



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD TICOMAN**



**“DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA CONSOLA
DE AVIÓNICA SUPLEMENTARIA PARA UN
HELICÓPTERO LIGERO”**

T E S I S A

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN AERONÁUTICA**

PRESENTAN:

**GRACIDAS ROSAS ERNESTO DE JESÚS
SUÁREZ OCAMPO JAVIER ORIÓN**

ASESORES:

**M. EN C. ARMANDO OROPEZA OSORNIO
ING. JORGE ALBERTO JINES GUERRERO**



MEXICO, D.F. 2013

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD TICOMÁN

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN:
DEBERÁN PRESENTAR:

INGENIERO EN AERONÁUTICA
SEMINARIO
LOS CC. PASANTES:


GRACIDAS ROSAS ERNESTO DE JESÚS
SUÁREZ OCAMPO JAVIER ORIÓN

“DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA CONSOLA DE AVIÓNICA SUPLEMENTARIA PARA UN HELICÓPTERO LIGERO”

	ÍNDICE
	INTRODUCCIÓN
CAPÍTULO I	MARCO TEÓRICO
CAPÍTULO II	DISEÑO CONCEPTUAL
CAPÍTULO III	DISEÑO DE DETALLE
CAPÍTULO IV	CONCLUSIONES
	REFERENCIAS

México, DF., a 19 de febrero de 2013.

A S E S O R E S


M. EN C. ARMANDO OROPEZA OSORNIO


ING. JORGE ALBERTO JINES GUERRERO

Vo. Bo.


ING. JOSÉ JAVIER ROCH SOTO
DIRECTOR I. P. N.

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD TICOMÁN
DIRECCIÓN

DEDICATORIAS

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme permitido llegar hasta este momento tan importante en mi vida y formación profesional.

A mis padres, por ser las personas más importantes que han estado en mi vida dándome el cariño, la confianza y todo el apoyo para seguir adelante y ayudarme a cumplir otra etapa en mi vida, y que han sido el motivo y la razón que me ha llevado a seguir superándome día a día, para alcanzar mis sueños y mis metas.

A todos y cada uno de mis seres queridos que están en mi vida y mi corazón, ya que ellos han creído en mí y fueron quienes en los momentos más difíciles me dieron su amor y comprensión para poderlos superar.

Quiero también dejar a cada uno de ellos una enseñanza; que cuando se quiere alcanzar algo en la vida, no hay tiempo ni obstáculo que lo impida para poder LOGRARLO.

Gracias Rosas Ernesto de Jesús

A Dios; mi fortaleza, mi esperanza, mi paz, mi salvador...

A mi esposa; mi mejor amiga, mi confidente y el gran amor de mi vida.

A mi hija; mi inspiración y la alegría más grande en mi vida.

A mi madre; por darme siempre todo su amor a través de su cariño y apoyo sobrehumano.

A mi padre; por enseñarme a luchar en las circunstancias más difíciles.

A mis hermanas; a quienes amo sin importar cuan diferentes somos.

A mis abuelos Felipe y Sofía; por darme su cariño y apoyo incondicional, por creer en mí en todo momento, por ser como unos padres para mí.

A mis tíos Humberto, Enrique[†] y Alejandra; por darme la oportunidad de ver el sueño de mi carrera hecho realidad. Siempre estaré en deuda con ellos.

Suárez Ocampo Javier Orión

ÍNDICE

	Página
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	iv
GLOSARIO.....	v
LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES	vii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	viii
LISTA DE TABLAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
INTRODUCCIÓN.....	xi
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 MÉTODOS SISTEMÁTICOS DE DISEÑO	1
1.1.1 DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE CALIDAD.....	1
1.1.2 ANÁLISIS FUNCIONAL	3
1.1.3 CUADROS MORFOLÓGICOS.....	6
1.2 MECÁNICA DE MATERIALES.....	7
1.2.1 PROPÓSITO.....	7
1.2.2 GENERALIDADES DE LA MECÁNICA DE MATERIALES	7
1.3 ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS	9
1.3.1 COMPONENTES ESTRUCTURALES.....	9
1.3.2 PROCESO DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL	9
1.4 CONEXIONES Y ELEMENTOS DE UNIÓN.....	10
1.4.1 TIPO DE CONEXIONES	10
1.4.2 ANÁLISIS DE UNIONES.....	11
1.5 MÉTODO DE ELEMENTO FINITO	13
1.5.1 ELEMENTOS FINITOS.....	13
1.5.2 MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS.....	13
1.5.3 FORMAS DE LOS ELEMENTOS	14
2. DISEÑO CONCEPTUAL	15
2.1 DECLARACIÓN DE LA MISIÓN	15
2.2 IMPLEMENTACIÓN DEL QFD	15
2.2.1 IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	15
2.2.2 DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS.....	17
2.2.3 MATRIZ DE LA CASA DE LA CALIDAD.....	26
2.3 ANÁLISIS FUNCIONAL	29
2.3.1 DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL DE LA CONSOLA.....	29
2.3.2 ESTRUCTURACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS FUNCIONALES	31

2.4	GENERACIÓN DEL CONCEPTO DE DISEÑO.....	32
2.4.1	PROPOSICIÓN DE SOLUCIONES	32
2.4.2	EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE CONCEPTOS	33
2.4.3	DESCRIPCIÓN DEL CONCEPTO SELECCIONADO	35
3.	DISEÑO DE DETALLE	36
3.1	CONFIGURACIÓN DE LA CONSOLA	36
3.1.1	DIMENSIONADO PRELIMINAR	36
3.1.2	MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACIÓN	39
3.1.3	ESTRUCTURA.....	40
3.2	JUSTIFICACIÓN ESTRUCTURAL.....	41
3.2.1	BASE DE CERTIFICACIÓN.....	41
3.2.2	CONSIDERACIONES DE CARGA	42
3.2.3	PROPIEDADES DE LOS MATERIALES	43
3.2.4	ANÁLISIS POR ELEMENTO FINITO.....	44
3.3	PLANOS DE MANUFACTURA	54
4.	CONCLUSIONES.....	60
4.1	RESULTADOS Y RECOMENDACIONES.....	60
4.2	CONTINUACIÓN DEL PROYECTO.....	60
	REFERENCIAS	61

RESUMEN

Este trabajo se ha realizado con la intención de proponer una solución (llamada “consola de aviónica suplementaria”) para soportar equipos de aviónica de dimensiones estándar en la cabina de pasajeros de un helicóptero ligero, modelo AS-350 B3 de la marca EUROCOPTER.

Para la obtención del diseño conceptual de la consola se implementaron distintos métodos sistemáticos de diseño, como lo son el QFD y el análisis funcional, esto con el fin de asegurar el cumplimiento de las expectativas y necesidades reales del mercado. El modelado geométrico se generó de manera paramétrica utilizando CATIA (software CAD). Al determinar una configuración preliminar de consola, fue posible justificar el comportamiento estructural a través de un modelo numérico en ANSYS (software FEA), lo que facilitó la definición de materiales y procesos de fabricación. Se continuó con la evaluación iterativa del diseño de la consola con el fin de obtener un margen de seguridad aceptable. Una vez obtenida la configuración final de la consola se generaron tanto planos de manufactura como de ensamble.

ABSTRACT

This research work is intended to propose a solution (called “supplemental avionics console”) for accommodating standard-size avionics equipment inside passenger cabin of a normal category EUROCOPTER helicopter, model AS-350 B3.

To obtain the console’s design concept, different systematic design methods were implemented, such as: QDF and functional analysis, so as to ensure compliance with desires and needs of the real current market. Sizing was based on the parametric model from CATIA (CAD software). By determining a preliminary console configuration, structural substantiation of the console was possible through a numerical model in ANSYS (FEA software), making definition of materials and manufacturing process easier. After that, it was continued with a design interactive assessment that permitted to reach an acceptable margin of safety in the console design. Detail and assembly drawings were generated after obtaining the console final configuration.

GLOSARIO

Aeronave

Cualquier vehículo capaz de transitar con autonomía en el espacio aéreo con personas, carga o correo. ^[15]

Aeronave de ala rotativa o helicóptero

Aeronave más pesada que el aire que se mantiene en vuelo por la reacción del aire sobre uno o más rotores, propulsado por motor, que gira alrededor de ejes verticales, o casi verticales. ^[16]

Aeronavegabilidad

Condición en la que una aeronave, sus componentes y/o accesorios cumplen con las especificaciones de diseño del certificado tipo, suplementos y otras aprobaciones de modificaciones menores y que operan de una manera segura para cumplir con el propósito para el cual fueron diseñados. ^[15]

Aviónica

Rama de la tecnología que se encarga del diseño, producción, instalación, uso y servicio de equipos electrónicos montados en una aeronave. ^[4]

Base de certificación

Estándares aplicables de aeronavegabilidad y de medioambiente, establecidos por un estado por el cual el diseño tipo de un producto aeronáutico, o cambio de aquel diseño tipo, fue aprobado o aceptado. ^[21]

Certificado tipo

Documento otorgado por la Autoridad Aeronáutica certificadora de una aeronave, parte, componente, equipo o producto utilizado en aviación, de fabricación específica o modelo básico, que incluye el diseño tipo, los límites de operación o manejo, los datos de sus características y cualquier otra condición o limitación. ^[15]

Diseño tipo

Conjunto de datos e información necesaria para definir un producto tipo con el propósito de determinar la aeronavegabilidad de cualquier producto futuro del mismo tipo. ^[21]

Estándares de aeronavegabilidad

Para propósitos de certificación tipo, estos son criterios detallados de seguridad y diseño aplicables a la categoría del producto aeronáutico que satisface, como mínimo, los estándares aplicables del Anexo 8 de ICAO. ^[21]

Helicóptero ligero

Conocido por la FAA como helicóptero de categoría normal, es aquel con un peso máximo de 3175.2 kg o menos y nueve o menos asientos de pasajeros. ^[21]

Modificación mayor

Alteración no indicada en las especificaciones del certificado de tipo de un producto aeronáutico, componente o accesorio, que afecta significativamente su peso, equilibrio, resistencia estructural, rendimientos, funcionamiento de la planta moto-propulsora, características de vuelo u otras cualidades que afecten su aeronavegabilidad, o aquella que no se efectúa de acuerdo con prácticas recomendadas o que no puede realizarse mediante operaciones básicas. ^[15]

Modificación menor

Cualquier alteración que no sea mayor. ^[21]

Suplemento al certificado tipo

Autorización mediante la cual una Autoridad Aeronáutica aprueba el diseño de una modificación mayor (que no amerita la emisión de un nuevo certificado tipo) para ser instalada en modelo dado de una aeronave. ^[4]

Taller aeronáutico


Instalación destinada al mantenimiento o reparación de aeronaves y de sus componentes, que incluyen sus accesorios, sistemas y partes, así como a la fabricación o ensamblaje, siempre y cuando se realicen con el fin de dar mantenimiento o para reparar aeronaves en el propio taller aeronáutico. ^[15]

LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES

AL	Aluminio
AOG*	Aeronave En Tierra
CFR*	Código de Reglas Federales
CG	Centro de Gravedad
CAD*	Diseño Asistido por Computadora
DGAC	Dirección General de Aeronáutica Civil
EC	Eurocopter
FAA*	Administración de Aviación Federal
FAR*	Regulaciones de Aviación Federal
FE*	Elemento Finito
FEA*	Análisis por Elemento Finito
ICAO*	Organización de Aviación Civil Internacional
ISO*	Organización de Estandarización Internacional
ITAR*	Regulaciones para el Tráfico Internacional de Armas
MRO*	Organización de Reparación Mantenimiento
MTC	Manual de Prácticas Estándar (Documentación EC)
N/A	No aplica
PMA*	Aprobación de Fabricación de Partes
QFD*	Despliegue de la Función de Calidad
SHT*	Lámina
STC*	Suplemento al Certificado Tipo
t	Espesor
TSO*	Orden de Estándar Técnico
USD*	Dólares Norteamericanos
WC*	Carta de Trabajo (Documentación Eurocopter)

*Por sus siglas en Inglés

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado	Unidades
E	Módulo de elasticidad longitudinal	[Pa]
FS	Factor de seguridad	---
g	Fuerza debida a la aceleración gravitacional (fuerza G)	[m/s ²]
MS	Margen de seguridad	---
ρ	Densidad	[kg/m ³]
v	Relación de Poisson	---
σ_{ty}	Esfuerzo de cedencia, en tensión	[Mpa]
σ_{tu}	Esfuerzo último, en tensión	[Mpa]
\emptyset	Diámetro	N/A
Φ	Línea Central	N/A
	Continuidad Eléctrica	---

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Datos de la competencia	xi
Tabla 2. Declaración de la misión.....	15
Tabla 3. Requerimientos de la oficina de diseño.....	17
Tabla 4. Términos de factibilidad comercial	18
Tabla 5. Datos requeridos en el aprovisionamiento de partes	19
Tabla 6. Datos requeridos en el aprovisionamiento de partes.	19
Tabla 7. Requerimientos del taller.	20
Tabla 8. Requerimientos del departamento de calidad.	20
Tabla 9. Equipos de aviónica a instalar	22
Tabla 10. Requerimientos del usuario final	23
Tabla 11. Regulaciones FAA aplicables al diseño de la consola	25
Tabla 12. Identificación de requerimientos deseables	26
Tabla 13. Estructuración de requerimientos	27
Tabla 14. Lista de posibles parámetros técnicos	27
Tabla 15. Resultados de la aplicación del método QFD	29
Tabla 16. Soluciones de consola.....	32
Tabla 17. Valorización acotada	33
Tabla 18. Calificación de los requerimientos	33
Tabla 19. Matriz de selección de la consola.....	34
Tabla 20. Base de certificación de la consola	41
Tabla 21. Consideraciones de carga para la consola	42
Tabla 22. Propiedades de los materiales utilizados en la consola.....	43
Tabla 23. Iteraciones de refinamiento de malla.....	49
Tabla 24. Diferencias en la configuración mejorada	52
Tabla 25. Resultados obtenidos en la consola mejorada.....	54

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Alternativa de consola existente en el mercado	xii
Figura 2. La casa de la calidad	3
Figura 3. Descomposición jerárquica de un análisis funcional	4
Figura 4. Diagrama esfuerzo-deformación unitaria, Acero común en tensión.	8
Figura 5. Clasificación de elementos finitos.....	14
Figura 6. AS-350 B3, configuración estándar	21
Figura 7. Casa de la calidad de la consola	28
Figura 8. Diseño de la consola como un sistema técnico.....	29
Figura 9. Árbol de funciones	30
Figura 10. Estructuración funcional	31
Figura 11. Concepto de consola seleccionado	35
Figura 12. Dimensionado de la consola.....	36
Figura 13. Sección transversal preliminar más significativa de la consola.....	37
Figura 14. Representación inicial de la consola	38
Figura 15. Configuración preliminar de la consola	40
Figura 16. Generación de la malla de análisis – primera iteración.....	44
Figura 17. Aplicación de cargas para el caso de análisis crítico	45
Figura 18. Condiciones de frontera del modelo de elemento finito	46
Figura 19. Resultados de la primera iteración del caso de análisis crítico	47
Figura 20. Evaluación de la primera iteración para el caso de análisis crítico	48
Figura 21. Comportamiento estructural de la configuración preliminar de la consola.....	50
Figura 22. Modelo CAD de la configuración mejorada de la consola.....	51
Figura 23. Calidad de malla en la configuración mejorada de la consola	52
Figura 24. Comportamiento estructural de la consola mejorada	53

INTRODUCCIÓN

JUSFICACIÓN

En la actualidad existe en México un gran número de helicópteros AS-350B3 operando en sectores tales como medios de comunicación masiva y organismos de seguridad pública. Las operaciones realizadas en dichos mercados requieren que las aeronaves cuenten con equipos especializados que aseguren el éxito y la seguridad en cada misión.

Una de las mayores limitantes en la instalación de equipos opcionales es el espacio disponible en la aeronave. Normalmente un B3 tiene la capacidad de alojar un cierto número de equipos opcionales en el panel de instrumentos. No obstante, misiones como las que se mencionaron anteriormente requieren de un operador táctico a bordo que realice tareas específicas como por ejemplo: la comunicación a tierra, la grabación y transmisión de video de una cámara externa o la manipulación de un faro de búsqueda. Sin embargo, las alternativas actuales para este tipo de consolas son muy escasas y costosas.

ANTECEDENTES

A continuación se presenta una alternativa de consola existente en el mercado. ^[14]

Tabla 1. Datos de la competencia

Modelo:	Consola central trasera para equipos de comunicación
Número de parte:	P153 (Figura 1)
Proveedor:	DART Helicopter Services
Fabricante:	GENEVA AVIATION
Dimensiones:	No disponible
Peso:	10 lb / 4.54 kg
Tiempo de instalación:	16 hrs
Costo:	\$5498.00 USD
Observaciones especiales:	Requiere modificación de asiento trasero DART (modelo P134)
Descripción:	La consola central trasera está diseñada para soportar más de 20 lb en paneles de control y aviónica, y se instala en la parte trasera. Es ideal para aplicaciones periodismo electrónico donde se necesitan múltiples paneles de control cerca del fotógrafo o ingeniero.



© DART Helicopter Services | darths.com

Figura 1. Alternativa de consola existente en el mercado

OBJETIVOS

Objetivo general.

Diseñar estructuralmente una consola metálica que permita instalar equipos de aviónica en la cabina de pasajeros de un helicóptero AS-350 B3.

Objetivos específicos.

Determinar los requerimientos aplicables al diseño de consolas de aviónica a través del método QFD.

Obtener el diseño conceptual de una consola de aviónica suplementaria en base a la selección objetiva de conceptos generados.

Generar el modelo CAD de la estructura de la consola con el fin de determinar dimensiones.

Justificar la integración estructural de la consola en la aeronave por medio de un análisis por elemento finito.

Obtener el diseño de detalle de la consola.

ALCANCE

El cumplimiento de los objetivos anteriores, estará limitado por las siguientes restricciones:

- En la implementación de la metodología QFD se considerará como fuente generadora del diseño a un taller aeronáutico con la capacidad para diseñar, fabricar, instalar y certificar la consola en México. Sin embargo, no se abordará el tema de la factibilidad comercial para dicha compañía.
- Para el dimensionado de la consola se considerarán a los tres equipos de aviónica (en un mercado dado) con las características más representativas en cuanto a peso y volumen. Sin embargo, no se tomará en cuenta ningún aspecto eléctrico/electrónico como la alimentación eléctrica o la interface con otros equipos en la aeronave.
- Para establecer la configuración de la consola (forma) así como su ubicación en la aeronave se analizarán aspectos ergonómicos simples tales como las interferencias en su periferia. Sin embargo, no se abordará el tema del campo de visión de los equipos a instalar ni el esfuerzo físico del usuario para alcanzar tales equipos.
- Para el análisis estructural de la consola sólo se considerarán los aspectos estáticos requeridos por la FAA, por lo que el comportamiento dinámico (análisis de vibraciones) será excluido. Por otro lado, los efectos de la instalación de la consola sobre la estructura de la aeronave serán también omitidos.
- Los resultados obtenidos en el análisis serán evaluados utilizando un margen de seguridad. No obstante, la validación de estos a través de un modelo de análisis alterno será omitida.
- En el diseño de detalle se incluirán los planos de manufactura y ensamble de la consola. Sin embargo, no se generará ningún plano que incluya las instrucciones de la instalación de la consola en la aeronave. Además, los materiales y procesos de fabricación se establecerán en función de las limitantes del taller propuesto como fuente generadora del diseño.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 MÉTODOS SISTEMÁTICOS DE DISEÑO

1.1.1 DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE CALIDAD ^[1]

DEFINICIÓN Y PROPÓSITO

La Función Despliegue de la Calidad o QFD, contrario a lo que su nombre podría implicar, no es sólo una herramienta para mejorar la calidad. De acuerdo con la Sociedad Americana para la Calidad (ASQ por sus siglas en inglés), el QFD ha sido uno de los desarrollos más importantes en la tecnología de la calidad en los últimos 20 años, debido, principalmente, a que ha contribuido, en forma por demás significativa en la reducción de costos, en la rapidez para el lanzamiento de nuevos productos mejor diseñados y, sobre todo, ha impulsado en forma por demás importante a las empresas que lo integraron en sus labores.

El QFD se desarrolló en Japón frente a la creciente necesidad de alcanzar ventajas competitivas en calidad costo y tiempo. Este sistema permite traducir las demandas del consumidor en requerimientos técnicos apropiados para la compañía durante cada una de las diferentes etapas del ciclo de desarrollo de un producto, entre las cuales se deben considerar ámbitos como la investigación, el desarrollo de la ingeniería, la manufactura, el mercadeo, las ventas y la distribución.

La satisfacción de las expectativas del cliente requiere que éstas sean conocidas y tratadas de manera adecuada. La aplicación del QFD evita que las demandas del consumidor sean desechadas de antemano por la complejidad que tienen tanto el diseño del producto como el proceso que conduce. Además define, con claridad, las necesidades del cliente, pues proporciona una manera objetiva de jerarquizar las acciones según las características de los productos, además de que permite identificar, de la mejor manera posible, los métodos de control en la manufactura.

EL ENFOQUE CLIENTE

El empleo del QFD necesita una definición clara de *cliente*, la cual es fundamental para comprender las funciones de la Casa de la Calidad. Esta última representa la matriz de planificación principal de un proyecto QFD.

El cliente interno es aquel que se ve afectado por lo que hace o deja de hacer otro miembro del sistema, lo que influirá en el resultado final del producto o servicio. Una situación parecida, aunque dentro de un marco más amplio, puede definir al cliente externo, quién recibirá el producto y/o servicio para su aprobación y satisfacción al final del proceso.

De manera evidente, la definición de *cliente* y su papel dentro del proceso de planificación, diseño y control de un producto o servicio es un aspecto esencial para desarrollar un análisis de la evolución de los productos mediante la técnica del QFD. Para ello, como antes se mencionó, hay que dar a conocer e involucrar al cliente con los diferentes procesos de manufactura. Ello asegurará un acercamiento real a sus expectativas y garantizará el éxito del producto o servicio puesto en el mercado.

PROCEDIMIENTO DEL QFD

El procedimiento básico del QFD inicia con la identificación de las demandas del cliente (“Voz del Cliente”), las cuáles serán, por lo general, características cualitativas del producto, como son: buen desempeño, sensación agradable, buena presencia o comodidad. Estas características son importantes para el consumidor, pero muchas veces son difíciles de cuantificar y de llevar a buen término en el proceso de producción.

Durante el desarrollo del producto, las demandas del consumidor deben convertirse en requerimientos internos de la compañía, conocidos, también, como requerimientos de diseño. Por lo general, estos requerimientos son las características globales del producto que satisfacen las demandas del cliente sólo si son interpretados y seguidos de manera conveniente.

Lo más importante para la primera parte del QFD es el diseño de la matriz de la Casa de la Calidad, la cual admite correlacionar las demandas del consumidor con los requerimientos del proceso. La Casa de la Calidad es la matriz de planeación de producto que se utiliza para mostrar las demandas del consumidor, los requerimientos del diseño, los valores meta y las evaluaciones competitivas del producto. La figura 2 presenta la forma en que está construida una Casa de la Calidad.

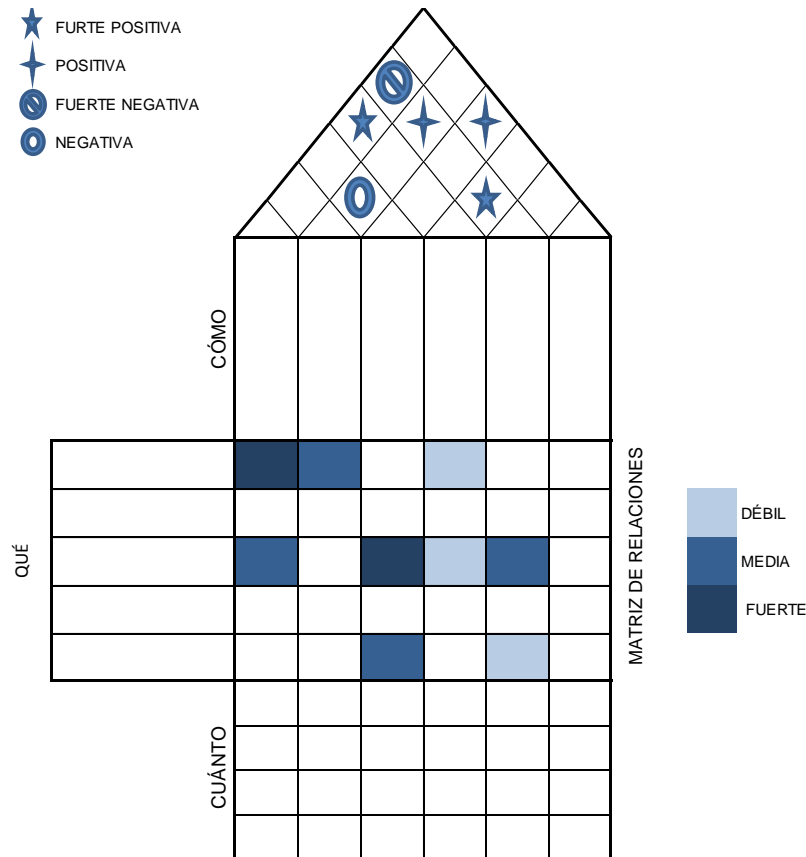


Figura 2. La casa de la calidad

Para cada una de las demandas identificadas se determinará un grupo de requerimientos de diseño y, si estos son cumplidos en forma cabal, serán resueltas las demandas del consumidor, lo cual será benéfico para todos, principalmente beneficiará la empresa, que la posicionará mejor, y al mercado que quedará mejor satisfecho.

1.1.2 ANÁLISIS FUNCIONAL [1] & [2]

INTRODUCCIÓN

En el análisis funcional, una función es el efecto físico o propiedad de un material que podría ser conseguida por diferentes medios. El objetivo de este enfoque es separar la acción que se efectúa del producto o componente del producto que la lleva a cabo. Esto permite buscar nuevas soluciones a un mismo concepto. Posteriormente dicha función se asociaría al cumplimiento por parte del producto de una necesidad del mercado, con lo que se puede definir una función como la acción o efecto que realiza el producto para cubrir una determinada expectativa del consumidor.

CARACTERÍSTICAS DEL MÉTODO

El análisis funcional es una herramienta de gran utilidad en el diseño conceptual de nuevos productos. Dicho método parte de la consideración de que los productos producen efectos (funciones). El análisis funcional busca identificarlos, descomponerlos en efectos subordinados, y definir así lo esencial de esas entidades en cuanto a productoras de efecto. Luego, el análisis funcional examina esos efectos analizados como una respuesta a necesidades o problemas detectados en el consumidor. Es decir, estudia la relación de adecuación o finalización entre el producto y las necesidades y problemas del cliente.

En el enfoque visual del Análisis Funcional se considera al producto como una caja negra (es decir, un elemento del que se desconoce el contenido), el cual se encarga de transformar un estado inicial en un estado final. Dentro de la caja negra hay una serie de funciones que posibilitan esa transformación. Estas funciones son realizadas por un determinado sistema, que por definición se puede descomponer en subsistemas que realizan sub funciones. A su vez, estos subsistemas y estas sub funciones se pueden dividir en más sub subsistemas y sub funciones, y así sucesivamente hasta llegar a los componentes concretos ya conocidos, y que permiten ofrecer una solución concreta al problema.

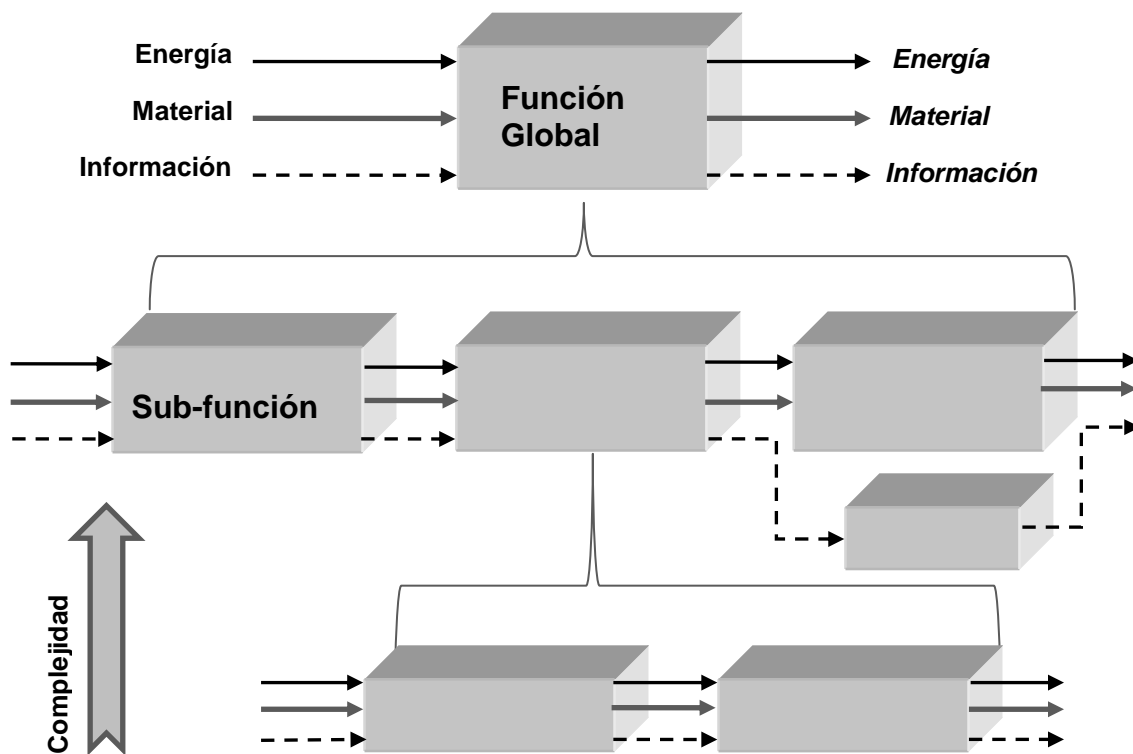


Figura 3. Descomposición jerárquica de un análisis funcional

DEFINICIÓN DE LAS FUNCIONES

En primer lugar, es necesario conocer qué necesidad busca cubrir el consumidor al adquirir el producto. Para ello hay que pensar en las relaciones entre el problema al que el consumidor quiere dar solución y las características que debe o debería tener el producto a diseñar. Se pueden hacer preguntas como ¿Qué debe hacer el producto? ¿por qué debe hacer eso? ¿debe hacer algo más? ¿puede hacerse de otro modo? Para llegar al conocimiento de las demandas del consumidor puede emplearse la metodología del QFD.

Una vez que se tiene claro el propósito del producto (a qué necesidad se dará solución), ya se podrá precisar que funciones debe cumplir. La mejor manera de hacerlo es evitando tener en mente la imagen del producto concreto o de sus características.

ETAPAS DEL ANÁLISIS FUNCIONAL

Identificar la función global que debe satisfacer el producto. El objetivo es expresar, de forma muy resumida, la función global basada en las necesidades del cliente.

Descomponer la función global en sub funciones. Se realiza una primera subdivisión en la que se incluyen aquellas funciones que son determinantes para el diseño. Posteriormente se identifican las funciones auxiliares.

Algunas recomendaciones son:

- Buscar analogías con otros productos que realicen funciones similares.
- Intentar que la estructura de funciones sea lo más simple y clara posible.
- Expresar cada sub-función como combinación de un infinitivo y uno o dos sustantivos.
- Seguir la secuencia lógica de operaciones del producto

La descomposición en subsistemas finaliza en el momento en que, para continuar la descomposición, no hay más remedio que dar soluciones de “**cómo**” han de realizarse las funciones de orden superior. En ese momento, el producto es una caja transparente que contiene a su vez una serie de cajas negras (sub funciones) enlazadas entre ellas por sus entradas y salidas.

Revisión de la estructura funcional creada. En esta etapa, se toma el diagrama o árbol de funciones construido y se procede a refinarlo, dividiendo o agrupando funciones, cambiando el orden de las sub funciones, etc., hasta conseguir una división equilibrada, sin solapes, y donde las funciones de un nivel tengan el mismo grado de abstracción.

Delimitar el sistema creado. Hasta ahora, se ha pretendido estructurar una función concreta sin plantear ningún tipo de restricciones que coarten la creatividad del equipo de diseño. En este paso se procede a tomar decisiones, siendo la primera de ellas en establecer los límites de la función que va a cubrir el producto.

Generar conceptos concretos para cada función. El objetivo de esta etapa es encontrar conceptos que satisfagan cada una de las funciones identificadas. Si en esta etapa se detectan determinadas suposiciones que limiten la creatividad, funciones mal definidas o un limitado conocimiento de la técnica, se deberá volver atrás y revisar el trabajo realizado. Es importante señalar que se habla de conceptos que cumplan funciones y nunca de componentes concretos.

ÁRBOL DE FUNCIONES O DIAGRAMA DE FUNCIONES

Las funciones detectadas a lo largo del proceso pueden ser independientes o estar relacionadas unas con otras. El cumplimiento de unas puede exigir se hayan cumplido otras. El conjunto de las funciones desarrolla un efecto global que se designa como la función total del objeto. Para realizar el análisis funcional es necesario determinar qué relaciones existen entre las distintas funciones parciales del producto. Esta estructuración suele plasmarse en forma de árbol funcional, en el que las funciones se relacionan en forma de árbol de familias de funciones. En la clasificación y ordenación de funciones se pasa desde el nivel más general al más concreto.

1.1.3 CUADROS MORFOLÓGICOS ^[2]

Este método consiste en asignar posibles soluciones concretas y específicas a cada una de las funciones y sub-funciones que se determinaron en el análisis funcional. Con estos dos elementos se construye una matriz donde las filas se corresponden con las funciones y sub-funciones (parámetros), y las columnas con las soluciones (componentes). De esta forma se generan una gran cantidad de soluciones igual al número total de combinaciones posibles.

Para reducir la cantidad de soluciones es necesario establecer ciertos criterios de selección que permitan eliminar aquellos componentes que no cumplen las especificaciones, además de efectuar un agrupamiento de parámetros. En este último paso se establece un orden de importancia y se pasa a evaluar el grupo de parámetros más importante del que resultan una o más combinaciones de componentes que serán los únicos que se estudiarán con el siguiente parámetro de importancia, y así sucesivamente.

1.2 MECÁNICA DE MATERIALES [6], [7] & [12]

1.2.1 PROPÓSITO

Los principales objetivos en el diseño de una estructura son la especificación de materiales y el establecimiento de dimensiones, esto con de asegurarse que sea segura y que realizará su función pretendida. Esto requiere entender la capacidad del material de soportar cargas aplicadas sin falla, es decir, sin ruptura o deformación excesiva. En este punto es donde entra el juego el término *mecánica de materiales*.

1.2.2 GENERALIDADES DE LA MECÁNICA DE MATERIALES

ESFUERZO NORMAL

Esfuerzo es la resistencia interna ofrecida por una unidad de área del material, del cual está hecho un miembro, a una carga aplicada externamente. Uno de los tipos fundamentales de esfuerzo es el *esfuerzo normal*, el cual actúa perpendicular o normal a la sección transversal del miembro de carga.

DEFORMACIÓN UNITARIA NORMAL

Si se considera una barra prismática sometida a fuerzas axiales, la deformación unitaria se encuentra dividiendo la deformación total entre la longitud original de la barra. Si un elemento está en tensión, la deformación unitaria se denomina *deformación unitaria por tensión*, que representa un alargamiento o estiramiento del material. Si el elemento se encuentra sometido a compresión, la deformación unitaria es una *deformación unitaria por compresión*, y la barra se corta.

DIAGRAMA ESFUERZO – DEFORMACIÓN

Después de realizar un ensayo de tensión o compresión y de determinar el esfuerzo y la deformación unitaria para varias magnitudes de carga, es posible trazar un diagrama del esfuerzo en función de la deformación unitaria. El diagrama esfuerzo-deformación unitaria es una característica del material que se ensaya y contiene información importante sobre sus propiedades mecánicas y el tipo de comportamiento.

El diagrama inicia con una línea recta desde el origen 0 hasta el punto A, que indica que la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria en esta región inicial no sólo es lineal sino también *proporcional*. Más allá del punto A, ya no existe la proporcionalidad entre el esfuerzo y la deformación unitaria; de aquí que al esfuerzo en A se le nombre ***límite de proporcionalidad***.

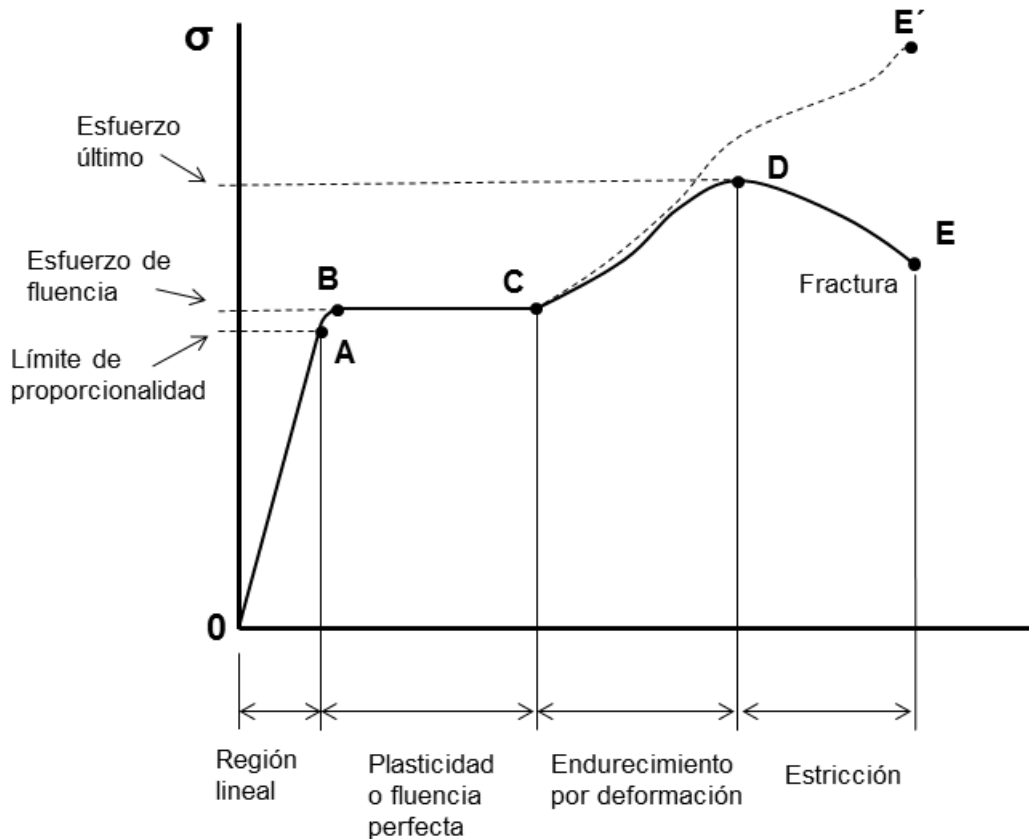


Figura 4. Diagrama esfuerzo-deformación unitaria, Acero común en tensión.

La pendiente de la línea recta de 0 a A se denomina **módulo de elasticidad**.

ELASTICIDAD LINEAL, LEY DE HOOKE Y RELACIÓN DE POISSON

Cuando un material se comporta elásticamente y también presenta una relación lineal entre el esfuerzo y la deformación unitaria se dice que es **linealmente elástico**.

El módulo de elasticidad es la pendiente del diagrama esfuerzo-deformación unitaria en la región linealmente elástica. La ecuación $\sigma = E\varepsilon$ se conoce como **ley de Hooke**, quien investigó las propiedades elásticas de los materiales.

Cuando una barra prismática se somete a tensión, la elongación axial va acompañada de una contracción lateral. La deformación unitaria lateral ε' en cualquier punto en una barra es proporcional a la deformación unitaria axial ε , en el mismo punto si el material es linealmente elástico. La relación de esas deformaciones unitaria es una propiedad del material conocida como **relación de Poisson**.

1.3 ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS ^[9] & ^[10]

1.3.1 COMPONENTES ESTRUCTURALES

Todos los sistemas estructurales están integrados por componentes. Algunos de los componentes principales son:

Tirantes. Son miembros sometidos sólo a fuerzas axiales de tensión. Un tirante no está cargado a lo largo de su de su longitud y no puede resistir fuerzas generadas por flexión.

Puntuales. Son miembros sometidos sólo a fuerzas axiales de compresión. Al igual que un tirante, un puntal no está cargado a lo largo de su longitud y tampoco puede resistir fuerzas generadas por flexión.

Vigas. Son miembros sometidos a fuerzas de flexión. Casi siempre son miembros horizontales sometidos principales a fuerzas de gravedad.

Columnas. Son miembros sometidos principalmente a fuerzas de compresión axial y también a fuerzas de flexión.

Marcos. Los marcos son una combinación de vigas y barras. La diferencia estriba en que la carga externa aplicada sobre un elemento estructural tiene tanto componentes normales como longitudinales, de modo que las fuerzas internas pueden ser ahora fuerzas axiales y cortantes, mas momentos flexionantes y torsores.

Placas. Forman superficies planas en dos dimensiones con un espesor pequeño comparado a sus dimensiones en el plano, sobre las que se aplican cargas normales y que se soportan mediante apoyos puntuales o lineales que restringen la deflexión. Las fuerzas internas que se producen en un punto de la placa son un par de momentos, un momento torsor y un par de fuerzas de corte fuera del plano.

1.3.2 PROCESO DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL

En el diseño de estructuras existen tres aspectos fundamentales: estructuración, análisis y dimensionamiento.

Estructuración. En esta parte del proceso se determinan los materiales de los que va a estar constituida la estructura, la forma global de ésta, el arreglo de sus elementos constitutivos, de sus dimensiones y características más esenciales.

Análisis. Se incluyen bajo esta denominación las actividades que llevan a la determinación de la respuesta de la estructura ante las diferentes acciones que pueden afectarla.

Para esta determinación se requiere lo siguiente:

- a) *Modelar la estructura.* idealizar la estructura real por medio de un modelo teórico factible de ser analizado con los procedimientos de cálculo disponibles.
- b) *Determinar las acciones de diseño.* Definir los valores de diseño es una acción dada, la forma de obtener un modelo de ésta es como generalmente de un sistema de fuerzas estáticas.
- c) *Determinar los efectos de las acciones de diseño en el modelo de estructura elegido.* Se determinan las fuerzas internas (momentos flexionantes y de torsión, fuerzas axiales y cortantes), así como las flechas y deformaciones de la estructura.

Dimensionamiento. Define en detalle la estructura, si cumple con los requisitos de seguridad adoptados:

- 1) *Planteamiento de soluciones preliminares.* Una definición clara de las funciones que debe cumplir la estructura y de las restricciones que impone el entorno físico, que figan los otros aspectos del proyecto.
- 2) *Evaluación de soluciones preliminares.* Pretende definir las características esenciales de la estructura en diversas alternativas, identificar posibles problemas en su adopción y, de poder cuantificar sus partes y llegar a una estimación de los costos de las diversas soluciones
- 3) *Diseño detallado.* Una vez seleccionado la opción más conveniente se procede a definirla hasta su detalle.
- 4) *Transferencia de los resultados del diseño.* No basta haber realizado un diseño satisfactorio. La elaboración de planos que incluya no sólo las características fundamentales, sino la solución de los menores detalles, y la especificación de los materiales y procedimientos, y la elaboración de una memoria de cálculos.
- 5) *Supervisión.* Las personas responsables del proyecto comprueben que se esté interpretando correctamente su diseño, y puedan resolver los cambios y adaptaciones que se presentan en mayor o menor grado.

1.4 CONEXIONES Y ELEMENTOS DE UNIÓN ^[11] & ^[12]

1.4.1 TIPO DE CONEXIONES

Las estructuras y los dispositivos mecánicos se confían a las actividades entre los elementos de carga para mantener la integridad de los ensambles. Las uniones o conexiones crean la trayectoria a través de la cual se transfieren las cargas de un elemento a otro. Los tres tipos más comunes de uniones son remachado, soldadura y atornillado. Para nuestro caso, solo se abordan las conexiones atornilladas y remachadas.

UNIONES ATORNILLADAS

Los sujetadores son elementos que conectan dos o más componentes. Los tipos de sujetadores más comunes involucrado en una conexión atornillada son los *pernos y los tornillos*.

Un perno es un sujetador con rosca, diseñado para pasar por orificios en los miembros unidos, y asegurarse al atrapar una tuerca desde el extremo opuesto al cabezal del perno.

Un tornillo es un sujetador con rosca, diseñado para introducirse en un orificio de uno de los elementos que se van a unir, y también en un orificio con rosca en el elemento acoplado.

UNIONES REMACHADAS

Los remaches son sujetadores sin rosca, que en general se manufacturan de Acero o de Aluminio. Se fabrican con una cabeza, y el extremo opuesto se moldea después de que el remache se introduce a través de orificios, en las partes a unir. Naturalmente, las uniones remachadas no se diseñan para ser armadas más de una vez.

El cuerpo cilíndrico del remache se inserta en los barrenos que hay en los miembros para conectarlos. Los agujeros para los remaches son casi del mismo tamaño que el diámetro de su cuerpo y la acción de recalado, durante la instalación hace al cuerpo dilatarse y llenar el agujero.

Los métodos de análisis básicos de juntas remachadas son los modos por cortante, esfuerzo de apoyo y tensión. Sin embargo, lo que se refiere a falla por tensión de los miembros conectados, el diámetro del barreno se considera igual al diámetro del cuerpo del remache.

1.4.2 ANÁLISIS DE UNIONES

UNIONES EXCÉNTRICAMENTE CARGADAS

Cuando una carga no pasa por el centroide del patrón de un conjunto de uniones, se llama junta excéntricamente cargada y las fuerzas se distribuyen de forma no uniforme entre los sujetadores. Cada unión comparte por igual la carga, sin embargo, a causa del momento, las uniones se ven sometidas a una fuerza perpendicular a la línea radial que va del centroide al patrón de las uniones. Así, la magnitud de la fuerza que actúa en una unión, producida por la carga del momento, es proporcional a su distancia al centriode.

CARGA DE SUJECIÓN Y APRIETE DE LAS UNIONES ATORNILLADAS

Cuando un tornillo o un perno se usan para sujetar dos partes, la fuerza entre las piezas es la carga de sujeción. La carga máxima de sujeción se suele tomar como 0.75 por la carga de prueba, donde la carga es el producto del esfuerzo de prueba por el área de esfuerzo de tensión en el tornillo o perno. La carga de sujeción se crea en el perno o tornillo al ejercer un par torsional de apriete sobre la tuerca o sobre la cabeza del tornillo.

DISEÑO DE CONEXIONES ATORNILLADAS

Conexiones tipo apoyo. Las placas unidas no están firmemente sujetas como para desarrollar fuerzas de fricción entre las placas que transmiten cargas.

Conexiones a prueba de deslizamiento crítico. Se producen fuerzas de sujeción elevadas que evitan el deslizamiento y se requieren buenas técnicas de fabricación, para garantizar que las fuerzas de fricción compartan la transmisión de las fuerzas desarrolladas en la conexión.

ESFUERZO CORTANTES Y DEFORMACIÓN UNITARIA CORTANTE

Estos esfuerzos se denominan “*esfuerzos normales*” debido a que actúan en direcciones *perpendiculares* a la superficie del material, llamado **esfuerzo cortante**, que actúa de manera tangencial a la superficie del material.

Falla por cortante. El tornillo se ve sometido a cortante directo cuando se aplica una carga de tensión a una junta, siempre que la línea de acción de la carga pase por el centroide del patrón de tornillos. También se supone que los tornillos comparten por igual la carga aplicada.

Falla por apoyo. Cuando un tornillo cilíndrico ejerce presión contra la pared de un barreno en la placa, entre ellos se crea una presión no uniforme. El área sometida a esfuerzo de apoyo es el área rectangular calculada multiplicando el espesor de la placa, por el diámetro del tornillo. Entonces la capacidad de apoyo de una junta se determina multiplicando dicha área por el esfuerzo de apoyo permisible.

FUERZA APLICADA EXTERNAMENTE SOBRE UNA UNIÓN

Cuando una carga se aplica a una unión atornillada, y es mayor que la carga de sujeción, se debe examinar en forma especial el comportamiento de la junta, la fuerza sobre el perno (en tensión) es igual a la fuerza sobre los elementos sujetos (en compresión). Otro incremento causará una disminución de la fuerza de compresión en el elemento sujetado. La cantidad depende de las rigideces relativas de los tornillos y de los sujetados.

1.5 MÉTODO DE ELEMENTO FINITO ^[3]

1.5.1 ELEMENTOS FINITOS

Los elementos finitos son modelos numéricos que aproximan la solución de un modelo matemático, que representa el comportamiento de estructuras y de cuerpos sólidos.

El método de elementos finitos está basado en el concepto de la **aproximación**, ya que aproxima la geometría deseada empleando el concepto de división del dominio del problema en subdominio, donde la superficie del modelo se subdivide en cuadriláteros unidos en sus vértices por nodos.

Normalmente, el objeto principal del método es determinar los desplazamientos y esfuerzos que se producen en cada punto como resultado de la carga aplicada sobre un modelo. La solución requiere satisfacer una serie de relaciones físicas y geométricas mediante ecuaciones (compatibilidad del desplazamiento, relaciones constitutivas del material, ecuaciones de equilibrio, etc.).

1.5.2 MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS

Los *sólidos tridimensionales* se emplean para modelar cualquier tipo de estructura. Los cuerpos sólidos tridimensionales cumplen con ciertas características de simetría que permiten modelarlos como sólidos bidimensionales.

Se distinguen tres tipos de modelos bidimensionales:

- **Esfuerzo plano**
- **Deformación plana**
- **Plano axisimétrico**

El *modelo de esfuerzo plano*, sirve para analizar cuerpos planos cuyo espesor es pequeño con respecto a sus otras dimensiones y sobre los cuales se aplican cargas y apoyos que actúan en ese plano.

El *modelo de deformación plana* se emplea para analizar secciones transversales planas de un cuerpo que se extiende en dirección normal al plano analizado, sin cambiar su sección transversal.

El *plano axisimétrico* se emplea para analizar secciones de estructuras que presentan un eje de axisimetría. El plano de análisis es un corte a través de la estructura que contiene el eje de axisimetría, que la geometría, los soportes y las cargas deben presentar esa axisimetría.

1.5.3 FORMAS DE LOS ELEMENTOS

Una manera de clasificar a los elementos son los que dependen del tipo de continuidad que ofrecen las funciones de interpolación a través de las fronteras de los elementos. Esos elementos requieren continuidad de la función misma del tipo C^0 , aquellos que requieren continuidad de la función y de las mismas derivadas son las del tipo C^1 .

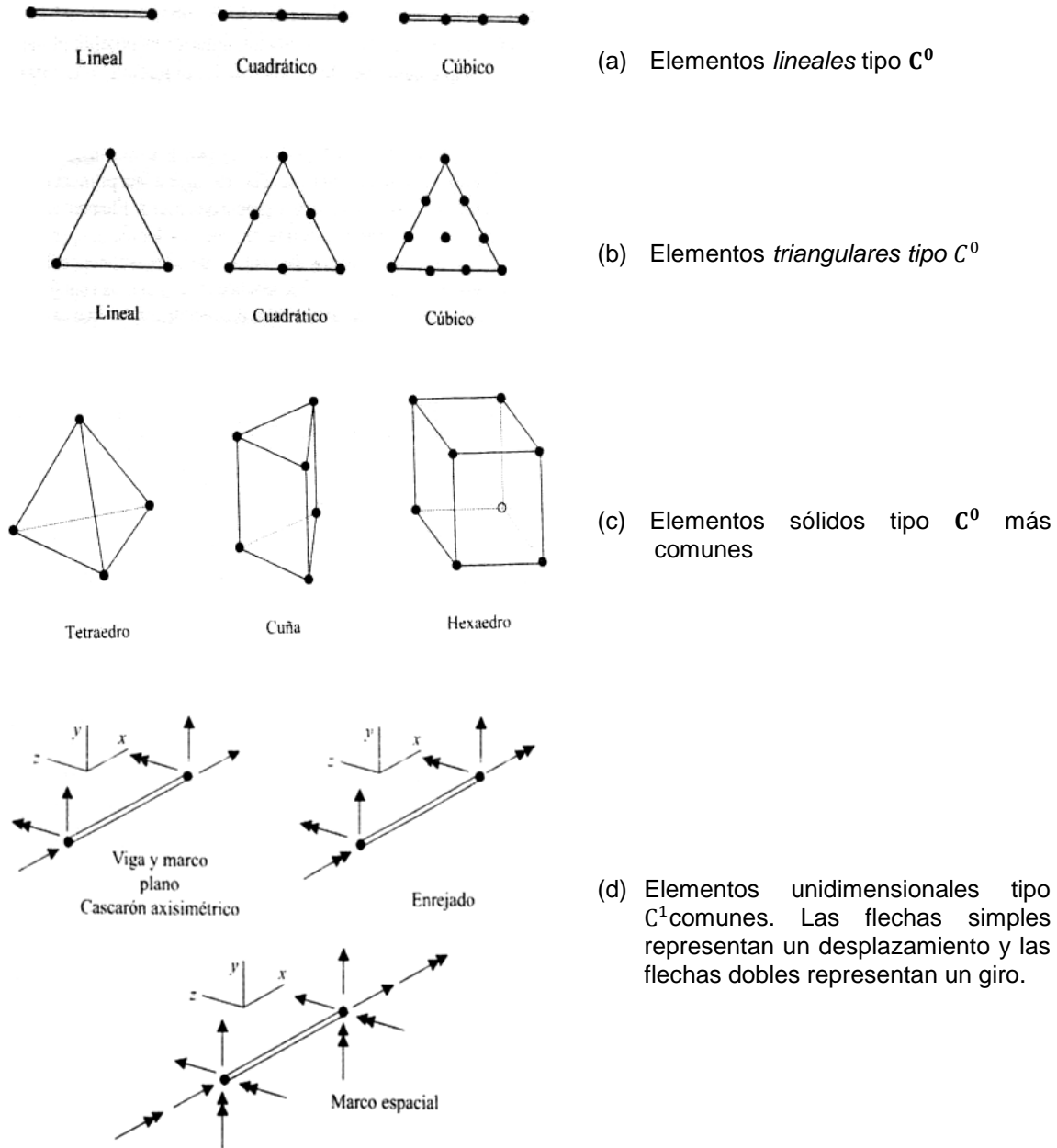


Figura 5. Clasificación de elementos finitos

CAPÍTULO II

DISEÑO CONCEPTUAL

2.1 DECLARACIÓN DE LA MISIÓN

Antes de iniciar con el proyecto de diseño es importante especificar la necesidad de mercado al que irá dirigido un producto. Esta información se conoce como una declaración de la misión.

A continuación se describirá la declaración de la misión del presente proyecto de investigación.

Tabla 2. Declaración de la misión.

Declaración de la misión: Diseño de una consola de aviónica suplementaria para un helicóptero ligero	
Descripción del producto	▪ Dispositivo estructural de material ligero
Metas comerciales claves	▪ Producto introducido en el último trimestre de 2013
Mercado primario	▪ Organismos de orden y seguridad pública ▪ Medios de comunicación masiva (televisoras)
Merados secundarios	▪ Taxis aéreos
Suposiciones	▪ Que permita soportar equipos especializados de aviónica de tamaño estándar ▪ Que esté ubicado en la cabina de pasajeros

2.2 IMPLEMENTACIÓN DEL QFD

2.2.1 IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE

Como se mencionó en el capítulo anterior, el cliente no sólo es el usuario final de un producto sino todas aquellas personas que se ven influidas por las decisiones que se tomen durante el proceso de diseño. Éstas últimas corresponden a los departamentos establecidos dentro de una organización los cuales se conocen como “clientes internos”.

Para este proyecto se ha considerado, como fuente generadora de diseño, a una empresa mexicana, del medio aeronáutico, con las siguientes características:

- 1) Autorizada por la DGAC Mexicana como “Taller aeronáutico”.
- 2) Autorizada por la FAA como “Repair Station”.
- 3) Reconocida por el fabricante de la aeronave como:
 - i. Organización de Mantenimiento y Reparación (MRO, por sus siglas en inglés).
 - ii. Organización de Diseño (DO, por sus siglas en inglés).
- 4) Sistema de gestión de calidad y sistema de gestión documental certificados bajo la norma ISO 9001.

Dichas características le permiten desempeñar diferentes actividades de diseño, tales como; diseño de sistemas completos o integración de nuevos equipos, cambio menor o mayor al diseño tipo de aeronaves, así como la definición de soluciones para reparaciones menores y mayores.

Desde la perspectiva anterior, los departamentos* que se han identificado como “clientes internos” son los siguientes:

- a. Diseño (oficina de diseño)
- b. Comercial
- c. Logística
- d. Taller
- e. Control de Calidad

Finalmente, los “clientes externos” (los cuales representan a toda persona, entidad y sistema fuera de la compañía que indudablemente impactará al diseño) son los siguientes:

- La aeronave en cuestión
- Los equipos de aviónica que pueden ser instalados en la consola
- El usuario final, que a su vez está formado por:
 - El comprador o dueño de la aeronave.
 - El operador del equipo de aviónica.
 - La tripulación de vuelo (piloto/copiloto).
 - El personal técnico responsable del mantenimiento.
- La autoridad aeronáutica que certifique la instalación:
 - DGAC Mexicana / FAA

*Los requerimientos se recolectaron mediante entrevistas

2.2.2 DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS

CLIENTES INTERNOS

Oficina de Diseño.

La oficina de diseño es el departamento encargado de llevar a cabo las principales tareas dentro de la actividad de diseño. Desde esta perspectiva, el diseño de la consola deberá cumplir con los siguientes requisitos:

- Necesidades funcionales y operacionales del usuario final
- Especificaciones EC (fabricante de la aeronave)
- Procedimientos internos de la compañía
- Regulaciones de la Autoridad Aeronáutica concerniente

Tanto los requisitos del usuario final como los de la autoridad aeronáutica se definen posteriormente. Por otro lado, gracias a las aprobaciones con las que cuenta la compañía, las especificaciones EC se satisfacen indirectamente con los procedimientos internos. En base a esta consideración, se han recolectado los principales requerimientos de la oficina de diseño en la siguiente tabla.

Tabla 3. Requerimientos de la oficina de diseño.

Sistema Afectado	Descripción del requerimiento
Equipos y componentes a instalar	Especificaciones de diseño del fabricante <ul style="list-style-type: none">- Características técnicas- Condiciones normales / límites de operación- Requerimientos de protección al ambiente- Recomendaciones para la instalación
	Aprobaciones de diseño, manufactura e instalación <ul style="list-style-type: none">- PMA / TSO- STC / Boletines de servicio- Estándares industriales y militares
	Disponibilidad <ul style="list-style-type: none">- Evitar restricciones ITAR- Darle prioridad al material disponible en almacén
Modificación a efectuar en la aeronave	Seguridad <ul style="list-style-type: none">- Afectación al peso y balance (límites de CG)- Afectación a la integridad estructural- Afectación a las operaciones normales de vuelo
	Compatibilidad <ul style="list-style-type: none">- Espacio disponible- Puntos duros o de fijación disponibles- Interferencia con equipos ya instalados

Departamento Comercial.

El área comercial es considerada como una de las ventanas principales de la empresa, ya que se canaliza las necesidades puntuales de los clientes a cada área competente en la organización. Por esta razón, parte de sus requisitos para el diseño de la consola entran dentro del contexto de “soporte comercial”. Tales requerimientos se han incluido con los del usuario final.

Por el lado de las ventas, el departamento comercial necesita que el diseño de la consola sea factible en términos comerciales. De acuerdo al área, los requisitos que determinan la factibilidad comercial se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4. Términos de factibilidad comercial

Término	Características
Competitividad	Buen margen de utilidad
	Precio accesible para los clientes
	Que se adapte a las necesidades del cliente
Innovación	Nuevo en el mercado
	Que llame la atención
	Tecnología de vanguardia
Practicidad	Diseño simple
	Que no le estorbe al operador
	Que le facilite la vida al cliente
Versatilidad	Que cubra diferentes mercados
	Que tenga varios propósitos

Finalmente el departamento comercial necesita realizar un “*benchmarking*” para saber si el precio de la consola será competitivo. En dicho análisis es necesario evaluar todos los diseños existentes con el fin de identificar las bondades del diseño que puedan impactar la decisión de compra de los futuros clientes.

Departamento de Logística.

El departamento de Logística es el encargado de suministrar todos los recursos necesarios para los servicios de la empresa, tales como: partes, equipos, consumibles, maquinaria, herramientas especiales, servicios externos, etc.

Para el diseño de la consola, la regla básica para el aprovisionamiento de material es el proporcionar a departamento los siguientes datos:

Tabla 5. Datos requeridos en el aprovisionamiento de partes

Sistema afectado	Datos requeridos
Aeronave	Modelo
	Versión
	Número de serie
Equipos y componentes a adquirir	Descripción
	Número de parte
	Proveedor
	Fabricante
	Peso y volumen estimado (para cuestiones de envío)
Prioridad de la compra	PLAN (15-20 días)
	RUSH (6-15 días)
	AOG (3-5 días)

Por otro lado si se llegase a necesitar de un servicio externos, por ejemplo en la fabricación de una parte que no pueda manufacturarse en el taller, el departamento requiere que se consideren los siguientes puntos.

Tabla 6. Datos requeridos en el aprovisionamiento de partes.

Sistema afectado	Datos requeridos
Proveedores	Dar prioridad a los proveedores aprobados
	En el caso de no ser proveedor aprobado, verificar: <ul style="list-style-type: none"> - Instalaciones - Certificaciones - Sistema de calidad - Sistema documental
Servicio externo	Proporcionar la información necesaria para un servicio externo exitoso <ul style="list-style-type: none"> - Fecha requerida - Proveedor sugerido - Especificaciones o expectativas del servicio

El Taller.

El objetivo del taller es proveer la infraestructura y mano de obra necesaria para llevar a cabo las tareas de mantenimiento, inspección, reparación y modificación. Para el diseño de la consola, el taller requiere:

Tabla 7. Requerimientos del taller.

Sistema afectado	Descripción del requerimiento
Contar con la información necesaria para realizar el trabajo correctamente	Instrucciones de instalación <ul style="list-style-type: none">- Claras y completas- Evitar ambigüedades
	Planos de manufactura, ensamble e instalación <ul style="list-style-type: none">- Legibles y con suficientes detalles- Utilizar medidas de 0.5 mm como mínimo- Evitar cotas principales sobre vistas desdobladas
	Lista de materiales ordenada y actualizada
Que se tomen en cuenta	Las limitantes del taller <ul style="list-style-type: none">- Maquinaria- Herramientas especiales
	Las diferencias entre aeronaves <ul style="list-style-type: none">- Equipos opcionales ya instalados- Cambios incorporados en la línea de producción

Control de calidad.

La principal tarea de Control de Calidad es efectuar la liberación de la aeronave después de un servicio. Como parte de esta función, el departamento asegurar que cada trabajo realizado en el taller cumpla con los estándares, especificaciones y documentos aplicables. Dentro de este contexto, se requiere que la consola cumpla con los siguientes requisitos:

Tabla 8. Requerimientos del departamento de calidad.

Sistema afectado	Descripción del requerimiento
Documentación a utilizar	Sea validad y vigente
	Instrucciones de instalación <ul style="list-style-type: none">- Claras y completas- Evitar ambigüedades
Instalación	Aprobada por la autoridad aeronáutica
Las partes, equipos y consumibles a utilizar	Estén conformes, es decir: <ul style="list-style-type: none">- Cumplan con sus especificaciones- No estén caducos

CLIENTES EXTERNOS

La aeronave. ^[19]

El AS-350B3 es un helicóptero de la marca EC que sobrepasa por mucho a la competencia gracias a su funcionamiento, versatilidad, costos de adquisición y mantenimiento, seguridad, competitividad y capacidad de carga. Esta aeronave ofrece una excelente visibilidad, una cabina ergonómica amigable al piloto y una excepcional autonomía y velocidad. El concepto de piso de cabina plana sin obstáculos, además de un nivel bajo de vibraciones, permitir instalar el equipo necesario para diversas misiones.



(a) Panel de Instrumentos



(b) Cabina de pasajeros

Figura 6. AS-350 B3, configuración estándar

Equipos de aviónica.

Para caracterizar el diseño de la consola es necesario delimitar los equipos que serían instalados. Una forma simple pero eficaz de hacerlo es considerando únicamente aquellos equipos con las características más significativas (críticas) para el diseño, tales como: peso, dimensiones y medios de sujeción.

En base al mercado al que estará dirigida la consola (ver sección 3.1), se han identificado como críticos los siguientes equipos de aviónica:

Tabla 9. Equipos de aviónica a instalar

GRABADORA DE VIDEO DIGITAL	
	Fabricante: AVALEX ^[13]
	Número de parte: AVR8240
	Peso: 0.54 kg
	Dimensiones: 146 x 28.7 x 177.8 mm
	Medios de sujeción: Tornillos tipo DZUS
<p>Descripción: La grabadora de video digital AVALEX ofrece grabación de estado sólido confiable con la funcionalidad de reproducción a bordo. Los videos pueden ser grabados a USB, SD, memorias de estado sólido internas o a un “driver” removible SATA.</p>	
UNIDAD DE GESTION DE MISIÓN	
	Fabricante: SKYCONNECT ^[18]
	Número de parte: MMUII
	Peso: 0.36 kg
	Dimensiones: 146 x 47.63 x 143.51 mm
	Medios de sujeción: Tornillos tipo DZUS
<p>Descripción: La unidad de gestión de misión es un equipo de comunicación satelital diseñado para intercambiar mensajes de texto cortos con un operador en tierra por medio del sistema satelital Iridium. Dichos mensajes podrían incluir datos como el número de pasajeros, la carga de combustible actual, el estatus de un paciente, el tiempo estimado de llegada, etc.</p>	
SISTEMA DE ENLACE DE DATOS DE VIDEO	
	Fabricante: VISLINK ^[22]
	Número de parte: HDX
	Peso: 0.18 kg
	Dimensiones: 152 x 52 x 60 mm
	Medios de sujeción: Tornillos tipo DZUS
<p>Descripción: El panel de control remoto HDX es el equipo de control y monitoreo del sistema de enlace de datos de video VISLINK. Este instrumento, además de ser compacto, puede ser instalado en paneles o consolas estándar de aviación utilizando sujetadores “DZUS” para su fácil remoción e instalación.</p>	

El usuario final.

Para este caso, el comprador representa toda persona que será impactada con el uso de la consola. Desde esta perspectiva, se establecen los requisitos para el usuario final:

Tabla 10. Requerimientos del usuario final

Sistema Afectado	Descripción del requerimiento
Dueño de la aeronave	Precio accesible
	Costos de operación bajos
	Vida útil promedio alto
	Que pueda ser aprovechado en varias aeronaves
Operador táctico del equipo	Fácil de operar
	Que no estorbe
	Que sea multifuncional
Tripulación de vuelo (piloto / copiloto)	Que no afecte el peso y balance de la aeronave
	Que no comprometa la seguridad
	Que no perjudique las limitantes y rendimientos de operación
Personal técnico responsable del mantenimiento	Fácil de remover
	Fácil de instalar
	Fácil de almacenar
	Tareas de mantenimiento simples
	La menor cantidad de piezas posibles

La Autoridad Aeronáutica Mexicana. ^{[15] & [17]}

La instalación de un equipo opcional, como por ejemplo la consola a diseñar, involucra una desviación al diseño tipo de la aeronave. De acuerdo a la DGAC mexicana, dicha modificación deberá cumplir con los siguientes requisitos.

1. Contar con una previa autorización,
2. Presentar un estudio técnico detallado conforme lo establezcan las normas oficiales mexicanas correspondientes,
3. Efectuarse en un taller aeronáutico con permiso vigente.

El estudio técnico deberá ser avalado por un ingeniero en aeronáutica, además de:

- Contener información técnica que demuestre que la incorporación de la alteración no afecta la aeronavegabilidad de la aeronave.
 - cálculos,
 - reportes de pruebas,

- diagramas de instalación eléctrica relacionados al diseño,
 - especificaciones de materiales y productos a utilizar,
 - peso y determinación del CG,
 - requisitos de mantenimiento previo a su liberación,
 - cualquier otro que se debe agregar al plan de mantenimiento,
 - pruebas de efectividad o aeronavegabilidad.
- Indicar los procedimientos necesarios para la alteración, incluyendo:
 - remoción de las partes o componentes involucrados,
 - peso de los componentes removidos e instalados, así como su instalación indicando cantidad, número de parte,
 - peso y balance de la aeronave, si se requiere.
 - citar referencias utilizadas.
 - Listar equipos, materiales consumibles y herramienta especial requerida.

Por otro lado, la incorporación de la alteración deberá efectuarse:

- de conformidad con la normatividad aplicable al Taller y procedimientos, así como el mantenimiento de la aeronavegabilidad de las aeronaves,
- cumpliendo con los requerimientos de los equipos a instalar,
- tomando como base a los ordenamientos técnicos emitidos por el Estado de diseño, sólo si se ha convalidado el Certificado de Tipo.

Una vez efectuada la alteración, se deberán documentar los cambios a las limitaciones de operación de la aeronave, si la alteración resulta en cambios a dichas limitaciones de operación o información de vuelo. Así como cambios al programa de mantenimiento y demás que aplique.

La Autoridad Aeronáutica Norteamericana. ^[20]

Debido a la fuerte influencia de la FAA sobre la aviación civil mundial, además de su cercanía con nuestro país, la oficina de diseño tiene como política adicional el asegurar el cumplimiento de las regulaciones de dicha organización (FAR, por sus siglas en inglés).

Por otro lado, si se considera nuevamente que la instalación de la consola resultaría en un cambio al diseño tipo de la aeronave, entonces es necesario evaluar dicha desviación. Para esto se identifica la base de certificación, que de acuerdo al peso y capacidad de la aeronave, corresponde a la FAR 27*.

* Título 14 del CFR.

Al realizar un barrido a la FAR 27 se obtienen los siguientes requisitos aplicables al diseño de la consola:

Tabla 11. Regulaciones FAA aplicables al diseño de la consola

FAR	Título	Contenido aplicable
§27.301(a)	Cargas	Los requerimientos de resistencia son especificados en términos de cargas límite (cargas máximas a ser esperadas en servicio) y cargas últimas (cargas límites multiplicadas por un factor de seguridad). A menos que se especifique en otro lado, las cargas prescritas son cargas límite.
§27.303	Factor de seguridad	A menos que se especifique en otro lado, se deberá usar un factor de seguridad de 1.5. Este factor de seguridad aplica a cargas externas e inerciales a menos de que su aplicación al esfuerzo interno resultante sea más conservativa.
§27.305(a)	Resistencia y deformación	La estructura debe ser capaz de soportar las cargas límite sin que exista alguna deformación permanente o detrimental. En cualquier carga arriba de la carga límite la deformación no podrá interferir con la seguridad de la operación.
§27.307(a)	Prueba de la estructura	Se deberá demostrar el cumplimiento con los requerimientos de resistencia y deformación de esta sub-parte, para cada condición de carga crítica de acuerdo al ambiente en el cual la estructura será expuesta en operación.
§27.337(a)	Factor de carga de maniobrabilidad límite	La aeronave debe ser diseñada para soportar un rango de factores de carga de maniobrabilidad límite de 3.5 (límite positivo) a -1 (límite negativo).
§27.561(3)	Condiciones de aterrizaje de emergencia	Cada ocupante y cada dispositivo de masa dentro de la cabina que pueda herir a un ocupante deberá ser restringido cuando sea sometido a los siguientes factores de carga inerciales últimos relativos a la estructura de la periferia. Superior (Upward) — 4g. Frontal (Forward) — 16g. Lateral (Sideward) — 8g. Inferior (Downward) — 20g, Trasera (Rearward) — 1.5g.
§27.613	Propiedades de resistencia de materiales y valores de diseño	Las propiedades mecánicas de los materiales deberán ser basados en pruebas que cumplan con especificaciones para establecer valores de diseño estáticamente. Los valores de diseño deberán ser seleccionados con el fin de minimizar la probabilidad de falla debido a la variabilidad de los materiales. Los valores de diseño podrán ser aquellos contenidos en las siguientes publicaciones, u otros valores aprobados por la autoridad.

2.2.3 MATRIZ DE LA CASA DE LA CALIDAD

Utilizando la información recaudada anteriormente, se construirá la matriz de la casa de la calidad para el diseño de la consola.

Como primer paso, se identifican los requerimientos deseables de cada uno de los clientes definidos.

Tabla 12. Identificación de requerimientos deseables

CLIENTE	REQUERIMIENTOS DESEABLES
Oficina de Diseño	<ul style="list-style-type: none">▪ Utilizar material disponible en almacén▪ Utilizar los puntos de fijación existentes en la aeronave
Departamento Comercial	<ul style="list-style-type: none">▪ Buen margen de utilidad en el proyecto▪ Diseño nuevo en el mercado▪ Que llame la atención▪ Tecnología de vanguardia▪ Diseño simple▪ Que le facilite la vida al cliente▪ Que cubra diferentes mercados▪ Que tenga vario propósitos
Logística	<ul style="list-style-type: none">▪ Dar prioridad a los proveedores aprobados
Taller	<ul style="list-style-type: none">▪ Que a información técnica proporcionada sea clara y esté completa▪ En los planos de instalación no utilizar medidas muy cerradas▪ Lista de materiales ordenada
Usuario Final	<ul style="list-style-type: none">▪ Precio accesible▪ Costos de operación bajos▪ Vida útil promedio alto▪ Que pueda ser aprovechado en varias aeronaves▪ Ligero▪ Fácil de usar▪ Que sea multifuncional▪ Fácil de instalar/remover/almacenar▪ Tareas de mantenimiento sencillas▪ La menor cantidad de piezas posibles

Cabe mencionar que los requerimientos no citados en la tabla anterior han sido considerados como obligatorios.

Posteriormente se realiza una estructuración de demandas para poder organizar los requerimientos deseables de forma que expresen una idea única.

Tabla 13. Estructuración de requerimientos

DEMANDAS PRIMARIAS	DEMANDAS SECUNDARIAS	DEMANDAS TERCIARIAS
A. Precio accesible	Diseño simple	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilizar herramientas disponibles en taller
	Fácil de fabricar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilizar materiales disponibles en almacén ▪ Prioridad a proveedores aprobados
B. Bajo costo de operación	Mantenimiento simple	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fácil de remover ▪ Fácil de instalar
C. Ergonómico	Fácil de usar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Que no le estorbe al operador ▪ Que le facilite la vida al cliente
	Fácil de almacenar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ligero ▪ La menor cantidad de piezas posibles
D. Versátil	Que cubra diferentes mercados	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Que tenga varios propósitos
	Que pueda utilizarse en varias aeronaves	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilizar puntos de fijación existentes en la aeronave
E. Que llame la atención	Diseño nuevo en el mercado	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tecnología de vanguardia

Finalmente, como paso previo a la construcción de la matriz, se elabora una lista de parámetros técnicos que puedan ser medidos si es el caso.

Tabla 14. Lista de posibles parámetros técnicos

DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDICIÓN
Precio de venta	USD
Material	Número de piezas
Tiempo de Instalación	Horas
Dimensiones	Milímetros (mm)
Peso	Kilogramos (Kg)
Capacidad	Newtons (N)

Siguiendo el proceso definido en la referencia [7], se obtiene la siguiente Casa de la Calidad:

	PRECIO DE VENTA	MATERIAL	TIEMPO DE INSTALACIÓN	DIMENSIONES	PESO	CAPACIDAD	IMPORTANCIA	NUESTRO	COMPETENCIA 1	VALOR META	RATIO MEJORA	ASPECTO VENDEDOR	PESO ABSOLUTO	PESO RELATIVO	ORDEN DE PRIORIDAD
Precio accesible	9	3	0	0	0	0	5	3	2	5	1.7	1.5	12.5	28.43	1
Bajo costo de operación	0	0	9	1	3	0	4	3	3	4	1.3	1.5	8	18.19	4
Ergonómico	0	0	0	9	3	0	5	4	4	5	1.3	1.5	9.38	21.32	3
Versátil	0	0	0	0	0	9	4	2	3	4	2.0	1.2	9.6	21.83	2
Que llame la atención	0	3	0	0	0	1	3	2	3	3	1.5	1	4.5	10.23	5
							Total					Total		43.98	
PESO ABSOLUTO	255.83	115.97	163.73	210.06	118.53	206.71	1070.84								
PESO RELATIVO	23.89	10.83	15.29	19.62	11.07	19.30	100								
ORDEN DE PRIORIDAD	1	6	4	2	5	3									

Figura 7. Casa de la calidad de la consola

Los resultados obtenidos, resumidos en la tabla 15, reflejan hacia dónde se tendrá que encaminar los compromisos de requerimientos deseables en el diseño de la consola.

Tabla 15. Resultados de la aplicación del método QFD

QUÉ	Prioridad 1	Precio accesible	Precio de Venta	CÓMO
	Prioridad 2	Versátil	Dimensiones	
	Prioridad 3	Ergonómico	Capacidad	
	Prioridad 4	Bajo costo de operación	Tiempo de Instalación	
	Prioridad 5	Que llame la atención	Peso	
	Prioridad 6	N/A	Material	

2.3 ANÁLISIS FUNCIONAL

2.3.1 DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL DE LA CONSOLA

FUNCIÓN PRINCIPAL

Partiendo del enfoque visual del análisis funcional, es posible considerar al diseño de la consola como un sistema técnico (caja negra) cuyos elementos están constituidos de la siguiente forma:

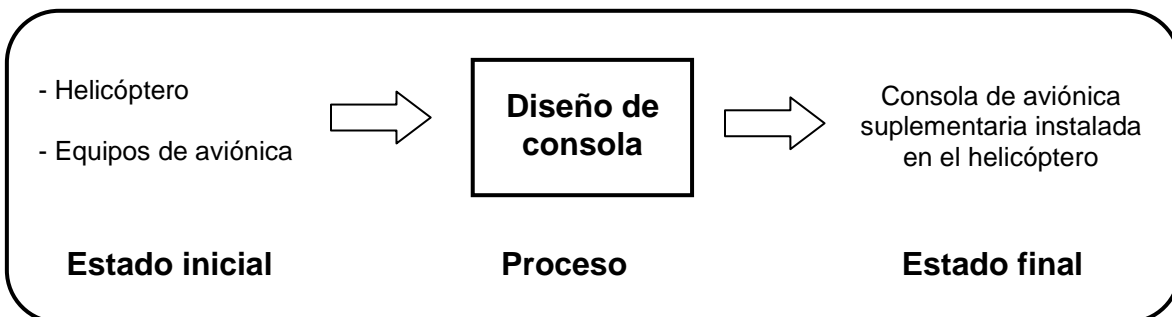


Figura 8. Diseño de la consola como un sistema técnico

Basada en la declaración de la misión (ver sección 2.1) se determina que la función principal de la consola es la de “soportar equipos de aviónica”, ya que dicha propiedad es la que permite que los elementos de entrada sean transformados en el elemento de salida, es decir, la consola misma.

ARBOL DE FUNCIONES

Si dividimos progresiva y esquemáticamente la función principal de la consola en sub-funciones, considerando las características mismas de la función, se obtiene el siguiente árbol funcional:

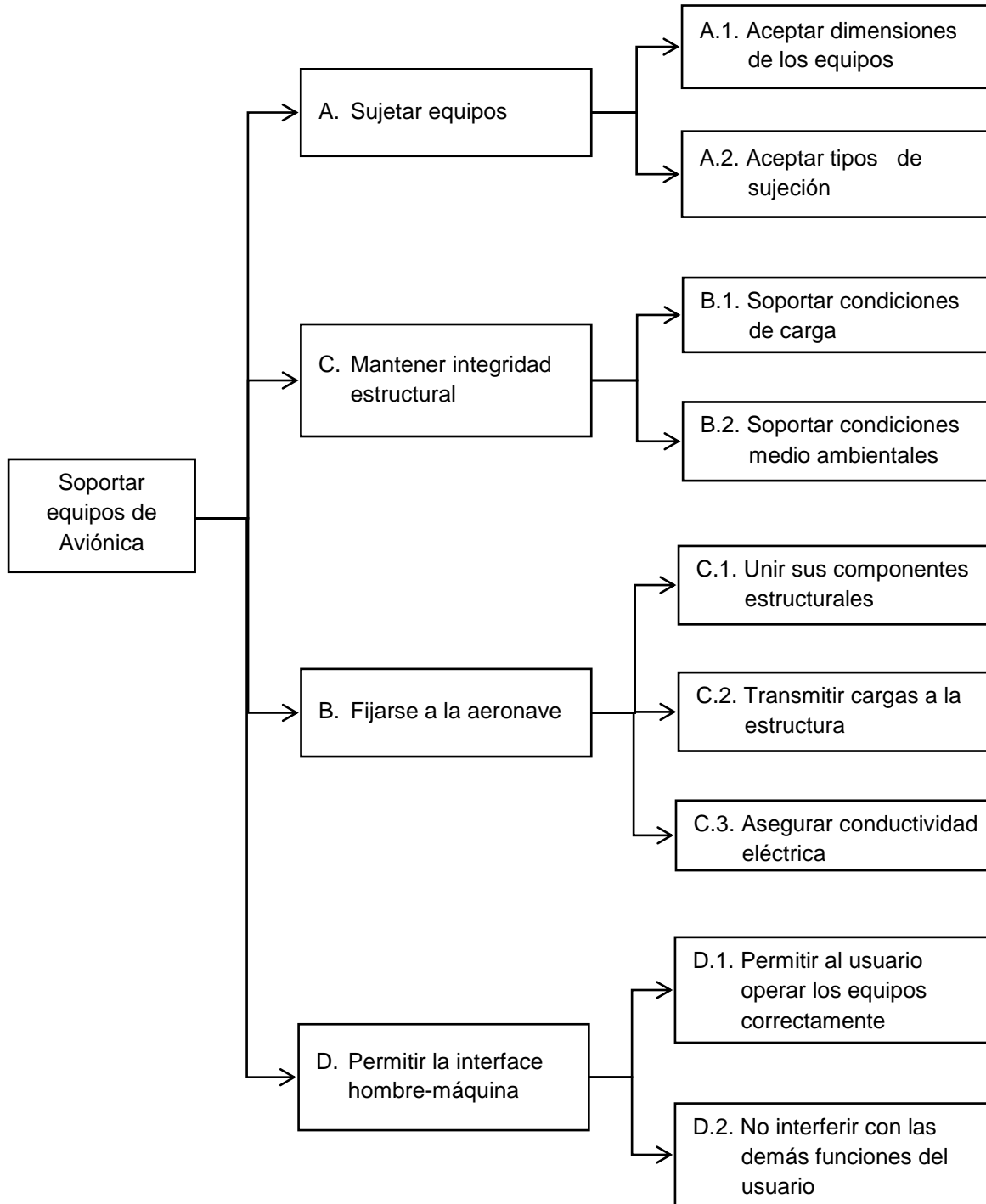


Figura 9. Árbol de funciones

2.3.2 ESTRUCTURACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS FUNCIONALES

Tomando en cuenta los flujos de materia, energía e información en el diseño de la consola, el árbol de funciones puede representarse de la siguiente forma:

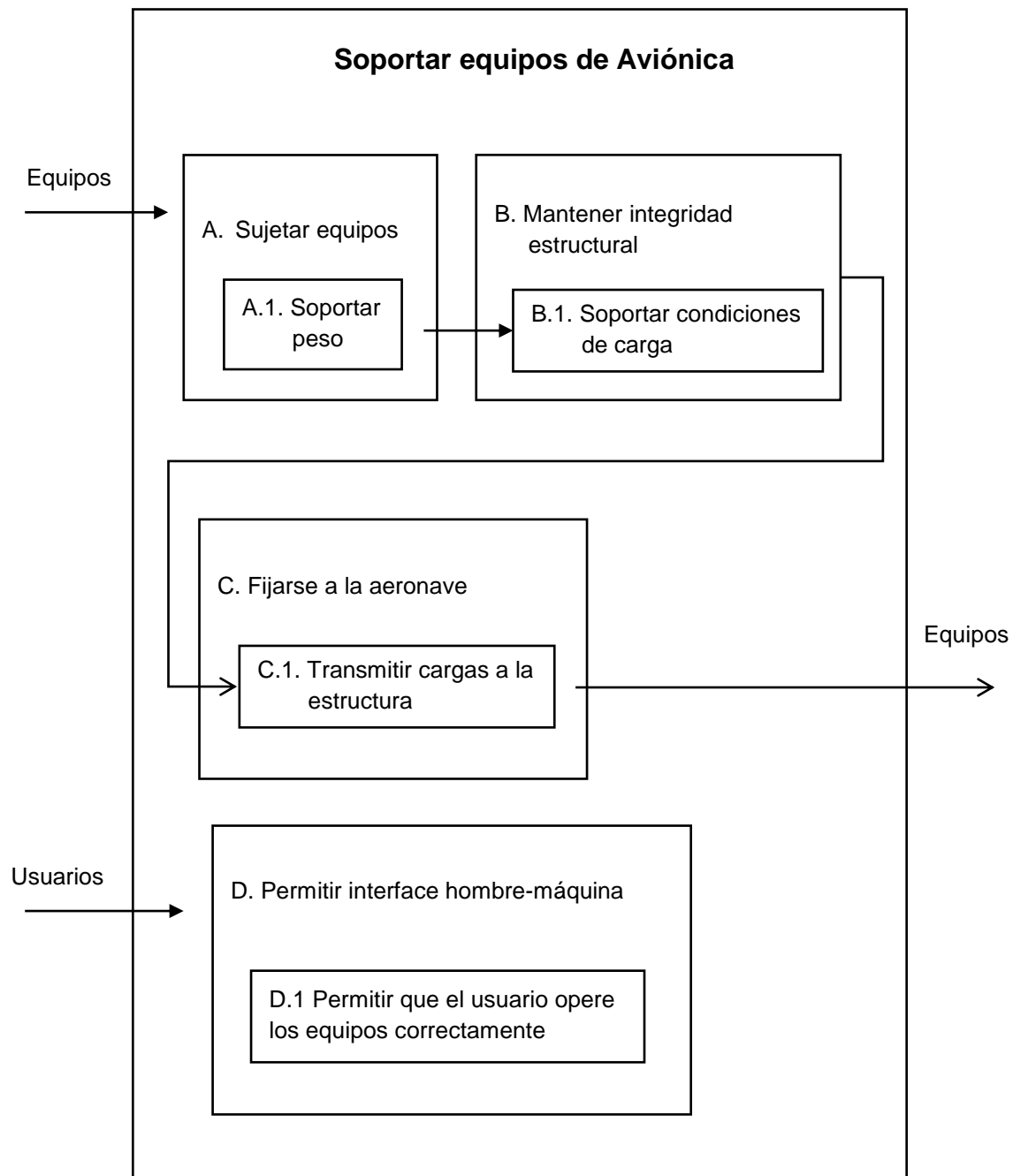


Figura 10. Estructuración funcional

2.4 GENERACIÓN DEL CONCEPTO DE DISEÑO

2.4.1 PROPOSICIÓN DE SOLUCIONES

Utilizando las funciones estructuradas que debe realizar la consola, además de considerar los criterios de selección aplicados en la oficina de diseño, se proponen las siguientes soluciones:

Tabla 16. Soluciones de consola

FUNCIONES		Solución 1	Solución 2	Solución 3
A	Sujeción de equipos	D-ZUS (tornillos de media vuelta)		
B	Unión de componentes (integridad estructural)	Pernos convencionales	Remaches	
C	Fijación de consola a la aeronave	Directo al piso de cabina, por medio de puntos de anclaje predeterminados	Directo al piso de cabina creando nuevos puntos de sujeción	
D	Interface hombre-máquina	Consola posicionada detrás de asiento piloto	Consola posicionada detrás de asiento copiloto	Consola posicionada en la parte central

Por lo tanto, las posibles soluciones del diseño, resultado de la combinación de las funciones y las soluciones propuestas son las siguientes:

- $\Pi_1 = \{a_1, b_1, c_1, d_1\} = (\text{tornillos D-ZUS, pernos, puntos de anclaje existentes, detrás de asiento piloto})$
- $\Pi_2 = \{a_1, b_2, c_1, d_1\} = (\text{tornillos D-ZUS, remaches, puntos de anclaje existentes, detrás de asiento piloto})$
- $\Pi_3 = \{a_1, b_1, c_2, d_1\} = (\text{tornillos D-ZUS, pernos, puntos de anclaje nuevos, detrás de asiento piloto})$
- $\Pi_4 = \{a_1, b_1, c_1, d_2\} = (\text{tornillos D-ZUS, pernos, puntos de anclaje existentes, detrás de asiento copiloto})$
- $\Pi_5 = \{a_1, b_2, c_2, d_2\} = (\text{tornillos D-ZUS, remaches, puntos de anclaje nuevos, detrás de asiento copiloto})$
- $\Pi_6 = \{a_1, b_1, c_2, d_2\} = (\text{tornillos D-ZUS, pernos, puntos de anclaje nuevos, detrás de asiento copiloto})$
- $\Pi_7 = \{a_1, b_2, c_1, d_2\} = (\text{tornillos D-ZUS, remaches, puntos de anclaje existentes, detrás de asiento copiloto})$
- $\Pi_8 = \{a_1, b_2, c_2, d_1\} = (\text{tornillos D-ZUS, remaches, puntos de anclaje nuevos, detrás de asiento piloto})$
- $\Pi_9 = \{a_1, b_1, c_2, d_3\} = (\text{tornillos D-ZUS, pernos, puntos de anclaje nuevos, parte central})$
- $\Pi_{10} = \{a_1, b_2, c_2, d_3\} = (\text{tornillos D-ZUS, remaches, puntos de anclaje nuevos, parte central})$

2.4.2 EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE CONCEPTOS

Para elegir el concepto de diseño más conveniente, se utilizarán los resultados de la aplicación del método QFD como criterios de evaluación.

Por otro lado se implementará la siguiente tabla de valorización acotada para comparar cada concepto y evaluar su grado de cumplimiento.

Tabla 17. Valorización acotada

Satisfacción del requerimiento	Valor
Muy poco	1
Poco	2
Bien	3
Muy bien	4
Óptimo	5

Para complementar la comparación, se asignará a cada requerimiento deseable una calificación en base a su prioridad obtenida en el método QFD. La calificación de cada requerimiento será la siguiente:

Tabla 18. Calificación de los requerimientos

Prioridad	Requerimiento	Calificación proporcional
1	Precio accesible	100%
2	Versátil	90%
3	Ergonómico	80%
4	Bajo costo de operación	70%
5	Que llame la atención	60%

Los resultados de esta evaluación permitirán identificar las ventajas y desventajas que cada uno de los conceptos posee, con respecto al cumplimiento de las expectativas de cliente.

A continuación se presenta la matriz de selección de la consola:

Tabla 19. Matriz de selección de la consola

Criterios de evaluación		Concepto 1		Concepto 2		Concepto 3		Concepto 4		Concepto 5		Concepto 6		Concepto 7		Concepto 8		Concepto 9		Concepto 10	
Requerimientos deseables	Prioridad (%)																				
Precio accesible	1	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3
Versátil	0.9	4	3.6	3	2.7	4	3.6	4	3.6	4	3.6	3	2.7	3	2.7	4	3.6	4	3.6	4	3.6
Ergonómico	0.8	2	1.6	2	1.6	3	2.4	3	2.4	4	3.2	3	2.4	2	1.6	3	2.4	4	3.2	4	3.2
Bajo costo de operación	0.7	3	2.1	4	2.8	2	1.4	3	2.1	3	2.1	2	1.4	4	2.8	3	2.1	2	1.4	3	2.1
Que llame la atención	0.6	3	1.8	4	2.4	3	1.8	3	1.8	4	2.4	3	1.8	4	2.4	4	2.4	3	1.8	3	1.8
Valoración total			12.1		13.5		12.2		12.9		14.3		11.3		13.5		13.5		13.0		13.7

De acuerdo a la matriz anterior, se concluye que la solución óptima para el diseño de la consola de aviónica suplementaria es el concepto número 5.

2.4.3 DESCRIPCIÓN DEL CONCEPTO SELECCIONADO

El concepto seleccionado consiste en posicionar la consola de aviónica detrás del asiento del copiloto. Dicha configuración le permitiría al piloto tener acceso a los equipos de aviónica en todo momento, pero claro está, sólo en caso de que no haya un operador asignado para la misión.

Al utilizar nuevos puntos de sujeción en el piso de cabina, se buscará que la consola aproveche al máximo el espacio disponible. Se asegurará además que no exista ninguna interferencia, tanto física como funcional, con otros equipos.

Para unir los elementos principales de la consola se utilizarán remaches comunes, los cuales generarán un ensamble casi permanente. Al tener la estructura de la consola en un solo cuerpo se facilitarán las tareas de remoción/instalación.

Por último, los equipos de aviónica serán instalados a la consola por medio de sujetadores tipo “DZUS” (de media vuelta), los cuales normalmente vienen integrados en equipos de aviónica de dimensiones estándar. Dichos sujetadores permiten instalar y remover los equipos en una manera rápida y segura.

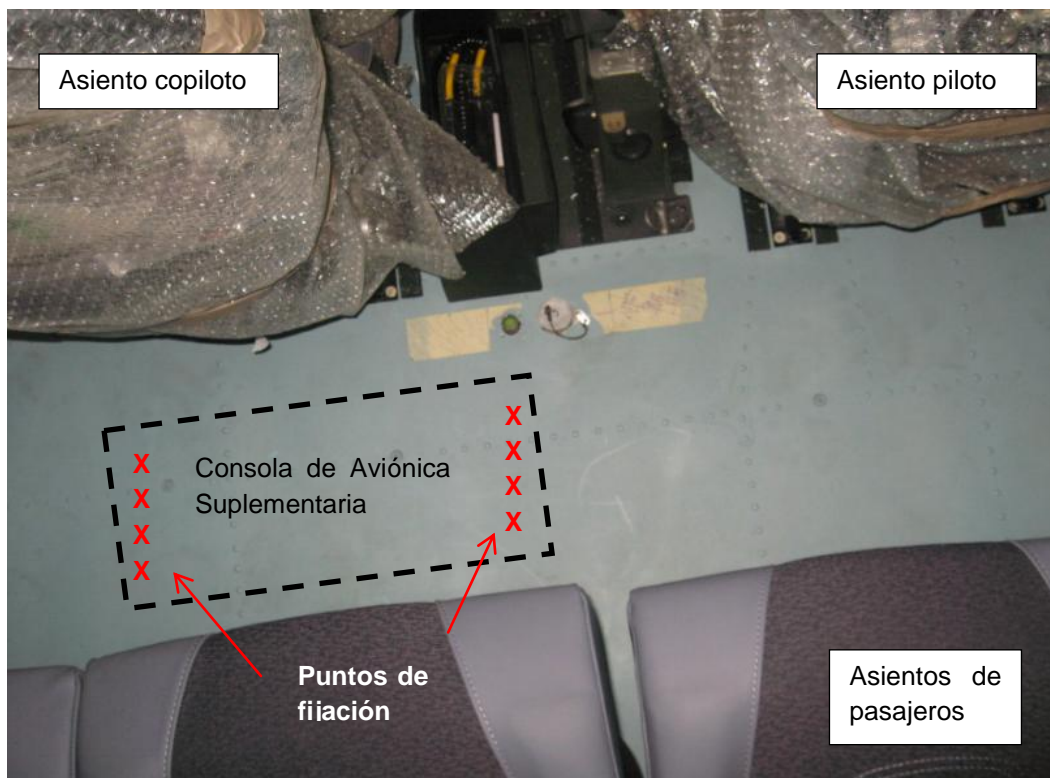


Figura 11. Concepto de consola seleccionado

CAPÍTULO III

DISEÑO DE DETALLE

3.1 CONFIGURACIÓN DE LA CONSOLA

3.1.1 DIMENSIONADO PRELIMINAR

Para determinar el tamaño más óptimo de la consola fue necesario analizar el espacio disponible en la aeronave. Para esto se generó un modelo digital del piso de cabina por medio de CATIA (software CAD). Se modelaron también todos los componentes a bordo que pudieran condicionar al diseño de la consola, tales como: asientos, rieles, mandos de vuelo, etc. Una vez ensambladas las partes, se identificó la posición de la consola usando un prisma rectangular. Al fijar una separación mínima de 5 cm entre el prisma y su alrededor, se obtuvieron las dimensiones máximas permisibles de la consola.

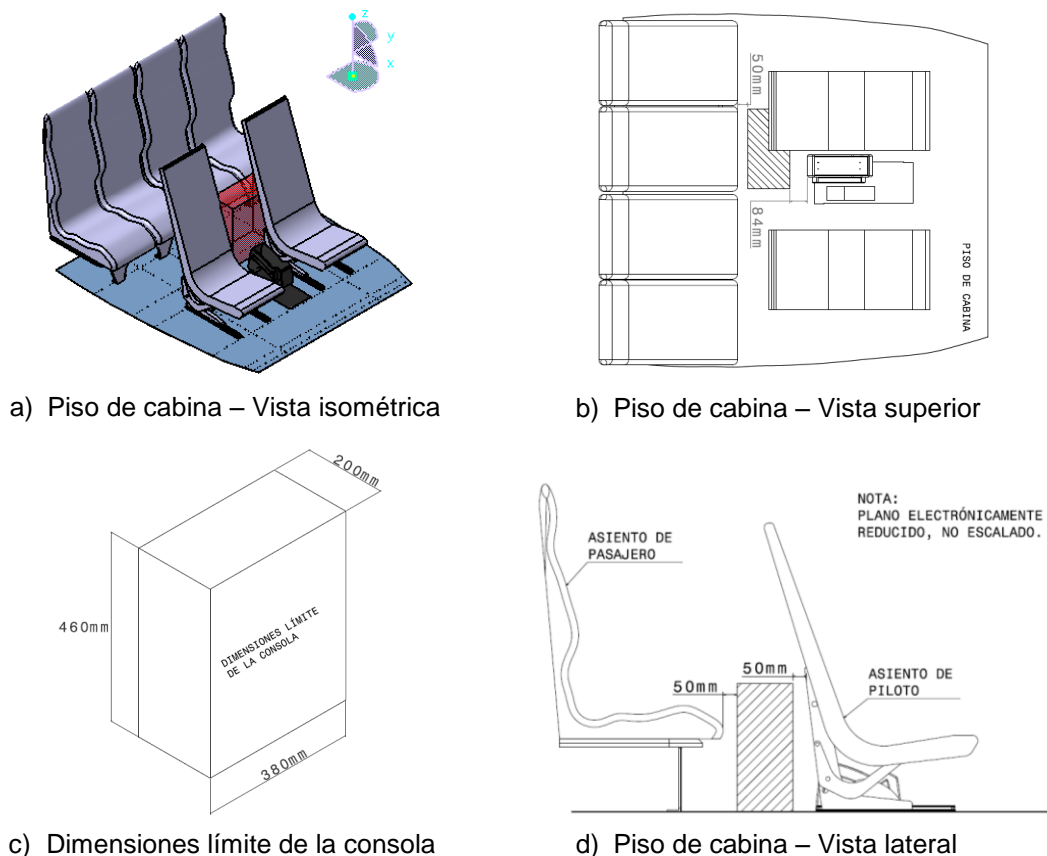


Figura 12. Dimensionado de la consola

Para definir la forma de la consola se tomaron en cuenta distintos parámetros obtenidos anteriormente, tales como: resultados del método QFD, árbol funcional, requisitos ergonómicos del operador, así como también, las dimensiones de los equipos de aviónica a instalar. Como resultado se obtuvo el siguiente sketch, el cual representa la sección transversal más significativa de la consola:

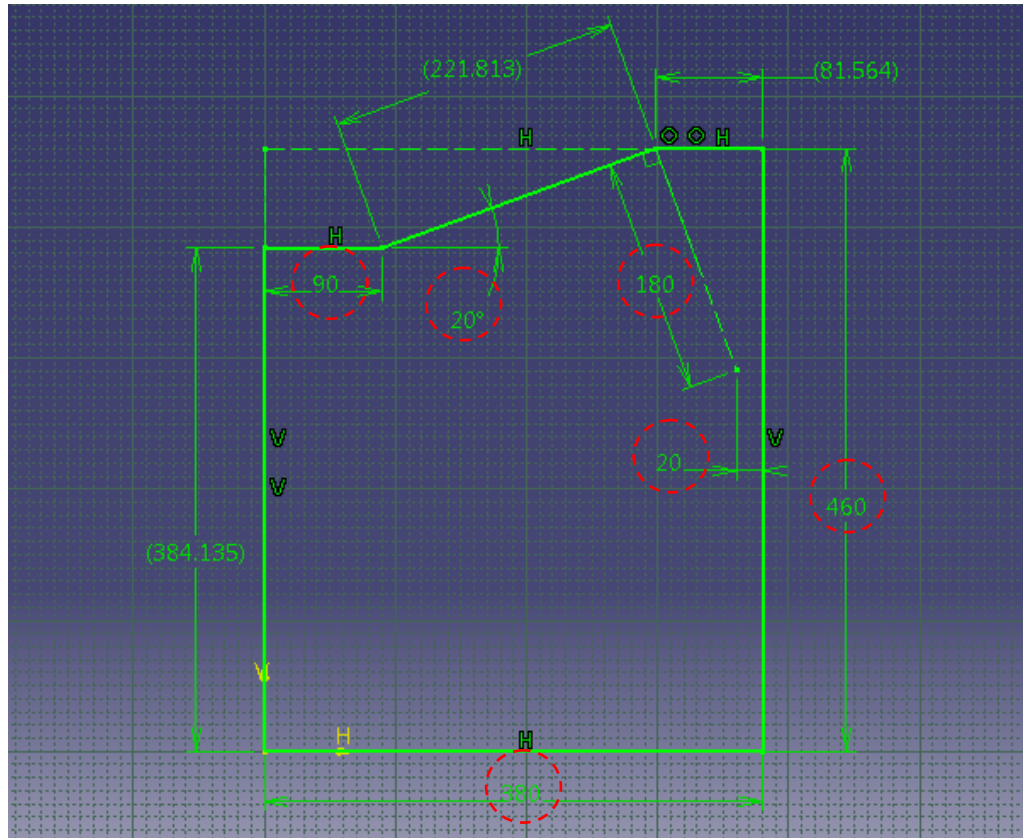


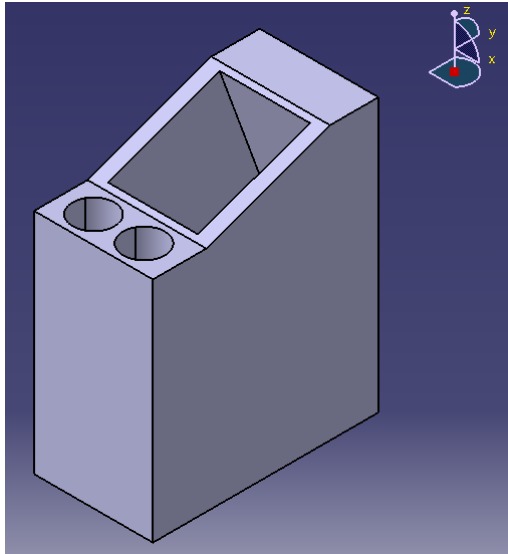
Figura 13. Sección transversal preliminar más significativa de la consola

De acuerdo a la figura 13, las características o constantes que determinaron las demás dimensiones preliminares son:

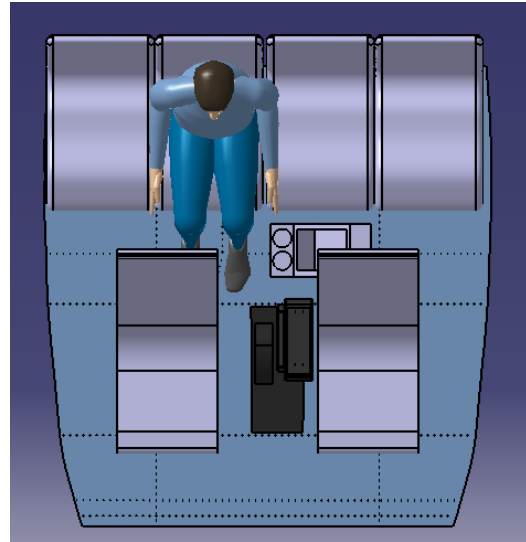
- Largo y alto: 380 mm y 460 mm respectivamente.
- Ángulo de inclinación de 20°, para una mejor lectura de los equipos.
- Sección delantera de 90 mm para un portavasos (considerando un diámetro de 70 mm del orificio más 10 mm de separación entre bordes).
- Separación de 20 mm entre la pared trasera y el equipo de aviónica más largo a instalar.

Cabe mencionar que en CATIA las dimensiones entre paréntesis equivalen a cotas de referencia que dependen de otras cotas.

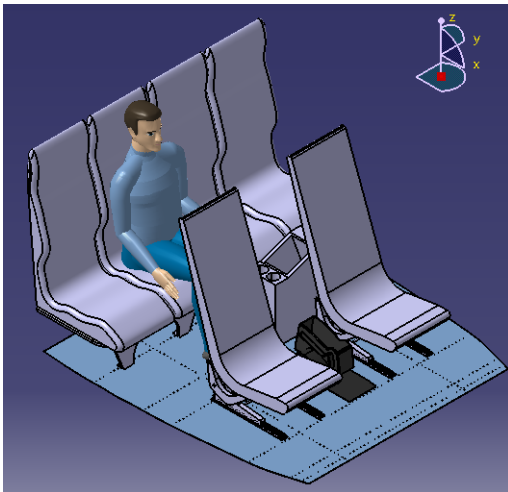
Una vez definida la sección transversal de la consola, se generó un sólido tomado como ancho el límite previamente determinado. Al remover el volumen respectivo de los equipos de aviónica y el portavasos se obtuvo la siguiente representación inicial de la consola:



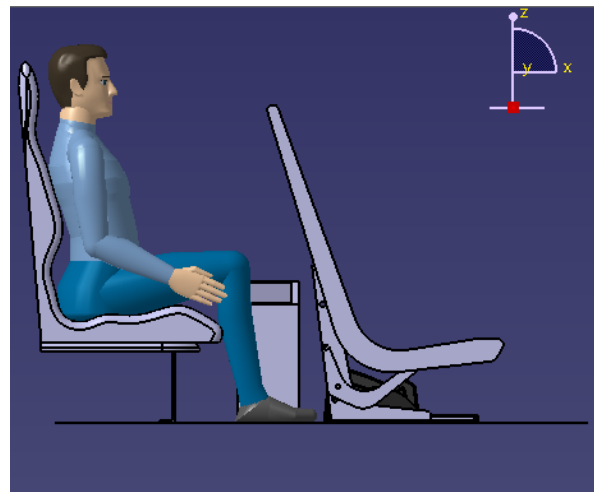
a) Consola – Vista isométrica



c) Consola en la aeronave – Vista superior



b) Consola en la aeronave – Vista isométrica



c) Consola en la aeronave – Vista lateral

Figura 14. Representación inicial de la consola

En la figura anterior es posible apreciar que la representación de consola generada no afectará la ergonomía del operador. Además, por conveniencia en el análisis, se hicieron coincidir los ejes de referencia de la consola con el sistema de referencia global de la aeronave.

3.1.2 MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACIÓN

Como ya se mencionó antes, la visión del proyecto es lanzar la consola de aviónica suplementaria como un producto a través de una empresa aeronáutica ya establecida (ver sección 2.2.1). Por esta razón se ha buscado utilizar, hasta donde el diseño lo permita, los recursos inmediatos de dicha compañía, por ejemplo: partes y consumibles disponibles en almacén, herramientas existentes en taller, proveedores aprobados por la misma compañía, etc. A partir de este criterio se ha establecido la configuración preliminar (ver sección 2.4.3), los materiales a utilizar y los procesos de fabricación.

En primer lugar, la consola estará formada por diferentes elementos estructurales doblados (sección transversal en “L”), los cuales serán fabricados a partir de lámina de aleación de Aluminio aeronáutico de diferentes espesores (0.040 in, 0.050 in y 0.060 in). Los espesores de cada elemento y su ubicación se han elegido de acuerdo a su aportación estructural, la cual fue evaluada por medio de un análisis de elemento finito (ver sección 3.4.3).

Para unir cada elemento estructural se utilizarán remaches sólidos de cabeza de hongo de dos diferentes diámetros: 4 mm para los elementos críticos y 3.2 mm para los secundarios. De igual forma la selección de dichas partes se ha sustentado en la sección 3.4.3.

Debido a que se propuso utilizar equipos de aviónica de dimensiones estándar, a la consola se le integrará un par de receptáculos especiales para sujetadores tipo “DZUS”. Los receptáculos constan de una barra de aleación de Aluminio de sección transversal en “L” en la cual atraviesa un alambre de Acero Inoxidable que permite retener los sujetadores. Dichos componentes están diseñados para ser fijados por medio de remaches sólidos de cabeza de hongo de 3.2 mm de diámetro.

Finalmente la consola estará cubierta por un conjunto de láminas de 0.030 in de espesor, las cuales serán sujetas por medio de tornillos de Acero de cabeza de gota de 4 mm de diámetro. A su vez, los tornillos estarán asentados en tueras ancladas de acero las cuales estarán fijadas a la estructura por medio de remaches sólidos de cabeza plana de 2.4 mm de diámetro, y cuando se requiera, a través de pequeños soportes de lámina doblada de 0.040 in de espesor.

Cabe señalar que todas las partes a fabricar estarán conformes a los procesos y requerimientos estipulados en el manual de prácticas estándar de la aeronave, el cual en forma general, cubre los siguientes aspectos:

- Doblado de lámina de Aluminio en frío

- Instalación de remaches
 - Largo mínimo
 - Distancia entre remaches
 - Separación entre remache y borde
 - Separación entre remache y doblez de lámina
- Protección de estructuras metálicas contra corrosión
- Metalización
- Pintura

3.1.3 ESTRUCTURA

Retomando la representación inicial de la consola, así como también los procesos de fabricación propuestos de acuerdo a la capacidad de la compañía, se define la siguiente configuración preliminar, la cual estará formada por componentes estructurales simples (vigas, vigas-columnas, marcos y tirantes) que en conjunto formarán una estructura compleja.

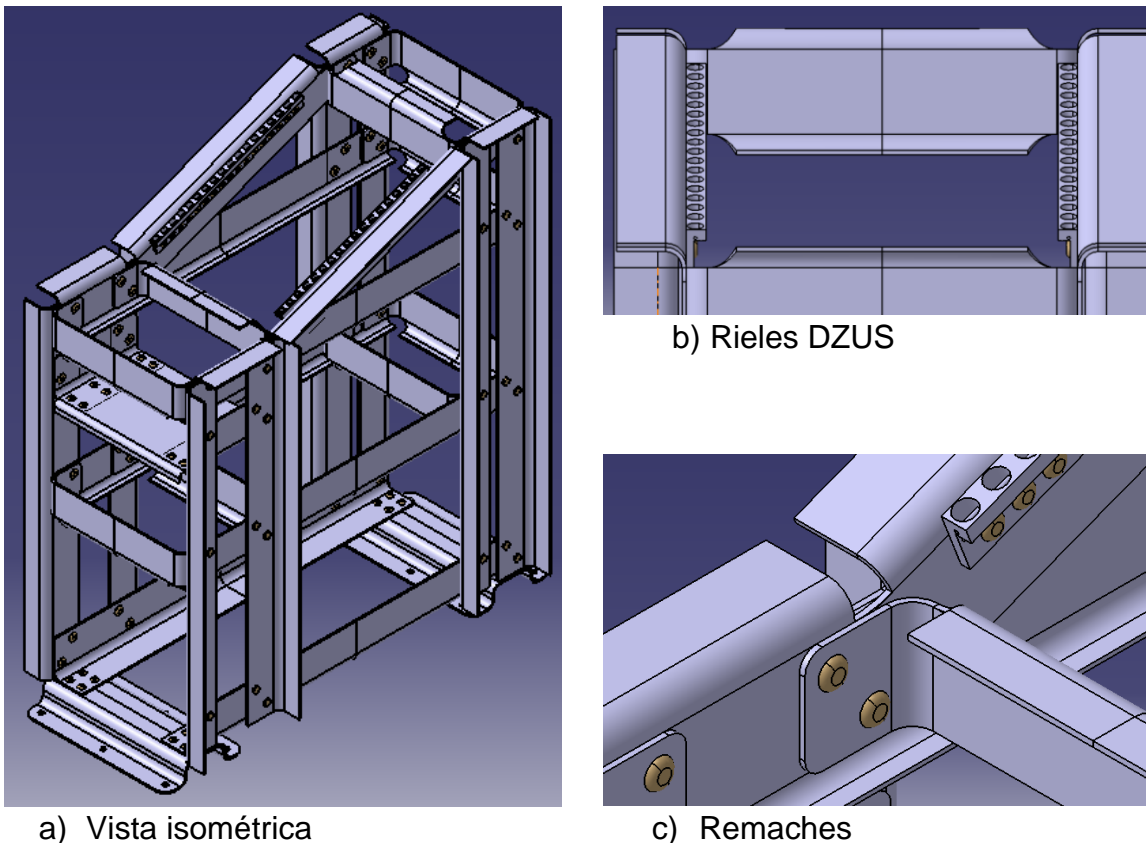


Figura 15. Configuración preliminar de la consola

3.2 JUSTIFICACIÓN ESTRUCTURAL

3.2.1 BASE DE CERTIFICACIÓN

El análisis estructural se realizará para dar cumplimiento a los requerimientos estructurales definidos en la FAR 27 (ver sección 2.2.2). En otras palabras, con esto se asegura que la consola es capaz de soportar las condiciones de carga últimas en la aeronave.

A continuación se presentan los medios de cumplimiento seleccionados para cada requerimiento dentro de la regulación.

Tabla 20. Base de certificación de la consola

FAR	Título	Medios de cumplimiento
§27.301	Cargas	Cargas definidas en FAR 27.337 y 27.561
§27.303	Factor de seguridad	Todas las partes involucradas cumplirán con un factor de seguridad de 1.5.
§27.305(a)	Resistencia y deformación	Se buscará evitar deformaciones excesivas al aplicar las cargas límite.
§27.307(a)	Prueba de la estructura	Debido a la complejidad de la consola, se usará un método aproximado (FEA) para demostrar que la estructura cumple con los requerimientos de resistencia requeridos. El software de análisis seleccionado (ANSYS) es ampliamente utilizado en ingeniería de diseño alrededor del mundo.
§27.337(a)	Factor de carga de maniobrabilidad límite	Se considerarán factores de carga de maniobra límite de 3.5 a 1.0
§27.561(3)	Condiciones de aterrizaje de emergencia	De acuerdo a la ubicación de la consola en la aeronave, se han considerado los siguientes factores de carga límite: <ul style="list-style-type: none">➤ Superior — 4g.➤ Frontal — 16g.➤ Lateral — 8g.➤ Inferior — 20g.➤ Trasero — 1.5 g.
§27.613	Propiedades de resistencia de materiales y valores de diseño	Las fuentes utilizadas para las propiedades de los materiales serán las aceptadas por la FAA: <ul style="list-style-type: none">✓ MMPDS-01

3.2.2 CONSIDERACIONES DE CARGA

Las cargas inerciales a ser consideradas en el análisis son las cargas de maniobra (FAR 27.337) y cargas de choque (FAR 27.561).

En la condición de carga hacia abajo, el factor máximo (límite) de maniobra es de 3.5 g. Si a este valor se le aplica un factor de seguridad de 1.5 (FAR 27.303) se obtiene el factor de carga último en vuelo el cual es de 5.25 g. Sin embargo, debido a que el factor de carga de maniobra es mucho menor al especificado para choque (20 g), se utilizará este último valor para la condición de carga hacia abajo.

Los factores de carga últimos para las demás condiciones* no se verán afectados; 16 g hacia adelante, 8 g hacia un lado, y 4 g hacia arriba.

Tabla 21. Consideraciones de carga para la consola

FACTORES DE CARGA §27.561(b)(3)		CARGAS INERCIALES EN LA CONSOLA				
Condición de carga	Valor en g	Componente	Peso		Carga última	
			Kg	N	Kg _f	N
Arriba (eje Z)	4.0	Grabadora digital de video	0.54	5.30	2.16	21.19
En frente (eje X)	16.0				8.64	84.76
Lateral (eje Y)	8.0				4.32	42.38
Abajo (eje Z)	20.0				10.80	105.95
Arriba (eje Z)	4.0	Unidad de gestión de misión	0.36	3.53	1.44	14.12
En frente (eje X)	16.0				5.76	56.48
Lateral (eje Y)	8.0				2.88	28.24
Abajo (eje Z)	20.0				7.20	70.60
Arriba (eje Z)	4.0	Enlace de datos de video	0.18	1.77	0.72	7.08
En frente (eje X)	16.0				2.88	28.32
Lateral (eje Y)	8.0				1.44	14.16
Abajo (eje Z)	20.0				3.60	35.40

Para cada condición de carga se considerará un comportamiento distinto en los medios de sujeción de los equipos. Sobre esto se hablará más adelante en el análisis por elemento finito.

*La condición de carga hacia arriba no se ha incluido debido a que su valor (1.5 g) es el menos significativo en comparación con las demás direcciones.

3.2.3 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Todas las propiedades utilizadas para el análisis han sido obtenidas de la referencia [23].

Tabla 22. Propiedades de los materiales utilizados en la consola

Componente	Forma / tamaño	Material	ρ [Kg/mm ³]	E [GPa]	ν	σ_{ty} [MPa]	σ_{tu} [MPa]
Elemento estructural de consola	Lámina / 0.030 in (espesor)	AL 2024T3	2780	72.40	0.33	324.05	441.27
	Lámina / 0.040 in (espesor)	AL 2024T3	2780	72.40	0.33	324.05	441.27
	Lámina / 0.050 in (espesor)	AL 2024T3	2780	72.40	0.33	324.05	441.27
	Lámina / 0.063 in (espesor)	AL 2024T3	2780	72.40	0.33	324.05	441.27
Riel para DZUS	Barra / (alto, ancho)	AL 6061-T6	2700	68.26	0.33	110.32	289.58
Riel para DZUS	Alambre / (diámetro)	Acero Inoxidable 316	8000	193	0.31	207	1585
Remache	Sólido, cabeza de gota / 2.4 mm (diámetro)	AL 2117-T4	2750	71.00	0.33	165	310
	Sólido, cabeza de gota / 3.2 mm (diámetro)	AL 2117-T4	2750	71.00	0.33	165	310
	Sólido, cabeza de gota / 4.0 mm (diámetro)	AL 2117-T4	2750	71.00	0.33	165	310

3.2.4 ANÁLISIS POR ELEMENTO FINITO

Importación del modelo.

Para comenzar un análisis por elemento finito, es necesario exportar el modelo CAD obtenido a un formato compatible con el software de análisis a utilizar. Para el caso de la consola, se eligió la extensión “.stp” por ser la más adecuada para generar el ensamble de la consola en ANSYS.

Asignación de materiales.

Al importar el archivo en un proyecto estructural (static structural), se continuó con la asignación de material para cada componente de la estructura. Para esto se creó anticipadamente una librería personalizada en donde se definirían las propiedades de los materiales involucrados de acuerdo a la tabla 22.

Creación de la malla.

Una vez especificado el material, se generó la malla de la consola con el fin de convertir el modelo físico en un modelo FE equivalente. Como primera iteración se optó por definir la malla de forma automática (parámetros por “default”), de tal forma que se pudiera establecer una referencia rápida para las tareas posteriores de refinamiento de malla.

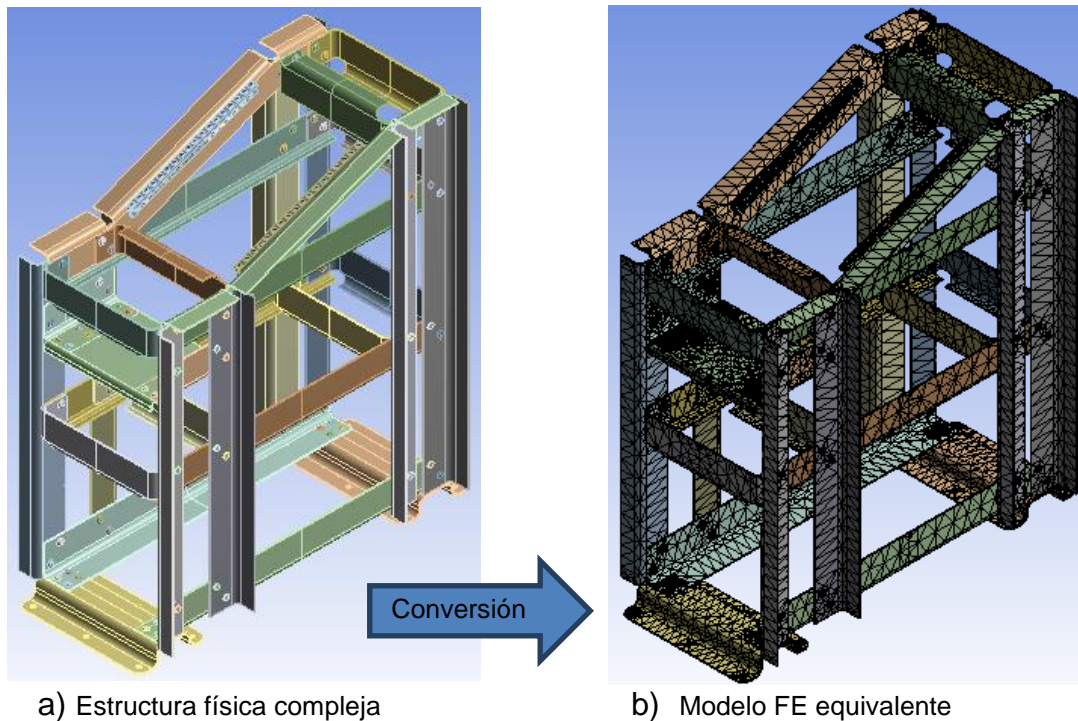


Figura 16. Generación de la malla de análisis – primera iteración

Aplicación de cargas.

A manera de representar las fuerzas físicas reales que actuarán en la estructura de la consola, se continuó con la aplicación de cargas al modelo FE.

Tomando los valores de la tabla 22, se generó un caso de análisis para cada condición de carga definida (arriba, enfrente, lateral y abajo). Sin embargo, por cuestiones prácticas, sólo se consideró la condición de carga “Frontal” para la primera iteración por ser la más significativa*.

Aplicando una fuerza en los puntos de fijación de cada uno de los equipos de aviónica a instalar, se obtuvo lo siguiente:

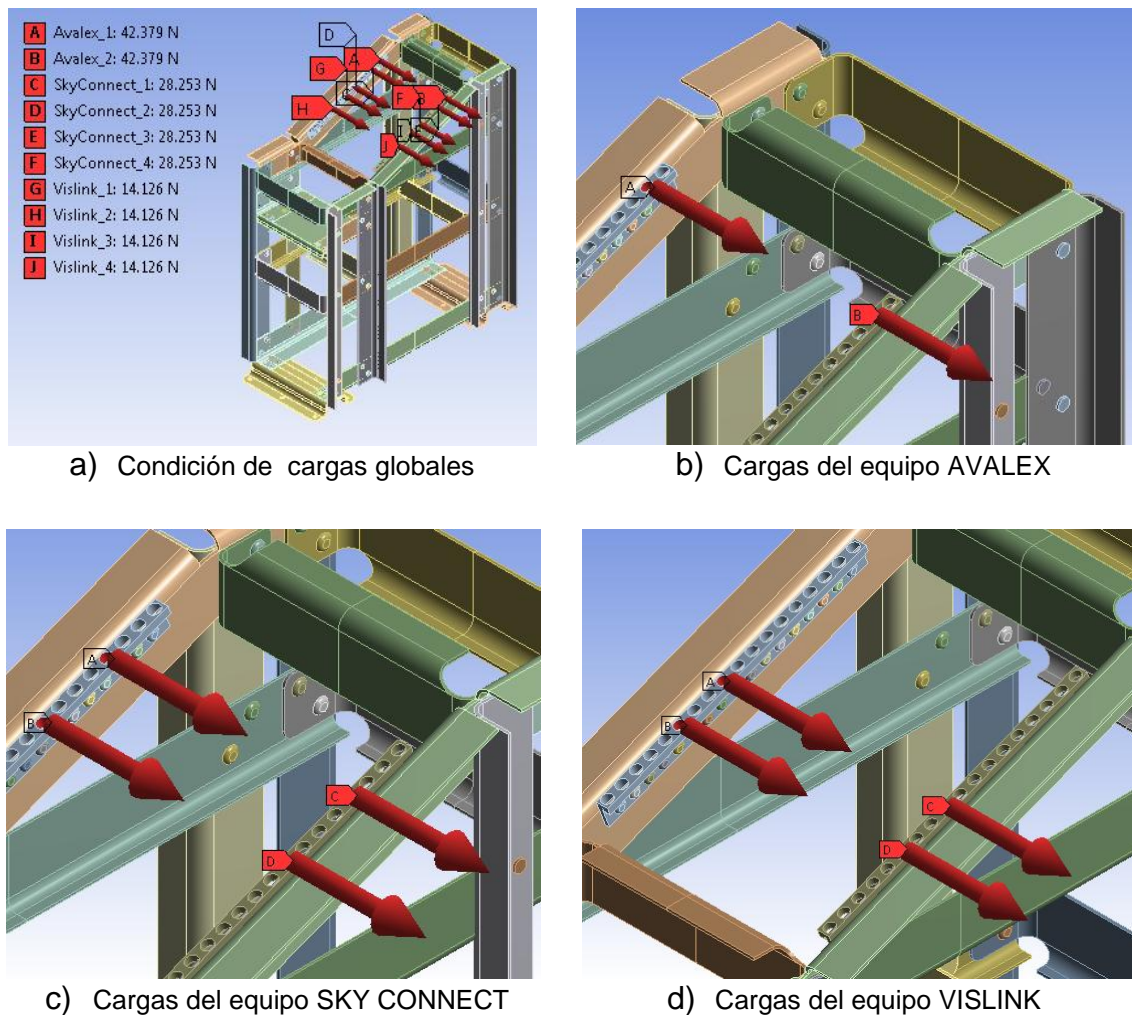


Figura 17. Aplicación de cargas para el caso de análisis crítico

*La condición de carga “Frontal” se considera la más significativa debido a la orientación de la consola con respecto a la aeronave, aun cuando dicha condición no presenta los factores de carga críticos. En otras palabras, la condición de carga “Frontal” generará los esfuerzos más críticos en la estructura.

Definición de las condiciones de frontera.

Como última entrada para el análisis, se definieron las restricciones del modelo FE las cuales representan las condiciones de frontera físicas de la consola, es decir, los medios de sujeción en la aeronave.

De acuerdo al concepto seleccionado en la sección 2.3.5, la consola se fijará al piso de cabina del helicóptero por medio de tornillos, arandelas y tuercas ancladas. Para representar de forma aproximada dichas condiciones, se optó por generar empotes (fixed supports) en las cuatro caras que representan el área de apoyo de la consola al piso.

Las restricciones de la consola obtenidas se muestran a continuación:

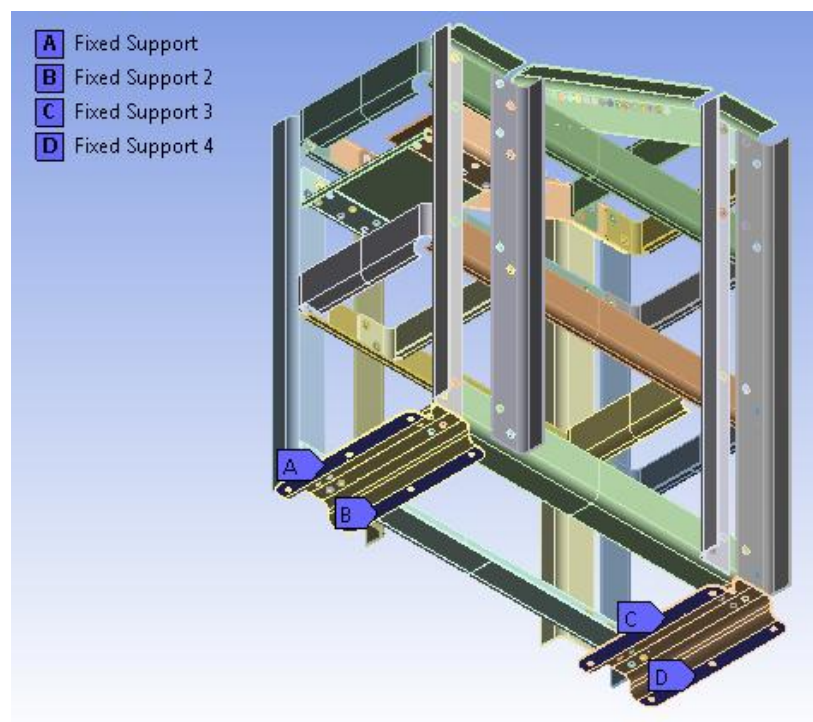


Figura 18. Condiciones de frontera del modelo de elemento finito

Procesamiento.

La siguiente etapa, conocida como procesamiento (“computation” en inglés), permite generar la solución para el caso de análisis en el modelo FE.

Normalmente en el procesamiento se calculan los desplazamientos en los puntos nodales a través de métodos numéricos. A partir de estos valores se derivan las soluciones para otras incógnitas de interés en la estructura, tales como: las deformaciones, los esfuerzos principales, los esfuerzos Von-Mises, etc.

Post-procesamiento.

En la etapa de post-procesamiento, los resultados obtenidos en el caso de análisis son evaluados con el fin de validar su nivel de confiabilidad. La validación se logra a través del estudio de diferentes imágenes de resultados obtenidas en el procesamiento.

Los resultados obtenidos en la primera iteración del modelo FE de la consola se muestran a continuación:

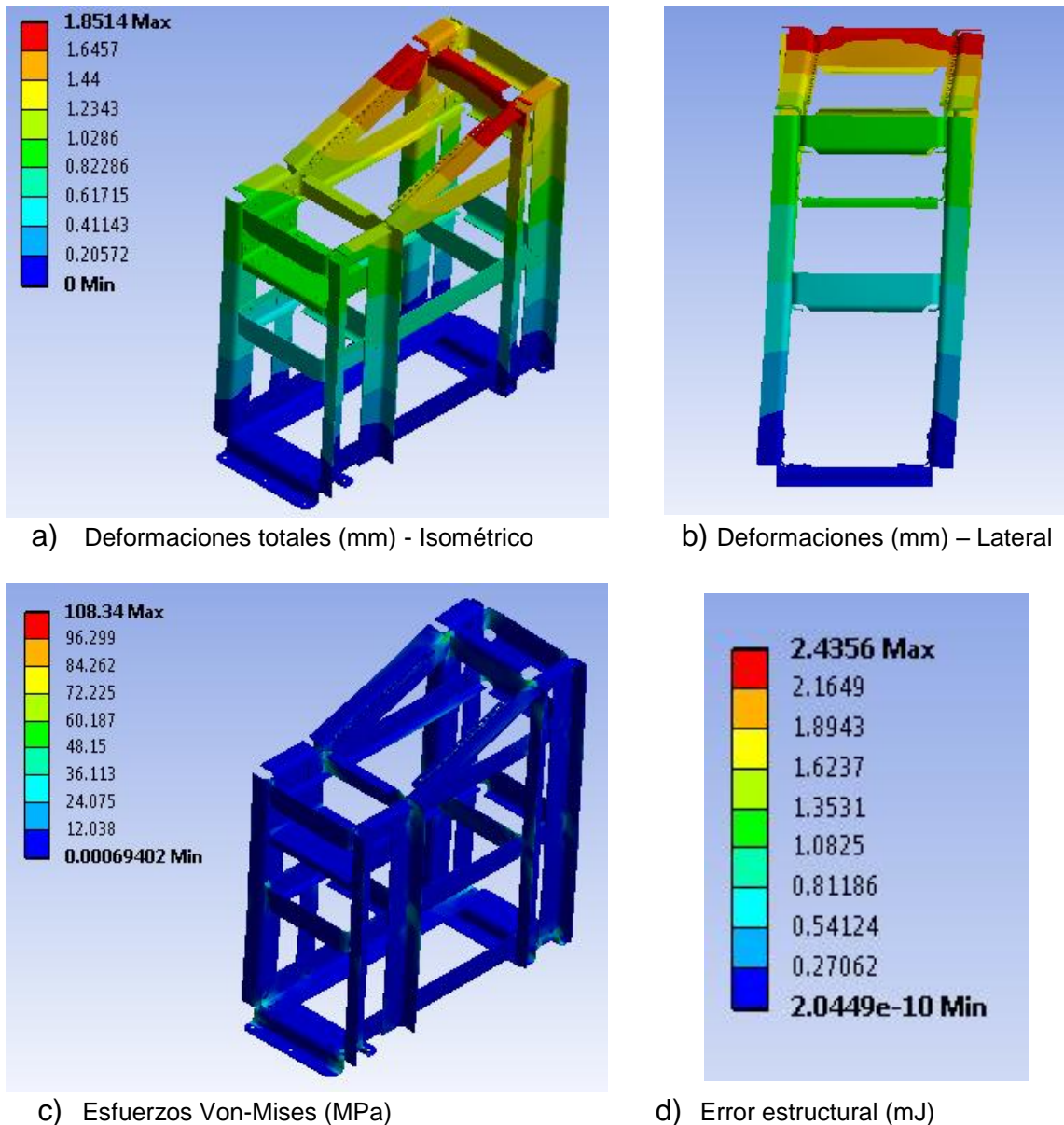


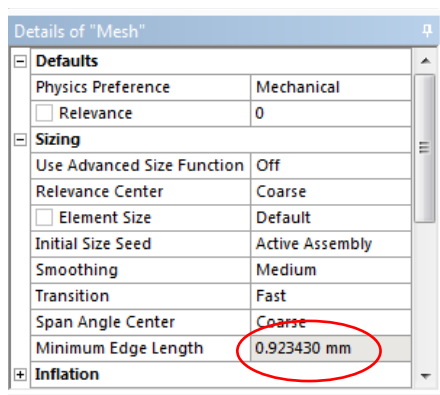
Figura 19. Resultados de la primera iteración del caso de análisis crítico

Iteraciones de refinamiento de malla.

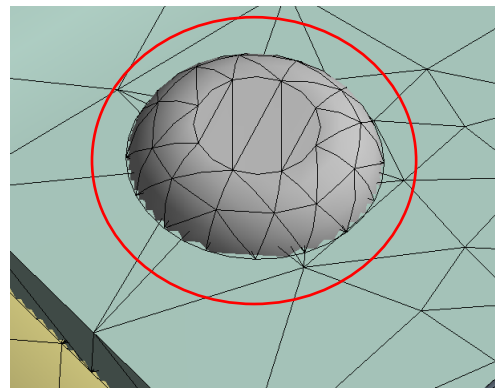
Para que los resultados de un análisis se consideren confiables, es necesario cumplir con ciertos criterios que evalúan la calidad de la malla. Para el caso particular de la consola, los criterios de aceptación fueron los siguientes:

1. El tamaño máximo del elemento de malla en un componente debe ser menor la dimensión más pequeña (por ejemplo el espesor).
2. La dimensión más pequeña en el componente debe dividirse al menos en dos partes iguales.
3. Debe apreciarse una buena conexión nodal (uniforme) en las zonas de contactos de los componentes.
4. Por último, el error estructural máximo generado en los resultados debe ser de una notación exponencial de al menos $\times 10^{-6}$ Joules.

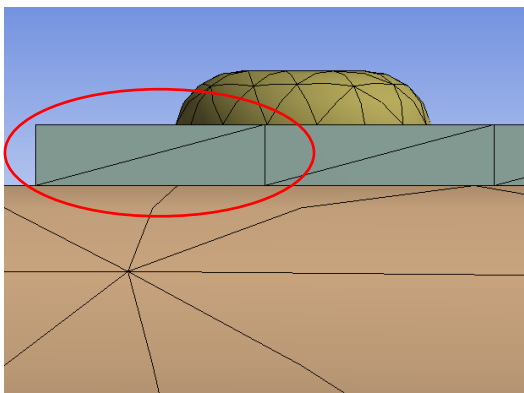
Como era de esperarse, la primera iteración del análisis de la consola no cumplió con los cuatro criterios de aceptación propuestos.



a) Primera condición no cumplida



c) Tercera condición no cumplida



b) Segunda condición no cumplida

Details of "Structural Error"	
Definition	
Type	Structural Error
By	Time
Display Time	Last
Calculate Time History	Yes
Identifier	
Suppressed	No
Results	
Minimum	2.0449e-010 mJ
Maximum	2.4356 mJ
Minimum Occurs On	BASE_SUPPORT
Maximum Occurs On	A3_SUPPORT
Information	

d) Cuarta condición no cumplida

Figura 20. Evaluación de la primera iteración para el caso de análisis crítico

La solución de la primera iteración proveyó de resultados no confiables debido a que el mallado automático se centra en minimizar el tiempo de cálculo al generar una malla burda con elementos simples.

Para obtener una representación más aproximada del modelo físico real de la consola fue necesario cambiar ciertos parámetros en la definición de la malla hasta lograr que los criterios de aceptación propuestos se cumplieran.

El primer paso en el refinamiento de la malla fue cambiar “coarse” por “fine” dentro del parámetro “Relevance Center” en la sección de detalles de malla (Details of “Mesh”). Posteriormente se cambió dentro del parámetro “smoothing” de “medium” a “high”. Dichos cambios representaron la segunda iteración con refinamiento de malla, no obstante no fue sino hasta la 4 iteración que se pudieron cumplir con los criterios de aceptación. Para eso fue necesario insertar la función “refinement” directamente en el apartado “Mesh” dentro del árbol.

La siguiente tabla comparativa muestra el proceso iterativo de la obtención de resultados confiables en el análisis de la estructura.

Tabla 23. Iteraciones de refinamiento de malla

Iteración	Parámetros de malla o de refinamiento de malla	Número de nodos	Número de elementos	Error estructural máximo (J)	Deformación total máxima (mm)	Esfuerzo Von-Mises máximo (mm)
1	Malla automática	200859	90235	1.15×10^{-3}	1.28	74.82
2	Malla refinada: - Relevance Center: Fine - Smoothing: High	282911	130834	3.78×10^{-4}	1.56	92.02
3	Malla refinada: - Relevance Center: Fine - Smoothing: High - Refinement: Level 1	1481870	724279	5.92×10^{-5}	2.2	203.86
4	Malla refinada: - Relevance Center: Fine - Smoothing: High - Refinement: Level 3	5405961	2733864	4.67×10^{-6}	2.39	318.53

Resultados de la configuración preliminar.

Una vez que se aseguró la calidad de malla deseada y por ende la confiabilidad del análisis, se continuó con la interpretación de los resultados.

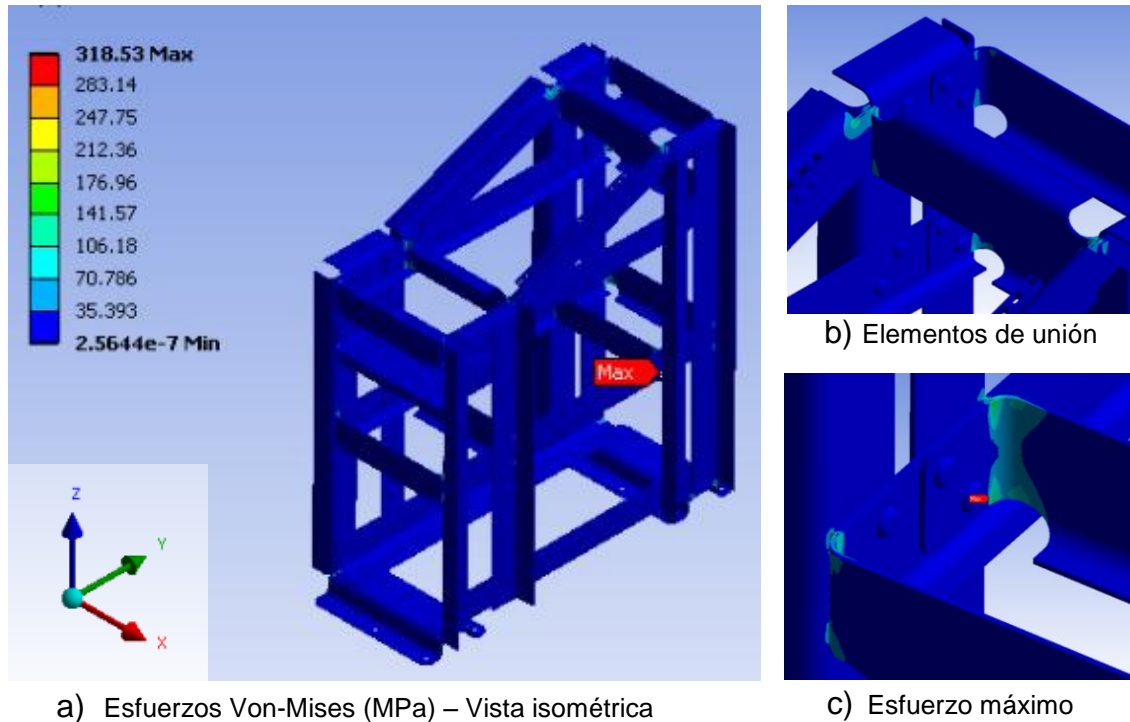


Figura 21. Comportamiento estructural de la configuración preliminar de la consola

De acuerdo a las imágenes anteriores, los esfuerzos máximos generados en la estructura (318 MPa) se localizan en los componentes transversales, exactamente en la zona de los dobleces laterales. Este comportamiento tipo tirante es bastante razonable debido a la dirección de las cargas aplicadas (eje X).

Por otro lado, los esfuerzos generados en los puntos susceptibles de la estructura, por ejemplo los remaches, fueron menores a 35 MPa (muy por debajo del esfuerzo último del material). Este fue un indicio de una buena distribución de componentes estructurales en la consola.

Determinación del margen de seguridad.

Partiendo del hecho de que la consola deberá soportar las condiciones de carga máximas esperadas en la aeronave, fue necesario determinar el margen de seguridad de la estructura, el cual contrasta los esfuerzos máximos generados contra los esfuerzos últimos de cada material en la estructura.

Aplicando el factor de seguridad requerido en la tabla 20, se obtiene el siguiente margen de seguridad para los elementos transversales:

$$MS = \frac{\sigma_{tu}(AL\ 2024 - T3)}{(\sigma_{max})(FS)} - 1 = \frac{441.27MPa}{(318.53MPa)(1.5)} - 1 = -0.08$$

Mejoramiento de la estructura.

Debido a que el valor mínimo aceptable para un margen de seguridad es cero, se determinó que la configuración preliminar debía de ser mejorada. Los criterios utilizados para tal mejoramiento fueron los siguientes:

- Respetar las dimensiones máximas definidas para la consola.
- No incrementar más de un 15% el peso de la configuración preliminar.
- Si es posible, no modificar el diseño actual de partes.
- Utilizar los materiales definidos anteriormente.

Como resultado a la estructura se le incorporó un refuerzo transversal formado por componentes estructurales pertenecientes al mismo ensamble.

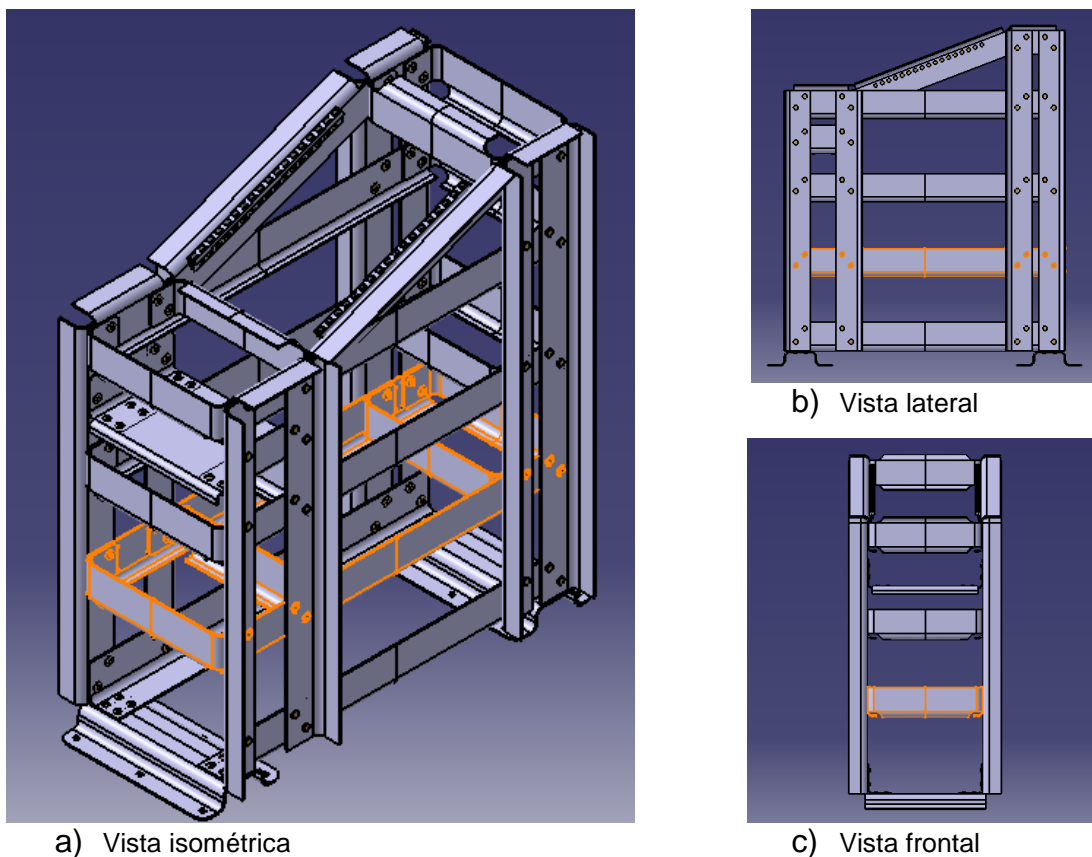


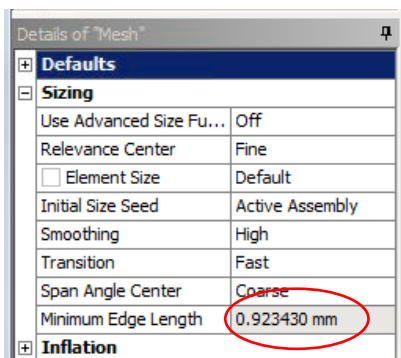
Figura 22. Modelo CAD de la configuración mejorada de la consola

Una vez establecida la mejora, se llevó a cabo el análisis estructural siguiendo el mismo proceso iterativo que en la configuración preliminar. La diferencia entre la configuración preliminar y la mejorada se resume en la siguiente tabla:

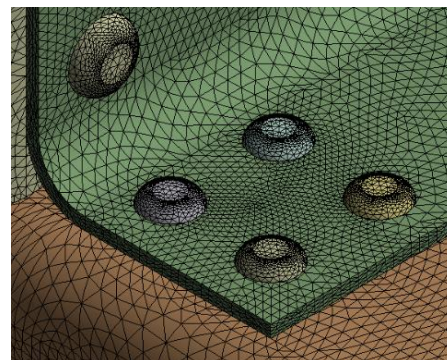
Tabla 24. Diferencias en la configuración mejorada

Configuración de consola	Modelo CAD				Modelo FE	
	Número de componentes estructurales	Número de remaches	*Peso (Kg)	Incremento de peso	Número de nodos	Número de elementos
Preliminar	34	130	2.046	N/A	5405961	2733864
Mejorada	40	146	2.312	13%	6368917	3224842

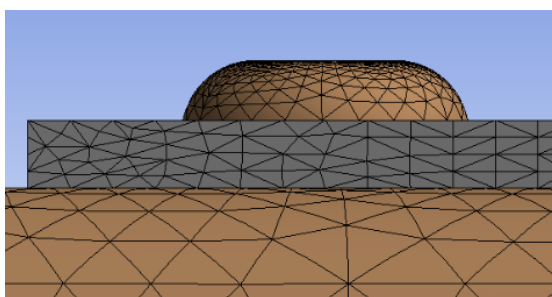
Por otro lado, el cumplimiento de los criterios de aceptación establecidos para la malla se muestra a continuación:



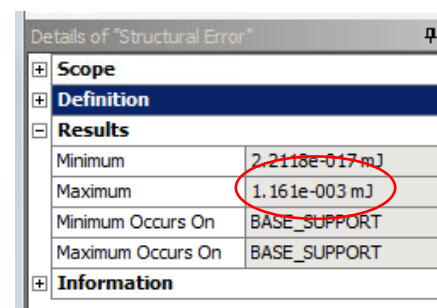
a) Primera condición cumplida



c) Tercera condición cumplida



b) Segunda condición cumplida



d) Cuarta condición cumplida

Figura 23. Calidad de malla en la configuración mejorada de la consola

*Peso de la estructura estimado en CATIA, sin considerar cubiertas ni tornillería necesaria.

Finalmente, los resultados obtenidos el análisis fueron los siguientes:

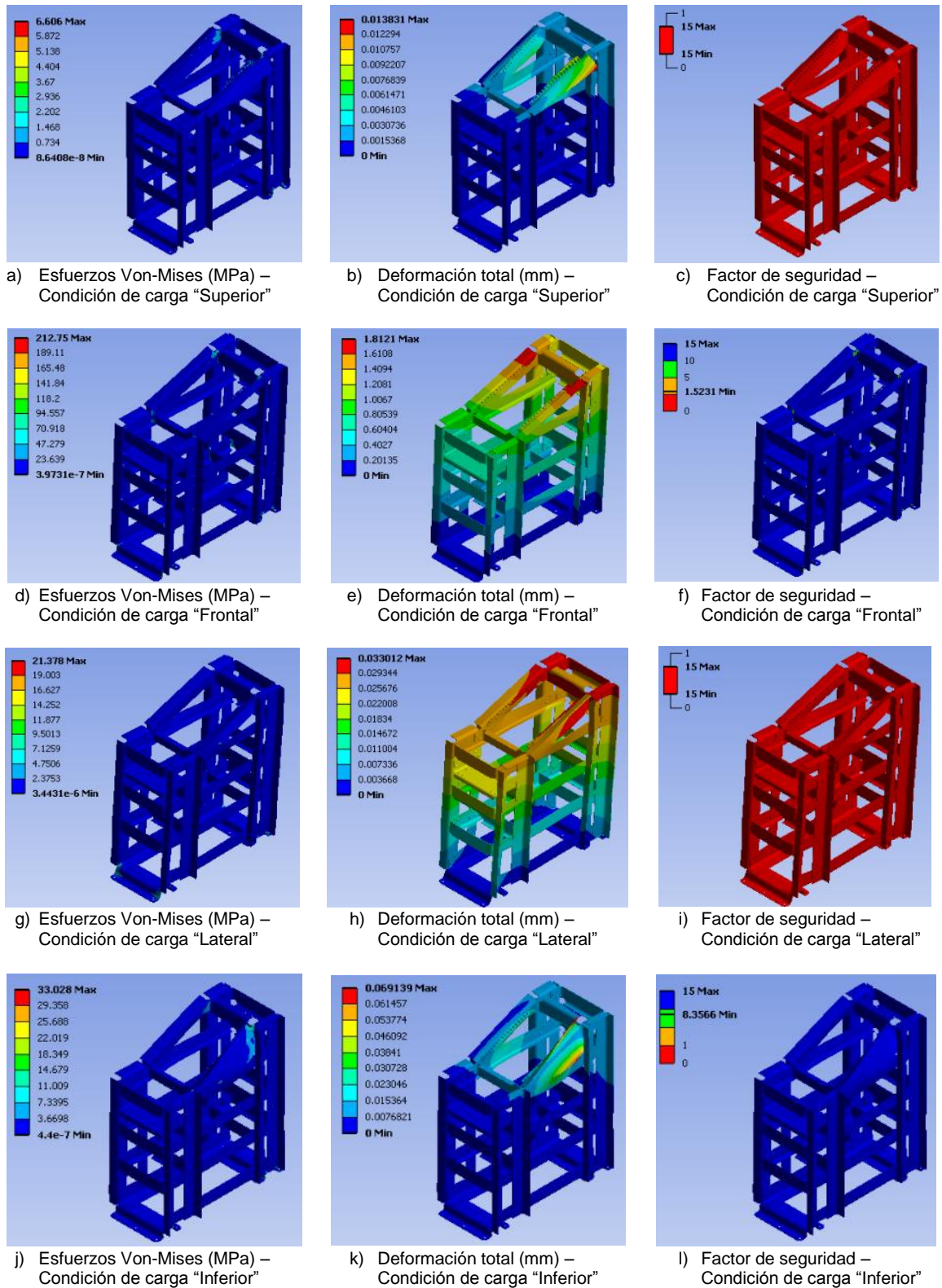


Figura 24. Comportamiento estructural de la consola mejorada

De igual forma que en la configuración preliminar, los esfuerzos máximos se localizaron en los componentes estructurales de lámina. Por lo que los nuevos márgenes de seguridad para cada una de las condiciones de carga se muestran a continuación:

Tabla 25. Resultados obtenidos en la consola mejorada

PARÁMETRO DE DISEÑO A EVALUAR	CONDICIONES DE CARGA			
	Superior	Frontal	Lateral	Inferior
Esfuerzo Von-Mises máximo (MPa)	6.60	212.75	21.38	33.03
Deformación total máxima (mm)	0.1383	1.8121	0.033	0.06914
Factor de seguridad mínimo (ANSYS)	15	1.52	15	1
Margen de seguridad (Analítico)	43.57	0.3828	12.76	7.91

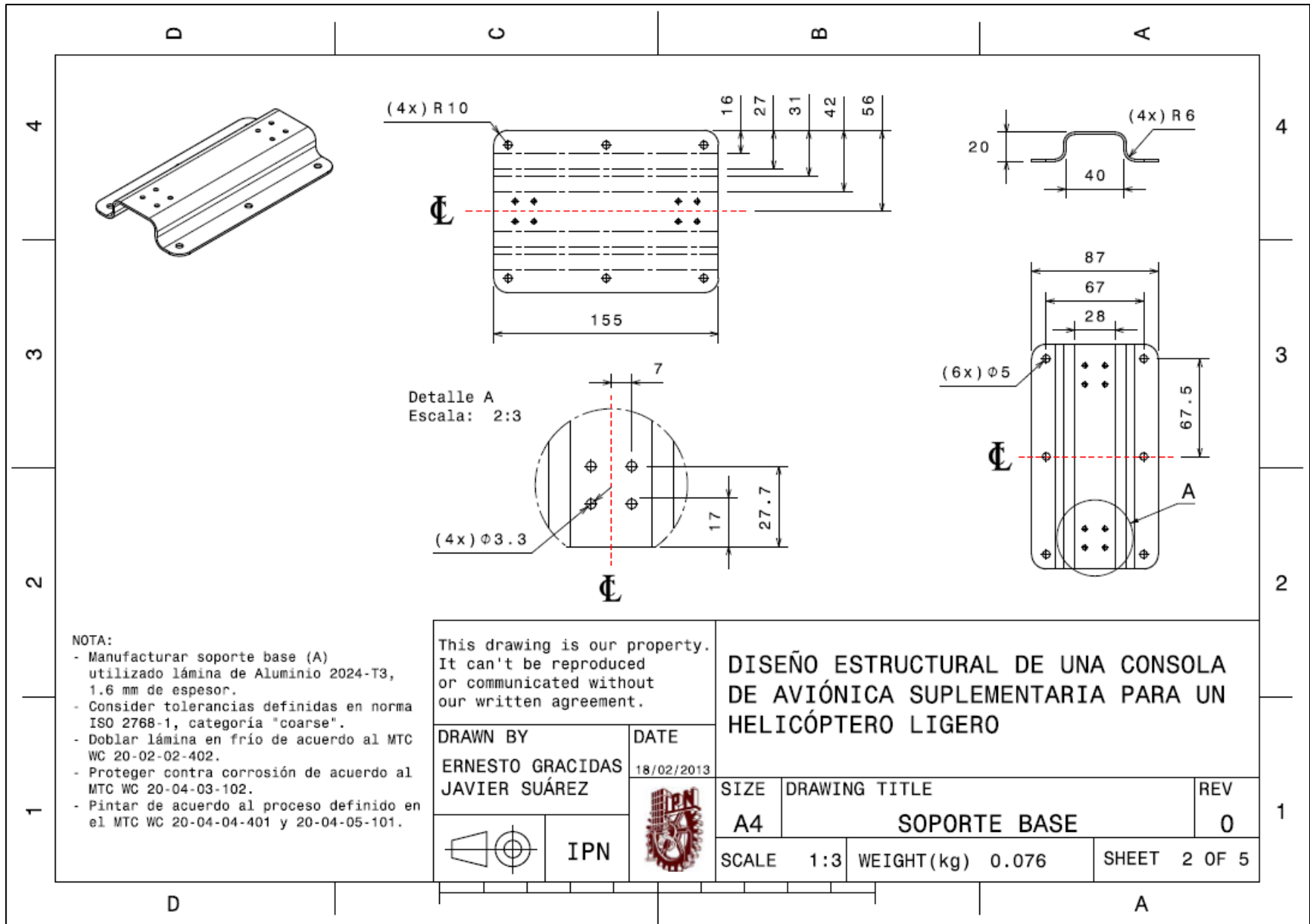
En base a los resultados obtenidos, se determina que la mejora realizada a la consola fue satisfactoria.

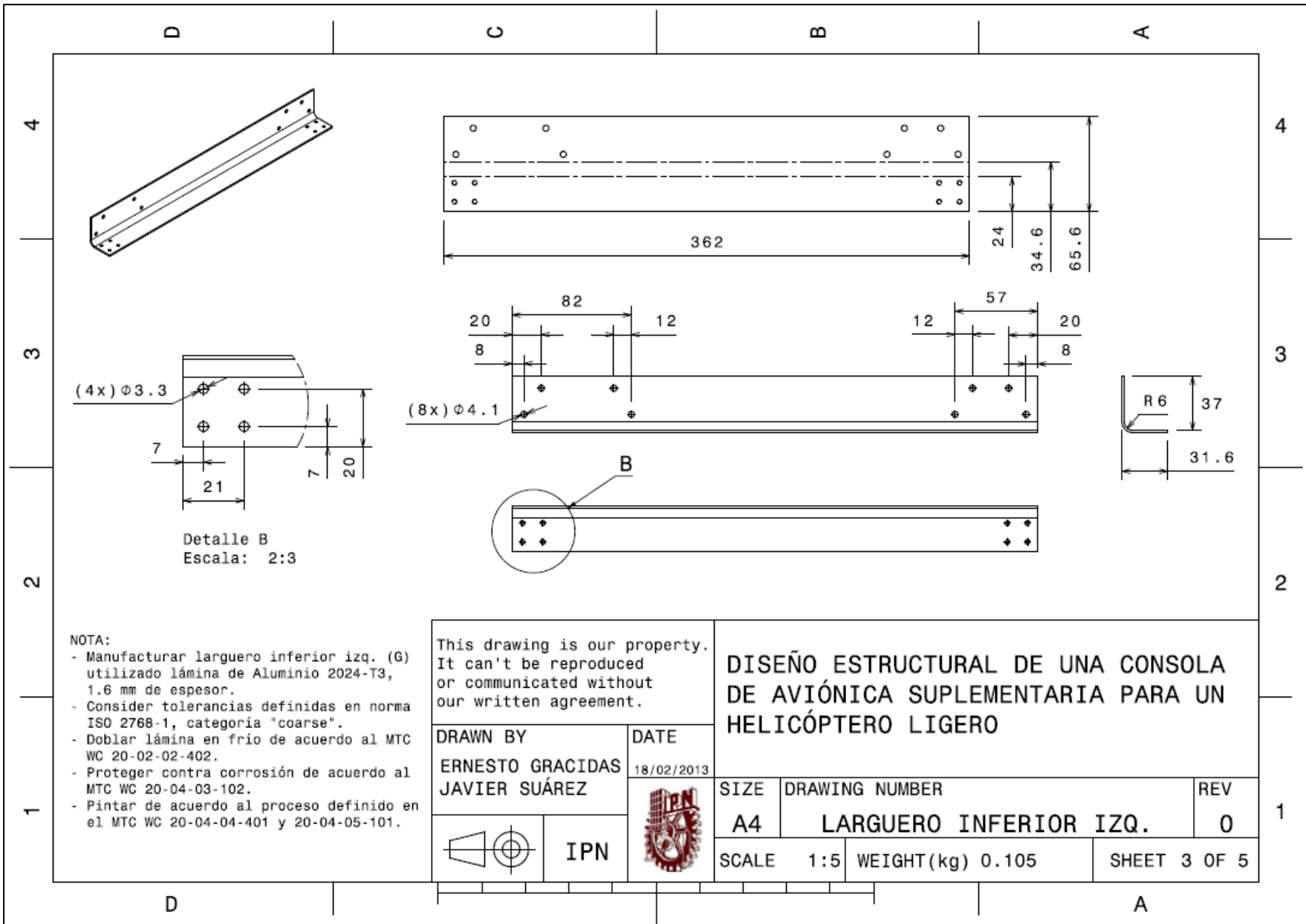
3.3 PLANOS DE MANUFACTURA ^[5] & ^[8]

A continuación se presentan los planos de manufactura* y ensamblaje de la consola diseñada.

*Sólo de los componentes más representativos.

		D	C	B	A			
4							4	
3	16	AA	21215DC3207J	REMACHE	AL 2117-T4			
	16	Z	21215DC3208J	REMACHE	AL 2117-T4			
	34	Y	21215DC3209J	REMACHE	AL 2117-T4			
	16	X	21215DC4008J	REMACHE	AL 2117-T4			
	12	W	21215DC4009J	REMACHE	AL 2117-T4			
	36	V	21215DC4010J	REMACHE	AL 2117-T4			
	16	U	21215DC4012J	REMACHE	AL 2117-T4			
	1	T	CONSOLA-18	SOPORTE PORTAVASOS	AL 2024-T3	SHT, t=1.016mm		
	1	S	CONSOLA-17	LARGUERO PORTAVASOS, DER.	AL 2024-T3	SHT, t=1.27mm		
	1	R	CONSOLA-16	LARGUERO PORTAVASOS, IZQ.	AL 2024-T3	SHT, t=1.27mm		
2	9	Q	CONSOLA-15	UNIÓN LATERAL 3	AL 2024-T3	SHT, t=1.6mm		
	2	P	CONSOLA-14	UNIÓN LATERAL 2	AL 2024-T3	SHT, t=1.6mm		
	2	N	CONSOLA-13	UNIÓN LATERAL 1	AL 2024-T3	SHT, t=1.6mm		
	2	M	3590-H18	RIGHT-ANGLE STRIP	AL 6061-T6 / DFCI SOLUTIONS INC.			
	1	L	CONSOLA-12	SOPORTE SUPERIOR, DER.	AL 2024-T3	SHT, t=1.6mm		
	1	K	CONSOLA-11	SOPORTE SUPERIOR, IZQ.	AL 2024-T3	SHT, t=1.6mm		
	2	J	CONSOLA-10	ESPACIADOR	AL 2024-T3	SHT, t=1.27mm		
	1	I	CONSOLA-09	COLUMNA 4	AL 2024-T3	SHT, t=1.6mm		
	1	H	CONSOLA-08	COLUMNA 3	AL 2024-T3	SHT, t=1.6mm		
	3	G	CONSOLA-07	LARGUERO SUPERIOR, IZQ.	AL 2024-T3	SHT, t=1.27mm		
1	3	F	CONSOLA-06	LARGUERO SUPERIOR, DER.	AL 2024-T3	SHT, t=1.27mm		
	1	E	CONSOLA-05	COLUMNA 2	AL 2024-T3	SHT, t=1.6mm		
	1	D	CONSOLA-04	COLUMNA 1	AL 2024-T3	SHT, t=1.6mm		
	1	C	CONSOLA-03	LARGUERO INFERIOR, DER.	AL 2024-T3	SHT, t=1.6mm		
	1	B	CONSOLA-02	LARGUERO INFERIOR, IZQ.	AL 2024-T3	SHT, t=1.6mm		
	2	A	CONSOLA-01	SOPORTE BASE	AL 2024-T3	SHT, t=1.6mm		
	QTY		ITEM	PART NUMBER	DESCRIPTION	MATERIAL/SOURCE	REMARKS	
	This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.				DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA CONSOLA DE AVIÓNICA SUPLEMENTARIA PARA UN HELICÓPTERO LIGERO			
	DRAWN BY ERNESTO GRACIDAS JAVIER SUÁREZ		DATE 18/02/2013					
	IPN				SIZE A4	DRAWING TITLE LISTA DE PARTES		REV 0
				SCALE 1:1	SHEET 1 OF 5			
D						A		





NOTA:

- Manufacturar larguero inferior izq. (G) utilizado lámina de Aluminio 2024-T3, 1.6 mm de espesor.
- Consider tolerancias definidas en norma ISO 2768-1, categoría "coarse".
- Doblar lámina en frío de acuerdo al MTC WC 20-02-02-402.
- Proteger contra corrosión de acuerdo al MTC WC 20-04-03-102.
- Pintar de acuerdo al proceso definido en el MTC WC 20-04-04-401 y 20-04-05-101.

This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.

DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA CONSOLA DE AVIÓNICA SUPLEMENTARIA PARA UN HELICÓPTERO LIGERO

DRAWN BY
ERNESTO GRACIDAS
JAVIER SUÁREZ

DATE
 18/02/2013

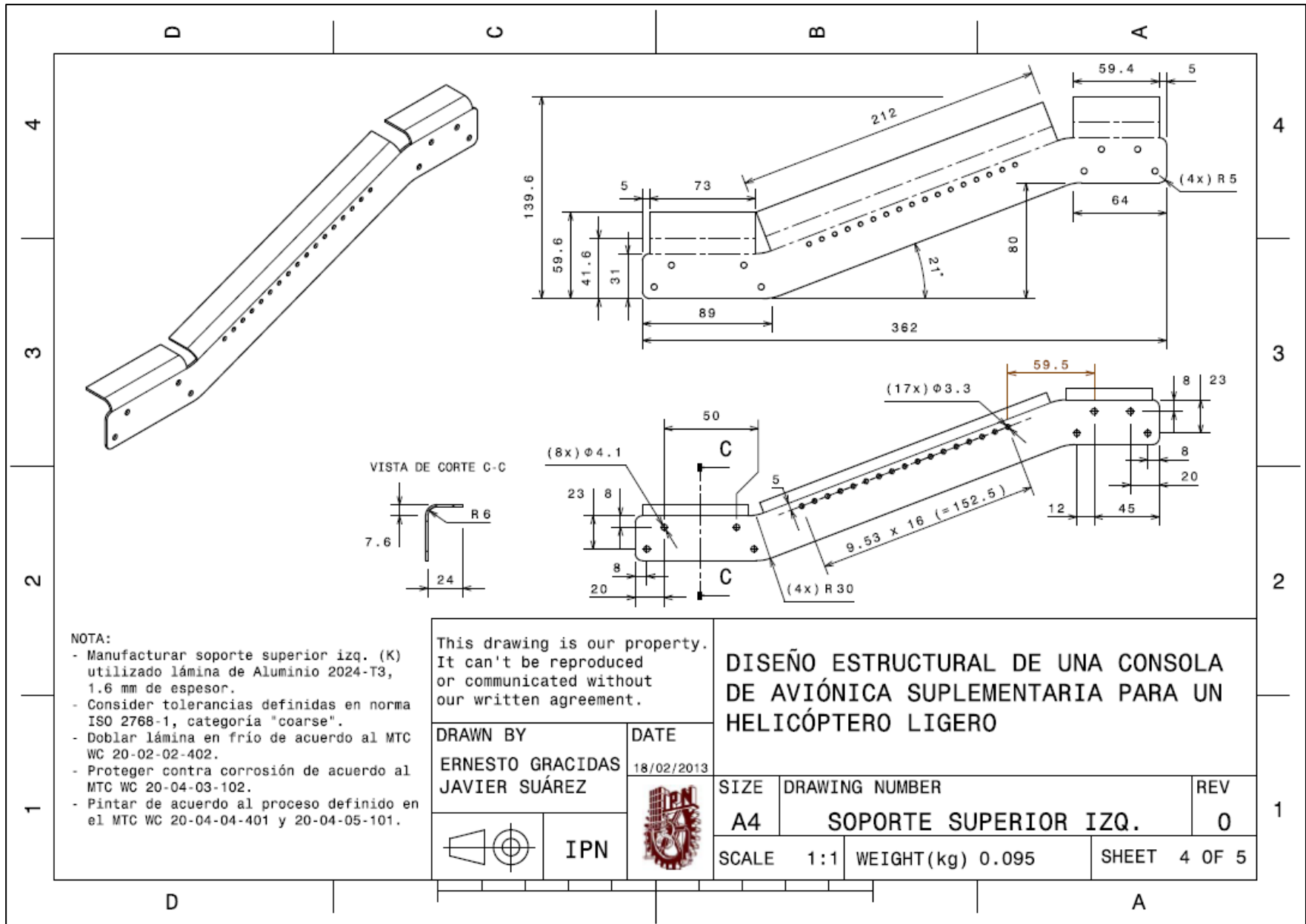


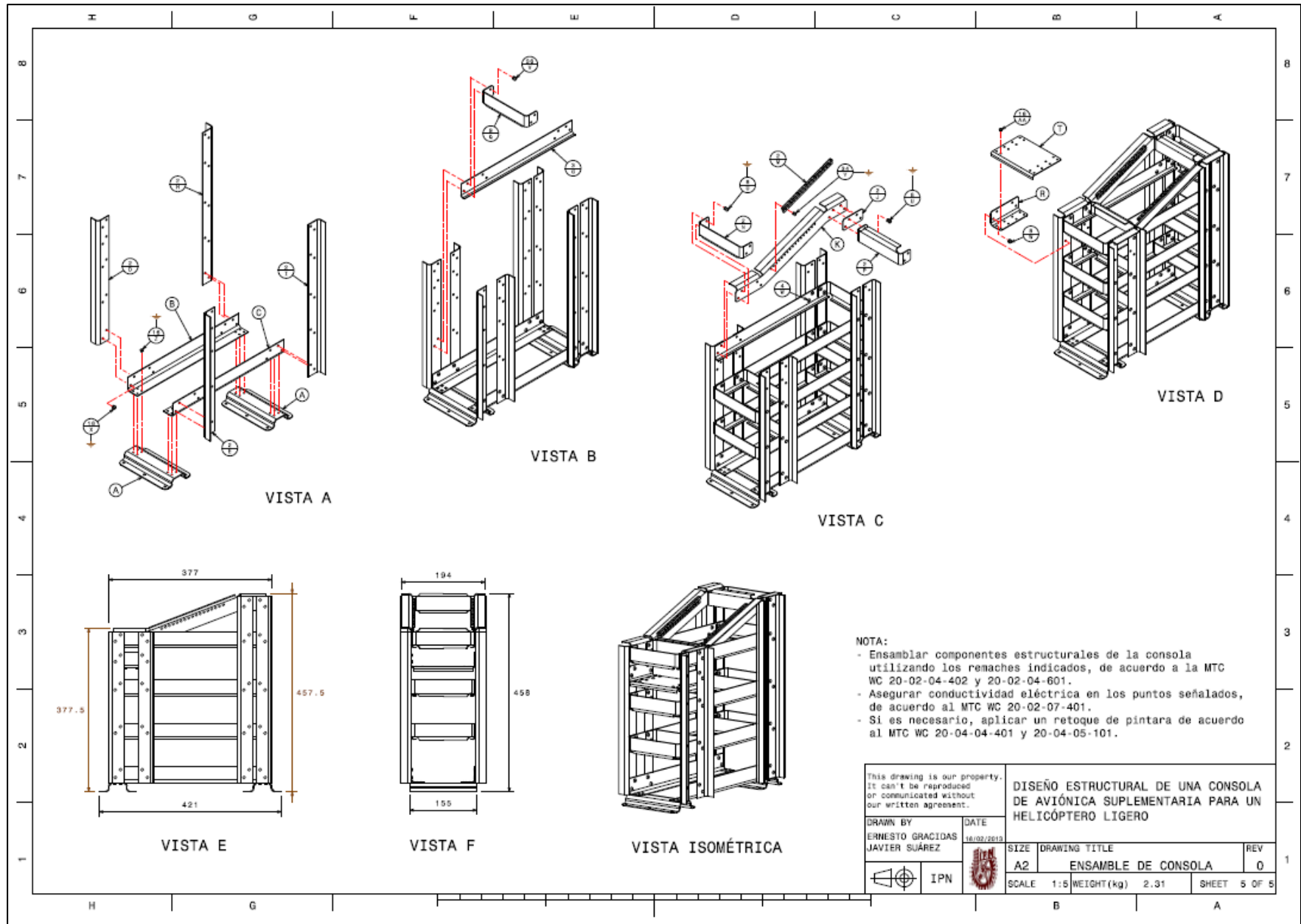
IPN



SIZE A4	DRAWING NUMBER LARGUERO INFERIOR IZQ.	REV 0
-------------------	-------------------------------------------------	-----------------

SCALE 1:5	WEIGHT(kg) 0.105	SHEET 3 OF 5
---------------------	----------------------------	------------------------





INGENIERÍA EN AERONÁUTICA

CAPITULO IV

CONCLUSIONES

4.1 RESULTADOS Y RECOMENDACIONES

Por si solos, los resultados obtenidos en el análisis estructural muestran que la consola de aviónica suplementaria diseñada es capaz de soportar las condiciones de carga máximas esperadas en un helicóptero de categoría ligera. De acuerdo a la autoridad aeronáutica mexicana, esta cualidad representa el cumplimiento del requerimiento mínimo necesario (de aspecto estructural) para calificar a la consola como apta para su instalación en la aeronave en cuestión. Sin embargo, el modelo de análisis utilizado (FEA) es en realidad un método aproximado que requiere una validación.

A futuro se recomienda construir un prototipo de tamaño real que permita validar la estructura obtenida a través de pruebas físicas, o en su caso, generar un modelo analítico que resuelva adecuadamente la configuración obtenida de consola.

4.2 CONTINUACIÓN DEL PROYECTO

Además de la validación de la estructura, es necesario completar al menos las siguientes tareas que permitan asegurar la integración total de la consola en la aeronave.

- Análisis estructural del piso de cabina.
- Cálculos de la afectación del peso y balance del helicóptero.
- Diseño de cubiertas para la estructura de la consola.
- Integración eléctrica de los equipos de aviónica (a ser instalados en la consola) en el helicóptero.
- Elaboración de planos de instalación.
- Análisis de costos de la consola como producto final.
- Etc.

REFERENCIAS

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Alcaide Jorge, Diego José, Artacho Miguel, “*Diseño de producto, métodos y técnicas*”, editorial ALFAOMEGA, edición 2004, capítulos 3 y 4.
- [2] Capuz Salvador, “*Introducción al Proyecto de Producción, ingeniería concurrente para el diseño de Producto*”, editorial ALFAOMEGA, edición 2001, capítulo 8.
- [3] Cázares Gallegos Sergio, “*Análisis de sólidos y estructural mediante el método de elementos finitos*”, editorial LIMUSA 2008, capítulos 1 y 2.
- [4] Crane Dale, “*Dictionary of Aeronautical Terms*”, Aviation Suppliers & Academics (ASA), Fourth Edition 2006,
- [5] Eurocopter Technical Documentation, “*Standard Practices Manual AS-350B3*”, Revision XXX.
- [6] Gere James M., “*Mecánica de Materiales*”, editorial PEARSON EDUCATION, séptima edición, 2006, capítulos 4 y 5.
- [7] González Espinosa Marvin Eduardo, “*La función despliegue de la calidad*”, editorial MCGRAW-HILL, primera edición, 2001, capítulos 1, 2, 3 y 6.
- [8] ISO, “*Dictionary of Aeronautical Terms*”, Aviation Suppliers & Academics (ASA), Fourth Edition 2006,
- [9] McCormac Jack C., Nelson James K., “*Análisis de Estructuras Métodos Clásico y Matricial*”, editorial Alfaomega, segunda edición, 2002, capítulo 1.
- [10] Meli Roberto, “*Diseño Estructural*”, editorial LIMUSA, segunda edición, 2002, capítulo 1.
- [11] Mott Robert L, “*Diseño de Elementos de Máquina*”, editorial PEARSON EDUCATION, cuarta Edición 2006, capítulo 8.
- [12] Mott Robert L., “*Resistencia de Materiales*”, editorial PEARSON EDUCATION, quinta edición, 2009, capítulos 1 y 13.

CIBERGRAFÍA

- [13] AVALEX TECHNOLOGIES (11/09/2012, 7:00 pm).
<http://avalex.com/>
- [14] DART HELICOPTER SERVICES (20/08/2012, 7:00 pm).
<http://www.darthelicopterservices.com/shop/>
- [15] Diario oficial de la federación, NOM-021-3-SCT3-2010, “*Que establece los requerimientos que deben cumplir los estudios técnicos para las modificaciones o alteraciones que afecten el diseño original de una aeronave o sus características de aeronavegabilidad*”, pág. 2 y 3 (21/08/2012, 7:00 pm)
<http://dof.gob.mx/normasOficiales.php?codp=4597&view=si>
- [16] Diario oficial de la federación, NOM-012-SCT3-2012, “*Que establece los requerimientos para los instrumentos, equipo, documentos y manuales que han de llevarse a bordo de las aeronaves*”, pág. 2 y 3 (21/08/2012, 7:30 pm.).
http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5263964&fecha=14/08/2012
- [17] Diario oficial de la federación, “Reglamento de la ley de aviación civil”, artículo 145, última reforma DOF 24-06-2004. (21/08/2012, 9:00 pm.).
<http://www.ordenjuridico.gob.mx/Federal/Combo/R-73.pdf>
- [18] EMS TECHNOLOGIES, HONEYWELL AEROSPACE (11/09/2012, 7:30 pm).
<https://commerce.honeywell.com/webapp/wcs/stores/servlet/NECategoryDisplay?catalogId=10251&storeId=10651&categoryId=54005>
- [19] EUROCOPTER (25/08/2012, 2:00 pm).
<http://www.eurocopter.com>
- [20] FAA, Part 27, “*Airworthiness Standards: Normal Category Rotorcraft*”, TITLE 14 “Aeronautics and Space”, chapter 1, department of transportation, Subchapter C – Aircraft (21/08/2012, 8:00 pm).
http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?c=ecfr&tpl=/ecfrbrowse/Title14/14tab_02.tpl
- [21] ICAO, Document 9760, “*Airworthiness Manual*”, advance second edition (21/08/2012, 9:30 pm.).
<http://www.icao.int/Pages/default.aspx>
- [22] VISLINK PLC (10/09/2012, 9:00 pm).
<http://surveillance.vislink.com/applications/applications/airborne/>
- [23] FAA, DOT/FAA/AR-MMPDS-01, “*Metallic Materials Properties Development and Standardization*” (21/08/2012, 9:00 pm).
http://www.everyspec.com/FAA/FAA-General/DOT-FAA-AR-MMPDS-01-JAN2003_24102/