
Diseño conceptual de un banco de pruebas de inyectores para motores a reacción

Presentado por
Nicoll Andrea Montoya Garzón



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Fundación Universitaria Los Libertadores

Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas

Programa de Ingeniería Aeronáutica

Bogotá D.C, Colombia

**Diseño conceptual de un banco de
pruebas de inyectores para motores a
reacción**

Presentado por

Nicoll Andrea Montoya Garzón

en cumplimiento parcial de los requerimientos para optar por el

título de

Ingeniero Aeronáutica

Dirigida por

Luisa Fernanda Mónico Muñoz

Codirector

Richard Giovanni Avella Sarmiento

Presentada a

Programa de Ingeniería Aeronáutica

Fundación Universitaria Los Libertadores

Bogotá D.C, Colombia.

Notas de aceptación



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá DC, junio de 2023.



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Las directivas de la Fundación Universitaria Los Libertadores, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores y a los resultados de su trabajo.

Dedicatoria

Este documento se lo dedico a mis padres, hermano, pareja y familia por todo su amor y comprensión, por el apoyo emocional y moral que me pudieron brindar en esta etapa, que ahora se ve reflejado en la finalización de este documento.

A mis tutores y docentes por todos los conocimientos, consejos y acompañamiento que me brindaron durante toda mi etapa académica. Así mismo a todas las personas que me apoyaron brindándome su experiencia y conocimiento.

LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Agradecimientos

Le agradezco a mis padres por todo su amor, apoyo, comprensión y dedicatoria, todo lo que he logrado es gracias a ustedes y a su esfuerzo. A mi hermano por darme el acompañamiento y amor en esta etapa. A mi pareja por todos los consejos y apoyo emocional. Sin ustedes este documento no sería posible.

Le agradezco a la directora de este documento a la ingeniera Luisa Fernanda Mónico Muñoz y a al codirector Richard Giovanni Avella Muñoz por su dedicación, apoyo, compromiso y consejos durante el desarrollo de este documento.

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Índice general

Capítulo 1	Introducción.....	21
Capítulo 2	Planteamiento del Problema.....	23
	Antecedentes	23
	Descripción del problema.....	27
	2.1 Objetivos	28
	2.1.1 Objetivo General	28
	2.1.2 Objetivos Específicos.....	28
	2.2 Justificación	28
	Alcances	29
	Limitaciones	29
Capítulo 3	31
Marco Teórico	31
	3.1 Motores a reacción	31
	Funcionamiento	31
	3.2 Partes de los motores a reacción	32
	3.3 Tipos de motores a reacción	33
	Motores no autónomos sin compresor	33
	Ramjet	33
	Scramjet	34
	Motores no autónomos con compresor	35
	Turborreactor	35
	Turbofan.....	36
	Turbohélice.....	36
	Turboshaft.....	37
	3.4 Sistema de combustible	38
	3.5 Inyectores	40
	Tipos de inyectores.....	40
	Inyectores simplex	40
	Inyectores dúplex.....	41
	Inyectores dúplex de un solo colector	41
	Inyectores dúplex de doble colector	42
	3.6 Parámetros de operación de los inyectores	43
	Defectos de pulverización.....	43
	Impacto de los parámetros de operación de los inyectores en el motor.....	44
Capítulo 4	Metodología aplicada.....	48

Capítulo 5	55
Diseño conceptual.....	55
5.1 Proceso para identificar los requerimientos del cliente	56
5.2 Recopilación e interpretación de datos	57
5.3 Requerimientos del cliente según su importancia y jerarquía.....	61
5.4 Orientación de los resultados al proceso de diseño conceptual.....	63
Requisitos de seguridad:.....	63
Requisitos de funcionalidad	64
Requisitos de apariencia	65
Requisitos de manufactura	65
Requisitos de costos	66
5.5 Despliegue función de la calidad	66
5.6 Desarrollo de las casas de la calidad	70
Casa de la calidad N°1 y 2	70
5.7 Análisis funcional	74
5.8 Generación de conceptos.....	78
5.9 Conceptos globales.....	81
Concepto 1	84
Concepto 2.....	85
Concepto 3.....	86
Concepto 4.....	87
5.10 Evaluación final	87
Concepto 1	89
Concepto 2.....	90
Concepto 3.....	91
Concepto 4.....	92
Análisis final.....	93
Costos	94
Capítulo 6 Conclusiones y Recomendaciones	97
Bibliografía	100
Anexo A.....	104
Encuesta.....	104

Índice de figuras

Fig. 1 Etapas de funcionamiento y partes de un motor a reacción (Sevilla, 2009).....	32
Fig. 2 Ramjet (Hall, 2021).....	34
Fig. 3 Scramjet (Allen, 2008).....	35
Fig. 4 Turborreactor (Belmonte, 2018).....	35
Fig. 5 Turbofan (Belmonte, 2018).....	36
Fig. 6 Turbohélice (Belmonte, 2018).	37
Fig. 7 Turboshaft (Belmonte, 2018).	38
Fig. 8 Sistema de combustible de un motor turbofan (Rivas, 2003).	39
Fig. 9 Inyector simplex (Rivas, 2003).....	41
Fig. 10 Inyector tipo dúplex con un solo colector (Sánchez & Velasteguí, 2018).....	41
Fig. 11 Inyector dúplex con doble colector (Rivas, 2003).....	42
Fig. 12 Defectos de atomización (Sánchez & Velasteguí, 2018).....	43
Fig. 13 Metodología del proyecto	53
Fig. 14 Proceso para identificar los requerimientos del cliente (Peña, 2011)	57
Fig. 15 Características del banco de pruebas.	58
Fig. 16 Requerimientos de construcción del banco de pruebas	59
Fig. 17 Parámetros de operación del banco de pruebas.....	60
Fig. 18 Módulos principales de la casa de la calidad (Muñoz A. V., 2010).....	67
Fig. 19 Las cuatro casas de la calidad (Peña, 2011).....	69
Fig. 20 Primera casa de la calidad.....	71
Fig. 21 Segunda casa de la calidad	73
Fig. 22 Diagrama de descomposición funcional	75
Fig. 23 Tipos de funciones (Peña, 2011).	77
Fig. 24 Concepto 1	90
Fig. 25 Concepto 2.	91
Fig. 26 Concepto 3.	92
Fig. 27 Concepto 4.	93

Índice de tablas

Tabla 1 Comparación entre metodologías.....	49
Tabla 2 Organización jerárquica de los requerimientos del cliente	62
Tabla 3 Rangos técnicos de operación de los inyectores	64
Tabla 4 Relación y calificación	68
Tabla 5 Estructuración de funciones.....	77
<i>Tabla 6 Generación de conceptos</i>	79
Tabla 7 Combinación de conceptos.....	83
Tabla 8 Matriz pasa no pasa.....	88
Tabla 9 Requerimientos de costos	95

Abreviaturas

FAC Fuerza Aérea Colombiana

QFD Quality Function Deployment

RAF Royal Air Force

Diseño conceptual de un banco de pruebas de inyectores para motores a reacción

Resumen

Todo desarrollo de un producto debe pasar por la etapa del diseño conceptual, el cual consiste en obtener una solución parcial a un problema planteado a partir de especificaciones, requisitos y necesidades de un cliente. Por esta razón en el presente documento se analizó y se identificó el cliente, para posteriormente obtener los requerimientos, y así poder tener la base principal del diseño conceptual. Este proceso también se caracteriza por usar diferentes metodologías y técnicas creativas, en este documento se relacionaron diversas metodologías, las cuales pasaron por un paso de comparación y evaluación, para escoger la metodología más apropiada. Luego de la identificación de la metodología, se estudiaron las diferentes técnicas creativas, las cuales brindaron un análisis más claro y una simplificación del problema, como por ejemplo, el uso del diagrama de descomposición funcional, que permitió orientar el lenguaje del cliente a atributos de diseño, comprendiendo la función exacta de cada requerimiento expuesto por los clientes; el uso de varias técnicas de creatividad beneficio el desarrollo del diseño conceptual, debido a que se crearon múltiples conceptos, con ideas de diseño distintas, proporcionando varias soluciones a la problemática inicial. El siguiente paso y más importante de todo el diseño conceptual es el despliegue de la función de la calidad, que ayudo a relacionar los conceptos creados con los requerimientos del cliente, entendiendo cual concepto cumple con todas las características de diseño.

Palabras claves: Banco de pruebas, Motores a reacción, Inyectores, Diseño conceptual, Parámetros

Capítulo 1

Introducción

En un motor a reacción, la manera en la que el combustible entra a la cámara de combustión tiene un impacto significativo en el funcionamiento de este. Los parámetros de operación como el ángulo de aspersion, la presión y la pulverización del combustible son factores determinantes que influyen de manera directa en la velocidad de combustión y en la formación de la mezcla, esto ocasiona que exista una alteración en la forma en la que se genera la combustión en los motores a reacción; es por esta razón que los inyectores cumplen una función importante en el sistema de inyección de combustible. De esta manera, el mantenimiento de este componente tiene una gran relevancia e impacto en el motor. La preservación del buen funcionamiento del inyector se da bajo el uso del banco de pruebas, por medio de esta herramienta se realiza el mantenimiento a este componente, durante el proceso se calibran, evalúan y parametrizan los inyectores frente a un modelo previamente establecido por el fabricante (Magaña, 2014).

En este documento se encuentra descrito el diseño conceptual de un banco de pruebas de inyectores para motores a reacción por medio de una metodología aplicada, en donde se busca que el banco contribuya con el estudio del funcionamiento de los inyectores y del motor mismo. Esta investigación tiene el propósito de cubrir la necesidad actual en la industria aérea nacional, donde se analizó la carencia de un banco de pruebas enfocado en todo tipo de motores a reacción, adicional a esto el banco contribuirá como una herramienta educativa para la Fundación Universitaria los Libertadores.

Capítulo 2

Planteamiento del Problema

Antecedentes

La historia de los motores a reacción empieza en el año 250 a.c cuando el ingeniero e inventor Herón de Alexandria crea la que es actualmente la primera máquina de vapor de la historia nombrada Eolípila (Vilajosana, 2011). Funciona bajo la tercera ley de Newton, también conocida como la ley de acción y reacción, esto debido a que su estructura consiste en una esfera hueca con dos tubos a los lados que cumplen la función de una tobera y una base, dentro de la esfera se introducía agua, la base se calentaba y con ello el líquido que estaba dentro de la esfera hervía, el vapor se expulsaba por los tubos generando que la esfera girar a grandes velocidades (López, 2014). Esta máquina es considerada el primer motor a reacción de la historia, adicional a esto, ha sido base para diversos inventos de los cuales se depende actualmente, como lo es la electricidad y el transporte aéreo (Delgado, 2014).

Después de la creación de la Eolípila, aparecen los turborreactores, son el tipo de motores a reacción más antiguo y su inicio se da gracias al ingeniero aeronáutico y oficial de la Royal Air Force (RAF), Frank Whittle, cuando en el año 1929 tuvo la idea de aumentar la presión del ventilador y sustituir el motor recíproco por un motor a reacción (Mattingly, 1985). Después de muchos estudios y diferentes ideas, en el año 1930 realiza su primera patente, la cual constaba de un compresor axial de dos etapas, este oficialmente se convertiría en el primer motor a reacción, el cual tenía como objetivo reemplazar a los motores de pistón para propulsar aviones, no fue hasta el año 1937 que el motor funcionó con éxito (Lukascheuski,

2010).

Pocos años antes de que Frank Whittle lograra hacer funcionar su patente, en Alemania, un estudiante de doctorado interesado por los motores con turbina a gas realizo diversas investigaciones y patentes similares a las de Whittle (Lukascheuski, 2010). En 1936 fue contactado por el fabricante de aeronaves Heinkel, en su búsqueda de fabricar una aeronave que volara a grandes velocidades y una planta motriz que cumpliera con estas necesidades, Hans Joachim Pabst von Ohain crea el primer motor turborreactor de vuelo en el mundo el HeS 3B. Fue utilizado en el avión He 178 en el año 1939, y posteriormente prosiguió mejorar su invento hasta culminar con el motor HeS 011 que contaba con un empuje de 2860 lbs (Cyrus B, 2000).

Después del uso del primer motor a reacción en una aeronave, se empezó a desarrollar el estudio de este tipo de motores. Para el año 1946, el turborreactor de Rolls-Royce, el Avon AJ.65, fue el primero en ser usado en una aeronave comercial. Con la llegada de los turbonfan en la década de los 60's, el turborreactor quedo en el olvido, esto gracias a las diferentes ventajas que tenían este nuevo tipo de motores a reacción frente al anterior. Rápidamente, se convirtieron en la opción estándar para la mayoría de los aviones comerciales, sin embargo, en los años 70, un solo avión se convirtió en la excepción a la regla por el uso de turborreactores, este fue el concorde, ya que gracias a sus características permitió que fuera más útil para velocidades supersónicas (Haynes, 2021).

Durante los años 50, a nivel mundial hubo un incremento de los accidentes aéreos, ocasionados por las fallas generadas por los diferentes equipos de las aeronaves, esto fue producido por el desgaste paulatino que sufrían los diferentes componentes con el tiempo, es por este motivo que los fabricantes se vieron en la necesidad de generar un método para

preservar los componentes en condiciones óptimas para que estos contaran con un mayor tiempo de uso, es aquí donde el mantenimiento tiene uno de sus hitos más importantes (Ortega F. J., 2011). Actualmente, el mantenimiento es definido como “la ejecución de los trabajos requeridos para asegurar el mantenimiento de la aeronavegabilidad de las aeronaves” (Civil, 2020), por esta razón los bancos de pruebas se convirtieron en una herramienta importante para los fabricantes donde podían someter a los componentes de la aeronave como los motores, a diferentes tipos de pruebas con el fin de asegurar su funcionamiento.

Los bancos de pruebas son una herramienta que tiene como fin analizar un componente por medio de diversas pruebas en donde se evalúan sus parámetros y se estudia la información obtenida para tener un informe completo del estado de este componente (J.A Guerrero Angeles, 2016). Es por este motivo que los fabricantes, empresas y universidades han trabajado en diversos proyectos con el fin de ampliar el conocimiento en este campo. En Colombia, universidades como la San Buenaventura han investigado en el desarrollo del diseño de un banco de pruebas para motores PT6T-3, en donde se realizó el estudio del diseño de un banco con la capacidad de realizar tareas de mantenimiento como el overhaul y pruebas post-overhaul, su objetivo era disminuir costos de mantenimiento para los operadores de este tipo de motores. Realizaron el diseño y posterior construcción del banco, lo realizaron enfocándose únicamente en un tipo de motor (Garzón, 2008). También se ha evaluado con el tiempo la importancia de contar con herramientas como las de esta clase para los diferentes componentes y partes que constituyen a los motores, esto derivado de estas investigaciones en donde se analizaron conceptos que concluyeron la importancia de una evaluación e inspección oportuna de los mismos. Un caso de esto es la investigación que desarrollo la

Fundación Universitaria los Libertadores con el diseño, construcción e implementación de un banco de prueba para la caja de accesorios del motor J-38 perteneciente al avión A 37-B de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), durante esta investigación se plantearon brindar un equipo que ofreciera a la entidad mayor confiabilidad y mejores resultados durante el mantenimiento de la caja de accesorios de este motor, con el fin de contribuir a una necesidad de que la parte fuera sometido a condiciones de operación (Gómez, 2014).

Un componente que es fundamental para el buen funcionamiento del motor son los inyectores, esto debido a que hacen parte del sistema de combustión, el cual se encarga de suministrar la cantidad correcta de combustible. Los inyectores y todo el sistema de combustión están sometidos constantemente a suciedades, residuos o impurezas que puede afectar directamente el funcionamiento del motor. Es por esto por lo que diversas universidades y entidades estatales han realizado diversas investigaciones enfocadas en bancos de pruebas que contribuyeran con el mantenimiento de estos componentes (BARDAHL, 2020).

Un ejemplo de esto fue la investigación elaborada por la FAC, en donde realizaron el diseño y construcción de un banco de pruebas para los inyectores de los motores Garrett TPE331 y PT6A-25C, el estudio tuvo como fin disminuir costos de mantenimiento a la entidad brindando un equipo con las capacidades técnicas para el cumplimiento completo de las necesidades de la entidad (Rueda, 2007).

De esta manera, una sección de la revista Ciencia y Poder Aéreo describe una investigación enfocada en el diseño y la construcción de un banco de pruebas para boquillas de inyección de combustible aplicable para los motores PW 100 y PT6, cuya finalidad fue abarcar la misma problemática existente en el país, que es la rentabilidad de poder realizar el mantenimiento

de esta clase de componentes a nivel nacional (Escobar, Villanueva, & Pérez, 2007).

La FAC ha desarrollado diversos estudios enfocados en la importancia del mantenimiento a los inyectores en el país, por medio del artículo de la revista TecnoESUFA plantean una investigación que se realizó sobre un banco de pruebas de inyectores para motores PT-6 A/T y PT-6-3b en donde se enfocaron en mejorar el mantenimiento de los motores dentro de la institución, para poder disminuir tiempos de inspección (Pérez & Moreno, 2009).

Descripción del problema

En la industria aérea colombiana se encuentran diversas dificultades cuando se habla de realizar el mantenimiento a los diferentes componentes de la aeronave, esto causado por la escasez de equipos óptimos en el mercado nacional, generando que empresas y entidades en Colombia tengan que enviar al extranjero dichos componentes, haciendo que los costos y tiempos de trabajo se incrementen, ocasionando un déficit en los programas de mantenimiento (Rueda, 2007).

Es por este motivo que la elaboración de bancos de pruebas que contribuyan con la reparación e inspección de las partes aeronáuticas cumplen un papel importante en el mercado nacional. El desarrollo conceptual de un banco de pruebas de inyectores para motores a reacción contribuirá a determinar el funcionamiento de los parámetros de operación del inyector, brindando así un enfoque ingenieril a la problemática que afecta directamente el mantenimiento aeronáutico en el país.

Teniendo en cuenta lo anterior, la pregunta de investigación a resolver sería: ¿Qué factores debe tener en cuenta una metodología de diseño conceptual de un banco de pruebas de inyectores para motores a reacción?

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo General

Diseñar conceptualmente un banco de pruebas para los inyectores de un motor a reacción

2.1.2 Objetivos Específicos

- Definir las principales necesidades que debe cumplir el banco de pruebas para los inyectores de un motor a reacción.
- Determinar parámetros técnicos fundamentales que debe tener el banco de pruebas para su funcionamiento.
- Comparar distintos métodos de diseño ingeniería para establecer una metodología de diseño.

2.2 Justificación

El desarrollo del diseño conceptual de un banco de pruebas de inyectores para motores a reacción contribuirá con el estudio del funcionamiento de los inyectores, estableciendo parámetros de operación, para optimizar y mejorar su rendimiento. El banco cumplirá con todos los parámetros técnicos exigidos para ser una herramienta de mantenimiento bajo los estándares establecidos por el manual del fabricante. Esto para que genere un aporte a una de las problemáticas actuales de mantenimiento de componentes en el país, que es la escasez de equipos óptimos para realizar las inspecciones y reparaciones necesarias.

Así mismo, este proyecto tendrá fines educativos, buscará generar un aporte para las instituciones educativas, con el cual se tendrán mejoras en las áreas prácticas de diferentes espacios académicos, donde se presentará de manera más clara el funcionamiento de los

inyectores y del motor, dando una idea del impacto que tienen estos componentes en el mismo.

Alcances

- Se analizarán parámetros operativos del banco de pruebas por medio una encuesta realizada a docentes y profesionales en el área.
- Se analizarán los parámetros operativos del banco como lo son el ángulo de aspersion, la presión, defectos de pulverización y la temperatura para determinar el impacto que tiene cada uno en el funcionamiento del motor.
- Se establecerá un concepto final de diseño por medio del método de la casa de la calidad donde se realizará un estudio y evaluación a diferentes prototipos con distintas características estructurales y operacionales.
- Se van a realizar bosquejos de los diferentes conceptos establecidos.

Limitaciones

- Se va a realizar únicamente un diseño conceptual, es por este motivo que no se va a hacer la fabricación ni construcción del banco de pruebas.
- No se realizarán simulaciones del funcionamiento del banco de pruebas por medio de ningún software.
- No se van a implementar cálculos matemáticos durante el diseño del banco de pruebas ya que se hará únicamente un análisis conceptual.

Capítulo 3

Marco Teórico

3.1 Motores a reacción

Los motores a reacción son un tipo de motor que funciona bajo el principio de la segunda y tercera ley de Newton, esto debido a que los gases que salen a altas velocidades por medio de la tobera generan un empuje, el cual es el encargado de mover la aeronave (Álvarez, 1980). Utiliza la energía generada en el proceso de combustión para transformarla y posteriormente expulsarla por medio de los gases que salen del motor (Muñoz D. O., 2015). El motor se encarga de tomar un fluido externo, acelerarlo por medio de diferentes etapas para finalmente proyectarlos hacia atrás a altas velocidades (Díez, 2007).

Funcionamiento

El funcionamiento de un motor a reacción se da bajo el ciclo Brayton, este se divide mediante diferentes etapas las cuales son: la admisión, la compresión, la expansión y el escape. La primera etapa de este ciclo es la admisión, esta sucede cuando el fluido ingresa al motor y el aire es trasladado hasta el compresor, aquí ocurre la segunda etapa conocida como compresión, el fluido gana presión y mantiene su velocidad constante, seguido de esto el aire llega a la cámara de combustión, aquí se mezcla con el combustible y el fluido sufre un incremento de calor debido a la combustión. La tercera etapa es la expansión, esta se genera después de que los gases salen con altas temperaturas de la cámara de combustión, el fluido se expande en la turbina generando el trabajo que se encarga de mover el compresor.

Finalmente, durante la cuarta etapa ocurre el escape, donde el aire termina su recorrido por el motor al salir por la tobera a altas velocidades, los gases que se expulsan disminuyen su temperatura hasta igualarse a la de su condición inicial (Belmonte, 2018). En la Fig. 1 se pueden observar las etapas de funcionamiento de un motor a reacción (Sevilla, 2009).

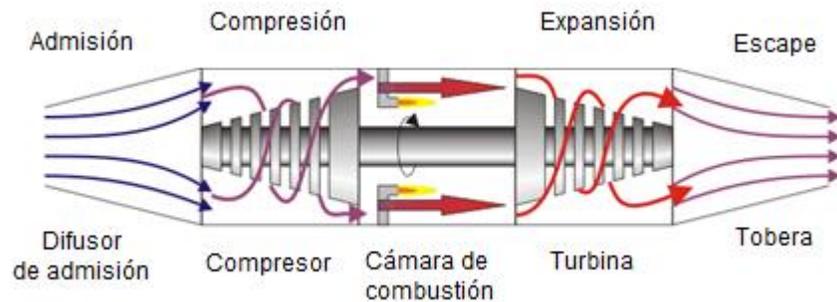


Fig. 1 Etapas de funcionamiento y partes de un motor a reacción (Sevilla, 2009).

3.2 Partes de los motores a reacción

Un motor a reacción está compuesto por diversos componentes principales, como se puede evidenciar en la Fig. 1, estos se dividen en el difusor de admisión, el compresor, la cámara de combustión, la turbina y la tobera. El difusor de admisión se encarga de recibir el aire en la entrada del motor, está diseñado para transformar parte de la velocidad con la que viene el aire en presión estática sin que se genere un trabajo exterior, de este modo el aire llega al compresor con una precompresión (Belmonte, 2018). Seguido de este se encuentra el compresor, el cual se encarga de aumentar la presión y temperatura del aire por medio del trabajo suministrado por la turbina. Existen dos tipos de compresores, los axiales y centrífugos.

La parte del motor donde se genera la mezcla de aire presurizado y combustible es la cámara de combustión, aquí la mezcla se quema y los gases provenientes de esta etapa son los encargados de generar movimiento a la turbina. Este componente se puede clasificar en dos

diferentes tipos, las tubulares corresponden a la primera clase de cámaras de combustión en ser usadas en motores a reacción, por otro lado, las de tipo anular son las más utilizadas actualmente (Belmonte, 2018).

La turbina es la encargada de transformar parte de la energía obtenida en el proceso de combustión, en trabajo mecánico para poder realizar el movimiento del compresor. Las turbinas se pueden clasificar dependiendo de la entrada del flujo a la turbina, las que son de tipo axial la entrada del aire ocurre de manera paralela al eje, por otro lado, las de tipo centrípetas, el flujo ingresa de manera radial a la turbina (Belmonte, 2018).

Finalmente se encuentra la tobera, la cual es la encargada de expulsar los gases provenientes del proceso de combustión, gracias a la diferencia de presiones entre el aire de entrada y el de salida se da el empuje. En este punto el fluido que sale del motor cuenta con una presión y temperatura menor, pero sale con una velocidad mayor (Belmonte, 2018).

3.3 Tipos de motores a reacción

Los motores a reacción se clasifican principalmente en motores autónomos y no autónomos. Como autónomos están los motores cohete y los motores no autónomos se clasifican en dos subcategorías, sin compresor y con compresor.

Motores no autónomos sin compresor

Ramjet

Este es un tipo de estatorreactor, lo que significa que al no contar con un compresor hace uso de la velocidad relativa para poder generar la compresión del fluido, y es por tal motivo que su funcionamiento ocurre únicamente a cierta velocidad de vuelo (Belmonte, 2018). La combustión que produce el empuje ocurre a velocidades subsónicas en la cámara de

combustión. El aire que entra al motor debe ir a velocidades subsónicas, las ondas de choque en la entrada provocan pérdidas en el rendimiento en el motor, por lo que a velocidades superiores a Mach 5 el Ramjet se vuelve ineficiente (Hall, 2021). A continuación, en la Fig. 2 se puede observar un motor Ramjet.

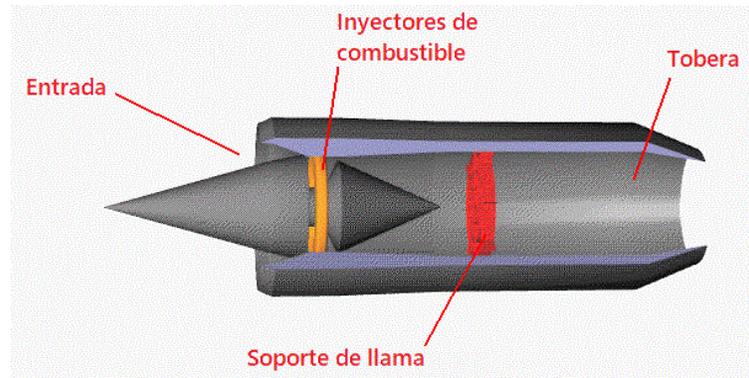


Fig. 2 Ramjet (Hall, 2021).

Scramjet

El scramjet (Supersonic Combustion Ramjet) es un motor que fue diseñado con el fin de mejorar uno de los defectos que tenía el Ramjet. Tiene la capacidad de efectuar la combustión a velocidades supersónicas. Es un motor que no cuenta con muchos elementos mecánicos, sin embargo, es un motor con mucha complejidad aerodinámica. Es eficiente en velocidades en el rango de 5 a 7 Mach, por lo que es utilizado en vuelos de velocidades hipersónicas. Este motor tiene la característica que también puede realizar la combustión a velocidades subsónicas, pero para esto se debe hacer uso de diferentes aditivos que ayuden a que la combustión se genere más rápido (Belmonte, 2018). En la Fig. 3 se puede observar un scramjet.

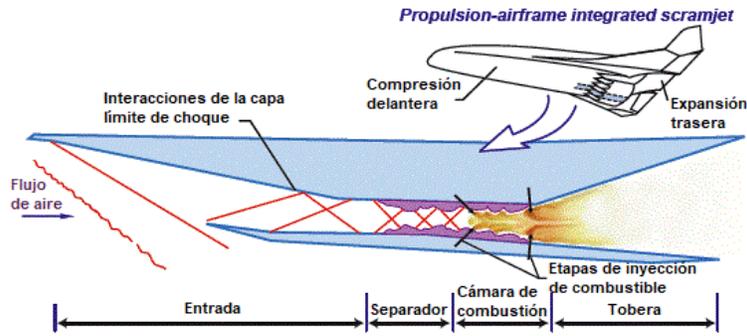


Fig. 3 Scramjet (Allen, 2008).

Motores no autónomos con compresor

Turborreactor

El turborreactor fue el primer tipo de los motores a reacción. Una de sus características más importantes es que está diseñado para ser más eficiente a velocidades bajas. Actualmente, son utilizados en su mayoría por aeronaves militares como los caza y en aeronaves más antiguas (Muñoz D. O., 2015). Algunas de las ventajas que tiene sobre otros motores es que cuentan con un menor consumo de combustible, es más sencillo mecánicamente, lo que significa que cuenta con menos partes móviles, por este motivo los costos de mantenimiento no son tan altos, es un motor liviano y cuentan con una vida más alta (Heredia, 2022). En la Fig. 4 se puede ver un motor a reacción.

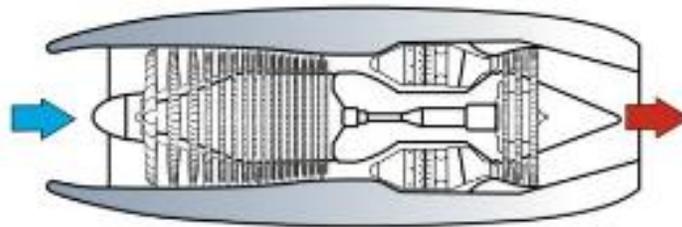


Fig. 4 Turborreactor (Belmonte, 2018).

Turbofan

El nombre de este motor es derivado de uno de sus componentes más característicos, el ventilador con el que cuenta en la toma de aire. Los motores turbofan son de los más usados actualmente, ya que los aviones comerciales, de carga, militares entre otros hacen uso de este. Una característica con la que cuenta este motor es que divide el flujo en dos, el flujo primario y el flujo secundario. El primario es acelerado por el fan hacia atrás y sale rápidamente, mientras que el secundario entra en el propulsor que es el que ayuda a generar la combustión. Este motor a pesar de ser uno de los que ahorra mayor combustible y también menor ruido, por su sistema es uno de los más complejos y el mantenimiento es muy costoso (Muñoz D. O., 2015). En la Fig. 5 se puede ver a un motor turbofán.

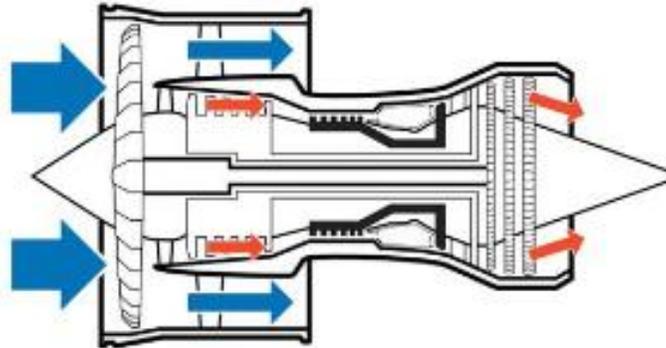


Fig. 5 Turbofan (Belmonte, 2018).

Turbohélice

Los motores turbohélice son la combinación entre el uso de una hélice y un turborreactor. Este tipo de motor es usado en aeronaves militares y en aviones regionales, esto debido a que dan respuesta rápida a los cambios de aceleración realizados por el piloto. Tienen la

ventaja de ser buenos contra impactos, además de que operan de manera óptima en aeropuertos con pistas cortas. Su funcionamiento es similar al de un turbofan, con la diferencia que el flujo secundario iría por fuera del motor (Muñoz D. O., 2015). A continuación, en la Fig. 6 se puede ver un motor turbohélice (Belmonte, 2018).

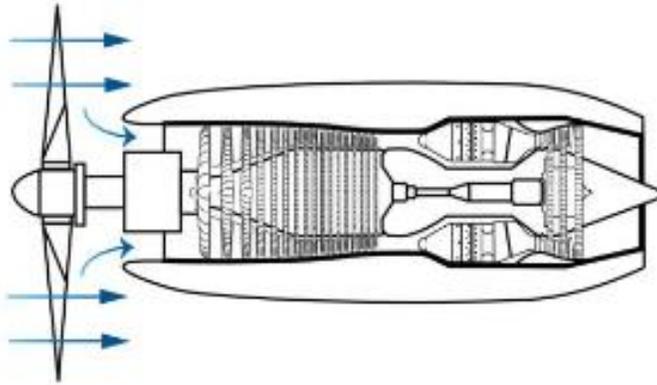


Fig. 6 Turbohélice (Belmonte, 2018).

Turboshaft

El motor turboshaft o turboeje en su traducción al español, cuenta con un funcionamiento muy similar al de un motor turborreactor, la principal diferencia radica en que en un turborreactor la fuerza propulsora es producida por los gases provenientes de la combustión, en el turboshaft viene del movimiento de hélice o rotor. Esto se da gracias a su estructura, después de la turbina que se encarga de darle potencia al compresor, hay una turbina adicional que se encarga de extraer más energía del aire para mover el eje que a su vez mueve una hélice de una aeronave o el rotor de un helicóptero. Su uso en la aviación está limitado a los helicópteros y para las Axuliar Power Unit (APU) (Alan, s.f.). A continuación, en la Fig. 7 se puede ver un motor turboshaft (Belmonte, 2018).

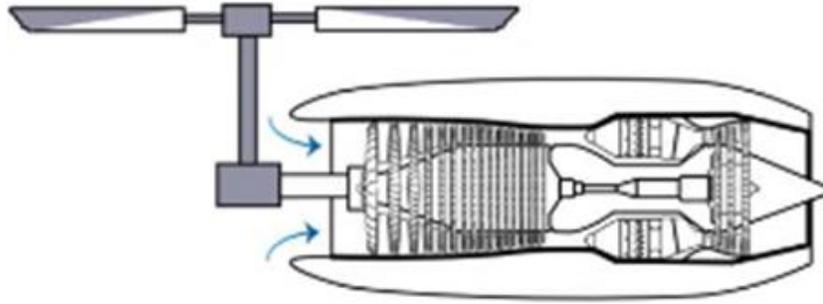


Fig. 7 Turboshaft (Belmonte, 2018).

3.4 Sistema de combustible

Este sistema es el encargado de suministrar el combustible de manera correcta en la cámara de combustión del motor. Tiene en cuenta parámetros como la cantidad de combustible inyectado, que el combustible esté en condiciones óptimas, es decir, sin ninguna impureza, que esté libre de vapor, y que a la hora de inyectarse este se haga a la presión correcta.

El trayecto que realiza el combustible empieza en el depósito de combustible, este fluye por medio de la válvula de corte del motor dentro de la bomba principal de combustible de múltiples etapas. Fluye primero por la bomba centrífuga antes de pasar por el cambiador de calor aire-combustible que es el encargado de mantener el combustible libre de formaciones de cristales de hielo, esto lo hace por medio del aire de sangrado del motor. Después del cambiador de calor, el combustible pasa al filtro que es el encargado de separar todas las impurezas con los que llega el combustible a esta etapa. El combustible sigue su camino hasta llegar a la etapa de alta presión de la bomba y después hasta la unidad de control de combustible, este componente cuenta con diversos sensores que son los encargados de verificar la temperatura y la presión.

El fluido sigue su recorrido pasando primero por el transmisor de flujo y por el intercambiador de calor de aceite y combustible, después de esto pasa por la válvula de

presurización y descarga la cual se encarga de dividir el flujo en los colectores del inyector. A través del colector primario fluye el combustible cuando el motor opera a velocidades bajas o de arranque.

El colector secundario es por donde fluye la mayor parte del combustible. Finalmente, el combustible pasa a los inyectores, que es donde el combustible se pulveriza para llegar a la cámara de combustión y para ser posteriormente quemado (Rivas, 2003). En la Fig. 8 se puede observar el típico sistema de combustible de un motor turbofan.

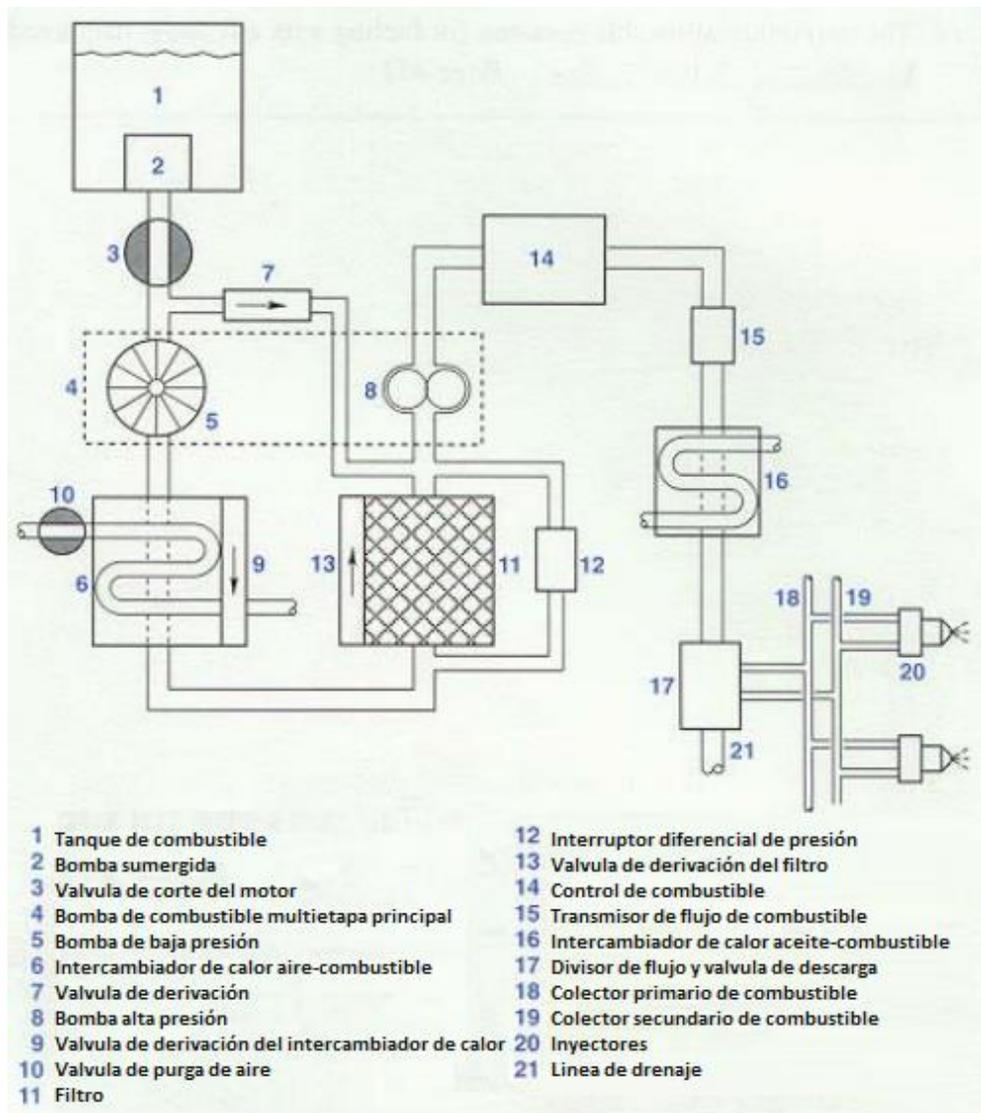


Fig. 8 Sistema de combustible de un motor turbofan (Rivas, 2003).

3.5 Inyectores

Los inyectores de un motor a reacción son el último paso del sistema de combustible del motor, son los encargados de introducir una cantidad determinada de combustible a la cámara de combustión, esto lo hacen atomizando el combustible de manera que este se mezcle con el aire, el chorro que sale de los inyectores es de forma cónica y su movimiento es helicoidal, la presión de salida del combustible puede oscilar entre 30 y 70 kg/cm², esto dependiendo del fabricante (Tarifa, 1951).

Tipos de inyectores

En la industria aeronáutica existen dos tipos de inyectores, los de atomización y los de vaporización. Los más utilizados en la aviación son los de atomización, los cuales se dividen en dos tipos, los de composición *simplex* y los de composición *dúplex* (Rivas, 2003).

Inyectores simplex

Este tipo de inyector fue uno de los primeros utilizados con éxito en los motores a reacción. Va roscado directamente al colector de combustible en la cámara de combustión, una de sus características principales es que cuenta con un solo orificio que es por donde el combustible sale atomizado de manera cónica por medio de gotas muy finas (Rivas, 2003). Operan de mejor manera a presiones altas, pero una de sus más grandes desventajas es que no funcionan de manera correcta a presiones bajas (Sánchez & Velasteguí, 2018). A continuación, en la Fig. 9 se puede observar las partes de un inyector tipo simplex (Rivas, 2003).

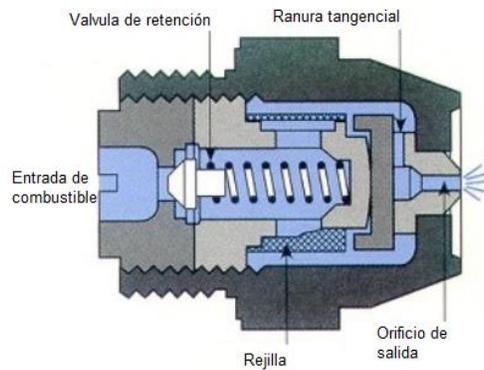


Fig. 9 Inyector simplex (Rivas, 2003).

Inyectores dúplex

El inyector dúplex se clasifica dependiendo del tipo de colector que tiene.

Inyectores dúplex de un solo colector

El combustible llega a este tipo de inyector a través de un colector. Cuentan con una válvula difusora, la cual se encarga de permitir que el combustible se pulverice desde el orificio central a presiones bajas. El combustible que sale por este orificio se usa para el arrancar el motor (Sánchez & Velasteguí, 2018). Cuando la unidad de control de combustible calibra la suficiente presión abre el difusor de flujo y es ahí donde permite el paso de combustible por medio del segundo orificio (Rivas, 2003). En la Fig. 10 se pueden observar las partes de un inyector dúplex con un solo colector (Sánchez & Velasteguí, 2018).

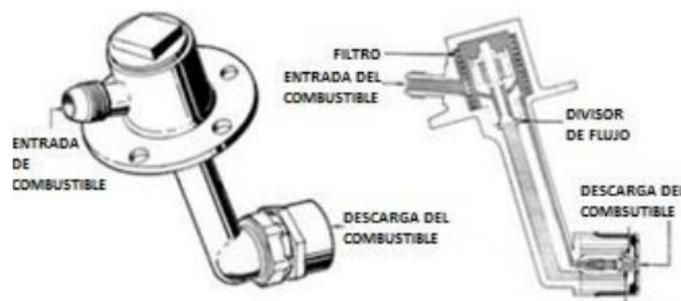


Fig. 10 Inyector tipo dúplex con un solo colector (Sánchez & Velasteguí, 2018).

Inyectores dúplex de doble colector

Este tipo de inyector se caracteriza por contar con dos entradas independientes por donde fluyen el combustible primario y secundario. Cuando se habla de arranque y condiciones de necesidad de bajo flujo, la unidad de control de combustible incrementa la presión lo suficiente para que el combustible primario salga con un espectro de pulverización ancho (Sánchez & Velasteguí, 2018). Ya cuando se realiza un incremento en la velocidad, la presión aumenta, generando que la válvula se abra aún más, permitiendo que el combustible también fluya por medio del colector secundario, el flujo que proveniente del colector secundario rodea al del colector primario. En el inyector se encuentran el orificio por donde sale el flujo primario, que es el del centro, y orificios más pequeños alrededor de este que generan un chorro cónico (Rivas, 2003). A continuación, en la Fig. 11 se pueden observar las partes correspondientes a un inyector dúplex con doble colector (Rivas, 2003).

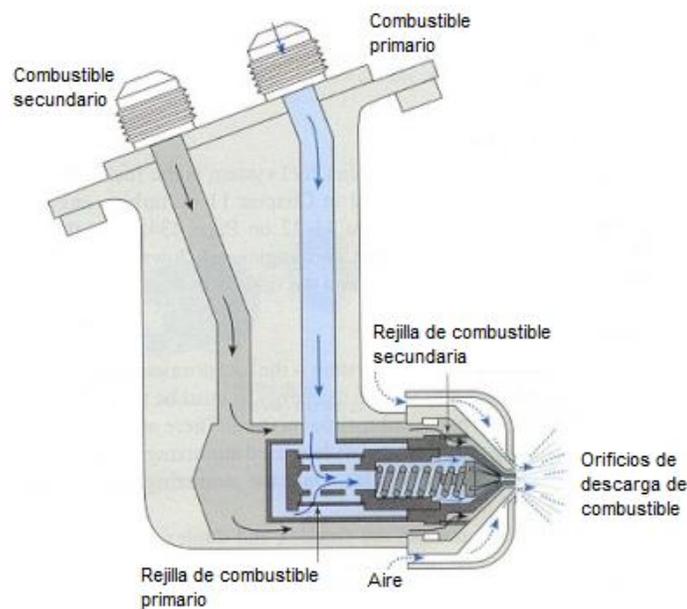


Fig. 11 Inyector dúplex con doble colector (Rivas, 2003).

3.6 Parámetros de operación de los inyectores

Los parámetros de operación son aquellos que se evalúan durante una inspección, permiten estimar el estado y funcionamiento del inyector. Estos pueden ser clasificados en (Sánchez & Velasteguí, 2018):

- Calidad de aspersión (ángulo de aspersión y pulverización)
- Aristas
- Presión de salida del combustible

Defectos de pulverización

Los defectos de atomización se pueden clasificar en diversos tipos como se puede evidenciar en la Fig. 12 (Sánchez & Velasteguí, 2018).

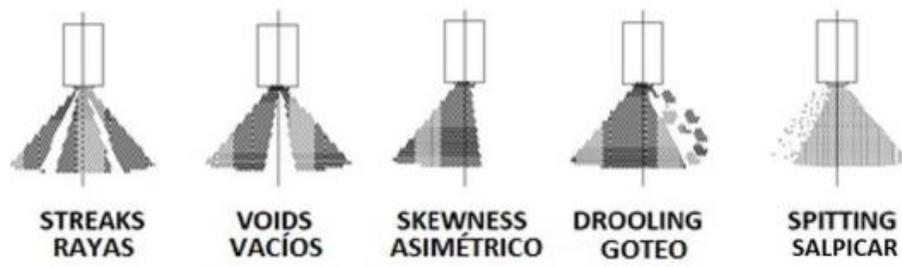


Fig. 12 Defectos de atomización (Sánchez & Velasteguí, 2018)

Los defectos de atomización son aquellos que se generan en el cono de aspersión con la salida de flujo del inyector, se pueden evidenciar durante el proceso de inspección en los inyectores (AviationPros, 2007).

Una de las variaciones más comunes es el streaks, ocurre cuando se forman rayas más oscuras o claras durante la atomización provocadas por la variación en el caudal del flujo que sale por el inyector. Por otro lado, están los voids o vacíos, que son espacios que aparecen en el cono de atomización. La asimetría en la pulverización es un defecto conocido

como skewness, este hace referencia cuando el cono de atomización no está centrado o cuando la atomización es mayor por uno de los lados del cono. El defecto del goteo es aquel que ocurre cuando el combustible no es atomizado de manera correcta, por lo que empiezan a salir gotas de gran tamaño, estas suelen estar en la cara del inyector. Cuando la cantidad de combustible que sale sin atomizarse de manera correcta es mayor, el defecto es conocido como spitting, este defecto puede ser visible mayormente en la parte inferior del cono de atomización (Sánchez & Velasteguí, 2018).

Impacto de los parámetros de operación de los inyectores en el motor

Los parámetros de operación como lo son el ángulo de aspersion, la presión y la pulverización de combustible tienen un gran impacto en el funcionamiento del motor a reacción.

El ángulo de aspersion tiene una gran influencia sobre cómo se genera la mezcla de aire-combustible en la cámara de combustión, en casos de obstrucciones del orificio del inyector, este parámetro se puede ver afectado, esto dentro de un motor a reacción ocasionaría que el combustible no se mezcle en su totalidad con el aire que ingresa a la cámara de combustión, generando que la combustión sea insuficiente (Vergel, Rojas, & Orjuela, 2021). Así mismo la saturación del combustible en la cámara de combustión ocasiona que el combustible choque con las superficies frías del motor, generando que exista una reducción en las tasas de mezcla del combustible y aumenten de esta manera las emisiones de partículas que no han sido quemadas o que han sido parcialmente quemadas, esto genera que durante el proceso de combustión haya una mala utilización del aire, ya que este no entraría en contacto con el combustible, además afecta de manera directa en las propiedades del combustible y en las condiciones ambientales en donde se inyecta (Salazar, 2018).

Algunos de los aspectos que representan un mayor impacto en el sistema de inyección de combustible es la presión de salida del inyector a la cámara de combustión, debido a que afecta de manera directa el funcionamiento del motor, este aspecto tiene un gran impacto en la creación de la mezcla de aire-combustible, ya que entre mayor sea la presión con la que el combustible se inyecta, la combustión se generará con mayor frecuencia y de esta manera este proceso será más eficiente (Vergel, Rojas, & Orjuela, 2021). Adicionalmente, la inyección de presión de combustible correcta permite que se corrija la atomización y se evite la presencia de los defectos de atomización, así mismo, las variaciones en la presión de inyección de combustible generan una falla o daño en los diferentes componentes que constituyan el sistema de inyección de combustible, en el caso de los inyectores, ocasionarían una obstrucción ocasionando una serie de averías en los diferentes parámetros de operación de los inyectores como lo es el ángulo de aspersion (Salazar, 2018).

Por otro lado, la temperatura está directamente relacionada con la viscosidad y la densidad del combustible y esta tiene un impacto en el funcionamiento del motor. La viscosidad por un lado afecta las propiedades del combustible y con esto diferentes coeficientes en el sistema de inyección como lo es el coeficiente de descarga, de esta manera la densidad afecta de manera directa el flujo másico en el sistema de inyección de combustible, también, en el proceso de pulverización de combustible afecta el tamaño de la gota, ocasionando deficiencias en la pulverización del combustible en la cámara de combustión. Además de esto, algunos parámetros de operación de los inyectores tales como el ángulo de aspersion se ven afectado gracias a la viscosidad y la densidad del combustible, con el aumento de viscosidad el ángulo de apertura es menor, pero por el contrario, si la densidad del combustible aumenta el ángulo de apertura es proporcional (Vergel, Rojas, & Orjuela,

2021).

Finalmente, los defectos de atomización en la inyección de combustible que son generados por averías, daños u obstrucciones en los inyectores tienen un gran impacto en la eficiencia de la combustión. Cuando la pulverización del combustible se genera de manera eficiente y las gotas que entran a la cámara de combustión para mezclarse con el aire son pequeñas, generan que la combustión sea más completa (Vergel, Rojas, & Orjuela, 2021). Sin embargo cuando el inyector no se encuentra en las mejores condiciones, aparece uno de los defectos de atomización más conocidos, el goteo, este ocasiona que ocurra un mayor consumo de combustible (RACE, 2021).

Capítulo 4

Metodología aplicada

Las metodologías aplicadas para el desarrollo del diseño conceptual del banco de pruebas son la metodología analítica y la metodología lógica. La metodología analítica consiste en desglosar una idea u problema general en partes con el fin de analizar la idea de una forma más detallada por medio de pruebas para validarla con un razonamiento crítico. Se caracteriza por incluir el uso de artículos de investigación, encuestas, compilación de datos y otros hechos importantes (Ortega C. , 2023). Por otro lado, está la metodología lógica, la cual tiene como objetivo tomar un problema desde su conceptualización, diseño, planificación y ejecución hasta su evaluación final (Blog, 2017).

El diseño en ingeniería es un proceso sistemático, creativo y flexible que combina los procesos de generación, evaluación y puesta a prueba de diversas características para crear productos. Al momento de desarrollar el diseño de un producto es importante hacer uso de metodologías de diseño de ingeniería que se logren adaptar a las necesidades del diseñador. Existen diferentes metodologías, que cuentan con funciones, procesos y técnicas específicas. Algunas de las más utilizadas son: Metodología de Krick, Earle, Dieter y de Peña. A continuación, en la Tabla 1 se puede observar una comparación entre cada una de estas metodologías, así mismo, sus características, ventajas y desventajas.

Tabla 1 Comparación entre metodologías

Método	Características	Técnicas	Ventajas	Desventajas
Krick	<p>Desarrolla 5 pasos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Formulación del problema. 2. Análisis del problema. 3. Búsqueda de soluciones posibles. 4. Decisión. 5. Especificación 	<ul style="list-style-type: none"> - Tabla de resolución de problemas. - Árbol de problemas 	<p>Se enfoca en ofrecer diversas de soluciones para el problema planteado, sus pasos son simples, lógicos y de criterio personal.</p>	<p>Pocas técnicas de creatividad.</p>
Earle	<p>Desarrolla 5 etapas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Identificación del problema. 2. Ideas preliminares. 3. Perfeccionamiento del problema. 4. Análisis. 5. Decisión. 6. Realización. 	<ul style="list-style-type: none"> -Mapa mental. - Lluvia de ideas. - Tabla de mercadotecnia. 	<p>Su enfoque es muy empresarial, brindando estudios y técnicas de mercadeo, logrando comprender si el producto es bueno o no para el mercado actual.</p>	<p>No cuenta con una etapa de evaluación final</p>
Dieter	<p>Sus fases son:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Definición del problema. 2. Recopilación de información. 3. Generación de conceptos. 4. Evaluación y selección de conceptos. 	<ul style="list-style-type: none"> -Diagrama de flujo 	<p>Ofrece un análisis del problema y desarrollo muy sencillo, sus pasos simples y su técnica de creatividad permiten que se tenga un resultado en el menor tiempo posible.</p>	<p>Carece de técnicas, al ser tan simple no permite mostrar un análisis extenso.</p>
Peña	<p>Se despliega en diferentes pasos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Requerimientos del cliente. 2. Análisis funcional. 3. Proceso creativo y generación de conceptos. 4. Función de la calidad 	<ul style="list-style-type: none"> -Entrevistas. -Encuestas. - Diagrama de la caja gris. -Diagrama de descomposición funcional. - Árboles de clasificación de conceptos -Tablas de combinación. -Casa de la calidad. 	<p>Brinda muchas formas y técnicas de creatividad que ayudan a entender el problema de una manera más simple. Ofrece el uso de herramientas de evaluación de conceptos lo cual permite seleccionar el concepto dominante.</p>	<p>Al ofrecer diferentes técnicas y al tener tantos pasos lógicos y de análisis es demorado, requiere de bastante tiempo para su ejecución.</p>

Los diferentes métodos expuestos en la Tabla 1 cuentan con distintas características, técnicas, ventajas y desventajas, esto ocasiona que cada una tenga una función en específico y que se adapte a las múltiples necesidades de los diseñadores. Por un lado, el método de Krick plantea diversas soluciones a una problemática en común, lo que para el desarrollo de este diseño conceptual sería un punto favorable; sin embargo, cuenta con pocas técnicas y herramientas, lo cual dificulta el proceso creativo y de investigación, una desventaja notable con las otras metodologías.

El método de Earle, tiene un enfoque más detallado y menos conceptual, utilizando técnicas más mercantiles y de estudios para productos nuevos en el mercado, para el caso de este documento esto no genera ningún tipo de beneficio durante el proceso de diseño. Por otro lado, su desventaja más grande es que no cuenta con una etapa en donde se evalué la decisión final, sin poder definir una solución exacta a las necesidades del cliente. El método de Dieter, es el más sencillo de todos, plantea una estructura simple, de poco análisis, ya que su enfoque es dar una solución en el menor tiempo posible, pero al no contar con diversas herramientas y técnicas, hacen del diseño conceptual poco innovador y sin procesos creativos que logren satisfacer los requerimientos de los clientes.

Finalmente se encuentra el método de Peña, presenta una estructura más compleja y extensa, generando que el proceso de diseño conceptual sea una etapa de largo plazo, por otra parte, su más grande ventaja es contar con diversas técnicas de diseño, esto genera que el proceso creativo sea más sencillo, al poder brindar un análisis más extenso; esta metodología se caracteriza en tener como base los requerimientos del cliente, ocasionando que sea más sencillo generar conceptos.

Teniendo en cuenta las ventajas y desventajas mencionadas anteriormente, se selecciona como método de diseño para este documento, la metodología planteada por Peña, esto debido a que muestra un mayor análisis y mayor eficiencia, ya que descompone poco a poco el problema, hallando la solución precisa de diseño, gracias a todos sus métodos de estudio. Aunque los otros métodos brindan pasos simples, técnicas de mercado y estudios muy significativos para la solución exacta del problema, carecen de herramientas y métodos de evaluación que permitan visualizar de forma clara la solución y cumplimiento de los requerimientos del cliente.

Después de comparar y seleccionar la metodología más apropiada para realizar el diseño conceptual del banco de pruebas para inyectores, se procede a organizar de manera secuencial el paso a paso del desarrollo del proyecto, el cual comprende desde la identificación del problema hasta la selección y desarrollo final del diseño conceptual del banco de pruebas. Para comprender la estructuración de cada uno de los pasos establecidos para el diseño, se realizó un diagrama de flujo con el fin de estructurar el proceso del desarrollo del diseño.

El proyecto se divide en 6 etapas, la primera etapa de este proyecto comprende la identificación del problema, durante esta etapa, se realizó el planteamiento inicial del documento, en este se definieron sus objetivos, alcances, limitaciones y justificación del proyecto. La segunda etapa está compuesta por toda la investigación teórica y documental, en donde se hizo uso de diversas fuentes para el desarrollo del diseño conceptual del banco de pruebas, abarcan desde la definición de un motor a reacción hasta los defectos de pulverización del inyector. Así mismo se realizó una recopilación y análisis de diferentes investigaciones enfocadas en el desarrollo y estudio de bancos de pruebas para inyectores.

Por medio de la tercera etapa se realizó la comparación de diferentes metodologías, en cada una de estas se evaluaron las características, técnicas, ventajas y desventajas de cada una de estas, seguido de esto se seleccionó la metodología más apropiada para el desarrollo del diseño conceptual. La cuarta etapa hace referencia al planteamiento del paso a paso con el que se desarrollara el diseño conceptual, en esta se planteó de qué manera y como se van a ejecutar las tareas que corresponden al diseño conceptual. Durante la quinta etapa se establece el desarrollo de la encuesta, la cual se realizaron encuestas a personal técnico especializado y a los docentes de la Fundación Universitaria los Libertadores de donde se obtendrán las variables de operación para que el banco de pruebas pueda cumplir con los requerimientos técnicos y funcionales requeridos para su diseño.

En la sexta y última etapa es en la que se realiza el diseño y análisis final del banco de pruebas de inyectores para motores a reacción, esto se hará por medio de distintas tareas, primero se realizara el análisis funcional del banco, en este paso se establecen las funciones que debe tener cada uno de los aspectos seleccionados de la encuesta, seguido de esto se realiza la generación de conceptos, en esta se tiene en cuenta las funciones establecidas para cada requerimiento del cliente y se establece un instrumento que pueda cumplir con estas necesidades, después de esto se genera la creación de conceptos globales, en este paso por medio de un proceso creativo se realiza la creación de diversos conceptos que cumplan con las características y necesidades operativas, cada uno de estos conceptos se evaluarán por medio de la casa de la calidad con el fin de obtener el concepto global final que cumpla con cada uno de los requerimientos planteados en las encuestas.

El diagrama de flujo de este proyecto se podrá observar en Fig. 13.

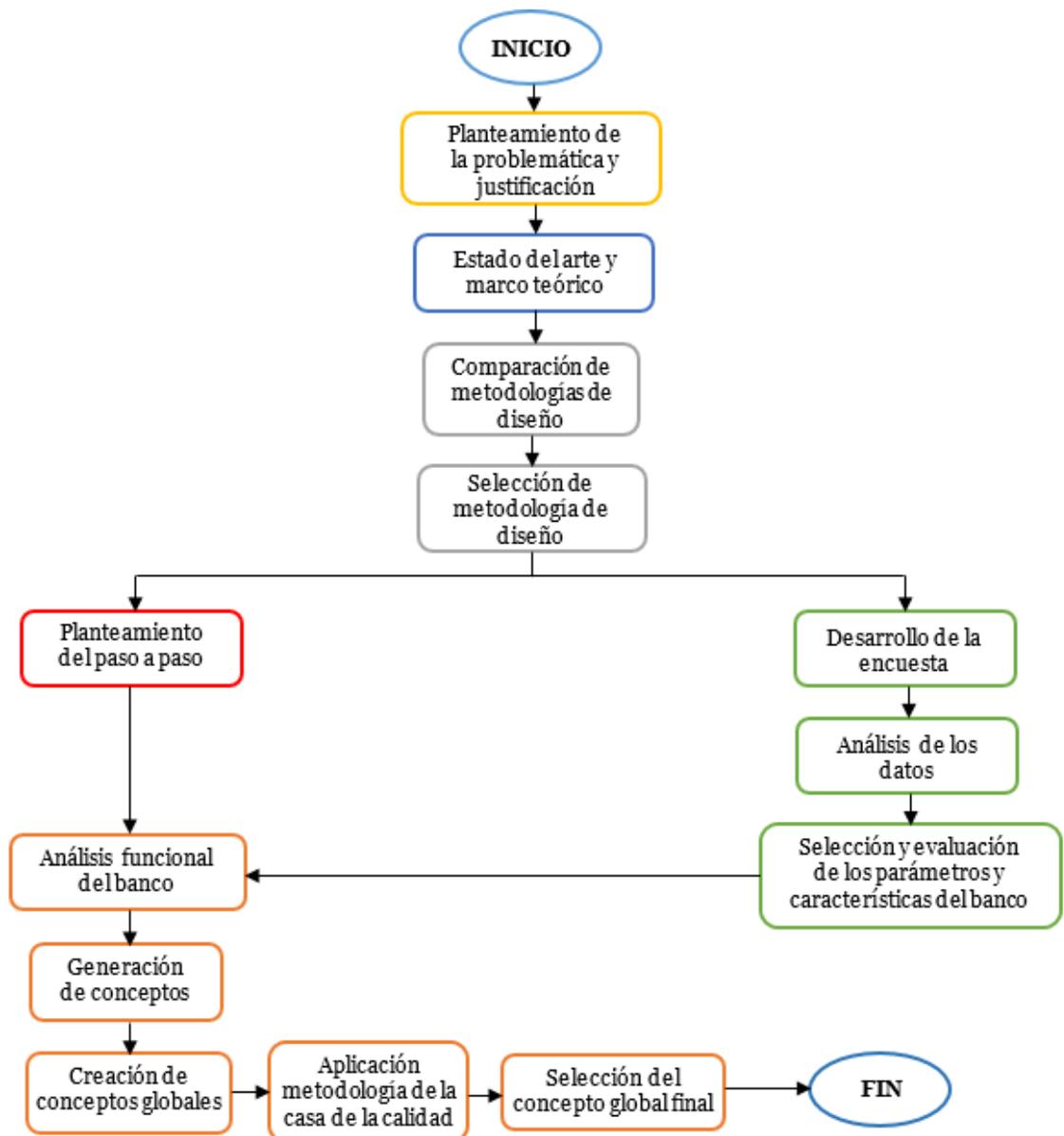


Fig. 13 Metodología del proyecto

Capítulo 5

Diseño conceptual

En el desarrollo del diseño conceptual del banco de pruebas de inyectores para motores a reacción, se utilizó como fuente principal el libro Metodología de diseño para ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia, dentro del cual se establecen diversas etapas que abarcan desde la introducción al diseño de productos hasta la finalización del proceso de diseño (Peña, 2011). Cabe aclarar que en este documento solo abarcara la fase 1 y fase 2 del libro, las cuales hacen énfasis, en el planteamiento del problema, requerimientos del cliente, despliegue función de calidad, análisis conceptual, generación de conceptos y selección de concepto global.

El libro Metodología de diseño para ingeniería recomienda que es necesario definir ciertos aspectos antes de comenzar con el desarrollo del diseño, como lo son:

- Necesidad del producto
- El mercado objetivo
- Tipo de clientes
- Requerimientos del cliente

La necesidad del producto se puede evidenciar en los primeros capítulos de este documento donde se identifica y se menciona en el planteamiento del problema y la justificación del proyecto. En base a lo anterior, el diseño de este banco de pruebas va dirigido a talleres, aerolíneas y universidades que estén interesadas en el mantenimiento un banco de pruebas para inyectores de motores a reacción.

Luego de comprender el mercado objetivo, se analiza que los clientes potenciales y a los cuales está enfocado el desarrollo de este proyecto son: los técnicos de mantenimiento, los operadores de aeronaves, docentes y estudiantes de las entidades educativas.

Finalmente, se encuentran los requerimientos del cliente. La metodología del diseño establece que hay diversas formas de determinar los requerimientos del cliente, dentro de los cuales nombra; encuestas, entrevistas, grupos de enfoque, estudios de mercado y análisis de tendencias. Se determinó que la fuente más apropiada para seleccionar los requerimientos del banco de pruebas según el cliente fue por medio del desarrollo de una encuesta, debido a que los resultados se obtienen en menor tiempo y se gastan menos recursos en comparación con los demás formas, esto debido a que se incurre en inversión de tiempos y gastos adicionales, además, el desarrollo de una encuesta brinda una comprensión más precisa e imparcial, ya que se cuenta con distintas ideas y puntos de vista, ofreciendo muestras globales para el análisis estadístico, muestras que no brindan fácilmente las otras formas de identificación de requerimientos.

5.1 Proceso para identificar los requerimientos del cliente

El libro Metodología de diseño para ingeniería plantea un procedimiento para identificar los requerimientos del cliente, habla desde la recopilación de datos hasta el punto de orientar los resultados hacia el proceso del diseño. Para el análisis de esta encuesta se tomará como referencia el proceso descrito en la Fig. 14.

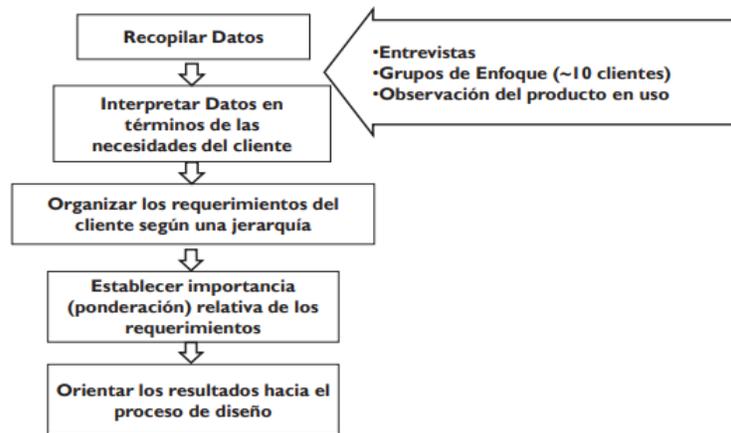


Fig. 14 Proceso para identificar los requerimientos del cliente (Peña, 2011)

En la Fig. 14 el proceso para realizar la identificación de los requerimientos del cliente empieza con la selección de la fuente más adecuada para poder realizar la recopilación de los datos, una vez se obtienen los datos de la encuesta, se procede a realizar la interpretación y posterior análisis de los requerimientos establecidos, cada una de las características evaluadas se organizan de manera jerárquica con el fin de seleccionar los aspectos que cuentan con una mayor importancia para el cliente, posteriormente los resultados son orientados al proceso de diseño.

5.2 Recopilación e interpretación de datos

El desarrollo de esta encuesta fue dirigida a los clientes de este diseño, las 13 personas encuestadas cuentan con diversos conocimientos en el sector aeronáutico, dentro de los cuales hay técnicos e ingenieros que dieron un enfoque más especializado en el mercado nacional y así mismo, docentes pertenecientes a la Fundación Universitaria Los Libertadores, los cuales pudieron ofrecer una perspectiva más investigativa e innovadora para el diseño. Dentro de la encuesta se evaluaron las características, requerimientos de construcción y parámetros de operación del banco en donde los encuestados pudieron evaluar la

importancia de cada una de las variables establecidas. Esta importancia fue medida de 1 a 5. En donde 5 era la importancia más alta y 1 la más baja, la encuesta puede ser evidenciada en el Anexo A.

Los datos obtenidos en la encuesta se clasificarán dependiendo de la importancia establecida por los clientes, se tendrán en cuenta para el diseño únicamente las características y requerimientos que tengan una calificación superior al 20%.

Las características del banco fueron evaluadas mediante la pregunta 1: ¿Qué características considera que son importantes para realizar el diseño de un banco de pruebas de inyectores para motores a reacción? Los datos obtenidos por medio de la encuesta se pueden observar en la Fig. 15.

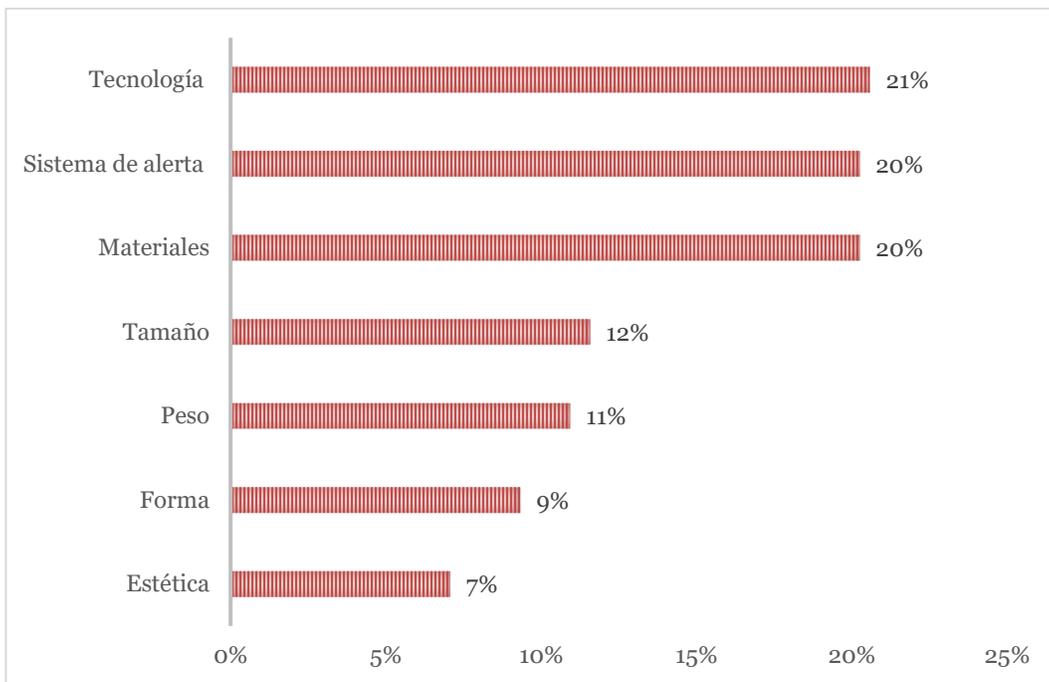


Fig. 15 Características del banco de pruebas.

En la Fig. 15 se puede evidenciar que la tecnología es el requerimiento más importante para el cliente, dando entender que es necesario el uso de equipos, dispositivos y sistemas avanzados que logren cumplir este requerimiento en su totalidad. De igual manera se puede

visualizar la relación que tiene el sistema de alerta con los materiales, se logra analizar que el cliente prioriza la construcción, vida útil del banco de pruebas, prevención de accidentes e incendios y el uso de conjuntos de instrumentos que faciliten la operación del banco de pruebas. Las demás características no serán tomadas en consideración debido a la baja calificación de importancia establecida por los clientes.

Los requerimientos de construcción del banco fueron establecidos mediante la pregunta 2: Califique de 1 a 5 la importancia de los siguientes requerimientos de construcción para el banco de pruebas de inyectores para motores a reacción. Se pueden ver mediante la Fig. 16.

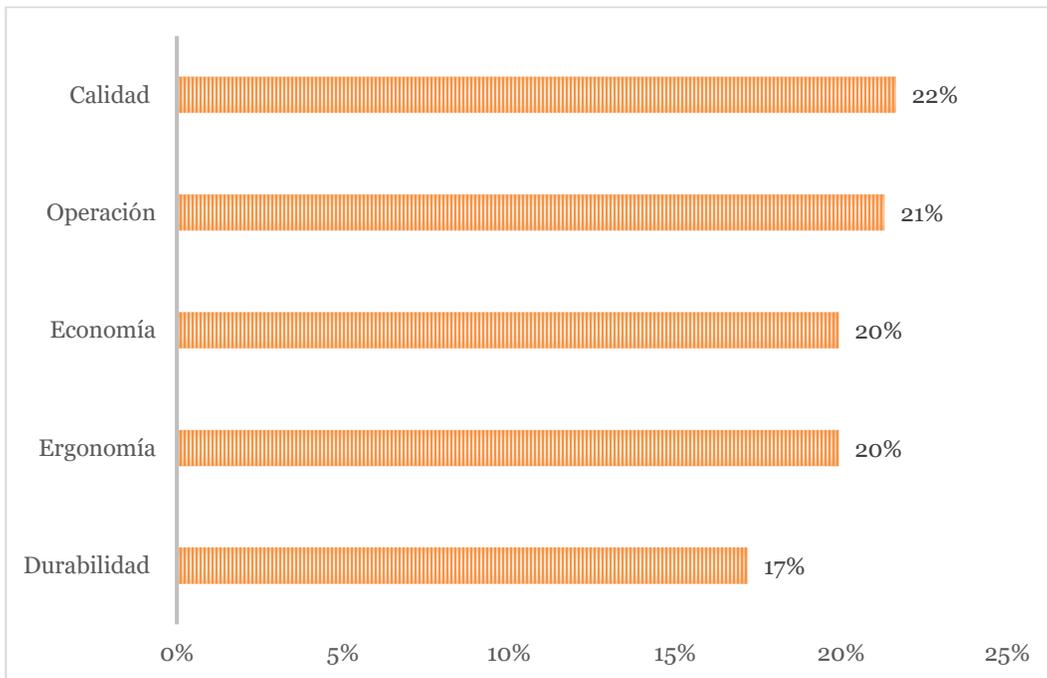


Fig. 16 Requerimientos de construcción del banco de pruebas

Como se puede observar en la Fig. 16, para el cliente es necesario que el banco de pruebas cuente con condiciones óptimas de comodidad y seguridad para el operador, que contribuya con sistemas ergonómicos, para que su operación sea sencilla e intuitiva, pero que este conjunto de instrumentos, equipos y sistemas sean de fácil adquisición y económicos. Finalmente se analiza que el cliente busca que el banco logre cumplir con todos los requisitos

dejando como principal requerimiento de construcción la calidad del producto.

La tercera pregunta: ¿Qué parámetros considera que debe de evaluar el banco de pruebas para inyectores de un motor a reacción para que pueda cumplir con las necesidades técnicas y de mantenimiento? tiene como fin establecer los parámetros de operación del banco, los resultados de esta pregunta se pueden ver en la Fig. 17.

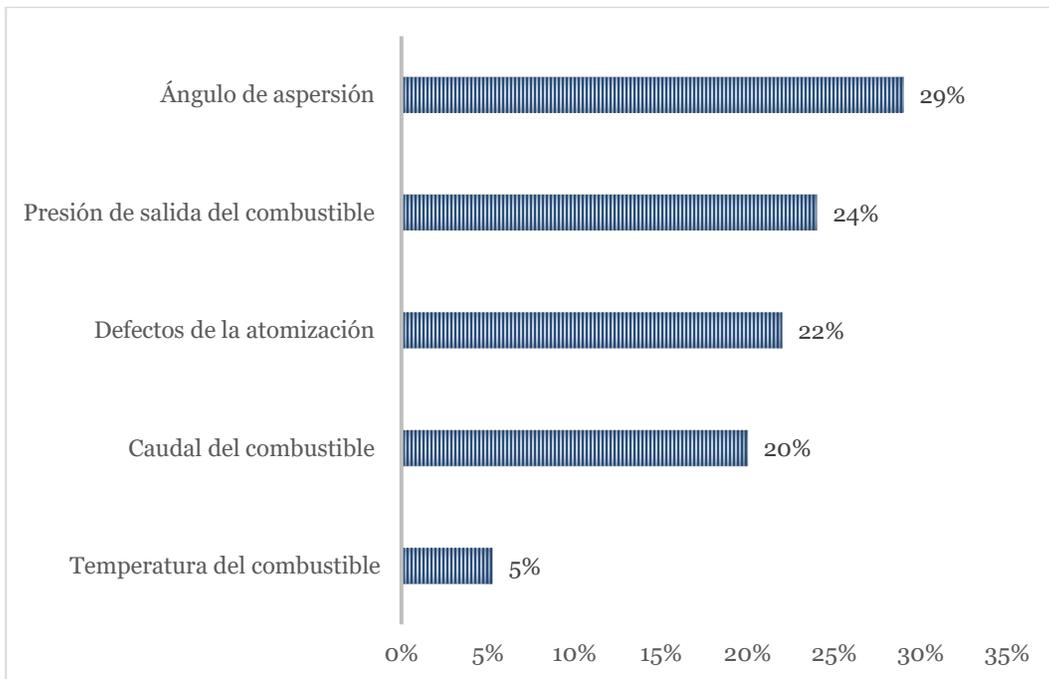


Fig. 17 Parámetros de operación del banco de pruebas

Como resultado de esta pregunta se obtuvo que la centralización de los clientes es buscar que el banco este en la capacidad de evaluar el ángulo de aspersion, considerándolo el parámetro más importante para tener en cuenta al momento de realizar la inspección de los inyectores. Los clientes en su mayoría estuvieron de acuerdo y resaltan la importancia de la presión de salida del combustible, defectos de atomización y el caudal de combustible como parámetros esenciales de este banco de pruebas. Por último, se concluye que los parámetros de operación del banco importantes para el cliente coinciden con los parámetros de operación de los inyectores que tienen mayor impacto en el motor, exceptuando la temperatura del

combustible, dado que tan solo el 5% de los 13 encuestados tomo en cuenta ese parámetro como importante, por tal motivo no se realizara el análisis de conceptos para este parámetro. La pregunta 4: ¿Qué otro aspecto, parámetro o característica considera usted necesario para el diseño de un banco de pruebas de inyectores para motores a reacción? Y pregunta 5: ¿Qué recomendaciones y puntos de mejora tendría usted en base a su experiencia para realizar el diseño de banco un banco de pruebas de inyectores para motores a reacción? de la encuesta, eran de respuesta abierta, en estas se les solicito a los clientes algún aspecto de mejora o recomendación que tuvieran para poder realizar el diseño del banco. Los resultados obtenidos de estas preguntas serán tenidos en cuenta durante el desarrollo del diseño conceptual del banco. Las respuestas que serán seleccionadas para considerar son las siguientes:

- Posición de los inyectores
- Sistema de digitalización para almacenamiento de datos
- Sistema modular para adaptación de los diferentes tipos de inyectores
- Calibración de los inyectores después de la prueba
- La iluminación para las pruebas
- Tener en cuenta los problemas de banco previamente diseñados
- El banco debe simular condiciones de vuelo reales y funcionamiento del motor

5.3 Requerimientos del cliente según su importancia y jerarquía

Siguiendo con el procedimiento para identificar los requerimientos del cliente, es necesario establecer la importancia y jerarquía de cada requerimiento, organizándolos de manera clara para poder desarrollar la función de calidad, que se explica más adelante. Teniendo en

cuenta la interpretación de datos de la encuesta anteriormente analizada, la jerarquía de los requerimientos del cliente en este documento se estableció de la siguiente manera:

- Los requerimientos que tuvieron una calificación entre el rango 29%-24% tendrán una jerarquía de 5.
- Los requerimientos del cliente con una calificación en el rango de 23%-21% tendrán una jerarquía de 4.
- Los requerimientos del cliente con una calificación igual o menor al 20% tendrán una jerarquía de 3.

Teniendo en cuenta los resultados de la encuesta en donde se seleccionaron los requerimientos del cliente, se establece una importancia relativa a cada uno de ellos. La jerarquía asignada se puede ver en la Tabla 2.

Tabla 2 Organización jerárquica de los requerimientos del cliente

REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE	PORCENTAJE	JERARQUÍA E IMPORTANCIA
Ángulo de aspersión	29%	5
Presión de salida del combustible	24%	5
Defectos de atomización	22%	4
Calidad	22%	4
Tecnología	21%	4
Operación	21%	4
Sistema de alerta	20%	3
Materiales	20%	3
Economía	20%	3
Ergonomía	20%	3
Caudal del combustible	20%	3

En la Tabla 2 se observa que los parámetros operativos, ángulo de aspersión, presión de salida de combustible y defectos de atomización, son los requerimientos más importantes a tener

en cuenta para el desarrollo conceptual del banco de pruebas, ya que su puntuación ante los clientes demuestra que para realizar inspecciones debidamente en los inyectores, es muy importante caracterizar el banco con componentes, instrumentos y herramientas que faciliten y que indiquen los rangos de operación de los parámetros anteriormente nombrados. Si bien, estos 3 requisitos son los más importantes, todos los requerimientos serán tenidos en cuenta en el proceso del despliegue funcional, bajo la herramienta de la casa de la calidad, cuya calificación de importancia y o jerarquía, van a ayudar a la calificación de procesos técnicos y características, para comprender de una mejor manera lo que solicita el cliente, dándole una solución parcial al problema planteado.

5.4 Orientación de los resultados al proceso de diseño conceptual

Finalmente, para lograr satisfacer los requerimientos del cliente, es importante entender uno a uno, de esta manera se podrá obtener la necesidad exacta del cliente. El libro propone un análisis inicial donde se dividen los requerimientos iniciales en 5 requisitos, los cuales son:

- Requisitos de seguridad
- Requisitos de funcionalidad
- Requisitos de apariencia
- Requisitos de manufactura
- Requisitos de costos

Requisitos de seguridad:

Se identifican por brindarle respectivas herramientas de apoyo al operador de un equipo, maquina o elemento, como pueden ser: señalizaciones, sensor de sirenas, alarmas, avisos y más (Taco, 2015). Para este diseño se va a considerar el sistema de alerta como un requisito

de seguridad.

Requisitos de funcionalidad

Es una declaración de cómo debe comportarse un producto o sistema, se pueden detectar como: rangos de operación, cálculos, detalles técnicos, manipulación de datos y otras funcionalidades específicas que deba cumplir el sistema (Visure, 2022). Se va a considerar el ángulo de aspersión, la presión de salida de combustible, los defectos de atomización, el caudal de combustible, y operación como requisitos de funcionalidad de este diseño. Para poder comprender la función de cada parámetro operativo y así mismo lograr satisfacer las necesidades iniciales de diseño, se realizó una recolección de información en diferentes empresas del sector aeronáutico que, con su experiencia, se logró obtener rangos de operación de los inyectores de diferentes motores operados en Colombia, se debe tener en cuenta que estos rangos son aproximaciones técnicas, ya que su correcta información se encuentra en manuales del fabricante. A continuación, se puede apreciar en la Tabla 3 los rangos de operación de los inyectores.

Tabla 3 Rangos técnicos de operación de los inyectores

AERONAVE	TIPO DE MOTOR	RANGO DE PRESIÓN FLUJO PRIMARIO (PSI)	RANGO CAUDAL (PPH)	ANGULO DE ASPERSIÓN PRESIONES BAJAS	ANGULO DE ASPERSIÓN PRESIONES ALTAS
PRATT & WHITNEY					
BOEING 727-200	JT8D-17	110-215	7.05-41.8	70°-90°	45°-50°
HAWKER 400A	JT15D-5	98-160	5.01-35.6		
GULFSTREAM G200	PW306A	99.67-187.03	5.32-37.09		
ATR 42	PW100- SERIES	100-190	5.4-38.02		
ATR 72					
CASA C-295					
DASH-8					
EMBRAER EMB 120					
EMBRAER 314	PT6A - SERIES	20-60	1.09-12.3		

BEECHCRAFT T-6					
BASLER BT-67					
BEECHCRAFT 1900					
KING AIR					
EMBRAER 312					
EMBRAER 110					
CESSNA208					
ROLLS-ROYCE					
BOEING 787-8 / BOEING 787-9V	TRENT 1000	120-230	7.23-42.32	70°-90°	45°-50°
EMBRAER ERJ-145	AE 3007	105-210	5.5-40.07		
HONEYWELL					
JETSTREAM 3201	TPE331-12UHR- 702H	100-175	5.45-36.1	70°-90°	45°-50°
LEARJET 45	TFE731-20				
CASA C-212	TPE331-10R-513C				
KING AIR	TPE-331-6-251B				

Como se puede observar en la tabla anterior, los rangos de presión varían entre los 20 psi y los 230 psi. Ahora, se analiza que, los rangos de presión son directamente proporcionales a los rangos de caudal, siendo así que, si la presión disminuye, el caudal lo hará de la misma manera, y si la presión aumenta, igualmente aumentara el caudal, pero el ángulo de aspersion es inversamente proporcional a estos dos parámetros, ya que, si la presión aumenta, el ángulo de aspersion va a tender a disminuir. Estos datos se van a tener en cuenta para el desarrollo de la segunda casa de la calidad.

Requisitos de apariencia

Es considerado un requisito no funcional, y se refiere a los aspectos visuales y atributos de un producto, como tamaño, forma, color, textura, y más (Garcia, 2018). Para este diseño se va a considerar, tecnología, ergonomía y materiales como requisitos de apariencia.

Requisitos de manufactura

Son aspectos que integran todos los recursos de fabricación, ofreciendo información de costos, calidad, herramientas y mano de obra de un producto (Visure, 2022). Se va a considerar calidad como requisito de manufactura.

Requisitos de costos

Es el conjunto de bienes y servicios que se deben consumir para obtener un producto terminado en condiciones de ser vendido o para prestar algún servicio (Pino, 2018). Se va a considerar la economía como requisito de costos. Para brindar un mejor enfoque en tema de costos, se realizará un análisis y se presentará un balance de costos iniciales del diseño conceptual al finalizar este capítulo, luego de obtener un concepto global dominante, solo se tendrá en cuenta los costos de los conceptos generados en el transcurso del diseño conceptual.

5.5 Despliegue función de la calidad

El despliegue función de calidad o QFD (Quality Function Deployment) es un método utilizado en la metodología de diseño para el desarrollo de productos o servicios que interactúa con la voz del cliente y la traduce mediante pasos sucesivos a especificaciones más claras. Como herramienta principal del QFD se encuentra la denominada Matriz de calidad para representar datos e información, permitiendo relacionar la voz del cliente, con requerimientos de componentes, características, procesos de construcción, planes de operación e informes de calidad; la apariencia de esta matriz ha llevado a que se conozca como Casa de la Calidad, esta matriz se puede visualizar a continuación en la Fig. 18 (Peña, 2011).

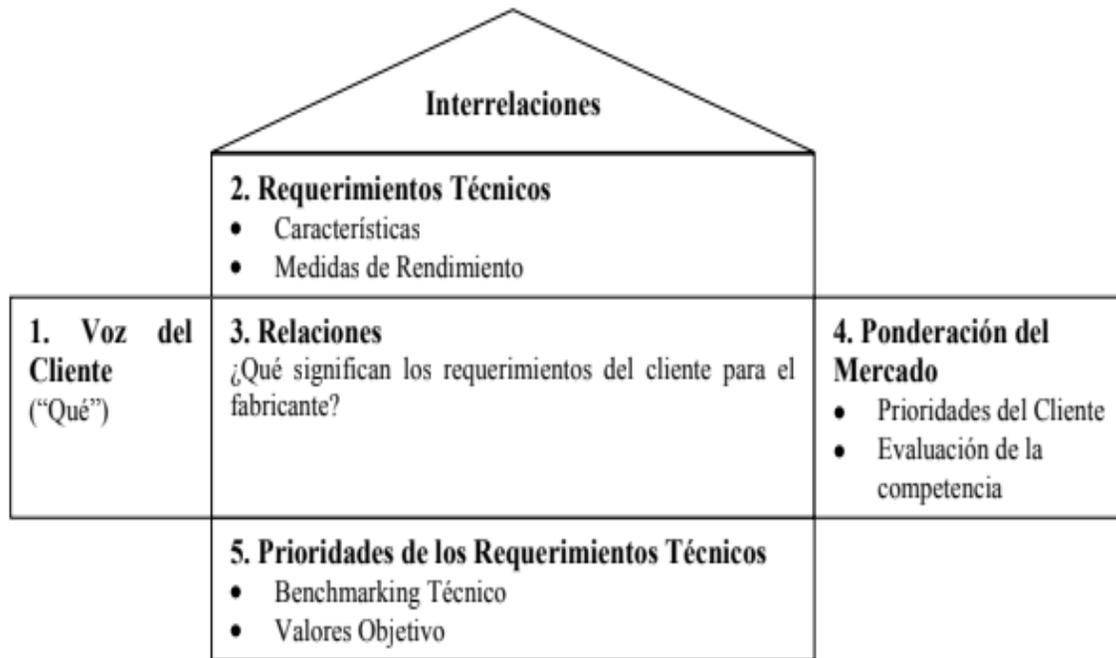


Fig. 18 Módulos principales de la casa de la calidad (Muñoz A. V., 2010)

Como se observa en la Fig. 18 la casa de la calidad cuenta con 6 módulos principales los cuales son:

- **Voz del cliente:** En este primer módulo se relacionan los requerimientos del cliente, previamente identificados y se deben organizar según su importancia y jerarquía (Muñoz A. V., 2010).
- **Requerimientos técnicos:** En este módulo se resalta la importancia de identificar el cómo se va a satisfacer los requerimientos del cliente bajo requisitos de diseño apropiados que cumplan no solo con la necesidad si no con la función adecuada del producto (Muñoz A. V., 2010).
- **Relaciones:** Luego de haber identificado los dos primeros módulos, se tiene el tercer módulo que hace referencia a las relaciones que tiene los requerimientos del cliente con los requerimientos técnicos (Muñoz A. V., 2010). Según la metodología de diseño para ingeniería, las relaciones se identifican de la manera en la que se observa en la

Tabla 4.

Tabla 4 Relación y calificación

SIMBOLO	CALIFICACIÓN	RELACIÓN
●	9	Fuerte
◇	3	Media
○	1	Débil

Como se logra visualizar en la Tabla 4, los requerimientos técnicos que tengan relación fuerte con los requerimientos del cliente tendrán una calificación de 9 y se identificara con un círculo de color negro ●. La relación media se calificará con un 3 y se denotará con un rombo ◇, y finalmente los requerimientos que tengan una relación débil, tendrán una calificación de 1, siendo su símbolo un círculo ○.

Si la relación entre la voz del cliente y los requerimientos técnicos es fuerte, quiere decir que se está teniendo en cuenta requerimientos de diseño ideales para satisfacer al cliente, pero si llega a ser débil, el requerimiento técnico no será de gran ayuda para satisfacer las necesidades del cliente

- **Ponderación del mercado:** Este módulo hace referencia a la competencia de mercado que va tener el producto creado, este módulo es implementado únicamente en la 3 casa de la calidad, para analizar una oportunidad de mejora, antes de realizar el producto final, normalmente, esto se analiza en la última fase de diseño, la cual detallada específicamente estos puntos (Muñoz A. V., 2010).
- **Prioridades de los requerimientos técnicos:** En esta sección se suman los valores obtenidos en el módulo de relaciones y se ordenan los requerimientos técnicos

de manera jerárquica (Muñoz A. V., 2010).

- **Interrelaciones:** Este módulo es el “techo” de esta matriz en este se interactúan todos los requerimientos técnicos y se relacionan unos con los otros, entre mayor relación tengan mayor la calificación, teniendo en cuenta su prioridad, y al final los requerimientos técnicos que tengan la calificación más alta, serán los escogidos para pasar a la siguiente casa de la calidad, y de esta manera cumplir y darle respuesta a la voz del cliente (Muñoz A. V., 2010).

Se debe comprender que para alcanzar el 100% del despliegue funcional es necesario realizar 3 casas de calidad más, permitiendo unir las necesidades del cliente con los requerimientos específicos y poder crear un plan de control de calidad del producto (Muñoz A. V., 2010). Las 4 casas de la calidad se observan en la

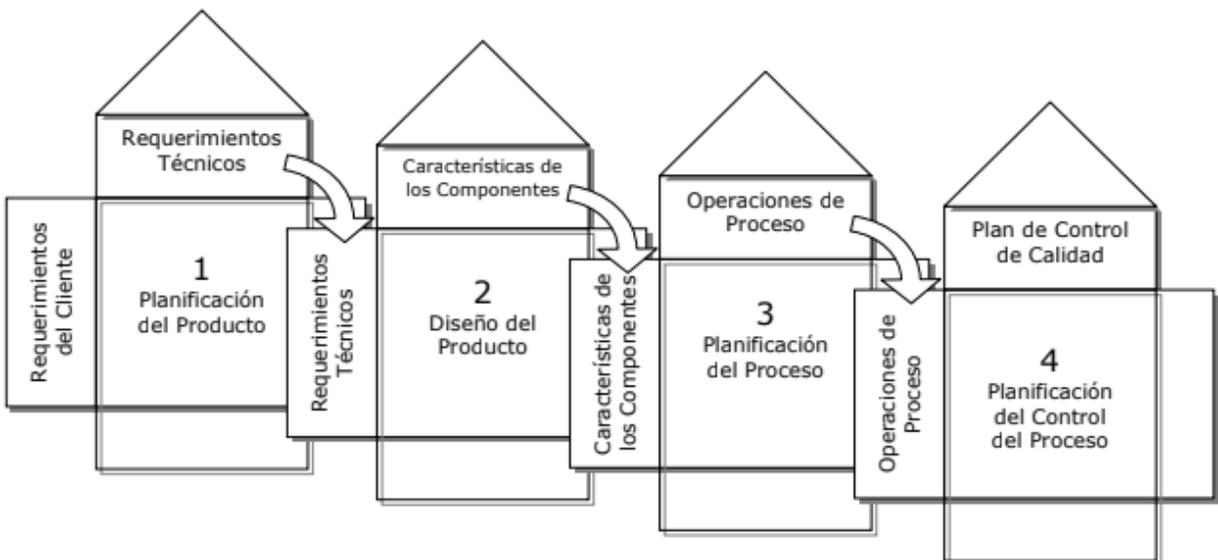


Fig. 19

Fig. 19 Las cuatro casas de la calidad (Peña, 2011)

Así, como se observa en la

Fig. 19, la segunda casa de la calidad a desarrollar debe relacionar los requerimientos técnicos que se determinan en la primera casa, con los requerimientos o características detalladas. Luego de esto, la tercera casa relaciona las características con las operaciones de proceso clave, efectuando ya una transición de lo conceptual a la ejecución del producto; como último, la cuarta casa de la calidad relaciona la parte operativa con los requerimientos específicos de calidad, como los son las pruebas técnicas del producto (Muñoz A. V., 2010). Se debe tener en cuenta que las últimas dos casas de la calidad se manejan cuando el producto ya se encuentra en ejecución, por lo tanto, este al ser un diseño conceptual solo tendrá alcance hasta la segunda casa de la calidad.

5.6 Desarrollo de las casas de la calidad

Casa de la calidad N°1 y 2

La primera casa de la calidad se observa en la Fig. 20 donde se relacionan y se califican los requerimientos del cliente, con los requisitos técnicos, los cuales fueron escogidos y analizados para transformar la voz del cliente en aspectos más simplificados, por ejemplo, se escogió como requisito técnico del ángulo de aspersion y de los defectos de atomización, un sistema fotográfico, ya que este ayudara en las tomas fotográficos y de video, donde se pondrán analizar las imágenes para una correcta inspección de los inyectores; de igual manera con los requisitos técnicos de presión de salida de combustible y caudal de combustible, donde se escogieron aspectos técnicos para satisfacer la necesidad del cliente, como instrumentos capaces y acoplados para poder medir cada uno de estos parámetros anteriormente descritos, todos estos requerimientos técnicos van a brindar un análisis y capacidad de entender que componentes y que se necesita para implementar en el banco de

pruebas, cuyas características cumplan con los requerimientos del cliente.

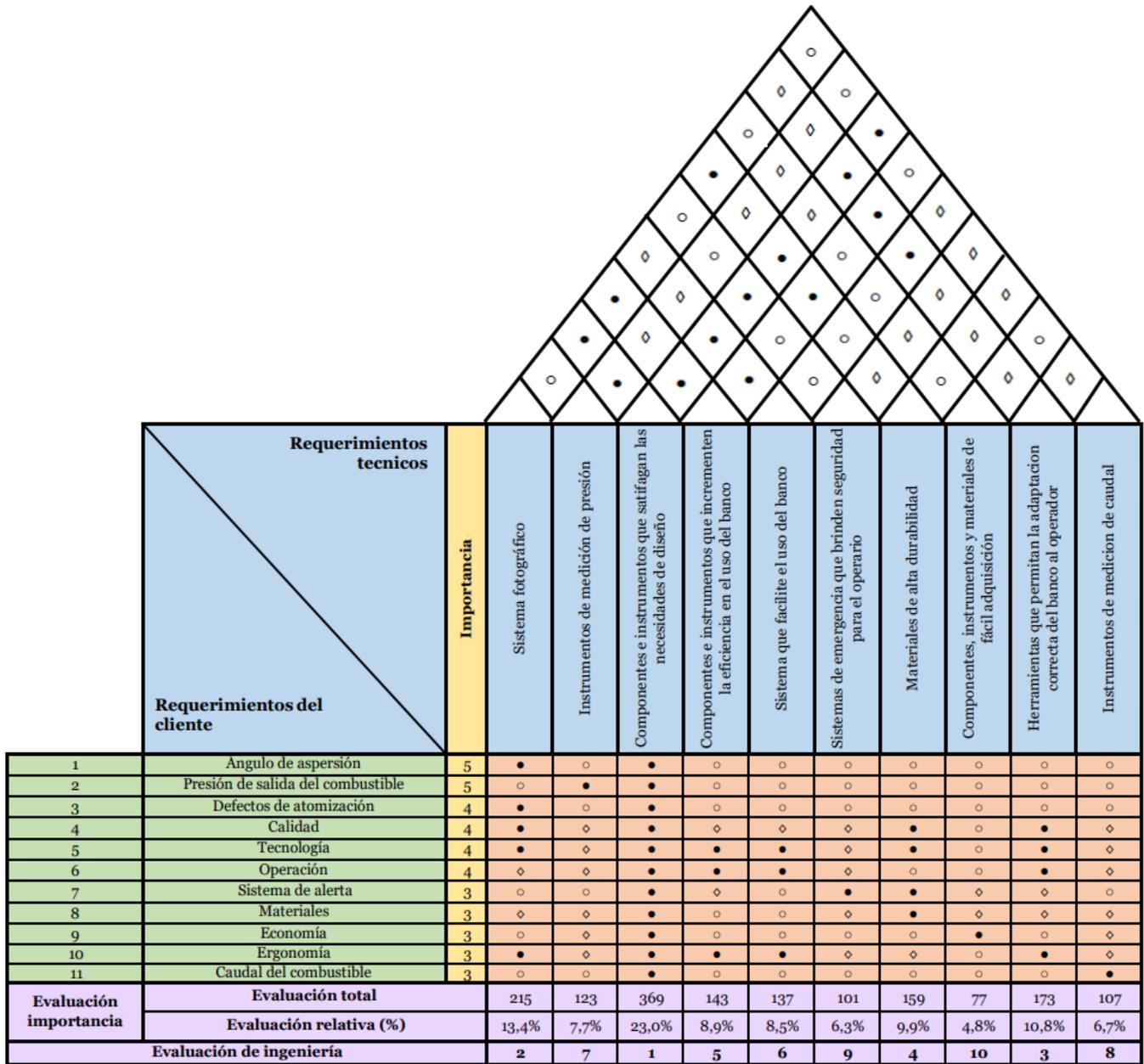


Fig. 20 Primera casa de la calidad

En la casa de la calidad N° 1 se visualiza que el requerimiento técnico con mayor importancia, dada su evaluación de ingeniería y análisis de evaluación relativa, es el requerimiento: componentes e instrumentos que satisfagan las necesidades de diseño, ya que se especifica

que todo componente que se utilice para el banco de pruebas debe cumplir con los estándares de calidad y de función del banco de pruebas, seguido del requerimiento técnico, sistema fotográfico el cual va cumplir con 5 requerimientos del cliente de manera directa, brindándole al banco todos los estándares de calidad y tecnología, el tercer requerimiento técnico más fuerte, con una calificación de 173, es herramientas que permitan la adaptación correcta del banco al operador, proporcionando funciones técnicas al banco en cuanto a operación y ergonomía. Todos los requerimientos técnicos dan una idea de la calidad y función que deben tener los componentes a utilizar en el banco de pruebas, es por esta razón que el requerimiento con puntaje más bajo es, componentes, instrumentos y materiales de fácil adquisición, si bien los componentes pueden llegar a ser de fácil adquisición en el mercado, no se garantiza que sean asequibles económicamente, ya que muchos de los equipos de medición y sistemas, pueden llegar a ser bastante costosos.

Luego del desarrollo de la primera casa de la calidad, la cual permitió identificar los requisitos técnicos del banco de pruebas, donde estos brindaran una facilidad para comprender que características deben tener los componentes y de esta manera poder generar conceptos puntuales, en el análisis y generación de conceptos; se desarrolló la segunda casa de la calidad, la cual describe las características exactas de los componentes, por ejemplo, para los requerimientos técnicos que relacionan instrumentos de medición, se tuvieron en cuenta los rangos de operación relacionados al principio de este capítulo, donde el componente de medición de presión tendrá una característica la cual debe poder medir entre rangos de 0 a 250 psi, y para el componente de medición de caudal un rango de 0 a 40kg/h, se debe tener en cuenta que este rango se tomó realizando la conversión de unidades, de Lb/h a kg/h ya que los datos técnicos encontrados se especifican en Lb/h y las herramientas de medición se comercializan en kg/h. La segunda casa de la calidad se observa en la Fig. 21.

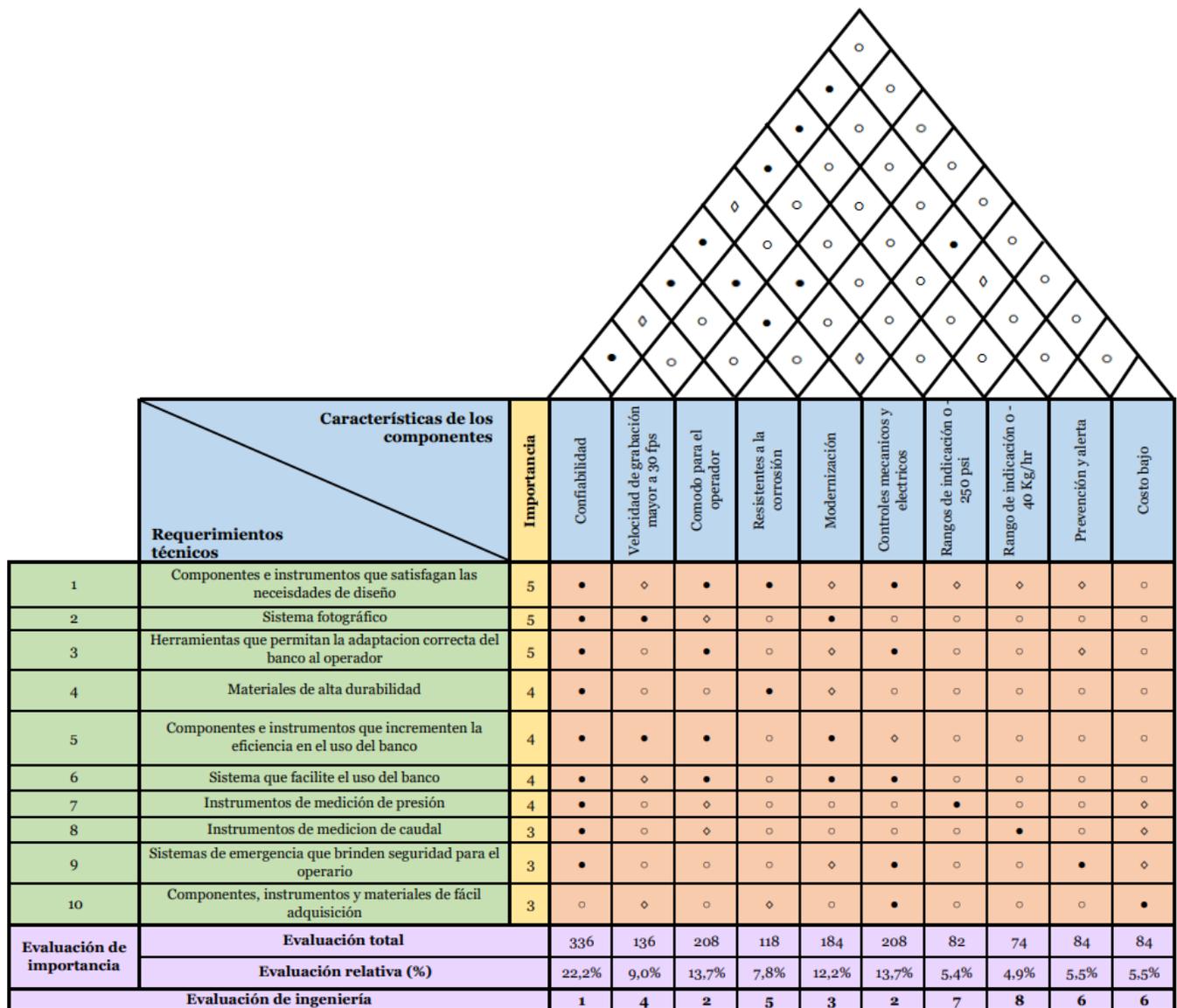


Fig. 21 Segunda casa de la calidad

Como se puede observar en la Fig. 21 la característica principal de los componentes es que sean confiables, ya que tuvo una evaluación total de 336 y una evaluación de ingeniería de 1 esto porqué los componentes deben funcionar perfectamente, deben tener un ciclo de vida adecuado y deben tener la capacidad de trabajar en las condiciones ambientales de uso habitual del banco de pruebas, como lo pueden ser las altas presiones y altas temperaturas, de igual manera se puede analizar, que una característica que resalta mucho es que debe ser

cómodo para el operador con una calificación de 208, siendo la segunda característica más importante, y esto debido a que el banco debe ser bastante ergonómico, ya que puede ser operado por largos periodos de ejecución y esto puede causar lesiones más adelante para el operador del banco de pruebas, y esto también produce que otra característica como, controles mecánicos y eléctricos tenga la misma calificación, debido a que si los componentes cuentan con estos sistemas, va producir que el banco de pruebas sea mucho más sencillo de operar, si bien todas las características están enfocadas en función y en vida útil de los componentes, una de las características que más se destaca es la modernización, y esto porqué se busca que el banco de pruebas no solo sea funcional, si no que tenga una alta gama tecnológica, buscando innovar en el mercado, pero este enfoque es costoso y se puede demostrar revisando que la característica de bajo costo, tiene una calificación demasiado baja, mostrando que para algunos clientes el banco de pruebas puede llegar a ser costoso.

5.7 Análisis funcional

Después de tener estipulados los requerimientos del cliente requerimientos técnicos y características de los componentes, se continúa con la siguiente fase que es el desarrollo del diseño conceptual. El libro estipula que esta etapa está compuesta de tres fases, en las cuales se despliega el análisis funcional, generación de conceptos, finalmente la evaluación y posterior selección del concepto global dominante que se evaluara por medio de la casa de la calidad (Peña, 2011).

El análisis funcional consiste en identificar las funciones que debe ejecutar el producto y agruparlas de manera lógica, el libro plantea dos métodos por medio de los cuales se puede realizar esta actividad, la primera es por medio del diagrama de la caja gris y el segundo el árbol de descomposición funcional (Peña, 2011). En el caso puntual de este documento se

hará uso del árbol de descomposición funcional debido a que este método desglosa de manera simplificada cada una de las funciones del banco, generando un beneficio para las siguientes fases del diseño conceptual. En la Fig. 22 se puede observar el diagrama de descomposición funcional del banco de pruebas (Peña, 2011).

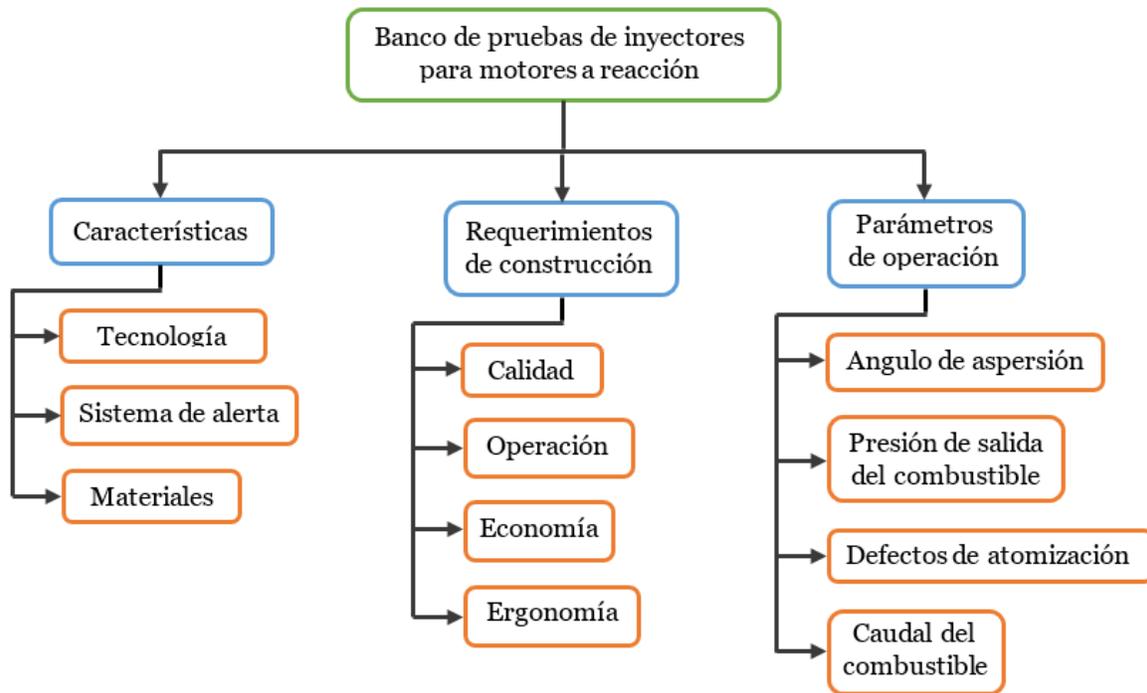


Fig. 22 Diagrama de descomposición funcional

El diagrama anterior está dividido en tres secciones: las características, requerimientos de construcción y los parámetros de operación del banco de pruebas, en cada una de estas secciones se desglosan los requerimientos del cliente que fueron previamente planteados por medio de la encuesta. Teniendo en cuenta los comentarios y las necesidades establecidas por el cliente se estableció que la tecnología debía cumplir la función de facilitar la cuantificación y parametrización de los datos obtenidos por medio de las pruebas. La función que debe desempeñar el sistema de alerta es asegurar la seguridad del operador, esto por medio de diversos elementos que permitan que a la hora de ocurrir un accidente el banco sea lo

suficientemente seguro para quien lo utiliza. Los materiales que se usen para la construcción del banco tendrán como función optimizar la vida útil del banco, asegurando así su calidad. En los requerimientos de construcción se tuvo en cuenta la calidad, la operación, economía y ergonomía. La calidad está relacionada a la función de la vida útil del equipo, por lo que se busca que cada aspecto utilizado en el diseño de banco cumpla con garantizar su durabilidad. La función principal del requerimiento de operación es facilitar el uso del banco, está directamente relacionada con la función que debe cumplir la ergonomía, puesto que, su función está enfocada en hacer uso de diversos componentes que faciliten el uso del banco, finalmente, la función de la economía es hacer uso de materiales y elementos de bajo costo. La función de cada uno de los parámetros operativos del banco de pruebas es la identificación y examinación de los inyectores de los diferentes tipos de motores a reacción. El ángulo de aspersión tiene como función principal permitir evaluar la cobertura del chorro siendo este uno de los aspectos más importantes en la inspección de los inyectores. La presión de salida del combustible y el caudal del combustible cuenta con una función conjunta que es establecer condiciones de vuelo reales con el fin de poder evidenciar el comportamiento del inyector durante su operación. Por último, la función de los defectos de atomización es permitir observar si la forma del cono de atomización es adecuada para no generar problemas durante el proceso de combustión.

El libro Metodología de diseño para ingeniería, menciona que después de definir las funciones que debe cumplir el producto, estas se deben clasificar y estructurar en dos diferentes tipos: según su prestación y según su importancia, esta actividad tiene como fin analizar y organizar las funciones del producto de manera más simplificada. La clasificación de las funciones puede ser observada en la Fig. 23 (Peña, 2011).

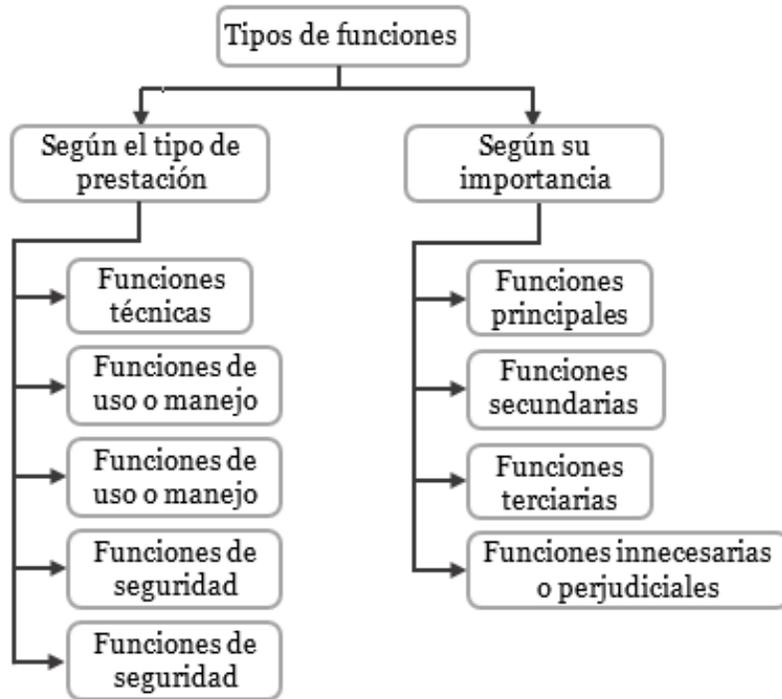


Fig. 23 Tipos de funciones (Peña, 2011).

Como se indica en la Fig. 23 (Peña, 2011), luego de definir las funciones, estas deben pasar por un proceso de estructuración para poder comprender su verdadera función y con esto lograr generar los conceptos necesarios para el diseño del banco de pruebas de inyectores para motores a reacción. La estructuración que se realizó para este diseño se observa en la Tabla 5.

Tabla 5 Estructuración de funciones

SEGÚN SU PRESENTACIÓN		SEGÚN SU IMPORTANCIA	
Funciones técnicas	Requerimiento del cliente	Funciones principales	Requerimiento del cliente
Uso de dispositivos adecuados	1. Tecnología 2. Materiales	Medir parámetros operativos y simular condiciones de vuelo	1. Ángulo de aspersion 2. Presión salida de combustible 3. Defectos de atomización 4. Caudal del combustible
Funciones de uso o manejo	Requerimiento del cliente	Funciones secundarias	Requerimiento del cliente

Practica y gestión correcta de la utilización del banco de pruebas	1. Operación 2. Ergonomía	Almacenamiento de datos	Observaciones del cliente
Funciones de seguridad	Requerimiento del cliente	Funciones Terciarias	Requerimiento del cliente
Protección y cuidado del operador	1. Sistema de alerta	Generación de informes	NA
Funciones de imagen y estética	Requerimiento del cliente	Funciones innecesarias o perjudiciales	Requerimiento del cliente
Representación decoración y organización del producto, que sea visiblemente estético	NA	Se determinó que ninguna de las funciones establecidas bajo los requerimientos de cliente es perjudicial para el diseño	NA

Como se puede visualizar en la Tabla 5, la estructuración de funciones ayudo a descomponer de manera sencilla cada función y que esta cumpla con cada uno de los requerimientos expuestos por el cliente y se logró comprender que la parametrización y almacenamiento de datos son funciones a tener muy en cuenta durante el diseño, ya que estas brindaran el análisis correcto durante la inspección de los inyectores, pero sin dejar atrás las demás funciones debido a que estas complementan y satisfacen las necesidades del cliente.

Esta descomposición y análisis funcional va a permitir brindar una respuesta clara en la generación de conceptos para la ejecución y cumplimiento de cada requerimiento obtenido en la encuesta.

5.8 Generación de conceptos

La generación de conceptos es la segunda etapa dentro del proceso del desarrollo de un diseño conceptual, el libro estipula que en esta etapa se toma un problema general para

desarticularlo en unos más simples, de esta forma se busca dar una solución individual a cada uno de estos. Esto se realizará con base en lo previamente realizado en la etapa del análisis funcional. El proceso de generación de conceptos se puede realizar por medio de dos estrategias de búsqueda, la primera se basa en las experiencias y en búsquedas externas, como lo son documentos, investigaciones y artículos, entre otros; la segunda se da con la generación de conceptos endógena, para la creación de estas ideas muchas veces se pueden hacer uso de métodos grupales de creatividad, como mesas redondas y debates (Peña, 2011). El libro relaciona el segundo proceso, como un paso grupal, dado las características de este documento, donde su desarrollo se realizó de manera individual, se optó por la estrategia que se basa en las experiencias y búsquedas externas. Se tomaron como inspiración diferentes artículos e investigaciones para generar algunos de los conceptos que se mostraran. Así mismo, la experiencia adquirida en el medio sirvió como herramienta para complementar las ideas creadas para esta etapa. Para entender esta etapa es importante comprender que es un concepto, el libro Metodología de diseño para ingeniería, lo define como la descripción concisa sobre como el producto puede satisfacer los requerimientos del cliente (Peña, 2011). De acuerdo con la definición previamente planteada se realizó la generación de conceptos, esto se puede observar en la Tabla 6.

Tabla 6 Generación de conceptos

FUNCIONES	REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE	CONCEPTOS
SEGÚN SU IMPORTANCIA		
Funciones principales	Ángulo de aspersion	Sistema de visión artificial
	Presión salida de combustible	Barómetro Manómetro Tubo pitot

	Defectos de atomización	Sistema de visión artificial
	Caudal del combustible	Caudalímetro ultrasónico Caudalímetro electromagnéticos Caudalímetro de inserción
Funciones secundarias	Almacenamiento de datos	Tarjeta de almacenamiento Disco mecánico Disco de estado sólido Almacenamiento en nube
Funciones terciarias	Generación de informes	Excel Matlab Python
SEGÚN SU PRESTACIÓN		
Funciones técnicas	Tecnología	Pantallas digitales Computadores portátiles Computadores de torre CPU
	Materiales	Acero inoxidable Hierro Aleaciones de metales Acero estructural
Funciones de uso o manejo	Ergonomía	Botones Perillas Palancas Pedales Switches
	Operación	NA
Funciones de seguridad	Sistema de alerta	Señalizaciones Sistema contra incendios Botón de emergencia
Funciones de imagen y estética	NA	NA

La Tabla 6 se encuentra dividida en las funciones según su importancia y su prestación, de acuerdo con lo generado previamente en el análisis funcional; en cada una de estas se desglosan los diferentes tipos de funciones, en donde se relaciona a qué requerimiento del cliente corresponde. Como funciones principales se encuentran los parámetros operativos del banco de pruebas, donde cada concepto generado fue gracias a la experiencia obtenida en los últimos años en clases teóricas, prácticas de laboratorio, experiencias laborales e investigación de campo en diversas empresas y entidades del sector.

Los conceptos generados para las funciones secundarias y terciarias, se lograron definir

gracias a la investigación de diferentes fuentes, entre ellas, un estudio de repotenciación de un banco de pruebas para los inyectores de los motores PT6A-68C (Sánchez & Velasteguí, 2018).

Los conceptos definidos para las funciones técnicas se llevaron a cabo por medio de análisis y lectura de diferentes artículos de investigación, enfocados en la mejora y creación de bancos de pruebas, como lo es el artículo de ciencia y tecnología aeronáutica que basa su estudio en un banco de pruebas de inyectores para los motores Garrett (Rueda, 2007).

Para las funciones de uso o manejo y funciones de seguridad, los conceptos generados son controles sencillos, ya que se busca que el banco de pruebas sea fácil y seguro para su operación, se lograron definir por medio de informes acerca de controles ergonómicos y de alerta (Giovanny, 2015).

No se generó ningún concepto para las funciones de imagen y estética, puesto que estas serán consideradas como condición durante el desarrollo del proceso creativo. Los requerimientos del cliente como lo son “calidad” y “economía” tampoco se tuvieron en cuenta, dado que no son aspectos que puedan definir un concepto preciso, ya que de igual manera se van a tener en cuenta como condición para lograr satisfacer los requisitos del cliente, que serán evaluados por medio del método de la casa de la calidad; finalmente, todos los conceptos definidos en la El proceso de generación de conceptos se puede realizar por medio de dos estrategias de búsqueda, la primera se basa en las experiencias y en búsquedas externas, como lo son documentos, investigaciones y artículos, entre otros; la segunda se da con la generación de conceptos endógena, para la creación de estas ideas muchas veces se pueden hacer uso de métodos grupales de creatividad, como mesas redondas y debates .

El libro relaciona el segundo proceso, como un paso grupal, dado las características de este documento, donde su desarrollo se realizó de manera individual, se optó por la estrategia que

se basa en las experiencias y búsquedas externas. Se tomaron como inspiración diferentes artículos e investigaciones para generar algunos de los conceptos que se mostrarán. Así mismo, la experiencia adquirida en el medio sirvió como herramienta para complementar las ideas creadas para esta etapa. Para entender esta etapa es importante comprender que es un concepto, el libro Metodología de diseño para ingeniería, lo define como la descripción concisa sobre como el producto puede satisfacer los requerimientos del cliente . De acuerdo con la definición previamente planteada se realizó la generación de conceptos, esto se puede observar en la Tabla 6.

Tabla 6 serán analizados en la fase de creación de los conceptos globales.

5.9 Conceptos globales

La creación de conceptos globales es un proceso que trae como consecuencia el desarrollo de diversos prototipos que se encarguen de integrar soluciones parciales para de esta manera dar cumplimiento a los requerimientos del cliente (Peña, 2011). Un concepto global es el resultado del proceso de organizar todos los conceptos y subconceptos establecidos en la etapa anterior para formar un único producto. Es importante crear diferentes conceptos globales con el fin de evaluar y seleccionar el más adecuado que se adapte a las necesidades del cliente, siendo este el diseño conceptual final (Peña, 2011).

En este proceso es importante el uso de herramientas y/o métodos de creatividad que ayuden a organizar de una manera clara los conceptos globales, como lo son: los árboles de clasificación de conceptos y las tablas de combinación de conceptos. Para el desarrollo de los conceptos globales del banco de pruebas de inyectores para motores a reacción, se escogió la tabla de combinación que, en comparación con el árbol de clasificación, es el método creativo más interactivo y fácil de entender, el cual permite crear diversos prototipos asociando los

conceptos generados en la fase anterior.

A continuación, en la Tabla 7, se puede observar el proceso de combinación de conceptos, en la cual se representa la creación de 4 prototipos globales. Es importante aclarar que para los 4 productos creados se hará uso del sistema de visualización artificial, debido a que esta tecnología permite realizar inspecciones y detectar las deformaciones que se pueden presentar en el cono de aspersión, analizando el fluido en movimiento de manera automática. Este se divide en: el sistema de formación de imágenes y el de procesamiento, el primero está compuesto por subsistemas que son: sistema de iluminación, identificación de imagen y recepción de señal en dispositivos digitales (Sánchez & Velasteguí, 2018).

El uso del sistema de visualización artificial va a garantizar que cada uno de los conceptos globales pueda automatizar las inspecciones realizadas a los inyectores, además gracias a su configuración que consta de una cámara digital, permite procesar y capturar la imagen, brindando una inspección más detallada en comparación con los métodos convencionales en donde solo hacían uso de la visión humana. Cumpliendo con los requisitos del cliente, como lo son los parámetros operativos: ángulo de aspersión, defectos de atomización y de igual manera satisfacer con el requerimiento calidad, ya que se está garantizando una doble verificación y así evitar errores en las inspecciones de los inyectores (Sánchez & Velasteguí, 2018).

Tabla 7 Combinación de conceptos

Conceptos generados		1	2	3	4
Funciones principales	Angulo de aspersión	Sistema de visión artificial			
	Presión de salida del combustible	Barómetro			
		Manómetro			
		Tubo pitot			
	Defectos de atomización	Sistema de visión artificial			
	Caudal del combustible	Caudalímetro ultrasónico			
Caudalímetro electromagnéticos					
Caudalímetro de inserción					
Funciones secundarias	Almacenamiento de datos	Tarjeta de almacenamiento			
		Disco mecánico			
		Disco de estado solido			
		Almacenamiento en nube			
Funciones terciarias	Generación de informes	Excel			
		Matlab			
		Python			
Funciones técnicas	Tecnología	Pantallas digitales			
		Computadores portátiles			
		Computadores con torre CPU			
	Materiales	Acero inoxidable			
		Hierro			
		Aleaciones de metales			
Funciones de uso o manejo	Ergonomía	Acero estructural			
		Botones			
		Perillas			
		Palancas			
		Pedales			
Funciones de seguridad	Sistema de alerta	Switches			
		Señalizaciones			
		Sistema contra incendios			
		Botón de emergencia			

Concepto 1

El sistema de visualización artificial logrará que todos los conceptos generales tengan un procesador de imagen, un sistema de iluminación de diodos leds y un módulo de

digitalización, cuya principal función será convertir la señal análoga que proporciona la cámara a una señal digital (Sánchez & Velasteguí, 2018). Para este concepto se optó por el uso de un tubo pitot, ya que son herramientas confiables, muy fáciles de instalar, adecuar y utilizar, pues constan de diferentes modelos que ofrecen una gran variedad de condiciones ambientales, incluyendo temperaturas extremadamente altas y una amplia escala de presiones. Por otro lado, es una herramienta de fácil adquisición y económica (IQR Ingeniería química, 2021).

Para este concepto se seleccionó un caudalímetro electromagnético, el cual logra tomar medidas de alta fiabilidad y estabilidad. El sensor al no tener piezas móviles permite que su instalación sea simple y que los gastos de mantenimiento sean mínimos (Silver instruments , s.f.). Este prototipo cuenta con un computador como sistema tecnológico de adquisición de datos, que a su vez estará equipado de una tarjeta de almacenamiento y de Excel como herramienta clave de optimización de datos.

El hierro, al ser un material maleable, va a permitir la construcción del banco y le brindará ventajas tales como, resistencia al esfuerzo y ductilidad, garantizando excelentes prestaciones en cuanto a ciclos de vida del banco de pruebas (Coto carpintería, 2016). Para este concepto se escogió el uso de pedales y switches ya que su operación es muy sencilla para el operador, permitiendo cumplir el requerimiento de operación establecido por el cliente, por último, el botón de emergencia será muy útil en caso de que el sistema de operación del banco falle y sea necesario finalizar el proceso de inmediato sin poner en riesgo la integridad del operador.

Concepto 2

En este caso, el concepto general, cuenta con un barómetro, el cual es muy útil, práctico y

sencillo de operar, su simpleza y baja tecnología, permite que sea un componente de bajo costo y de fácil accesibilidad (El tiempo, 2023). El caudalímetro ultrasónico es capaz de hacer mediciones muy exactas brindando datos más claros, su fácil instalación permite reducir tiempos de construcción y ensambles en el banco, además que cuenta con resistencia a la corrosión garantizando aún más su vida útil (SmartMeasurement, s.f.).

El uso de un computador portátil le ofrecerá mayor comodidad al operador y de esta manera se reducirá el espacio al ser una herramienta más pequeña que un computador de escritorio, además que su almacenamiento se da por medio de disco de estado sólido, posibilitando 5 veces más la velocidad en la administración de datos; este equipo tendrá instalado Python, que gracias a su lenguaje de alto nivel permitirá una programación estructurada, funcional y orientada a la generación de cada informe de las diferentes inspecciones realizadas a los inyectores (KeepCoding, 2022).

La aleación de metales le suministra a este concepto ser resistente a los golpes y a las altas temperaturas, y esto le contribuirá al banco de pruebas tener una mayor durabilidad. Al buscar que el banco sea bastante ergonómico para el operador, se optó por el uso de perillas, ya que presentan diferentes funciones de entradas y salidas, dándole uso en cualquier disposición que se tenga para la interacción y operación con el banco, finalmente para la selección del sistema de alerta se tuvo en cuenta las señalizaciones, que ayudaran y limitaran las áreas en las que el operador deberá tener precaución al operar el banco de pruebas, junto con un botón de emergencia para evitar cualquier riesgo de mala manipulación o fallas en el instrumento.

Concepto 3

A diferencia de los demás conceptos, este cuenta con un manómetro, siendo una herramienta

más resistente a las vibraciones y a los cortes de presión. Proporciona una lectura de presión instantánea y precisa, es una herramienta fácil de operar, muy versátil y sus costos de mantenimiento son muy bajos (Renting Finders, 2023). La selección de un caudalímetro de inserción se da debido a que este cuenta con un microprocesador de señal, ofreciendo una variedad de posibilidades en cuestiones de medidas y registros; este instrumento puede ser instalado como equipo fijo o portátil, además de esto, tiene la ventaja de contar con una gran autonomía (Mejoras, 2023).

Para este prototipo se optó por computadores de torre CPU y con pantallas digitales, las pantallas cuentan con la función de poder operar de manera más simplificada, esto proporciona no solo un sistema óptimo de adquisición de datos, sino también brinda comodidad, tecnología y calidad, ya que el uso de pantallas digitales facilitara el proceso de toma de datos y digitalización del proceso, al ser un sistema tan amplio se tomó como almacenamiento de datos, discos de estado sólido y almacenamiento en la nube, esto proporcionara un doble almacenamiento para todos los informes y todos los registros ocasionando una mayor confiabilidad para la administración de los datos. El computador de este concepto contará con Matlab, dado que este permite construir modelos simples para testear y analizar datos, con cálculos y simulación de sistemas.

El acero inoxidable le brindará al banco una alta resistencia a la corrosión, resistencia mecánica, resistencia al impacto, ralladuras, variaciones térmicas y gracias a sus propiedades, proporcionará una apariencia estética (Servinox, 2014). La combinación de perillas, botones y switches como sistema ergonómico le ofrecerá al banco de pruebas una operación bastante sencilla e intuitiva. Cumpliendo con las funciones de seguridad, se seleccionó una combinación de los tres conceptos generados, la señalización, sistema de incendios y botón de emergencia, ya que cada concepto puede presentar funciones diferentes,

ayudan a que el diseño general logre ser innovador, representado un alcance a los requerimientos iniciales (Giovanny, 2015).

Concepto 4

Este concepto se destaca por el uso de palancas, ya que se utilizan en operaciones que requieran de altas velocidades, y se caracterizan por tener de dos a tres posiciones de operación (Giovanny, 2015). La selección de materiales como el acero estructural para este concepto se dio, puesto que este puede soportar grandes esfuerzos y dar mayor seguridad a la estructura, brindando ductilidad y tenacidad, además que el acero estructural representa una ventaja al poder hacer uniones y conexiones por medio de soldaduras, característica al tener en cuenta para la instalación de componentes externos a la estructura (Ferros Texar S.L., 2021).

El uso de un almacenamiento de datos por medio de disco mecánico cumplirá con un requisito importante para los clientes, que es la “economía” esta clase de discos brindan una gran capacidad para retener información y son muy económicos en el mercado nacional. Por último, este banco cuenta con la inclusión de un sistema contra incendios, para prevenir accidentes y proteger la integridad del operador.

5.10 Evaluación final

Para la evaluación y selección del concepto global dominante el libro plantea varios métodos para escoger el concepto global final como: Decisión externa, la cual se basa en la decisión del cliente, presentando los conceptos finales y que sea propiamente el cliente, el que escoja el diseño más apropiado, decisión del líder, la cual se centra en la decisión única del diseñador principal, otro de los métodos es la intuición, la cual es específicamente la decisión que el líder crea que es la mejor, por ultimo plantea la matriz pasa no pasa, que tiene como fin

evaluar cada concepto con los requerimientos del cliente y darle una relación, bien sea fuerte, débil o media. Para la selección del concepto global dominante del banco de pruebas, se escogió la matriz pasa no pasa, ya que es la más específica, puntual y clara para determinar cuál concepto es el indicado para satisfacer las necesidades del cliente. La matriz pasa no pasa se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8 Matriz pasa no pasa

Requerimientos del cliente	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	Concepto 4
Ángulo de aspersión	Fuerte	Fuerte	Fuerte	Fuerte
Presión de salida del combustible	Débil	Media	Media	Media
Defectos de atomización	Fuerte	Fuerte	Fuerte	Fuerte
Calidad	Débil	Media	Media	Débil
Tecnología	Media	Débil	Fuerte	Débil
Operación	Media	Media	Fuerte	Débil
Sistema de alerta	Débil	Media	Fuerte	Media
Materiales	Débil	Media	Fuerte	Media
Economía	Fuerte	Media	Débil	Fuerte
Ergonomía	Media	Media	Fuerte	Débil
Caudal del combustible	Media	Media	Media	Media

Cada concepto contara con su respectivo boceto, facilitando la visualización de cada uno, logrando así cumplir con uno de los alcances de este documento. A continuación, se describirá y se analizará la evaluación para cada concepto, visualizado en la tabla anterior.

Concepto 1

Para este concepto y los demás, al tener un sistema de visualización logro que se tuviera relaciones funcionales fuertes, cumpliendo satisfactoriamente con los requisitos del cliente,

que tienen como fin el análisis y parametrización del ángulo de aspersión y defectos de atomización, siendo estos uno de los más importantes para el cliente. El concepto 1 tuvo relaciones funcionales muy débiles, dado que el uso de un tubo pitot no representa una precisión muy exacta, ya que es un componente con una alta sensibilidad, lo que ocasiona no contar con buena exactitud el requerimiento inicial “presión de salida del combustible”. Los requisitos sistema de alerta y materiales, de igual manera fueron calificados con puntuación débil, por el uso del hierro como material estructural, debido a que es un material que se oxida con rapidez, y al usar un botón de emergencia como único sistema de alerta, presenta un sistema poco funcional.

Teniendo en cuenta que este concepto de diseño conceptual consta de piezas, componentes y materiales muy económicos, logra tener una relación funcional fuerte con el requerimiento económico, pero una relación débil con el requerimiento calidad a causa de que estos componentes no brindan aspectos eficaces, por ser poco precisos, sensibles a la corrosión y ser sistemas simples. A continuación, en la Fig. 24 se puede observar el diseño final de la estructura e instrumentos del concepto 1.

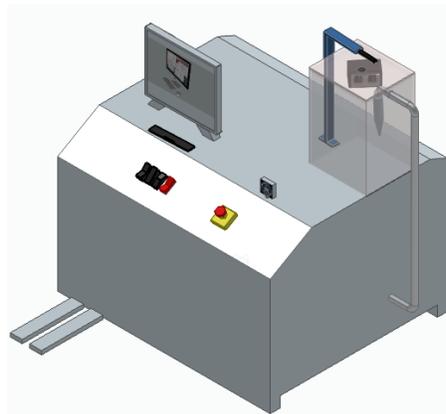


Fig. 24 Concepto 1

Concepto 2

Para este prototipo de diseño, su relación funcional más baja fue con el requerimiento de tecnología, el uso de computadores portátiles limita a una baja autonomía, ya que este está condicionado a la batería de este, provocando un menor rendimiento en los trabajos de inspección, su poca resistencia a los golpes, su mala refrigeración y su procesador hacen que este componente no sea funcional para este tipo de banco de pruebas. Los conceptos adicionales que se tuvieron en cuenta para complementar los requerimientos del cliente ayudaron a mejorar este prototipo de diseño, ya que el uso de un disco de estado sólido y de Python lograron subir su evaluación total, adquiriendo una relación funcional media.

Para el requerimiento medir presión de salida de combustible, este concepto tiene una relación funcional media, ya que se caracteriza por tener un barómetro el cual cuenta con desventajas al no ser un componente muy preciso a causa de una posible mala manipulación provocando creación de burbujas en la región de vacío ocasionando errores en la medición, además no es un componente que se utilice mucho para este tipo de instrumentos. En la Fig. 25, se puede evidenciar la estructura y diseño final del concepto 2.

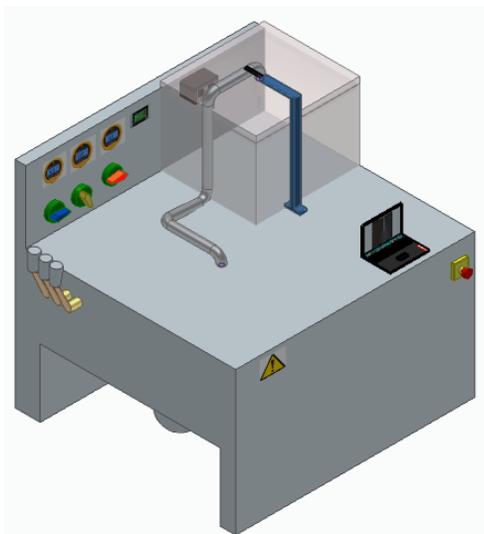


Fig. 25 Concepto 2.

Concepto 3

Este concepto se destaca por tener una relación funcional fuerte en el requerimiento material, su estructura en acero inoxidable, la cual hace que el banco de pruebas pueda resistir varias alteraciones que se de en la estructura, como lo puede ser la corrosión. La tecnología y la operación también cuentan con una relación fuerte, ya que este prototipo utiliza gran variedad de equipos que facilitan la operación, brindándole comodidad al operador.

El prototipo 3 cuenta con un sistema de alerta avanzado, desarrollando un sistema integrado de tres diferentes conceptos, logrando así, que este requerimiento cuente con una relación fuerte, el uso de perillas, botones y switches, lo hacen un diseño bastante ergonómico, cumpliendo en totalidad con el requerimiento de ergonomía. Los conceptos de complemento enriquecen mucho este concepto, brindado que logre cumplir en su totalidad con los requerimientos del cliente.

Al ser un concepto que cuenta con diferentes sistemas, componentes, piezas y herramientas, lo hace un prototipo bastante costoso, llevándolo a tener una relación débil con el requerimiento económico. El diseño final del concepto 3, con cada uno de los conceptos generados se puede ver en la Fig. 26.

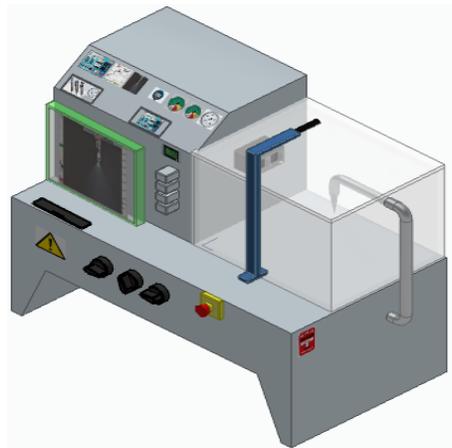


Fig. 26 Concepto 3.

Concepto 4

Este prototipo propone una estructura formada por acero estructural, aunque le brinda al banco características de dureza y elasticidad, este debe pasar por un procedimiento de recubrimiento anticorrosivo, ya que es un material propenso a sufrir corrosión, por eso su calificación media en el requerimiento del cliente. Su sistema de protección contra incendios lo hace uno de los diseños más fuertes para los requerimientos del cliente, pero al no contar con una parada de emergencia, hace que este concepto tenga una relación media.

En este concepto su selección de palancas como único sistema ergonómico, lo complico en su calificación, debido a que todo el banco de pruebas estaría accionado por palancas, y es necesario el uso de otros componentes ergonómicos, para facilitar su operación y brindarle comodidad, agilidad y seguridad al operador, es por esto que se destaca por tener una relación débil con los requerimientos de operación y ergonomía.

Al igual que el concepto 2 este prototipo de diseño hace uso de los computadores portátiles, como se había mencionado anteriormente, son dispositivos que no van a facilitar la operación, por lo que su relación funcional con el requerimiento tecnología, es débil, por último, al ser un prototipo que cuenta con piezas y sistemas muy simples, su desarrollo económico y de fácil adquisición lograra que tenga una calificación fuerte con el requerimiento económico. En la Fig. 27 se puede observar el concepto 4.

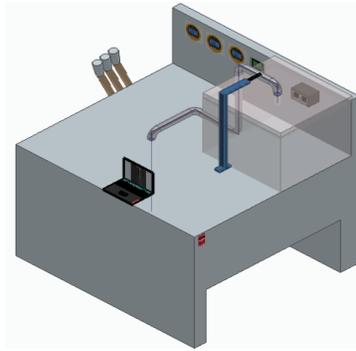


Fig. 27 Concepto 4.

Análisis final

Al hacer uso del método pasa no pasa, y teniendo en cuenta todo el proceso conceptual, se logró asegurar en el diseño conceptual la calidad y prestación óptima del producto que requiere el cliente. Debido a que se optimizó el concepto apropiado, analizando y comprendiendo 4 diferentes ideas de diseño conceptual. El concepto 3 satisface las necesidades del cliente, y de igual manera cumple con los requerimientos funcionales y operacionales como lo son la caracterización, parametrización, evaluación y análisis del funcionamiento de los inyectores, esto bajo los valores estándares del fabricante y de esta manera comprender los fenómenos que afectan la operación de este componente. El concepto 3 se encuentra en la capacidad de someter a diferentes pruebas de medición y observación de los parámetros tales como: el ángulo de aspersion, la presión de salida del combustible, los defectos de atomización y el caudal del combustible por medio de diversos equipos y dispositivos que permiten que su evaluación sea más sencilla.

La evaluación analítica y lógica del método pasa no pasa, y con toda la información generado en el proceso de análisis y generación de conceptos ayudo a comprender que los computadores portátiles, como herramienta principal de adquisición de datos generan una desventaja al concepto global, ya que son equipos con bajo rendimiento, pantalla pequeña y poca autonomía, ocasionando que la operación y ergonomía del banco de pruebas se vea

afectada; igualmente la inclusión de un tubo Pitot en el sistema del banco de pruebas en el concepto 1 lo afecto significativamente en la calificación final, pues este componente instalado en un banco de pruebas para inyectores, no es el adecuado y además es ineficiente, debido a sus mediciones poco precisas.

El sistema de visualización artificial es clave en todos los conceptos, su funcionamiento y sus características le brindan al banco de pruebas, una facilidad para el almacenamiento de datos, procesamiento e interpretación de resultados más eficientes, pero el concepto 3 utiliza un complemento que lo lleva a tener ventajas sobre los demás conceptos, y es que, al implementar conexión directa de almacenamiento en la nube, permite que los datos se guarden y se protejan de mejor manera. El concepto 3 no solo presenta esta ventaja en comparación con los demás conceptos, la mayoría de sus componentes, estructura, material de construcción, sistema de alerta y su capacidad tecnológica sobresalen al evaluarlo uno a uno con los otros conceptos creados; la única debilidad de esta idea de diseño, es que al ser tan completo es el concepto más costoso, y aunque el concepto 1,2 y 4 sean más asequibles económicamente, no cumplen en su totalidad con los requerimientos del cliente, como lo logra hacer el concepto 3 al tener materiales que se ajustan perfectamente a las necesidades del cliente, y al generar tantas ventajas en su operación, ergonomía, calidad y optimización, es el concepto dominante con una gran superioridad en los demás.

Costos

Al inicio de este capítulo se relaciona la importancia de los requisitos de costos, para obtener un balance inicial de gastos aproximados para el posible desarrollo del banco de pruebas. Ya teniendo en cuenta que el concepto global dominante es el concepto 3, se observa en la Tabla 9 los costos de componentes que cumplen con los requerimientos iniciales del cliente.

Tabla 9 Requerimientos de costos

Tipo de costo	Equipos	Cantidad	Costo Unitario
Costo fijo	Cámara GoPRO HERO 60 fps	1	\$ 2.350.000,00
Costo fijo	Lámpara hermética LED	1	\$ 90.000,00
Costo fijo	Manómetro 250 psi	1	\$ 200.000,00
Costo fijo	Caudalímetro de inserción 40 kg/h	1	\$ 195.450,00
Costo fijo	Disco de estado solido	1	\$ 280.000,00
Costo fijo	Almacenamiento en la nube	1	\$ 259.999,00
Costo fijo	licencia de MATLAB	1	\$ 622.820,00
Costo fijo	Pantallas digitales	2	\$ 560.900,00
Costo fijo	Computador torre CPU	1	\$ 2.200.000,00
Costo variable	Acero inoxidable	10	\$ 2.286.600,00
Costo fijo	Botones	4	\$ 22.000,00
Costo fijo	Perillas	3	\$ 13.500,00
Costo fijo	Switches	3	\$ 7.600,00
Costo fijo	Señalizaciones	1	\$ 58.000,00
Costo fijo	Pulsador manual de alarma	1	\$ 325.288,00
Costo fijo	Detector de humo y de temperatura	1	\$ 369.000,00
Costo fijo	Dispositivo acústico	1	\$ 152.000,00
TOTAL			\$ 9.993.157,00

Como se logra observar en la Tabla 9 la cámara GoPRO Hero es una cámara de 60 fps la cual cumple con los rangos, características y requerimientos técnicos que se plantearon en la casa de la calidad, igual que el manómetro de 250 psi de presión y el caudalímetro de inserción de 40 Kg/h de caudal. Los componentes aquí descritos cumplen con las funciones requeridas para el banco de pruebas, cada uno de ellos es de fácil adquisición, siendo la cámara GoPRO, el acero inoxidable y el computador de torre CPU los más costosos. Todos los costos mencionados en la tabla anterior son datos aproximados y se debe realizar un análisis más profundo en la siguiente etapa de diseño de un producto, teniendo en cuenta que este diseño tan solo llega al proceso conceptual.

Capítulo 6

Conclusiones y Recomendaciones

El uso de una metodología de diseño permite verificar y llevar un control de avances en cada etapa de diseño, logrando crear varias soluciones parciales, para cumplir con las necesidades óptimas del cliente.

La utilización y caracterización de una herramienta clave, como la encuesta dirigida a docentes de la Fundación Universitaria Los Libertadores, e ingenieros y técnicos especialistas en motores, ofreció la selección, identificación y definición de los parámetros operativos requeridos para el funcionamiento del banco de pruebas.

Se evidenciaron diferentes metodologías de diseño, con enfoques, características y ventajas distintas, lo cual posibilitó una comparación y análisis de cada una; adaptando la metodología que más se apropiara con el desarrollo de un banco de pruebas para inyectores de motores a reacción.

Las técnicas de creatividad, como el diagrama de descomposición funcional facilitó la generación de ideas, comprendiendo las funciones de cada requerimiento en el banco de pruebas; la tabla de combinación de conceptos fue una técnica que permitió la investigación análisis lógico de diferentes conceptos, proporcionando la selección adecuada de componentes, materiales y dispositivos tecnológicos que cumplan con las necesidades expuestas por el cliente.

El uso de la casa de la calidad establece una fuente de información clave para poder comprender las funciones, operación y características de los componentes a tener en cuenta para el desarrollo conceptual del banco de pruebas, proporcionando un sistema fiable del banco y asegurando cumplir a cabalidad con los requerimientos del cliente, logrando satisfacer la necesidad inicial.

Se desarrolló el diseño conceptual de un banco de pruebas para inyectores de motores a reacción, cumpliendo con la caracterización y parametrización de datos de una manera eficiente, disminuyendo los tiempos en la toma de datos gracias a su capacidad tecnológica avanzada; además ofrece un alto margen de seguridad al operario y satisface las necesidades del cliente.

Recomendaciones

Es importante, para un desarrollo detallado tener en cuenta realizar un análisis, estudio y comprensión de costos más profundo, con el fin de tener una mayor claridad y exponerle al cliente que tan costoso saldría el desarrollo final del concepto dominante.

Se recomienda profundizar más sobre las características de cada componente, su instalación, su mecánica, mantenimiento y operación, desarrollando una tabla detallada del funcionamiento de estos componentes y su importancia en el banco de pruebas.

Bibliografía

- Alan, V. (s.f.). *UDocz*. Obtenido de <https://www.udocz.com/apuntes/27023/motor-turbo-eje-1>
- Allen, B. (22 de Abril de 2008). *NASA*. Obtenido de https://www.nasa.gov/centers/langley/news/factsheets/X43A_2006_5.html
- Álvarez, M. C. (1980). *Motores de reacción Tecnología y operación de vuelo*. Madrid: Parainfo.
- AviationPros*. (6 de Julio de 2007). Obtenido de <https://www.aviationpros.com/home/article/10381485/pt6-fuel-nozzles>
- BARDAHL. (2020). *BARDAHL*. Obtenido de <https://www.bardahl.com.mx/la-importancia-del-inyector/>
- Belmonte, B. G. (2018). *Motores de reacción y turbinas de gas*. Madrid: Parainfo .
- Blog, { . (6 de Febrero de 2017). *vida Blog* . Obtenido de <https://blog.ida.cl/estrategia-digital/metodologia-marco-logico-gestion-de-proyectos/#:~:text=La%20metodolog%C3%ADa%20de%20marco%20%C3%B3gico%20es%20una%20herramienta%20que%20tiene,hasta%20la%20evaluaci%C3%B3n%20del%20trabajo.>
- Civil, U. A. (Diciembre de 2020). *Aeronáutica civil*. Obtenido de <https://www.aerocivil.gov.co/normatividad/RAC/RAC%20%201%20-%20Definiciones.pdf>
- Coto carpintería. (2016). *Coto carpintería*. Obtenido de <http://www.cotoweb.es/es/productos/hierro#:~:text=Las%20ventajas%20del%20hierro%20puede,el%20punto%20de%20vista%20constructivo.>
- Cyrus B, M.-H. E. (2000). *Desarrollos pioneros de turborreactores del Dr. Hans Von Ohain: del HeS 1 al HeS 011*.
- Delgado, R. A. (2014). *Propuesta de metodológica para el análisis exergético de una turbina a gas de ciclo simple*. Lima.
- Díez, V. S. (2007). *El motoro de reacción y sus sistemas auxiliares*. Madrid: Parainfo.
- El tiempo. (2023). *eltiempo.es*. Obtenido de <https://www.eltiempo.es/noticias/meteopedia/barometro>
- Escobar, A., Villanueva, N., & Pérez, G. (2007). *Diseño y construcción de un banco de pruebas para las boquillas de inyección de combustibles de los motores PW 100 y PT6*. Ciencia y poder aéreo.
- Ferros Texar S.L. (2021). *Ferros Texar S.L*. Obtenido de <https://ferrostexar.com/acero-estructural-se-utiliza/>
- García, J. (2018). *e-medida*. Obtenido de <https://www.e-medida.es/numero-19/medida-de-la-apariencia/>
- Garzón, R. A. (2008). *Diseño de un banco de pruebas para motores PT6T-3*. Bogotá: Universidad de San Buenaventura .
- Giovanny, I. (26 de Septiembre de 2015). *Slideshare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/IrwingioO/controles-finalfinal1>

- Gómez, C. D. (2014). *Diseño, construcción e implementación de un banco de prueba para la caja de accesorios del motor J-85 del avión A 37-B de la Fuerza Aérea colombiana*. Bogotá: Fundación Universitaria los Libertadores.
- González, L. (2015). *APROVECHAMIENTO DEL MOTOR TURBOFAN*. INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL.
- Hall, N. (13 de Mayo de 2021). *National aeronautics and space administration*. Obtenido de <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/ramjet.html>
- Haynes, T. (8 de Junio de 2021). *KEY.AERO*. Obtenido de <https://www.key.aero/es/article/la-historia-de-la-evolucion-de-los-motores-de-los-aviones-de-pasajeros>
- Heredia, L. F. (2022). *Turborreactor*. + Ciencia. Revista de la facultad de ingeniería . IQR Ingeniería química. (6 de Marzo de 2021). *IQR Ingeniería química*. Obtenido de <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2021/03/tubo-de-pitot-que-es-y-como-funciona.html>
- J.A Guerrero Angeles, V. R. (2016). *Banco de Montaje para Motores a Reacción*. Tolcayuca: Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo.
- KeepCoding. (13 de Diciembre de 2022). *KeepCoding*. Obtenido de https://keepcoding.io/blog/ventajas-y-desventajas-de-python/#Ventajas_de_Python
- López, A. (2014). *Blogs 20 minutos*. Obtenido de <https://blogs.20minutos.es/yaestaellistoquetodolosabe/la-eolipila-un-invento-de-hace-2000-anos/>
- Lukascheuski, J. (15 de Diciembre de 2010). *Asociación pasión por volar*. Obtenido de <https://www.pasionporvolar.com/historia-de-los-motores-a-reaccion/>
- Magaña, M. (2014). *Victor Aviaton*. Obtenido de http://victor-aviation.com/sp/Fuel_Injection_Systems_PrecisionAirmotive.php
- Mattingly, J. D. (1985). *Elements of Propulsion: Gas Turbines and Rockets*. Virginia: AIAA.
- Mejoras. (2023). *Mejoras*. Obtenido de <https://redes.mejoras-energeticas.com/producto/hydrins-caudalimetro-de-insercion/#:~:text=El%20caudal%20metro%20electromagn%C3%A9tico%20de%20inserci%C3%B3n,la%20secci%C3%B3n%20de%20la%20canalizaci%C3%B3n>
- Muñoz, A. V. (2010). *Herramientas para incrementar la Innovación Tecnológica de productos en Latinoamérica*.
- Muñoz, D. O. (2015). *Motor a reacción*. 1 BTO A.
- Ortega, C. (2023). *QuestionPro*. Obtenido de <https://www.questionpro.com/blog/es/metodo-analitico/>
- Ortega, F. J. (2011). *Mantenimiento del motor turbo abatico GE CF34-3B1 basado en las filosofías modernas de mantenimiento*. Ciudad de México : Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica .
- Parciales, 24. (19 de Agosto de 2020). *Turbinas de gas y ciclo Brayton*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=K2ytAerDRG0>
- Peña, N. A. (2011). *Metodología de diseño para ingeniería*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Pérez, J. J., & Moreno, W. L. (2009). *Banco de prueba de inyectores para motores PT-6 A/T y PT-6/T-3b*. Bogotá: TecnoESUFA.
- Pino, E. (2018). *consultame*. Obtenido de <https://www.consultame.co/index.php/articulos/aspectos-contables-y-tributarios/procedimiento-tributario/requisitos-para-los-costos-y-deducciones>

- RACE. (2021). *RACE*. Obtenido de <https://www.race.es/problemas-inyectores-sintomas-fallos>
- Renting Finders. (2023). *Renting Finders*. Obtenido de <https://rentingfinders.com/glosario/manometro/>
- Rivas, A. G. (2003). Motores de turbina de gas .
- Rueda, J. A. (2007). *Banco de prueba de inyectores para motores GARRETT TPE331-10R-513C y PT6A-25C*. Bogotá: Ciencia y Tecnología Aeronautica - Fuerza Aerea Colombiana.
- Salazar, R. C. (2018). *Modelado 1D de chorros con diferentes combustibles en condiciones de motor diesel*. Valencia : Universitat Politecnica de Valencia .
- Sánchez, C. F., & Velasteguí, D. A. (2018). *Repotenciación del banco de pruebas para los inyectores del motor PT6 A-68C del avión A-29B super tucano perteneciente al grupo logístico No. 232 de la fuerza aérea ecuatoriana* . Riobamba: Escuela superior politécnica de chimborazo.
- Servinox. (14 de Marzo de 2014). *Servinox*. Obtenido de <https://servinox.com.mx/blog/hablemos-sobre-el-acero-inoxidable/>
- Sevilla, U. d. (20 de Mayo de 2009). *Wiki Universidad de Sevilla* . Obtenido de http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo_Brayton
- Silver instruments . (s.f.). *Silver instruments* . Obtenido de <https://es.silverinstruments.com/blog/advantages-and-disadvantages-of-electromagnetic-flow-meter.html>
- SmartMeasurement. (s.f.). *SmartMeasurement*. Obtenido de <https://www.smartmeasurement.com/es/the-advantages-of-using-ultrasonic-fluid-measurement/#:~:text=El%20caudal%20C3%ADmetro%20ultras%20C3%B3nico%20ofrece%20numerosas,de%20transductores%20a%20una%20tuber%20C3%ADa>.
- Taco, D. (12 de agosto de 2015). *PREZI*. Obtenido de <https://prezi.com/1kdvspa2dkml/normas-de-seguridad-de-un-operador-industrial/>
- Tarifa, C. S. (1951). *Motores de reacción y turbina de gas*. Madrid : Ministerio del aire I.N.T.A.E.T.
- Vergel, M., Rojas, J. P., & Orjuela, S. (2021). *Estudio sobre el modelamiento del chorro de inyección en motores de combustión interna a diesel con aplicaciones didácticas* . Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander.
- Vilajosana, E. V. (2011). *Conocimientos Teóricos para el Alumno de Piloto de Transporte de Línea Aérea* . CESDA.
- Visure. (2022). *Visuresolutions*. Obtenido de <https://visuresolutions.com/es/blog/functional-requirements/#:~:text=Un%20requisito%20funcional%20es%20una,caracter%20C3%ADstic%20cas%20que%20el%20usuario%20detecta>.
- Yébenes, J. (02 de Julio de 2020). *Gaceta Aeronáutica* . Obtenido de <https://www.gacetaaeronautica.com/gaceta/wp-101/?p=35668>

Anexo A

Encuesta

1. ¿Qué características considera que son importantes para realizar el diseño de un banco de pruebas de inyectores para motores a reacción? Califique de 1 a 5, siendo 1 no tan importante y 5 lo más importante.

	1	2	3	4	5
Tamaño	<input type="checkbox"/>				
Peso	<input type="checkbox"/>				
Estetica	<input type="checkbox"/>				
Materiales	<input type="checkbox"/>				
Forma	<input type="checkbox"/>				
Tecnología	<input type="checkbox"/>				
Sistema de ale...	<input type="checkbox"/>				

2. Califique de 1 a 5 la importancia de los siguientes requerimientos de construcción para el banco de pruebas de inyectores para motores a reacción. Siendo 1 no tan importante y 5 lo más importante.

	1	2	3	4	5
Ergonomía	<input type="checkbox"/>				
Durabilidad	<input type="checkbox"/>				
Economía	<input type="checkbox"/>				
Operación	<input type="checkbox"/>				
Calidad	<input type="checkbox"/>				

3. ¿Qué parámetros considera que debe de evaluar el banco de pruebas para inyectores de un motor a reacción para que pueda cumplir con las necesidades técnicas y de mantenimiento?

Presion de salida del combustible

Angulo de aspersión

Temperatura del combustible

Caudal del combustible

Defectos de la atomización

4. ¿Qué otro aspecto, parámetro o característica considera usted necesario para el diseño de un banco de pruebas de inyectores para motores a reacción? *

Texto de respuesta largo
.....

5. ¿Qué recomendaciones y puntos de mejora tendría usted en base a su experiencia para realizar el diseño de banco un banco de pruebas de inyectores para motores a reacción?

Texto de respuesta largo
.....