

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROCESO DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS
DE INYECTORES DE TURBINAS, EN EL COMANDO AÉREO DE
MANTENIMIENTO DE LA FUERZA AÉREA COLOMBIANA**

Erwin Alfonso Sierra Salazar

Proyecto de Grado:
Como Requisito para Optar al Título Maestría en ingeniería industrial

Director:
Ing. CARLOS RODRIGO RUIZ CRUZ

UNIVERSIDAD PONTIFICIA JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE MASESTRIA EN INGENIERIA INDUSTRIAL
BOGOTÁ
2011

RESUMEN

Inicialmente este trabajo fue pensado como un Diseño de un Proceso de inspección y pruebas de inyectores de turbinas para los talleres de mantenimiento aéreo de la Fuerza Aérea Colombiana. Pero detectada la necesidad, en la formación de este trabajo, la investigación, y la reunión de antecedentes para el Diseño, paralelamente se aprendían diferentes materias que identificaban la necesidad de no limitarse a un diseño, la tarea entonces fue investigar hasta lograr implementar. En ese andar académico junto a los diferentes investigadores, se optó por la Automatización, como solución al problema diagnosticado que generaba la idea de este trabajo. La necesidad era ya un conocimiento de todos dado que hasta la fecha solo se ha utilizado proveedores externos para estos procesos, Hacerlo una realidad podría sonar ambicioso cuando se tenía como antecedente que ninguno de los Talleres de Mantenimiento Aéreo le habían apostado a la automatización.

El reto comienza con una tarea paralela, además de la investigación, se tenía que involucrar líderes y técnicos de la FAC, en especial cuando existen obstáculos como el que la dimensión de la resistencia al cambio puede ser superior que a la misma necesidad de invertir en nuevas tecnología. Superada esta etapa se siguió con la capacitación que además de lograr un Saber Hacer, fue el inicio a una nueva cultura en que mantenimiento y tecnología estarán en el mismo taller.

Uno de los primeros logros evidente fue la mejora en tiempos y la reducción de costos, traducido en mayor tiempo de horas de vuelos activos, lo que es mayor Efectividad, Objetivo para cualquier empresa.

El trabajo de investigación de la mano de los pedagogos de la Maestría de Ingeniería Industrial de la Universidad Javeriana, los técnicos y profesionales de la Fuerza Aérea Colombiana, sin duda es un trabajo de muchos, para el servicio de muchos, porque al lograr mejoras de tiempo, la ganancia será usada en pro del objeto de la misma FAC, es decir, es lograr más tiempo para Naves en la defensa de una nación, de su gente y su soberanía. Por ello este debe ser solo un inicio, la tarea apenas comienza, talleres tecnificados y usando ingeniería interna, debe ser un logro no de un solo taller, debe llegarse a todos los talleres FAC a lo largo del territorio nacional.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	2
LISTA DE FIGURAS	4
INTRODUCCION	6
Justificación y planteamiento del problema	
Estado del arte	14
Producción, manufactura y factores humanos	15
<i>Hipótesis 1. Existe una relación global positiva entre la capacidad de absorción de una empresa y su nivel de MSI</i>	16
<i>Hipótesis 2. Existe una relación global positiva entre la capacidad de absorción de una empresa y su nivel de MBMP</i>	16
<i>Hipótesis 3. MSI tiene un impacto positivo en el MP</i>	17
<i>Hipótesis 4. MBMP tiene un impacto positivo en el MP</i>	17
Diseño de sistemas automatizados	18
Automatización industrial	19
<i>Procesamiento de señales visuales</i>	20
<i>Principios de detección</i>	20
<i>Técnicas de detección</i>	21
Software para la automatización	23
<i>Monitoreo y control</i>	23
<i>Sistema HMI y SCADA</i>	23
<i>Visualización del operador (HMI / SCADA)</i>	23
<i>Programación industrial para sistemas de control en controladores lógicos programables PLC's</i>	24
<i>Lenguaje de texto estructurado</i>	25
<i>Diagrama de bloques de función o FBD</i>	25
<i>Diagrama Ladder (diagrama de escalera)</i>	25
<i>Diagrama de función secuencial</i>	25
<i>Bloques de función</i>	26
Aplicaciones: inspector de botellas vacías basado en la visión artificial	26
<i>Estructura mecánica</i>	26
<i>Sistema de control electrónico</i>	27

<i>Sistema de iluminación y estructura óptica</i>	28
<i>Conclusiones</i>	29
Formulación de la pregunta	29
Objetivos	29
Objetivo General	29
Objetivos Específicos	29
Metodología	30
Primera Fase	30
Segunda Fase	30
Tercera Fase	31
Cuarta Fase	31
Capítulo 1 diseño del sistema de inspección	31
Propuesta de mejora	31
Diseño técnico	35
<i>Diseño mecánico y estructural</i>	35
<i>Selección de equipos y componentes</i>	49
<i>Sistema de Control</i>	49
<u>FED-5000 / FED-CEC / FED-UIM</u>	49
<u>Controlador Servomotor CMMS-AS</u>	50
<u>Sensores SMX-8 24</u>	50
<i>Sistema para Movimientos</i>	50
<u>Servo Motor EMMS-AS, Caja Reductora 3:1 EMGA</u>	50
<u>Eje EGC-TB</u>	51
<i>Sistema de Visión Artificial</i>	51
<u>Sistema de Visión Compacto SBOC-Q-R2C</u>	51
<i>Sistema Neumático</i>	51
<u>Unidad de servicio combinada LFR-KC/LFRS-KC, Serie D</u>	51
<u>Válvula de Arranque HEE</u>	51
<u>Válvula Proporcional MPPES-3-1/2-420</u>	51
<u>Bloque de Electroválvulas CPV-TYP10</u>	52
<u>Válvulas de Asiento Inclinado VZF</u>	52
<u>Actuadores DFM</u>	52
<u>Actuador DSNU</u>	52

<u>Racores GRLA</u>	53
<u>Manguera PUN-H</u>	53
<u>Presóstato VEGABAR-14</u>	53
<i>Elementos de Construcción Mecánicos</i>	53
<i>Software SCADA</i>	53
<i>Diseño del flujo de información para la programación y control</i>	53
<i>Festo Configuration Tool (FCT)</i>	54
<i>Codesys by Festo 2.3</i>	55
<i>FED Designer 6.09</i>	56
<i>Zenon 6.51</i>	57
<i>CheckKon</i>	59
<i>CheckOpti</i>	60
<i>Diseño Ergonómico</i>	62
<i>Instalación y pruebas del sistema</i>	63
REFERENCIAS	73
ANEXO A	76
ANEXO B	98

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Inyector. Fuente:Pratt & Whitney Canada (2008). Illustrated parts catalog PT- 6. Manual P/N 3036132.
- Figura 2. Flujos del Inyector. Fuente: Pratt & Whitney Canada (2008). Illustrated parts catalog PT- 6. Manual P/N 3036132.
- Figura 3. Angulo de Aspersión y Aristas Fuente: Pratt & Whitney Canadá (2008). Maintenance manual PT-6. Manual P/N 3017044.
- Figura 4. Diagrama de flujo del procedimiento de inspección de inyectores
- Figura 5. Sistema de pruebas actual
- Figura 6. Sistema de pruebas actual
- Figura 7. Impacto de la implementación de nuevas tecnologías, Liao et al (2010).
- Figura 8. Efectos de un nuevo diseño, (Neumann & Dul, 2010)
- Figura 9. Imagen del spray de combustible de un inyector de turbina PT-6.
- Figura 10. Experimento PLIF, (McCann & Scott, 2005). Cuantitativas de la imagen PLIF para determinar el número N de moléculas (en la imagen para las mediciones en el motor) requiere del aislamiento de las señales de fluorescencia (SLIF) de las señales (Sbackground) y la luz láser dispersada (S Laser Scat). La temperatura, la absorción, el número dependiente de la densidad secciones y los rendimientos cuánticos de fluorescencia, son necesario conocer para la cuantificación de la medida PLIF señales.
- Figura 11. Línea del sistema de inspección de botella, (Duan ,2004).
- Figura 12. Configuración electrónica del sistema. (Duan, 2004)
- Figura 13. Estructura de iluminación (Duan, 2004)
- Figura 14. Flujograma del sistema anterior
- Figura 15. Flujograma del sistema Desarrollado.
- Figura 16. Diseño Preliminar del Sistema
- Figura 17. Vista Isométrica del diseño preliminar del sistema
- Figura 18. Placa de Soporte General
- Figura19. Placa Acople Sistema de Inyectores
- Figura 20. Soporte de la Cámara
- Figura 21. Placa Soporte Actuador Manifold Inferior
- Figura 22. Placa Soporte Actuador Manifold Superior
- Figura 23. Soporte Racores Manifold Superior
- Figura 24. Soporte Racores Manifold Inferior.
- Figura 25. Soporte Actuador Prueba Estanqueidad

Figura 26. Tapón Prueba de Estanqueidad.

Figura 27. Soporte Posterior Soporte Inyectores

Figura 28. Montaje General Sistema del Sistema de Inspección

Figura 29. Embudo para reciclaje de combustible

Figura 30. Tanque de suministro de combustible

Figura 31. Tanque Reciclaje de Combustible

Figura 32. Dimensionamiento Final del Sistema

Figura 33. Software FCT

Figura 34. Software codesys

Figura 35. Software codesys.

Figura 36. Software FED para diseño del HMI

Figura 37. Software FED para diseño del HMI

Figura 38. Software SCADA

Figura 39. Software SCADA.

Figura 40. Software Chekkon para la cámara

Figura 41. Software Chekopti para la cámara

Figura 42. Programación

Figura 43. Parametrización de la prueba

Figura 44. Selector de tipo de prueba

Figura 45 Visualización de la prueba en SCADA

Figura 46. Inyector 1

Figura 47. Inyector 13

Figura 48. Inyector 8

Figura 49. Inyector 4

Figura 50. Inyector 10

Figura 51. Inyector 12

Figura 52. Parametrización del Área

Figura 53. Formato Ejemplo de Resultado de Pruebas Impreso en PDF en un computador

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROCESO DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS DE INYECTORES DE TURBINAS, EN EL COMANDO AÉREO DE MANTENIMIENTO DE LA FUERZA AÉREA COLOMBIANA

Como estrategia para aumentar la productividad, y la calidad en el mantenimiento de las aeronaves de la Fuerza Aérea Colombiana FAC, con el fin de cumplir de una manera más eficiente y eficaz la misión que ha sido encomendada por la constitución política Colombiana, el siguiente trabajo es la realización en el diseño e implementación de un proceso de inspección y pruebas de inyectores para turbinas Pratt & Whitney PT-6 Small y Large, esto través de un sistema automatizado basado en elementos como neumática, visión artificial, y controladores lógicos programables entre otros; como también otras herramientas avanzadas en la pirámide de automatización industrial como lo son los programas para supervisión, control y adquisición de datos Scada (Berge, 2005) e interfaces hombre maquina HMI, (Lingfeng, 2006)

Para lograr este trabajo, en primera instancia se realizó una revisión de literatura, con el fin de consolidar un estado del arte sobre el tema e integrar aspectos de manufactura moderna, ergonomía, diseño y programación industrial. Ya ubicados en contexto se procede a realizar un trabajo más profundo para el diseño de las piezas, construcción, integración y programación de todos los elementos mencionados anteriormente; para posteriormente instalar el sistema en planta, colocar su puesta en marcha y ajustes necesarios.

Los alcances de este trabajo fueron fundamentales para continuar con otros desarrollos, ya que a través de este se dio inicio a un nuevo proyecto similar con las mismas características pero aplicable a otras turbinas con las que cuenta la FAC. Otro aspecto fundamental fue la solicitud de patente del modelo de utilidad ante la superintendencia de industria y comercio No 09-133810-00000-0000, lo que busca la protección en la propiedad intelectual que es generada por estas mejores prácticas.

Los beneficios que este trabajo le brinda a la Fuerza Aérea colombiana revierten desde ahorros sustanciales por más de un millón de dólares al año en costos de mantenimiento, ingresos de recursos por la venta de servicios al mercado aeronáutico comercial en un ámbito nacional, hasta la incalculable rentabilidad nacional del producto terminado de la FAC, como lo son operaciones aéreas en evacuaciones aeromédicas, catástrofes naturales, soberanía y seguridad nacional entre otras.

Justificación y planteamiento del problema

En la actualidad la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) (FAC, 2009) es una de las fuerzas aéreas latinoamericanas más grandes y de mayor actividad debido a su importante rol en la lucha contra el narco-terrorismo. Dentro de sus actividades operativas y de soporte los talleres aeronáuticos son pilares de la aviación militar colombiana, de la que también hacen parte la Aviación del Ejército (AVIAEJEC), el Sistema Aéreo de la Policía Nacional (SAPOL) y Aviación de la Armada de Colombia (ARC).

Por ello fortalecer su parte técnica es ofrecerle a los colombianos (mercado objetivo FAC) efectividad en la lucha diaria de su soberanía y control interno (Constitución Política de Colombia, 1991)

, porque un equipo humano calificado con las estrategias idóneas, difícilmente puede cumplir sus objetivos cuando sus herramientas, o sus condiciones, no son las apropiadas.

Quienes participan en la ejecución de las misiones enfocadas en la consolidación de la democracia colombiana, no desconocen que la clave del éxito consiste en la toma de decisiones oportunas y acertadas, y para ello deben contar con algunos principios básicos, entre otros la disponibilidad y flexibilidad amplia sobre el uso de las aeronaves. Todo esfuerzo que se tenga desde cualquier división de la FAC en el cumplimiento de este principio es vencer en el combate, reforzar la presencia aérea básica para el control del dominio en la contienda.

En Madrid (Cundinamarca) se ubica CAMAN (Comando Aéreo de Mantenimiento de la FAC), lugar destinado para el mantenimiento aeronáutico hace más de 70 años (FAC, 2009), ideal por su ubicación céntrica dentro del territorio nacional. Es en este comando donde se identifica la necesidad de crear un sistema que permita a la Fuerza Aérea Colombiana certificar que las piezas reparadas se encuentran en óptimas condiciones para su uso, con el fin de garantizar estándares de calidad en las condiciones de vuelo al momento de operar las aeronaves.

Una de las piezas que se inspeccionan son los inyectores (Pratt & Whitney, 2008) que se usa en las turbinas Pratt & Whitney PT6 Small y Large, como se muestra en la Figura 1 y 2; aplicables a aeronaves como helicópteros BELL 212, BELL 412, aviones Tucano T-27, Súper Tucano A29B, Fantasma AC-47T, Cessna 208 Caravan, C-90 Bandeirante y Araba, aviones de uso neurálgico en el parque aeronáutico militar colombiano como el del helicóptero presidencial y aeronaves implicadas en operaciones de restablecimiento del orden público nacional, entre otros. Todas las aeronaves que usan estos motores, requieren de este

servicio; en la actualidad se cuenta en promedio con 125 aeronaves mensuales activas (FAC, 2009)., del parque aeronáutico de la FAC que consta de 156 aeronaves con turbinas PT6 [5]. Las aeronaves que usan estos motores hacen parte de diferentes operaciones, y serán estas las principales beneficiadas, porque brindará mayor dinamismo en las actividades propias de la FAC tales como el control de tráfico ilícitos en todo el territorio nacional, control de soberanía en las fronteras, entrenamientos, traslados del primer mandatario, evacuaciones aeromédicas a la población civil, entre otras.

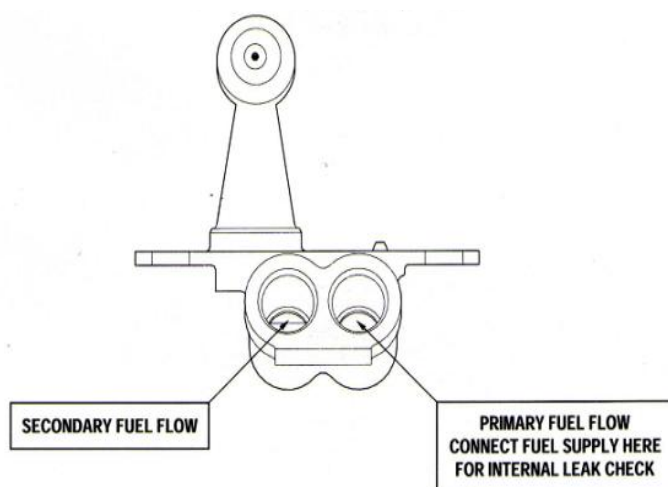


Figura 1. Inyector. Fuente:Pratt & Whitney Canada (2008). Illustrated parts catalog PT- 6. Manual P/N 3036132.

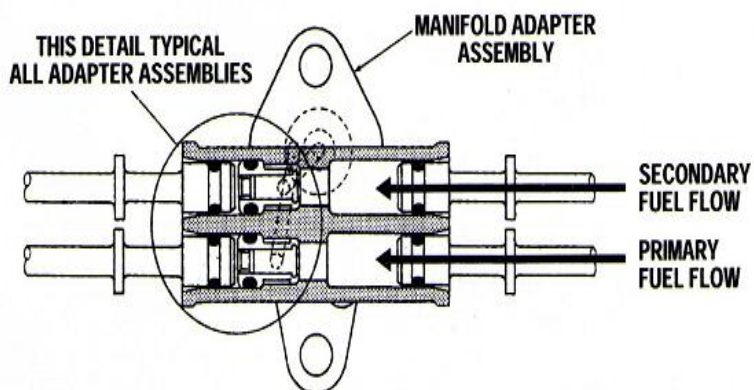


Figura 2. Flujos del Inyector. Fuente: Pratt & Whitney Canada (2008). Illustrated parts catalog PT- 6. Manual P/N 3036132.

El objetivo de la inspección es verificar el correcto funcionamiento de los inyectores, lo que implica que se controle la temperatura de funcionamiento del motor, la correcta combustión, garantizar la potencia de los motores y mantener la seguridad en vuelo. Las variables que se analizan en la inspección, y que determinan el correcto funcionamiento, son el ángulo de aspersión, sus aristas y la presión del combustible (Pratt & Whitney, 2008) como se muestra en la Figura 3.

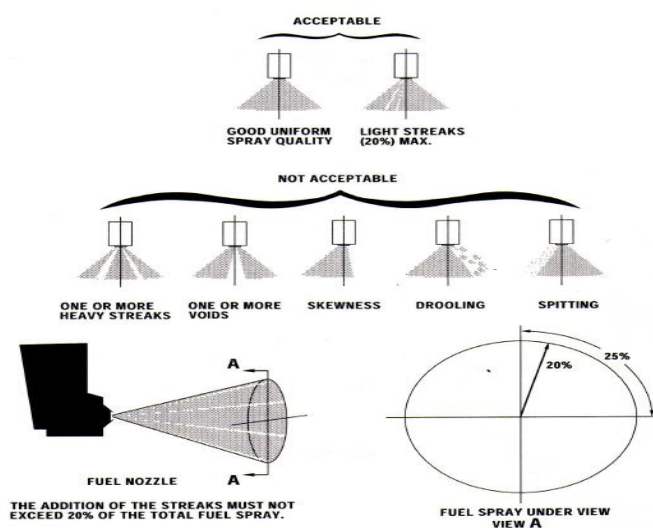


Figura 3. Angulo de Aspersión y Aristas Fuente: Pratt & Whitney Canadá (2008).
Maintenance manual PT-6. Manual P/N 3017044.

En la actualidad las inspecciones de los inyectores son realizadas de dos maneras:

- a) Las inspecciones son realizadas por los técnicos de una manera visual (Pratt & Whitney, 2008), cuya duración depende directamente por el nivel de pericia del técnico, afectando directamente los tiempos y la disponibilidad de estos elementos en las aeronaves.
- b) Los inyectores recibidos son enviados al exterior, por no contar con la capacidad disponible en el taller de PT-6.

Cuando la inspección se realiza en las instalaciones propias de la FAC esta se desarrolla como se muestra en el diagrama de flujo del procedimiento de inspección de inyectores PT-6 Small y Large.

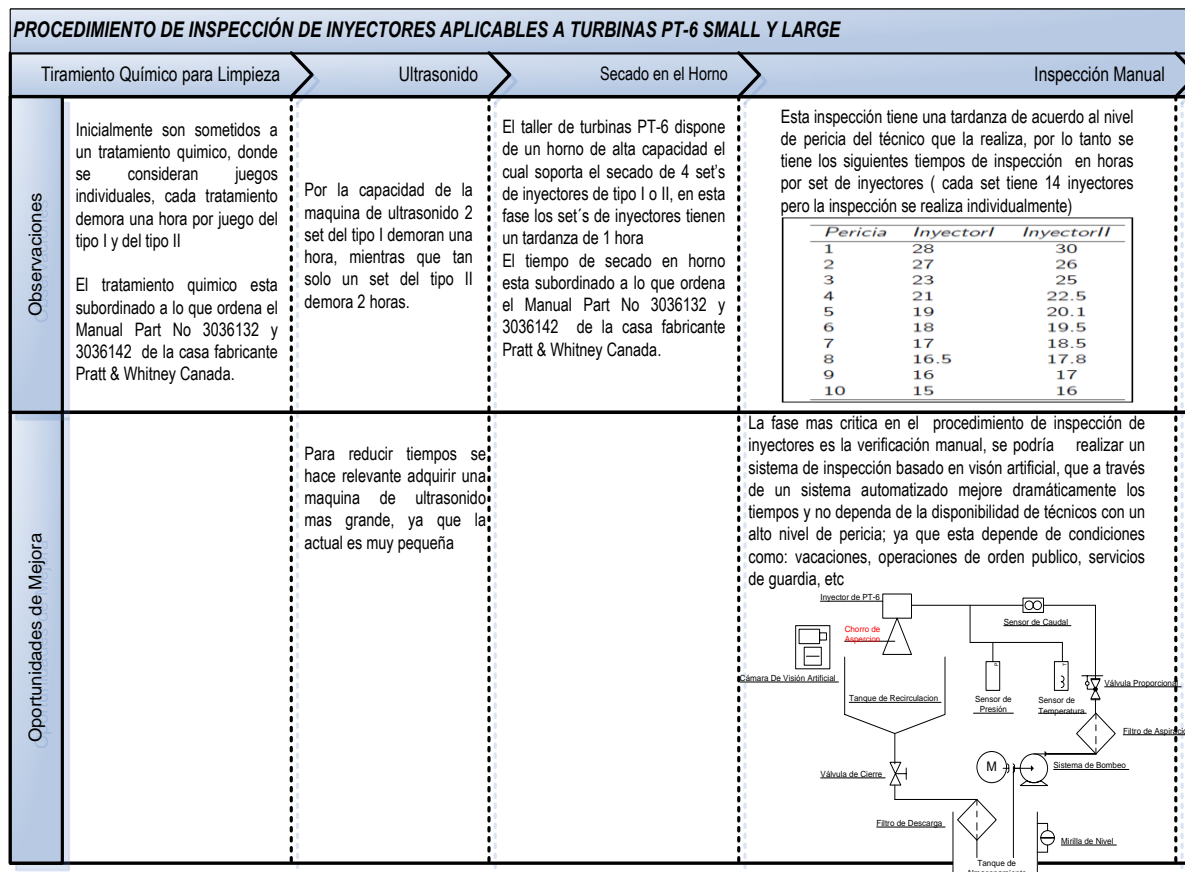


Figura 4. Diagrama de flujo del procedimiento de inspección de inyectores

En las condiciones actuales el tiempo mínimo para la inspección sería de 19 horas, si lo hiciera un técnico de nivel de pericia 10, y de máximo de 34 horas, si lo hiciera un técnico de nivel de pericia 1, este tiempo considera solo las actividades operativas, es decir, no se tienen en cuenta contratiempos, perturbación en las jornadas laborales, etc., por lo cual el tiempo real de inspección puede estar entre tres y seis días, en el caso de que se haga en las instalaciones propias. Cuando los inyectores se envían a proveedores en el exterior el tiempo de inspección incluye los tiempos de transporte y manipulación, por lo cual el tiempo estimado para la inspección es superior a las seis semanas. En este último caso el costo de inspección por inyector oscila entre 200 y 350 dólares, sin incluir el kit de inspección ni la reparación, esto sumado a los costos de envío y seguros, hace que este valor se encuentre entre 5.000 hasta 10.000 dólares por set de inyectores (cada turbina tiene un set de 14 inyectores). Las

variaciones en el costo final dependen del resultado de la inspección, que en caso de no ser aprobada, el inyector se debe reparar.

Como se ha mostrado la inspección se realiza de una manera visual y empírica, a través de una herramienta fabricada internamente, como se ilustra en las Figuras 5 y 6; en esta herramienta el nivel de pericia del técnico influye en la eficiencia y efectividad del proceso, convirtiendo la inspección en un procedimiento subjetivo y tedioso, situaciones que pueden generar efectos negativos en los resultados de la operación. Dentro de estas consecuencias se evidencia la baja productividad del taller, el incierto flujo de la cadena logística y de abastecimiento, la confiabilidad de los elementos por los reportes de fallas, retrasos en el alistamiento de las aeronaves y el reporte negativo de los indicadores que se administran a través del Balance Score Card¹, etc.



Figura 5. Sistema de pruebas actual



¹ Plan estratégico institucional 2006-2019. Estrategia “Fortalecer la capacidad operacional de las fuerzas militares, a través del desarrollo de medios y la consolidación de la restructuración, con criterios de eficiencia y productividad” . <http://www.fac.mil.co/index.php?idcategoria=185>.(Recuperado el 16 de Septiembre de 2010)

Figura 6. Sistema de pruebas actual

La inspección es un punto vital en el mantenimiento aeronáutico, ya que desde este reconocimiento se definen las actividades necesarias de mantenimiento preventivo o correctivo. Cualquier retraso en la realización de esta actividad afecta la disponibilidad de las aeronaves para las diferentes operaciones en las que son usadas en cumplimiento de la misión de la FAC.

De esta situación descrita se hace claro que la FAC tiene la necesidad de adoptar en CAMAN un sistema de inspección en el taller de turbinas Pratt & Whitney PT-6 de tal manera que se puedan probar los inyectores de combustible buscando optimizar los tiempos de sus operaciones y el uso de sus recursos; se propone por tanto con este trabajo de grado diseñar e implementar un sistema de inspección de inyectores aplicables a motores PT-6 Small y Large, que aumente la eficiencia de los procedimientos realizados con el fin de lograr que las aeronaves inspeccionadas puedan salir a vuelo, sin complicaciones, en el menor tiempo posible, y reduciendo los costos asociados a la inspección y reparaciones derivadas de la misma.

El desarrollo del presente proyecto pretende que el sistema sea automatizado y utilizando tecnología de visión artificial; con el fin de aumentar la productividad del taller encargado de realizar las inspecciones de las turbinas Pratt & Whitney, eliminando los criterios subjetivos en la inspección (pericia del técnico), logrando autarquía en el mantenimiento de los inyectores, y en el mediano plazo ofrecer servicios de inspección, ya que en la aviación comercial este tipo turbinas son de amplio uso en diversas aeronaves, con esto se lograría en últimas ingresos externos para la FAC, lo que redundaría en aportes al presupuesto nacional.

Finalmente lograr la automatización del proceso de inspección de inyectores en el taller de motores PT6, significa un primer paso en este sentido para aplicarse luego en similares procedimientos en los diferentes talleres de CAMAN y a su vez de la FAC, dado que la automatización es un camino efectivo para optimizar tanto los procesos como la calidad requerida.

Estado del arte

Lo que propone este proyecto de investigación es el diseño e implementación de un sistema automatizado para la inspección de inyectores de combustible aplicables a turbinas Pratt & Whitney PT-6 Small y Large, con el cual se busca aumentar la productividad y

mejorar los tiempos de respuesta; el sistema en mención está basado en la aplicación de técnicas de visión artificial y procesamiento de imágenes, el cual se articulará con otras herramientas de automatización como control a través de interfaz hombre maquina HMI², supervisión-control y adquisición de datos SCADA³, procesamiento a través de controlador lógico programable PLC⁴, así como almacenamiento de la información para la trazabilidad y un sistema de reportes.

Para el desarrollo del sistema de inspección se tendrá en cuenta el aporte de varios autores agrupándolos por área del conocimiento.

Producción, manufactura y factores humanos

Liao et al [8] han realizado investigaciones sobre el papel de la modularidad y la integración en la mejora del perfil de la manufactura; en las cuales establecen claramente la importancia en la productividad de las organizaciones, en lo que concierne a sistemas de manufactura flexible (FMS), los diseños y las simulaciones asistidas por computador (CAD/CAM), la manufactura integrada por computador (CIM), la modularidad con prácticas de manufactura y en general la interacción de todos los elementos de automatización y tecnología. Esta capacidad de aprovechar y asimilar el conocimiento y los avances tecnológicos, generan un aprendizaje organizacional eficaz que se conoce como la capacidad de absorción de las empresas (Cohen & Levinthal, 1994). Los resultados por esta capacidad generan un efecto acumulativo del aprendizaje continuo, lo que indica que los conocimientos previos relacionados con la eficacia de los procesos de producción, son los principales constituyentes de absorción de capacidad (Malhotra, Gosain, & El Sawy, 2005). Las organizaciones con mayor capacidad de absorción tienen más posibilidades de éxito en la aplicación de las nuevas tecnologías porque tienen más experiencias vinculadas; por lo tanto este estudio brinda un modelo significativo, como se muestra en la Figura 7, de este modo la utilización efectiva de nuevas tecnologías en prácticas industriales sumado a las experiencias obtenidas por la implementación de estas, redundan en el desempeño de la organización y capturan las relaciones posibles.

² Ayres R.U., Haywood W., Merchant M.E., Warnecke J., (2000). Computer integrated manufacturing. Vol 2 p.(220). Chapman & Hall

³ The international Society of automation ISA (2005) Software for automation: architecture, integration and security. Berge J. p.(38, 58, 83, 100, 197, 256)

⁴ VALENCIA, J., Controladores lógicos programables – Serie Nabla-Delta, Fac. Ingeniería Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia, 2000.

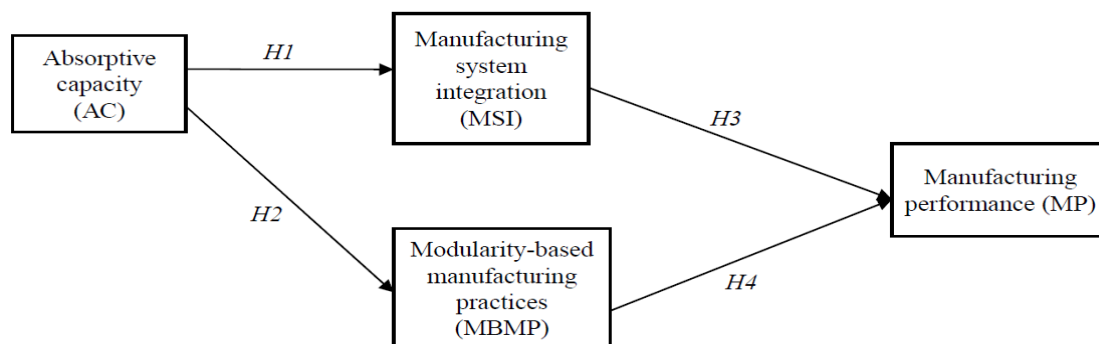


Figura 7. Impacto de la implementación de nuevas tecnologías, Liao et al (2010).

Aunque la construcción de otros factores puede contribuir a la propuesta, las relaciones que muestra este estudio se centran únicamente en estas cuatro construcciones. Por medio de este, los autores proponen desarrollar cuatro hipótesis que corresponden a cada flecha del modelo propuesto, con el fin de ilustrar y poner a prueba las relaciones entre la capacidad de absorción y la aptitud de una organización para la aplicación de prácticas innovadoras de gestión en un entorno turbulento, para esto se utiliza el sistema de integración de manufactura MSI y la modularidad basada en prácticas de manufactura MBMP. El modelo propuesto en la Figura 6 sugiere que la capacidad de absorción afecta la capacidad de una empresa para integrar sus sistemas de producción y afecta a la adopción de MBMP. Estas prácticas, a su vez, pueden afectar el rendimiento de manufactura MP de la empresa.

Hipótesis 1. Existe una relación global positiva entre la capacidad de absorción de una empresa y su nivel de MSI.

La capacidad de absorción representa algunas ideas importantes en el diseño organizacional, específicamente con respecto a los mecanismos de aprendizaje y la infraestructura. La relación entre los factores organizativos y culturales y el uso de tecnologías avanzadas de producción son un tema fundamental en la literatura de gestión de fabricación. Zammuto y O'Connor, (1992), proponen que las empresas con una estructura orgánica y un clima de comunicación abierta son más propensas a un aumento de la productividad por el uso tecnologías avanzadas y por los beneficios de la flexibilidad.

Hipótesis 2. Existe una relación global positiva entre la capacidad de absorción de una empresa y su nivel de MBMP.

Como se señaló anteriormente, la modularidad es una estrategia muy eficaz para las organizaciones con procesos, productos y/o servicios complejos. Sin embargo, no todos los productos y procesos se pueden modular. Baldwin y Clark, (1997). sugieren que los sistemas modulares son más difíciles de diseñar que la interconexión entre sistemas, dando lugar a una mayor complejidad en la implementación. Un diseño modular con éxito requiere conocimiento en profundidad del funcionamiento interno, del producto global y amplia comunicación entre funciones. También indican que para tener ventaja en la modularidad, las empresas necesitan líderes en conocimiento, trabajadores altamente calificados, y mecanismos de comunicación efectiva.

Hipótesis 3. MSI tiene un impacto positivo en el MP.

Doll y Vonderembse, (1991). señalan que la tecnología, mientras que es un factor importante en la etapa industrial relativamente estable, se convierte sólo en un factor que permite que el entorno del mercado se vuelva más exigente en la etapa post-industrial. Para hacer frente con éxito a la incertidumbre del mercado, las organizaciones deben primero obtener un alto nivel de integración de los sistemas antes de la aplicación de nuevas tecnologías (Duimering, Safayeni, & Purdy, 1993).. Para lograr la integración de sistemas, muchas empresas deben defender la automatización de un sistema estándar basado en los componentes que pueden integrar y compartir con los otros sistemas de la compañía (Kinsella, 1998).. El aumento de la integración conduce a una mayor capacidad competitiva, (Rondeau, Vonderembse, & Ragu-Nathan, 2000).; por otra parte, la integración tiene efectos directos en función del tiempo, rendimiento, cuota de mercado y el rendimiento financiero (Droge, Jayaram, & Vickery, 2004).. Swink y Nair, (2007) confirmaron además que la integración estratégica conduce a la eficiencia de costos y las nuevas capacidades de desarrollo de productos que contribuyen a la flexibilidad basada en el mercado. Con base en esta investigación, el MSI se indica como un valioso método para responder a una mayor ventaja en un ambiente de negocios y mantener o incluso mejorar el MP.

Hipótesis 4. MBMP tiene un impacto positivo en el MP.

Lau et al, (2007). también indicaron que la modularidad influye positivamente en la capacidad de entrega, flexibilidad y servicio al cliente. Warren et al, (2002), sugieren que existe una relación positiva entre arquitectura modular del producto y el rendimiento, al permitir a una empresa lograr la modularidad en el diseño de productos, diseño de procesos de producción y diseño organizacional. De hecho, el MBMP trabaja para facilitar la flexibilidad de producción y los resultados basados en el tiempo. Con el desarrollo de la capacidad de

producir una diversidad de productos a través del montaje de módulos estandarizados, las organizaciones pueden esperar reducir la incertidumbre, la complejidad, el tiempo de desarrollo de productos y servicios, y costos en general. (Sanchez, 2000)..

Otro de los aspectos significativos para el desarrollo de este proyecto es el talento humano y la interacción que tiene este con los sistemas de operación, ya que los seres humanos son parte esencial y vital de cualquier sistema, tanto en la toma de decisiones y responsabilidades como en la manipulación de los mismos.

Neumann y Dul, (2010). reconocen, a través de su investigación acerca de la brecha entre la administración de las operaciones y la gestión de los recursos humanos, la importancia de los seres humanos y lo implícitos que están en todo tipo de actividad que desarrolle cualquier organización. Un campo que contribuye a este tema es el factor humano, el cual se puede definir como:

“La disciplina científica relacionada con la comprensión de las interacciones entre los humanos y otros elementos de un sistema con el fin de optimizar el bienestar humano y en general el rendimiento del sistema" (IEA, 2000).

Esta definición de factor humano abarca tanto el desarrollo físico, cognitivo y psicosocial en la interfaz entre el operador y el sistema operativo y se define operacionalmente como sinónimo del término ergonomía (IEA, 2000).

Diseño de sistemas automatizados

Un marco para el estudio de los efectos de un diseño de un sistema nuevo se muestra en la Figura 8. Incluyendo las características tecnológicas y organizativas (Brassler & Schneider, 2001).. Esto incluye los operadores y el equipo técnico, su configuración, y el enfoque por el cual se organiza las tareas con el fin de llevar a cabo un procedimiento.

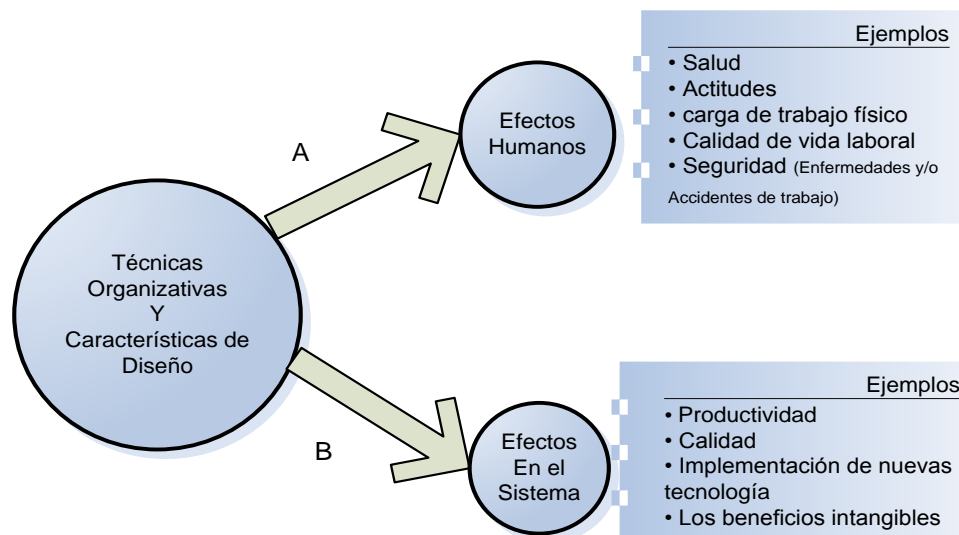


Figura 8. Efectos de un nuevo diseño, (Neumann & Dul, 2010)

Algunos de los beneficios que se pueden obtener a partir de un diseño ergonómico bien estructurado para el sistema automatizado en la inspección de inyectores aplicables a turbinas Pratt & Whitney PT-6 Small y Large son: la disminución de la carga de trabajo, movimientos repetitivos (Dahle', & Bolmsjo, 1998)., y el aumento de la productividad, (Neumann, Kihlberg, Medbo, Mathiassen, & Winkel, 2002).

Automatización industrial

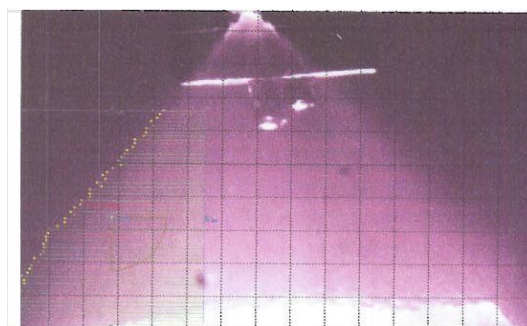
Se estima que cerca del 90% de la energía usada en el mundo proviene del proceso de combustión (Warnatz, Maas, & Dibble, 1999), principalmente del combustible fósil el cual es usado para este propósito; es por ello el temor por el agotamiento de los recursos naturales en todo momento. Cualquier mejora en el rendimiento de la combustión, incluso en segundos y/o minutos, puede lograr un ahorro sustancial en los recursos, en el rendimiento y la seguridad de los equipos en su operación. Además, la combustión típicamente conduce a un número de efectos secundarios, como residuos y contaminantes que pueden ser perjudiciales para la naturaleza en general y para los seres humanos en su entorno. El último siglo ha traído un desarrollo incalculable de nuevas aplicaciones como por ejemplo las aeronaves que se propulsan con motores a reacción (Heywood, 1998)..

Las turbinas son principalmente dispositivos mecánicos de alta complejidad que deben funcionar durante muchos años en un régimen continuo. Los reactores de los aviones Jet, (Correa, 1998). operan bajo condiciones radicales en continua variación durante el vuelo

(temperatura, presión, humedad, etc.). La estabilidad de la combustión se convierte en un problema grave. De allí la relevancia en el diagnóstico de los inyectores de combustible.

Procesamiento de señales visuales.

McCann y Scott, (2005) han realizado aportes significativos en el procesamiento de imágenes digitales en la combustión de turbinas. Con el fin de extraer las señales útiles de control que se basan en la información espacialmente resuelta, las mediciones que se deben realizar deben ser de dos dimensiones (2D), con una resolución temporal adecuada a una tasa de repetición ajustada. McCann y Scott describen los diferentes medios para adquirir información de la imagen de la inyección del combustible a través de los inyectores y los procesos relacionados. Las técnicas para medir parámetros como la concentración de la aspersión del fluido, temperatura y el ángulo de la aspersión, entre otros, es información que puede ser utilizada para fines de control como se muestra en la Figura 9.



Fuente: el autor

Figura 9. Imagen del spray de combustible de un inyector de turbina PT-6.

Principios de detección.

Un factor importante en el diagnóstico de la imagen es la resolución espacial requerida por el detector directo de la imagen (cámara CCD), esta resolución está determinada por el número de píxeles (McCann & Scott, 2005). Otro aspecto relevante en la detección de la imagen es la iluminación y la incidencia de esta, por lo tanto se debe asegurar la adecuada.

Dentro de los principios de detección, la mayor diferencia entre una imagen pasiva y una activa en términos de información es la velocidad en que se graba la información de cada píxel (Stojkovic, Fansler, Sick, 2004)., punto importante para este proyecto debido a que los inyectores estarán con un fluido constante de combustible para las pruebas.

En contraste la imagen pasiva y activa provee gran flexibilidad en términos de selectividad; lo que debe ser aprovechado con una amplia gama de luces fluorescentes y sus técnicas de detección.

Técnicas de detección.

Absorción. Es una técnica de iteración espacial que normalmente produce un punto de datos para cada ruta de absorción. La trayectoria óptica puede ser definida por el haz de rayos paralelos al recibir la imagen óptica, o ambos, en configuraciones de sombras, es habitual el uso de un detector de imagen directa (cámara CCD), en la proyección de imagen en el plano perpendicular a la línea de visión.

La atenuación de las señales de mayor iluminación se mide para proporcionar alguna información sobre la extensión espacial de un objeto, por ejemplo, un aerosol, que se coloca entre la fuente de luz y el método detector, este produce una proyección 2D, la proyección se puede obtener mediante el uso de varias rutas de absorciones paralelas (Winklhofer, & Plimon, 1991), y así es más útil organizar haces de rayos paralelos y cruzarlos entre sí dentro de un plano para después resolverlos espacialmente a través de algoritmos de reconstrucción, (Hindle, Carey, Ozanyan, Winterbone, & Mcann, 2001).

Impedancia eléctrica⁵. Estas medidas son de una naturaleza similar a la línea de medidas de absorción, en el sentido de que una señal espacial integrada también se obtiene. Sin embargo, las mediciones obtenidas entre dos electrodos son sensibles a la construcción y es necesaria para evaluar las señales (McCann. & Scott. 2005).

Imágenes de fluorescencia inducida por láser. La proyección de imagen es una combinación de la absorción (por lo general débiles, para evitar la atenuación notable de la luz láser) y la emisión de fluorescencia de estados excitados (McCann. & Scott. 2005). Esta es una técnica sensible que proporciona oportunidades para la medición de diferentes especies y cantidades. Además de una alta selectividad a través de la combinación de la absorción de moléculas específicas y las transiciones de emisión.

⁵ 1. f. Electr. Relación entre la tensión alterna aplicada a un circuito y la intensidad de la corriente producida. Se mide en ohmios.

2. f. Fís. Relación entre la magnitud de una acción periódica y la de la respuesta producida en un sistema físico.

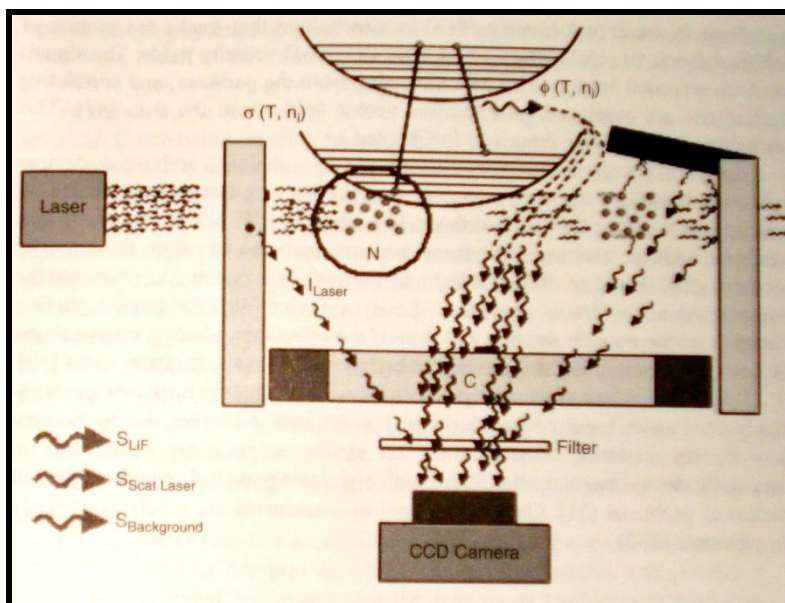


Figura 10. Experimento PLIF, (McCann & Scott, 2005). Cuantitativas de la imagen PLIF para determinar el número N de moléculas (en la imagen para las mediciones en el motor) requiere del aislamiento de las señales de fluorescencia (S_{LIF}) de las señales ($S_{background}$) y la luz láser dispersada ($S_{Laser Scat}$). La temperatura, la absorción, el número dependiente de la densidad secciones y los rendimientos cuánticos de fluorescencia, son necesario conocer para la cuantificación de la medida PLIF señales.

Para las mediciones relacionadas con la combustión, la proyección de imagen de la distribución de combustible una de las aplicaciones más importantes es la PLIF (planar laser induced fluorescence). La Figura 10 muestra el esquema de un experimento PLIF para estudios del motor. La figura también indica algunos de los procesos espectroscópicos que están involucrados en la medición (McCann. & Scott. 2005).

Velocimetría de imagen de partículas PIV (Particle image velocimetry). Es una técnica de búsquedas de movimiento en cualquiera de las gotas o partículas sólidas a deducir en 2D o 3D con sus campos de velocidad. La técnica emplea señales y determina campos vectoriales. Las señales que se registran se basan en la dispersión de las partículas, y las técnicas de correlación se emplean para determinar los campos vectoriales de los datos, (Kyritsis, Felton, & Bracco, 1999)..

Dispersión de Rayleigh. Tiene un uso muy limitado en los dispositivos de combustión, la técnica es susceptible a los reflejos de las superficies, en contraste al PIV, donde las señales son también ápice de resonancia a la luz excitante, estas mediciones se basan en la intensidad de la señal, por lo tanto, la luz reflejada introducirá un error sistémico en la medición.

Dispersión Raman. Con esta técnica es posible medir cuantitativamente cada vez mayor las imágenes en ambientes ásperos, como en los motores. Sin embargo, debido a la muy baja dispersión por secciones, las mediciones 2D sólo son posibles en ambientes inusualmente densos o con láser de alto poder, que pueden plantear problemas técnicos adicionales (Kyritsis, Felton, & Bracco, 1999)..

La aplicación de diagnósticos a través del procesamiento de imágenes, aplicados a sistemas de combustión se convierte en el eje central del proyecto. Como se había indicado anteriormente el concepto de visión artificial se articulará con un sistema de Interfaz hombre máquina HMI, supervisión-control y adquisición de datos SCADA y por último se contará con un controlador lógico programable PLC para las actividades de procesamiento y control.

Software para la automatización

En el pasado los procesos en la industria eran operados por trabajadores con control directo a medidores, válvulas, inspecciones, etc. y además tenían que ejecutar directamente las acciones en estas. Hoy por hoy el hombre tiene la oportunidad de aplicar la tecnología con el fin de ejecutar estas tareas secuenciales o combinatorias, también cuenta con arquitecturas que le facilita la interacción del hombre con la máquina y el de controlar las variables del sistema en general. En este aparte se mencionaran algunas arquitecturas que sirve para este fin.

Monitoreo y control.

Sistema HMI y SCADA.

Anteriormente, el software de los controladores en los dispositivos era necesario para conectar a una aplicación, un hardware o a la base de datos, el controlador del dispositivo (por ejemplo, para un bus de campo o un PLC) por medio de la terminal del operario (por ejemplo, un panel de operador) a través de una interfaz de software era requerido para utilizar el dispositivo.

Se espera que el sistema cuente con una pantalla sensible al tacto, para su fácil operación, que permitirá realizar pruebas a diferentes inyectores, también se podrá crear gráficos para la simulación del sistema a color el cual interactúa directamente con el operario. De esta forma se crea una forma de navegación muy sencilla por parte del operario y poder verificar todas las variables involucradas en el sistema de inspección de los inyectores.

Visualización del operador (HMI / SCADA).

En el pasado, los sistemas de automatización, especialmente en las industrias de proceso, tenían software del propietario en consolas del operador para mostrar la información al operador, recoger datos sobre tendencias, activar alarmas y eventos, y emitir informes. La

visualización del operador se hace ahora por medio de software con conectividad OPC (OLE for process control), (OLE: objet linking and embedding).

El Software de visualización del operador es la clave en el sistema de automatización. A menudo se llama software de interfaz hombre-máquina (HMI) o SCADA, ya que es un software para la operación en supervisión de Control y Adquisición de Datos (SCADA). Los principales componentes de software de visualización del operador son los gráficos, alarmas, tendencias y presentación de informes, por medio de este se muestran gráficos que muestran la planta, fábrica o proceso que está automatizando. La gestión de alarmas consiste en la detección de anomalías en las variables de control. También guarda la trazabilidad de las tendencias y registros. La herramienta de informes genera informes basados en alarmas registradas y la historia. En las pantallas el operador puede configurar que se muestre en cualquier idioma.

La visualización, la generación de alarma, y los componentes de tendencia pueden obtener sus datos desde el hardware subyacente mediante OPC-DA (OPC-Data Acces). El registrador de la alarma y la pantalla puede suscribirse a los datos de la fuente de alarma con OPC A&E (OPC-Alarm & Event). Visualizar tendencias y obtener información de sus datos utilizando OPC-HDA (OPC-Historial Data Acces) (Berge, 2005)..

Programación industrial para sistemas de control en controladores lógicos programables PLC's.

Un controlador lógico PLC es un equipo electrónico programable diseñado para controlar en tiempo real y en un ambiente industrial, procesos de ámbito eminentemente secuencial, este se realiza sobre la base de una lógica definida a través de un programa interno. Los PLC no se limitan a funciones de control lógico sino que también permiten: regular, posicionar, dosificar, contar, abrir y cerrar válvulas, etc. (Standard IEC 61131).

Ventajas e Inconvenientes:

Ventajas: a) No es necesario desarrollar la lógica en un esquema de contactos no simplificar las ecuaciones (la memoria interna es suficientemente grande), b) Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar cableado ni añadir aparatos, c) Mínimo espacio de ocupación y menores costos de instalación y mantenimiento, d) Posibilidad de controlar varias maquinas con el mismo PLC, e) Menor tiempo de puesta en funcionamiento (tiempo de cableado reducido).

Inconvenientes: a) Mayor costo inicial de la instalación y b) Necesidad de técnicos de mantenimiento y programadores adiestrados.

Lewis, (1998). Muestra una guía y tutorial para el estándar del Institute of Electrical and Electronics Engineers IEC 1131-3 y las arquitecturas de programación de los PLC.

Lenguaje de texto estructurado.

Texto estructurado o ST es un lenguaje de alto nivel que tiene la sintaxis o la primera aparición que es muy similar a Pascal. Aunque hay algunas similitudes menores PASCAL, ST es el lenguaje que ha sido desarrollado específicamente para aplicaciones de control industrial.

El lenguaje ST tiene una amplia gama de construcciones para asignar valores a las variables, llamadas funciones y bloques de funciones, para la creación de expresiones, para la evaluación condicional de los estados seleccionados y para la iteración, es decir, repitiendo las secciones seleccionadas de código (Lewis, 1998)..

Diagrama de bloques de función o FBD.

Se puede utilizar para expresar el comportamiento de las funciones, bloques de funciones y programas como un conjunto de bloques interconectados. Puede ser utilizado dentro de las listas de funciones secuenciales para expresar el comportamiento de medidas, acciones y transiciones.

FBD se basa en un sistema de flujo de términos y señales entre elementos de procesamiento. Esto es muy similar a la señal de los flujos que se muestra en diagramas de circuitos electrónicos (Lewis,1998)..

Diagrama Ladder (diagrama de escalera).

Ha sido desarrollado por el IEC, considerando los símbolos y la terminología más utilizados en los PLC's convencionales (Lewis,1998).

Lista de instrucción.

Lista de instrucciones es un lenguaje de bajo nivel que tiene una estructura similar a un ensamblador de máquina simple. El IEC (Institute of Electrical and Electronics Engineers) ha desarrollado lista de instrucciones mediante la revisión de los muchos idiomas de bajo nivel que ofrece una variedad de fabricantes de PLC's. El lenguaje IL, tal como se define en la norma IEC 1131-3, proviene de un rango de operadores que representan los más comúnmente encontrados en las especialidades de idiomas lista de los PLC's. (Lewis,1998).

Diagrama de función secuencial.

La definición del IEC diagrama de función secuencial se ha derivado de las técnicas actuales que se utilizan para representar el comportamiento secuencial. Muchos fabricantes de PLC's han ofrecido algún tipo de lenguaje gráfico para describir las secuencias. La mayoría

de los fabricantes europeos de PLC's se basan en el método Grafcet, un lenguaje gráfico basado en un estándar nacional de Francia. [40].

Bloques de función.

La norma IEC 1131-3 fomenta un desarrollo estructurado que puede ser diseñado utilizando un enfoque de arriba hacia abajo o de abajo hacia arriba. Un concepto importante que sustenta este objetivo es el uso de bloques de función.

Un bloque de función es un elemento de software que pueden ser reutilizados en diferentes partes de una aplicación o incluso en diferentes proyectos. Un bloque de función puede proporcionar la solución de software para pequeños problemas, o el control de la unidad principal de la planta (Lewis, 1998).

A continuación se mostraran algunas aplicaciones ya existentes que sirven de referencia para este proyecto.

Aplicaciones: inspector de botellas vacías basado en la visión artificial

Un método basado en "puntos de borde", para la detección de defectos de la parte inferior de la botella y la pared, así como un prototipo con resultados experimentales fue desarrollado por Duan et al, (2004). Las inspecciones realizadas por el prototipo demostraron la eficacia y el valor de los algoritmos propuestos en la inspección automática en tiempo real.

Estructura mecánica.

El sistema tiene dos estructuras: la línea y rotativas. Como se muestra en la Figura 11, incluye lo siguiente: componentes y módulos. Un separador en la entrada del sistema se utiliza para separar las botellas entre sí en una cierta distancia, de esta manera, la inspección posterior se puede realizar de forma fiable. Una banda transportadora especial que incluye dos cintas que pueden agarrar las botellas, estas permite que las botellas, que se transportarán no tocan el fondo y, en consecuencia inspección de la parte inferior está disponible. Bajo la banda transportadora, una aspiradora está equipada con el fin de borrar cualquier posible defecto o de espuma se aferran en el fondo de botella y que puede afectar a la inspección final.

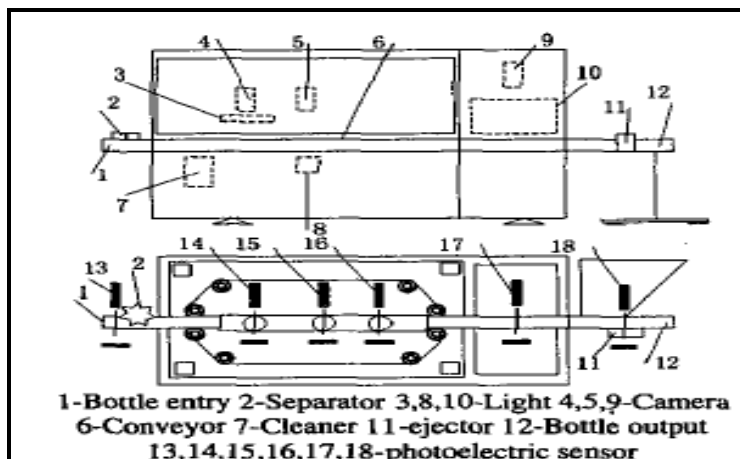


Figura 11. Línea del sistema de inspección de botella, (Duan ,2004).

Sistema de control electrónico.

La Figura 12 muestra la configuración electrónica del sistema. Debido al procesamiento de imagen de gran tamaño en alta velocidad, especialmente en la inspección en la pared de la botella, se necesitan dos computadores de alto rendimiento, de los cuales uno es encargado del control de botella de la pared y el otro es responsable del acabado de la botella y la inspección final botella. Un PLC se utiliza como controlador de bajo nivel, que es responsable para el control de la banda transportadora, de expulsión, los sensores, la protección del sistema, etc. Antes de entrar las botellas vacías en el sistema, el separador separa las botellas vacías en un cierto intervalo. A continuación, se limpia de espuma en la parte inferior. Los sensores relacionados se activan cuando las botellas vacías se transportan, al mismo tiempo, los dos equipos inician la captura de imágenes y la inspección. Los resultados de la inspección serán transferidos a PLC, que controla la expulsión de botellas no conformes con la inspección.

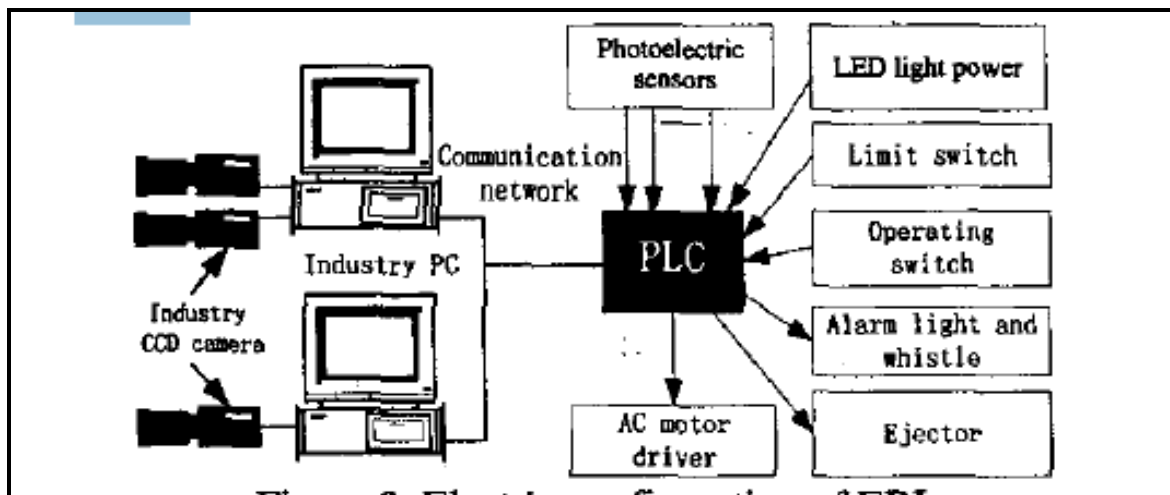


Figura 12. Configuración electrónica del sistema. (Duan, 2004)

Sistema de iluminación y estructura óptica.

La iluminación y el sistema óptico son muy cruciales en aplicaciones de visión artificial. La luz es un factor importante para la obtención de imagen, la dirección de la luz debe ser cuidadosamente controlada y algunos filtros especiales se utilizan para producir luz polarizada para la detección de restos transparentes. En inspección de botella vacía, la luz LED es la primera opción debido a su alta eficiencia, excelente rendimiento y facilidad de control. La Figura 13 muestra la estructura de inspección óptica.

Con el fin de capturar la imagen de la botella con una alta resolución, se necesitan dos cámaras, que son responsables de la inspección de la pared y la botella, respectivamente. La inspección de 360 grados de la pared de la botella es realizada por un sistema óptico especial, que puede combinar la imagen de la pared de la botella, También es posible utilizar instrumentos mecánico para girar la botella en 180 grados durante el proceso de transporte y llevar a cabo dos inspecciones de pared de la botella para darse cuenta del grado de control.

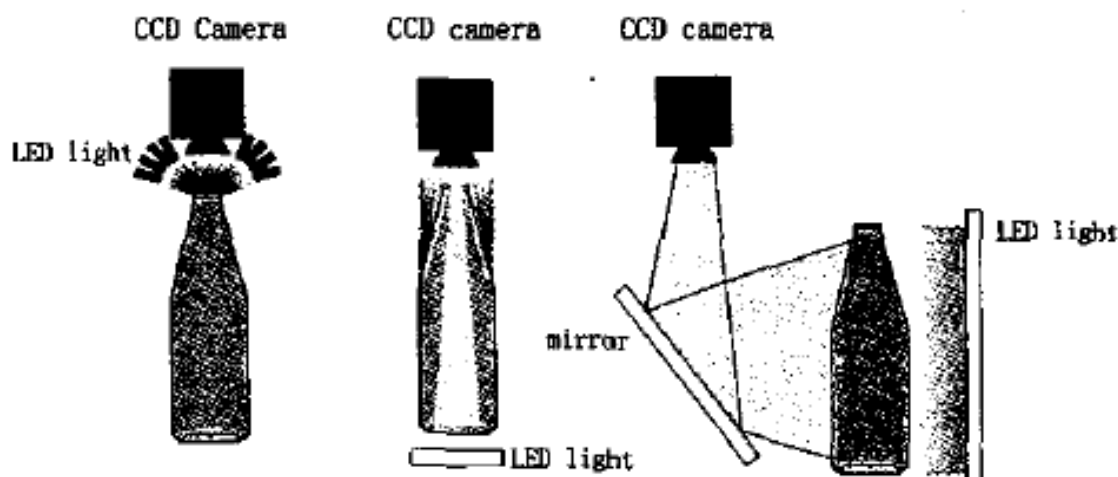


Figura 13. Estructura de iluminación (Duan, 2004)

Conclusiones.

Se puede demostrar el éxito del prototipo, lo que permite considerar viable la arquitectura del sistema propuesto, así como que el algoritmo de control que se presenta por los autores en este artículo es capaz de lograr una alta eficiencia en la inspección.

Formulación de la pregunta

¿Cómo aumentar la productividad, eficiencia y flexibilidad del proceso de inspección de inyectores para turbinas Pratt & Whitney PT6?

Objetivos.

Objetivo General

Desarrollar un proceso de inspección y pruebas de inyectores para turbinas Pratt & Whitney PT-6Small y Large, que permita una operación eficiente y segura de dichas turbinas, en las aeronaves de la Fuerza Aérea Colombiana.

Objetivos Específicos

Diseñar y construir un sistema automatizado de inspección y pruebas de inyectores para motores PT-6 Small y Large para que el mantenimiento de estos sea confiable y eficiente.

Elaborar los manuales y/o instructivos de operación, procedimientos, mantenimiento y de seguridad industrial, correspondientes al sistema automatizado de prueba de inyectores.

Instalar el sistema automatizado en el taller PT-6 del Comando Aéreo de Mantenimiento ubicado en Madrid, Cundinamarca.

Realizar pruebas para establecer el comportamiento y funcionamiento del sistema automatizado, y realizar los ajustes requeridos del sistema en el taller de PT-6 del Comando Aéreo de Mantenimiento ubicado en Madrid, Cundinamarca.

Metodología

Este proyecto se desarrollo en 4 fases que corresponden con los cuatro objetivos específicos del estudio. A continuación se describe en detalle la metodología usada para cada una de estas fases.

Primera Fase.

En la primera fase se realizó un estudio de tipo aplicado que permita realizar el diseño y construcción del banco de pruebas a través de la observación del proceso existente en el mantenimiento e inspección de los inyectores de combustible de los motores PT-6, esta observación se realizo a través de entrevistas al personal técnico del taller de motores PT-6, al análisis de la planta física del taller y los requerimientos técnicos propios de la operación.

El estudio técnico requerido para esta fase se realizó con un adiestramiento previo, sobre las normas y variables que ordena el manual de mantenimiento (Pratt & Whitney,2008) y las especificaciones de la casa fabricante Pratt & Whitney Canadá; después de este adiestramiento las entrevistas fueron abiertas y estructuradas tocando los siguientes temas: funciones y nivel de pericia de los oficiales y suboficiales técnicos entrevistados, inconvenientes que presenta el taller de motores PT-6 con las herramientas y sistemas actuales, cual es el aporte más significativo que proveería un sistema de pruebas e inspección competitivo y moderno, cual es la información más relevante para tener en cuenta de manuales y normatividades existentes en el campo militar y comercial. Con el procesamiento de esta información y el análisis de la planta física, se propuso un diseño de un sistema de inspección y pruebas para inyectores el cual se llevó a su construcción.

Segunda Fase.

En relación a la primera fase, se realizó una segunda fase que generó los manuales y/o instructivos necesarios para el buen manejo del sistema de pruebas en condiciones seguras; para esto, se tendrá en cuenta los lineamientos de la norma ISO: 9001:2000 y NTCGP 1000 con el fin de no generar discrepancias con el sistema de gestión de calidad en lo referente al capítulo 4.2.3 control de los documentos y el capítulo 4.2.4 control de los registros.

Estos manuales y/o instructivos tienen información relacionada con temas como, operación, seguridad industrial y aérea, procedimientos de mantenimientos y alertas entre otros.

Tercera Fase.

La tercera fase del proyecto se encaminó a la instalación del sistema automatizado de inspección y pruebas en el taller de PT- 6 del Comando Aéreo de Mantenimiento CAMAN ubicado en Madrid Cundinamarca, con la finalidad de iniciar la operación del mismo. Para llevar a cabo esta fase se realizó un estudio de campo el cual tuvo como objeto establecer las necesidades físicas de planta en el taller de PT-6, como lo son seguridad, red neumática, eléctrica, espacio físico, etc.

Cuarta Fase

Por último en esta cuarta fase del proyecto se realizó pruebas para establecer el comportamiento y funcionamiento del sistema, lo anterior con el fin de aplicar las correcciones y ajustes necesarios que dieran a lugar y de igual manera buscar con esta cuarta fase la comprobación de la teoría de este proyecto a través de los hechos. En el sentido de que el proceso de inspección y pruebas de inyectores propuestos, el sistema automatizado, y sus manuales lograron aportar herramientas innovadoras que mejoren los procesos y la cadena de valor del CAMAN.

Capítulo 1 diseño del sistema de inspección

Propuesta de mejora

El objetivo principal de cualquier proceso de automatización es el uso de sistemas de control integrados con sistemas de información industrial para reducir la intensidad y dependencia del trabajo humano con el fin de mejorar la productividad y homogenizar los resultados en un proceso productivo. Ha de tenerse en cuenta que la automatización es un paso más allá de la mecanización.

Haciendo referencia concreta al Sistema de Inspección para Inyectores Pratt & Whitney PT6, se debe recalcar que el objetivo principal en el desarrollo de este sistema consiste en la concepción de un sistema automático partiendo de un sistema mecánico implementado con anterioridad por la Fuerza Aérea Colombiana para el taller de motores PT6.

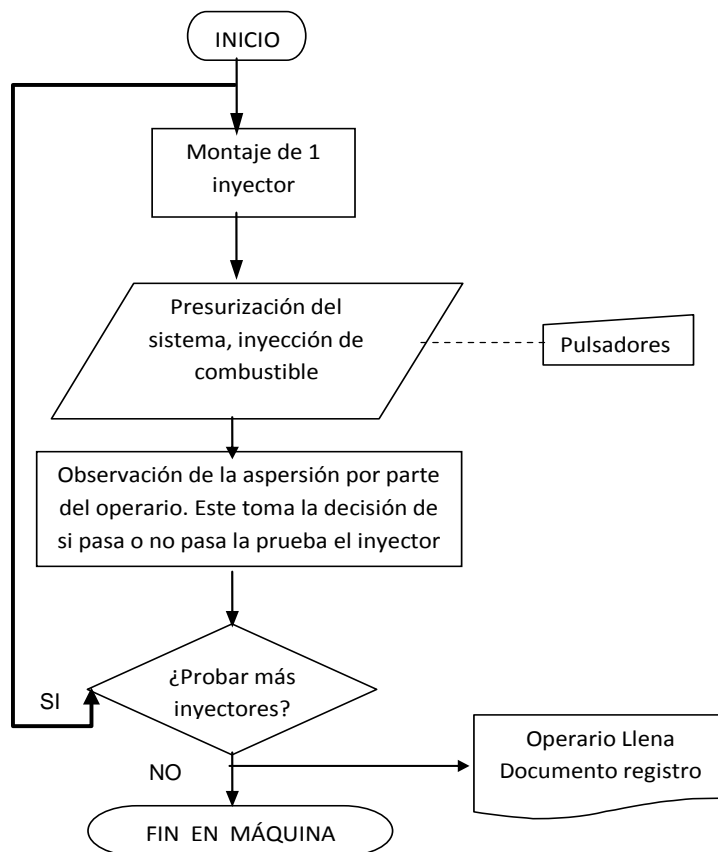


Figura 14. Flujograma del sistema anterior

El sistema mecánico implementado tiene como objetivo principal realizar la prueba de aspersión sobre los inyectores de las turbinas de los aviones que están siendo sujetos de mantenimiento. Esta prueba tiene como objetivo principal comprobar que cada uno de los inyectores de la turbina realiza la pulverización del combustible de forma adecuada. El inyector al pulverizar el combustible crea una aspersión a la salida de la boquilla en forma de cono. La cualificación de la prueba se realiza tomando el área de sección transversal obtenida del cono –un triángulo-, se observa entonces que la superficie de dicho triángulo sea al menos uniforme y completa en un 75% en su área total y que no tenga aristas sobre la misma. Esta prueba se realiza para los 14 inyectores que conforman el set de cada turbina. El sistema existente funcionaba de la siguiente forma:

El operario del sistema se encarga de realizar el montaje de los inyectores en el banco. Dicho montaje consiste en la ubicación del inyector en el punto de prueba y de la conexión de unas mangueras que cumplen las veces de manifold. Para este sistema el montaje se realiza un inyector a la vez. Una vez se configura el banco, el operario activa el flujo de combustible hacia el inyector por medio de un botón en el banco y este debe comenzar a supervisar la inyección del combustible por medio de una ventana ubicada en la bancada de la máquina. El

resultado de la prueba depende totalmente de la pericia del operario, ya que este es quien define el estado del inyector. Este proceso debe repetirlo 14 veces para realizar la prueba completa de un set de inyectores y toma un tiempo aproximado de 30 minutos en realizarse.

Tal y como se hizo mención al inicio, este proceso que ya tiene una mecanización en el banco existente, sin embargo dicha mecanización es susceptible de ser automatizada con el fin de lograr mayor eficiencia en el proceso de prueba y una real estandarización en la forma como se define el resultado de esta. Para ello se diseñó el siguiente funcionamiento:

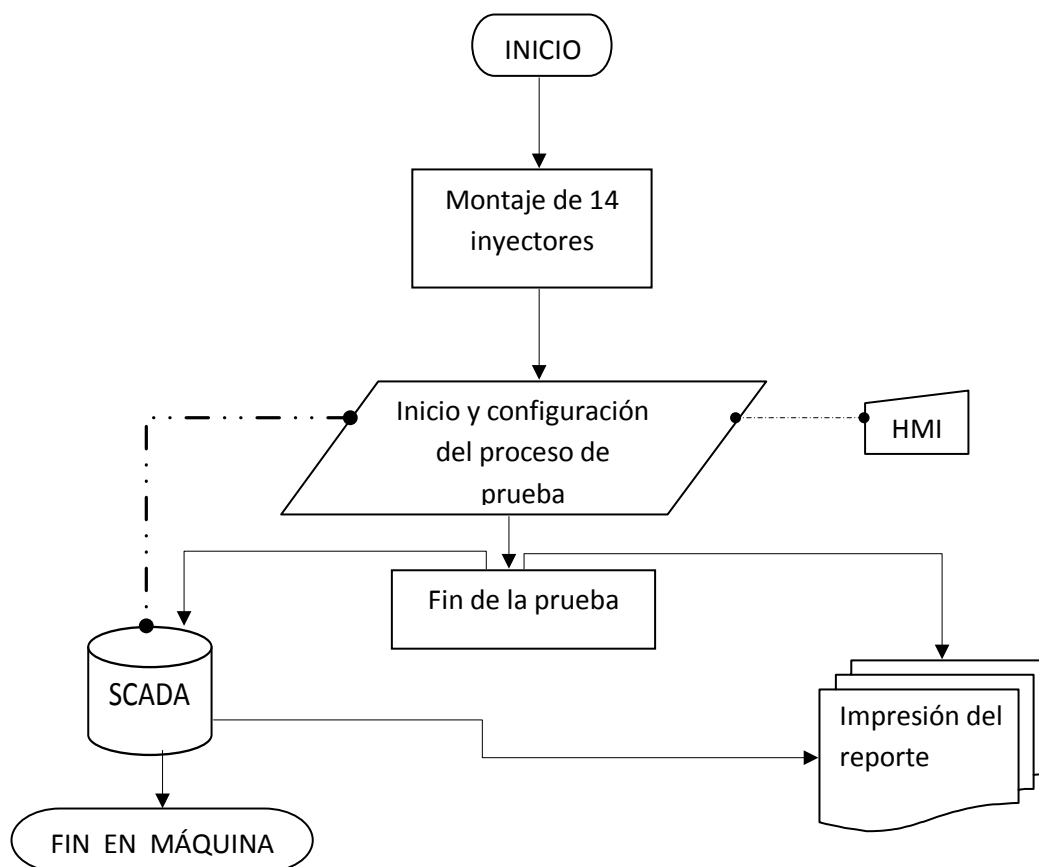


Figura 15. Flujograma del sistema Desarrollado.

Como primera medida, el proceso de montaje y desmontaje de los inyectores se convierte en algo tedioso y que toma algo de tiempo en realizarse. Para ello se propone un sistema en el que sea posible montar desde 1 hasta los 14 inyectores del set que conforma la turbina. De esta forma se ahorra tiempo en el montaje del sistema en general.

Como segunda medida, para estandarizar la evaluación de los inyectores por parte del sistema se hace necesario implementar un sistema de control por medio de un dispositivo de visión artificial, este permite realizar una verdadera ponderación individual del cono de

aspersión generado en cada inyector, evaluándolo respecto a ciertos parámetros programados dentro del sistema. Este es una primera medida de automatización del sistema.

El uso de un dispositivo de visión artificial implica que se debe realizar la prueba de cada uno de los inyectores pasando frente a dicho dispositivo. Esto hace necesaria la implementación de sistema de control para el movimiento del sistema mecánico de soporte de los inyectores en la máquina. Dichos movimientos suelen ser logrados por medio del uso de ejes comandados en posición por un motor con un encoder o resolver que permite el posicionamiento de un objeto en su espacio de trabajo. El control de dicho dispositivo se logra a través de un sistema de control propio del motor integrado con un dispositivo de control que permita implementar la lógica secuencial requerida para realizar el proceso de posicionamiento, presurización del sistema, adquisición de la imagen a analizar, evaluación de los datos adquiridos y liberación del sistema para continuar con la rutina.

Otra gran diferencia del sistema desarrollado sobre el sistema existente es la posibilidad de realizar la prueba de estanqueidad sobre los inyectores en el mismo sistema. Anteriormente se utilizaba otro sistema diferente para realizar dicha prueba. En este caso haciendo uso de un Presóstato conectado al sistema de control es posible realizar dicha prueba sin necesidad de cambiar de bancada de trabajo.

Por último, tal y como se expuso al principio, una de las grandes diferencias que tiene un sistema automático frente a los sistemas mecánicos convencionales, es la posibilidad de incorporar sistemas de información industrial al desarrollo de los procesos. En este caso se hace importante que exista un control dentro del sistema que permita tener control sobre el operario que lleva a cabo las pruebas y los resultados de estas. El sistema de información más adecuado, por ser una máquina, es el conocido Sistema de Control Supervisor y Adquisición de Datos o SCADA –por sus siglas en inglés-. La concepción de este tipo de sistema permite comunicar un sistema computacional con varios tipos de control, sensores y actuadores. La función principal del SCADA dentro del sistema es la configuración de la máquina, la supervisión de equipos y parámetros y el almacenamiento de los datos requeridos en una base de datos, así como la interfaz para comunicarse con los periféricos del computador facilitando la configuración del sistema en general.

En conclusión, para la automatización del Sistema de Inspección para Inyectores Pratt & Whitney PT6, se realizó la integración de sistemas mecánicos, de control y de adquisición

de imágenes con el objetivo de potencializar su uso y hacer más eficiente el mantenimiento de dichos dispositivos.

Diseño técnico

El diseño del sistema se realizó teniendo en cuenta las consideraciones expuestas en el punto anterior. Para ello se siguió un orden específico en el desarrollo del sistema:

- a) Diseño mecánico de una bancada que permita el mejor desempeño posible y la mayor facilidad en el trabajo.
- b) Selección de los equipos más adecuados que permitan de forma flexible automatizar el funcionamiento del sistema.
- c) Programación del sistema de control en dos etapas: movimientos automáticos del sistema y programación del sistema de visión artificial.

Diseño mecánico y estructural

El diseño mecánico de la bancada del Sistema de Inyectores para Pratt & Whitney PT6 se definió buscando que fuera posible realizar la prueba de aspersión. Para ello se ideó un espacio de prueba en el cual se pudieran ubicar tanto un dispositivo para transportar los inyectores, como el sistema de visión artificial que realiza la prueba.

En las figuras 16 y 17 se puede apreciar el diseño realizado. Este tiene en cuenta la necesidad de poder realizar el montaje de los 14 inyectores en una sola tanda y prevé la utilización de 2 espacios de trabajo principales: una zona en la cual se realice el montaje de los inyectores y una zona en la cual se realice la prueba. De igual forma se presenta el uso de un eje eléctrico de correas dentadas para el controlar el paso de los inyectores comandada por un servomotor, para el manifold se emplean dos actuadores neumáticos y como sistema de visión artificial una cámara.

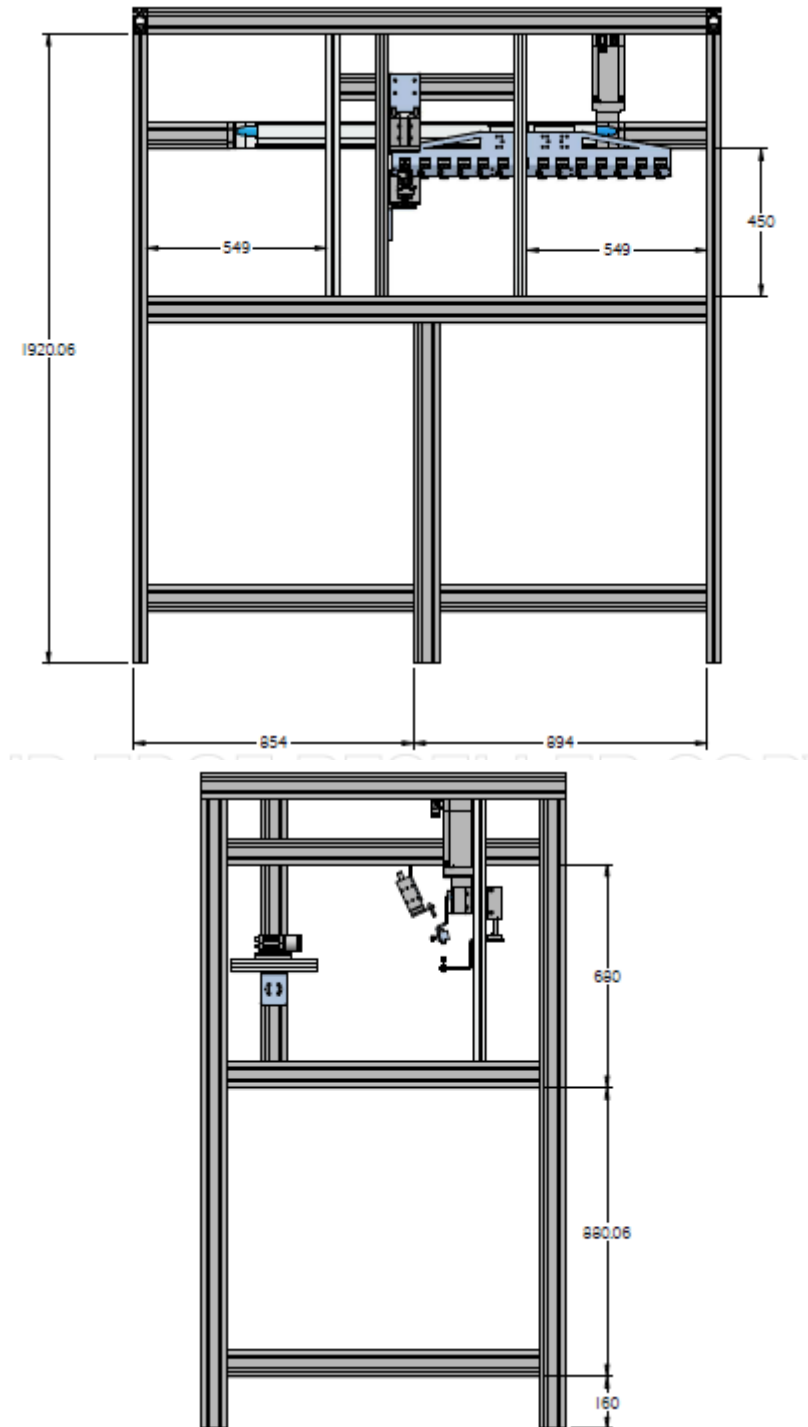


Figura 16. Diseño Preliminar del Sistema

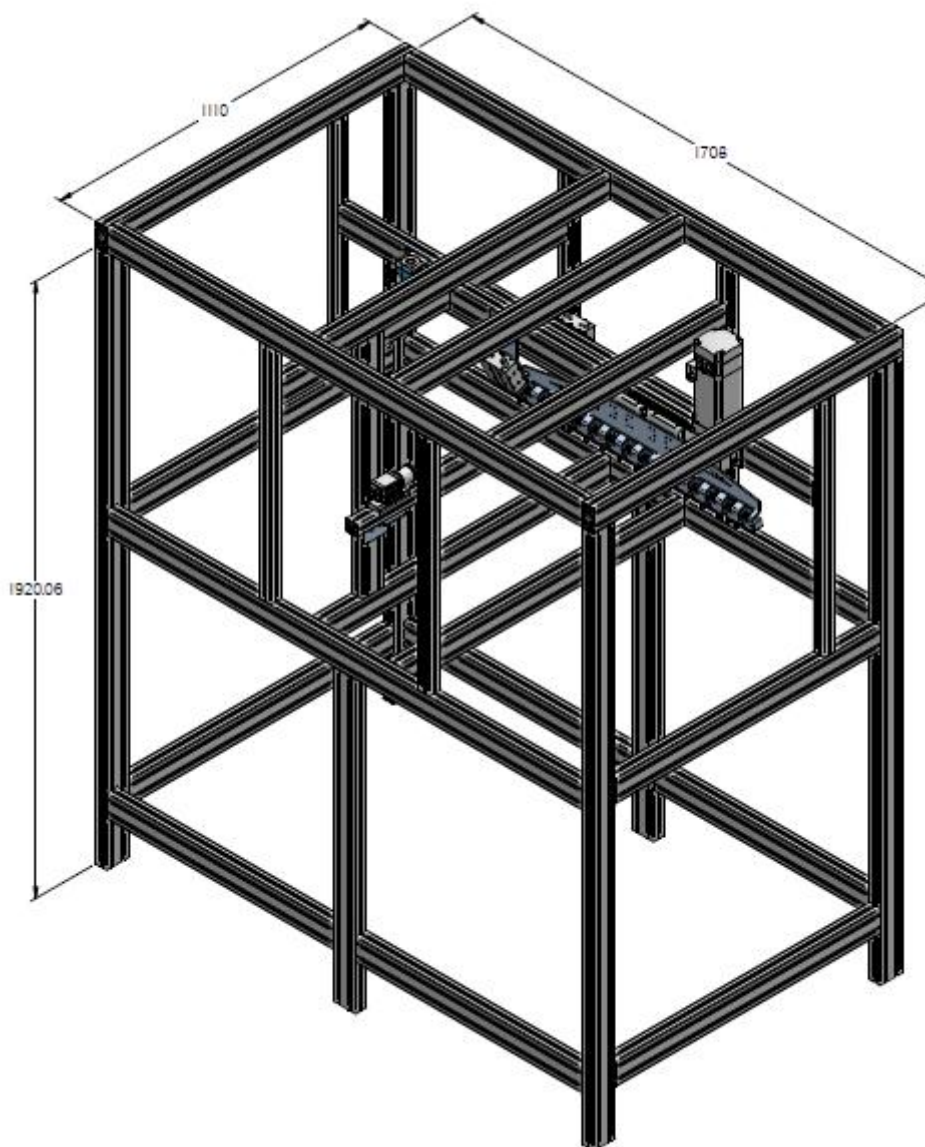


Figura 17. Vista Isométrica del diseño preliminar del sistema

Concebida esta idea, se procedió a realizar el diseño del banco, con medidas reales basadas en el tamaño de los elementos requeridos. Para ello en primer lugar se diseñaron los soportes requeridos para sujetar los inyectores al banco de trabajo. A continuación se presentan dichos diseños:

La figura 18 corresponde a una placa de soporte utilizada para dos funciones: la primera consiste en unir los inyectores del sistema con el eje eléctrico pretendido a utilizar, y la segunda función corresponde a la unión entre la placa se alojan los inyectores del sistema que unidos a esta pieza pueden ser desplazados a través del banco de trabajo. El material de esta

placa es acero inoxidable previendo la posible corrosión originada por la salpicadura de nafta sobre el sistema durante la prueba de aspersion, el grosor de la placa es de 6 mm buscando dar rigidez y solidez a la pieza dada su longitud.

En la figura 19 se puede apreciar el diseño concebido para el sistema que acopla los 14 inyectores al sistema. Esta placa tiene una sección plana que se acopla a la placa presentada en la figura 3. La otra sección tiene una inclinación específica que fue diseñada pensando en la ubicación exacta de los inyectores al momento de realizar la prueba buscando facilidad al momento de acoplar el manifold con cada uno de los inyectores.

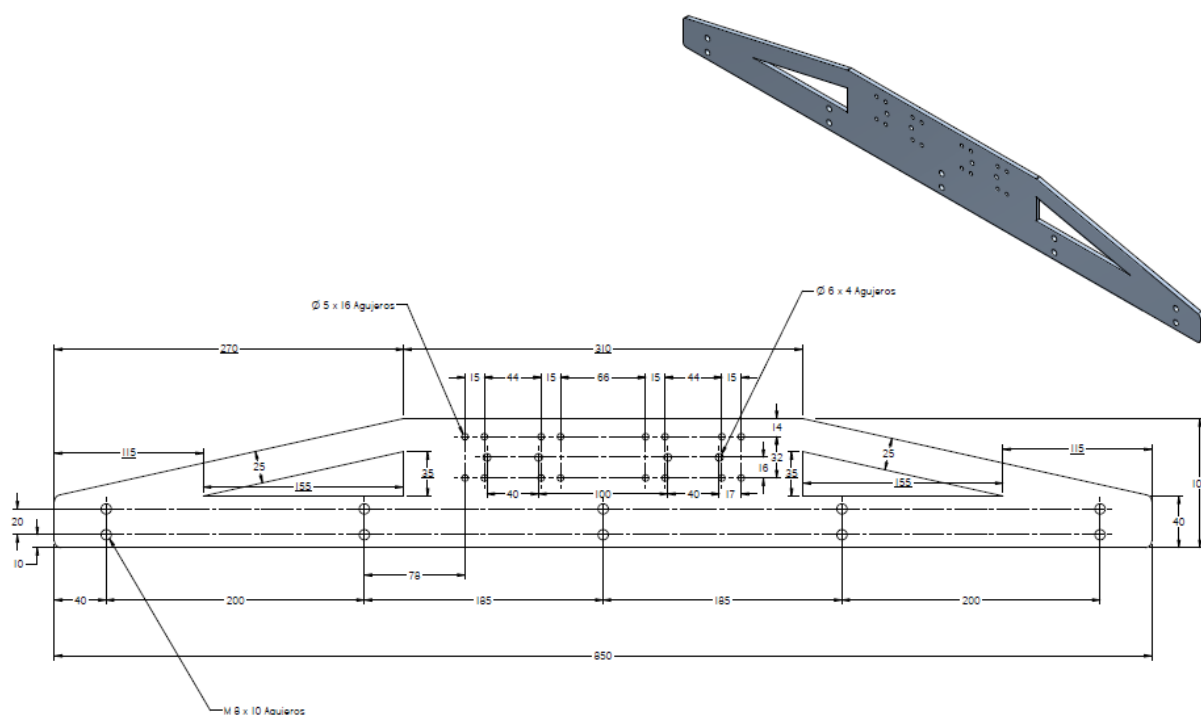


Figura 18. Placa de Soporte General

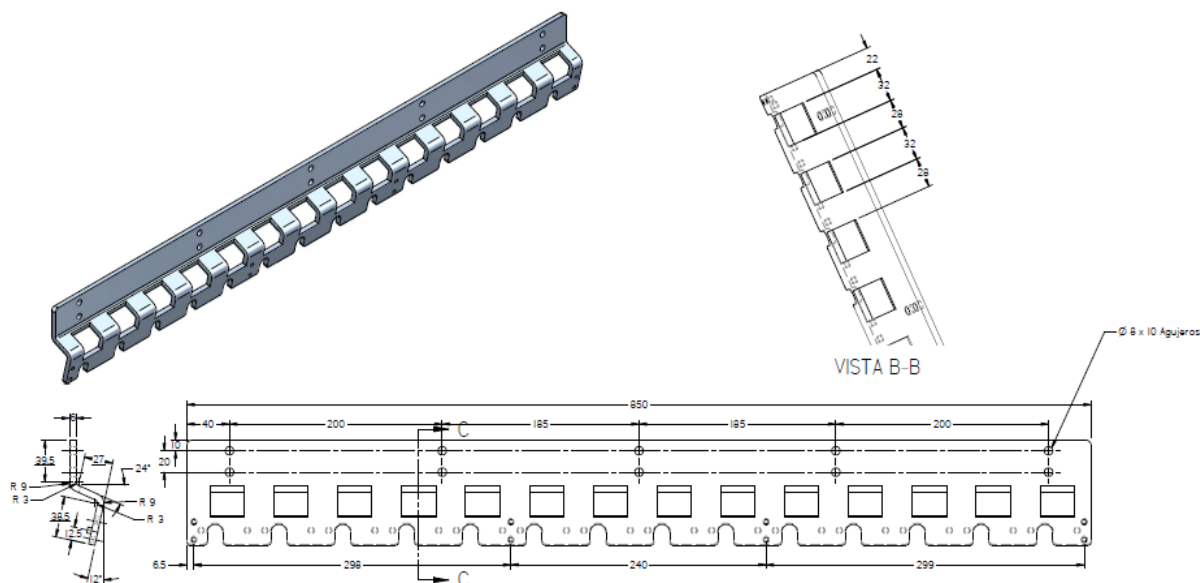


Figura19. Placa Acople Sistema de Inyectores

En este acople se pueden apreciar los 14 agujeros que corresponden a la ubicación de cada uno de los inyectores del set de una turbina en el sistema. Para ello se dimensionó la placa en 950 mm lo cual permite ubicar todos los inyectores y tener una distancia de 22 mm entre cada inyector lo cual permite realizar de forma más segura para el control del movimiento. El material seleccionado para este acople es acero inoxidable, para evitar la corrosión de la placa con el combustible o el líquido utilizado en el sistema, con un grosor de 6 mm para brindar la rigidez necesaria.

En la figura 20 se presenta el diseño de la placa para el sistema de visión artificial. Este diseño es basado en un soporte estándar utilizado para soportar la cámara que existe dentro del sistema compacto de visión de Festo. Para mayor información ver la sección selección de componentes y equipos. Se seleccionó acero inoxidable para la fabricación de la pieza y un sistema de ranuras para la sujeción previendo la posible inclinación de la cámara.

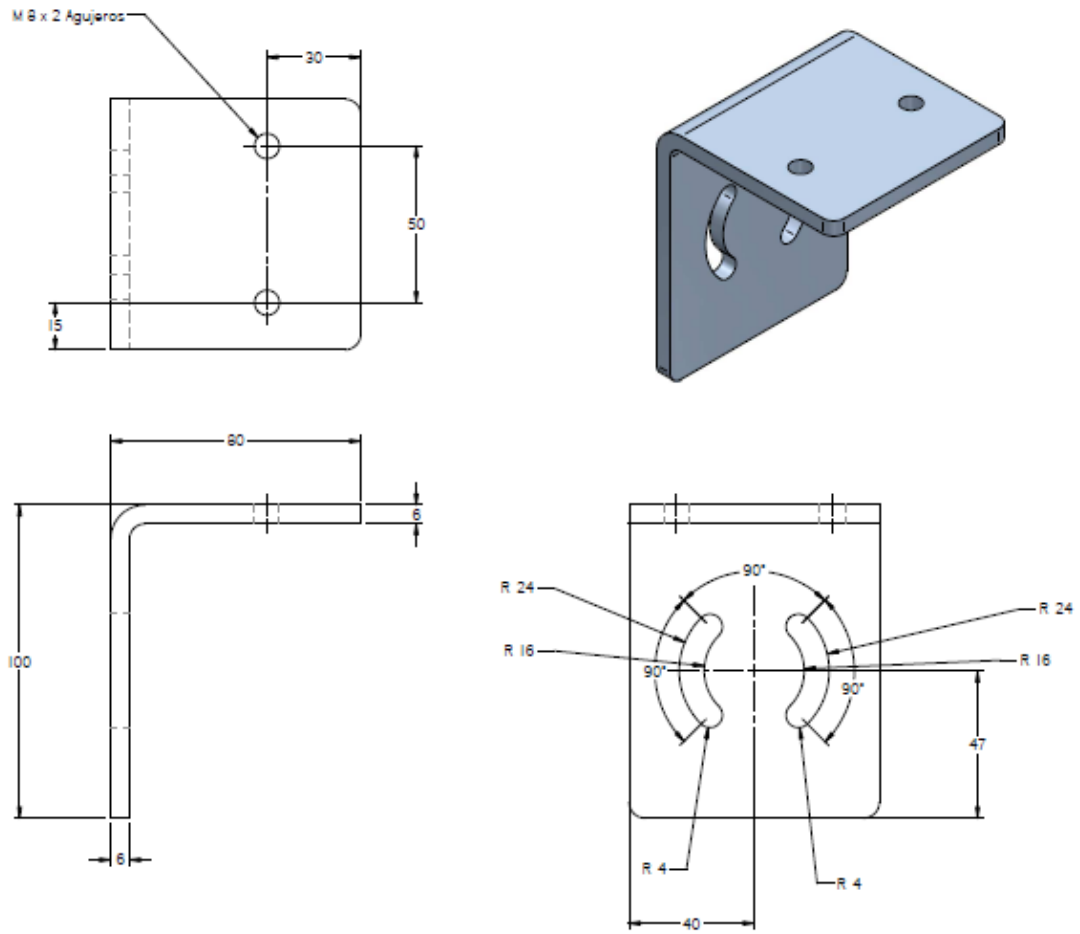


Figura 20. Soporte de la Cámara

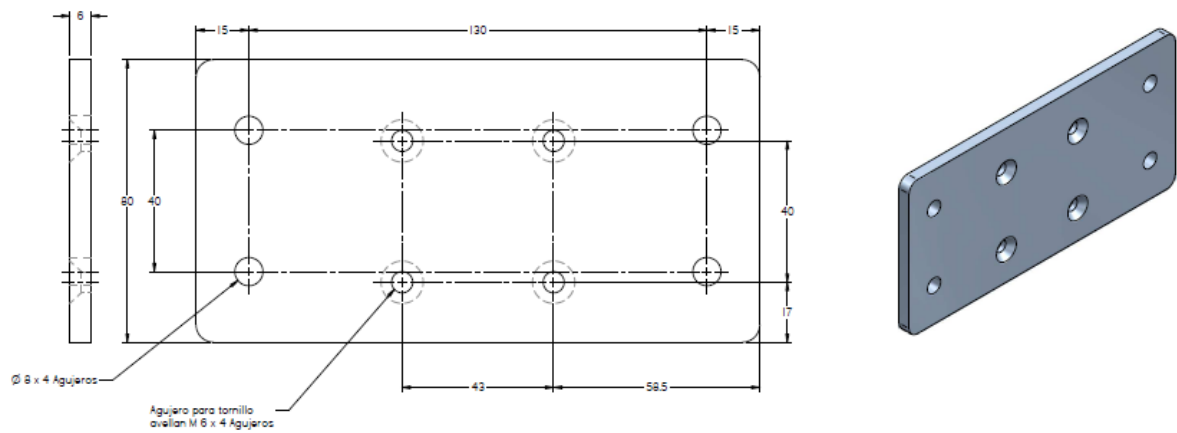


Figura 21. Placa Soporte Actuador Manifold Inferior

En las figuras 20 y 21 se presenta el diseño de las placas utilizadas como soporte para el manifold Superior e Inferior. Este diseño es basado en la selección de un actuador con carrera dirigida de Festo. Se utiliza este tipo de actuador para evitar el movimiento lateral del actuador en su recorrido. El material de la pieza es acero inoxidable. Para más información sobre el actuador ver la sección de Selección de equipos y componentes.

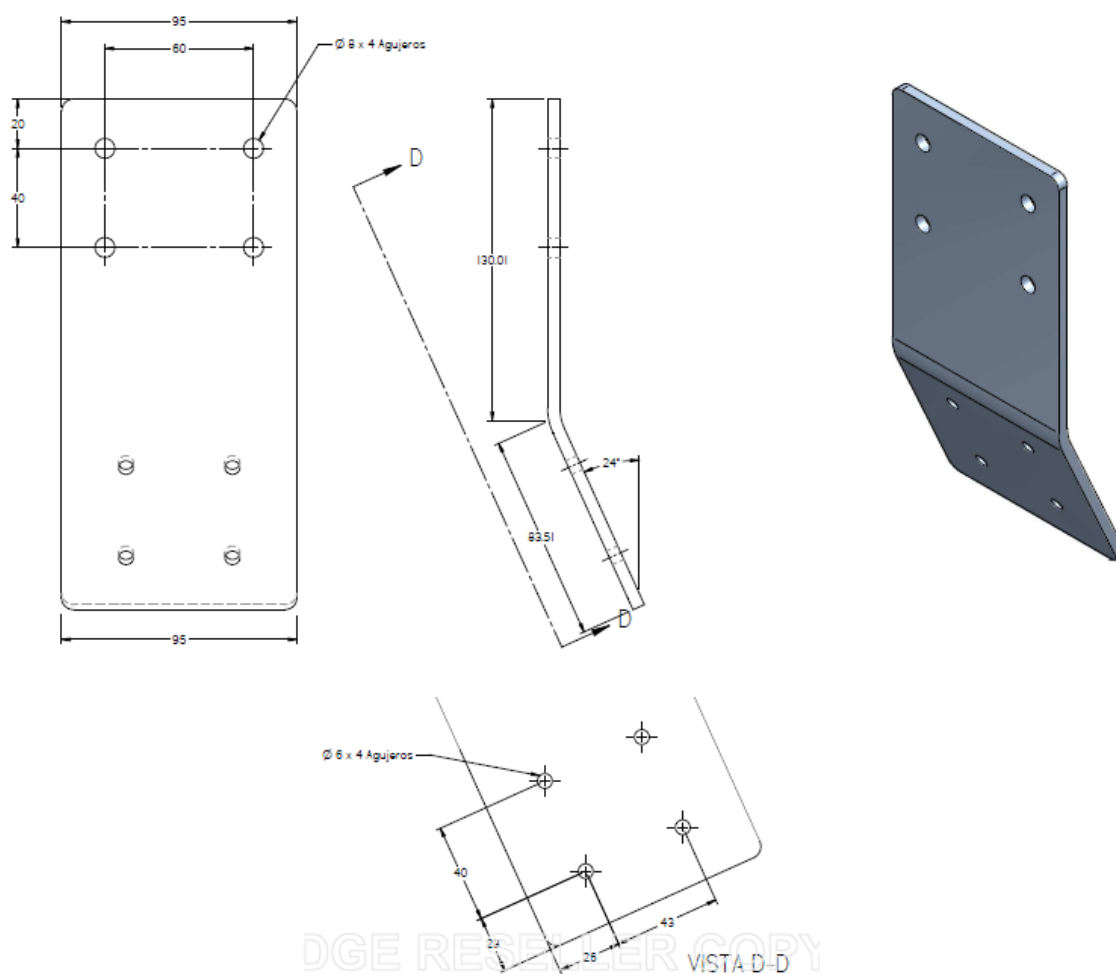


Figura 22. Placa Soporte Actuador Manifold Superior

El soporte presentado en la figura 22 además tiene en cuenta la inclinación proyectada en el acople del sistema de inyectores que permite introducir el manifold del superior automáticamente de la forma más suave posible.

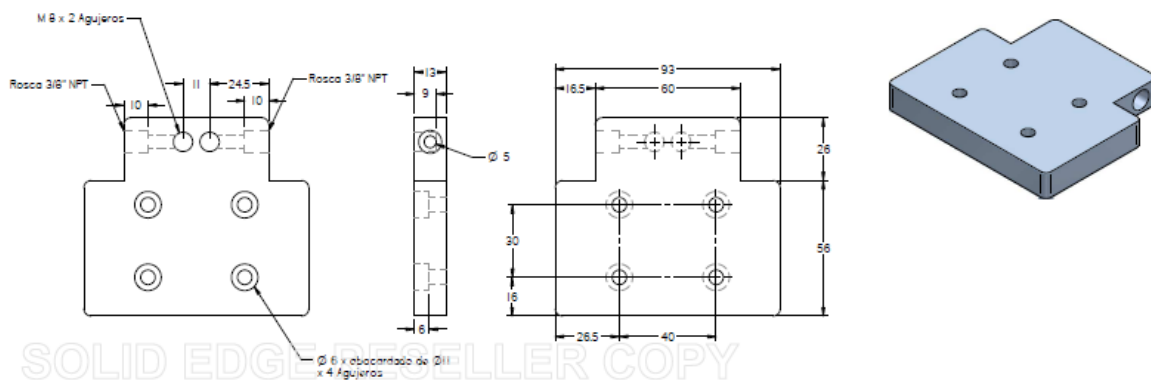


Figura 23. Soporte Racores Manifold Superior

La figura 23 presenta el soporte diseñada para sostener los racores que inyectan el combustible a cada inyector por medio del manifold superior. Esta placa tiene dos orificios laterales sobre los cuales se acoplan las mangueras hidráulicas que conducen la nafta sobre el sistema de prueba y van conectados a los racores que se introducen sobre el inyector. El material de la placa es Acero Inoxidable con un espesor de 1/2 ‘‘.

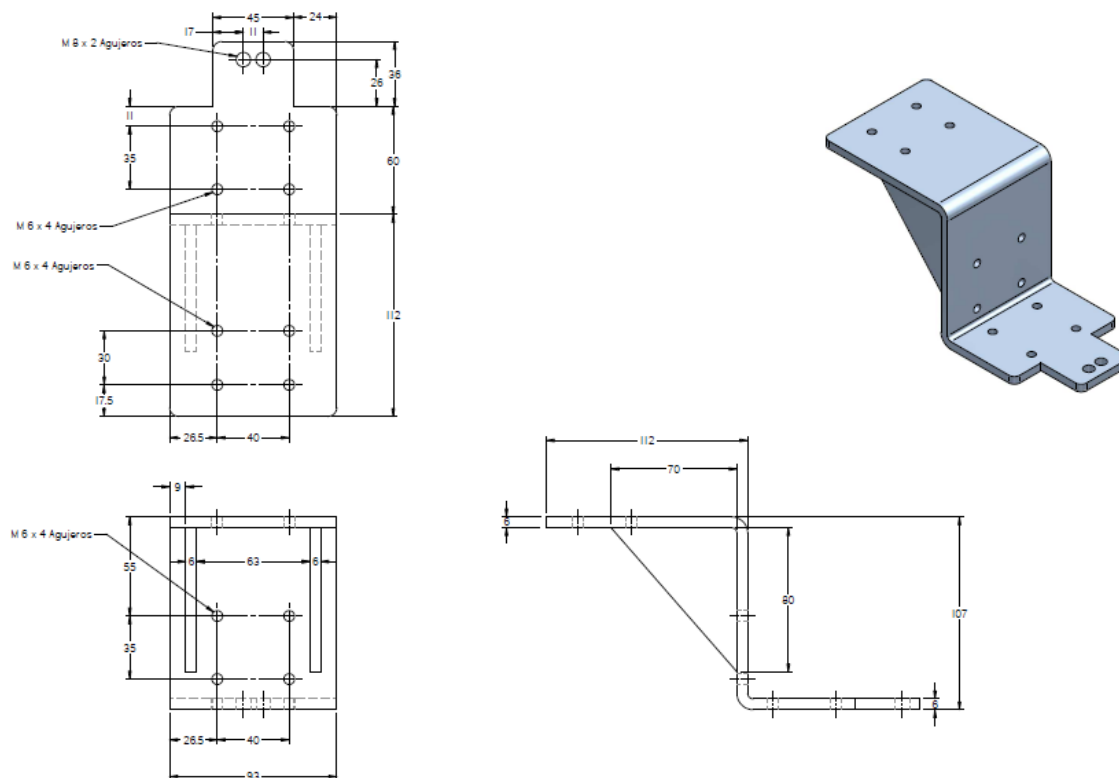


Figura 24. Soporte Racores Manifold Inferior.

Para el manifold inferior se utiliza el soporte para racores presentado en la figura 24. Este soporte va acoplado al presentado en la figura 6. Este soporte tiene la finalidad de portar los racores del manifold inferior que funcionan como tapones sobre el sistema. Esta placa a su vez lleva su en cara frontal unos agujeros que son utilizados para la acoplar al sistema un cilindro que ha de ser utilizado para la prueba de estanqueidad.

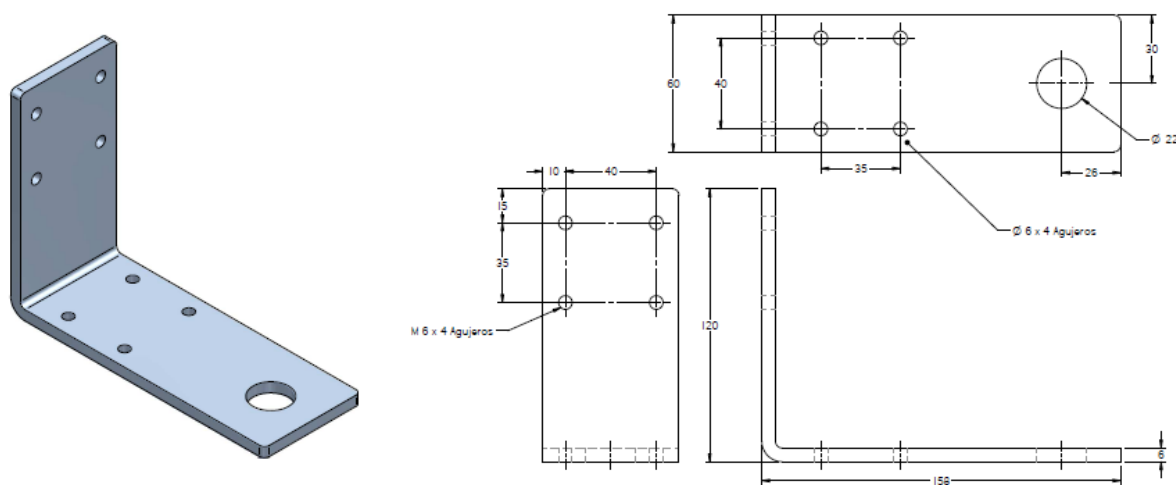


Figura 25. Soporte Actuator Prueba Estanqueidad

En la figura 25 se presenta el soporte que se acopla al presentado en la figura 11 y que sirve para ubicar sobre el sistema el actuador que ha de ser utilizado en la prueba de estanqueidad. Este soporte es diseñado respecto de un actuador neumático Festo seleccionado para tal fin.

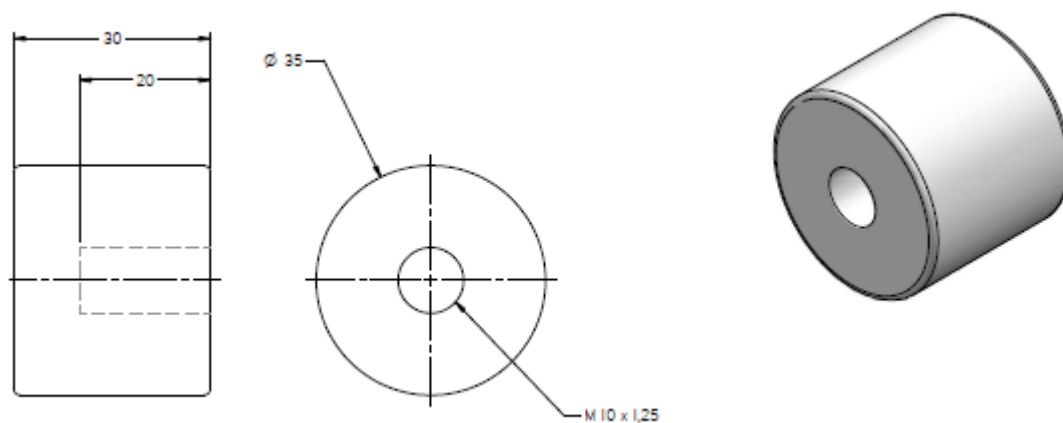


Figura 26. Tapón Prueba de Estanqueidad.

Para la prueba de estanqueidad se hace necesario utilizar un tercer actuador, a parte de los manifold que tape la boquilla de cada inyector y poder mantener el gas de la prueba dentro del sistema. Para ello se diseñó el tapón presentado en la figura 26. Este tapón es diseñado en Teflón.

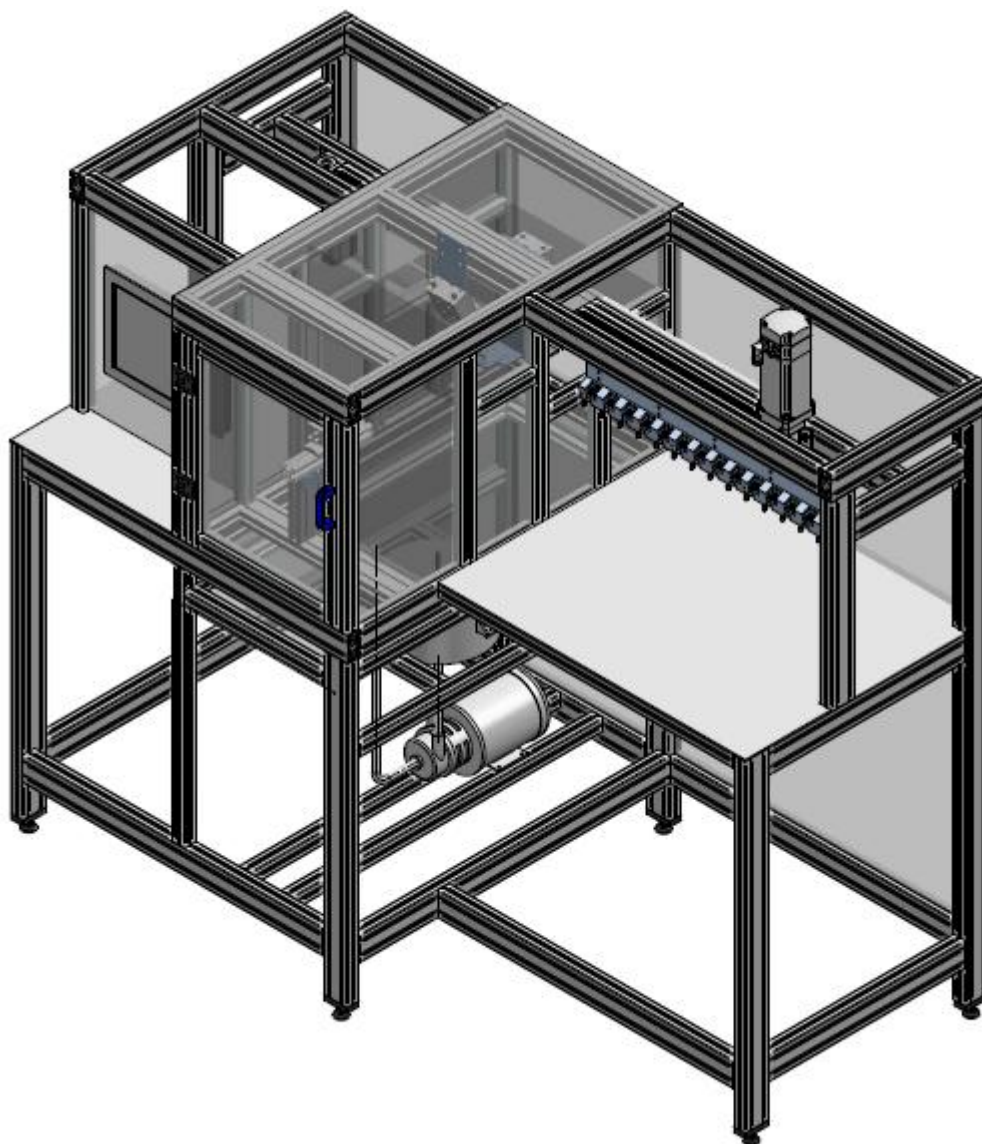


Figura 28. Montaje General Sistema del Sistema de Inspección

En este modelo se puede apreciar la distribución de los elementos del sistema. Puede apreciarse que el sistema es encerrado por láminas oscuras de policarbonato ya que el sistema de visión requiere el uso de un ambiente oscurecido para poder contrastar el fondo respecto de la aspersión obtenida en la prueba. Además se aprecia la inclusión de un elemento adicional en el sistema que son los tanques de contención de combustible y un embudo para el reciclaje del mismo:

En la figura 29 se presenta un embudo que se conecta al tanque presentado en la figura 19 que es diseñado para recoger todo el combustible utilizado durante la prueba de aspersión

que será reciclado por el sistema. Este embudo es fabricado en policarbonato transparente y con 5 mm de espesor.

En las figuras 30 y 31 se presentan los tanques del sistema. Fabricados en Acero Inoxidable se presenta dos tanques, uno superior que permite reciclar el combustible entre cada prueba de aspersión y uno inferior que se utiliza presurizado para llevar el combustible hacia los inyectores y realizar la prueba de aspersión. Todo el control de paso de combustible desde estos tanques hacia los inyectores es comando por válvulas de proceso.

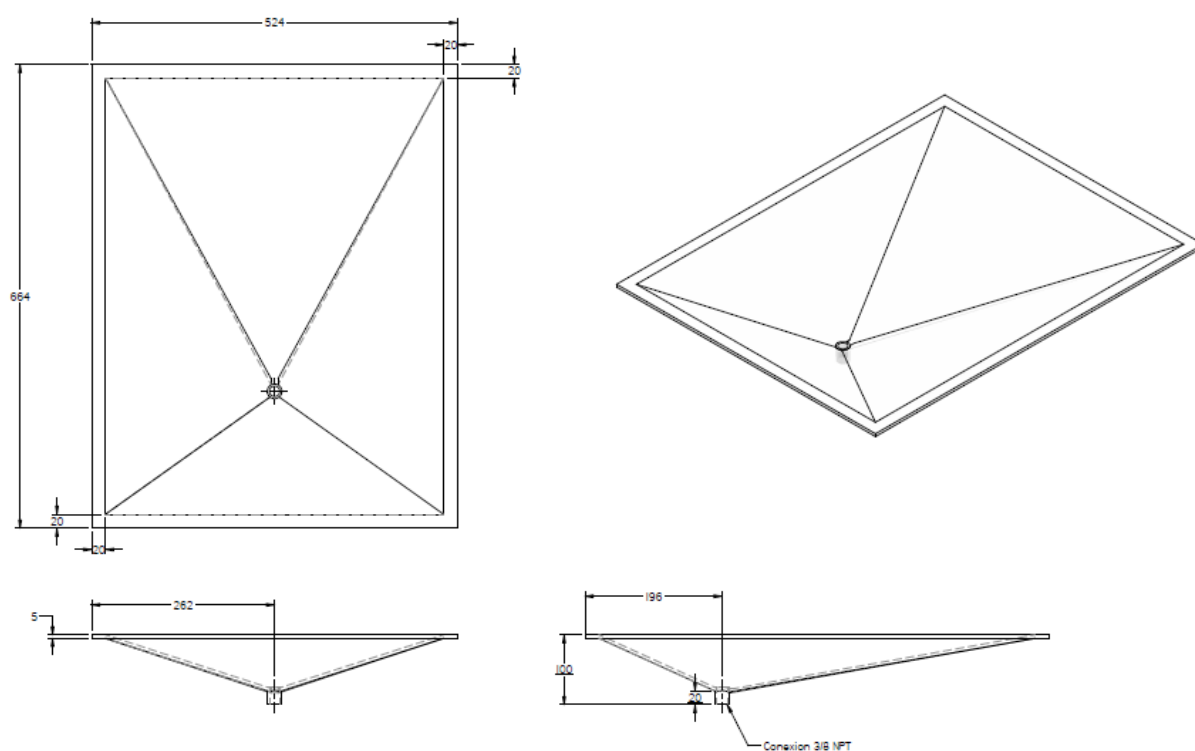


Figura 29. Embudo para reciclaje de combustible

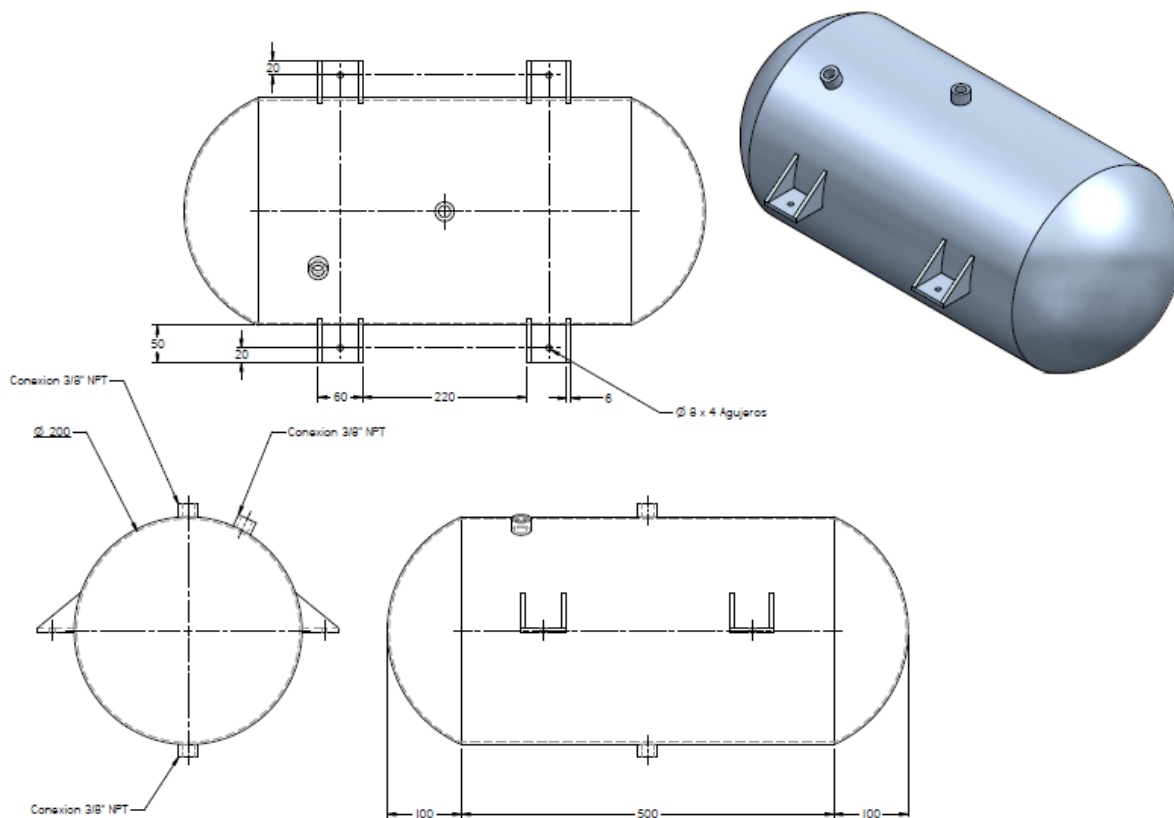


Figura 30. Tanque de suministro de combustible

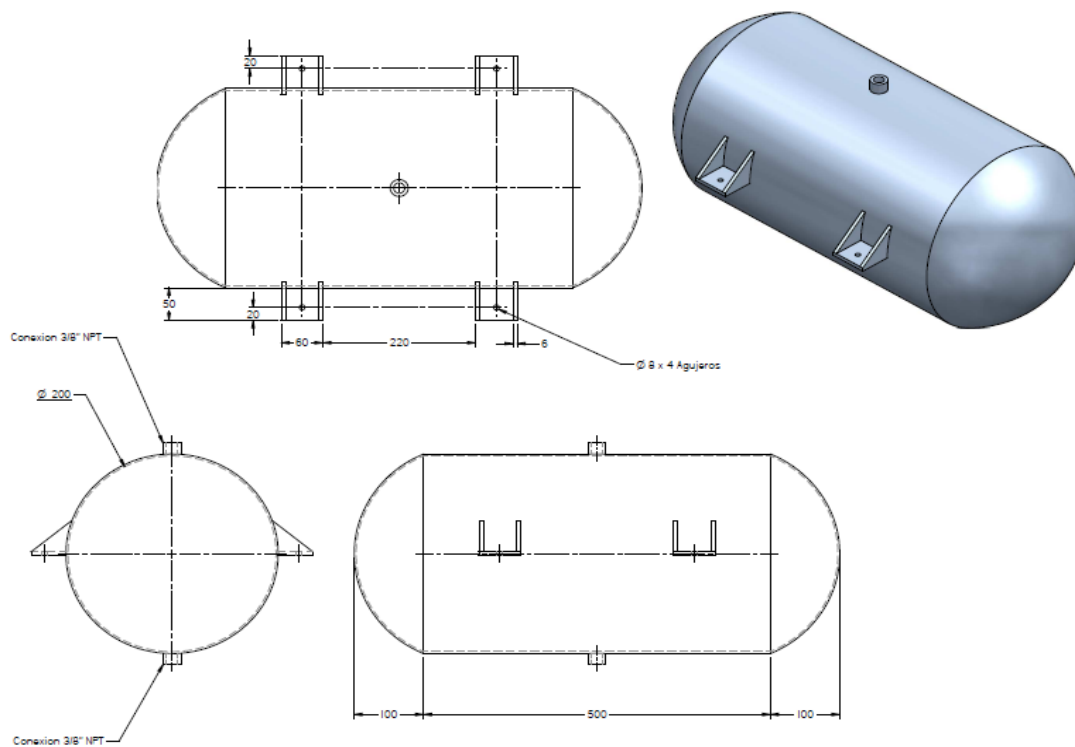


Figura 31. Tanque Reciclaje de Combustible

Las dimensiones finales del sistema son presentadas a continuación:

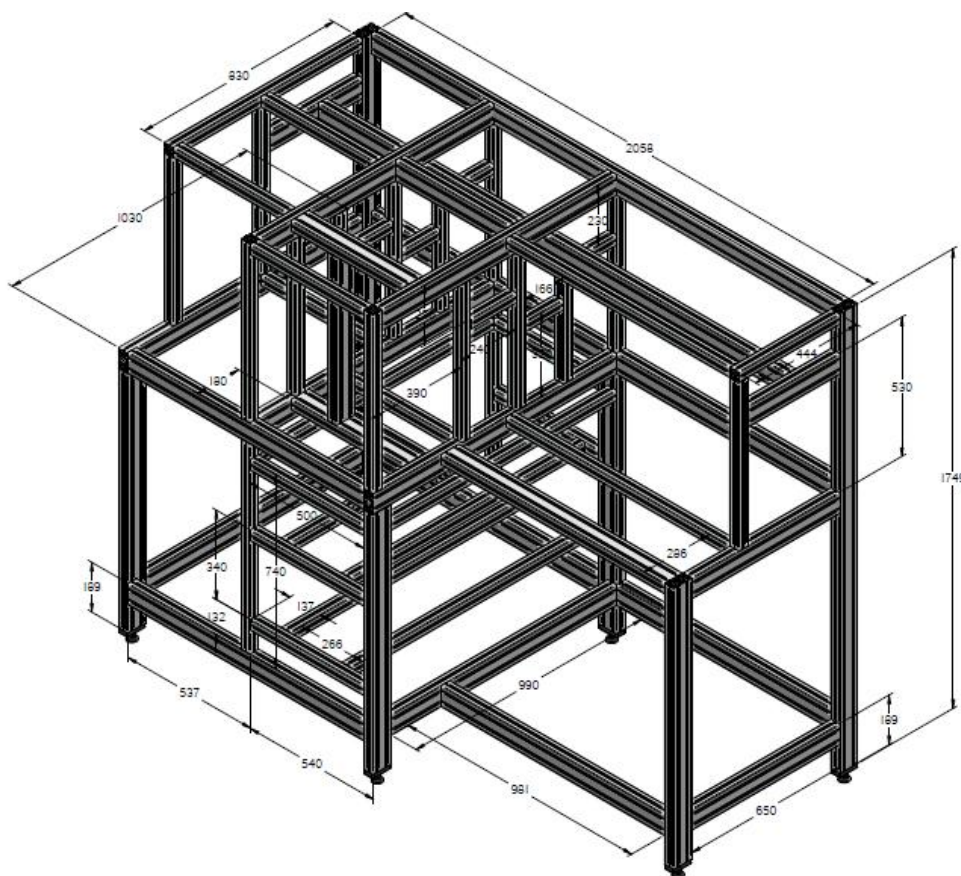


Figura 32. Dimensionamiento Final del Sistema

Selección de equipos y componentes

Se presenta a continuación los elementos seleccionados discriminador por categorías, adicionalmente se anexa a la documentación los catálogos de todos los elementos.

Sistema de Control

FED-5000 / FED-CEC / FED-UIM

Estas referencias corresponden al sistema integrado que conforman la interfaz HMI con el PLC y el módulo de entradas y salidas del sistema. Este tipo de sistema es ampliamente utilizado en sistemas automáticos debido a la facilidad de programación e integración. La interfaz HMI es un sistema Touch-Panel de 15'', XGA, con resolución de 1024x768 pixeles y es el panel de mayor resolución y mejores prestaciones de que dispone Festo. El PLC es un PLC basado en Codesys, la última tecnología disponible en Festo para programación de PLC

que permite de forma más amigable y en menor tiempo la programación e Integración de sistemas mecatrónicos. Finalmente el módulo FED-UIM es un modulo de entradas y salidas análogas (4 In / 4 Out) y digitales (24 In / 16 Out) que acoplado al PLC y que le permite a este comunicación con dispositivos externos por medio de protocolo TCP/IP, CanOpen, Profibus entre otros. Este tipo de PLC tiene como aplicación específica sistemas de control de movimiento.

Controlador Servomotor CMMS-AS

Este control de servo es un control para servomotores Festo. Se caracteriza por ser compacto, por permitir integrar todos los componentes del sistema de movimiento (ejes y motores) por medio de puerto serial RS232 y CanOpen. Este permite realizar control de posicionamiento por medio de encoder, puede ser operado por medio de Torques, Velocidades o por posiciones previamente programadas (hasta 63), permite crear 8 perfiles de movimiento diferentes, es programado por medio de CanOpen desde un PLC Codesys o por medio de entradas y salidas digitales con un PLC convencional, permite programar rampas de aceleración y desaceleración en los servomotores por medio de ajuste de parámetros o un sistema de control proporcional. Debido a esa gran versatilidad fue seleccionado.

Sensores SMX-8 24V

Sensores inductivos estándar de Festo utilizados para controlar la posición o el movimiento de los actuadores neumáticos y de los ejes. De bajo costo alta eficiencia y perfectos para minimizar espacios debido a su adaptabilidad en los perfiles de los elementos anteriormente mencionados. Funcionan a 24 VDC y tienen un led indicador que se enciende al momento de estar activos en el elemento en el cual están instalados.

Sistema para Movimientos

Servo Motor EMMS-AS, Caja Reductora 3:1 EMGA

Servomotor electrodinámico permanentemente excitado utilizado para sistemas que requieren movimientos de muy alta precisión. Este motor se alimenta con una tensión bifásica de 220VAC a 2,6 A tiene un torque de 2,29 Nm. Este motor tiene un encoder absoluto por posición. Se adapta a cajas reductoras estándar Festo y es de fácil acople a ejes eléctricos. Se seleccionó para este proyecto este tipo de motor y caja reductora por el tipo de desplazamientos y la precisión que se requería en el posicionamiento de la placa de inyectores

Eje EGC-TB

Para esta aplicación se escogió un eje de correa dentada acoplado al servomotor tipo ECG-80-1300-TB. Es un eje resistente a la velocidad, aceleración y torque. Se destaca por ser un eje de muy buen rendimiento y bajo costo. Permite ahorrar mucho espacio circundante gracias al uso de sensores de uso común. Es de fácil instalación. Para el caso específico de este proyecto se escogió este eje con dos carros que permite el montaje eficiente de la placa de soporte de los inyectores.

Sistema de Visión Artificial

Sistema de Visión Compacto SBOC-Q-R2C

Este sistema de visión artificial es una cámara de 1Mega Pixel con capacidad de tomar hasta 27 fotogramas por segundo. Dada la resolución de la cámara resulta adecuada para realizar la inspección requerida en la prueba de aspersion debido a la gran calidad de imagen que se puede obtener y el detalle que se puede lograr en las imágenes tomadas además del procesamiento que se puede lograr con el software destinado para la configuración y ejecutar inspecciones dentro del programa (CheckOn y CheckOpti).

Sistema Neumático

Unidad de servicio combinada LFR-KC/LFRS-KC, Serie D

En todo sistema neumático se utiliza una unidad de mantenimiento para filtrar el aire comprimido que ha de entrar al sistema y evitar el paso del condensado del compresor hacia los elementos del sistema. En esta aplicación específica se instaló una unidad de mantenimiento Festo con una unidad de arranque manual HE.

Válvula de Arranque HEE

El paso de aire comprimido hacia el sistema de presurización de combustible es velado por medio de una válvula HEE. Dicha válvula es activada únicamente cuando se requiere paso de combustible hacia el sistema de aspersion del sistema. Esto garantiza que en ningún momento sin que se le ordene al sistema se va a presurizar el sistema poniendo en peligro al personal que opere la máquina. Esta válvula opera por medio de pulsos digitales.

Válvula Proporcional MPPES-3-1/2-420

Se utiliza una válvula proporcional dentro del sistema para garantizar que la presurización del tanque de combustible nunca va a ser superior al nivel de presurización que configura dentro de los parámetros de la máquina. Esta válvula proporcional es controlada

desde el PLC y únicamente es activada cuando las rutinas programadas así lo exigen, de resto permanece inactiva. Esta válvula opera por medio de una salida análoga entre 4 y 20 mA del PLC del sistema

Bloque de Electroválvulas CPV-TYP10

Este bloque comanda el funcionamiento de los actuadores neumáticos. Es un bloque de válvulas tipo cassette que se comunica con el PLC por medio de un cable DB25 y que es controlado por las rutinas programadas en el PLC. Por medio de este se regula la activación de las válvulas de asiento inclinado, y los actuadores que conforman el manifold del sistema. El sistema está configurado por 3 válvulas 3/2, de las cuales 5 están en uso para la válvulas de asiento inclinado y 3 válvulas 5/2 para controlar los actuadores del manifold y el actuador del tapón para la prueba de estanqueidad. Se utiliza este tipo de bloques de válvulas ya que son libres de mantenimiento, y en el momento en el que alguna válvula falle, simplemente se cambia el cassette correspondiente.

Válvulas de Asiento Inclinado VZF

Son válvulas actuadores de activación neumática que soportan altas presiones. Debido a esto son utilizadas para controlar el paso de fluidos (combustible o gas) en el transcurso de las pruebas de aspersión y estanqueidad. Tiene la ventaja para esta aplicación específica que como son de activación neumática, reducen a cero el riesgo de posibles explosiones sobre el combustible al no estar involucrado el paso de corriente eléctrica para la activación de la válvula.

Actuadores DFM

Son actuadores guiados ideales cuando se requieren mínimas perturbaciones al momento de activar o desactivar la carrera del actuador. Por dicha razón son la opción más ideal para hacer las veces manifold, debido a lo delicado del proceso de inserción del racor del manifold sobre el inyector. Utilizando este tipo de actuadores se pretende evitar el daño de los inyectores debido a golpes no deseados sobre el cuerpo de este mismo. Estos actuadores son reparables en caso de malfuncionamiento.

Actuador DSNU

Es un actuador estándar-ISO comúnmente utilizado en aplicaciones neumáticas. En este caso se utiliza por su pequeño tamaño y por el tipo de desplazamiento que se requiere para el

tapón en la prueba de estanqueidad. Tiene el extremo saliente del vástago roscado por lo que fácilmente se puede adaptar el tapón de nylon diseñado para esta aplicación.

Racores GRLA

Este tipo de racor es un regulador de caudal, utilizado principalmente cuando se requiere activar un cilindro neumático a una presión más baja de la presión de suministro sin utilizar válvulas más complejas. Para esta aplicación es especial, se utilizan en los actuadores DFM para que el ingreso de los racores del manifold sea suave y lo más cuidadosa posible, así se pretende evitar dañar un inyector por causa de golpes fuertes causados por el manifold.

Manguera PUN-H

Es una manguera de aplicación especial, aislada cuando las mangueras tienen contacto cercano con cables eléctricos. En este caso se utiliza se utiliza como medida de seguridad al paso de combustible.

Presóstato VEGABAR-14

Presóstato para la prueba de estanqueidad. Seleccionado debido a que soporta los 500 psi de presión nominal a la que se realiza la prueba de estanqueidad y por la rápida respuesta. Es un Presóstato pasivo se alimenta con tensión a 24 VDC y emite una señal análoga entre 4 y 20 mA.

Elementos de Construcción Mecánicos

Se utilizó perfilera y elementos suministrados por Festo Alemania. Para este caso específico se utilizo en medidas 40x40 mm y 40 x80 mm. Esta es perfilera en aluminio.

Software SCADA

Zenon es el software SCADA utilizado por Festo para la implementación de dichos sistemas. Este es un software de la casa matriz COPA-DATA que permite la comunicación entre el PLC y otros dispositivos y tiene la ventaja que presenta compatibilidad con todo el software de Festo. En este caso su utilidad está dada en el hecho que este software permite la comunicación con PLC basados en Codesys. Es un software que se programa por medio de SCRIPTS libres de lenguaje de programación, lo cual permite realizar desarrollo en muy corto tiempo, aunque también permite realizar software de más alto nivel con programación en lenguajes basados en la plataforma Visual Studio .NET.

Diseño del flujo de información para la programación y control

La programación del sistema se realiza en 6 programas diferentes cada uno, con una aplicación específica y especial.

Festo Configuration Tool (FCT)

Este software es utilizado para configurar el servomotor en su conjunto con la caja reductora y el eje. En este se establece la configuración física del servomotor y se establecen los parámetros de velocidad, homing, curvas de arranque y de desaceleración. En esta aplicación especifica el posicionamiento esta dado por 14 posiciones fijas –cada uno de los inyectores posicionados en el sistema- enfrentado contra el manifold. Esas posiciones son guardadas en una tabla que es consultada cada vez que se requiere mover el servomotor a una posición específica.

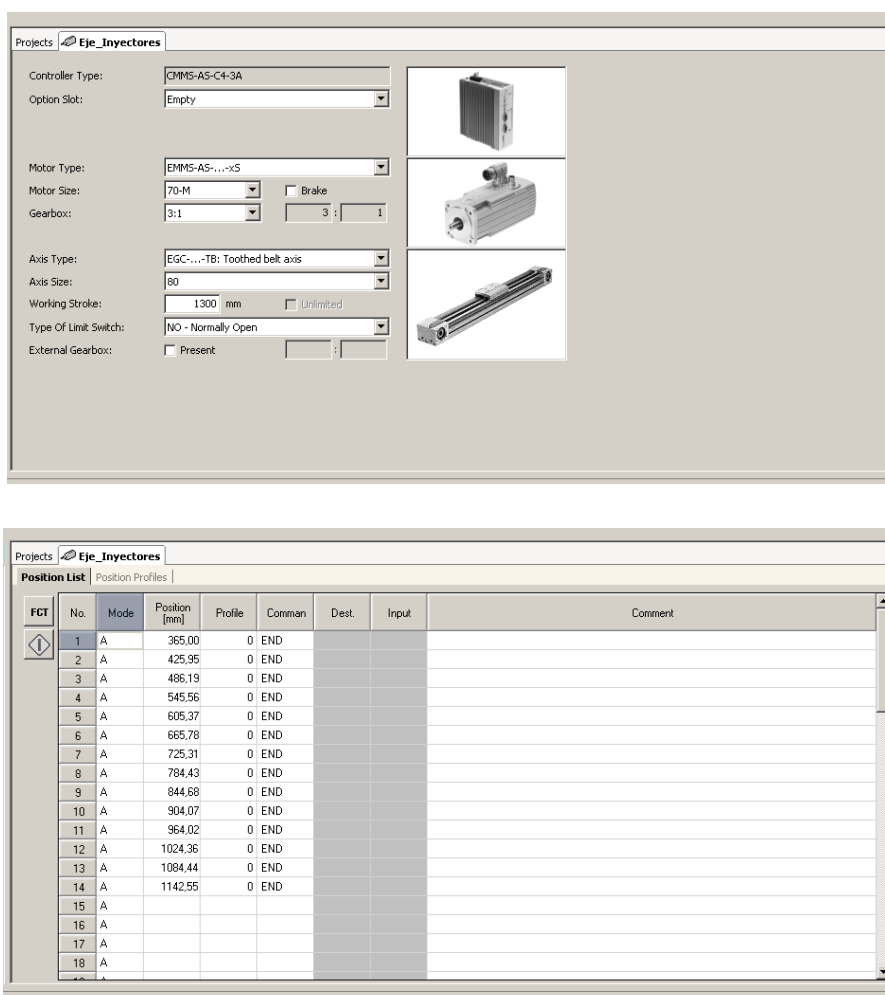


Figura 33. Software FCT

Codesys by Festo 2.3

Codesys es un estándar de programación creado por la compañía 3s y al que poco a poco todos los fabricantes de PLC están migrando. Este programa permite configurar el PLC de Festo, su comunicación vía Ethernet para configuración y programación, además de permitir la comunicación por medio del protocolo CANOpen con el objetivo de mover el sistema de locomoción comandado por el servomotor.

Una de las ventajas de Codesys como herramienta de programación para el PLC es la posibilidad de programar en 8 diferentes lenguajes de programación. Para el caso de esta aplicación se utilizan 4 lenguajes diferentes en un solo programa: Ladder para configurar el comportamiento de las variables que se utilizan como botones en el HMI, Statement List para configurar los modos de reset y de inicio de puesta en marcha, SFC –Structures Function Chart-, para programar el flujo de información principal del programa y CFC –Continious Function Chart- que es utilizado para la programación de las rutinas. Más adelante se expondrá el diseño realizado para el flujo de información.

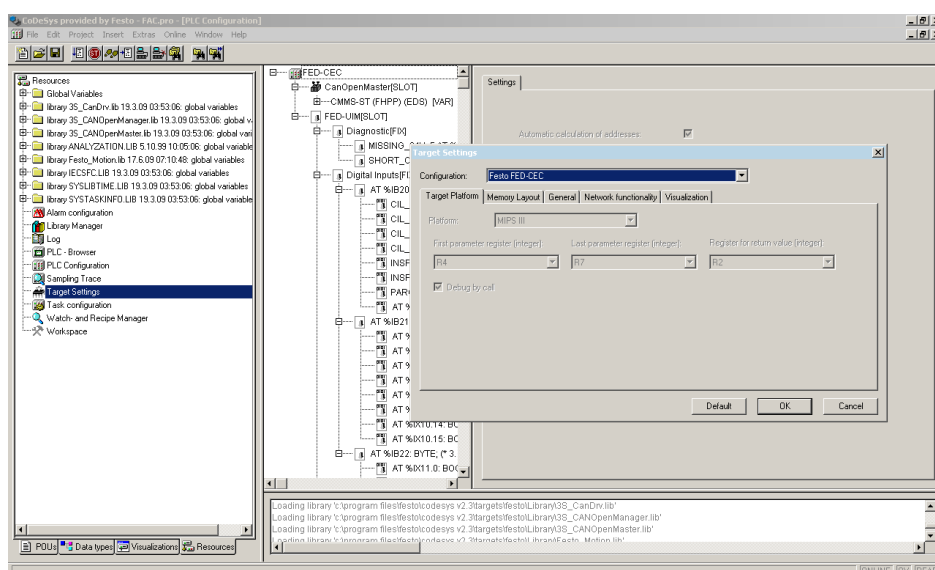


Figura 34. Software codesys

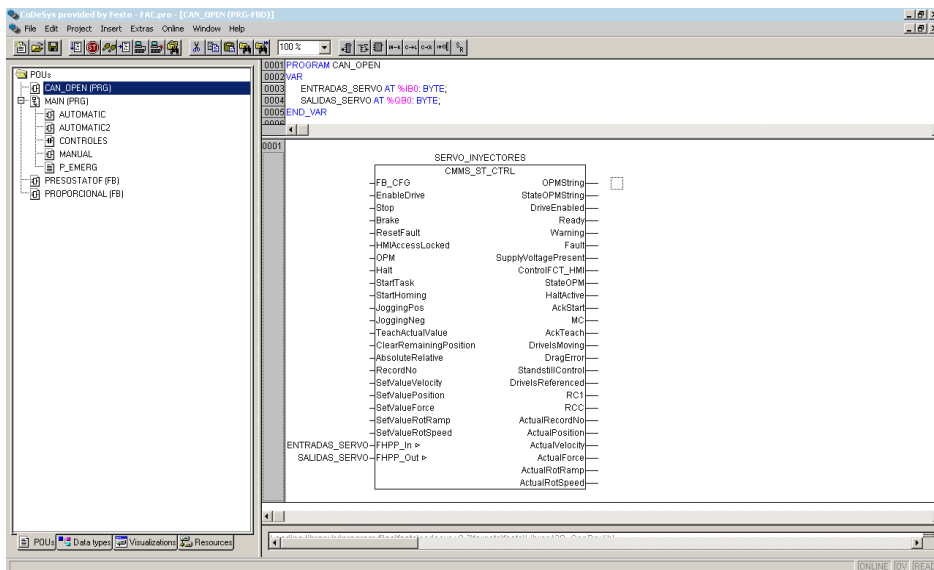


Figura 35. Software codesys.

FED Designer 6.09

FED Designer es el software utilizado para la programación de la interfaz HMI. Este software es dedicado para paneles marca Festo. Es un software muy sencillo que permite por protocolo Ethernet obtener la configuración de un panel y realizar la programación y descarga del mismo.

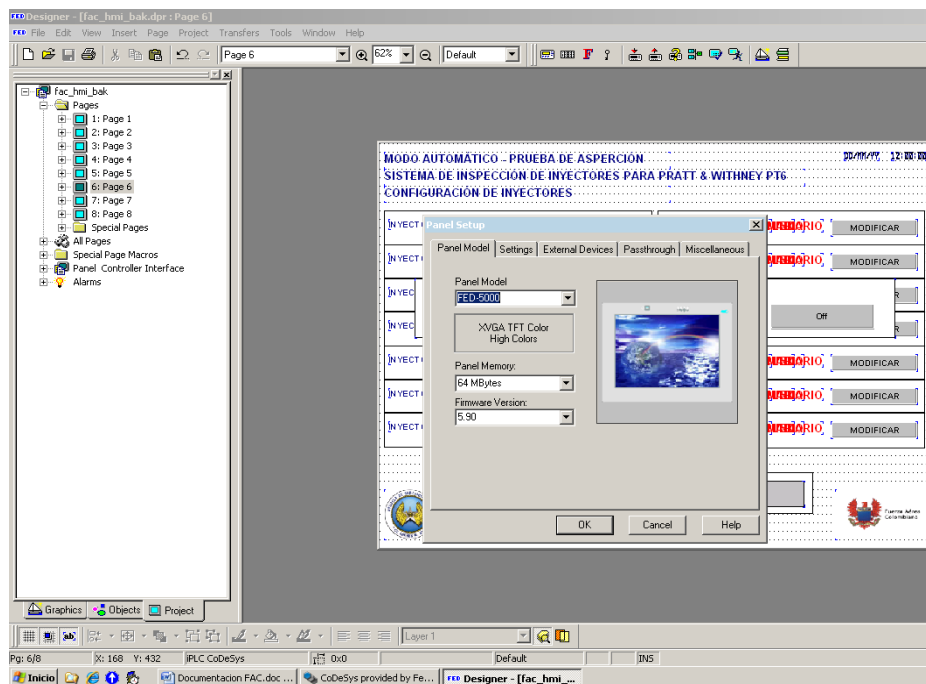


Figura 36. Software FED para diseño del HMI

La programación del panel se realiza configurando un listado de tags o llamados a marcas de memoria del programa que se encuentra en el PLC. Para ello en Codesys se crea una base de datos con el listado de variables utilizadas. Estas variables son cargadas en FED Designer y se programan mediante macros definidos por el mismo programa. No utiliza ningún código de programación, únicamente se utilizan llamados a variables creadas.

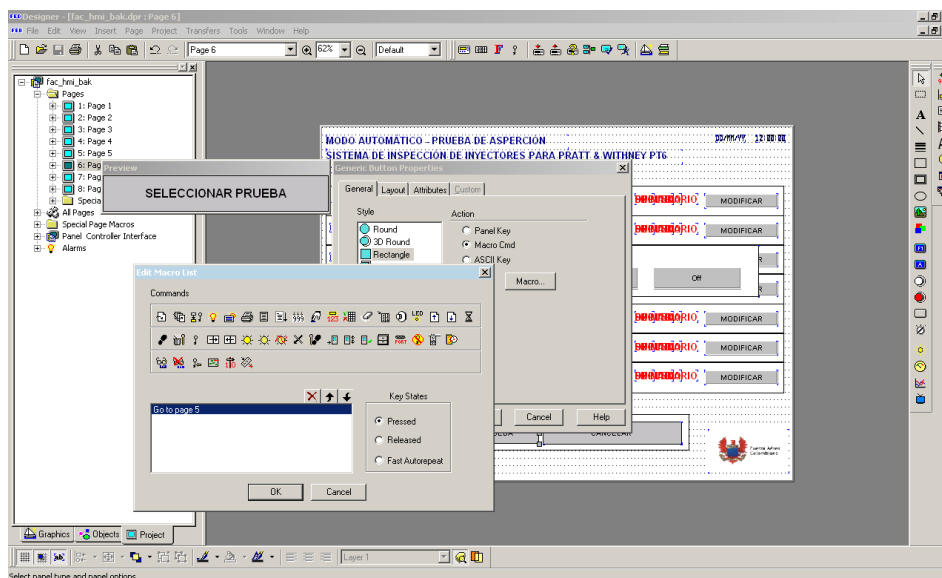


Figura 37. Software FED para diseño del HMI

Zenon 6.51

Zenon es el sistema SCADA seleccionado para el proyecto. Este consiste de varios módulos que permiten configurar todas las opciones del software. El aplicativo se programa en zenon Editor. En este programa se realiza la configuración de los pantallazos del programa y la programación de dos formas: Una a través de scripts con funciones predeterminadas por el software. En el caso de este proyecto se utilizaron los módulos de variables para comunicar el PLC Codesys con el SCADA y crear algunas variables de control del software, se utilizó el módulo de imágenes para crear los pantallazos del sistema, el servidor de archivos y el generador de informes para gestionar el manejo de la información histórica del sistema, y el administrador de usuarios para crear perfiles de usuario del sistema.

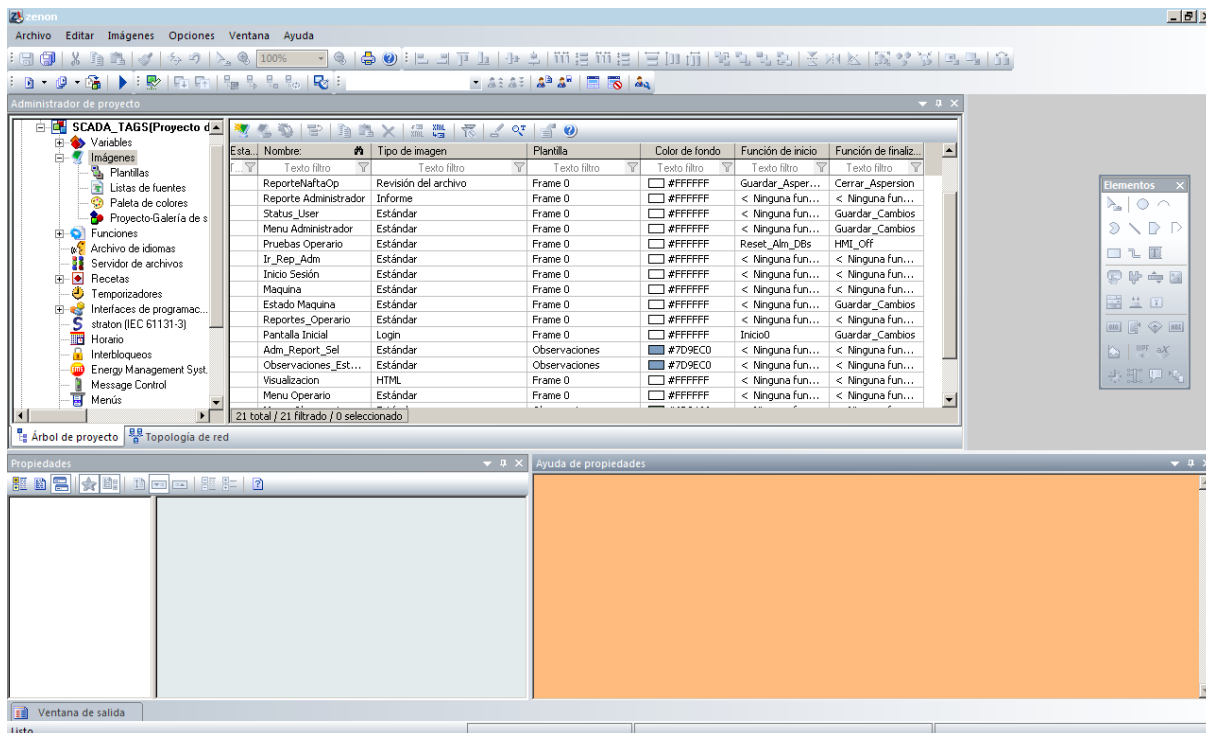


Figura 38. Software SCADA

En esta aplicación la programación se hizo por medio de Scripts. Estos permiten realizar las tareas comunes dentro de la aplicación como cambiar de pantallas, guardar información, modificar el valor de una variable en el PLC sin escribir una línea de código.

El otro método de programación utilizado fueron las funciones, que no difieren conceptualmente de la programación de funciones en cualquier otro lenguaje de programación, pero al igual que los Scripts utilizan una gran cantidad de sub funciones pre-programadas que permiten agilizar los tiempos de desarrollo del software.

En el administrador de usuarios se crearon 2 perfiles: el perfil de operario y el perfil de administrador. El administrador es quien controla la información histórica del sistema, tiene posibilidad de crear nuevos usuarios y controla el estado general del banco de trabajo como prendido o apagado. Si el administrador no autoriza el funcionamiento de la máquina esta no se puede operar. El operario como tal tiene la posibilidad de realizar pruebas con el sistema. Este cuando está trabajando y va a iniciar una prueba configura el sistema y habilita la interfaz HMI desde el programa del SCADA, una vez finaliza las pruebas tiene posibilidad de imprimir un informe con los resultados de la inspección realizada.

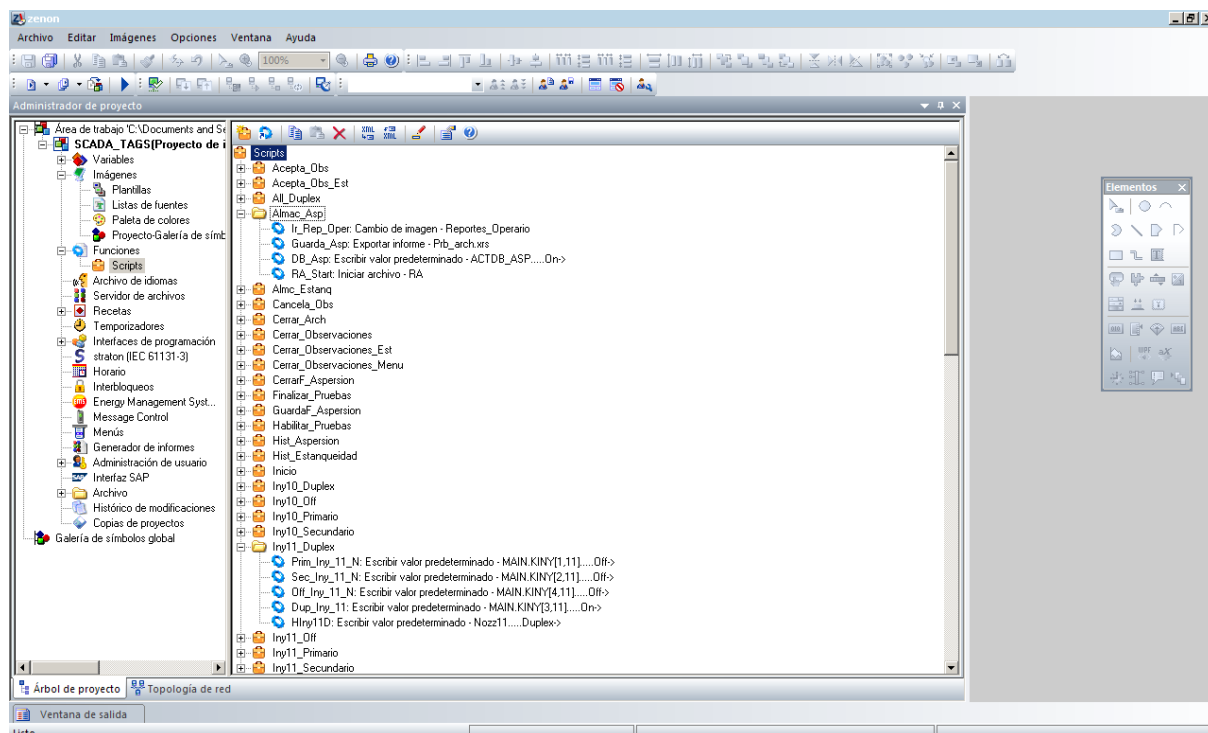


Figura 39. Software SCADA.

Para ejecutar el aplicativo creado como sistema SCADA se debe abrir el programa zenon Runtime. Este automáticamente carga el archivo creado en el editor y ejecuta la aplicación. Para mayor información en el manejo del sistema, diríjase a la sección de 2.1 Manual de Operario.

En la documentación adjunta se incluye el número de licencia del programa, el cual debe ser conservado cuidadosamente ya que es el que permite manejar el programa sin restricciones de licenciamiento.

CheckKon

Este software es utilizado para configurar la operación de la cámara. Se define la región de interés para trabajar de la imagen total tomada por el software, se utilizan algunos filtros y configuraciones de la saturación de color de la imagen y la idea de este software es dejar la imagen lista para ser procesada y realizar la evaluación que se requiere. Esto constituye la etapa de pre-procesamiento del sistema de visión artificial.

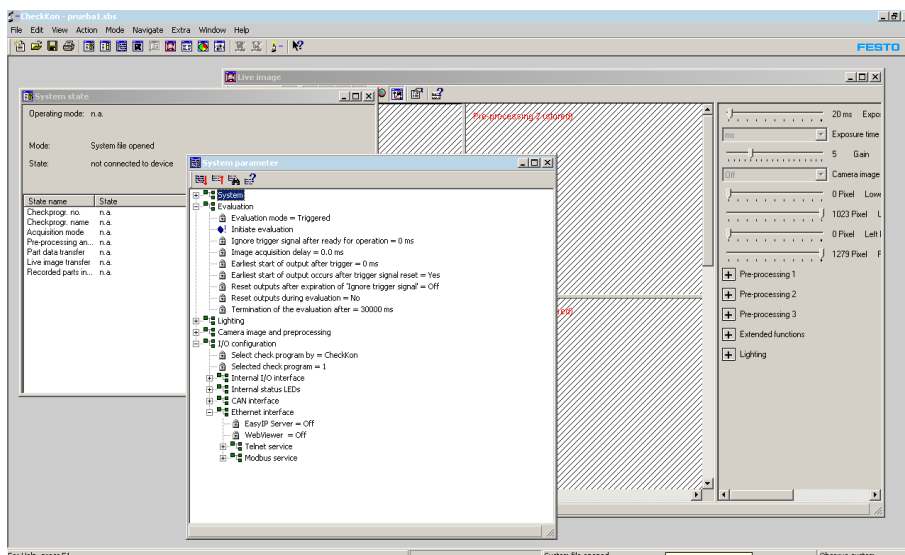


Figura 40. Software Chekkon para la cámara

CheckOpti

CheckOpti es la herramienta de software utilizada para configurar la prueba del sistema de visión artificial. Con la cámara ya configurada y el pre-procesamiento deseado configurado. Esta herramienta cuenta con muchas opciones de procesamiento de imagen configurables que se pueden interrelacionar con el objetivo de brindar una evaluación de calidad del sistema.

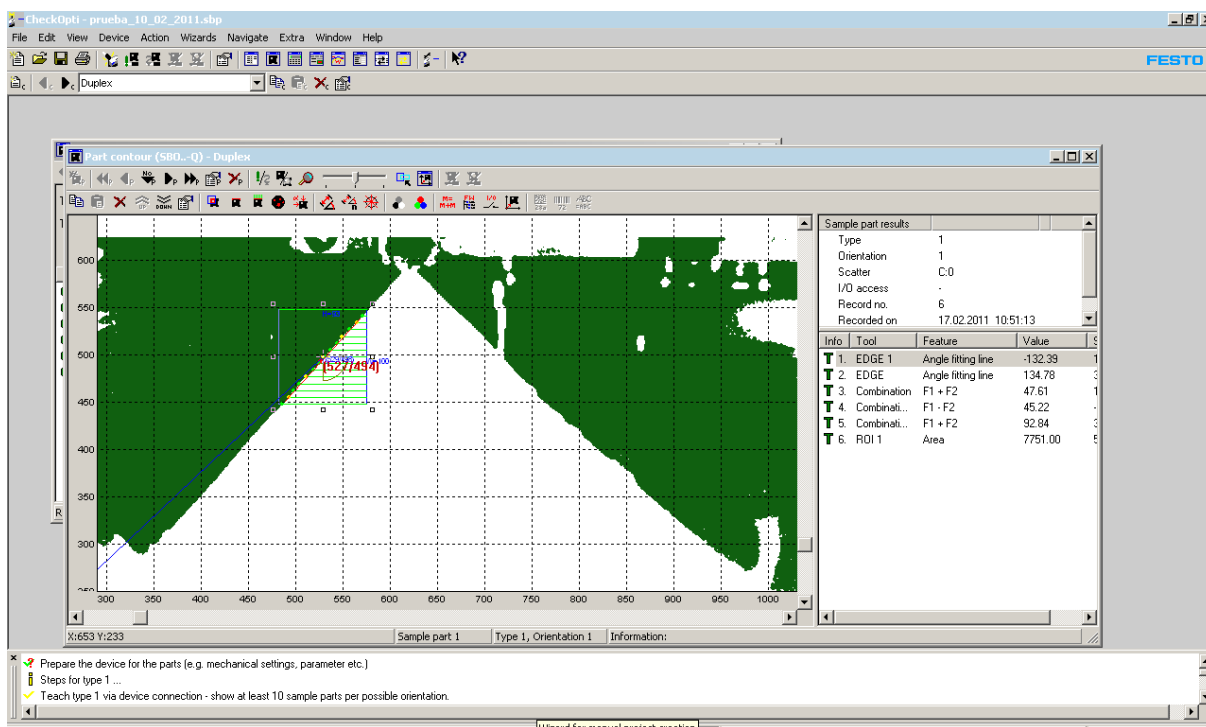


Figura 41. Software Chekopti para la cámara

En el caso específico de la aplicación desarrollada para este proyecto se utiliza la opción que encuentra los vértices del cono de aspersión y a partir de se obtiene una región de interés a la cual se le calcula el área. Cuando hay vértices en el cono de aspersión, se incrementa el área, al igual que cuando el ancho de la aspersión es más reducido de lo normal. Si el chorro de aspersión es más ancho de lo normal se disminuye el área que se está evaluando. En eso consiste la prueba, que para el usuario del sistema es totalmente transparente ya que este únicamente recibe el resultado de la evaluación de la prueba como Pasa o No Pasa.

Flujo de Información

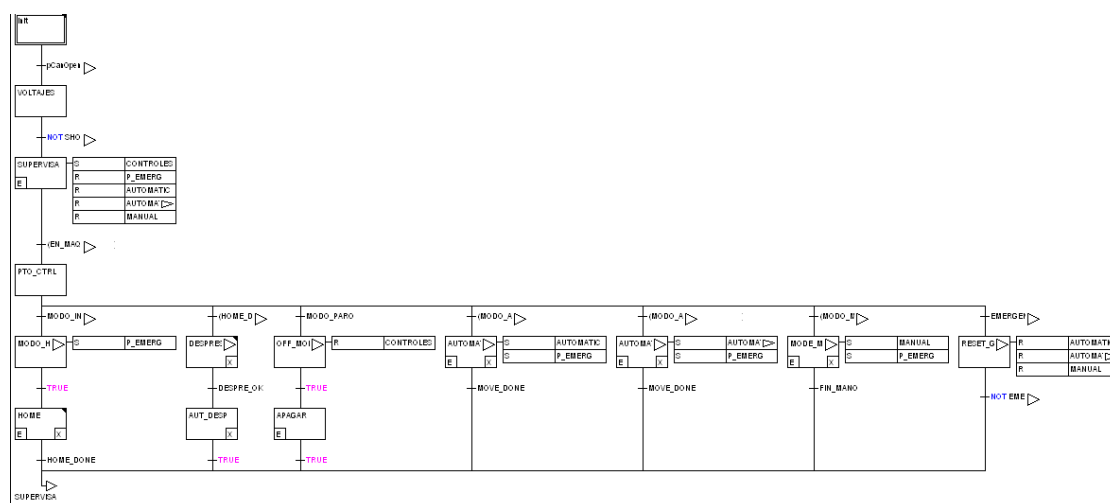


Figura 42. Programación

En la figura 42 se aprecia el flujo de información del sistema. El paso inicial llama INIT permite abrir la configuración del servomotor y configurar su modo de funcionamiento en la máquina. Este inicia el protocolo de comunicación CANOpen y hasta que este no es abierto no permite continuar con la ejecución de la rutina.

Luego se supervisan los voltajes de operación del PLC y de los dispositivos conectados a él. Para ello el PLC tiene activa la detección de pérdidas de voltaje y de cortocircuitos. Si se detecta alguna anomalía el software no permite continuar con la ejecución del programa.

Luego existe un modulo de Supervisión. Este controla el estado inicial de los programas. Activa los controles, y desactiva las rutinas que permiten el movimiento Manual o Automático de la máquina.

El punto de control de la máquina. Este punto de control garantiza que si un usuario no tiene los permisos suficientes para operar la máquina, configurada toda esta información

desde el sistema SCADA, no le permite continuar con la operación de la máquina hasta que no se habilite el sistema desde el SCADA.

Una vez habilitado el sistema, queda una acción permanentemente ejecutada que es el Paro de Emergencia con el objetivo que en el momento en el que este es oprimido el sistema inmediatamente aborta cualquier operación que se esté realizando y hace un reset de los sub programas o rutinas que conforma el resto del programa.

Los modos de operación principal del programa son:

Modo Home: Lleva la placa que porta los inyectores a la posición en la cual el operario puede montar o desmontar un set de inyectores de la máquina. En la posición de Home el sistema está listo para iniciar cualquier otro modo de operación.

Modo Despresurización: Es un modo de seguridad que se utiliza para despresurizar los tanques y llevar el combustible del tanque de reciclado al tanque de operación. Este funciona automáticamente cada vez que se realiza una prueba automáticamente.

Modo Paro: Cuando se apaga la máquina se deshabilitan todos los sistema y se lleva este a estado de espera cuando se reactive la operación de la máquina.

Modo Automático 1: En este modo automático se encuentra programada la rutina que ejecuta la prueba de aspersion. Una vez el usuario del sistema presiona en el HMI la opción para iniciar la prueba de aspersion, el sistema queda enganchado en este módulo hasta el momento en el que termina la prueba y vuelve al modo Home.

Modo Automático 2: En este modo automático se encuentra programada la rutina que ejecuta la prueba de estanqueidad. Una vez el usuario del sistema presiona en el HMI la opción para iniciar la prueba de estanqueidad, el sistema queda enganchado en este módulo hasta el momento en el que termina la prueba y vuelve al modo Home.

Modo Manual: Activa el Jogging del sistema y queda a la espera de que el usuario quiera realizar de forma visual una prueba de aspersion o termine el modo manual que dentro de la interfaz HMI permite visualizar algunos parámetros de funcionamiento de la máquina.

Cada vez que se ejecuta con éxito una acción –o modo- y este finaliza correctamente el sistema vuelve al modulo supervisor a la espera de ejecutar nuevamente alguna rutina. De esa forma se diseño y funciona el flujo de información del Sistema de Inspección para Inyectores Pratt & Whitney PT6.

Diseño Ergonómico

Para el diseño de la máquina se tuvo en cuenta algunas consideraciones que facilitan de forma sustancial el uso del equipo:

La altura de la máquina está diseñada para que el trabajo que deba ser realizado por un operario, este siempre máximo a la altura de sus ojos, de esa forma y teniendo en cuenta la fisionomía aproximada de los operarios finales del sistema se ubicaron sistemas como el de cambio del set de inyectores y la interface HMI.

Para el reabastecimiento de combustible dentro de la máquina se habilitó la puerta trasera. Esto con el fin de hacer un sistema de aprovisionamiento de combustible fácil, rápido y que evite al máximo esfuerzos sobre el operario del sistema.

Se adecuó una cajonera el espacio de intercambio del set de inyectores para que al momento de realizar el montaje el operario pueda contar con sus herramientas de forma cercana.

Al ser un sistema automático, el operario podría activarlo y abandonarlo mientras termina de realizar la prueba que se le encomiende.

La pantalla de computador utilizada en el sistema SCADA se puede mover sobre su eje de anclaje para facilitar el tránsito hacia el gabinete de control y hacia la parte posterior de la máquina.

La interfaz HMI y el software del sistema SCADA fueron diseñados de la forma más simple posible con el objetivo de facilitar el aprendizaje del sistema y la familiarización con el uso del mismo.

La programación del sistema tuvo como objetivo hacer el manejo del banco lo más transparente posible al operario de modo que este solo tenga que configurar algunos parámetros de funcionamiento y activar la prueba que desee realizar.

Instalación y pruebas del sistema

Las pruebas de funcionamiento del sistema automatizado para la inspección de Inyectores se realizaron en las instalaciones del Taller de Motores PT6 ubicado en el Comando Aéreo de Mantenimiento en el municipio de Madrid Cundinamarca. Para la prueba descrita a continuación se empleo un set de inyectores de un motor en mantenimiento.

El desarrollo de la prueba inicia con la habilitación por parte del administrador del sistema del equipo. En esta sesión se habilitó la máquina y se introdujeron los parámetros básicos de funcionamiento: Tiempo de llenado entre tanques 20 segundos, Presión de Inyección de combustible 4 bar.

Luego de esta habilitación, el operario entra con su sesión al sistema. Una vez ingresa al sistema este comienza la configuración de la prueba. Para este caso el operario configuro la prueba para 14 inyectores de tipo dúplex.

MODULO OPERARIO
Configuración de Pruebas - Configuración de Inyectores

	Tipo	Serial
Inyector 1	Duplex	Unknown
Inyector 2	Duplex	Unknown
Inyector 3	Duplex	Unknown
Inyector 4	Duplex	Unknown
Inyector 5	Duplex	Unknown
Inyector 6	Duplex	Unknown
Inyector 7	Duplex	Unknown
Inyector 8	Duplex	Unknown
Inyector 9	Duplex	Unknown
Inyector 10	Duplex	Unknown
Inyector 11	Duplex	Unknown
Inyector 12	Duplex	Unknown
Inyector 13	Duplex	Unknown
Inyector 14	Duplex	Unknown

Operario Actual: Admin2

Habilitar Pruebas Cancelar / Volver Menu Operario

REGISTA DE SUBOFICIALES TIG
C.E. ANDRÉS M. BIEL

Figura 43. Parametrización y registro de la prueba

Se ingresan los números de serial correspondientes a cada uno de los inyectores y se habilitan las pruebas. En este momento la interfaz HMI ya se encuentra activa y el operario se dirige a controlar la máquina desde esta.

El operario desde la interfaz HMI ingresa al modo automático. En este corrobora que la configuración de los inyectores haya sido la deseada –todos los inyectores configurados como Dúplex–, y se dirige a la selección de prueba. En esta el operario verifica que los parámetros de funcionamiento de la máquina sean correctos, sino los debe corregir.

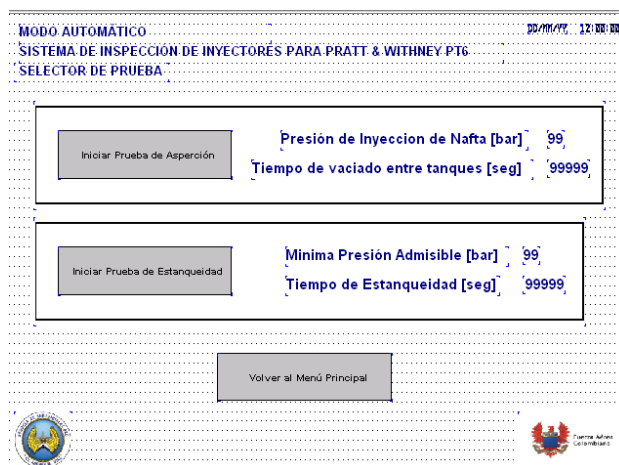


Figura 44. Selector de tipo de Prueba

En este momento el operario selecciona el inicio de la prueba de aspersión. El operario puede dentro del sistema SCADA habilitar la opción de visualizar donde puede ir viendo la imagen captada por el sistema de visión artificial tal y como se muestra en la figura. El resto del proceso es totalmente transparente a nivel del usuario.

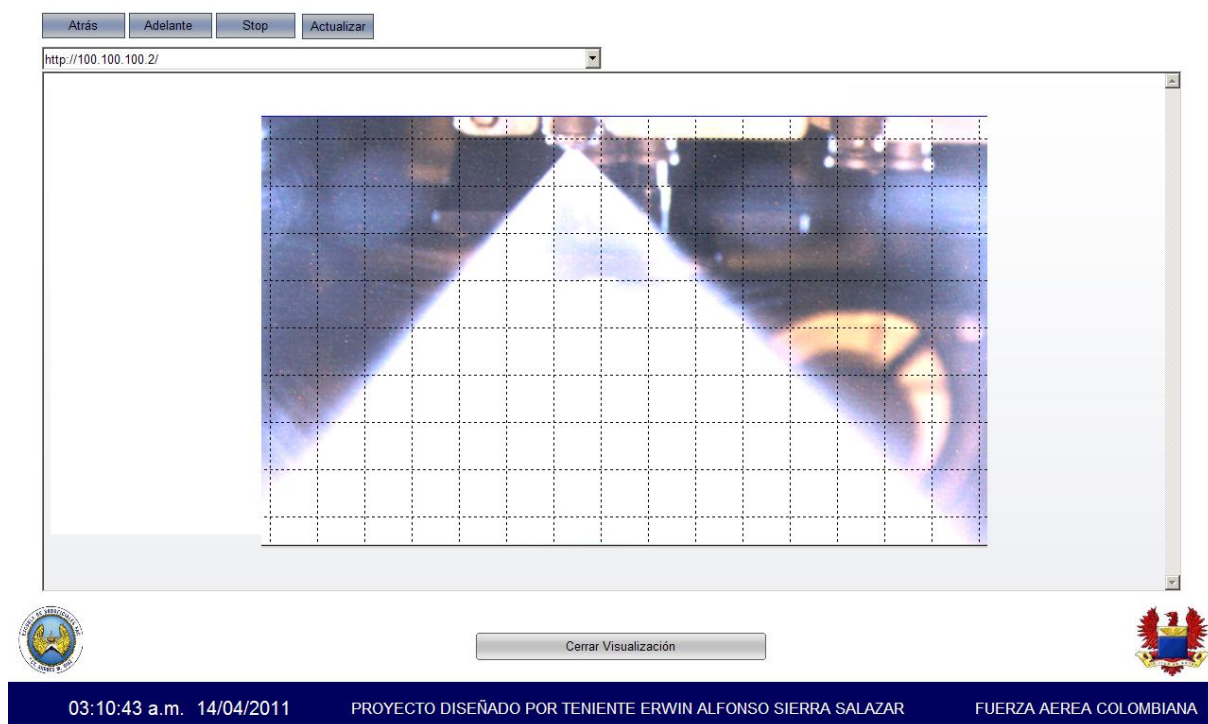


Figura 45 Visualización de la prueba en el SCADA

El sistema inicia en este momento la evaluación de las imágenes que se está adquiriendo. El operario como tal no tiene control sobre la decisión del sistema ya que esta se encuentra estandarizada como parte de la configuración de la máquina. Algunas de las imágenes adquiridas por el sistema de la prueba de inyectores, dentro del procesador de la cámara fueron las siguientes

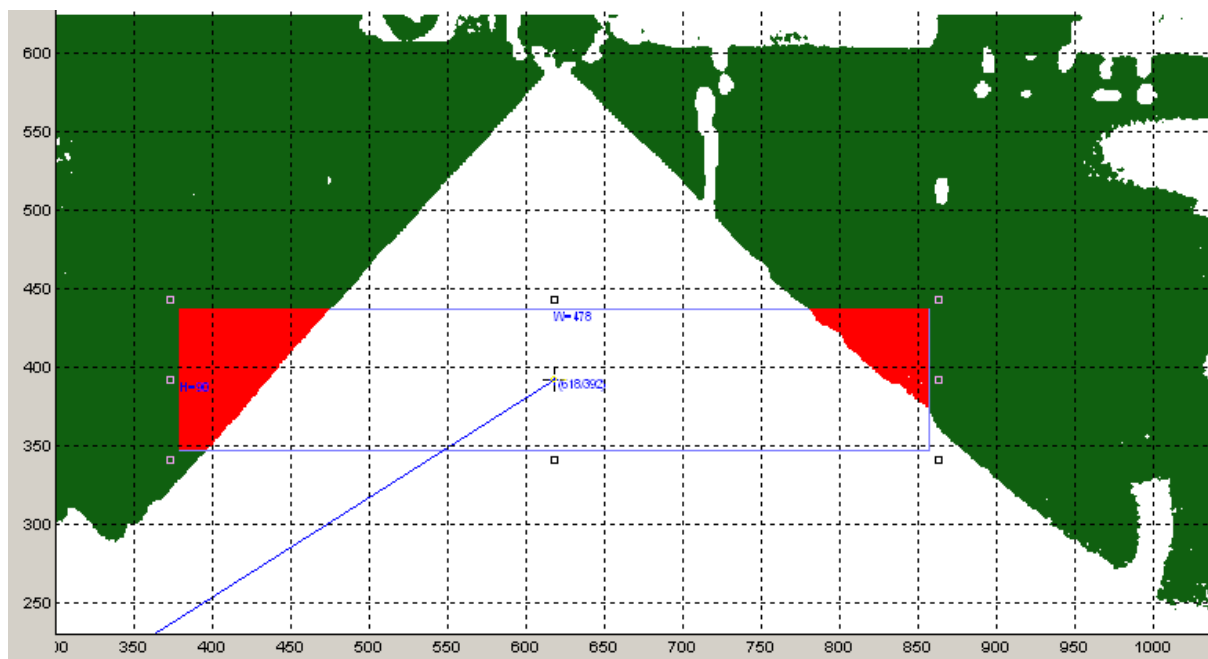


Figura 46. Inyector 1

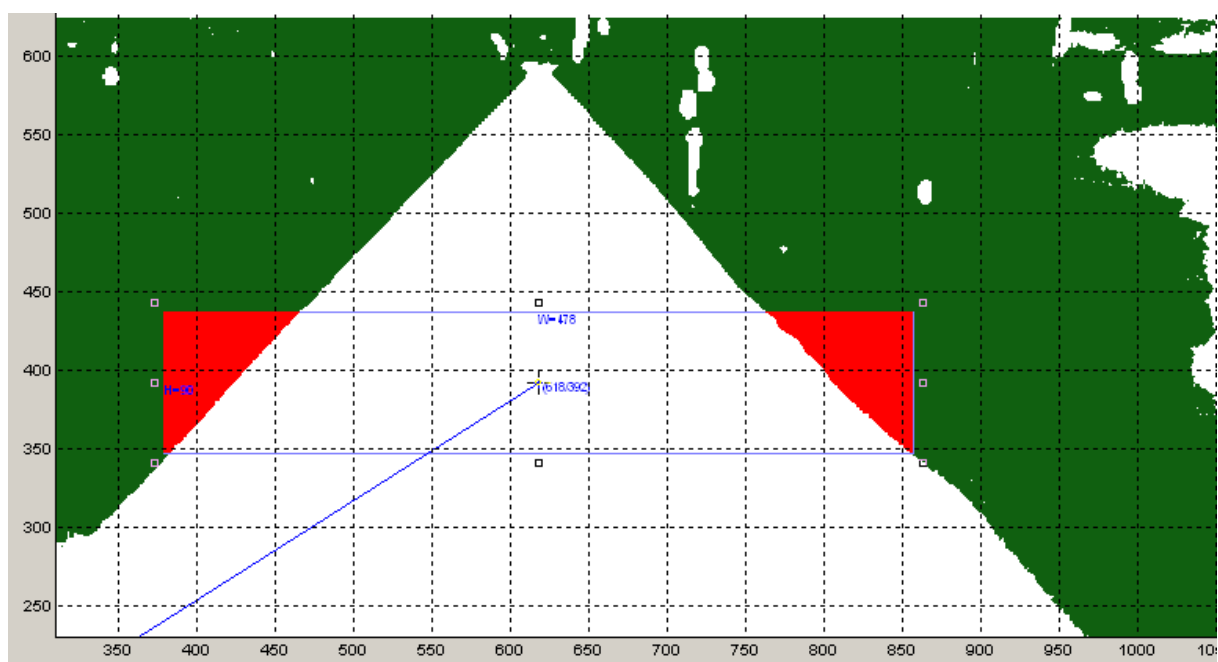


Figura 47. Inyector 13

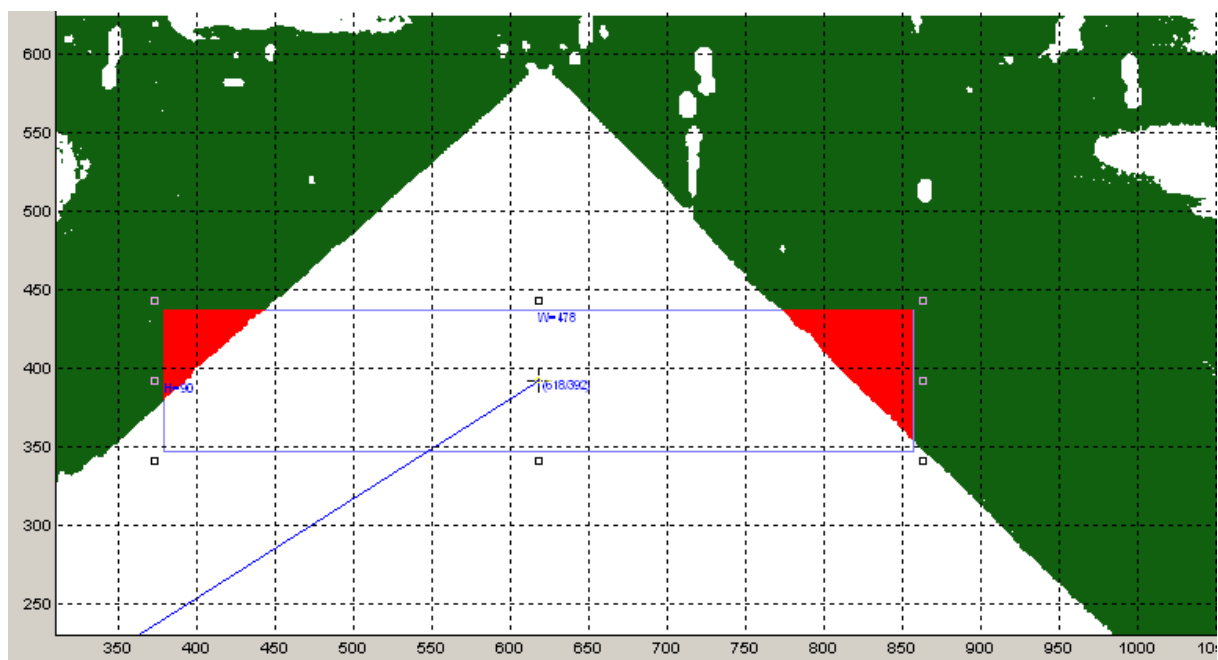


Figura 48. Inyector 8

El resultado de los tres inyectores presentados en las imágenes fue éxito en la prueba. El parámetro principal sobre el cual se fundamenta la decisión es el área de color rojo que se aprecia sobre el cono. Esta área puede tener un tamaño mínimo y máximo de un 25% más de lo que se aprecia en la imagen del inyector uno. Esta imagen fue utilizada como referencia – no como patrón ya que no se puede esperar nunca que dos inyectores produzcan exactamente la misma imagen- de la forma como opera la prueba, es decir, con esta imagen se realizaron algunas correcciones sobre la forma como se debe evaluar la prueba de aspersión. La característica principal de estas tres imágenes es que en las tres se puede distinguir perfectamente el cono de aspersión que se esperaba.

Este método de evaluación de imágenes se llama Región de Interés (ROI por sus iniciales en inglés –Region of Interest). Esta herramienta calcula el área las características de una imagen basada en el contorno de la misma. La coherencia entre los píxeles de no es analizada en el proceso, es decir, todos los píxeles de la región seleccionada son usados para calcular las características. Esta herramienta calcula coordenadas, ángulos, áreas, circunferencias.

De igual forma se obtuvieron imágenes de inyectores que fueron rechazados por el sistema:

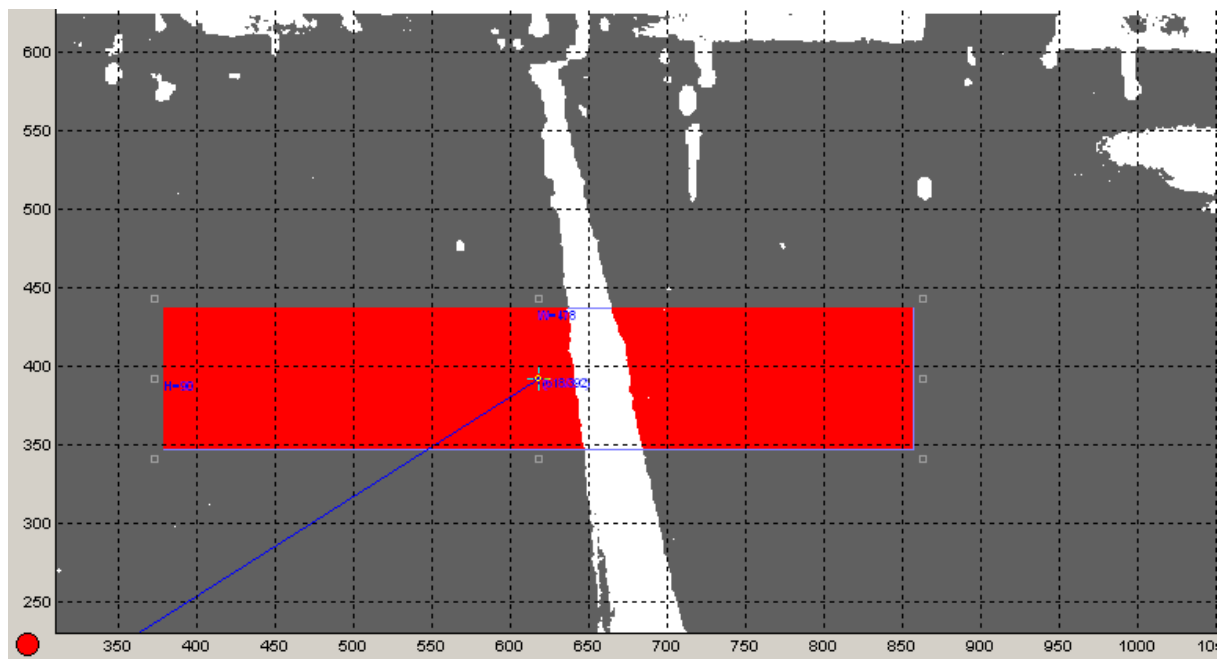


Figura 49. Inyector 4

La anterior es la imagen capturada por el sistema de un inyector con la boquilla en mal estado. Este no emite un cono como aspersión sino un chorro de líquido. En este caso el cálculo del sistema excede en más del 100% el área que permite como admisible, por lo tanto rechaza el inyector.

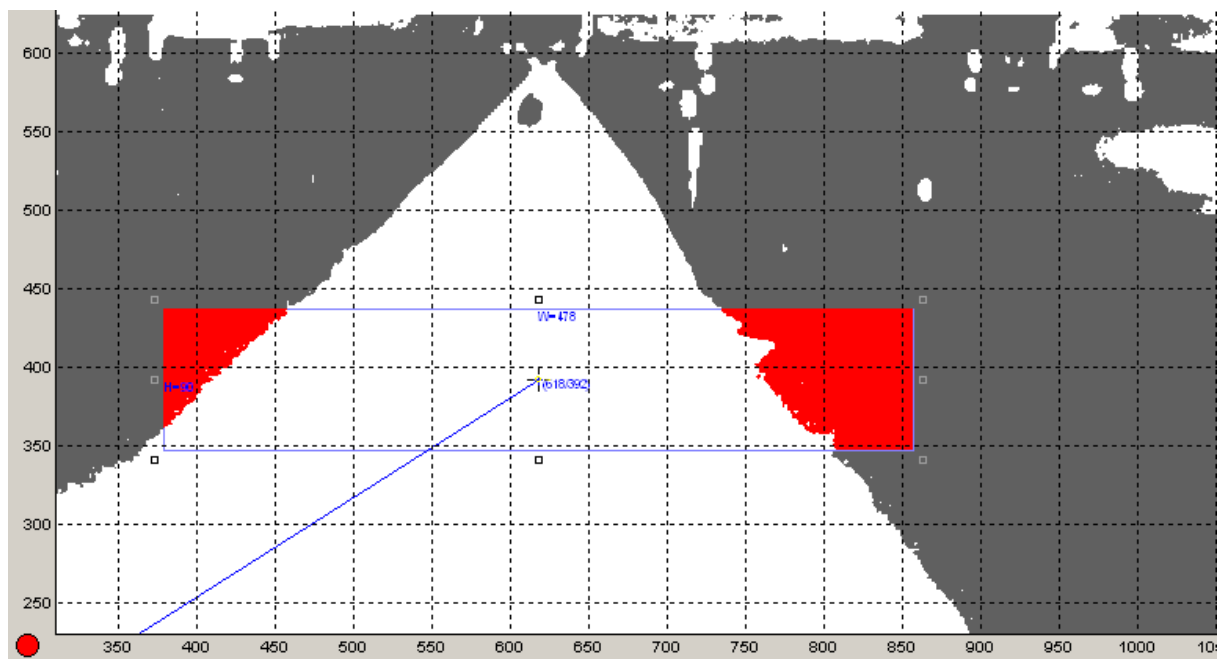


Figura 50. Inyector 10

En este caso se puede distinguir un cono de aspersión bien definido, sin embargo este cono se encuentra medianamente inclinado hacia la izquierda, lo cual afecta la región medida a este costado de la imagen además en la parte superior se pierde la homogeneidad de la medición debido al hueco que se encuentra en la figura. Por otra parte sobre la arista izquierda aparecen ciertos picos en la aspersión debido a la presencia de aristas en la aspersión que evitan obtener la homogeneidad total del sistema. Todos estos parámetros son utilizados por el sistema para calificar este inyector como malo.

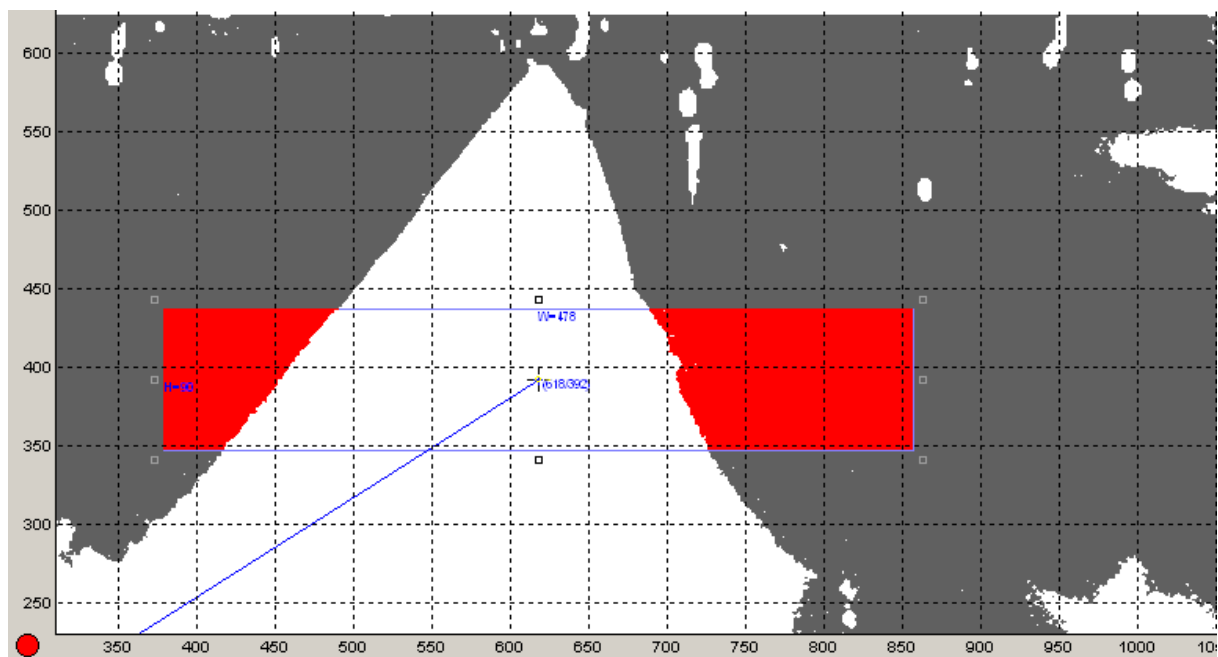


Figura 51. Inyector 12

En este caso se puede apreciar que el cono en su sector derecho se encuentra incompleto lo cual aumenta el área medida sobre este sector y hace que el sistema rechace el inyector.

Algo importante de acotar sobre la inspección es el porqué se utiliza la franja roja presentada en todas las anteriores imágenes. Luego de realizar bastantes pruebas con inyectores en buen y en mal estado, se concluyó que el sector más homogéneo en todas las imágenes tomadas era el comprendido por el área roja presentada. Por tal motivo los parámetros principales de cualificación del sistema se encuentran sobre dicha área y los resultados en gran medida dependen de lo que se puede apreciar sobre dicha región. Sin embargo existen algunas medidas auxiliares que ayudan a identificar diferentes aspectos que hacen considerar una imagen como inyector rechazado como son los ángulos medidos en las aristas del cono que se puede apreciar y operaciones con estos.

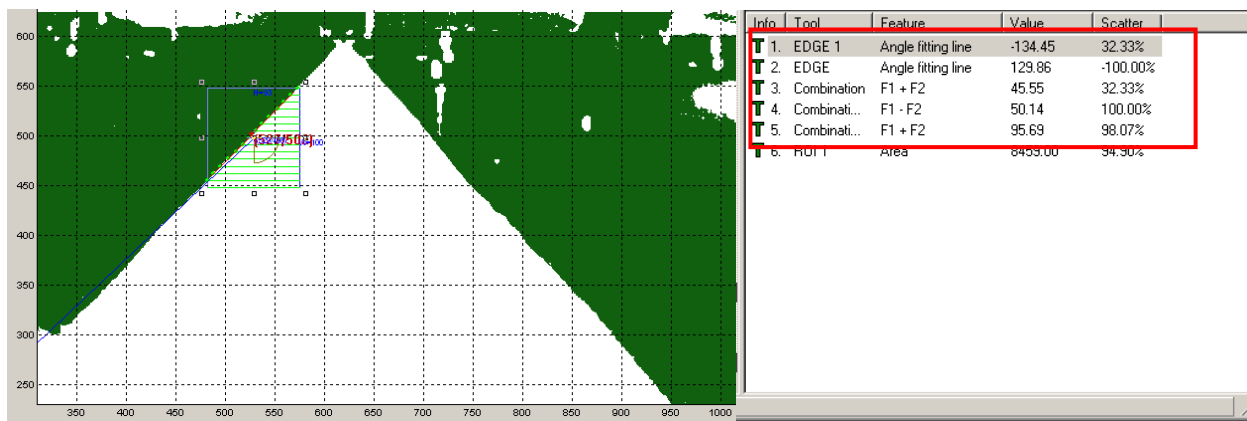


Figura 52. Parametrizacion del área

Ya con todos los inyectores probados el operario puede imprimir el reporte de la prueba. Este reporte es generado desde el sistema SCADA y presenta un resumen de los resultados mostrando quien realizó la prueba, a qué hora, qué día, presenta el seria de cada uno de los inyectores probados y el resultado que se obtuvo en la prueba. Además preservando el principio sobre sistemas informáticos de integridad referencial de los datos, cada prueba tiene un consecutivo de prueba que identifica los elementos probados y su respectivo resultado.



FUERZA AEREA COLOMBIANA
 COMANDO AEREO DE MANTENIMIENTO
 TALLER MOTORES PT6
 INFORME PRUEBA DE ASPERSION

FECHA 08/03/2011
 HORA 11:59:44
 USUARIO Operario Prueba App
 CONSECUTIVO DE PRUEBA 0

# INYECTOR	SERIAL	TIPO	RESULTADO (*)
1	Unknown	Duplex	0
2	Unknown	Duplex	0
3	Unknown	Duplex	0
4	Unknown	Duplex	0
5	Unknown	Duplex	0
6	Unknown	Duplex	0
7	Unknown	Duplex	0
8	Unknown	Duplex	0
9	Unknown	Duplex	0
10	Unknown	Duplex	0
11	Unknown	Duplex	0
12	Unknown	Duplex	0
13	Unknown	Duplex	0
14	Unknown	Duplex	0

* Resultado de la inspección: 0-> Fallo Prueba 1->Pasa Prueba

Figura 53. Formato Ejemplo de Resultado de Pruebas Impreso en PDF en un computador

De igual forma cada vez que se realiza una prueba el sistema automáticamente almacena en la base de datos del mismo el resultado de la prueba. Por otra parte como respaldo de la información, cada vez que el operario decida imprimir un reporte de una prueba se guarda copia en forma XML –extended meta-language-. Este forma XML requiere de un intérprete para poder ser consultado. No se puede consultar desde Internet Explorer porque no tiene forma XML de internet. Puede ser consultado por un software con capacidad para leer XML formateado como tabla de datos. Estos archivos son almacenados en la carpeta de Windows destinada para una sesión multiusuario –X:\Documents and Settings\All Users\zenon Projects\-.

REFERENCIAS

- Baldwin, C., & Clark, K., (1997). Managing in an age of modularity. Harvard Business Review, Vol. 75 Núm. 5, pp.93- 84.
- Berge, J. (2005). Software for automation: architecture, integration and security. United States of America. ISA The Instrumentation, Systems and Automation Society
- Brassler, A., & Schneider, H., (2001). Valuation of strategic production decisions. International Journal of Production Economics, Vol. 69, Núm. 1, pp. 119-127.
- Cohen, W., & Levinthal, D., (1994), Fortune favors the prepared firm. Management Science, Vol. 40, Núm. 2, pp. 51-227.
- Constitución Política de Colombia (1991)
- Correa, S. (1998). Power generation and aeropropulsion turbines: de combustion science to combustion technology. Proc. Combust. Inst. 27: 1793-807.
- Dahle´, N., & Bolmsjo. (1998). case study in a Swedish engineering firm- Workload Productivity Automation of repetitive monotonous. International Journal of Human Factors in Manufacturing, Vol 25.
- Doll, W., & Vonderembse, M., (1991). The evolution of manufacturing systems: towards the post-industrial enterprise. OMEGA, Vol. 19 Núm. 5, pp. 11-401.
- Droge, C., Jayaram, J., & Vickery, S. (2004). The effects of internal versus external integration practices on time-based performance and overall firm performance. Journal of Operations Management, Vol. 22 Núm. 6, pp. 73-557.
- Duan, F., Wang, Y., Liu, W., & Tan, W. (2004), Empty bottle inspector based on machine vision. IEEE Proceedings of 2004 International Conference on Machine Learning and Cybernetics. Shanghai, 26-29 August 2004.
- Duimering, P., Safayeni, F., & Purdy, L. (1993). Integrated manufacturing: redesign the organization before implementing flexible technology. Sloan Management Review, Vol. 34 Núm. 4, pp. 47-56.
- Fuerza Aérea Colombiana [FAC] (2009) Informe Estratégico Institucional.
- Fuerza Aérea Colombiana [FAC] (2009). Partes de aeronaves
- Fuerza Aérea Colombiana [FAC] (2009) Organigrama institucional
- Heywood, J. (1998). Combustion engine fundamentals. New York: McGraw-Hill.
- Hindle, F., Carey, S., Ozanyan, K., Winterbone, D., & Mcann, H (2001) Measurement of gaseous hydrocarbon distribution by near infra-red absorption tomography system. J. Electronic Imaging 10:593-600.

- IEA Council (2000). The discipline of ergonomics, International Ergonomics Society p. 1, disponible en: www.iea.cc/browse.php?contID=what_is_ergonomics.
- Kinsella, J. (1998). Open automation: a perspective on connection. Manufacturing Engineering, Vol. 121 Núm. 1, pp. 6-94.
- Kyritsis, D., Felton, P., & Bracco, F., (1999). On the feasibility of quantitative, single shot, spontaneous Raman imaging in an optically accessible engine cylinder. SAE Artículo Técnico 1999-01-3537.
- Lau Antonio, K., Yam, R., & Tang, E. (2007). The impacts of product modularity on competitive capabilities and performance: an empirical study. International Journal of Production Economics, Vol. 105 Núm. 1, pp. 1-20.
- Liao, K., Tu, Q., & Marsillac E., (2010). The role of modularity and integration in enhancing manufacturing performance. An absorptive capacity perspective. Journal of Manufacturing Technology Management, Vol 21, Núm. 7, pp. 818-838.
- Lewis, R. (1998). Programming industrial control systems IEC 1131-3, London, United Kingdom. Control Engineering series 50. IEE.
- McCann, H., & Scott, D. (2005). Process imaging for automatic control, Wilmington, Delaware, U.S.A., Taylor & Francis Group.
- Malhotra, A., Gosain, S. & El Sawy, O., (2005). Absorptive capacity configurations in supply
- Neumann, W., & Dul, J., (2010). Human factors: spanning the gap between OM and HRM International Journal of Operations & Production Management, Vol 30, Núm. 9, pp. 951-977.
- Neumann, W., Kihlberg, S., Medbo, P., Mathiassen, S., & Winkel, J. (2002). A case study evaluating the ergonomic and productivity impacts of partial automation strategies in the electronics industry. International Journal of Production Research, Vol. 40. Num. 16, pp. 4059-75.
- Pratt & Whitney, (2008). *Illustrated parts catalog PT- 6. Manual P/N 3036132*.
- Pratt & Whitney Canada (2008). Maintenance manual PT-6. Manual P/N 3017044.
- Pratt & Whitney Canada (2008). Overhaul manual PT-6. Manual P/N 3032142
- chains: gearing for partner-enabled market knowledge creation. MIS Quarterly, Vol. 29, Núm. 1, pp. 87-145.
- Rondeau, P., Vonderembse, M., & Ragu-Nathan, T., (2000). Exploring work system practices for time-based manufacturers: their impact on competitive capabilities. Journal of Operations Management, Vol. 18 No. 5, pp. 29-509.

- Sanchez, R. (2000). Modular architectures, knowledge assets and organizational learning: new management processes for product creation. International Journal of Technology Management, Vol. 19 Núm. 6, pp. 610-29.
- Standard IEC 61131.
- Swink, M., & Nair, A., (2007). Capturing the competitive advantage of AMT: design manufacturing integration as a complementary asset. Journal of Operations Management, Vol. 25 Núm. 3, pp. 700-36.
- Stojkovic, B., Fansler, T., Sick, V., (2004). High speed imaging of OH and soot temperature and concentration in a stratified charge direct injection gasoline engine. Proc. Combust. Inst 30: 2657-2665.
- Warnatz, J., Maas, U., & Dibble, R. (1999). Combustion. Berlín: Springer – Verlag.
- Warren, N., Moore, K., & Cardona, P. (2002). Modularity, strategic flexibility and firm performance: a study of the home appliance industry. Strategic Management Journal, Vol. 23 Núm. 12, pp. 1123-41.
- Wang, L. (2006) Modern Industrial automation software design: principles and real world applications. Piscataway: IEEE Press (629. 89 W 15)
- Winklhofer, E., Plimon, A., (1991). Monitoring of hydrocarbon fuel/air mixtures by means of light extinction technique in optically accessed research engines. Optical engineering 30:1262-68.
- Zammuto, R., & O'Connor, E., (1992). Gaining advanced manufacturing technologies benefits: the role of organizational design and culture. Academy of Management Review, Vol. 17 Núm. 4, pp. 28-701.

ANEXO A. DOCUMENTACIÓN Y SOPORTE DEL SISTEMA

Manual de operación

Sistema de inspección para inyectores tipo pratt & whitney pt6 Fuerza aérea colombiana



Figura 1. Sistema de inspección para inyectores Pratt & Whitney PT6

Descripción de la máquina

Existen una gran variedad de procesos realizados en la industria que son susceptibles de ser mejorados con el uso de tecnologías de última generación. Muchas de estas tecnologías son capaces de simular la tareas que comúnmente ha desarrollado el hombre mejorando el rendimiento y resultados en el desarrollo de las mismas.

El Sistema de Inspección de Inyectores para Pratt & Whitney PT6 es un sistema diseñado con el fin de facilitar la labor de prueba y estandarizar la forma como es evaluado el funcionamiento de los inyectores para turbinas Pratt & Withney PT6 en dos pruebas: la prueba de aspersion y la prueba de estanqueidad.

El Sistema de Inspección de Inyectores para Pratt & Whitney PT6 es una máquina que integra de forma sinérgica sistemas de actuadores neumáticos y eléctricos controlados por medio de un PLC, que son gobernados por medio de una interfaz hombre máquina HMI y un sistema SCADA.

En la prueba de aspersion se hace pasar combustible a través del inyector y por medio de la boquilla del mismo se pulveriza, generando un cono en la boquilla. El resultado de la prueba depende de la homogeneidad del cono de aspersion, es decir el número de aristas que se ven al momento de realizar la aspersion debe ser el menor posible –se habla de un 25% en cantidad de aristas conformando la superficie del cono como el máximo permitido-. La decisión en esta prueba, en la forma tradicional de realizarla, depende de la pericia del operario. En el Sistema de Inspección de Inyectores para Pratt & Whitney PT6 el resultado de esta prueba es suministrado por una cámara de inspección, la cual por medio de su controlador interno, tiene la capacidad de suministrar un resultado de forma más certera basado en cálculos matemáticos sobre la imagen tomada, lo cual homogeniza el parámetro de decisión sobre la prueba.

Por otra parte, en la prueba de estanqueidad se hace pasar nitrógeno gaseoso a través de los inyectores y se cierran todos los orificios del inyector, con el fin de probar si existen fugas a través de las paredes del inyector –existe un nivel aceptable de fuga sobre la prueba que se realiza con una presión nominal de 500 psi-. En el Sistema de Inspección de Inyectores para Pratt & Whitney PT6 el resultado de la prueba es calculado utilizando un presóstato, con el cual se garantiza que la presión a la que se realiza la prueba sea efectivamente de 500 psi y a través del cual una vez sellado el sistema de conducción del gas se mide la presión que permanece en el sistema durante un tiempo determinado.

La máquina es controlada desde un sistema de supervisión, control y adquisición de datos, SCADA, que gobierna la utilización del sistema y los parámetros de uso de la máquina. El operario controla la operatividad de la máquina por medio de un sistema HMI que sirve como interfaz de operación del usuario final. Los datos recogidos en una prueba por medio

del sistema SCADA, permiten al operario imprimir reportes con el resultado de las pruebas, y el sistema los almacena en la memoria del computador en formato XML.

Por último una de las grandes ventajas que presenta este nuevo sistema de prueba de inyectores, consiste en la posibilidad que tiene el operario de probar los 14 inyectores que posee el set de una turbina de una sola vez, evitando paros en el proceso de prueba de los inyectores para el montaje individual tal y como se realiza hasta el momento.

Modo de funcionamiento

Paro de Emergencia y Mecanismos de Seguridad

El paro de emergencia es un sistema de seguridad que lleva el proceso a un estado seguro, cierra las válvulas de corte para aislar equipos y líneas cuando las condiciones del proceso se salen de los rangos de operación normales y exponen al personal y equipo a condiciones de operación inseguras.

Cuando se pueda evidenciar algún incidente que obligue al operario detener la maquina inmediatamente e inhabilitar todas las fuentes de energía, se usa el paro de emergencia.

Para detener la maquina inmediatamente se oprime el pulsador en forma de hongo de la maquina que se encuentra sobre la interfaz HMI, esto corta todas las fuentes de energía (eléctrica y neumática) y permite llevar la maquina a condiciones seguras. El paro de emergencia inhabilita la máquina para ejecutar cualquier acción mientras no se desenclave halando el pulsador.



Figura 2. Pulsador en forma de hongo; Paro de emergencia

Durante la operación de la máquina cuando el paro de emergencia está activo, en la interfaz HMI se activa un botón que hace que el operario se entere si el paro de emergencia se

encuentra enclavado, para que este proceda a retirar el paro de emergencia o corregir la falla por la cual este fue enclavado.

Las rutinas a través de las cuales se ejecutan las pruebas de la máquina garantizan que en condiciones normales de funcionamiento de los equipos, estos son activados cuando se cumplen los valores normales de funcionamiento de acuerdo a lo establecido en el sistema SCADA.

La programación de las posiciones de trabajo del servomotor está almacenada en el servo y de ninguna manera con la operación normal de trabajo de la máquina, pueden ser modificadas.

El computador desde donde se ejecuta el sistema SCADA, tiene instalado todo el software necesario para la configuración de los diferentes equipos utilizados (servomotor, PLC, interfaz HMI, cámara de inspección, SCADA). A no ser que se tenga un conocimiento sobre la forma como se utiliza el dicho software, absténgase de ejecutar dichas aplicaciones y/o de modificar los programas ya existentes. Cualquier cambio podría causar la inoperatividad de la máquina. En caso de requerir cambios comuníquese con Festo.

¿Cómo prender la máquina?

La secuencia normal de funcionamiento de la máquina es la siguiente:

- a) Asegúrese de que la máquina se encuentre conectada al suministro de energía eléctrica (se requiere una conexión de 220 VAC en dos fases para el gabinete de control y de 110 VAC para el computador.) y también que se encuentra conectada a la red de aire comprimido.



Figura 3. Unidad de mantenimiento

- b) Encienda el breaker que se encuentra en la parte interna del gabinete de control de la máquina (Ver figura 4), con lo cual energizará el PLC, la interfaz HMI, el controlador del servomotor, la iluminación y el aspersionador de la máquina.

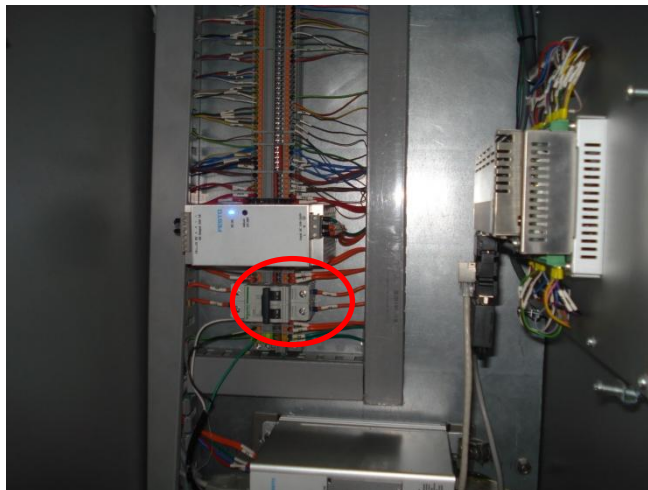


Figura 4. Encendido.

- c) Una vez el PLC y la interfaz HMI se han encendido encienda el computador y espere a que cargue el sistema operativo Windows XP. Una vez haya iniciado la sesión ingrese a la aplicación zenon Runtime 6.51
- d) En este punto el sistema ya está habilitado y listo para usarse. Diríjase al administrador del equipo para que habilite la máquina.

Sistema SCADA

Es la parte del sistema encargada de permitir la supervisión y el control así como de la adquisición de los datos suministrados por el sistema en el momento de ser activada la máquina. Este sistema es un software que corre sobre el computador del sistema.

Esta aplicación fue desarrollada utilizando el software zenon 6.51. Este permite la gestión y desarrollo de sistemas SCADA y en el Runtime de esta corre el aplicativo especialmente diseñado y desarrollado para esta aplicación.

Perfiles de Usuario:

a) Administrador

El administrador del sistema, es el usuario que tiene los privilegios necesarios para realizar cambios sobre el funcionamiento general de la máquina, generar nuevos usuarios y para consultar los datos adquiridos y almacenados por el sistema, además de poder utilizar la máquina en caso de requerir realizar por cuenta propia una inspección en el sistema. El administrador debe siempre haber habilitado la máquina para permitir que el resto de usuarios utilicen el sistema para realizar una inspección.

b) Operario

El operario del sistema, es el usuario que tiene los privilegios necesarios para poder utilizar la máquina, ejecutar pruebas e imprimir los respectivos informes. Siempre que el operario realice una inspección estará autenticado, es decir se sabe que usuario ejecuta cada una de las actividades y estas serán almacenadas en el sistema. Para que un operario (o administrador que desee utilizar el sistema) tenga posibilidad de utilizar la máquina este debe primero solicitar al administrador la activación de la máquina.

Uso del Sistema SCADA

Al abrir el sistema SCADA el usuario se encontrará la siguiente pantalla:



Figura 5. Inicio SCADA

En esta pantalla un usuario registrado del sistema puede ingresar. Al ingresar se presentará una nueva pantalla (ver figura 6):

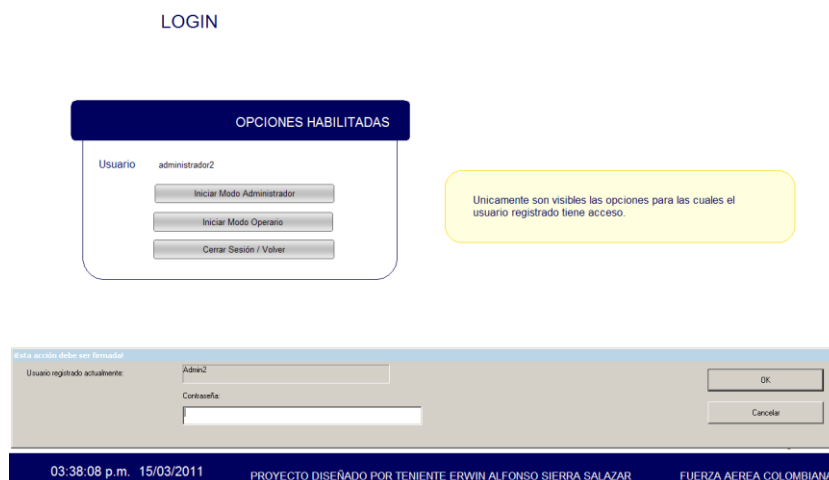


Figura 6. Control acceso SCADA.

Esta pantalla tendrá activas las funciones que cada operario tenga habilitadas según su perfil de usuario. Cuando decida ingresar en alguna de las opciones requerirá nuevamente que el usuario se identifique ingresando la contraseña.

Sesión como administrador

Una vez un usuario con derechos de administrador inicie sesión, aparecerá el siguiente menú:

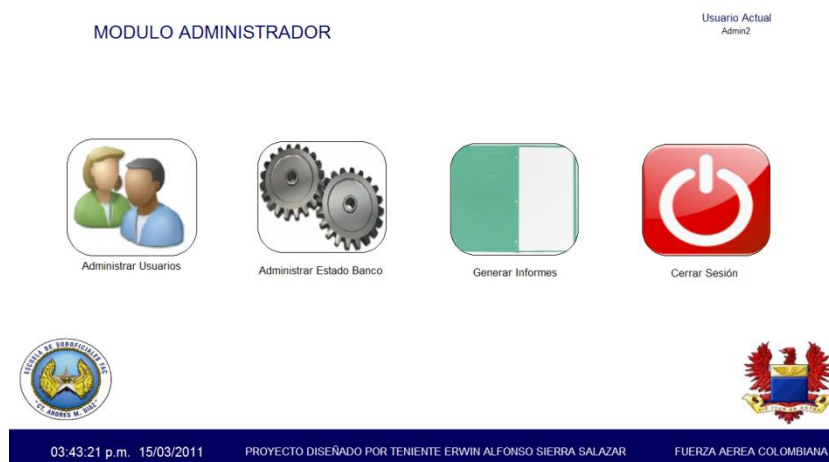


Figura 7. Modulo administrador SCADA

El administrador del sistema cuenta con cuatro opciones:

Administrar Usuarios: Esta opción le permite crear o inhabilitar usuario del sistema, además de conceder los derechos de uso del sistema para cada usuario.

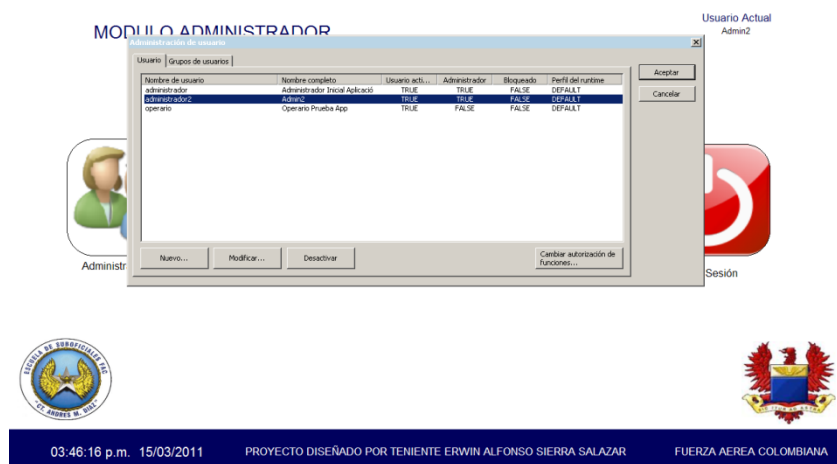


Figura 8. Modulo administrador SCADA

Para crear un nuevo usuario el administrador deberá hacer clic sobre el botón nuevo donde aparecerá la siguiente ventana:

The screenshot shows a dialog box titled 'Crear usuario nuevo' with tabs for 'Usuario', 'Cambiar contraseña', 'Niveles de autorización', and 'Grupos de usuarios'. The 'Usuario' tab is active, showing the following fields and options:

- Nombre de usuario: [Text input field]
- Nombre completo: [Text input field]
- Administrador
- Activado
- Bloqueado
- Opciones:
 - Perfil de runtime que se carga tras registrarse: [Dropdown menu with 'Ninguno' selected]

Buttons for 'Aceptar' and 'Cancelar' are located on the right side of the dialog.

Figura 9. Modulo administrador SCADA

En la pestaña usuario debe ingresar el alias que va a usar durante el Login, así como el usuario y el nombre completo del mismo. En caso de ser administrador se debe seleccionar el check-box junto a la palabra Administrador. Luego en la pestaña cambiar contraseña pedirá se deberá ingresar una clave provisional mínimo de 6 caracteres (números y/o letras). En niveles de Autorización se deben seleccionar para cada usuario los permisos que como usuario ha de tener, es decir, si va a tener privilegios de administrador, si va a tener privilegios solo de operario, o ambos. Solo un administrador que tiene autorización como operario, puede crear nuevos operarios.

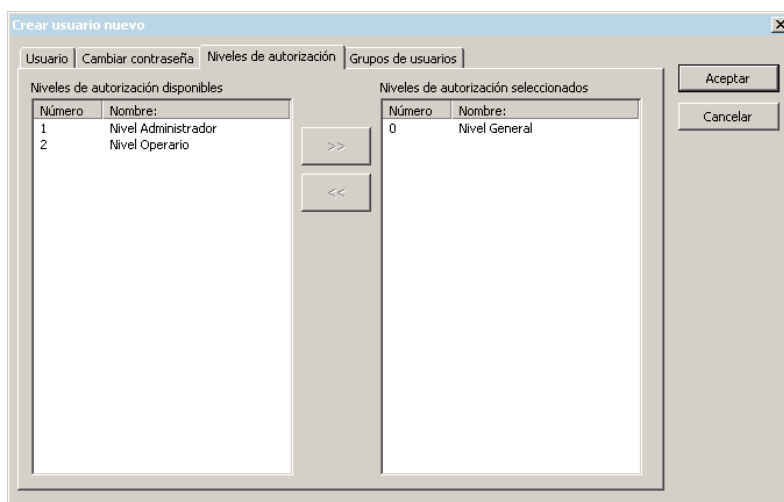


Figura 10. Modulo administrador SCADA

Con el botón modificar, el administrador puede cambiar el Login de un usuario, modificar su nombre o asignar una clave en caso de un usuario cualquiera haberla olvidado.

En un sistema SCADA para proteger la integridad referencial de los datos, es decir el origen o la razón por la que existen los datos, no se permite eliminar usuarios. En lugar de ellos existe la opción de desactivar un usuario –haciendo clic en el botón desactivar-, acción que permite que un usuario seleccionado no pueda ingresar al sistema.

Administrar Estado Banco: Esta opción permite al administrador del banco activar la máquina y establecer los parámetros normales de funcionamiento del sistema al momento de realizar las pruebas.

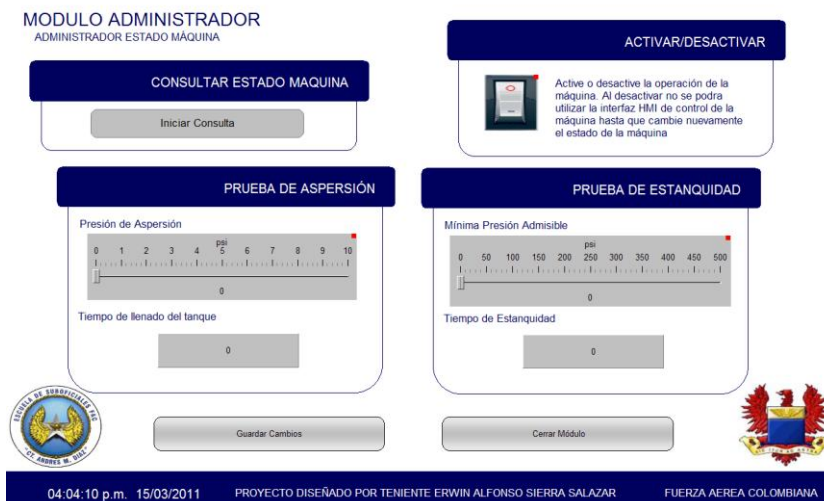


Figura 11. Modulo administrador SCADA

Al hacer clic en el botón Iniciar Consulta, se puede ver el diagrama de funcionamiento general del sistema. Este tiene la utilidad de ver el estado actual de los elementos del sistema –activos (verde) o inactivos (rojo)-, y el valor expresado en unidades de corriente de los elementos que envían un valor al sistema (Válvula Proporcional y Presóstato).

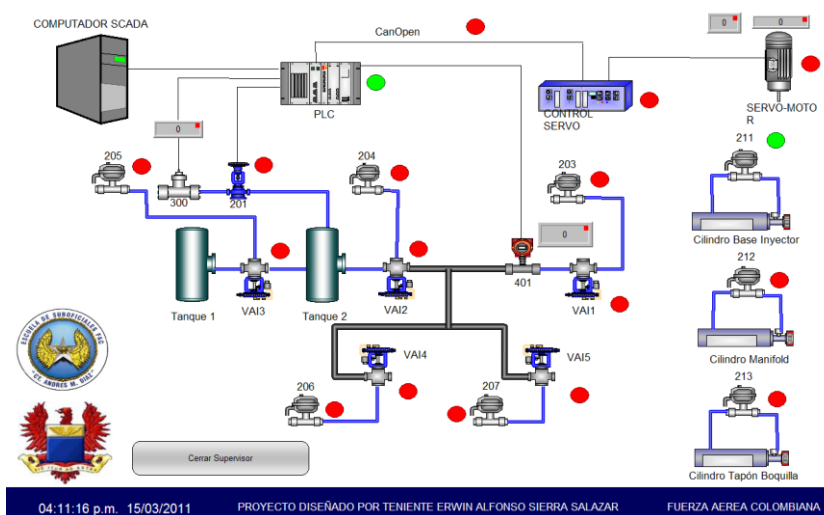


Figura 12. Mímicos del proceso SCADA

Un punto rojo sobre los elementos indica que existe falla de comunicación entre el PLC y el sistema SCADA, lo cual hace necesario reiniciar el sistema SCADA para poder obtener nuevamente comunicación con el PLC.

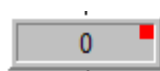


Figura 13. Ejemplo de indicio de falla de comunicación entre el PLC y el sistema SCADA

Haciendo clic en el botón Cerrar Módulo, se regresa al menú de Administrador.

Generar Informes: El modulo de generación de informes le permite al administrador consultar los diferentes datos almacenados por el sistema en una fecha específica, entre dos fechas en periodos absolutos y relativos de tiempo.

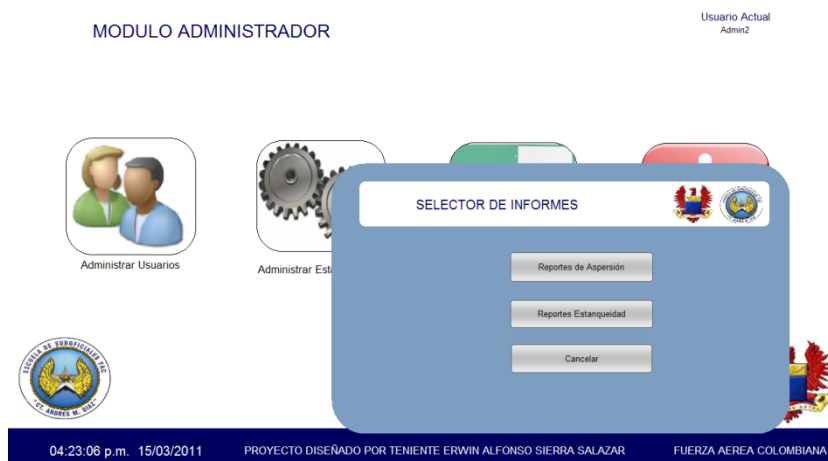


Figura 14. Informes y reportes SCADA

Al hacer clic en botón del menú de administrador, aparece la ventana del selector de informes. Si se quiere consultar un histórico de Reportes de Prueba de Aspersión o de Estanqueidad se hace clic en el respectivo botón aparecerá una nueva ventana en la que se selecciona la fecha o el rango de fechas en los que se desea realizar la consulta.

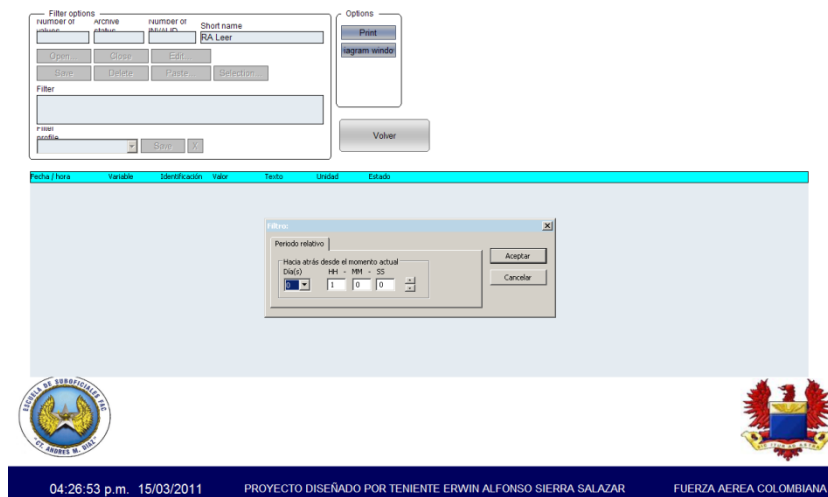


Figura 15. Informes y reportes SCADA

En esta página los datos obtenidos se pueden imprimir guardar y seleccionar. Para regresar al menú de usuario haga clic en volver.

Cerrar Sesión: Cierra la sesión del administrador y vuelve al pantallazo de registro de usuarios.

Sesión como operario



Figura 16. Modulo operario SCADA

El menú operario presenta tres opciones:

- a) **Configurar Cuenta:** En esta opción cada operario podrá observar cuanto tiene para cambiar su contraseña (cada operario esta activo por un año desde que active su cuenta y debe al finalizar dicho año cambiar su contraseña) y tiene la opción para que este cambie su contraseña.

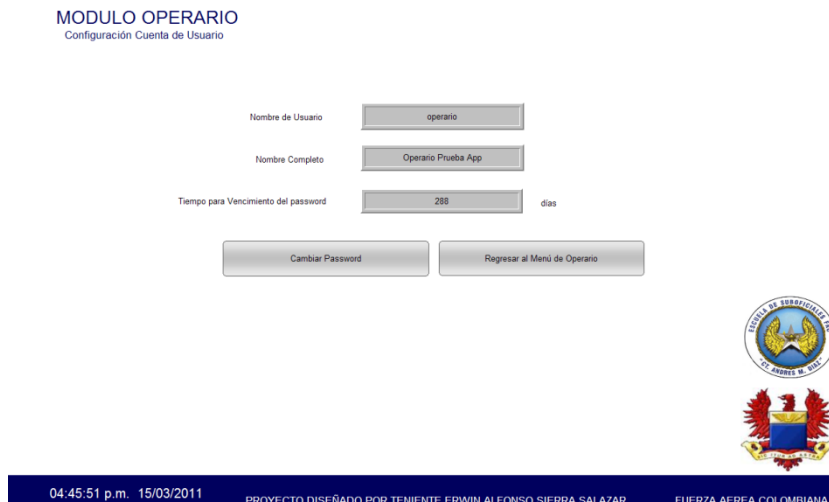


Figura 17. Modulo operario SCADA

Configurar Inspección: Es el modo en el cual el operario puede iniciar la ejecución del máquina. Dado el caso que el administrador del sistema no haya habilitado la máquina saldrá un aviso sobre el botón notificando que la máquina se encuentra inactiva.

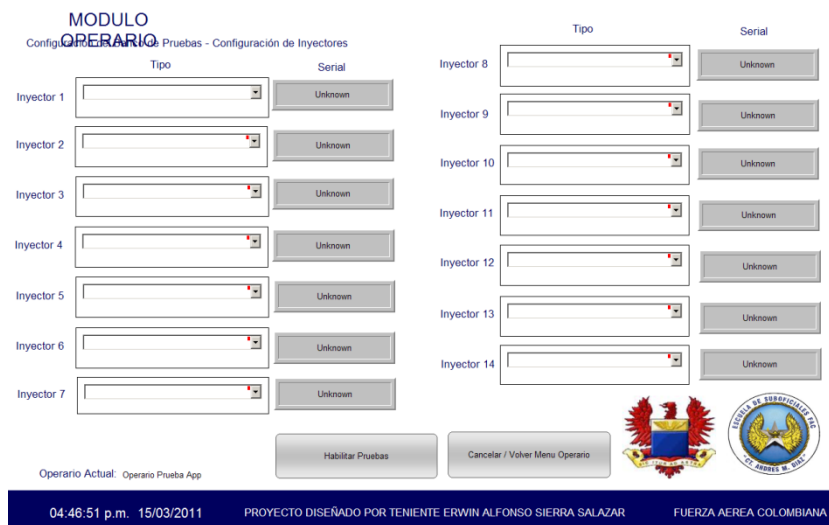


Figura 18. Modulo operario SCADA

Al hacer clic en Configurar Inspección aparece el pantallazo en el cual el operario puede realizar la configuración de los inyectores del sistema como Primario, Secundario, Dúplex y Off que quiere decir que no se realizar prueba con un inyector en determinada posición. El sistema le da la posibilidad de llenar el número de serial de cada inyector para tener mayor control histórico sobre la revisión de los inyectores.

Una vez configura la inspección debe hacer clic en habilitar pruebas si va a continuar con el desarrollo de la prueba. Al hacer clic en ese botón se activará la interfaz HMI para que inicie el trabajo en máquina. Si desea cancelar la prueba, debe hacer clic en Cancelar/Volver al menú Operario.

Al continuar con la prueba aparecerá la siguiente pantalla:

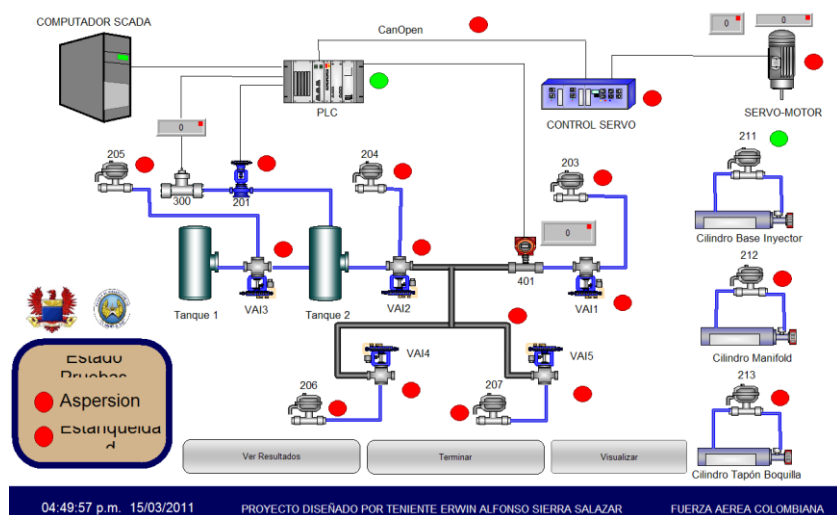


Figura 19. Modulo operario (mímicos del proceso) SCADA

En esta pantalla el operario puede visualizar el estado actual de los elementos del sistema que son supervisados. Si está activo se pone el botón de cada elemento en color verde, si está inactivo en color rojo. Un diagnóstico rápido del sistema para determinar si está en óptimas condiciones para realizar pruebas es: El botón al lado del ícono del PLC debe estar siempre verde, El botón al lado del letrero CANOpen debe estar siempre verde –aunque es normal que presente alguna intermitencia- y el botón al lado del Control Servo debe aparecer siempre en verde cuando se está realizando ya una prueba.

En esta pantalla el operario puede visualizar la forma como se están captando las imágenes desde la cámara para la prueba de aspersión.

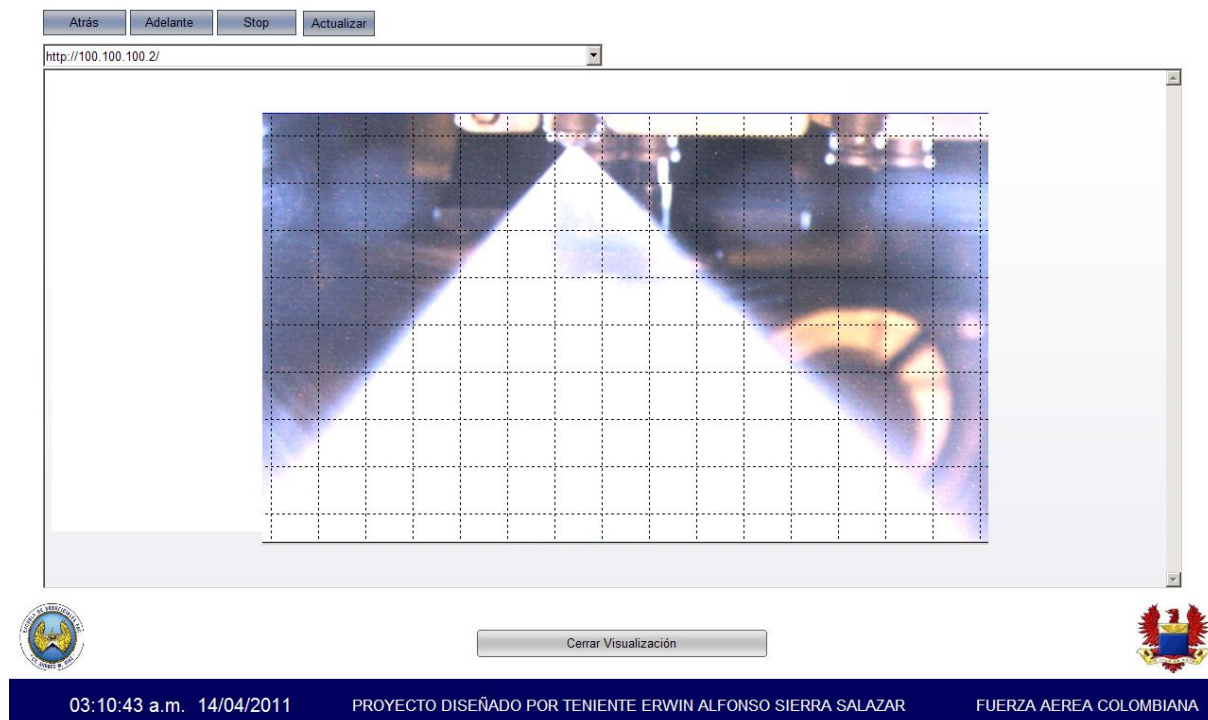


Figura 20. Visualización de la prueba SCADA

Al oprimir el botón Ver Resultados el operario es conducido a la pantalla donde puede pre visualizar los resultados de las pruebas que está ejecutando en un momento determinado:

Inyector # 1	Unknown		
Inyector # 2	Unknown		
Inyector # 3	Unknown		
Inyector # 4	Unknown		
Inyector # 5	Unknown		
Inyector # 6	Unknown		
Inyector # 7	Unknown		
Inyector # 8	Unknown		
Inyector # 9	Unknown		
Inyector # 10	Unknown		
Inyector # 11	Unknown		
Inyector # 12	Unknown		
Inyector # 13	Unknown		
Inyector # 14	Unknown		

INYECTOR SERIAL ASPERSION ESTANQUEIDAD

MODULO OPERARIO
Resultado de las Pruebas

Usuario Actual
Operario Prueba App

ACCIONES


Observaciones Informe

Generar Reporte Pueba Aspersion

Generar Reporte Prueba Estanqueidad

Ver Estado Máquina

Terminar



03:15:13 a.m. 14/04/2019 PROYECTO DISEÑADO POR TENIENTE ERWIN ALFONSO SIERRA SALAZAR
FUERZA AEREA COLOMBIANA

Figura 21. Reportes SCADA

Frente a cada inyector en las columnas de aspersion y estanqueidad aparecerá un indicador en rojo si no pasa la prueba y en verde si el inyector paso la prueba. En esta pantalla con el botón observaciones informe el operario puede escribir un texto que aparecerá en el informe de las pruebas o de aspersion o de estanqueidad:

Inyector # 1	Unknown		
Inyector # 2	Unknown		
Inyector # 3	Unknown		
Inyector # 4	Unknown		
Inyector # 5	Unknown		
Inyector # 6	Unknown		
Inyector # 7	Unknown		
Inyector # 8	Unknown		
Inyector # 9	Unknown		
Inyector # 10	Unknown		
Inyector # 11	Unknown		
Inyector # 12	Unknown		
Inyector # 13	Unknown		
Inyector # 14	Unknown		

INYECTOR SERIAL

MODULO OPERARIO
Resultado de las Pruebas

Usuario Actual
Operario Prueba App

ACCIONES

Observaciones Informe


Generar Reporte Pueba Aspersion

SELECTOR DE OBSERVACIONES

Prueba de Aspersion

Prueba de Estanqueidad

Cancelar



03:16:56 a.m. 14/04/2019 PROYECTO DISEÑADO POR TENIENTE ERWIN ALFONSO SIERRA SALAZAR
FUERZA AEREA COLOMBIANA

Figura 22. Modulo operario SCADA

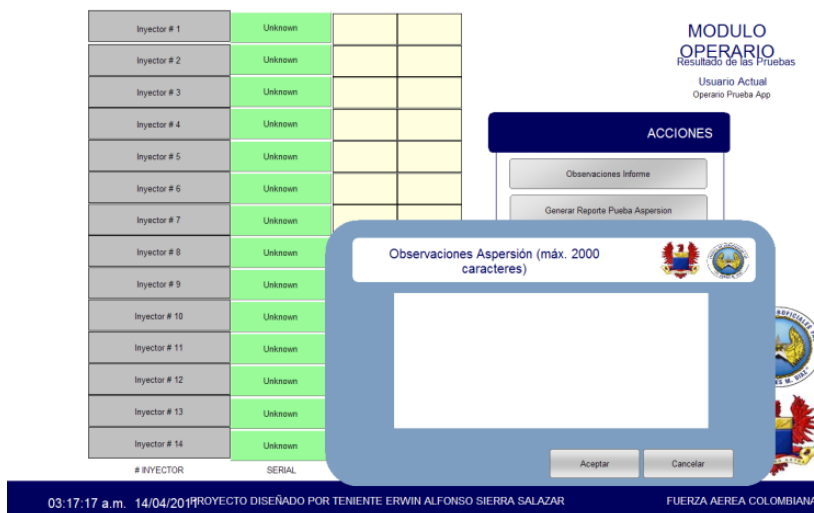


Figura 23. Reportes y observaciones SCADA.

Al hacer clic en Generar Reporte de la prueba de Aspersión o de la prueba de estanqueidad, el sistema inmediatamente recopila toda la información necesaria y genera el informe deseado en la siguiente pantalla:

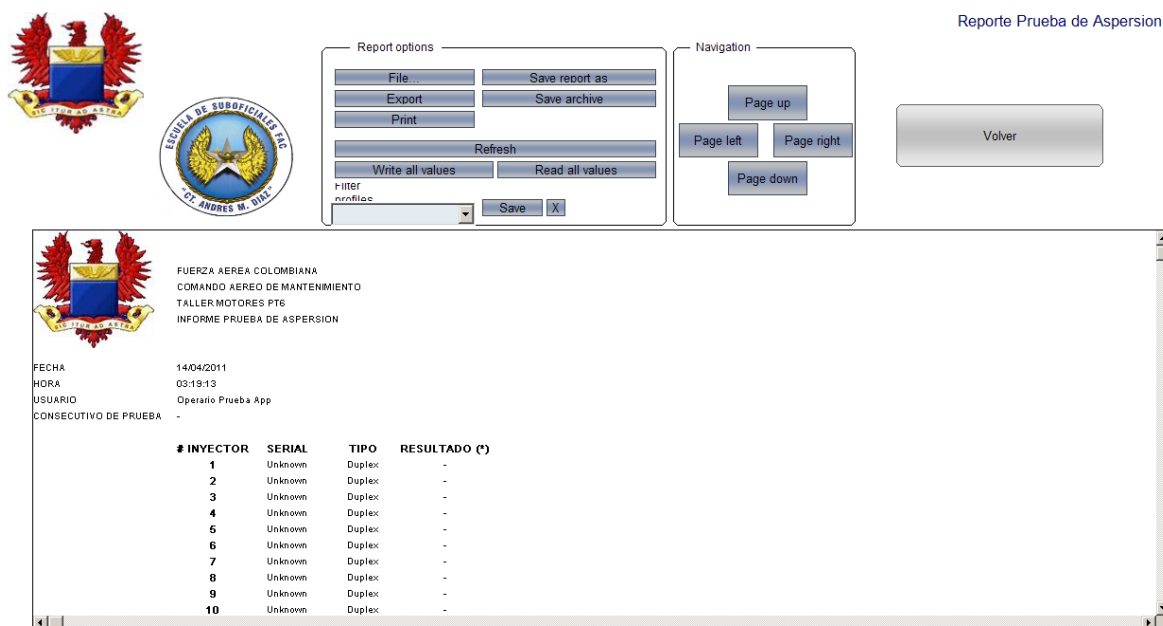


Figura 24. Impresión de reportes SCADA

En la columnas serial y tipo aparecerá la información configurada en pasos posteriores en el sistema, y en la columna de resultado aparecerá un 1 si el inyector probado paso la prueba y

un 0 si el inyector no se probó o no paso la prueba ya que por defecto para el sistema todos los inyector en su estado inicial de configuración están mal y no pasan la prueba. El usuario puede aquí imprimir el informe. Una vez cierre esta pantalla el sistema automáticamente guardará una copia del informe en formato XML.

Al volver si se hace clic en el botón ver estado máquina se volverá a la pantalla donde se habilitaron las pruebas. Si se hace clic en terminar el sistema retornará al operario al menú de operario.

b) Cerrar Sesión: Cierra la sesión del usuario activo.

El sistema siempre sabe que usuario se encuentra activo en el momento actual.

Interfaz HMI

Recuerde que la interfaz HMI únicamente se activará cuando el operario habilite las pruebas desde el sistema SCADA. La interfaz HMI inicia con un pantallazo el cual tiene un botón que le permitirá manejar la máquina y que aparecerá cuando se habilite el sistema desde el SCADA. Además cuenta con una franja inferior que se pondrá en verde cuando la comunicación del sistema con el PLC sea normal, si aparece en rojo contacte al servicio técnico para verificar a profundidad el estado de la máquina.

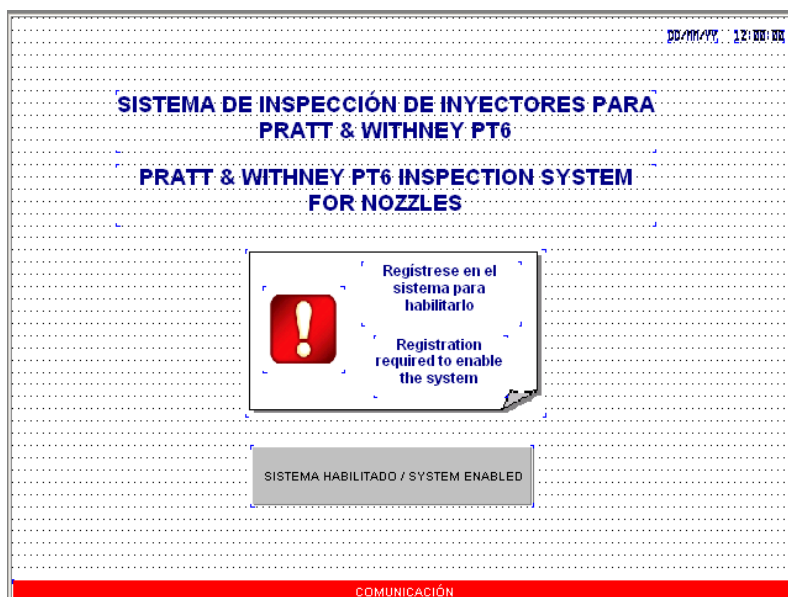


Figura 25. HMI

Si el sistema está habilitado y la comunicación es correcta aparecerá el menú del HMI en el cual se destacan tres botones:



Figura 26. Menú principal HMI

Modo Manual

El modo manual de funcionamiento está dividido en tres partes:

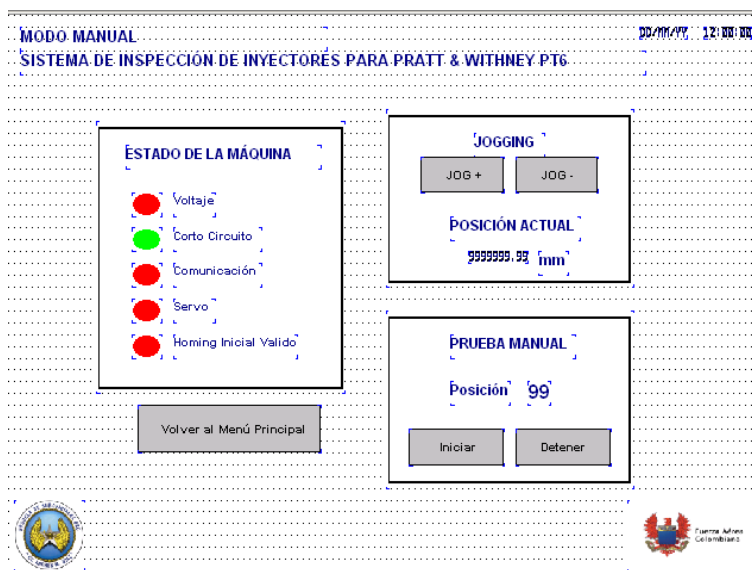


Figura 27. Modo Manual HMI

La primera parte permite por medio de los indicadores en el cuadro de la izquierda verificar el estado general de los componentes del sistema. Si están en verde indican buen funcionamiento de lo contrario se ponen de color rojo. El de indicador de Comunicación suele titilar debido al firmware de la pantalla, por lo tanto este comportamiento es normal.

La parte de jogging permite mover el servomotor y visualizar la posición actual. Se utiliza para comprobar el buen funcionamiento del servomotor y el eje en caso de dudas en su funcionamiento (ver manual de mantenimiento para conocer los signos de advertencia).

Finalmente la prueba manual consiste en una habilitación especial del sistema que le permite al operario realizar la prueba de aspersion de forma visual por si existen dudas en el funcionamiento de un inyector o del banco mismo. La intención es habilitar la posibilidad de utilizar el banco de prueba como el banco de prueba antiguo.

Modo Automático

El modo automático permite al operario realizar las pruebas de aspersion o estanqueidad de forma automática. El pantallazo de este modo de operación le permite al operario corregir, si así lo desea la configuración de los inyectores realizada en el SCADA (cambiar alguno como Dúplex, Primario, Secundario u Off).

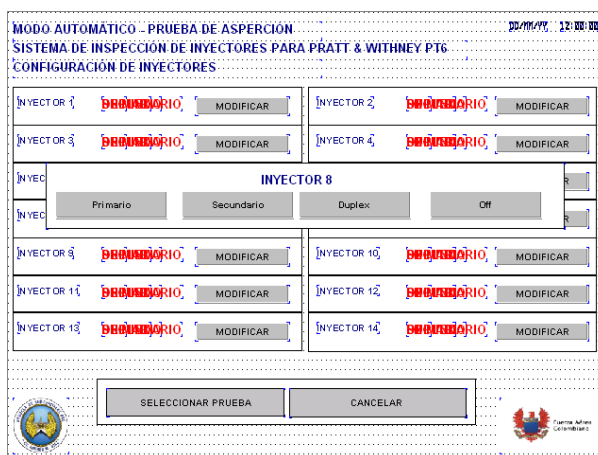


Figura 28. Modo automático HMI

Una vez se verifica la configuración de los inyectores en la prueba, oprime el botón seleccionar prueba o cancelar para volver al menú. Si oprime Seleccionar Prueba aparecerá el siguiente menú:

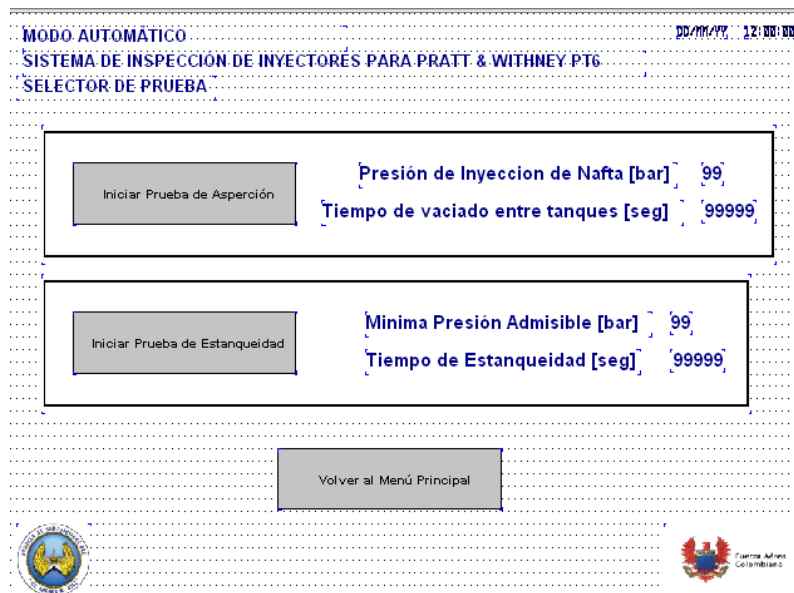


Figura 29. Selección de prueba HMI

En esta pantalla el operario debe verificar que los valores configurados para las pruebas sean los correctos sino debe oprimir sobre el valor para que aparezca el teclado en pantalla HMI y corregir el valor por el correcto.

Al oprimir sobre Iniciar Prueba de Aspersión o de Estanqueidad aparece la siguiente pantalla (únicamente cambia el título de la pantalla según el caso de la prueba correspondiente)

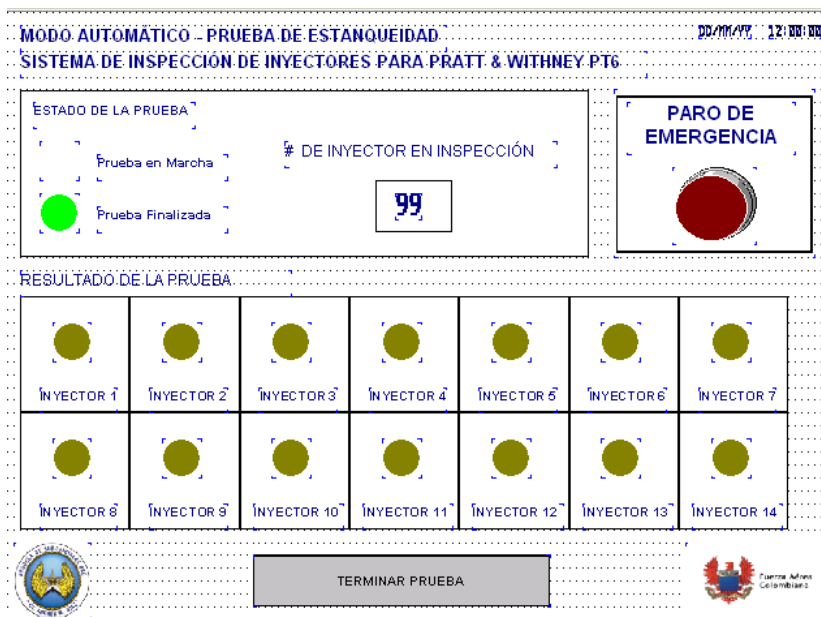


Figura 30. Visualización de prueba HMI

Esta pantalla muestra el inyector que se está evaluando actualmente, muestra si se enclavó el paro de emergencia por alguna razón, y cuando la prueba está en marcha, se prende un indicador verde a lado del texto que indica la prueba en marcha, si la prueba está se prende en verde el indicador de dicho texto.

Los indicadores de abajo son los resultados preliminares de la prueba. Si el indicador de algún inyector se pone de color amarillo, quiere decir que paso la prueba a la que está siendo sujeto, si se que café quiere decir que no pasó la prueba.

Al oprimir terminar prueba vuelve al menú selector de pruebas.

Cerrar Sesión

Notifica al sistema SCADA que el usuario ha terminado la operación en el panel y se deshabilita la máquina nuevamente.

ANEXO B MANUAL DE MANTENIMIENTO

Herramientas

Se sugiere emplear herramientas de taller tales como:

a) Llaves fijas , b) Llaves bristol, c) Pinza zegel, d) Multímetro, e) Pinza corta-tubo, f) Pelacable, g) Cortafrío, h) Llaves thorx, i) Teflón, j) Cinta aislante, k) Grasa (especial), y l) Atornilladores (pala y estrella)

Mantenimiento neumático

Actuadores

Problema: Sale Aire del Vástago, Causa: La junta esta defectuosa, Solución: Cambio de la junta. En caso de cambiar empaques es aconsejable el cambio total de éstos. En este caso contacte a Festo para realizar la reparación de los actuadores

Válvulas

Problema: Válvulas de asiento inclinado no funciona, Causa: - Daño en la válvula, - Desconexión de la manguera de accionamiento, Solución: Verifique las conexiones neumáticas respecto del plano. Si no encuentra ningún problema contacte al servicio técnico de Festo.

Problema: Bloque CPV tiene fuga o no conmuta las válvulas, Causas :a) Cassette en mal estado, b) Poca presión de trabajo, c) Falla de Comunicación. Soluciones: a) Cambio de Cassette, b) Regular correctamente la presión en la unidad de mantenimiento, c) Verifique el estado de la comunicación en el SCADA o HMI o contacte al servicio técnico de Festo

Problema: No se presuriza el tanque de inyección de combustible. Causas: a) Mal estado de la válvula proporcional, b) Mal estado de la válvula HEE, c) Comunicación PLC. Soluciones: a) Verifique las conexiones neumáticas del sistema y el estado de la comunicación en el sistema SCADA o HMI, b) contacte al servicio técnico de Festo.

Unidad de Mantenimiento

Problema: El Filtro no Separa la Suciedad y el Agua. Causas: a) El Filtro se Montó al Contrario, b) La Condensación se Encuentra por Encima de la Marca. Soluciones: Montar y

Conectar el Filtro en el Sentido del caudal, b) Purgar Eventualmente o Instalar un purgador automático.

Problema: En la Válvula de Regulación Fluye el Aire hacia Afuera. Causas: a) El Regulador está en Sentido Contrario del caudal, b) Los Empaques están Deteriorados, c) Está muy Sucio el Filtro o la Válvula. Soluciones: a) Revisar el Montaje, b) Limpiar el Filtro y la Válvula, c) Cambiar Piezas si es Necesario

Mantenimiento eléctrico.

Es fundamental en todo sistema eléctrico que se garanticen las condiciones de funcionamiento de manera que el personal y el equipo estén en todo momento seguros.

El mantenimiento cumple una función muy importante dentro de este objetivo ya que previene el daño de equipos, mejora la producción y da un orden al área en general.

Para ofrecer seguridad en los equipos eléctricos y electrónicos se debe verificar los siguientes puntos.

Realizar empalmes firmes y dejarlos completamente aislados.

Disponer de una excelente conexión a tierra.

Evitar el contacto directo con los líquidos.

Si se tiene un ambiente explosivo alejar los puntos de conexión a los sitios de mayor riesgo (tomas, empalmes, escobillas etc.)

Verificar que el voltaje de entrada sea el nominal para el dispositivo (220 VAC ~ 60Hz) y que no supere el valor de tolerancia.

La condición principal en los equipos eléctricos y electrónicos es garantizar una conexión a tierra. Una forma sencilla de verificar la conexión a tierra es midiendo el potencial (voltaje) entre el punto a tierra y el neutro de la red, si este voltaje es menor a dos voltios la tierra está dentro de los términos aceptables.

Tratamiento de fallas.

Problema: El sistema no enciende. Causa: Mala conexión eléctrica. Solución: Verificar la conexión eléctrica.

Problema: El sistema no enciende. Causa: Fusible abierto. Solución: Cambiar fusible por uno del mismo tipo.

Problema: El motor, el eje, la caja no funcionan correctamente. Causa: Desgaste de las piezas del eje. Solución: Contacte al servicio técnico de Festo para cambio de correa dentada.

Evite que los equipos eléctricos se vean afectados por humedad. Esto podría dañarlos. Los equipos electrónicos, en general, son libres de reparación. En caso de dañarse uno lo más probable es que se requiera el cambio del mismo.

Frecuencia de mantenimiento.

Se recomienda que se realice esta serie de actividades de mantenimiento una vez cada año por el tipo de ambiente al que está expuesto el sistema.

Protocolos de Seguridad

Operario

- a) Utilice mascarilla de seguridad para evitar la inhalación de gases nocivos.
- b) No modifique las aplicaciones del sistema, si no conoce el funcionamiento de un software, por favor absténgase de utilizarlo.
- c) En caso de notar mal funcionamiento de la máquina, oprima el paro de emergencia e inmediatamente avise al administrador del equipo.
- d) No borre archivos del equipo sino sabe por qué están allí.
- e) No modifique la posición de la cámara o las luces, de lo contrario podría afectar el funcionamiento del sistema para la realización de la prueba de aspersion.
- f) Absténgase de realizar cambios en el cableado del gabinete de control. Ante una duda consulte los planos eléctricos de la máquina o contacte al servicio técnico de Festo.

Información

Toda actividad que se realice en el sistema, será guardada por el sistema SCADA. Este sistema almacena la información en una base de datos creada especialmente para el caso. Nunca borre archivos de los que desconozca su procedencia. El sistema está diseñado especialmente para que nunca se sobrecargue de información y por lo tanto constantemente esta evacuando los datos que ya no le son necesarios.

Los programación del PLC, Cámara, Servomotor y sistema SCADA se incluyen dentro de esta documentación. Por favor nunca intente cambiar estos programas y cargarlos al sistema. De hacerlo podría dañar momentánea o permanentemente el equipo. Si desea realizar cambios contacte al servicio técnico de Festo que atenderá lo más pronto posible su solicitud.

Equipo

- a) Mantenga el equipo limpio, libre de humedad.
- b) Desconéctelo de la fuente de corriente cuando no se este utilizando.
- c) Cierre el paso de aire cuando no utilice el equipo.
- d) Manténgalo con las ruedas bloqueadas, la puerta de abastecimiento de combustible cerrada.
- e) No manipule el eje manualmente.
- f) Verifique la constamente la presencia de fugas.
- g) Limpie el policarbonato que separa la cámara de la zona de inspección.