los requerimientos presentados por los técnicos en mantenimiento aeronáutico perteneciente al Ala de Combate No 23, fueron estudiados posteriormente por parte de los tesisistas para ver la factibilidad en la ejecución del proyecto y buscar la alternativa para el rediseño del banco.

Requerimientos según el personal técnico de mantenimiento son:

- Interruptor encendido y apagado (on/off) del equipo
- Cabina de inspección transparente
- Conexión mediante cañería flexible para 1 inyector, en dos tipos de flujo
- Apertura de Jet A1 mediante botonera y selección de flujo primario y secundario
- Visualización de la presión del fluido hidráulico
- Presión neumática máxima 90 psi
- Voltaje de alimentación 120 VAC

Según tesisistas

- Realizar la inspección del inyector sin tener la necesidad de intercambiar las líneas de presión
- Cambiar las presiones (20-60, 30-60 psi) mediante el interfaz del computador
- Disminuir la exposición a la que se encuentra el operario durante el proceso de inspección
- Añadir un programa para facilitar el control computarizado con la interface gráfica
- Presentar una facilidad durante montaje y desmontaje del elemento de inspección al sistema de distribución
- Comprobar el estado y el funcionamiento de los inyectores pertenecientes a motores PT-6 mediante el ángulo de pulverización y una inspección visual

3.3.1 Rediseño del banco de pruebas como alternativa de repotenciación

La alternativa de repotenciación del banco de pruebas está sujeta a un rediseño total, esto con la finalidad de cubrir con los nuevos requerimientos técnicos. A continuación se muestra el diseño modular en el que constan funciones y subfunciones que gobiernan el banco.

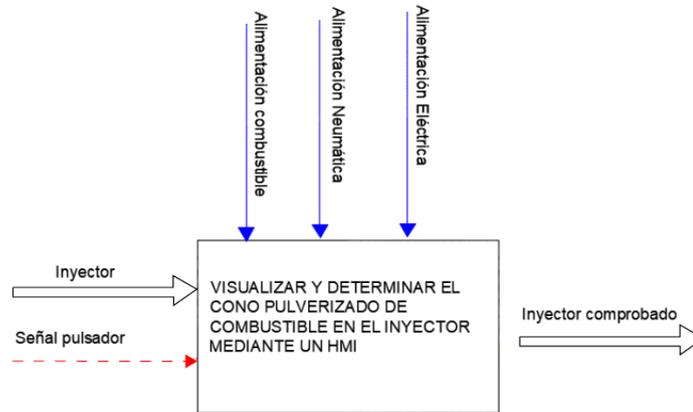


Figura 4-3: Función principal del nuevo banco

Realizado por: Autores

En la figura 3-4, se puede señalar que la función principal del banco de pruebas es visualizar y determinar el cono pulverizado de combustible en el inyector mediante un interfaz hombre máquina desarrollada y adaptada al sistema.

Para que el banco pueda realizar su función es necesario dotar de ciertas variables de entrada como el inyector, la señal de pulsador por parte del técnico operador y a su vez suministrar de electricidad, combustible y aire como fuentes de energía para el proceso, todo es primordial para que el nuevo sistema trabaje adecuadamente y el inyector pueda ser comprobado.

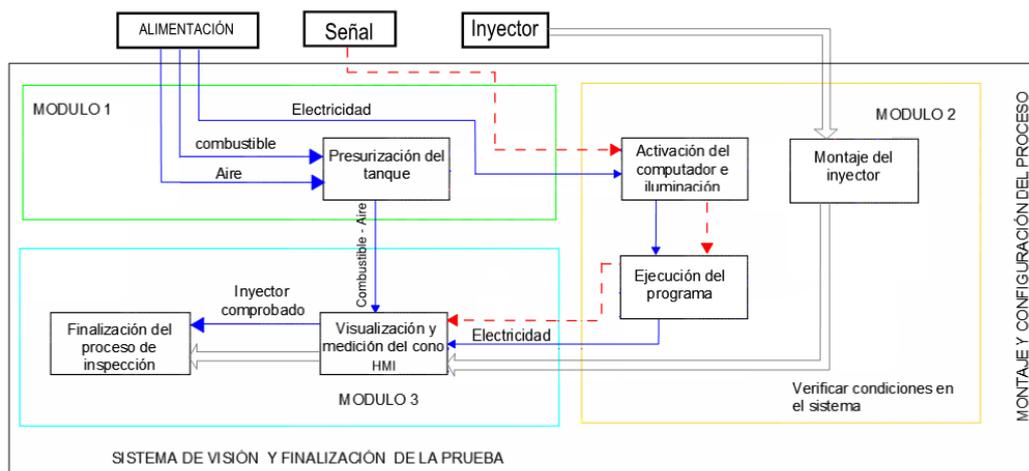


Figura 5-3: Sub funciones del nuevo banco

Realizado por: Autores

Es importante destacar los tres módulos que representan las sub funciones con las que cuenta el banco de pruebas, la primera sub función es la alimentación de combustible al tanque para luego presurizarlo con aire, el segundo módulo se trata de la activación del computador y la iluminación en la cabina de inspección mediante una fuente eléctrica y una señal, acto seguido se procede a la ejecución del programa y llenar los parámetros correspondientes para dar inicio al test de pruebas, una vez culminado esto se procede al montaje del inyector, previo a ingresar a la sub función de visión donde se observa todos los patrones de aspersion y a su vez lograr medir el cono, a continuación se guarda un registro de la actividad desarrollada en el ordenador para la prueba de inspección de inyectores dirigida y controlada por el técnico encargado, por último el inyector comprobado es retirado del banco y se procede a la finalización de todo el sistema desconectando toda fuente de alimentación.

La propuesta aceptada como rediseño del banco mostrada en la figura 3-6 cuenta con un sistema mecánico, un sistema electrónico y de visión mismos que se adaptan a una estructura simple y versátil para técnico encargado de la inspección de inyectores.

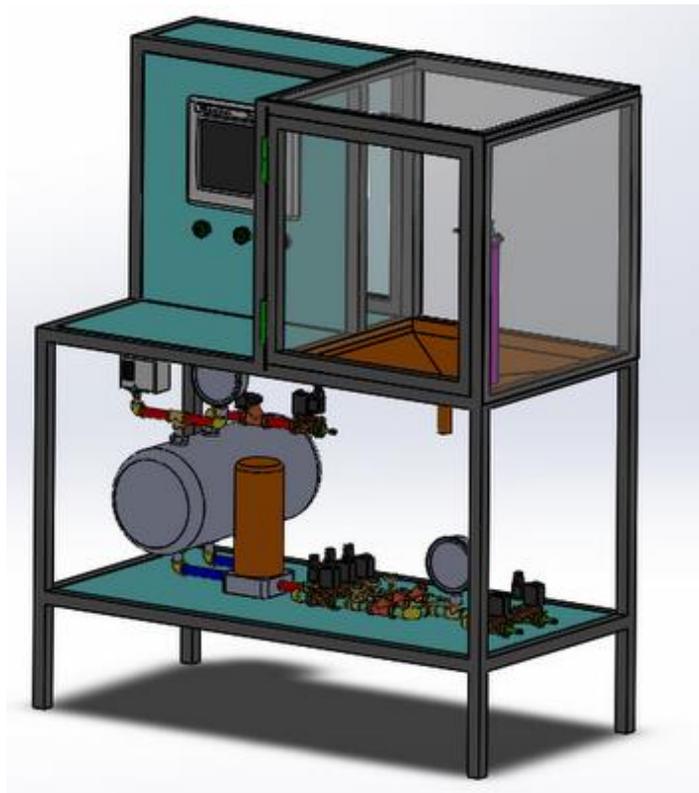


Figura 6-3: Alternativa de rediseño del banco de pruebas

Realizado por: Autores

3.3.2 Funcionamiento del nuevo sistema hidroneumático

El sistema de distribución consta de un tanque, construido de acero inoxidable de 4 mm de espesor con una capacidad de 3,6 galones en el cual se deposita combustible para posteriormente presurizarlo por una línea de aire comprimido controlando su apertura y cierre mediante una electroválvula, la misma que es accionada por un presostato diferencial sujeto a un rango de presiones normalmente ajustable.

Es indispensable utilizar válvulas que garanticen la seguridad y evacuación inmediata del fluido que se encuentra en el interior del tanque para ello se coloca una válvula de seguridad la cual alivia la presión en caso de condiciones anormales de operación o emergencia, además se añade una válvula de bola la cual sirve para despresurizar manualmente el líquido restante del tanque.

Se plantea un sistema de red en paralelo de tres líneas, cada una de estas consta de una electroválvula seguida de una válvula limitadora de presión y válvula check dichos elementos ayudan al control y regulación del fluido a 20, 30 y 60 psi. El flujo saliente es conducido hacia una nueva división en la que están instaladas dos electroválvulas para su apertura y cierre a la línea principal y secundaria.

Para asegurar que no existan partículas o impurezas que perjudiquen a los instrumentos que forman parte del sistema de distribución se utiliza un filtro el mismo que es ubicado a la salida del tanque garantizando con esto la pureza del fluido y evitando anomalías en el estado del inyector. Se colocan dos manómetros que permiten medir y visualizar las presiones de trabajo requeridas en todo el sistema.

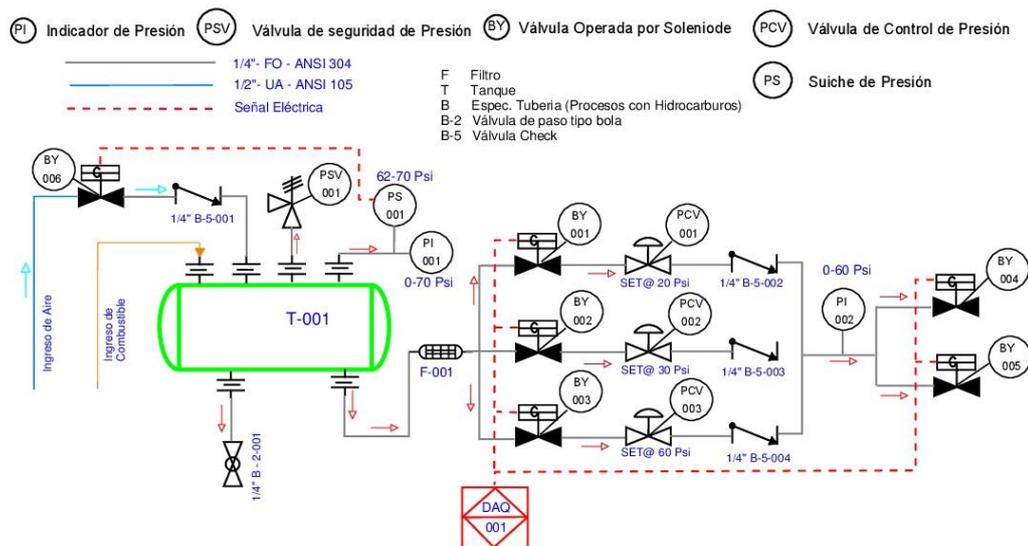


Figura 7-3: Diagrama P&ID del sistema hidroneumático

Realizado por: Autores

3.4 Descripción de los elementos que conforman el nuevo sistema

El diseño preliminar, tiene como finalidad presentar una buena relación entre el operario, la máquina y el ambiente buscando así incrementar la calidad de vida, seguridad y bienestar del operario.

El banco de pruebas para inyectores está constituido por elementos hidráulicos, eléctricos y electrónicos. A continuación se realiza la descripción de los componentes que se emplean en la repotenciación del BPI (Anexo A).



Figura 8-3: Banco de pruebas finalizado

Realizado por: Autores

3.4.1 Recipiente a presión

Es un componente capaz de operar con fluidos a presión superior a la atmosférica la misma presión que proviene de fuentes externas, está constituido de acero inoxidable 304 con un espesor de 4 mm, tiene una capacidad de almacenamiento de 3,6 galones siendo capaz de almacenar y presurizar fluido (Jet A1) que a su vez transfiere a toda la red para el proceso de inspección.



Figura 9-3: Recipiente a presión

Realizado por: Autores

3.4.2 *Manómetro*

Es un instrumento capaz de medir la presión en los fluidos, de tal forma que determina la diferencia de presión entre el fluido y la presión local.



Figura 10-3: Manómetro

Realizado por: Autores

3.4.3 *Presostato*

Es un instrumento conocido también como interruptor de presión, su función es abrir o cerrar un circuito eléctrico en base a un rango de presión preestablecido, en un circuito hidráulico o neumático.



Figura 11-3: Presostato

Realizado por: Autores

3.4.4 *Electroválvula*

Llamada también válvula solenoide, es un dispositivo electromecánico, diseñado para controlar el paso de un fluido por una tubería o conducto, la válvula se mueve mediante una bobina solenoide. Por lo general no tiene más que dos posiciones: abierto y cerrado. Las electroválvulas se usan en un sin número de aplicaciones para controlar el paso de todo tipo de fluidos.

Se debe considerar la diferencia entre una electroválvula y una válvula motorizada, ya que en esta última el motor activa el mecanismo de la válvula, y permiten otras posiciones intermedias.



Figura 12-3: Electroválvulas

Realizado por: Autores

3.4.5 *Válvula reguladora de presión*

Este elemento mecánico, es una válvula diseñada para reducir y estabilizar la presión de salida de un fluido mediante el pistón de regulación en base al valor preestablecido.



Figura 13-3: Válvula reguladora de presión

Realizado por: Autores

3.4.6 *Válvula de seguridad*

Es utilizada con gran frecuencia en la industria y tiene la finalidad de aliviar la presión de un fluido o gas cuando esta supera la presión de tarado. El uso de esta válvula evita la explosión de sistemas salvaguardando los equipos e instalaciones en caso de emergencia por fallas.



Figura 14-3: Válvula de seguridad

Realizado por: Autores

3.4.7 *Válvula de paso tipo bola*

Elemento mecánico utilizado con frecuencia dentro de los sistemas hidráulicos debido a que posee una gran versatilidad en el manejo de fluidos. Su cierre rápido de $\frac{1}{4}$ de vuelta con una palanca permite que la operación sea muy sencilla.



Figura 15-3: Válvula de bola

Realizado por: Autores

3.4.8 *Válvula anti retorno*

También llamadas válvulas unidireccionales o válvulas "check", se utiliza para bloquear el flujo del líquido en un sentido y permitir el paso en el sentido contrario.



Figura 16-3: Válvula check

Realizado por: Autores

3.4.9 *Tablero de control*

Es un panel en el cual se alojan todos los elementos de protección, control, comunicación y conexiones los cuales realizan funciones específicas dentro del proceso de automatización.



Figura 17-3: Tablero de control

Realizado por: Autores

3.4.10 Tuberías y accesorios

Las tuberías o neoplos son pedazos de tubo con rosca en sus dos extremos, es utilizado para alargar las cañerías según la necesidad de instalación, además sirven como conexión de válvulas y otros elementos. Los accesorios son un conjunto de piezas moldeadas o mecanizadas que permiten desviar el fluido en varias direcciones según sea la necesidad de instalación. Se utilizan accesorios tales como: tes, codos, uniones, universales, neoplos corridos y bushings.



Figura 18-3: Tuberías y accesorios

Realizado por: Autores

3.5 Selección de equipos e instrumentos

Los elementos que conforman parte del sistema hidráulico son seleccionados bajo criterio ingenieril los cuales se detallan a continuación.

3.5.1 Selección de manómetros

Se debe considerar una serie de parámetros y condiciones a la hora de seleccionar el tipo de manómetro. Entre las recomendaciones dispuestas en la norma EN837-2 resaltamos las siguientes:

- Rango de trabajo
- Precisión requerida
- Compatibilidad de materiales
- Condiciones ambientales
- Condiciones de trabajo

Tomando en cuenta los parámetros mencionados para la selección y considerando los requerimientos para el banco de pruebas se selecciona mediante el manual del fabricante Airtac (Anexo B).

DATOS TÉCNICOS

- Marca: Airtac
- Material: latón
- Precisión: 2,5
- Rango de presión: 0 a 140 psi

3.5.2 Selección del presostato

Se debe tener en cuenta ciertas consideraciones para la selección y aplicación apropiada del instrumento como son:

- Presión de ajuste
- Temperatura de trabajo
- Tipo de fluido

Existen varios tipos de presostatos que se dividen en:

- Presostato diferencial
- Alta diferencial
- Baja diferencial

Tomando en cuenta los parámetros mencionados para la selección y considerando los requerimientos para el banco de pruebas se selecciona un presostato diferencial el cual debe ajustarse a un rango determinado de presiones (alta y baja) permitiendo abrir o cerrar un circuito eléctrico que forma parte del circuito de mando y control de un elemento de accionamiento eléctrico, normalmente en motores (Anexo C).

DATOS TÉCNICOS

- Marca: Safe Gauge
- Máxima presión de trabajo: 90 psi
- Medio: agua, aceite, vapor, refrigerante, etc.
- Conexión: NPT 1/4"
- Rango de presión: 15 a 145 psi
- Diferencial de presión: 15 a 60 psi
- Rango de temperatura: -40 a 120 °C
- Voltaje: 120 VAC

3.5.3 Selección de la válvula de alivio

Se considera ciertos parámetros a la hora de seleccionar una válvula de seguridad o alivio tales como el lugar de descarga y tipo de accionamiento.

- La descarga se realiza directamente a la atmósfera: *válvulas no equilibradas*.
- La descarga se envía a depósitos colectores con contrapresión muy baja (inferior al 10% de la presión de tarado): *válvulas no equilibradas*.
- La descarga se envía a depósitos colectores con contrapresión elevada (hasta el 25% de la presión de tarado): *válvulas equilibradas*.
- Los productos son inocuos (nitrógeno, CO₂, vapor de agua): *válvulas de seguridad con sombrerete abierto a la atmósfera*.
- La descarga de líquidos y para los vapores peligrosos (tóxicos, inflamables, etc.): *válvula de seguridad con sombrerete cerrado a la atmósfera*.

Las válvulas de alivio se clasifican según su accionamiento en:

- Válvulas de seguridad de acción directa o convencionales
- Válvulas de seguridad accionadas por válvula piloto o de acción indirecta
- Válvulas de seguridad equilibradas

Tomando en cuenta los parámetros mencionados para la selección y considerando los requerimientos para el banco de pruebas se selecciona una válvula de seguridad de acción directa (Anexo D).

DATOS TÉCNICOS

- Marca: Hant
- Cuerpo: bronce
- Asiento de la válvula bronce
- Vástago: bronce, resorte: acero
- Presión de trabajo: 0,3 a 10 kgf/cm²
- Temperatura de trabajo: - 45°C a 185°C
- Fluido de trabajo: agua, aire, vapor, etc

3.5.4 Selección de la válvula reguladora de presión

Las válvulas reguladoras de presión tienen la función principal de establecer y mantener una presión constante en el sistema actuando como el dispositivo principal de descarga de la presión.

Estas válvulas se utilizan en sistemas en los que se requiere un flujo continuo de salida durante todo el proceso de presurizado.

Es por ello que a la hora de seleccionar una válvula reductora de presión, es común limitar el listado de parámetros a tener en cuenta a sólo uno o dos. Por ejemplo, presión y caudal de entrada, pero en realidad son algunos los aspectos a tener en cuenta para una selección adecuada destacando los siguientes:

- Valores normales y límites de presión
- Límites de temperatura
- Pérdidas de presiones normales
- Tipo de conexión
- Compatibilidad del material
- Costo y vida útil

Estos elementos se dividen de acuerdo al sistema de control que son de acción directa, pilotadas y por el tipo de actuador que son de pistón y diafragma. Considerando los parámetros mencionados para la selección, así como los requerimientos técnicos para el banco de pruebas se seleccionan válvulas reguladoras de presión de acción directa cuya presión existente a la salida actúa sobre el obturador principal, además esta provista de un actuador tipo pistón y mediante un vástago constituyen el mecanismo de cierre que a su vez ejerce la presión reguladora, la estructura del pistón interno nos garantiza resistencia, rigidez y una buena precisión de regulación debido a la compensación del asiento, es importante destacar que sus juntas o empaques de estanquidad aseguran un bajo coeficiente de fricción estática con esto nos garantiza resistencia al desgaste reduciendo así su mantenimiento todo esto basado en el catálogo del fabricante (Anexo E).

DATOS TÉCNICOS

- Marca: Genebre
- Conexión: NPT ½"
- Presión entrada máxima: 360 psi
- Material: latón UNE-EN 12165 cromado
- Cierre acero inoxidable AISI 303
- Juntas: EPDM peróxido

3.5.5 Selección de las electroválvulas

Para seleccionar adecuadamente la electroválvula o válvula solenoide es importante y necesario considerar los siguientes datos:

- Material de la válvula
- Fluido de trabajo
- Tipo de accionamiento
- Normalmente cerrada o normalmente abierta
- Número de vías
- Presión de trabajo y caudal
- Temperatura
- Tipo de bobina
- Voltaje

Tomando en cuenta los datos mencionados para la selección, y considerando los requerimientos para el banco de pruebas se seleccionan dos tipos de electroválvulas una para trabajar únicamente con aire a condiciones normales y cinco electroválvulas para trabajar con combustible, a continuación se detallan sus características en referencia al catálogo del fabricante (Anexo F).

DATOS TÉCNICOS

- Marca: Airtac
 - Modo de funcionamiento: control directo, NC
 - Orificio/ posiciones/ voltaje: 2/2 vías, 110 VAC
 - Material: latón, acero inoxidable
 - Presión: 145 psi
 - Conexión: NPT ¼"
-
- Marca: ODE
 - Orificio/ posiciones/ voltaje: 2/2 vías, 110 VAC
 - Medio: gasolina, diésel, etc.
 - Conexión: NPT ¼"
 - Máxima presión de trabajo: 72 psi
 - Material: latón
 - Material diafragma: buna, vitón

3.5.6 Selección del filtro

Es importante conocer ciertos parámetros para un proceso de filtrado, los cuales determinan el tipo de filtro a usar (carcasa y elemento), así también el material de la media filtrante, entre estas consideraciones constan las siguientes:

- Presión y caudal
- Tipo de líquido a filtrar
- Densidad
- Gravedad específica
- Viscosidad

SEGÚN EL TIPO DE ELEMENTOS FILTRANTES

- Cartucho cerámico
- Cartucho tejido o fibra
- Cartucho de resinas fenólicas
- Bolsas
- Cestas metálicas
- Cartuchos de papel

Según los datos mencionados para la selección, y considerando los requerimientos para la repotenciación del banco de pruebas se selecciona un filtro con carcasa de acero fundido y en cuyo interior se aloja un cartucho de fibra o tejido favorable al proceso y trabajo con combustible (Anexo G).

DATOS TÉCNICOS

- Marca: Weswood
- Modelo: F-20
- Capacidad: 17 GPH
- Presión de trabajo: 52 psi
- Material: hierro fundido
- Recubrimiento interior epoxi anticorrosivo
- Temperatura trabajo: -7 a 41 °C

3.6 Selección de los componentes del sistema de visión artificial

Los componentes básicos del sistema de visión artificial para la formación de imágenes se seleccionan en función de la disponibilidad en el mercado actual, compatibilidad con el sistema y bajo costo.

3.6.1 Selección de la cámara

Debido a que existen varias ofertas en el mercado se debe considerar algunos parámetros y tener presente al momento de elegir la cámara, los cuales deben cumplir con las necesidades básicas y requerimientos para un buen funcionamiento.



Figura 19-3: Cámara analógica VIZ

Realizado por: Autores

Se selecciona esta cámara debido a que sus características principales son aptas y compatibles con los requerimientos del software por lo que facilita su integración al sistema siendo además de bajo costo y muy sencilla para su manipulación.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA CÁMARA VIZ XTREME

- Compatible con interfaces de USB 1.1 y USB 2.0 con transmisión de alta velocidad
- Sistema operativo Windows XP/2003/Vista/7/10/Mac OS X v10.4
- Resolución de video de 720 X 480 VGA y velocidad de grabación de video de 30 fotogramas por segundo
- Batería de litio recargable integrada
- Cámara con conexión de red y función webcam
- Compatible con videos formato AVI
- Grabación de imágenes de alta calidad incluso con una iluminación escasa

3.6.2 DAQ 6218

La selección de este controlador permite establecer la comunicación con el software encargado de controlar el sistema. Su elección es principalmente por su fácil comunicación y conexión, además de poseer los puertos de entrada y salida para señales digitales necesarias para la ejecución del proyecto.



Figura 20-3: DAQ 6218

Fuente: (National Instruments, 2018)

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA DAQ NI USB 6218

- 16 entradas analógicas (16 bits, 250 kS/s)
- 8 entradas digitales, 8 salidas digitales, dos contadores de 32 bits
- Energizado por bus USB para una mayor movilidad, conectividad de señal integrada
- NI signal streaming para transferencia de datos a alta velocidad a través de USB
- Compatibilidad con LabVIEW y Measurement Studio para visual studio

3.6.3 Computador

Es uno de los componentes indispensables dentro del SVA, el cual permite procesar, recopilar y visualizar las imágenes entregadas por la cámara durante la inspección. Además permite tener un interfaz con el cual el operario puede iniciar, finalizar el proceso y controlar la activación de las electroválvulas, etc.

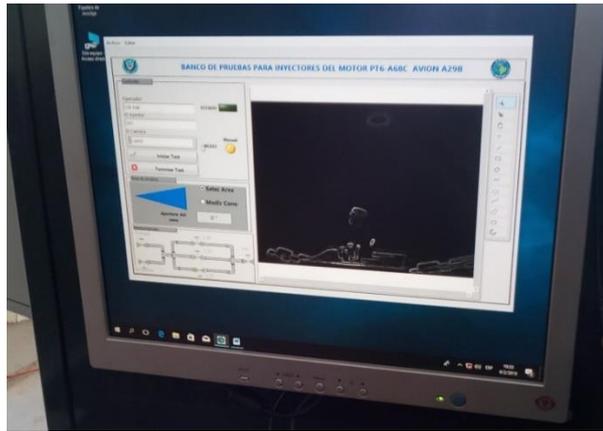


Figura 21-3: Monitor/ computador

Realizado por: Autores

DATOS TÉCNICOS

- Modelo: Lenovo
- Sistema operativo: Windows
- Core i5 (3470) 3.2 GHz
- 8 GB RAM
- 64 bits

3.6.4 Lámpara de iluminación

Este elemento se encarga de iluminar la pieza de inspección, además permite tener un mayor enfoque de la cámara hacia el inyector captando imágenes más claras.



Figura 22-3: Sistema de iluminación

Realizado por: Autores

Para la iluminación se utiliza una lámpara de mango flexible, posee en su interior un foco led de 9W y un flujo luminoso de 900 lúmenes siendo una de las características ideales para iluminar el área de inspección.

3.6.5 Elementos de apertura y cierre

Para el banco de pruebas de inspección se utiliza interruptores de encendido y apagado, los cuales son los encargados de activar dispositivos o elementos mediante señales de control. Un módulo de relés son un conjunto de interruptores accionados mediante señales emitidas por un controlador (DAQ 6218), estas señales permite mover las posiciones de los contactos eléctricos de NC a NA y así permitir el paso de 110 VAC necesarios para la activación de las electroválvulas.



Figura 23-3: Módulo de relés

Realizado por: Autores

3.6.6 Conexión eléctrica

Conexión eléctrica es el conductor eléctrico de interconexión de dos elementos, componentes o aparatos eléctricos entre sí. El conductor eléctrico que se utiliza de acuerdo a los voltajes y corrientes específicas para las conexiones del sistema eléctrico en nuevo banco de pruebas es el 18 AWG.

3.7 Esquema del sistema de potencia

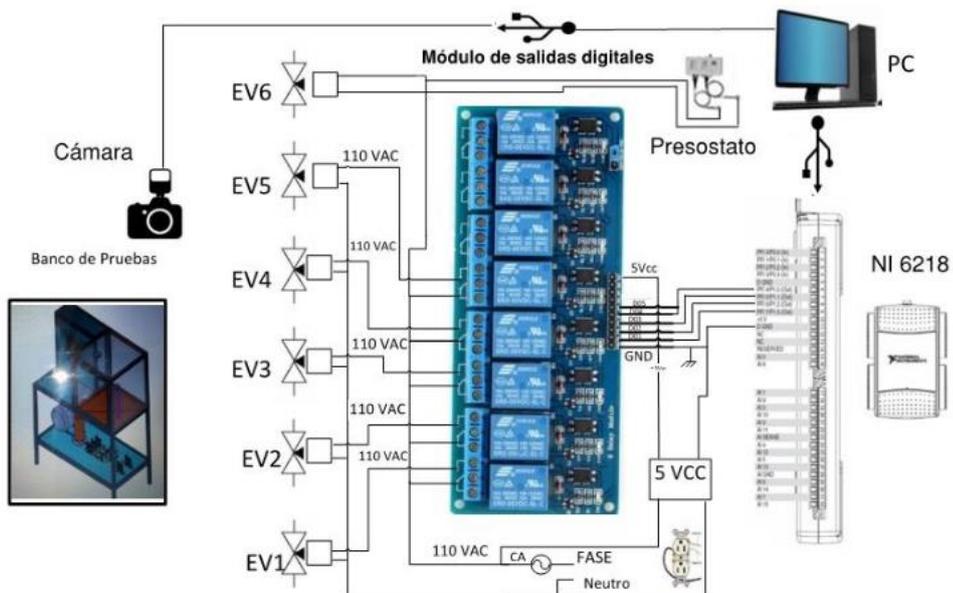


Figura 24-3: Esquema del sistema de potencia

Fuente: Autores

Terminales de conexión. A continuación se detallan las conexiones de entradas y salidas de cada electroválvula.

Tabla 3-3: Identificación de las terminales de conexión para electroválvulas

Electroválvula (ID)	Módulo de relés (In)	Tarjeta DAQ (Out)
EV1 (60 psi)	IN 1	DO 1
EV2 (30 psi)	IN 2	DO 2
EV3 (20 psi)	IN 3	DO 3
EV4 (primaria)	IN 4	DO 4
EV5 (secundaria)	IN 5	DO 5

Realizado por: Autores 2018

3.8 Selección de elementos de control y tuberías

Se realiza la descripción y características de varios elementos indispensables en el banco de pruebas (Anexo H).

Válvula de paso

- Diámetro: 1/4"
- Material: acero inoxidable
- Tipo: bola

Válvula anti retorno

- Diámetro 1/4"
- Tipo: columpio
- Material: acero inoxidable

Neplos

- Diámetro: 1/4"
- Longitud: 2",3",4"
- Material: acero inoxidable

Cañerías flexibles

- Diámetro: 1/4"
- Material: hule sintético nitrilo

3.9 Diagrama hidráulico

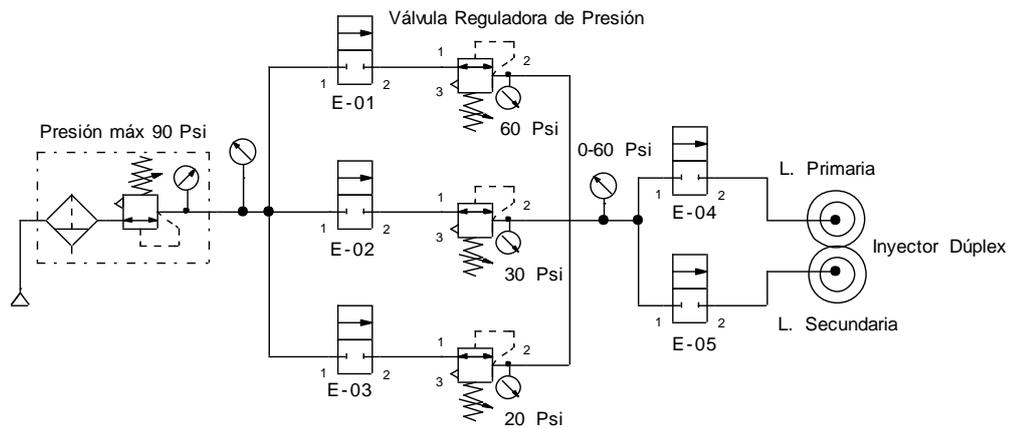


Figura 25-3: Esquema hidráulico del nuevo sistema

Fuente: Autores

3.10 Estructura del banco

Diseño mecánico y estructural. Una vez adquirido todos los componentes se procede a ensamblar según el modelo final aceptado, con el fin de determinar y establecer las dimensiones reales de la estructura principal del BPI.



Figura 26-3: Ensamble de componentes del sistema de distribución

Realizado por: Autores

3.10.1 Materiales

Una vez que se establece el diseño final, es necesario seleccionar los materiales correctos para la construcción del banco de pruebas. La selección de los materiales fue considerada bajo parámetros entre los cuales destacan la resistencia a la corrosión, disponibilidad y bajo costo.

A continuación se muestran los materiales que constituyen la estructura principal.

Tabla 4-3: Características de la estructura general

Elemento	Material	Dimensiones
Estructura general	Perfil cuadrado	1" x 1" x 2 mm de espesor
	Ángulo	1" x 1" x 2 mm de espesor
	Platina	1" x 3 mm de espesor
	Tol galvanizado	1,5 mm de espesor
	Plancha acero inoxidable	2 mm de espesor

Realizado por: Autores 2018

3.10.2 Descripción de la estructura del banco de pruebas

La base de la estructura está hecha con tubo cuadrado galvanizado, cubierta por cortes de láminas de tol galvanizado según dimensiones, colocadas en la parte inferior y superior, también se utiliza una lámina de acero inoxidable siendo esta utilizada como bandeja de recolección del combustible para así aprovechar su caída en cada lado y poder conducir el fluido hacia un ducto que lo lleva hacia un depósito de almacenamiento.

El material utilizado para la construcción de la estructura base se justifica debido a que los materiales poseen propiedades resistentes a la corrosión y oxidación. Para dar un mejor acabado y aspecto se considera utilizar pintura anticorrosiva la cual prolongará su vida útil.



Figura 27-3: Estructura general del banco

Realizado por: Autores

3.10.3 Descripción de la cabina de inspección

A pesar de que la cabina forma parte de la estructura base, en esta sección se adicionan varios extras con el objetivo de hermetizar en su totalidad, para que el técnico no respire el combustible y evitar contaminaciones. La cabina está conformada por tubos cuadrados y ángulos, los mismos

que sirven para la colocación de vidrios de 6 mm de espesor. Para la puerta y parte frontal de la cabina se utilizan platinas que son colocadas alrededor de la cabina interior y así obtener una mejor impermeabilidad al momento de cerrar la puerta.

3.11 Montaje de equipos e instrumentos del banco de pruebas

3.11.1 Montaje del inyector para las pruebas

El inyector es montado en la placa provista por el fabricante Pratt & Whitney de material de acero inoxidable debido al contacto directo del combustible, se asegura mediante pernos con tuercas tipo mariposa con el fin de que el elemento de inspección este fijo y no altere los resultados durante el proceso.

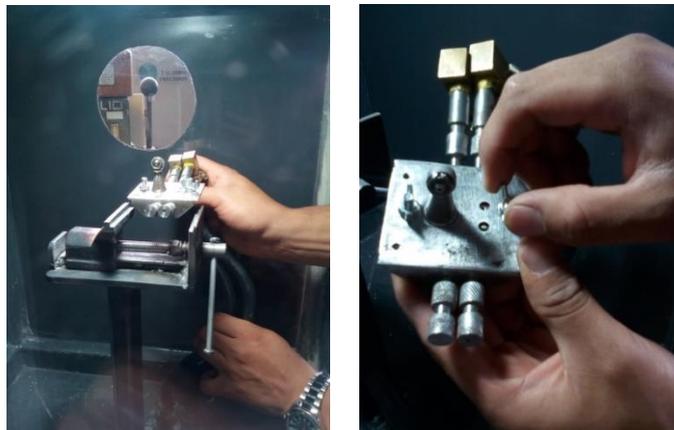


Figura 28-3: Montaje del inyector

Realizado por: Autores

Las boquillas son elemento de acople entre las líneas y los colectores mismas que deben ser colocadas correctamente, por tal razón es necesario identificar la entrada en el colector primario y secundario.



Figura 29-3: Acoples boquilla-inyector

Realizado por: Autores

Para una fácil identificación de las líneas se recomienda ubicar el punto de suelda tal como se muestra en la figura 3-30, este pequeño detalle indica el colector al cual debe ser conectado la línea primaria.



Figura 30-3: Indicador de punto de suelda para línea primaria

Realizado por: Autores

El ensamble placa-inyector es colocado sobre una pequeña prensa modificada, que permite tener un posicionamiento fijo.

3.11.2 Montaje de la cámara

Debido a que la cámara es ubicada en la parte exterior de la puerta, necesita ser desmontada fácilmente, es por ello que se requiere incorporar un soporte móvil que brinde flexibilidad de movimiento a la cámara. Este soporte está hecho de una lámina de aluminio de 4 mm de espesor cuyas dimensiones están en base al diseño preliminar, posee dos ranuras horizontales y verticales, que sirven como guía para el desplazamiento longitudinal de la cámara y obtener así un mejor enfoque hacia el objeto de inspección.



Figura 31-3: Soporte de la cámara

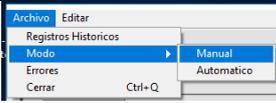
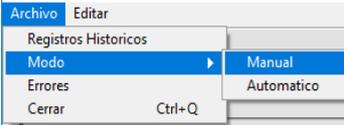
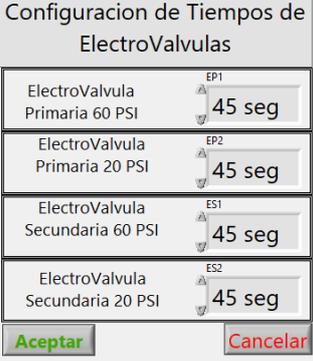
Realizado por: Autores

3.12 Interfaz en LabVIEW

Se desarrolla un interfaz mediante LabView el cual permite controlar la apertura de las electroválvulas desde el computador y el controlador USB NI 6218. El HMI es programado con la finalidad de permitir al operador controlar, visualizar y registrar en una base de datos los resultados obtenidos en el proceso de inspección. La ventana principal del interfaz está constituida por tres secciones las mismas que se detallan a continuación.

Menú de usuario. En esta sección se despliegan varias opciones que permiten al operario realizar configuraciones antes de iniciar la inspección.

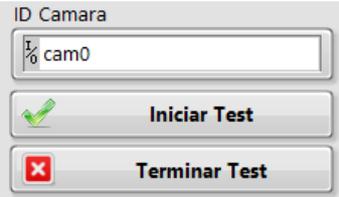
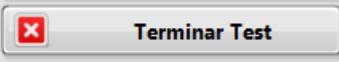
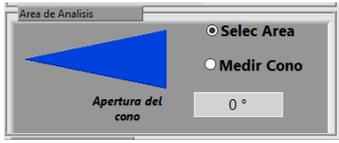
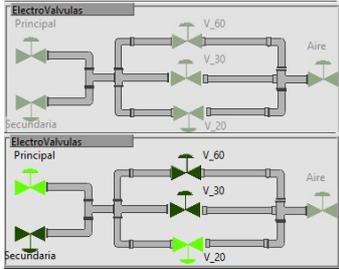
Tabla 5-3: Menú de usuario

Archivo	Permite visualizar datos históricos que se almacenan de las pruebas realizadas.	
Modo	Modo manual.- El usuario puede controlar la activación de las electroválvulas según su disposición.	
	Modo automático.- Permite activar y desactivar las electroválvulas de forma automática en base a tiempos programados previamente.	
Cerrar Ctrl +Q	Cierra la aplicación mediante una aceptación previa.	
Editar	<p>La opción tiempo electroválvulas despliega el siguiente cuadro de diálogo donde permite variar los tiempos de apertura de las electroválvulas para el paso de combustible para sus respectivas pruebas. El rango de tiempos es de 10 a 180 segundos.</p> <p><i>Nota: No es necesario definir el mismo tiempo cada vez que se realicen las pruebas, debido a que se guarda su última modificación.</i></p>	

Realizado por: Autores 2018

Controles. Aquí se puede identificar, verificar el modo y el estado de activación de las electroválvulas. Es necesario llenar los campos que aparecen en esta sección para dar inicio al test.

Tabla 6-3: Sección controles

<p>Modo</p>	<p>Indica si el sistema se encuentra en modo manual, aquí se puede apreciar el indicador de color amarillo. Si el sistema se encuentra en modo automático se observa el indicador de color verde.</p>	
<p>Estado</p>	<p>Indica el estado en el que se encuentra el análisis de los inyectores la figura muestra cómo interpretar el estado del sistema.</p>	
<p>ID cámara</p>	<p>Se debe seleccionar el instrumento de visión para realizar las pruebas de los inyectores, en el caso de existir más de un instrumento de visión identifique cual es el que se va a emplear para realizar las pruebas. Si el <i>ID cámara</i> está vacío no es posible comenzar el test. Los controles <i>iniciar test</i> y <i>electroválvulas</i> estarán desactivados. Al seleccionar el instrumento de visión el control de <i>iniciar test</i> se activa permitiendo arrancar las pruebas.</p>	
<p>ID inyector</p>	<p>Antes de iniciar la inspección es necesario llenar los campos de identificación del operador a cargo del proceso y número de identificación del inyector.</p>	
<p>Terminar test</p>	<p>Suspende la actividad del test sobre los inyectores en cualquier instante desactivando las electroválvulas al instante.</p>	
<p>Área de análisis</p>	<p>Corresponde a los tres puntos que forman el área del ángulo de apertura del inyector. Primero ubicar área de análisis dar clic en la primera opción como muestra la figura, luego posicionarse en la zona de visualización, observar las aristas del cono que se genera durante la inspección, dar clic derecho en la arista superior pasar por el origen realizando la misma operación y terminar en la arista inferior dando un doble clic para poder cerrar la figura. Una vez seleccionada el área buscar la opción <i>medir cono</i> en la sección <i>controles</i>.</p>	
<p>Electroválvulas</p>	<p>En esta sección se controla y se observa el estado de las electroválvulas según el modo de operación. Modo manual.- El accionamiento se realiza dando clic sobre el elemento que se desea controlar. Modo automático.- Indica el estado de las electroválvulas durante la inspección y no podrán ser manipuladas.</p>	

Realizado por: Autores 2018

Zona de visión. Esta zona contiene la imagen que se analiza, el uso de algunas opciones de la paleta de control tales como la lupa o el localizador de puntos los cuales sirven para seleccionar las aristas del cono de pulverización. Si por algún error la imagen está muy grande o se ha distorsionado demasiado dar clic derecho sobre la zona de visión y seleccione la opción *Zoom to Fit* para regresar a sus condiciones iniciales.

3.13 Diagrama de bloque de LabVIEW

El bloque muestra la secuencia que manejan las electroválvulas y su activación respectiva en base a las presiones, la cámara y la tarjeta de adquisición de datos.

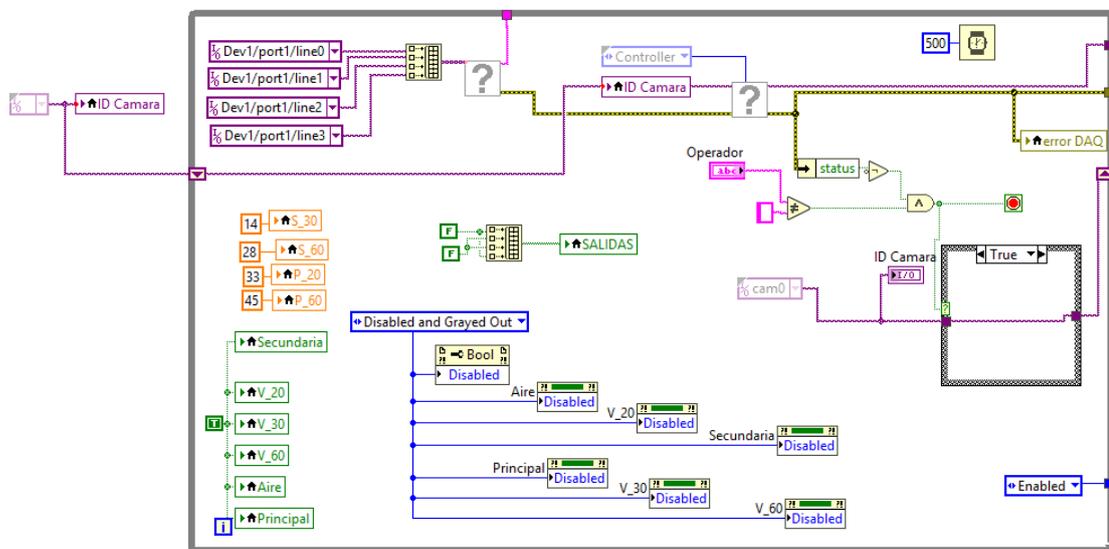


Figura 32-3: Diagrama de control de electroválvulas

Realizado por: Autores

CAPÍTULO IV

4 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y MANUALES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Para realizar las pruebas de funcionamiento en los inyectores se continúa con un orden de acuerdo al siguiente flujograma desarrollado por los autores.

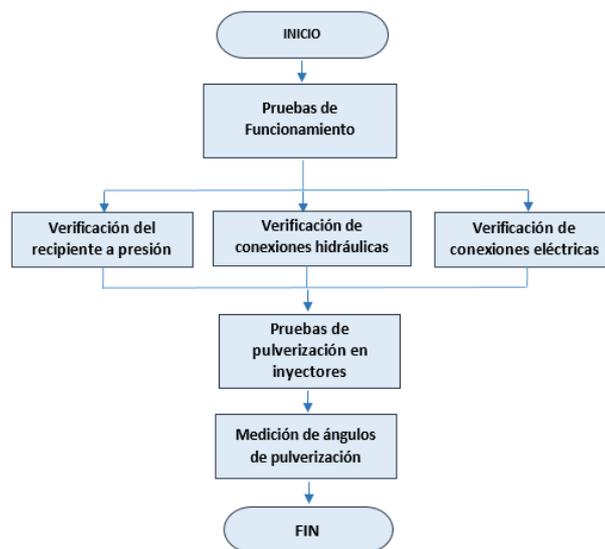


Figura 1-4: Flujograma de pruebas de funcionamiento

Realizado por: Autores

4.1 Pruebas de funcionamiento

4.1.1 Verificación del recipiente a presión

Para la verificación de este elemento se realiza una prueba hidrostática que consiste en someter a dicho recipiente 1,5 veces de la presión de diseño durante 24 horas aproximadamente, estas actividades permiten verificar fugas en los cordones de soldadura.

4.1.2 Verificación de conexiones hidráulicas

Para la verificación de fugas en las tuberías se opta de la siguiente manera; una vez ensamblado todo el sistema hidráulico se procede a llenar el recipiente con agua para luego hacer circular el fluido por las cañerías durante un lapso de tiempo de operación. Durante la verificación se abren

y cierran las electroválvulas de tal manera que el fluido a presión se concentre en varios puntos de la instalación, permitiendo observar los posibles fallos y fugas. Donde se hallan fugas se necesita ajustar y sellar las uniones en la instalación.

4.1.3 Verificación de conexiones eléctricas

Verificar que los puntos de conexión tanto de las electroválvulas como de los diferentes equipos se encuentren posicionadas en la respectivas borneras, seguir el esquema del sistema de potencia así también las terminales de conexiones que se presentan en la tabla 3-3, además se realiza mediciones de continuidad y voltaje en los componentes electrónicos y eléctricos, todo esto se logra empelando las herramientas, instrumentos y seguridades respectivas.

4.2 Prueba de pulverización en inyectores

Luego de realizar la inspección visual se verifica la condición física de la punta. Es primordial en el mantenimiento de los inyectores la ejecución de las pruebas de pulverización. A continuación se presentan algunas imágenes adquiridas en el sistema en las cuales se detallan sus posibles fallos y si el inyector se aprueba o no. Para la verificación e inspección de inyectores dúplex se debe tener en cuenta los pasos para el mantenimiento y los posibles defectos de dicho elemento, además se debe tener en cuenta los límites máximos permitidos para la aprobación del inyector, para un mayor detalle de estos parámetros revisar el capítulo 3.

4.2.1 Inspección visual del cono de pulverización

La inspección visual es parte del correcto proceso de pulverización y mantenimiento de los inyectores, consiste en observar la forma básica del cono, tanto en vistas laterales como vista frontal y posterior para ello la cabina de vidrio está provista de aberturas pequeñas en sus cuatro caras brindando así una amplia visualización.

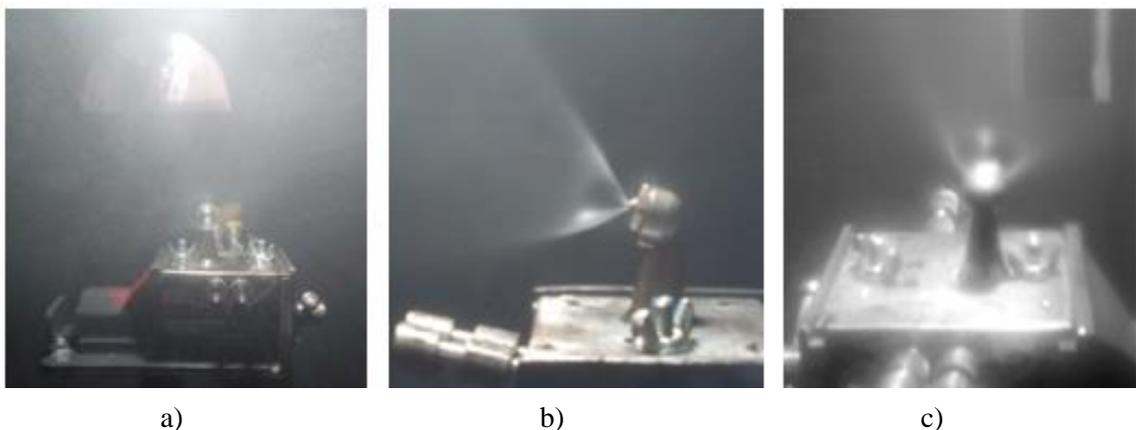


Figura 2-4: Cono pulverizado, a) vista frontal, b) vista lateral, c) vista posterior

Realizado por: Autores

4.2.2 Patrones de pulverización

Según lo dispuesto por el manual de mantenimiento de Pratt & Whitney se debe determinar que patrones rigen al cono pulverizado, para ello se realiza una comparación entre los patrones defectuosos y las imágenes reales tomadas del nuevo banco de pruebas, como se observa en la figura 4-3, la cual muestra un cono completamente definido que está acorde a los patrones señalados por el fabricante resultando ser una buena pulverización uniforme, mientras que la figura 4-4, muestra una forma cónica distorsionada relacionándose con un patrón skewness (asimétrico) ya que el cono no es uniforme y a su vez presenta spitting (salpicaduras) que produce grandes gotas de combustible no atomizado.

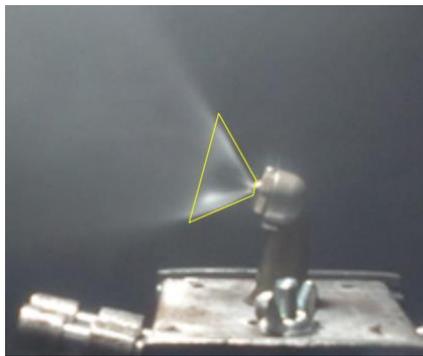


Figura 3-4: Comparación de imágenes reales con patrones de pulverizado

Realizado por: Autores



Figura 4-4: Comparación de imágenes reales con defectos de pulverización

Realizado por: Autores

4.2.3 Etapas de pulverización

Determinados los patrones existentes dentro de las pruebas de pulverización es necesario comprobar y asegurar visualmente que se cumplan las etapas de pulverización cuando el inyector inicia con la descarga de fluido y cuando finaliza la prueba en relación a sus respectivas presiones

y líneas de trabajo. En la figura 4-5, se muestra un inyector en funcionamiento a 20 psi en línea primaria, aquí se observa las etapas que cumple a medida que aumenta progresivamente la presión de inyección del líquido, en la etapa de 2 y 3 se produce goteo, en la etapa 4 produce un cono distorsionado, en la 5 forma una burbuja cerrada conocida también como etapa de cebolla, en 6 y 7 la burbuja se abre en forma de tulipán hueco donde el combustible se desintegra en gotas grandes y por último en la etapa 8 la superficie se endereza dando como resultado un definido spray de cono hueco con gotas muy finas.

Las etapas son satisfactorias para los tres tipos de presiones tanto para línea primaria como secundaria, cumpliendo así con lo establecido en la figura 2-15 como punto de semejanza y comparación para la pulverización de cada inyector.

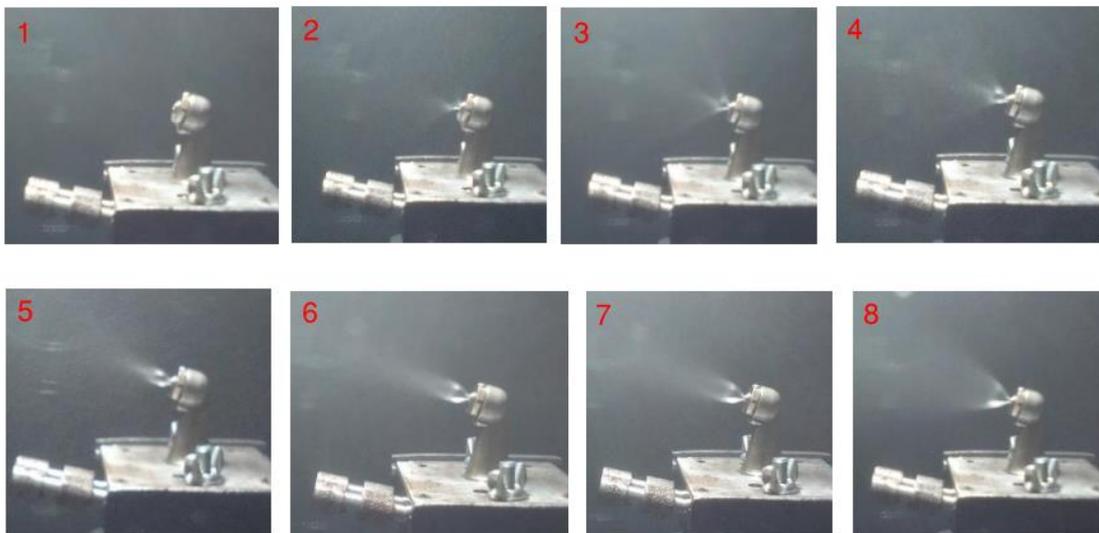


Figura 5-4: Etapas de pulverizado

Realizado por: Autores

4.2.4 *Pruebas con inyector dúplex óptimo*

4.2.4.1 *Prueba a 20 psi línea primaria*

De acuerdo a las pruebas de funcionalidad del fabricante se debe ajustar la presión hasta que el manómetro indique 20 psi, esto se logra mediante la interfaz desarrollada en LabVIEW que controla la apertura y cierre de las válvulas, aquí debe aparecer un chorro cónico completo, libre de imperfecciones como vacíos, goteos y salpicaduras. De acuerdo a las imágenes reales obtenidas se puede medir un cono pequeño de apertura aproximadamente en 73° , esta forma describe al patrón básico de pulverización del inyector.

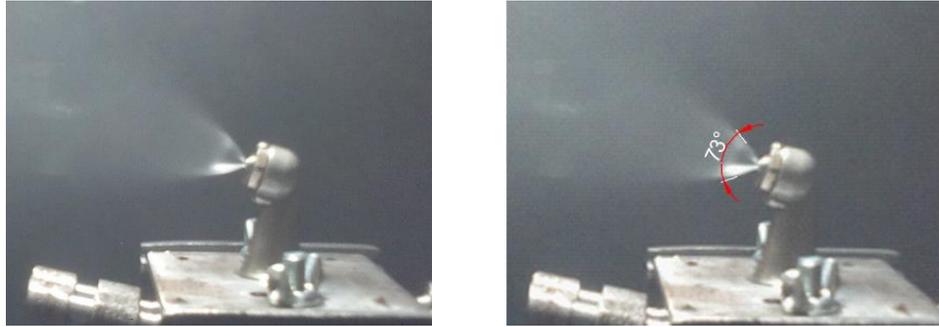


Figura 6-4: Medición del ángulo con inyector dúplex a 20 psi en línea primaria

Realizado por: Autores

4.2.4.2 Prueba a 60 psi línea primaria

De acuerdo a las pruebas de funcionalidad del fabricante se debe aumentar la presión hasta que el manómetro indique 60 psi esto se logra mediante la interfaz desarrollada en LabVIEW que controla la apertura y cierre de las válvulas, el volumen de pulverización debe aumentar y extenderse uniformemente alrededor del eje central del orificio de la punta. De acuerdo a las imágenes reales obtenidas se puede medir un cono más amplio de apertura aproximadamente en 85°, mediante esta forma se observa con mayor detalle los patrones de pulverización.

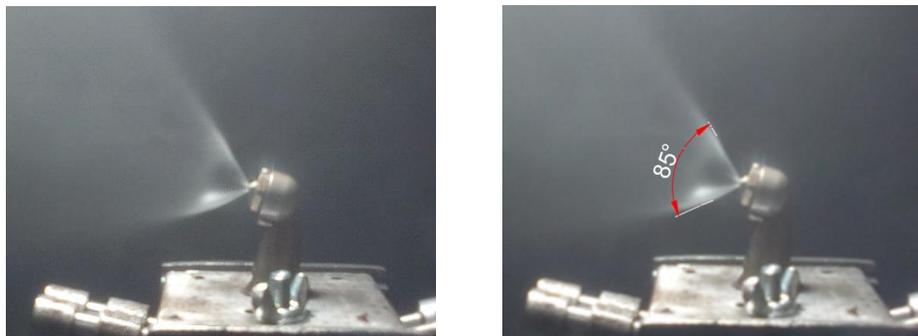


Figura 7-4: Medición del ángulo con inyector dúplex a 60 psi en línea primaria

Realizado por: Autores

4.2.4.3 Prueba a 30 psi línea secundaria

De acuerdo a las pruebas de funcionalidad del fabricante se debe ajustar la presión hasta que el manómetro indique 30 psi esto se logra mediante la interfaz desarrollada en LabVIEW que controla la apertura y cierre de las válvulas, aquí debe aparecer un chorro cónico completo, libre de imperfecciones como vacíos, goteos y salpicaduras. De acuerdo a las imágenes reales obtenidas se puede medir un cono pequeño de apertura aproximadamente en 80°, esta forma describe al patrón básico de pulverización del inyector con mayor incremento de flujo.

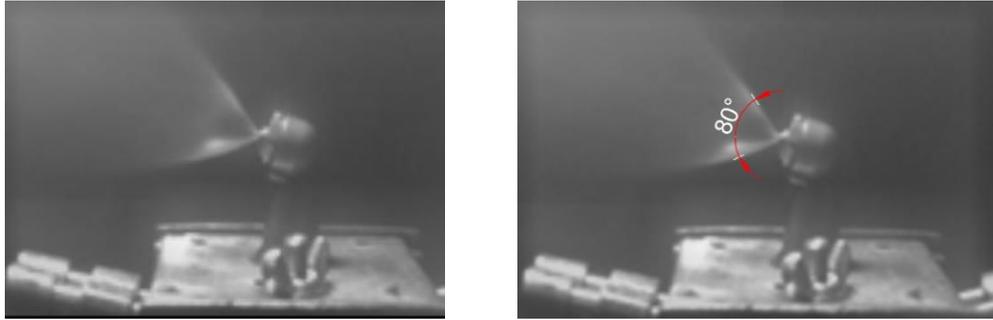


Figura 8-4: Medición del ángulo con inyector dúplex a 30 psi en línea secundaria

Realizado por: Autores

4.2.4.4 Prueba a 60 psi línea secundaria

De acuerdo a las pruebas de funcionalidad del fabricante se debe aumentar la presión hasta que el manómetro indique 60 psi esto se logra mediante la interfaz desarrollada en LabVIEW que controla la apertura y cierre de las válvulas, el volumen de pulverización debe aumentar y extenderse uniformemente alrededor del eje central del orificio de la punta. De acuerdo a las imágenes reales obtenidas se puede medir un cono más amplio de apertura aproximadamente en 89°, mediante esta forma se observa con mayor detalle los patrones de pulverización con mayor incremento de flujo.

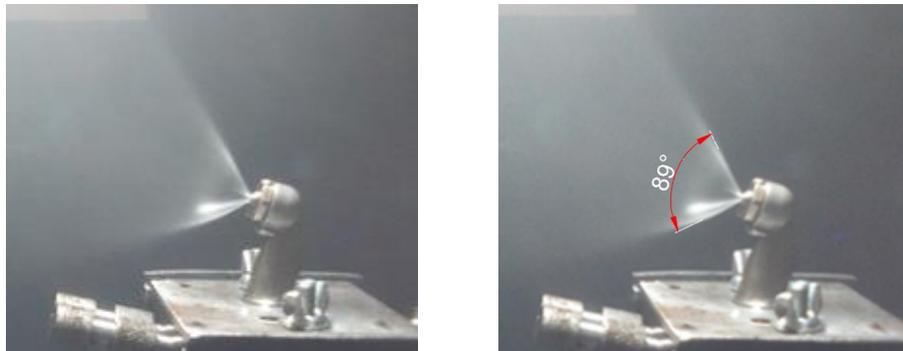


Figura 9-4: Medición del ángulo con inyector dúplex a 60 psi en línea secundaria

Realizado por: Autores

4.2.4.5 Visualización del cono de pulverización con visión artificial

Gracias a un procesamiento de imágenes, esencialmente detección de bordes y filtros de contorno como segmentación aplicados sobre los píxeles se puede obtener mejor calidad de imagen y un enfoque más preciso del objeto. En la figura 4-10, se muestra las aristas de un cono uniforme, logrando así realizar la medición manual gracias al software desarrollado en LabVIEW.



Figura 10-4: Visualización de contorno del inyector dúplex y sus aristas mediante visión artificial a 60 psi en línea primaria

Realizado por: Autores

4.2.5 *Pruebas con inyectores dúplex defectuosos*

Si se produce un goteo a (20 -30 -60) psi de presión tanto en la línea primaria como secundaria se debe limpiar y volver a probar el inyector. Como se puede observar en la figura 4-11, existe una imperfección en el cono de apertura y claramente se puede apreciar la falta de simetría en su forma así como salpicaduras de gotas grandes no pulverizadas cumpliendo con los patrones de defectos de pulverización citados por el fabricante, en este inyector defectuoso no se puede obtener una medición aproximada del cono puesto que su forma no es estable ni uniforme. Si no se puede lograr una calidad satisfactoria de pulverización después de una limpieza repetida, las boquillas inutilizables se debe devolver a una tienda autorizada de revisión de accesorios como lo estipula el fabricante Pratt & Whitney.



Figura 11-4: Defecto por goteo presente en inyector dúplex a 60 psi

Realizado por: Autores

4.2.5.1 *Visualización del cono de pulverización defectuoso con visión artificial*

Gracias a un procesamiento de imágenes, esencialmente a la detección de bordes y filtros de contorno como segmentación aplicados sobre los píxeles se puede obtener mejor calidad de imagen y un enfoque más preciso del objeto. En la figura 4-10, muestra el claro contorno de un cono distorsionado con ello no se puede realizar mediciones fiables del cono de apertura.



Figura 12-4: Visualización de contorno del inyector dúplex con defectos y sus aristas mediante visión artificial a 60 psi en línea secundaria

Realizado por: Autores

4.2.6 *Prueba con inyector simplex*

Se desarrollan pruebas con un inyector simplex en el cual se envía combustible a 60 psi de presión a la única línea que dispone este tipo de inyector y se puede observar una pulverización adecuada, cumpliendo con lo citado en la literatura bibliográfica, estos inyectores son desarrollados para trabajar mejor a altas presiones.



Figura 13-4: Pulverización inyector simplex

Realizado por: Autores

Una vez finalizadas las pruebas el operario tiene la opción de imprimir el reporte de resultados o guardar el archivo en una base de datos. En el reporte se puede observar la línea por la que atraviesa el combustible presurizado, la presión, ángulo de apertura, así también la fecha, hora y el responsable a cargo de la inspección.



Figura 14-4: Reporte de resultado del programa BPI

Realizado por: Autores

4.3 Medición de los ángulos de pulverización

Tabla 1-4: Toma de datos de los ángulos de aspersión

N° Pruebas	Líneas inyector dúplex			
	L. Primaria		L. Secundaria	
	Presiones (psi)			
	20	60	30	60
	Ángulos			
1	72,40°	86,37°	79,25°	90,01°
2	71,05°	84,75°	81,03°	88,58°
3	73,20°	83,02°	80,18°	89,91°
4	73,51°	85,42°	79,96°	88,37°
5	72,17°	86,80°	79,31°	89,40°
6	73,11	84,51°	80,03°	90,05°
7	71,90°	83,28°	81,10°	87,98°
8	72,93°	84,78°	79,95°	91,63°
9	73,11°	84,99°	78,99°	89,15°
10	72,88°	85,03°	79,75°	89,37°
Promedio	72,626°	84,895°	79,827°	89,417°
Ángulo aprox.	73°	85°	80°	89°

Realizado por: Autores 2018

Mediante el software se puede obtener mediciones de ángulos en la línea primaria con 20 y 60 psi de presión y en línea secundaria con 30 y 60 psi de presión, se toman 10 muestras de ángulos en referencia a la apertura del cono uniforme desarrollado en la punta del inyector con estos valores se verifica el correcto funcionamiento del inyector de acuerdo a lo establecido por el fabricante, el inyector dúplex de doble orificio presenta mejor versatilidad de pulverización debido al superior manejo de presiones bajas y altas de combustible.



Figura 15-4: Pruebas y tomas de datos en el CIDFAE

Realizado por: Autores

4.4 Manual de operación

Para un correcto funcionamiento de los equipos implementados en el banco de pruebas se debe seguir los siguientes pasos, los mismos que ayudan al operario a maximizar los resultados de inspección.

1. Verificar el banco tanto en el interior de la cámara de control en la cabina de inspección y en el exterior del banco.



Figura 16-4: Inspección previa del banco

Realizado por: Autores

2. Llenar el taque con 2,5 galones de combustible Jet A1 y cerrar el depósito correctamente.



Figura 17-4: Suministro de combustible

Realizado por: Autores

3. Conectar el equipo a la fuente de 110 V, conectar el equipo a una línea de aire comprimido.



Figura 18-4: Conexión de las líneas de alimentación

Realizado por: Autores

4. Ubicar los breakers de la cámara de control, y de la electroválvula general en ON.



Figura 19-4: Activación de breakers

Realizado por: Autores

5. Pulsar ON en el tablero lateral del banco y encender el computador.

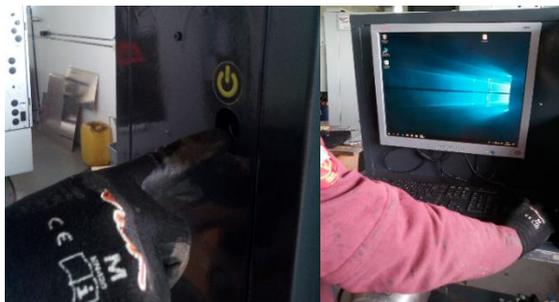


Figura 20-4: Encendido del computador

Realizado por: Autores

6. Montar un inyector a la vez e insertar manualmente las líneas de combustible y los tapones a los colectores específicos del inyector y sujetarlo mediante una placa y pernos a la prensa.

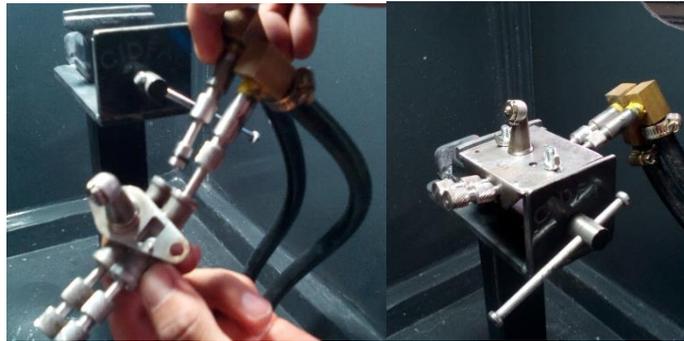


Figura 21-4: Montaje del inyector

Realizado por: Autores

7. Verificar que todo el sistema responda adecuadamente previo al proceso de inspección.



Figura 22-4: Verificación de todo el sistema

Realizado por: Autores

8. Abrir el software ejecutable en el computador con denominación "BPI-FAE".

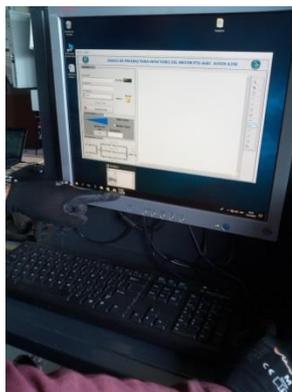


Figura 23-4: Ejecución del software

Realizado por: Autores

9. Llenar los datos del operador en la interfaz para iniciar el test.

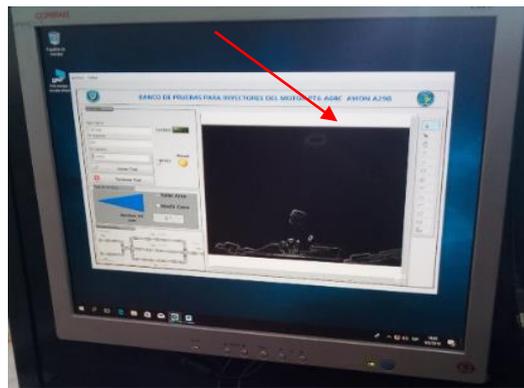


Figura 24-4: Inserción de datos en la interfaz

Realizado por: Autores

10. Realizar mediciones hasta que los parámetros sean los requeridos.



Figura 25-4: Inspección del cono pulverizado

Realizado por: Autores

11. Pulsar finalizar test, apagar el computador y poner en OFF los breakers inicialmente mencionados.



Figura 26-4: Finalización del proceso

Realizado por: Autores

12. Desconectar el equipo de la fuente de alimentación eléctrica y la línea de aire, desfogar el combustible sobrante para evitar estancamiento innecesario.



Figura 27-4: Desconexión y drenaje de combustible

Realizado por: Autores

Tabla 2-4: Flujoograma del procedimiento de operación del nuevo banco

Proceso	Descripción
Llenar	Llenar el taque con 2,5 galones de combustible Jet A1 y cerrar el depósito correctamente.
Conectar	Conectar el equipo a la fuente de alimentación eléctrica, en este caso a 110 V, además conectar el equipo a una línea de aire comprimido.
Ubicar	Ubicar los breakers de la cámara de control, y de la electroválvula general en ON.
Pulsar	Pulsar ON en el tablero lateral del banco y encender el computador.
Montar	Montar un inyector a la vez, insertar manualmente las líneas de combustible a los colectores específicos del inyector.
Verificar	Verificar que todo el sistema y su entorno estén en condiciones adecuadas para su funcionamiento.
Abrir	Abrir el programa en el computador.
Iniciar proceso	Llenar los datos de la interfaz que pide como requisito el programa y comenzar el proceso.
	Realizar mediciones de forma manual hasta que los parámetros sean los requeridos.
Terminar proceso	Pulsar finalizar test, apagar el computador, y poner en OFF los breakers inicialmente mencionados.
Apagar	
Fin	Desconectar el equipo de la fuente de alimentación.

Realizado por: Autores 2018

4.5 Manual de mantenimiento

El mantenimiento del banco de pruebas de inyectores dentro del taller minimiza el riesgo de fallo y asegura la continua operación de los equipos, evitando su continua calibración especialmente

en equipos sensibles a las condiciones del entorno, a la incorrecta manipulación o a su inevitable desgaste. A continuación se presenta el plan de mantenimiento el cual contiene recomendaciones generales y por supuesto las tareas necesarias para prevenir los principales fallos que pueden tener el equipo o sistema.

4.5.1 Inspección externa e interna del equipo

Examinar o reconocer atentamente el equipo, partes o accesorios que se encuentran a la vista, sin necesidad de quitar partes, tapas, etc, tales como mangueras, estructura general, cordón eléctrico, conector de alimentación, para detectar signos de corrosión, impactos físicos, desgastes, vibración, sobrecalentamiento, fatiga, roturas, fugas, partes faltantes, o cualquier signo que obligue a sustituir las partes afectadas o tomar alguna acción pertinente al mantenimiento preventivo o correctivo.

4.5.2 Ajuste y calibración

Se debe tener en cuenta lo observado anteriormente en la inspección externa e interna del equipo, realizar mediciones de los parámetros más importantes, de modo que éstos sean acordes a normas técnicas establecidas, especificaciones del fabricante o cualquier otra referencia. Luego de esto debe realizarse la calibración que se estime necesaria, poner en funcionamiento el equipo y realizar la medición de los parámetros correspondientes, estas dos actividades son necesarias hasta lograr que el equipo no presente signos de desajuste. Antes de ejecutar las tareas de mantenimiento se debe constatar la existencia de los materiales, las herramientas y equipos necesarios para la ejecución de cada una de ellas.

4.5.3 Pruebas funcionales por partes y completas

Es importante poner en funcionamiento el equipo en conjunto con el operador, en todos los modos de funcionamiento que éste posea, de manera que permita al operador detectar las posibles fallas en el equipo antes y durante el proceso de inspección.

Procedimiento para pruebas funcionales por partes

- Si la máquina presenta alguna anomalía se procede a realizar una prueba de funcionamiento por partes para encontrar la causa.
- Con la máquina encendida medir la intensidad de fase y la tensión entre fases.
- Verificar la continuidad en los breakers.
- Si la máquina o equipo no enciende se procede a establecer el funcionamiento o no de cada uno de los elementos que conforman el circuito de control y potencia.
- Si se ha realizado alguna reparación, cerciorarse que todos los elementos estén nuevamente conectados y de la forma correcta.

- Comprobar la intensidad en el circuito de las electroválvulas y presostato.
- Observar si existen fugas de combustible o aire en la tubería de conducción, así como en los diferentes equipos donde se utiliza, sellarlas si es posible o cambiarlas.
- Verificar que la cámara esté conectada y capte el cono de pulverizado en tiempo real.

Procedimiento para pruebas funcionales completas

- Verificar que ningún elemento extraño impida el normal funcionamiento del equipo antes de encenderlo.
- Encender el equipo según el manual de operación.
- Verificar el funcionamiento de los diferentes interruptores de encendido o apagado.

Nota: Para revisar las partes internas del BPI se debe desconectar previamente de la red eléctrica. Si se encuentra el elemento que causa la anormalidad, proceder a la corrección del mismo o a su reemplazo.

4.5.4 Estructura metálica

Se debe realizar una inspección de la estructura base del equipo, revisar los puntos de unión soldadura, los perfiles (tubos mecánicos y ángulos), elementos de sujeción como pernos y tornillos los cuales se recomienda hacer un apriete por lo menos una vez al mes o según el técnico lo requiera. Observar que las ruedas se encuentren en buenas condiciones es decir verificar el desgaste por fricción o cargas. En caso que la pintura de la estructura se encuentre en mal estado, se recomienda remover las partes corroídas y la suciedad para en lo posterior darle una protección adecuada con pintura anticorrosiva.

4.5.5 Recipiente a presión

Realizar la inspección de este elemento es de gran importancia, se debe verificar que todos los componentes como válvula de seguridad, válvula de paso no se encuentren obstruidos por sedimentos o partículas extrañas las cuales pueden afectar y repercutir en las tuberías y accesorios durante la distribución del combustible.

Aquí se mencionan algunas consideraciones a tener presente en el recipiente a presión.

- El tanque tiene una capacidad total de 3,6 galones de fluido, según el requerimiento de inspección el tanque debe presurizarse con aire por lo que se recomienda llenar el tanque con 2,5 galones de combustible.
- Asegurarse que la válvula de bola esté cerrada, los manómetros estén posicionados correctamente y encerados, verificar que todos los equipos accesorios y tubería estén conectados al sistema.
- Comprobar que la apertura de desfogue de la válvula de seguridad esté libre.

- Comprobar las respectivas conexiones entre la bobina de la electroválvula y el presostato al panel de control, la presión interna en el tanque es controlada por el presostato inicialmente regulado.
- Si se necesita suministrar más combustible al tanque una vez que éste se termine se debe despresurizar el sistema.
- Despresurizar el sistema una vez finalizado el combustible para posteriormente permitir la inserción del fluido al tanque.
- Despresurizar el tanque aflojando lentamente y con mucha precaución la válvula de bola.

Nota: De ninguna manera se debe retirar o aflojar el tapón de suministro de combustible cuando el sistema o el tanque esta presurizado, puede causar daños materiales o afectar la seguridad del operario.

4.5.6 Tuberías y accesorios

Verificar la no existencia de fugas en la red de distribución, uniones y válvulas las cuales deben ser colocadas en la dirección correcta según indique la flecha del sentido de flujo. El uso de uniones universales que permite al técnico realizar un fácil montaje y desmontaje de los equipos para su respectivo mantenimiento.

- Reemplazar el accesorio desgastado con el fin de evitar las pérdidas, por uno de las mismas características.
- Cambiar el tramo de tubería roto o fisurado inmediatamente por uno del mismo diámetro y material.
- Dejar el suficiente espacio para una fácil manipulación y mantenimiento en los componentes.

4.5.7 Tablero de control

La ejecución de estas actividades se debe realizar con el equipo desconectado de toda fuente de alimentación. Actividades tales como reajustar los tornillos, las conexiones eléctricas, y la puesta a tierra brindan una mayor seguridad al operario.

- Inspeccionar visualmente el estado de los dispositivos, protecciones y conexiones del panel de control.
- Realizar pruebas de continuidad en las conexiones correspondientes del tablero, además de verificar los voltajes en el sistema eléctrico.
- Verificar que el accionamiento se realice de forma normal para lo cual se accionan sus correspondientes mandos.
- Ajustar todos los tornillos de las borneras del controlador y de los interruptores.

4.6 Reemplazo o reparación de partes defectuosas

La mayoría de los equipos tienen partes diseñadas para desgastarse durante el funcionamiento del equipo, de modo que prevengan el desgaste en otras partes o sistemas del mismo. Ejemplo de éstas son los empaques, los dispositivos protectores, etc. El reemplazo de estas partes es un paso esencial del mantenimiento preventivo y se puede realizar en el momento de la inspección.

Reparación de válvulas. A continuación se describe el procedimiento para reparar válvulas reguladoras de presión, de seguridad y electroválvulas. En general se puede usar un procedimiento similar con algunas modificaciones para cualquier otro tipo de válvula.

4.6.1 Reparación válvula reguladora de presión

Destapar la válvula, limpiar y examinar el eje y el cuerpo para determinar la extensión del daño. Si el metal está corroído reemplazar las válvulas por una nueva, si no proceder con los siguientes pasos:

- Quitar el tapón superior e inferior de la válvula con precaución. Chequear si tiene picaduras donde van montadas las empaquetaduras. Generalmente una ligera pulida con papel de lija fino es suficiente para dejarlo en buenas condiciones.
- Quitar la empaquetadura y limpie el asiento, el interior de la válvula y todas sus partes, elimine todo el sucio y óxido.
- Reemplazar las empaquetaduras dañadas por nuevas de calidad y tamaño apropiado si es posible polímero FKM para mejor durabilidad frente al combustible.
- Montar el pistón junto con su vástago en la prensa con la cara hacia arriba.
- Limpiar el muelle de posibles partículas adherencias y óxido en la superficie.
- Ensamblar ubicando todas sus partes en su posición correcta, los empaques deben estar bien ubicados para asegurar un buen sellado. Chequear siempre las válvulas después de ponerlas en servicio.

Tabla 3-4: Problemas y soluciones aplicadas a la válvula reguladora de presión

Problemas	Causas	Soluciones
<i>La presión sobrepasa el punto de ajuste</i>	Asiento y tapón desgastados	Desmontar el regulador Remplazar los componentes desgastados
<i>Caída de presión por debajo de la configuración de ajuste</i>	Válvula mal instalada	Verificar la dirección del fluido según la flecha marcada en el cuerpo.
	Válvula o coeficiente KVS demasiado pequeño	Comprobar el dimensionado de la válvula. Instalar una válvula mayor si es necesario.
<i>Desajustes en el control</i>	Partículas entre el asiento y el obturador	Eliminar partículas externas. Remplazar componentes dañados.
<i>Presión de entrada fluctuante</i>	Válvula demasiado grande	Comprobar el dimensionado de la válvula. Seleccionar una válvula de coeficiente KVS inferior si fuera necesario.
<i>Fuertes ruidos</i>	Velocidad del flujo elevada. Cavitación.	Comprobar dimensionado de la válvula. Instalar difusor de flujos en gases.

Realizado por: Autores

4.6.2 Reparación electroválvula

- Desensamblar la válvula retirando la tuerca y perno de sujeción a medida que se van desmontando los elementos se recomienda examinar para conocer su estado.
- Inspeccionar que el muelle no esté oxidado, un diafragma en buen estado y no agrietado para tener un cierre total del fluido.
- Limpiar completamente todas las piezas, removiendo todo residuo presente en la armadura y en el diafragma, puesto que las virutas no permiten un cierre hermético entre las partes. Del mismo modo se revisa el orificio piloto verificando que no se encuentre obstruido.
- Ubicar todos los empaques en su respectiva posición y proceder a ensamblar nuevamente las piezas de la válvula.

Tabla 4-4: Problemas y soluciones que aplican a electroválvulas

Problemas	Causas	Soluciones
<i>La electroválvula no se abre</i>	Bobina sin tensión	Compruebe si la válvula está desactivada abierta o cerrada (NA o NC): Utilice un detector magnético Levante la bobina levemente y compruebe si ofrece resistencia Nota: Nunca extraiga una bobina con la tensión conectada, podría quemarse. Compruebe los contactos del relé y las conexiones de los cables.
	Bobina quemada	Cambiar de bobina
	Presión diferencial demasiado elevada	Compruebe los datos de la bobina. En caso necesario, sustituya la bobina por la versión correcta. Reduzca la presión diferencial, p. ej. Limitando la presión de entrada.

	Presión diferencial demasiado baja	Compruebe los datos de la bobina y la presión diferencial. En caso necesario, sustituya la bobina por la versión correcta.
	Tubo de inducido dañado/doblado	Sustituya la válvula
	Partículas de suciedad en el diafragma	Limpie el diafragma. en caso necesario, sustituya el(los) componente(s) defectuoso(s)
	Impurezas en asiento de válvula/en inducido/en tubo de inducido	Limpie la válvula y, en caso necesario, sustituya el(los) componente(s) defectuoso(s).
	Corrosión	Sustituya el(los) componente(s) defectuoso
<i>La electroválvula se abre parcialmente</i>	Presión diferencial demasiado baja	Compruebe los datos de la válvula y la presión diferencial. Sustituya la válvula por la versión adecuada
	Suciedad en el diafragma	Limpie el diafragma. En caso necesario, sustituya el(los) componente(s) defectuoso(s).
	Impurezas en asiento de válvula/en inducido/en tubo del inducido	Limpie la válvula y, en caso necesario, sustituya el(los) componente(s) defectuoso(s).
	Corrosión	Sustituya el(los) componente(s) defectuoso(s).
	Faltan componentes después de desmontar la válvula	Sustituya el(los) componente(s) que falta(n).
<i>La electroválvula no se cierra o se cierra parcialmente</i>	Sigue habiendo tensión en la bobina	Levante la bobina levemente y compruebe si ofrece resistencia. Nota: Nunca extraiga una bobina con la tensión conectada, podría quemarse. Compruebe los contactos del relé y las conexiones de los cables.
	Suciedad cerca de o en el orificio piloto /pieza de compensación	Limpie el orificio con una aguja o algo similar (diámetro máximo 0,5 mm). Limpie la suciedad con aire comprimido. En caso necesario, sustituya el(los) componente(s) defectuoso(s)
	Pulsaciones en la línea de presión. Presión diferencial demasiado elevada en la posición de apertura.	Compruebe los datos de la válvula. Compruebe la presión y el caudal del líquido. Sustituya la válvula por otra más adecuada. Compruebe el resto de la instalación.
	Diafragma o asiento de válvula defectuosos.	Compruebe la presión y el caudal del líquido. Sustituya el(los) componente(s) defectuoso(s).
	El diafragma se encuentra al revés	Compruebe si la válvula está montada correctamente
	Suciedad en asiento de válvula/en tubo de inducido.	Limpie la válvula y, en caso necesario, sustituya los componentes defectuosos.

	Corrosión, orificio piloto/principal	Sustituya los componentes defectuosos
	Válvula instalada al revés	Compruebe la dirección del caudal del líquido y asegúrese de que la flecha indica la misma dirección
<i>La electroválvula emite un sonido</i>	Zumbido	Zumbido ocasionado por la frecuencia de la corriente alterna. El zumbido se puede eliminar sustituyendo la bobina por una con rectificador
	Presión diferencial demasiado alta y/o pulsaciones en la línea de presión	Compruebe los datos de la válvula y la presión diferencial. Compruebe la presión y el caudal del líquido. Sustituya la válvula por otra más adecuada.
<i>La bobina se ha quemado, está fría pero sigue con tensión</i>	Cortocircuito en la bobina(posible humedad en la bobina)	Examine el resto de la instalación para evitar posibles cortocircuitos. Compruebe las conexiones de los cables de la bobina, en caso de que se encuentre algún fallo, sustituya la bobina.
	Temperatura del medio demasiado elevada	Verifique los datos de la válvula y de la bobina en relación a las especificaciones de la instalación. Cambie la bobina o válvula por otra adecuada.
	Temperatura ambiente demasiado elevada	Si es posible, traslade la válvula a un lugar más fresco. Verifique los datos de la válvula y de la bobina en relación a las especificaciones de la instalación. Aumente la ventilación alrededor de la válvula y de la bobina

Realizado por: Autores

4.6.3 **Reparación válvula seguridad**

- Desensamblar la válvula retirando el tapón del cuerpo de la válvula, examinar todas las partes a medida que van desmontando.
- Aflojar la contratuerca / tuerca de seguridad del tornillo regulador de presión. Afloje el tornillo hasta descargar el resorte.
- Inspeccionar que el muelle no esté oxidado, asegurar que el cuerpo, los asientos, el disco de cierre, y el vástago estén limpios y libres de impurezas.
- Ubicar todas las partes en su posición y se procede a ensamblar nuevamente la válvula.

4.7 **Programa de mantenimiento del banco de pruebas para inyectores del motor PT6**

Este plan contiene todas las tareas necesarias para prevenir los principales fallos que pueden tener el equipo o sistema. Este trabajo puede ser realizado por técnicos que tengan conocimientos necesarios para ejecutarlo.

Tabla 5-4: Programa de mantenimiento del banco de pruebas

	Actividades	Proceso de inspección			Trimestral	Semestral	Anual
		Antes	Durante	Después			
1	Inspección visual del banco en general	x			x		
2	Comprobar fugas internas y externas cabina de inspección		x	x			
3	Comprobar las fugas en las tuberías del sistema	x	x	x			
4	Verificar el arranque eléctrico de control y potencia	x	x		x		
5	Inspeccionar el ventilador del CPU					x	
6	Limpiar el lente de la cámara					x	
7	Calibrar los manómetros						x
8	Comprobar el estado del tanque de combustible					x	
9	Inspeccionar fugas en el depósito de combustible		x	x			
10	Comprobar presiones de válvulas reguladoras						x
11	Verificar el sobrecalentamiento en las electroválvulas		x	x			
12	Comprobar accionamiento de solenoides	x				x	
13	Lubricar elementos móviles		x	x			x
14	Verificar presiones de entrada y salidas del sistema		x	x	x		
15	Comprobar estabilidad y alineación (estructura y sistema)	x	x	x		x	
16	Inspeccionar el estado de los vidrios	x	x	x			x
17	Verificar válvula de seguridad						x
18	Verificar signos de corrosión	x			x		
19	Limpiar el filtro de combustible					x	
20	Cambiar el filtro de combustible						x
21	Inspeccionar asientos, ejes, muelles, juntas de las válvulas						x
22	Cambiar empaques de las juntas						x
23	Verificar corrosión en el interior de la válvula						x
24	Verificar que solenoide esté conectada					x	
25	Inspeccionar que el muelle no esté oxidado						x
26	Verificar las presiones del presostato sean las establecidas	x	x		x		
27	Purgar las unidades de mantenimiento neumáticas				x		

Realizado por: Autores

CAPÍTULO V

5 ANÁLISIS DE COSTOS

5.1 Análisis de costos

Para determinar los costos que conlleva este proyecto se divide en costos directos, costos indirectos y costos de ingeniería.

5.1.1 Costos directos

Para el análisis de costos directos se toma en cuenta los gastos por materiales, mano de obra, equipos y maquinaria utilizada pertinente al proyecto de titulación.

5.1.1.1 Costo de accesorios y materiales

En la siguiente tabla se detallan los materiales y accesorios que se utilizaron para el desarrollo del equipo.

Tabla 1-5: Costos de accesorios y materiales hidráulicos

Elemento	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
Estructura	Perfiles Tol galvanizado Plancha de inox	-	-	-	300
Válvula check	1/4" Daewoo	Unidad	4	12	48
Manómetro	GU-50z Airtac	Unidad	2	17,45	34,9
Electroválvula uso general	Airtac, 2V025-08, 1/4"	Unidad	1	32,4	32,4
Válvula de bola	1/4" FIV acero inoxidable	Unidad	1	8,4	8,4
Válvula de alivio	Hant 0 a 140 psi	Unidad	1	55	55
Válvula de retención	3/8" Sap USA Para aire	Unidad	1	12	12
Presostato	Safe Gauge 1/4"	Unidad	1	50	50

Electroválvulas para combustible	ODE 21A8KT45 NPT 1/4"	Unidad	5	97	485
Válvulas reguladoras de presión	Genebre 3318N NPT 1/4" P máx. 363 psi	Unidad	3	38,3	115
Codos	1/4" inox.	Unidad	13	0,55	7,15
Neplo	1/4" inox L 2"	Unidad	18	0,98	17,64
Neplo	1/4" inox L 3"	Unidad	17	1,47	24,99
Neplo	1/4" inox L 4"	Unidad	4	1,85	7,40
Tes	1/4" inox	Unidad	5	1,13	5,65
Universales	1/4" inox	Unidad	6	1,90	11,4
Uniones	1/4" inox	Unidad	3	0,95	2,85
Acoples rápidos	bronce	Unidad	2	5,35	10,7
Bushing	3/8 a 1/4"	Unidad	2	1,50	3,00
Bushing	1/2 a 1/4"	Unidad	6	2,50	15,00
Neplo	Mangos latón hexagonales 1/4"	Unidad	22	0,65	14,30
Neplo	3/8 x1/4 " B3 rosca con espiga	Unidad	2	1,56	3,13
Abrazaderas hidráulicas	1/4"	Unidad	6	0,5	3,00
Manguera	flexible Ø15x2000 mm	Unidad	1	5	5,00
Sellante	PR-A2	Unidad	1	20	20

Realizado por: Autores

Tabla 2-5: Costos de accesorios y materiales electrónicos

Elemento	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
Tarjeta	NI-DAQ 6218	Unidad	1	1350	1350
Monitor	Hp Compaq LCD 18 "	Unidad	1	40	40
CPU	Lenovo core i5 , 8 GB RAM	Unidad	1	250	250
Teclado	Kensington USB	Unidad	1	5	5
Mouse	Microsoft USB	Unidad	1	5	5
Cámara	Viz xtreme USB	Unidad	1	67	67
Iluminación	Foco led 9 W	Unidad	1	4,50	4,50
				TOTAL	3127,66

Realizado por: Autores

5.1.1.2 Costos de maquinaria y equipos utilizados

Se describen máquinas que se emplearon para la ejecución y construcción del banco de pruebas.

Tabla 3-5: Costos de maquinaria y equipos utilizados

Maquinas / Herramientas	Costo /Hora	Horas Equipo	Costo (USD)
Soldadora	2,00	24	48,00
Taladro	1,00	8	8,00
Amoladora	1,00	8	8,00
Compresor	1,50	2	3,00
Otros equipos	-	-	50,00
		TOTAL	117,00

Realizado por: Autores

5.1.1.3 Costos de mano de obra

En esta tabla se indica los trabajadores que intervienen en el desarrollo y construcción del proyecto.

Tabla 4-5: Costos de mano de obra

Trabajador	Salario/Hora	Horas de trabajo	Costo (USD)
Soldador	3,50	16	56,00
Pintor	3,00	3	9,00
Tornero	3,40	16	54,4
Ing. Electrónico	15,00	70	1050
		TOTAL	1169,4

Realizado por: Autores

Total de costos directos. En la siguiente tabla se muestra el total de costos directos.

Tabla 5-5: Costos directos

Costo por	Valor (USD)
Material y accesorios	3127,66
Maquinaria y equipos	117
Mano de obra	1169,4
TOTAL	4414,06

Realizado por: Autores

5.1.2 Costos indirectos

Se atribuyen a los costos de ingeniería así también imprevistos y utilidades.

Tabla 6-5: Costos indirectos

Detalle	Cantidad (%CD)	Valor (UDS)
Ingenieriles (diseño e investigación)	4 %	176,56
Imprevistos	5%	220,70
Utilidad	0	-
TOTAL		397.26

Realizado por: Autores

5.1.3 Costos totales

Es el resultado de la suma entre los costos directos y costos indirectos.

Tabla 7-5: Costos totales

Detalle	Valor (USD)
Costos directos	4414,06
Costos indirectos	397,26
COSTO TOTAL	4811,32

Realizado por: Autores

CAPITULO VI

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

A través del estudio bibliográfico se determina la importancia del funcionamiento de los inyectores en un sistema de combustión para el motor PT6, también se obtiene información acerca del proceso de inspección a través del manual del fabricante para la visualización y obtención de resultados en las pruebas.

Mediante la repotenciación del banco de pruebas para la inspección de inyectores, a través de la implementación del nuevo sistema mecánico, electrónico y del software LabVIEW se visualiza el comportamiento de la presión de combustible por medio de la pulverización generada en el inyector.

Se concluye luego de la evaluación del estado actual del equipo, que la repotenciación es importante en vista de los inconvenientes encontrados y de los nuevos requerimientos propuestos para el banco de pruebas.

Por medio de la presión máxima de trabajo (60 psi), compatibilidad, características y parámetros del fabricante se selecciona los equipos, instrumentos y accesorios para la implementación del banco.

El banco de pruebas rediseñado y construido consta de un sistema hidráulico que opera con presiones de (20, 30, 60) psi, que dispone de alimentación con aire comprimido. Además el banco posee un sistema de control eléctrico y electrónico que es comandado por un interfaz.

El sistema automatizado con visión artificial desarrollado e implementado en el banco permite generar un registro de datos los mismos que son mostrados en una hoja de Word después del proceso, de esta manera los resultados pueden ser analizados por el operario cuando lo requiera.

Una vez realizado el enlace entre la cámara, la tarjeta de adquisición de datos y el software LabVIEW se procede a efectuar las pruebas y mediciones con inyectores óptimos y defectuosos, donde se puede visualizar claramente la forma cónica de determinados patrones de pulverización

estos a bajas presiones, además se puede observar la uniformidad y distorsión del cono a altas presiones.

Se elabora dos manuales para el banco, el primero es un manual de operación para conocer los pasos a realizarse antes, durante y después de la prueba, y el segundo un manual de mantenimiento para garantizar el buen funcionamiento y durabilidad de todo el equipo.

6.2 Recomendaciones

Leer los manuales de operación y de mantenimiento, con el fin de seguir los pasos adecuados para el correcto funcionamiento del equipo y dar el mantenimiento de los diferentes componentes del banco en un tiempo estimado.

Se recomienda verificar el abastecimiento de combustible en el recipiente antes de poner en marcha el banco de pruebas.

No manipular el tanque de combustible durante y después de la inspección sin previa despresurización total del depósito.

Revisar las instalaciones eléctricas del taller asegurando que llegue al equipo el flujo de corriente y tensión adecuada, de esta manera se logra alargar la vida útil del banco.

Una vez concluido las pruebas con cada uno de los inyectores verificar que se encuentre completamente desconectado el equipo y desfogar el combustible sobrante para evitar estancamiento innecesario.

BIBLIOGRAFÍA

AREVALO, Pedro. Robótica industrial prototipo y sistemas de visión artificial. [En línea] 2012. [Citado el: 27 de 09 de 2017.] <https://paycilla.firebaseio.com/19/Robotica-Industrial-Prototipo-Y-Sistemas-De-Vision-Artificial.pdf>.

AVIATIONPROS. [En línea] 2011. [Citado el: 07 de 12 de 2017.] <http://www.aviationpros.com/article/10381485/pt6-fuel-nozzles>.

BARROS ENRÍQUEZ, José David. Repotenciación de una máquina baroladora de 4mm a una máquina baroladora semi-automática de 6mm para la mecánica industrial ANGEL MARÍA LUNA C.A. [En línea] Septiembre de 2013. [Citado el: 26 de 06 de 2017.] <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6759>.

CHIGUANO, Edwin, & MORENO, Nathaly. Diseño e implementación de un sistema traductor de lenguaje de señas de manos a un lenguaje de texto mediante Visión Artificial en un ambiente controlado. [En línea] 2011. [Citado el: 14 de Septiembre de 2017.] <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3915/1/CD-3682.pdf>.

CIDFAE. *Repotenciación del banco de pruebas para inyectores del motor PT6.* Ambato : s.n., 2017.

COGNEX. 2016. Introducción a la visión artificial. [En línea] 2016. [Citado el: 15 de 06 de 2017.] www.cognex.com.

FUERZA AÉREA ECUATORIANA. [En línea] 2017. [Citado el: 09 de Agosto de 2017.] <https://www.fuerzaaereaecuatoriala.mil.ec/>.

GANADO, Carlos. *NCYT Amazings Noticias de la Ciencia y Tecnología.* [En línea] 04 de 11 de 2014. <http://noticiasdelaciencia.com/not/11858/>.

GUIJARRO, Octavio y LEÓN, Gustavo. *Diseño e implementación de un banco de pruebas para inyectores del motor PT6 A-68C perteneciente al Grupo Logístico No. 232.* Ambato : s.n., 2015.

LEFEBVRE, Arthur y BALLAL, Dilip. *Gas Turbine Combustion Alternative Fuels and Emissions.* United States : Taylor & Francis Group, 2010.

LEFEBVRE, Arthur y MCDONELL, Vincent. *Atomization and Sprays.* Boca Raton : Taylor & Francis Group, 2017.

MARAÑA, Juan Carlos. Instrumentación y control de procesos. [En línea] 28 de 04 de 2005. [Citado el: 13 de 08 de 2017.] http://www.academia.edu/10047837/INSTRUMENTACION_Y_CONTROL_DE_PROCESOS_Autor_es_JUAN_CARLOS_MARA_Area_tecnica_Industria_y_Energia.

MINISTERIO DE EDUCACION DE ESPAÑA. Visión Artificial. [En línea] Febrero de 2012. [Citado el: 27 de 06 de 2017.] <http://www.etitudela.com/celula/downloads/visionartificial.pdf>.

NATIONAL INSTRUMENTS. [En línea] Febrero de 2018. <http://www.ni.com/labview/vision/esa/>.

NATIONAL INSTRUMENTS. Cámaras analógicas y digitales. [En línea] 9 de Enero de 2003. [Citado el: 23 de Noviembre de 2017.] <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/284EA5CBDC9B5AF686256CA900794A2B>.

PASIÓN POR VOLAR. [En línea] 30 de Agosto de 2012. [Citado el: 07 de Agosto de 2017.] <http://www.pasionporvolar.com/motores-de-aviacion-reactores/>.

PAVEZ, Raúl y HURTADO, Floridor. CAVIMAR AEROSPACE. [En línea] 2014. [Citado el: 22 de 05 de 2018.]

PLATERO, Carlos. Apuntes de visión artificial. [En línea] 2008. [Citado el: 26 de 06 de 2017.] http://www.elai.upm.es/webantigua/spain/Profesorado/cplatero_es/cplatbas.htm.

PRATT & WHITNEY. Maintenance Manual. [En línea] 06 de Junio de 2003.

PRATT & WHITNEY. PT6A Familiarisacion & Caza Fallas. [En línea] Septiembre de 2002.

PRISMA 2. PRISMA 2. [En línea] 2017. [Citado el: 20 de Febrero de 2018.] <http://www.prisma2.com/>.

QUILO FARINANGO, Flavio Edison. Diseño de la repotenciación de un elevador de carga de 2 toneladas de la empresa GRAFITEXT. [En línea] 2014. [Citado el: 13 de 09 de 2017.] <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7410?locale=de>.

METAL ACTUAL. *Repotenciación de maquinaria.* 2014, págs. 32-36.

REPSOL. [En línea] Comercial de Productos Petrolíferos S.A., 2000. [Citado el: 07 de Agosto de 2017.] <https://www.repsol.energy/es/productos-y-servicios/aviacion/jet-a-1/index.cshtml>.

RIVAS, A. *Motores de Turbinas de Gas.* 2003.

UNITED TURBINE. PT6 Curso Descriptivo y Caza Fallas. [En línea] [Citado el: 15 de 10 de 2017.]

VALENCIA ANDRADE, Cristian Patricio. Implementación de un programa didáctico realizado en Labview para el aprendizaje y desarrollo de la motricidad de niños con disfunción motora. [En línea] Junio de 2012. [Citado el: 25 de Noviembre de 2017.] <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/11182/1/Implementacion%20de%20un%20programa%20didactico%20para%20el%20aprendizaje%20y%20desarrollo%20de%20la%20motricidad%20de%20los%20ninos.pdf>.