

Metodología para el diseño estructural de carrocerías de ambulancias tipo furgón en Colombia,
integrada con herramientas CAD/CAE y ajustada a la norma NTC 3729:2018.

Edgar David Paredes Silva

Monografía para Optar al Título de Especialista en ingeniería automotriz.

Director

Juan Carlos Ramírez.

Magíster En Administración de empresas.

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en ingeniería automotriz.

Bucaramanga

2026

Dedicatoria

A Dios por darme los dones que me dio, la fe y la perseverancia para no rendirme nunca ante cualquier tipo de circunstancia, adaptarme y conseguir el objetivo.

A mi abuela Ana Elvia Alarcón de Silva (Q.E.P.D) quien nunca ha salido de mi vida a pesar de su ausencia, para ella que siempre estuvo para mí ilimitadamente.

A mi padre Edgar Paredes Gutiérrez pues cargo el orgullo de ser su hijo, y todos mis logros pasan por él; sumado a su obstinación de obligarme a nunca dejar de aprender y entrenar, pues a pesar de los malos momentos por los que puede transcurrir la vida, siempre hay algo que puede hacerme mejorar.

A mi madre Mabel Consuelo Silva Alarcón porque es primordial que esto sea para ella, por su amor, ayuda, apoyo, firmeza, en todo este proceso y en mi vida; por ser ese sinónimo de resistencia que corrige y carga con las fuerzas de la vida; motivación que impulsa, calma, enseña, corrige y ama.

A mi hermana Mabel Natalia Paredes Silva mi polo opuesto, por ser ese corazón noble en mi vida y creer que nada puede contra mí.

A mi prometida Dayanna Marcela Piraneque Niño por creer rotunda y ciegamente en mí, por ser esa paz para mis días difíciles, mi gran amor y la razón por la que rendirme nunca es una opción.

A mis compañeros y profesores de la cohorte III de la especialización en ingeniería automotriz de la Universidad Industrial de Santander, quienes me demostraron que diferentes suman, y que creer en esta pasión no es una minucia, es un voto de fe por este país y esta industria que soñamos mejorar y aportar.

Edgar David Paredes Silva

Agradecimientos

A Dios, primeramente, por la vida y la oportunidad de afrontar y lograr esta meta.

A la Universidad Industrial de Santander, por favorecer mi crecimiento personal e intelectual, por generar sapiencia y ética, con esos espacios.

Al ingeniero Juan Carlos Ramírez, por brindar la oportunidad de aprender de él, por su curso de diseño de sistema vehiculares, de mi total interés, que fue motivador y me dio un sueño más por buscar y pertenecer a esta industria de una manera más activa, si es la decisión de Dios.

Al programa de especialización en ingeniería automotriz, por darme ese espacio donde pude ser un poco más yo, observando, escuchando y aprendiendo de grandes profesionales apasionados al igual que yo por esta industria.

Al ingeniero Heller Sánchez, mi profesor desde pregrado, que siempre me brindo su ayuda y me dio su aporte critico en este proyecto, aportando a mis saberes y conocimientos.

A mi familia, por su apoyo eterno y amor incondicional, pues sin ustedes este camino habría sido muy complicado.

A mis amigos y compañeros quienes me hicieron ver que no soy el único loco por los vehículos desde diferentes perspectivas, por sus consejos y opiniones, académicas y políticas, y esos buenos momentos que vivimos como apasionados a este tema, sin ellos el programa abría carecido de emoción y apoyo, espero haberles sido de ayuda.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	14
Objetivos.....	16
1.1. Objetivo General.....	16
1.2. Objetivos Específicos.....	16
2. Preliminares.	17
3. Parámetros.....	18
3.1. Criterios fijos.	19
3.2. Criterios variables.	22
3.3. Cargas.	25
3.4. Selección preliminar del vehículo.....	32
4. Fase de diseño y evaluación.....	34
4.1. Fase de diseño.	34
4.2. Prueba de carga.	43
4.3. Evaluaciones y correcciones.	48
5. Estándar del método.....	53
5.1. Herramientas.	53
5.2. Pasos que seguir.....	54
6. Análisis postproceso.	57
7. Conclusiones.	60
Referencias Bibliográficas	62
Apéndices.....	64

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Determinaciones preliminares.	19
Tabla 2. Criterios fijos para el diseño.	20
Tabla 3. Criterios fijos cuantitativos.	21
Tabla 4. Criterios fijos cualitativos.	21
Tabla 5. Dimensiones internas mínimas y externas máximas del compartimento paciente.	22
Tabla 6. Criterios variables de acceso.	23
Tabla 7. Elementos de emergencia mínimos para atención al vehículo.	26
Tabla 8. Dotación ambulancia TAB.	27
Tabla 9. Dotación ambulancia TAM.	28
Tabla 10. Carga por personal en el vehículo.	29
Tabla 11. Carga total agregada para el vehículo.	30
Tabla 12. Respuestas a diferentes configuraciones.	48
Tabla 13. Método de diseño estructural tabulado.	54

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Angulo de salida</i>	24
Figura 2. <i>Plano de acotación del vehículo</i>	35
Figura 3. <i>Volumen contenido</i>	36
Figura 4. <i>Planos en relación</i>	37
Figura 5. <i>Plano para base de la estructura</i>	38
Figura 6. <i>Interacción entre croquis</i>	39
Figura 7. <i>Solido contenido</i>	39
Figura 8. <i>Perfil Al 2,5 SQR 0,25 W</i>	40
Figura 9. <i>Estructura</i>	41
Figura 10. <i>Solución migrada a ANSYS - Al 2,0 SQR 0,25 W</i>	42
Figura 11. <i>Configuración carga Al 2 SQR 0,25 W</i>	47
Figura 12. <i>Carga gravitacional y soporte fijo</i>	47
Figura 13. <i>Esfuerzo concentrado, Al 2,0 SQR 0,25 W sin refuerzo</i>	50
Figura 14. <i>Esfuerzo concentrado, Al 2,0 SQR 0,25 W con refuerzos</i>	51
Figura 15. <i>Esfuerzo concentrado, Al 2,5 SQR 0,25 W con refuerzos Al 2,0 SQR 0,25 W</i>	52
Figura 16. <i>Estructura, Al 2,0 SQR 0,25 W con refuerzos Al 2,0 SQR 0,25 W</i>	53

Lista de Apéndices

	pág.
Apéndice A. Tabla de pesos y valores para botiquín tipo C.	64
Apéndice B Ficha técnica Land Cruiser 79.	65

Glosario

ABS: Sistema antibloqueo de frenos.

ASTM F2020-2: Normativa ASTM llamada “Design, Construction, and Procurement of Emergency Medical Services Systems (EMSS) Ambulances”.

Ambulancia tipo furgón: Vehículo original de fábrica cabina-chasis al cual se le instala una carrocería tipo furgón destinada para el área de atención, llevara como mínimo una puerta lateral y un acceso principal trasero.

Ambulancia tipo Van o panel: Vehículo original de fábrica de uno o dos volúmenes, con cabina cerrada, destinada al transporte de paciente, cuyo espacio de atención está integrado y al cual se tiene ingreso mediante un acceso principal trasero y mínimo 3 puertas laterales.

Capacidad de carga: Es el peso máximo de la carga que un vehículo puede transportar legalmente sin exceder su Peso Bruto Vehicular (PBV).

Carga útil: Es la variable real de peso que se puede añadir al vehículo en un momento determinado. Es un valor dinámico que depende de cuánto pese el vehículo en ese instante.

CM: Centro de masa.

Diseño asistido por computador (CAD). Uso de software especializado para crear, modificar y analizar modelos tridimensionales. Facilita la visualización de propuestas de rediseño, la evaluación de interferencias y la integración con información capturada y analizada, el CAD permite probar configuraciones de distribución y validar la viabilidad antes de cualquier intervención física. Ejemplo: SolidWorks

Equipos y dispositivos biomédicos: Conjunto de equipos y dispositivos destinados a la monitorización, estabilización y soporte vital del paciente durante el traslado. Incluye equipos de ventilación, monitores de signos vitales, suministro de oxígeno, desfibrilador, aspirador de

secreciones, dispositivos de primera respuesta. Deben ubicarse de manera que sean accesibles para el operador, protegidos contra vibraciones y fijados para evitar desplazamientos, golpes y caídas.

Esfuerzo equivalente (criterio de Von Mises): Es un valor escalar que unifica un estado de tensiones multiaxial complejo en una sola cifra comparable con el límite elástico del material. Según este criterio de falla para materiales dúctiles, la plastificación ocurre cuando el esfuerzo equivalente calculado supera la resistencia a la fluencia

Factor de Seguridad: Es la relación aritmética entre la capacidad máxima de carga de un componente y la carga real (o esfuerzo) a la que será sometido durante su operación.

Ingeniería asistida por computador (CAE): El CAE es una técnica computacional basada en el Método de Elementos Finitos (MEF) que permite predecir el comportamiento mecánico de componentes y estructuras bajo diferentes condiciones de carga. Facilita la evaluación de tensiones, deformaciones y factores de seguridad, simulando el desempeño real sin recurrir a ensayos físicos. Su aplicación optimiza el diseño antes del prototipado, mejora la confiabilidad estructural y reduce los costos de desarrollo. Ejemplo: ANSYS.

Manual del carrocerero: Documento emitido por el fabricante del chasis donde se encuentran detalladas las instrucciones, las características, restricciones y las recomendaciones para la instalación de la carrocería del chasis, también incluye información para reforzar la estructura del chasis.

Método de los Elementos Finitos (MEF): Es una técnica numérica que discretiza una estructura compleja en subdominios simples llamados elementos, interconectados por nodos, para resolver mediante ecuaciones matriciales comportamientos físicos como tensiones o deformaciones; este proceso requiere alcanzar la convergencia de malla, que consiste en refinar el tamaño de los

elementos hasta que los resultados de la simulación se estabilicen y dejen de variar significativamente, garantizando así que la solución depende de la física del problema y no del diseño de la red.

NFPA 1917: 2019: Normativa de la National fire protection association, Standard for automotive ambulance.

NTC 3729:2018: Normativa técnica colombiana para la tipología vehicular, ambulancia de transporte terrestre, otorga criterios, forma, caracterización vehicular, régimen especial, solicitud de equipos de soporte, etc. Trae pruebas de funcionamiento que el vehículo debe superar correctamente.

PBV: Peso Bruto Vehicular, también corresponde al termino masa técnica admisible (MT), que es la masa máxima para el vehículo declarada por el fabricante.

Peso en vacío: Peso de un vehículo no cargado, sin pasajeros y sin conductor, pero con su equipo auxiliar de servicio completo, con combustible y con los niveles de líquidos refrigerantes y lubricantes al máximo

Resolución 3100 del 2019: Resolución que define los procedimientos y condiciones de inscripción de los prestadores de servicios de salud y de habilitación de los servicios de salud y se adopta el manual de los servicios de inscripción de prestadores y habilitación de servicios de salud.

Seguridad activa: Comprende el conjunto de sistemas tecnológicos y mecánicos diseñados para prevenir la ocurrencia de un accidente mediante el control dinámico del vehículo (como los frenos ABS y el control de estabilidad).

Seguridad pasiva: agrupa los elementos estructurales y dispositivos cuya función es minimizar las lesiones de los ocupantes una vez que el impacto es inevitable, gestionando la absorción de

energía cinética a través de componentes como los airbags, cinturones de seguridad y la integridad de la cabina.

TAB: Transporte Asistencial Básico. Vehículo destinado al transporte o asistencia o ambos de pacientes cuyo estado real o potencial no precisa cuidado asistencial medico durante la atención y el transporte.

TAM: Transporte Asistencial Medicalizado. Vehículo destinado al transporte o asistencia o ambos de pacientes cuyo estado potencial o real o ambos es de riesgo y requieren equipamiento, material y personal médico durante la atención y el transporte.

UNE-EN 1789:2021 + A1: Normativa española nombrada “Vehículo de transporte sanitario y sus equipos, ambulancias en carretera” define otras condiciones para estos vehículos como otra forma de caracterización, criterios de seguridad, pruebas, materiales, etc.

Resumen

Título: Metodología para el diseño estructural de carrocerías de ambulancias tipo furgón en Colombia, integrada con herramientas CAD/CAE y ajustada a la norma NTC 3729:2018*

Autor: Edgar David Paredes Silva**

Palabras Clave: Metodología de diseño, Validación estructural, Ambulancias, Seguridad vehicular.

Descripción: Esta investigación desarrolla una metodología integral para el diseño y validación estructural de carrocerías de ambulancias tipo furgón en el contexto colombiano. El estudio surge ante la necesidad crítica de cerrar la brecha entre la fabricación empírica tradicional y las exigencias técnicas de seguridad de la norma NTC 3729:2018. Inicialmente, el trabajo identifica los parámetros dimensionales y los criterios de carga estipulados por la Resolución 3100 de 2019 y la NTC 3729:2018, lo cual establece una base cuantitativa de carga agregada total de 762,8 Kg para ambulancias tipo TAB y 879,3 Kg para las ambulancias tipo TAM.

El núcleo del proyecto integra herramientas CAD (SolidWorks) para el modelado tridimensional y CAE (ANSYS) para la validación mediante el Método de Elementos Finitos. Se diseña una prueba de carga virtual que simula condiciones críticas de volcamiento, evaluando configuraciones como ejemplo con perfiles de Aluminio 6061 T6. Los resultados demuestran que la iteración técnica del diseño permite reducir los esfuerzos de Von Mises de 317,43 MPa a 173,7 MPa, lo que garantiza factores de seguridad superiores a 1 bajo condiciones críticas.

Como aporte principal, el autor estructura una guía técnica de 24 pasos que sistematiza el proceso de diseño para la estructura. Esta metodología permite transformar un ensayo físico destructivo en un procedimiento predictivo digital, considerando la relación entre rigidez, resistencia y análisis de esfuerzos. En conclusión, el modelo propuesto no solo asegura el cumplimiento legal riguroso, sino que proporciona al sector carrocerero nacional una herramienta de estandarización replicable.

* Trabajo de Grado

** Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Ingeniería Automotriz. Director: Juan Carlos Ramírez. Mag. En Administración de empresas.

Abstract

Title: Methodology for the Structural Design of Box-Type Ambulance Bodies in Colombia, Integrated with CAD/CAE Tools and Aligned with NTC 3729:2018*

Author(s): Edgar David Paredes Silva**

Key Words: Design methodology, Structural validation, Ambulance, Vehicle safety.

Abstract: This research develops a comprehensive methodology for the structural design and validation of box-type ambulance bodies in the Colombian context. The study arises from the critical need to bridge the gap between traditional empirical manufacturing and the technical safety requirements of the NTC 3729:2018 standard. Initially, the work identifies the dimensional parameters and load criteria stipulated by Resolution 3100 of 2019 and NTC 3729:2018, establishing a quantitative basis for total aggregate load of 762.8 kg for TAB-type ambulances and 879.3 kg for TAM-type ambulances.

The core of the project integrates CAD tools (SolidWorks) for three-dimensional modeling and CAE (ANSYS) for validation using the Finite Element Method. A virtual load test is designed that simulates critical rollover conditions, evaluating configurations such as those using 6061 T6 aluminum profiles. The results demonstrate that the technical iteration of the design allows for a reduction in Von Mises stresses from 317.43 MPa to 173.7 MPa, guaranteeing safety factors greater than 1 under critical conditions.

As a key contribution, the author develops a 24-step technical guide that systematizes the design process for the structure. This methodology transforms a destructive physical test into a digital predictive procedure, considering the relationship between stiffness, strength, and stress analysis. In conclusion, the proposed model not only ensures rigorous legal compliance but also provides the national bodywork industry with a replicable standardization tool.

**School of Mechanical Engineering. Specialization in Automotive Engineering. Advisor Juan Carlos Ramírez.

Introducción

El diseño y fabricación de carrocerías para ambulancias tipo furgón en Colombia se fundamenta en configuraciones estructurales estándar y criterios empíricos derivados de la práctica carrocera tradicional. Este sector, caracterizado por procesos de diseño artesanal o semiindustrial, enfrenta un desafío crítico ante la normativa NTC 3729:2018, la cual exige pruebas de resistencia estructural que, en la ejecución física, resultan costosas y técnicamente vagas. La carencia de un método formal de evaluación virtual obliga a los fabricantes comprometidos con la norma a depender de ensayos físicos repetitivos, lo que incrementa significativamente los tiempos de desarrollo y los gastos operativos.

Investigaciones internacionales como las de Hignett et al. (2009, 2020) y Coelho y Branco (2017) advierten que fabricar ambulancias bajo métodos tradicionales, carentes de un estándar técnico riguroso, pone en riesgo la vida de los ocupantes y entorpece la atención médica en el desplazamiento de la unidad móvil.

Ante este vacío se formula la necesidad de un método de diseño que estandarice el proceso de fabricación para carrocerías de ambulancia tipo furgón, que incluya un análisis con herramientas CAD/CAE que favorezcan el cumplimiento de la norma y den una evaluación predictiva de la estructura previa a la manufactura y el proceso de control de calidad en ejecución de la prueba física.

Esta metodología se fundamenta en la necesidad de sustituir el modelo de "ensayo y error" por una validación, alineando la industria nacional con procesos de diseño más rigurosos, justificados con el impacto sobre el proceso de diseño, beneficiando directamente a los pacientes y personal asistencial al garantizar la integridad del compartimento en eventos críticos como volcamientos, y favorece la competitividad del sector carrozero al reducir drásticamente los

sobrecostos de prototipado destructivo al dar cumplimiento sobre la normativa nacional. Se emplea un enfoque cuantitativo y aplicado que integra el modelado tridimensional en SolidWorks con el análisis computacional en ANSYS, nutriendo la metodología en respuesta a la problemática y cumpliendo estrictamente la normativa con un proceso de diseño estandarizado, eficiente y replicable para todo el territorio nacional.

Objetivos

1.1. Objetivo General

Formular una metodología para el diseño estructural de carrocerías de ambulancias tipo furgón en Colombia, conforme a la NTC 3729:2018, integrando herramientas CAD/CAE que permitan mejorar el proceso de diseño, el producto final y generar un modelo virtual cuya precisión pueda ser confrontada con los criterios de verificación física establecidos por la norma.

1.2. Objetivos Específicos

Identificar los requisitos estructurales, parámetros dimensionales y condiciones de carga establecidos en la NTC 3729:2018 y normas complementarias, definiendo los criterios de diseño que fundamenten la metodología propuesta, con el fin de establecer la base normativa y técnica del proceso de diseño.

Desarrollar un modelo estructural CAD (SolidWorks) de carrocería tipo furgón que incorpore los criterios definidos, representando diferentes configuraciones estructurales y condiciones operativas, como aplicativo para realizar y fundamentar la metodología.

Validar virtualmente el comportamiento estructural del modelo mediante simulación estática por elementos finitos en ANSYS, estimando tensiones, deformaciones y factores de seguridad bajo cargas normativas.

Evaluar el modelo virtual a partir de los resultados de simulación, introduciendo ajustes que mejoren la rigidez, reduzcan peso y cumplan los criterios de la NTC 3729:2018, para generar un modelo final.

Consolidar la metodología desarrollada en una guía técnica replicable, que integre los procedimientos de análisis, modelado, simulación y validación estructural aplicables al sector carrocerero.

2. Preliminares.

Las ambulancias terrestres son vehículos de transporte debidamente acondicionados y equipados para la asistencia a pacientes, traslado y/o atención paramédica, con el fin de mantener mínimamente las condiciones iniciales del paciente en cuestión, con talento humano pertinente, y seguridad del personal en la ambulancia y ajeno a la misma.

Este proyecto pretende desarrollar un método para la fabricación de carrocerías de ambulancia tipo furgón, sin dejar de considerar los otros tipos, se fundamenta en entregar un método viable, seguro, que cumpla requisitos normativos y paralelamente evaluar en general las ambulancias terrestres activas y la normativa relevante en Colombia.

Es importante aclarar que el presente trabajo se enfoca en la formulación de un método, más que en el desarrollo de un proceso de diseño destinado a la obtención de un producto específico. En consecuencia, su relevancia reside en el enfoque metodológico planteado y en las herramientas que se ponen a disposición. El núcleo de la propuesta consiste en un proceso claro, conciso y aplicable, orientado a responder a las necesidades de este ámbito y a aportar al fortalecimiento de la industria.

Al evaluar los criterios, parámetros, selección, se tuvo predilección por defecto de la NTC 3729:2018 por la industria que pretende favorecer, sin embargo, muchas de las otras normas evaluadas a pesar de variar en su tipificación, tienen múltiples conceptos semejantes, iguales y en algunos casos superiores, todo se tuvo en consideración y se incluyeron porque enfocan la seguridad vial y del personal presente en el vehículo, y son determinadores de lo que la norma colombiana no contempla y datos dados por exceso que se vuelven un mínimo real no contradictorio.

3. Parámetros

Para la metodología es importante definir completamente las necesidades solicitadas por la normativa, la evaluación de los diferentes tipos de criterios y parámetros para definir límites determinantes de forma y tipo.

Se realizó la investigación sobre 2 normativas nacionales, que son la resolución 3100 del 2019 emitida por el ministerio de salud y protección social, y la normativa técnica colombiana NTC 3729:2018 que define la tipología vehicular para las ambulancias de transporte terrestres. Además se consultaron 3 normativas internacionales semejantes, para evaluar el desempeño de la norma, contrastar y suplir datos con más rigor; estas normas son, la UNE-EN 1789:2021+A1 (Vehículos de transporte sanitario y sus equipos, Ambulancias de carretera), ASTM F2020-2A (Design, Construction, and Procurement of Emergency Medical Services Systems (EMSS) Ambulances) y la NFPA 1917 (Standard for automotive ambulances) esta última de mayor relevancia y semejante a la ASTM pero con contradicciones interesantes con la norma nacional.

A partir de estas normas, se sustraen respuestas enfrentadas y variables semejantes, tomando como base la NTC 3729:2018, se definen 2 tipos de criterios, los criterios fijos y los variables. Sumado a estos criterios se contempla y evalúa la carga en el vehículo, que se basa en estándares de la resolución 3100 y conceptos de seguridad vial.

Cabe aclarar, que el alcance de este estudio está contemplado para la estructura portante de la carrocería en el vehículo, sin dejar de considerar al vehículo y su correcta movilidad, garantizando su integridad bajo condiciones de carga sin contemplar el anclaje del chasis.

Todos los criterios contemplados en este documento se orientan a la estructura del compartimento paciente pero pueden ser reconsiderados en múltiples instancias del proceso y sus diferentes subconjuntos a excepción de acabados de pintura, iluminación y señalizaciones como

condiciones de la red eléctrica interna del compartimento, sin embargo, si incluye disposiciones al interior del compartimento de pacientes, así mismo, claraboya, mampara, ventanas, puertas, condiciones internas, soportes, paredes, suelo, dimensiones y materiales admisibles. A pesar de que este proceso solo contempla la estructura, es importante incluir todos los criterios para que pueda ser consultado constantemente hasta la entrega del producto.

3.1. Criterios fijos.

Es primordial antes de iniciar el proceso determinar ciertas necesidades primarias para definir el vehículo como concepto, para entrar al proceso de selección y tomar decisiones sobre las variables y criterios, que se enmarcaran en el proceso de criterios fijos.

Estas son las determinaciones con sus respuestas directas, que enmarcan el primer concepto básico a revisar sobre cualquier tipo de solicitud.

Tabla 1.

Determinaciones preliminares.

DETERMINACIÓN	RESPUESTA
Vehículo para trabajo: Rural – Urbano	Rural: 4X4, tipo Furgón. Urbano: 4X2 o 4X4 (según necesidad), Van o Furgón.
Necesarios equipos para salvamento: Si – No (Winches, Malacates, etc.)	Si: Consideración en el PBV el vehículo. No: No influyente.
Tipo de atención: TAM – TAB	TAM: Selección de dimensiones. TAB: Selección de dimensiones.

Estos equipos para salvamento son por razonamiento utilitarios en la actividad de atención, no deben ser relativos, ya que afectan la selección preliminar del vehículo, ya sean carga para el vehículo como malacates o winches, o herramental necesario que influyan en el PBV.

Una vez decidido, evaluando las normas se sustraen los criterios fijos que son no negociables e invariables, y se deben garantizar, para cualquier tipo de vehículo y las

condiciones de trabajo (ambulancia terrestre). Primero se definen criterios fijos para el diseño, luego cuantitativos y después cualitativos, pero todos invariantes y críticos.

Tabla 2.

Criterios fijos para el diseño.

CRITERIOS FIJOS PARA EL DISEÑO.
Cabina de conductor debe permanecer original.
Sin modificaciones que afecten la seguridad activa y pasiva del vehículo. Estabilidad y maniobrabilidad del vehículo y distribución uniforme de pesos.
Diseño considerando el mantenimiento.
Diseño centrado en seguridad.
Ambulancias TAM necesita anclaje para incubadora de transporte.
Conductor y área de atención deben ser independientes y delimitadas total o parcialmente para garantizar como mínimo: comunicación visual y auditiva.
Peldaño de acceso.
Compartimento de oxígeno centralizado y debe tener acceso desde el compartimento paciente.
Vidrios de seguridad uso automotriz NTC 1467 y polarizados.
2 baterías que sumen 150 Ah para dar suministro de emergencia y su compartimento.
Sin madera en la carrocería.
Camilla orientada al frente.
Suave, estable, con ruido mínimo sin vibraciones anormales.
Hermético (sin filtraciones)
Garantizar confort.
No se debe empeorar el estado del paciente, tanto heridas como enfermedad.

Esto entrega la necesidad de garantizar compartimentos dentro de la zona de atención al paciente con un objetivo fijo; que el diseño se debe orientar a la mantenibilidad y seguridad, entre otras cosas. Es interesante la confrontación entre la NFPA y la NTC, ya que la primera permite y sugiere la presencia de madera para el contrapiso, y la NTC exige y puntualiza la inexistencia de la madera en la estructura. Para este caso de índole nacional la NTC tiene predilección, ya que esta dirigido hacia la industria colombiana.

Ahora se suman criterios fijos cuantitativos, que dependen de la selección y son vitales, algunos constatables en el manual para el carrocerero que por norma (NTC 3729:2018) debe ser entregado al fabricante de la carrocería y deben conocerse prioritariamente.

Tabla 3.

Criterios fijos cuantitativos.

CRITERIOS FIJOS CUANTITATIVOS.	MIN	MAX	OBSERVACIONES.
Carga vehicular	-	PBV	Jamás superada y determinada por el fabricante.
Variación de peso lateral.	-	5%	Fabricante debe entregar datos respecto a la posición del centro de masa del vehículo.
Variación de peso longitudinal	-	Según fabricante.	
Materiales presentes, Velocidad de propagación.	-	10 mm/min	Prueba ISO 3795
Material suelo, fricción.	R10	-	Prueba UNE 1615:2021

Y por último criterios fijos cualitativos que dan detalles para la forma final.

Tabla 4.

Criterios fijos cualitativos.

CRITERIOS FIJOS CUALITATIVOS	
Material paredes	Fácil limpieza.
	Sin filtraciones.
	Resistente a la limpieza y desinfección continua.
	Impermeable.
	Liso y continuo.
	Resistente a factores ambientales y moho.
	Atriles adheridos a la estructura.
	Color claro.
Material suelo.	Aislamiento termoacústico.
	Adherido al vehículo.
	Resistente a la limpieza y desinfección continua.
	Fácil limpieza.
	Duradero
	Antideslizante.
	Sin filtraciones.
	Horizontal sin escalones.
Sin elementos cortantes.	
Silla personal auxiliar.	Relación hermética con las paredes.
Silla abatible.	Silla que cumpla normativa de seguridad automotriz, de 3 puntos, apoya cabezas.
	Unido herméticamente a la carrocería, abatible para almacenar todo equipo de atención al vehículo. Deben caber 3 personas como mínimo con su cinturón de 2 puntos (posición de camilla auxiliar con paciente)

Con esto se define por completo el proceso preliminar para empezar a determinar formas, tamaños, tipos y opciones.

3.2. Criterios variables.

Son los criterios que pueden tener variación real frente a diferentes problemas y determinaciones. Criterios como dimensiones y posiciones que presentan diferenciaciones tangibles en ambulancias terrestres, ya sea por alternativas de vehículos, forma del chasis, capacidad de carga, tamaños mínimos, equipos de emergencia, etc.

Primero se revisan dimensiones internas para garantizar el área de atención, y dimensiones exteriores máximas de la ambulancia, datos que determinaran el volumen disponible de trabajo para la carrocería.

Tabla 5.

Dimensiones internas mínimas y externas máximas del compartimento paciente.

DIMENSIÓN	INTERNAS MÍNIMAS DEL COMPARTIMENTO PACIENTE.	EXTERIORES MÁXIMAS DE LA AMBULANCIA EN GENERAL.	
		Ancho	1,5 m
Alto TAB	1,35 m	2,79 m	Incluida la antena.
Alto TAM	1,45 m		
Longitud	2,2 m	2,5 m	Longitud total de la ambulancia Max. 6.71 m, sin considerar el paso trasero o peldaño de acceso.

Se contemplan dimensiones internas, pues definen el bloque real que hay que contener, y el espacio disponible incluido compartimentos para la atención. Y dimensiones exteriores máximas determinadas por las normas internacionales, que dan un área de trabajo viable, más dada por un factor de seguridad, movilidad, y un área de trabajo mínimo para suponer límites para el dimensionamiento de la estructura.

Siguiendo con el proceso, se revisan unos criterios variables, definidos más propiamente como de acceso, mantenimiento y seguridad.

Tabla 6.

Criterios variables de acceso.

CRITERIOS VARIABLES DE ACCESO	MIN.	MAX.
Angulo de salida para 4X4	15°	16°
Angulo de salida para 4X2	12°	16°
Zona de circulación.	0,25 m	-
Distancia entre mampara a la cabeza de la camilla	0,15 m	0,5 m
Altura sobre la camilla	1,1 m	-
Rampa admisible.	-	6%
Bordes expuestos. Radio de curvatura material no rígido.	2,5 mm	-
Bordes expuestos. Radio de curvatura material rígido.	3,2 mm	-
Area de la ventana o ventanas en la mampara.	0,2 m ²	-
Si son 2 ventanas en la mampara, distancia entre sí.	100 mm	-
Tamaño barra pasamanos superior. Antioxidante.	0,7 veces la longitud interna.	-
Si se usan rieles para camilla e incubadora. Según ASTM	1,52 m	2,29 m
Puerta lateral. Area útil mínima.	0,76 X 1,16 m	-
Puerta posterior. Area útil mínima	1,12 X 1,16 m	-
Claraboya Traslucida, manual desplazable	0,4 X 0,4 m	-
Ubicación ventanas.	Altura interna / 2	-
Cantidad de ventanas.	2	-
Area ventanas.	0,4 x 0,4 m	-
Silla personal auxiliador.	Posicionado A 90° en la cabeza o paralelo al eje de la camilla. O Paralelo al eje de la camilla 2/3 de la camilla parte superior o cabecera en los laterales de la camilla	

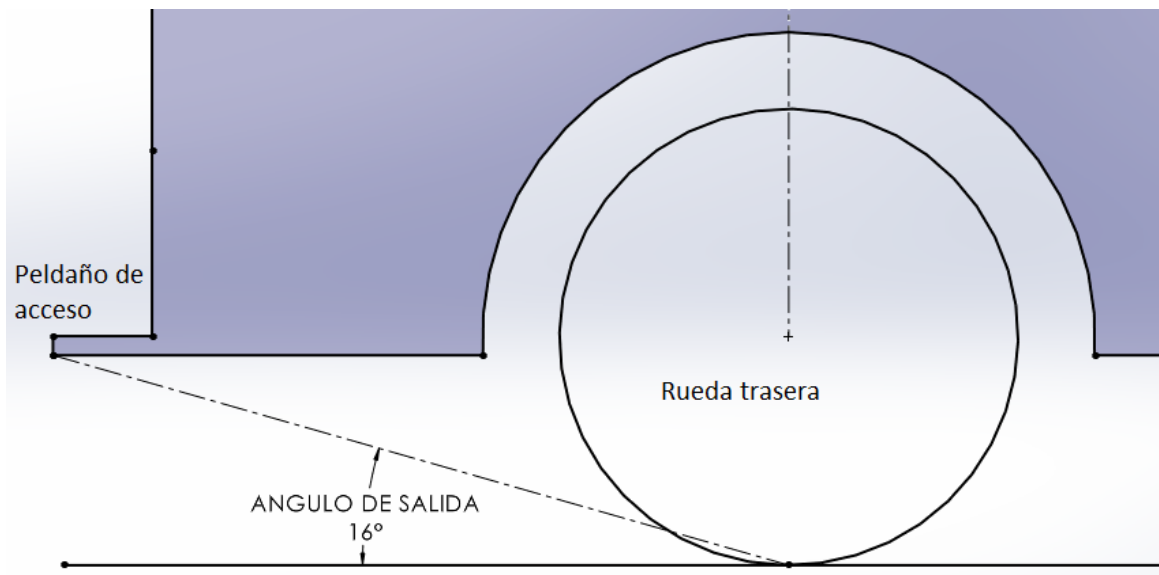
En estos criterios es importante considerar unos conceptos clave, como son la rampa admisible y ángulo de salida. La rampa admisible se define para el suelo del compartimento, y

comprende la necesidad de dar cierto desnivel para el proceso de limpieza o flujo de fluidos, y no tengamos estancamientos o dificultades en operación, y favorecer anclajes de la camilla y la posición segura del paciente en traslado.

El ángulo de salida tiene un concepto más sencillo de comprender con la figura 1. La imagen describe el ángulo que se forma entre el contacto con el suelo de las ruedas traseras y el punto más posterior e inferior peldaño de acceso, que es un dato importante para posicionarlo y considerable para la puerta principal.

Figura 1.

Angulo de salida.



En estos aspectos también es importante considerar el tema de los bordes expuestos y sus criterios relacionados, ya que existe la necesidad de garantizar la seguridad del personal auxiliar como del auxiliado; los cambios de sección, forma, rugosidades, volúmenes prominentes o dirección de las paredes son puntos de posible accidentalidad y es necesario evitarlos, por eso se da el uso de diferentes radios de curvaturas admisibles, auditables según

normativa UNE. La NTC considera la inexistencia de salientes, pero esta es una realidad y debe ser evaluada al interior de la carrocería.

La mampara que es el muro de separación entre el compartimento del conductor y del paciente, debe garantizar el contacto visual y auditivo mínimamente; llegado el caso, se considere un acceso por la mampara (como en el tipo van), para que el vehículo entre en movimiento se debe garantizar que esta puerta este cerrada, y al iniciar el movimiento bloquearse. Si se determina garantizar esa comunicación entre compartimentos con 2 ventanas, estas deben sumar entre si mínimamente esos 0,2 metros cuadrados.

La posición de las ventanas exteriores del compartimento paciente debe garantizar la privacidad del paciente, por ello se sitúan a determinada altura, además de la claraboya que son claves para la iluminación a la hora de intervenir al paciente.

Para las puertas, la NTC solicita unas medidas mínimas y la NFPA sugiere otras, que son muy cercanas, pero es importante acotarlas; ya que esta área es importante, pues el área útil mínima relacionada al espacio para escapar en una situación de emergencia. Las cotas tabuladas son propias de la NFPA únicas que toman mayor relevancia que las propias de la NTC sin dejar de cumplir la norma nacional.

De esta forma culminamos los criterios fluctuantes del proceso.

3.3. Cargas.

Este punto es vital para el proceso de diseño, ya que representa cambios para el centro de masa del vehículo, condiciones de selección del vehículo, y carga en el vehículo y ejes.

Se desarrolla usando datos de cargas máximas posibles para equipos y dispositivos biomédicos en el mercado, y pesos para el personal según normativa. Son 3 tablas diferenciadas, como elementos de emergencia mínimos para atención al vehículo (según NTC 3729:2018),

elementos para la atención al paciente (según la resolución 3100), y personal presente en el vehículo considerando seguridad vial.

Tabla 7.

Elementos de emergencia mínimos para atención al vehículo.

CANTIDAD	ÍTEM	PESO MÁXIMO. (KG)
2	Extintor para fuegos ABC, con capacidad mínima de 2,26 kg.	9
1	Caja de herramientas básica, como mínimo con: alicate, destornilladores estrella y pala, llave de expansión y llaves fijas.	9
1	Rueda de repuesto.	35
1	Cruceta.	3
2	Señales reflectivas de emergencia.	2,5
1	Linterna con pilas utilizable como lampara desmontable.	1,2
1	Caja de fusibles surtidos del vehículo (usados por el mismo vehículo).	0,8
1	Gato y equipo para sustitución de ruedas.	9
1	Palanca barra de uña.	2,2
2	Tacos para bloqueo de rueda (pueden ser de madera).	3
1	Cuerda estática de 20 m diámetro mínimo de 12.5 mm y sus ganchos correspondientes para tracción.	5
1	Juego de cables de iniciación eléctrica para batería.	2,5
1	Lampara con enchufe a tomacorriente de 12 o 110 V	2,5
6 a (10)	Bombillos de repuesto de diferentes filamentos para luces laterales utilizadas para el vehículo cuando requiera.	1
1	Botiquín de primeros auxilios TIPO C	25,99
TOTAL		111,69

Para la rueda de repuesto, que es el posiblemente el dato más variable de todos, se tomó un valor promedio con un rin de fábrica ya que la rueda de repuesto debe ser completamente semejante a las otras 4 o 6 (según criterio del vehículo). El botiquín tiene su propia tabulación, relacionada en el apéndice A.

Ahora según la normativa 3100 se tabulan los equipos y dispositivos biomédicos necesarios para la habilitación de estas ambulancias TAM o TAB para el hospital o clínica en correspondencia. Primero para una ambulancia TAB.

Tabla 8.

Dotación ambulancia TAB.

DOTACIÓN TAB		PESO (KG)
Desfibrilador externo automático (DEA)		3
Fonendo adulto y pediátrico		0,8
Tensiómetro adulto y pediátrico.		1
Aspirador de secreciones (succionador)		3
Aspirador nasal manual.		0,4
Glucómetro.		0,4
Torniquetes.		0,6
Camilla principal con sistema de anclaje, cinturones de seguridad o correas.		50
Chaleco de extricación vehicular.		1
Camilla secundaria para inmovilización y correas		9
Resucitador pulmonar manual.		1,2
Sujeción de equipos biomédicos específicos.		5
Monitor de signos vitales con accesorios adulto y pediátrico (mínimo NIBP y SPO2, ECG)		5
Atril porta sueros (2 ganchos)		1
Silla de ruedas, liviana y plegable que soporte mínimo 120Kg, con mínimo 2 cinturones para anclar y transportar.		16
Pinzas de magill		0,4
Tijera de material corta todo.		0,3
Riñonera.		1,5
Pato para hombres.		0,6
Pato para mujeres.		0,6
Lampara de mano y baterías de repuesto.		1,2
Manta termina aluminizada.		0,3
2 cilindros con capacidad mínima de 3.0m3 "permanentes y disponibles" (Full)		72
Conjunto de inmovilizaciones	2 inmovilizadores cervicales graduales.	1,3
	2 inmovilizadores cervicales pediátricos.	1
	Inmovilizadores laterales para cabeza.	0,5

	Inmovilizadores para extremidades superior e inferior.	4
TOTAL		181,1
TOTAL, Sin chaleco de extricación vehicular.		180,1

Todos estos datos fueron constatados con un ingeniero biomédico, y considerando valores máximos posibles que pudieran ser alcanzados por los diferentes ítems de la dotación. Al final obtenemos 2 datos posibles, pues el chaleco de extricación vehicular no es muy común en esta práctica, ya que llevan la camilla secundaria para inmovilización, sin embargo, su consideración es importante y suma un kilo para al cálculo.

Ahora bien, la dotación para una ambulancia TAM.

Tabla 9.

Dotación ambulancia TAM.

DOTACIÓN TAM		PESO (KG)
Dotación ambulancia TAB, cambio de desfibrilador DEA.	Desfibrilador cambia a un básico con capacidad de realizar cardio versión sincrónica y marcapasos transcutáneo, baterías mínimas para 4 horas con paletas. (Cambia y suma 7,5 Kg)	185,6
Ventilador para traslado de acuerdo con la edad del paciente con 2 modos de volumen y de presión, batería para 4 horas mínima, FiO ₂ , indicación de volumen corriente y minuto, indicación de presión máxima, PEEP, frecuencia respiratoria máxima de la maquina y del paciente.	Adulto.	7
	pediátrico	7
Equipo de órganos de los sentidos (con baterías de repuesto).		1,5
2 bombas de infusión o una con 2 canales con batería mínima para 4 horas.		5,5
Medidor de pico flujo.		0,5
Laringoscopios con hojas rectas y curvas neonatales, pediátricas y adulto.		2,5
Traslado neonatal.	Incubadora pediátrica portátil.	80
	Ventilador neonatal cuenta con control de caudal y tiempo de inspiración.	8
	Alarmas auditivas y visuales de presión, volumen, apnea, presión de aire, o ₂ y aire medicinal (puede ser	

	reemplazado por turbina integrada al equipo).	
	Modos de control, asistido/control y presión positiva continua en la vía aérea - CPAP	
TOTAL, SIN EQUIPOS DE TRASLADO NEONATAL. SOLO CAMILLA		209,6
TOTAL, CON EQUIPOS DE TRASLADO NEONATAL.		297,6

El vehículo es crítico en su traslado para pacientes neonatales, y se considera el traslado de ambos ventiladores (por disposición en el mobiliario). Ahora bien, como ultimo indicador de carga tenemos el personal en el vehículo que tiene consideraciones de seguridad que limitan este proceso que se justifica por operación.

Tabla 10.

Carga por personal en el vehículo.

CARGA POR PERSONAL EN EL VEHICULO. (KG)		
Tipología nacional.	TAM	TAB
Sin acompañante.	4	3
Peso total esperado. (Kg)	320	240
Cantidad de personal máximo admisible.	4	
Peso total esperado. (Kg)	320	

La normativa UNE sugiere un calculo con un peso de 80 Kg por persona en el vehículo, dato que no se enseña en la tabla, por ello se brinda la aclaración.

Las normativas nombran el concepto carga viva que ajustara el centro de masa constantemente, sin embargo, no se considera, ya que se asume que la atención se brindara desde el asiento del personal auxiliador (como es debido) y la prueba de carga se ejecuta de manera estática.

Este proceso debe considerar condiciones de seguridad y el personal estrictamente necesario para la operación. En una ambulancia tipo TAB o TAM, la configuración segura permite un máximo de cuatro ocupantes, distribuidos entre los dos puestos de la cabina, la camilla y la silla del personal auxiliador con cinturón de tres puntos. En cambio, el mueble

abatible, aunque puede incorporar hasta tres cinturones de dos puntos, no ofrece las mismas garantías de seguridad para transportar de forma regular pacientes o personal. Por ello, su función principal debe ser el almacenamiento y, solo en situaciones excepcionales, el traslado de un segundo paciente en camilla auxiliar, siempre que se realicen las adaptaciones necesarias para asegurar su anclaje. En coherencia con este criterio de seguridad, el traslado debe efectuarse sin agravar el estado del paciente ni comprometer la integridad del personal asistencial. De acuerdo con la Resolución 3100 de 2019, una ambulancia tipo TAB requiere, como mínimo, conductor y personal de atención (enfermero(a) o auxiliar de enfermería); por su parte, una ambulancia tipo TAM requiere ese mismo personal, además de un médico. En consecuencia, salvo que el diseño contemple una solución específica y segura, las ambulancias TAM no deberían transportar un segundo paciente ni acompañante. Las ambulancias TAB, en cambio, sí podrían hacerlo, siempre que el diseño incorpore adaptaciones seguras sobre el mueble abatible.

Una vez aclarado, se realiza una consigna con todos los valores para conocer el peso real que llevara el vehículo bajo condiciones críticas, tanto para ambulancias tipo TAM como TAB.

Tabla 11.

Carga total agregada para el vehículo.

Tipo de ambulancia.	TAB		TAM	
Elementos at. Al vehículo.	111,7		111,7	
Dot. Dispositivos y equipos biomédicos.	181,1		209,6	
	180,1	Sin chaleco de extricación.	297,6	Traslado Neonatal
Personal en ambulancia. (PA)	240,0	Sin acompañante	320,0	Sin acompañante.
	320,0	Con acompañante.	320,0	Full
Sistema eléctrico en la fabricación de la carrocería (con 2 baterías 12V 75Ah)	86,0		86,0	

Red interna de oxígeno.	24,0		24,0	
Asiento personal acompañante	40,0		40,0	
CARGA TEORICA FIJA (Sin PA)	260,7		260,7	
Con PA.	580,7	Con acompañante.	580,7	Sin acompañante.
TOTAL.		762,8 kg		879,3 kg

En esta tabulación hay 3 datos reunidos con consideraciones consultadas a personal relacionado a la fabricación de estas redes eléctricas y de oxígeno, pesos establecidos para baterías de este tipo y asiento del acompañante según el mercado actual. Según la consulta, una red interna para 1 sola toma de oxígeno con tubería rígida de cobre tipo K puede llegar a rondar los 24 kilogramos, justificados con el manómetro regulador de presión, tramos cortos de tubería, accesorios y el soporte para la toma de acople rápido. Para el sistema eléctrico, considerando una distribución uniforme por toda la carrocería, puede llegar a pesar unos 40 Kg, que contempla inversor, cableado calibre 0 para la línea principal, ramificaciones calibre 10 a 16 para equipos biomédicos de bajo consumo, iluminación, y un tablero pequeño de distribución, eso sumado a 46 Kg que pesan aproximadamente 2 baterías 12V 75Ah para dar soporte constante al compartimento paciente, solicitado según NTC 3729:2018, dando por resultado unos 86 Kg. Para el asiento del personal acompañante se usaron datos del mercado actual con un dato como máximo admisible de 40 Kg.

Ahora bien, no se consideran factores de seguridad para la carga ya que la normativa no lo sugiere, sin embargo, se tuvo en consideración trabajar con valores para mobiliario de máximos posibles y para el personal en traslado el peso sugerido por la norma.

La normativa ASTM F2020-2A cuenta con un dato comparativo de capacidad de carga mínima necesaria común para ambulancia tipo 1 (tipología semejante para una ambulancia tipo TAB) de configuración simple (2 ruedas en el eje trasero) de 1500 Lb (680,4 Kg) y de

configuración doble (4 ruedas en el eje trasero) de 1750 Lb (793,8 Kg), que nos otorga un dato de peso para evaluar la tabulación efectuada y notar solidez de los datos en la misma.

Esta información es importante para la preselección del vehículo ya que debemos verificar la capacidad de carga por eje y el PBV. Sumado a que este valor total acompaña todo el proceso de diseño, ya que aun falta sumar puertas, paredes, mueble abatible, estructura, que se estipula según consultas pueden llegar a sumar entre 260 a 300 Kg más según el diseño, pero este estimado solo se agregará en este momento para la preselección, ya que este dato es dependiente de forma, material, y método, que al final será entregado para el proceso de fabricación y cliente final.

Para una ambulancia tipo TAB estaríamos esperando una capacidad de carga mínima del vehículo de 1062,8 Kg y para una ambulancia tipo TAM de 1179,3 Kg.

3.4. Selección preliminar del vehículo.

Una vez conociendo la carga a agregar podemos partir de una preselección para conocer disposiciones del vehículo. Para esto se tomaron datos de vehículos utilizados comúnmente para esta actividad, vehículos cabina-chasis como la Toyota Hilux, Land Cruiser, etc. El proceso de diseño requiere información clara y una ficha técnica no es suficiente información, se realizó una actividad de consulta en diferentes concesionarios para tener el manual del carrocerero, pero ninguno conocía este documento; se consultó con las empresas relacionadas a este desarrollo de carrocerías y esta información no fue facilitada o era desconocida.

Esto presenta una falencia en la industria nacional, al ser desconocida esta información para un proceso automotriz vuelve crítico el proceso de fabricación de carrocerías, ya que cualquier alteración debería ser de conocimiento del fabricante o proveedor y ser avalado por él

para obtener garantías del vehículo y procesos de diseño adaptativos, si no este proceso puede ser motivo de falla.

Paralelamente hay que conocer que la normativa nacional actualizada a 2026 establece un estándar de cumplimiento obligatorio para los sistemas de seguridad vehicular (activa y pasiva). Su objetivo es mitigar riesgos de siniestralidad y proteger la vida humana, vinculando tanto a la industria nacional como a los importadores en la comercialización de unidades motrices y de carga (Resolución 3752 de 2015). En el cuerpo de la norma solicita solo 3 condiciones de seguridad activa, sistema de frenos ABS, sistema bolsa de aire (mínimo 2), y que todos los asientos presentes en el vehículo deben tener sistema de retención de cabeza o apoyacabezas (incluye zona de carga).

Cabe incluir que el artículo 2 de la Ley 769 de 2002, define al vehículo de emergencia como "(...) Vehículo automotor debidamente identificado e iluminado, autorizado para transitar a velocidades mayores que las reglamentadas con objeto de movilizar personas afectadas en salud, prevenir o atender desastres o calamidades, o actividades policiales, debidamente registrado como tal con las normas y características que exige la actividad para la cual se matricule (...)".

Con este paralelismo se pretende conectar conceptos vitales para el correcto proceso de fabricación y lo mínimamente necesario para iniciar un proceso de diseño de este tipo, que son: una definición técnica de ley, estándares de cumplimiento del vehículo, y manual de carrocerero o en su defecto información asertiva sobre la carga admisible (siempre y cuando no se modifique el chasis).

Para este caso puntual, se aborda el proceso con datos de carga, las definiciones básicas, y determinaciones preliminares como datos de ingreso; se seleccionó para esta ejemplificación

una Toyota Land Cruiser 79 cabina chasis, para dimensiones mínimas, vehículo tipo TAB, trabajo rural, sin equipo de salvamento.

Se revisa la ficha técnica relacionada en el Apéndice B vemos que cumple con las definiciones, y tiene una capacidad de carga de 1225 Kg, un PBV de 3200 Kg, y un peso en vacío de 1975 Kg; superando los 1062,8 Kg esperados para este vehículo según el cálculo con un exceso de 162,2 Kg de más, lo que se traducen en 462,2 Kg máximo para la estructura, paredes, suelo, techo, ventanas, puertas, etc.

4. Fase de diseño y evaluación.

El diseño y evaluación de la estructura es una etapa iterativa por naturaleza, pero con particularidades, pues los criterios brindan restricciones claves para la etapa de diseño, acortando los espacios de tiempo a partir de los datos de entrada ya definidos.

Las condiciones iniciales que se tienen son los mínimos datos posibles para poder desarrollar el proceso de diseño, pero se debe recalcar la relevancia del manual del carrocerero para conocer más profundamente el vehículo, considerando limitaciones, solicitudes del fabricante, posición del centro de masa, para diseñar como se pretende en la industria automotriz por semejanza o exceso y no por defecto, además de eliminar pasos específicos en estos procesos de diseño y evaluación, como encontrar el centro de masa.

4.1. Fase de diseño.

Se inicia realizando un barrido sobre las formas posibles, el proceso de lluvia de ideas no es viable por lo restrictivo de todos los criterios expuestos, que lo reduce a un espacio semejante a un paralelepípedo en sus disposiciones internas, también se hace restrictiva ya que constantemente es necesario colocar posiciones de contrapeso para no alterar lateralmente ni

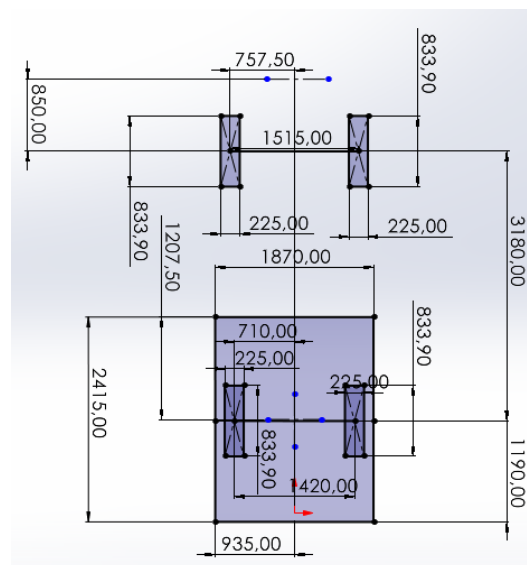
longitudinalmente el centro de masa general, por ejemplo, el mueble abatible debe ir al ingreso del vehículo posición derecha, espejo de la zona donde se va a disponer los cilindros de oxígeno (contrapeso). Así funciona para todo lo esperado en la carga, situación que debe ser evaluada después del análisis sobre la estructura.

Enfocándonos en esta última, esta no puede ser monocasco o autoportante pues es propia del tipo van, además de ser de fabricación compleja para la industria nacional, y poco común para aplicarla a un tipo furgón. Por ende, debe ser una estructura metálica realizada con la interacción de un conjunto de perfiles, los mas comunes de acero estructural o aluminio 6061 T6 usado comúnmente por la industria automotriz. Se toma el aluminio 6061 como material para la estructura y la forma depende del área disponible.

Usando el software SolidWorks se dibuja en un croquis del área descrita por el vehículo ilustrado en la figura 2. y especificada en la ficha técnica en el plano de planta, para divisar el área viable y considerar como se dispondrá la estructura.

Figura 2.

Plano de acotación del vehículo.

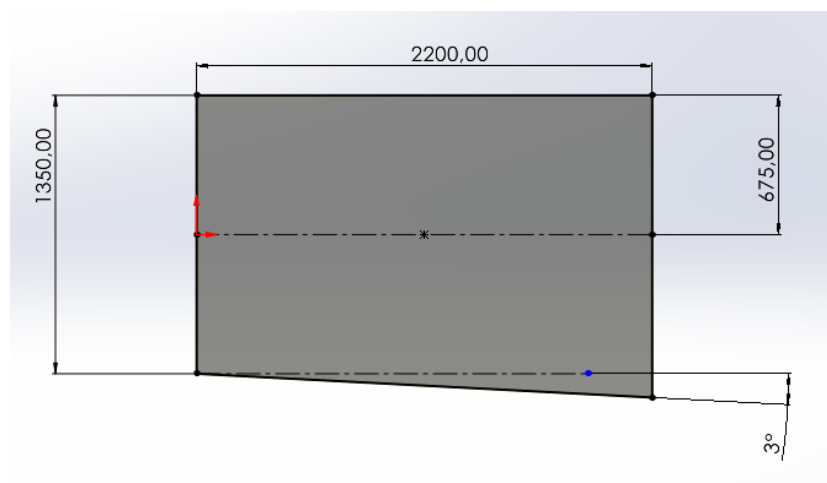


Ya con esta área disponible comprendida en la figura 2. El área rectangular inferior corresponde a la zona disponible para construcción de la estructura sobre el chasis.

Se dispone a implantar el volumen a contener que corresponde a las medidas mínimas para una ambulancia TAB, con un desnivel del 5,2% hacia la cabina del conductor.

Figura 3.

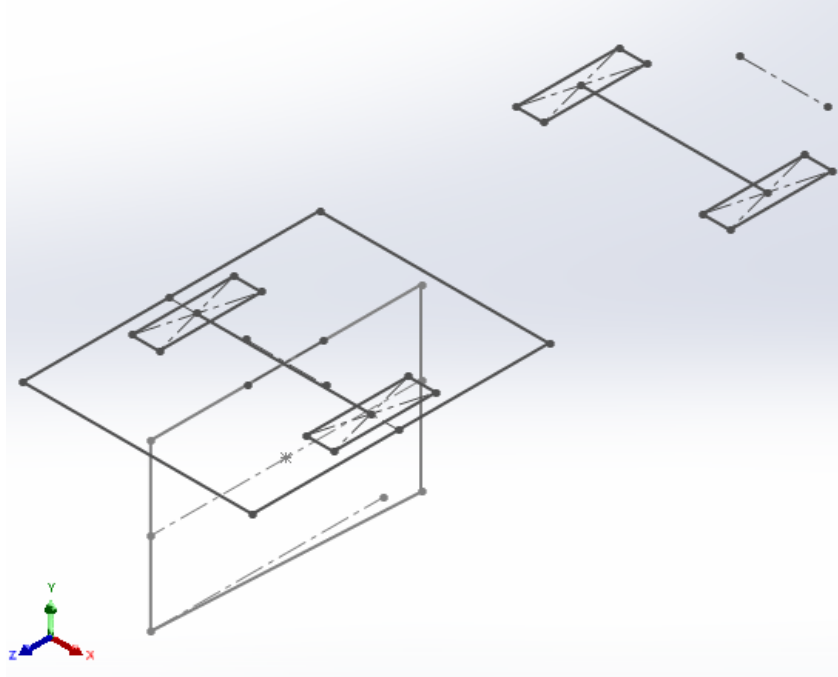
Volumen contenido.



La figura 3. Enseña completamente el plano generado, para el primer volumen extruido en el software inicial del estudio. Y la figura 4. comprende como se relaciona con el primer plano a partir del fabricado con la información de la ficha técnica.

Figura 4.

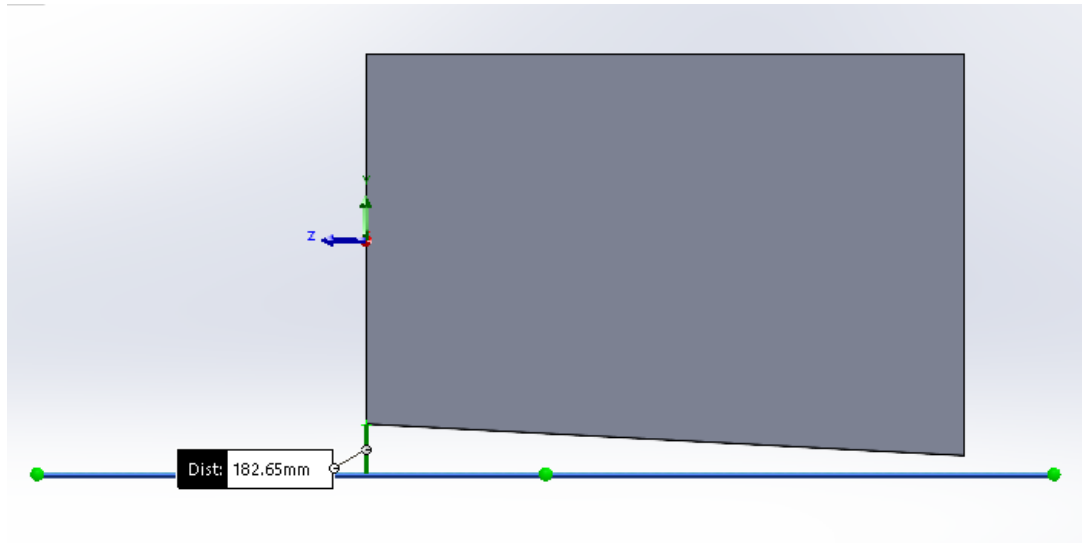
Planos en relación.



Se extruye el plano lateral que comprende al volumen a contener (extruido según TAB), y a partir de el se implanta un plano a 182,65 mm paralelo al plano planta desde la base más alta, como se demuestra en la figura 5. dato que en la industria es un criterio del departamento de diseño, determinado a partir del espacio a contener y los tipos de perfiles que va a manejar, pero es importante que este valor se vuelva un parámetro propio del equipo de diseño, pues depende del plano como se disponga y como se ataque la extrusión en el software.

Figura 5.

Plano para base de la estructura.



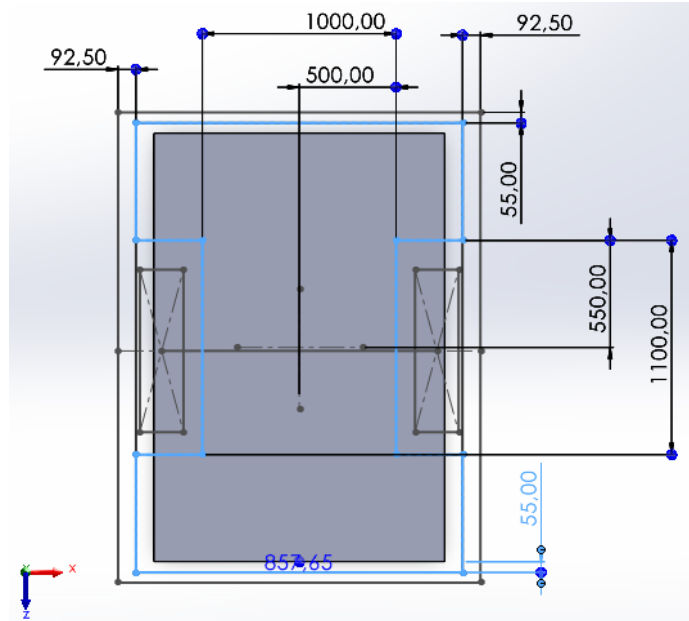
Ahora bien, se genera el croquis a partir del plano como base de la estructura, y se toman en cuenta los espacios donde están dispuestas las llantas traseras; para este caso específico una simetría para garantizar un centro de masa medianamente centrado.

A este croquis se le agrega un croquis 3D para completar el esqueleto de la estructura.

Los bosquejos que interactúan entre sí en la figura 6, notan una cota mínima de 55 mm entre el sólido a contener y la estructura contenida en el rectángulo trasero a partir de la ficha técnica, y como interactúa con el esqueleto de la estructura. Ese dato geométrico es crítico para comprender una limitante del tamaño de la estructura, en lo que comprenden los tamaños de los perfiles y las formas a usar.

Figura 6.

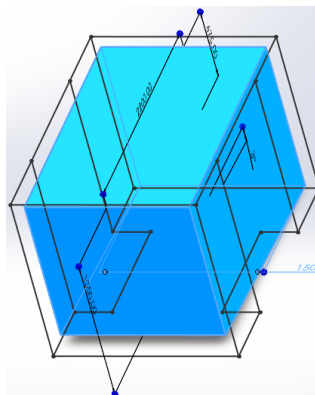
Interacción entre croquis.



La figura 7. enseña como quedaría contenido el solido y el esqueleto de la estructura que lo contiene, antes de usar herramientas del software con relación al desarrollo de esta.

Figura 7.

Solido contenido.



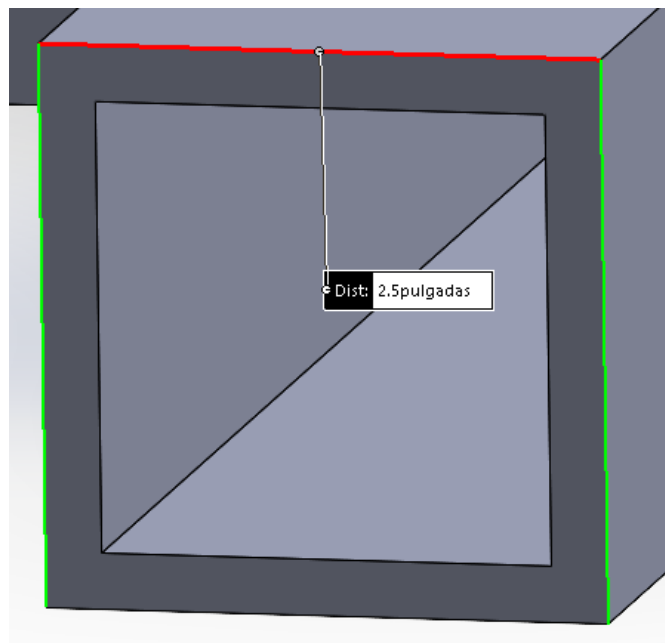
Ya determinada completamente la estructura, se realiza una operación de eliminación de sólido para no perder las correlaciones entre croquis, eliminando el sólido contenido con los valores mínimos del tamaño del compartimento interno para una ambulancia tipo TAB.

Se usa la herramienta de miembro estructural de SolidWorks pues el software de evaluación (ANSYS), con su plataforma de Space Claim, permite realizar una correlación correcta al migrar en un archivo tipo STEP A203. Además de que este manejo permite usar perfiles estandarizados para facilitar el manejo de este proceso.

Para este caso se decidió usar perfil estructural de aluminio 6061 T6 cuadrado, la figura 8. enseña directamente la cota de tamaño (no puede superar los 55 mm mínimos estipulados en pasos anteriores) relevante del perfil..

Figura 8.

Perfil Al 2,5 SQR 0,25 W

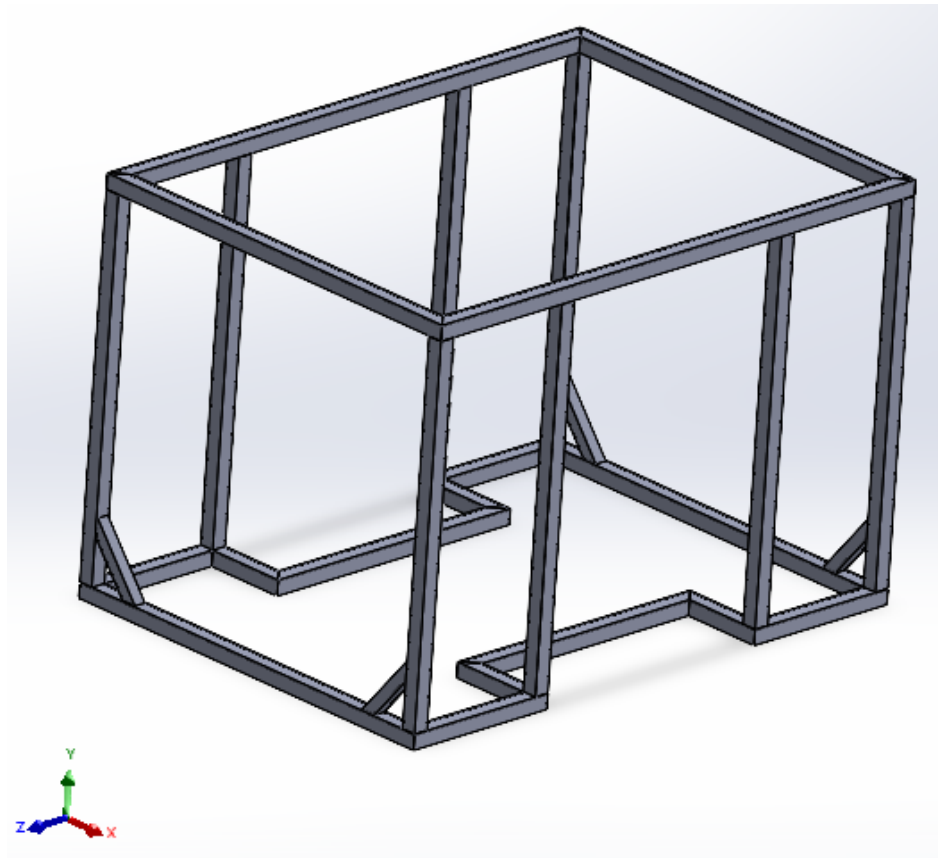


Se diseñó una estructura con 4 refuerzos, 8 bases verticales (ninguna atraviesa la parte interna), una estructura cuadrada en la superficie y la estructura de la base del croquis ya definida

anteriormente, los refuerzos dispuestos en las bases donde iría la mampara y la puerta de acceso posterior, siempre garantizando el espacio para poner la puerta principal. Se usaron perfiles Al 2,5 SQR 0,25 W para la estructura principal, y Al 2,0 SQR 0,25 W, estas siglas y valores corresponden a la descripción de los perfiles, que se traducen como: Primero el material Aluminio (Al), luego la dimensión principal en pulgadas (2,5), después SQR que corresponde al tipo de perfil, que para este caso sería cuadrada, y el ultimo valor corresponde al grosor del perfil en pulgadas (0,25 W).

Figura 9.

Estructura.



La figura 9. Estructura, tiene información clave para su manufactura, las bases verticales están dispuestas sobre la subestructura base y bajo la estructura superior. Se asume que el

proceso de soldadura es correcto, para evitar errores sobre el tratamiento térmico propio de 6061 T6 y tener debilitamiento sobre la estructura. Su forma tiene el fin de facilitar este proceso de soldadura, y poderse ejecutar como sub-ensamblajes, dejando por último la instalación de refuerzos.

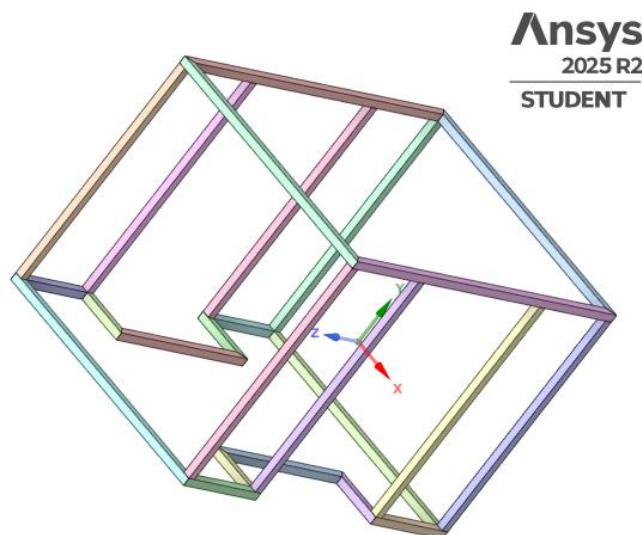
Para esta ejemplificación todas las uniones se realizaron por soldadura, culminando la primera fase, disponible para evaluación, migrando el archivo a ANSYS.

Se realizaron 4 posibles estructuras, una sin refuerzos y las otras 3 con refuerzo variando el perfil de la estructura principal, esto con el fin de entregar más información sobre esta la lectura de posibles resultados y alimentar el método.

En la figura 10 vemos la solución sin refuerzo migrada a Space Claim en ANSYS. Este paso es determinante para el método de manera somera, pues solo importa si se interactúa entre estos dos Software.

Figura 10.

Solución migrada a ANSYS - Al 2,0 SQR 0,25 W.



4.2. Prueba de carga.

Según la NTC es necesario que la estructura pase por una prueba física de resistencia y rigidez, descrita en su anexo D, aquí yace la primera complicación para la industria. Siendo rigurosos esta prueba requiere mayor desarrollo, pues no se cuenta con herramientas específicas que simulen la carga, variaciones en tiempo real, ni tiempos de disposición descritos en la prueba, lo que obliga a ser una prueba física necesaria pero no estandarizada, y si llega a ser ejecutada por una empresa fabricante, esta necesita desarrollar la herramienta específica.

El objetivo del anexo D es simular un volcamiento y que todo el PBV quede soportado por la estructura, posición en la que convergen todas las normas, pues según ellas, esta es la posición crítica real a la que puede estar sometida la estructura. ¿Como lo pretende hacer la norma nacional? La prueba se realiza en 3 etapas después del preparamiento de la estructura.

- ❖ Se prepara la cabina (estructura completa, suelo, techo, paredes y puertas) y se ubica en una base rígida diferente a la suspensión del vehículo que simule el chasis o en una plataforma que soporte las condiciones; además se ubica una placa en la parte superior (placa de aplicación de fuerza rectangular), aplicada lo más posible al contorno del techo de la ambulancia (mínimo 127 mm más largo y ancho del techo del compartimento), y se cierran todas las puertas.
- ❖ Se inicia la primera etapa cargando el plato con 227 Kg a una tasa de deflexión de 13 mm/s, después se retira (no dice por cuanto tiempo), y se registran las deformaciones.
- ❖ Se inicia la segunda etapa cargando el plato con el 150% del peso en vacío, a una tasa de deflexión de 13 mm/s, después se retira (no dice por cuanto tiempo), y se registran las deformaciones.

- ❖ Se inicia la tercera etapa cargando el plato con todo el PBV a una tasa de deflexión de 13 mm/s, después se retira (no dice cuanto tiempo), y se registran las deformaciones.

Una vez culminado se revisa, si las puertas se pueden abrir y cerrar sin problemas.

Este proceso es evitado en su mayoría, por carecer de la herramienta física estándar para ejecutar este proceso de evaluación sobre el producto final, o porque este proceso eleva los costos reales sobre la estructura (ya que esta fabricación comúnmente no es masiva y cada diseño tiene sus propias condiciones y requiere su prueba). Lo que obliga a diseñar sobredimensionado excesivamente o en el peor de los casos por defecto, sumado a que la norma no especifica tiempos de exposición de carga, solo tasas y pesos.

Para una empresa esta herramienta debe ser versátil, ya que se debe contar con patrones que garanticen dicho PBV (que varía según vehículo) o que la maquina que ejecute estas pruebas pueda tener la sensibilidad de modificarse en sus cargas aplicadas.

De esta prueba lo que es rescatable verdaderamente es su criterio de rigidez, pues el desplazamiento máximo vertical permitido por toda la estructura es de 130 mm (según normativa NTC), y la importancia de la resistencia de la estructura, ya que el colapso no es opcional en la peor de las condiciones, por ende, a pesar de la norma no ser clara en valores de resistencia, para esta necesidad de seguridad pasiva sobre el vehículo y poder garantizar esa evacuación de emergencia con garantías, se sugiere el trabajo sobre la zona elástica del material con factores de seguridad superiores a 1 mínimamente.

Una vez comprendido su origen, se evita el método del anexo D por múltiples criterios, además de falta información (por ejemplo, tiempos de exposición de carga), también por costo computacional pues un análisis de 3 etapas conservando resultados, de carácter de dinámica

explicita eleva extremadamente el costo computacional, además la prueba considera una carga distribuida soportada uniformemente sobre la estructura (situación poco crítica) con excesos de pasos hasta llegar el PBV y no un dato real al que esta objetivamente sometido.

Por ello se diseña una prueba viable para simular el comportamiento, caso que parte del origen de replicar coherentemente la situación crítica; una situación de volcamiento donde todo el peso bruto vehicular quede soportado sobre la interacción entre el chasis y la base de la estructura de la cabina del paciente, quien incide sobre el con su carga en el CM del vehículo ubicado a partir de información otorgada por la ficha, el manual o un método físico con una bascula vehicular para ubicar su centro de masa (dato específicamente relevante para este proceso).

La tesis sostiene que el detalle crítico es la excentricidad del centro de masa del vehículo cabina-chasis, ya que, entre más lejano este del CM de la estructura de la cabina del paciente y la carga interna, ciertos miembros van a tener un sometimiento a la carga más relevante; realmente no es una carga uniformemente distribuida en la superficie pues en la realidad son cargas excéntricas, formas y pesos variables según el vehículo. A este CM se le realiza una modificación según los parámetros ya expuestos, donde se otorga una criticidad más, que es la excentricidad lateral en el peor de los casos (5% máximo) que modifica el CM del chasis en su coordenada “x”.

La norma es clara, que longitudinalmente o para nuestro caso las coordenadas en “z” son dependientes del manual del carrocerero, sin embargo, es importante aclarar que la estructura físicamente va a influir en el CM original favoreciendo la estructura por naturaleza, pues acercaría el CM definitivo al de la estructura, disminuyendo elementos críticos y distribuyendo mejor la carga, lo que se traduce a una mejor repartición del peso sobre las bases verticales, por

ende, se considera crítica la posición original del CM del vehículo cabina-chasis quien cargara el PBV restándole el peso de la estructura, por lo que se vuelve la carga a analizar un valor variable.

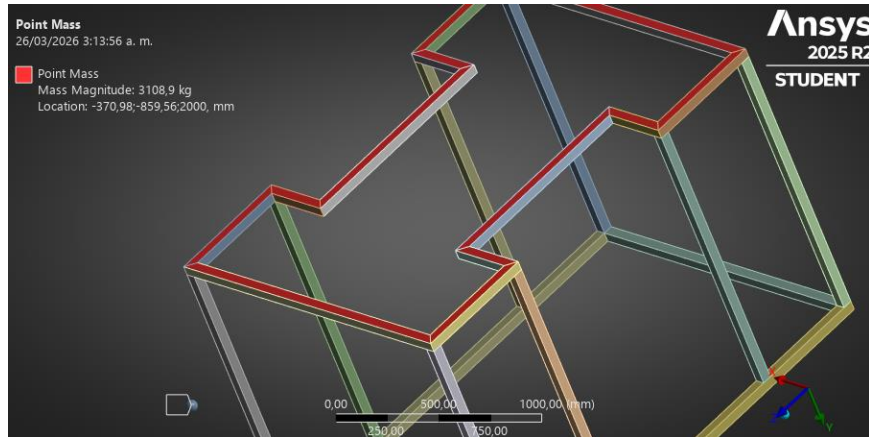
En resumen, la prueba simula una posición estática y el PBV cargado en el CM del vehículo (carga crítica) como una geometría agregada, conectada por la parte inferior de la estructura, y soportada por la base superior de la misma como un soporte fijo, esto con el fin de simular verdaderamente la posición crítica de la estructura donde contamos con un vehículo completamente volcado, el suelo de la estructura soporta el chasis y la zona superior funciona de apoyo e interacción con el suelo de la estructura y el vehículo.

Se comprende que el cálculo manual es tedioso y poco práctico para la industria, por ello se aprovecha el software para ese análisis de resistencia y deformaciones, con el fin de agilizar este proceso en el método de diseño. Por la naturaleza de ANSYS y el uso de métodos de elementos finitos, es importante conseguir la congruencia con refinados exhaustivos de malla, con el fin de hallar resultados adecuados y veraces.

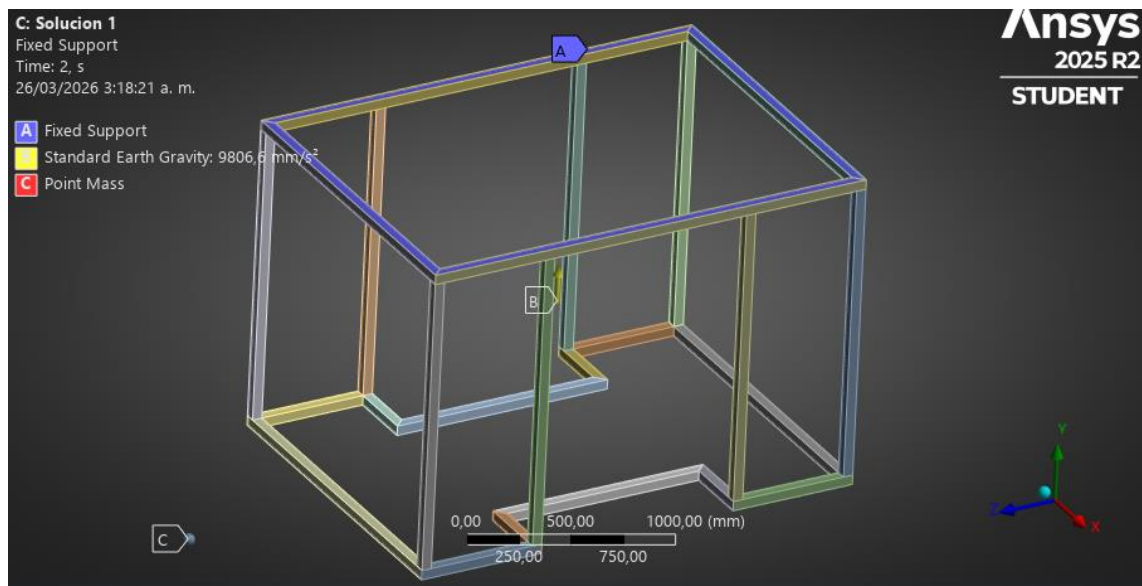
Es importante realizar una correcta selección del material o configuración de este en el software, especificar el tipo de unión (para este caso “Bounded”, pues todas las piezas están soldadas entre si correctamente) entre elementos de la estructura, conocer el CM del vehículo y realizar su configuración del soporte en las caras, y colocar correctamente el efecto gravitacional ya configurado por defecto.

Figura 11.

Configuración carga Al 2 SQR 0,25 W

**Figura 12.**

Carga gravitacional y soporte fijo.



La figura 11. Presenta la configuración para la solución con Al 2 SQR 0,25 W de la carga del centro de masa, y su ubicación con respecto a este caso específico. Y la figura 12. La visualización de todos los miembros en interacción en el análisis, CM, soporte fijo, y gravedad.

Con esto ya se puede ejecutar la prueba y realizar evaluaciones y correcciones sobre los resultados que se obtengan.

4.3. Evaluaciones y correcciones.

La idea de este punto a pesar de ser una ejemplificación es enfocar en los criterios de evaluación y como leerlos y aplicarlos correctamente sobre la simulación para saber que esperar, esta prueba no puede eliminar la prueba del anexo D a pesar de que la imita, por simple normativa, pero da un esperado de comportamiento, facilitando el proceso de manufactura, evaluación y puesta a punto.

Se realizan 4 pruebas con diferentes configuraciones, y se disponen respuestas de deformación total, deformación vertical, esfuerzo equivalente (Von-Misses), volumen y factor de seguridad. La respuesta de volumen tiene un fin de cálculo para la carga del CM, pues su respuesta total me otorga el parámetro de volumen de material presente en la estructura y se opera junto al valor de densidad otorgando el dato del peso de la estructura, masa que realmente no opera en esta simulación sobre el CM, pues ya se ve atacado en la interacción con la gravedad.

Las respuestas se tabularon en la Tabla 12. Para tener un manejo práctico.

Tabla 12.

Respuestas a diferentes configuraciones.

AI 2 SQR 0,25 W		
Deformación total máxima	25,223	mm
Desplazamiento máximo en el eje Y	25,133	mm
Esfuerzo máximo (Von Misses)	317,43	MPa
Factor de seguridad mínimo	0,81656	-
Volumen	3,3570E+07	Milímetros cúbicos
Masa de la estructura	9,1075E+01	Kg
Masa en el CM	3,1089E+03	Kg

Al 2 SQR 0,25 W (Reforzado Al 2 SQR 0,25 W)		
Deformación total máxima	16,003	mm
Desplazamiento máximo en el eje Y	15,938	mm
Esfuerzo máximo (Von Misses)	173,7	MPa
Factor de seguridad mínimo	1,4922	-
Volumen	3,4984E+07	Milímetros cúbicos
Masa de la estructura	9,4912E+01	Kg
Masa en el CM	3,1051E+03	Kg
Al 2,5 SQR 0,25 W (Reforzado Al 2 SQR 0,25 W)		
Deformación total máxima	8,0323	mm
Desplazamiento máximo en el eje Y	7,9965	mm
Esfuerzo máximo (Von Misses)	152,03	MPa
Factor de seguridad mínimo	1,705	-
Volumen	4,4345E+07	Milímetros cúbicos
Masa de la estructura	1,2031E+02	Kg
Masa en el CM	3,0797E+03	Kg
Al 3 SQR 0,25 W (Reforzado Al 2 SQR 0,25 W)		
Deformación total máxima	4,7236	mm
Desplazamiento máximo en el eje Y	4,7001	mm
Esfuerzo máximo (Von Misses)	127,66	MPa
Factor de seguridad mínimo	2,0304	-
Volumen	5,3641E+07	Milímetros cúbicos
Masa de la estructura	1,4553E+02	Kg
Masa en el CM	3,0545E+03	Kg

Cada una de estas simulaciones con particularidades sobre el esfuerzo máximo, comportamiento estructural esperado y la carga ubicada en el mismo CM para todos.

Como análisis general tenemos mejoras al aumento de sección como lo esperábamos naturalmente, como la mejora sustancial con la presencia del refuerzo; sigue existiendo 1 solo miembro estructural vertical crítico, elemento objetivo del diseño quien lleva ese esfuerzo máximo equivalente, pero si observamos el dato de criticidad por rigidez de 130 mm sobre toda la estructura, es poco relevante para esta ejemplificación, y el valor de resistencia si es crítico.

Por ejemplo, la configuración sin refuerzo tuvo un comportamiento plástico no deseado, pero nunca se llegaron a los valores críticos propuestos con ese PBV para ese elemento crítico.

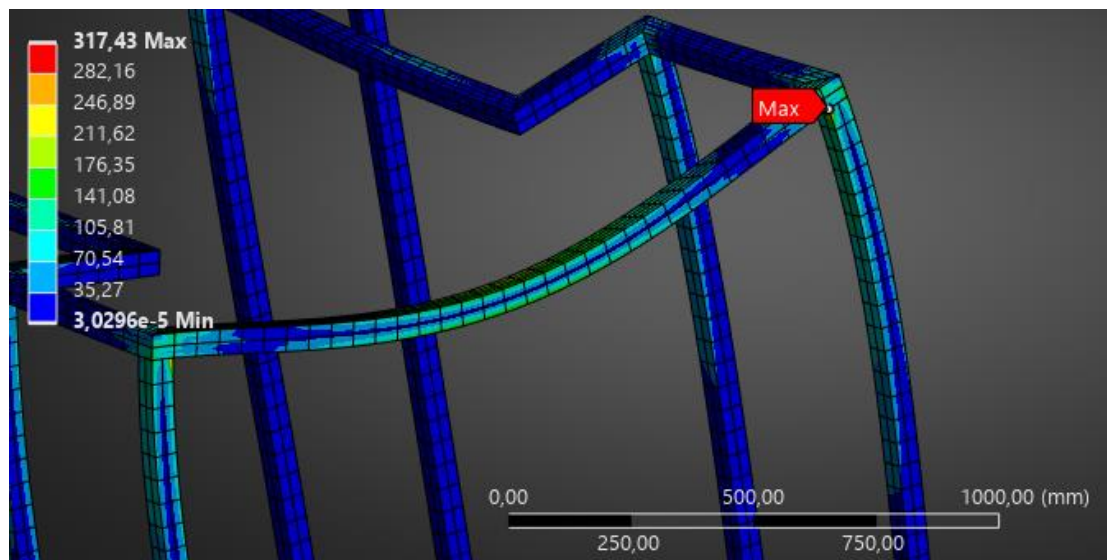
La deformación máxima se ubico para todos en posiciones semejantes en todas las configuraciones evaluadas, pero el valor de esfuerzo si se modifico para cada caso en particular.

Es importante especificar que, para este caso, la estructura portante pretende ser quien soporte realmente, evitando comprometer estructuralmente puertas, ventanas, etc.

Particularmente la solución Al 2,0 SQR 0,25 W sin refuerzo tenia concentrado el esfuerzo en la junta de la estructura de la base sobre miembro vertical (elemento estructural critico de este caso) como se muestra en la figura 13.

Figura 13.

Esfuerzo concentrado, Al 2,0 SQR 0,25 W sin refuerzo.



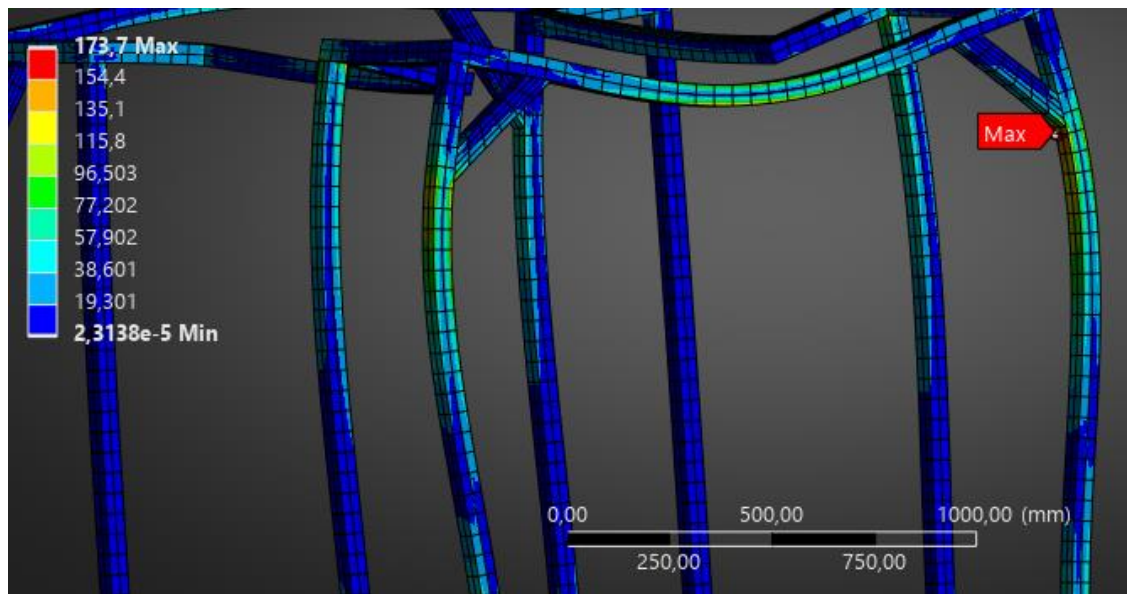
En esta figura, también se aprecia el punto de deformación máxima que está ubicado sobre el miembro horizontal, en la zona casi céntrica y cercana a la zona donde se ubicara la mampara, pues realmente tiene una desviación leve hacia el miembro estructural vertical crítico efecto de la desviación impuesta lateralmente sobre el CM.

La figura 14. De la estructura con una configuración Al 2 SQR 0,25 W con refuerzos Al 2 SQR 0,25 W, enseña la presencia del esfuerzo máximo equivalente, que cambio con el uso de

estos refuerzos y envió esa carga a un área mas baja alejada del concentrador de la primera solución propuesta, esta no afecta directamente la soldadura o junta, que son los puntos de análisis crítico, y no genero una variación alta en su volumen

Figura 14.

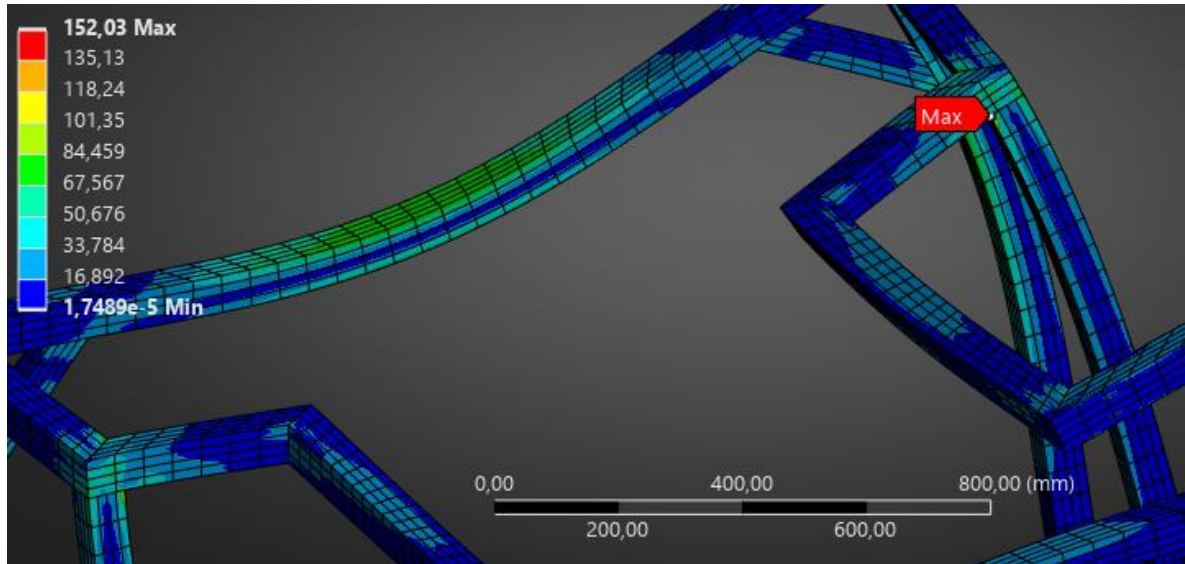
Esfuerzo concentrado, Al 2,0 SQR 0,25 W con refuerzos.



Para la configuración 3 que corresponde a Al 2,5 SQR 0,25 W con refuerzos Al 2,0 SQR 0,25 W, se obtuvo un comportamiento semejante al primero pero desplazado a una pieza más cercana al centro y a la zona de la llanta más próxima del elemento crítico, como lo demuestra la figura 15. Con esta configuración tuvimos una mejora considerable pero ya se empieza a aumentar el peso de la estructura considerablemente al igual que con la configuración Al 3,0 SQR 0,25 W con refuerzos Al 2,0 SQR 0,25 W, configuración que también comparte la misma situación del punto de ubicación del esfuerzo máximo.

Figura 15.

Esfuerzo concentrado, Al 2,5 SQR 0,25 W con refuerzos Al 2,0 SQR 0,25 W.

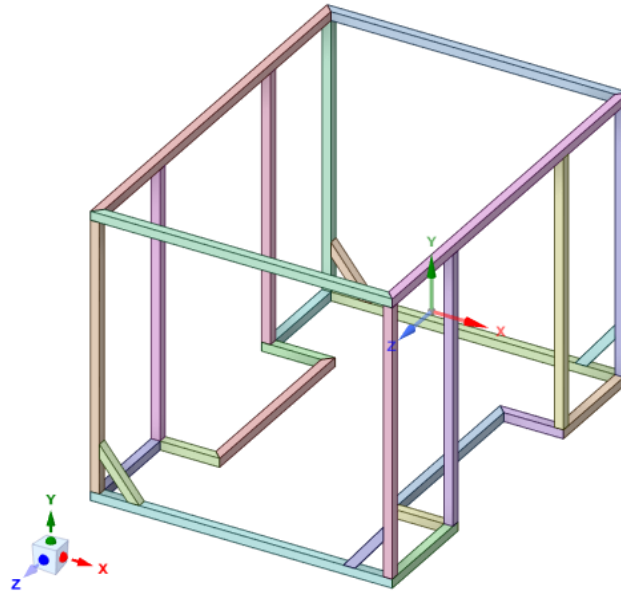


Según estos resultados desde la configuración 2 se tiene una estructura que cumple con todos los parámetros, incluyendo la 3 y 4 que aunque mejoran claramente sus resultados tienen una influencia fuerte en concentradores de esfuerzo próximos a puntos de soldadura que pueden afectarse en estos momentos críticos y fabricar una falla, situación que normativamente las desvaloriza a pesar de cumplir con lo demás; este problema se puede eliminar usando perfiles para refuerzo del mismo tamaño que los miembros principales lo que equivale a mayor peso, que se traduce en una influencia sobre el peso disponible para los procesos posteriores.

Por esto en definitiva para este caso y sujeto a modificaciones según necesidades de procesos posteriores se selecciona la configuración 2 como respuesta, pues cumple estándares y tiene concentradores de esfuerzo ajenos a puntos de unión.

Figura 16.

Estructura, Al 2,0 SQR 0,25 W con refuerzos Al 2,0 SQR 0,25 W.



Ya verificando estas situaciones generales y particulares es necesario explicar que, el PBV en este vehículo comprende la suma del peso en vacío, el peso de la estructura de la cabina, la carga total del vehículo TAB, y el restante corresponde a paredes, suelo, techo, puertas, ventanas y claraboya. Lo que se traduce usando la configuración 2 en 362,29 Kg disponibles para los procesos posteriores para esta estructura (paredes, puertas, acceso trasero, ventanas, claraboya, suelo, instalación, techo y mampara).

5. Estándar del método.

Este es el punto clave del proceso donde definimos lo necesario para este método, se divide entre herramientas y pasos a ejecutar.

5.1. Herramientas.

La estructura y en general todo el proceso de fabricación de las cabinas de paciente para ambulancias tipo furgón, a parte de la comprensión de ingeniería, conceptos físicos y

matemáticos, se necesita: Necesidades del cliente, determinaciones preliminares, Tablas de criterios fijos y variables, Tablas de cargas, en la selección del vehículo se necesita el manual del carrocerero y ficha técnica del vehículo mínimamente (la ficha no complementa el manual que entrega el fabricante del chasis), software CAD/CAE y un equipo con capacidad computacional adecuada para estos programas y conocimiento sobre ellos (SolidWorks y ANSYS para este método).

Si es posible, es correcto tener contacto directo con la fábrica del vehículo a intervenir, ya que la calidad de cualquier tipo de modificación en el proceso, por ejemplo, el reposicionamiento del escape sea de igual o mejor condición que la del fabricante del chasis y/o del vehículo y además avalada por el o ellos, si no está descrita en el manual del carrocerero.

5.2. Pasos que seguir.

Esta instrucción se hace más fácil, con un listado tabulado con el número de pasos, expuesto en la tabla 13.

Tabla 13.

Método de diseño estructural tabulado.

Paso.	Descripción.	
1	Según las necesidades del cliente seleccionar las determinaciones que la asemejan.	
2	Dirigirse a las tablas de criterios variables y tomar determinaciones frente a tamaños y formas, incluido las de accesos pues estas decisiones serán analizadas en posteriores procesos de instalación y acabados.	
3	Conocer los criterios fijos tabulados, o constantemente estar consultándolos.	
4	Verificar la carga total agregada para el vehículo, que serán los pesos necesarios para operar la ambulancia.	
5	Sumar 300 Kg al total agregado, considerado lo esperado a añadir para completar la carga (estructura, puertas, ventanas, acabados, luces, etc.)	Estructura iterativa
6	Con ese peso final, realizar un proceso de selección preliminar del vehículo a usar, verificando el GVWA y el PBV, y considerando la capacidad de carga; siempre superior al peso final. ¿Por qué se considera preliminar? Porque	

	según el equipo de diseño este puede ser un parámetro para hacer cambios en la iteración de proceso.
7	Se consulta el manual del carrocerero y la ficha técnica entregado por la concesión del vehículo (documento del fabricante)
8	Se realizan las modificaciones necesarias bajo el chasis de ser necesarias (sistema postratamiento, escape, etc.).
9	Usando el software de diseño (SolidWorks), se dibujan los croquis del vehículo y se extruye el volumen a contener.
10	Se toman determinaciones frente a los límites de la estructura y se realiza un croquis que contenga el volumen y no se salga de los márgenes.
11	Se analizan materiales a usar, comunes de la industria automotriz, considerando incluso los usados en el mismo vehículo como cabina-chasis y como unirlos. (Por ejemplo: Acero estructural, 6061 T6, 5052, 7075, AZ31B, etc.)
12	Usando el software de diseño (SolidWorks) se elimina el volumen (sin perder relaciones) y con su herramienta de miembros estructurales, se imponen perfiles a usar de preferencia del equipo de diseño y se instalan a partir del croquis esqueleto del paso 10, para enviar este diseño geométrico como una sola estructura ensamblada y terminada, pues la herramienta permite tratamiento de esquinas y disposiciones de subestructuras y refuerzos.
13	Ese archivo es enviado al Software CAE (Ansys) bajo el formato STEP A203 conservando toda la información original en la migración (incluidos acabados), y la herramienta SpaceClaim lo reconoce como miembros estructurales con el fin de facilitar el mallado posterior y no sufrir con la morfología de los elementos y perder calidad al mallar.
14	Se configuran los materiales seleccionados, garantizando todos los datos, como módulo de Young, esfuerzo cortante, límite de fluencia, esfuerzo último, coeficiente de Poisson, etc. Si Ansys no cuenta con el material por defecto.
15	Se configuran las conexiones en ANSYS garantizando el tipo de junta y formulación adecuada del método (para estos casos es común el método aumentado de Lagrange).
16	Se realiza un mallado preliminar por defecto.
17	Se configura el análisis estático, solamente disponiendo la gravedad y el soporte fijo.
18	Se instalan las soluciones. Mínimamente se solicita el factor de seguridad, esfuerzo equivalente (Von-Misses), deformación direccional (vertical) y volumen.
19	Conociendo el dato de volumen de la primera iteración, se calcula el peso de la estructura a partir del valor de densidad, y se le resta al PBV, y obtenemos la carga en el CM.

20	Desde el modelo se adjunta en la pestaña de geometrías la masa puntual, se seleccionan las caras que soportaran el PBV y le otorgan coordenadas del CM (dato del manual del carrocerero) con una desviación lateral del 5% a esta coordenada, con el fin de generar la condición crítica.	
21	Se itera continuamente hasta llegar a la congruencia sin advertencias ni errores, verificando los resultados hasta obtener la estabilización con el mínimo de elementos posibles, ejecutando sobre el mallado, la refinación de elementos, mejora de calidades, cambios de forma, etc.	
22	Se analiza la respuesta con los 3 criterios de la NTC; rigidez: desplazamientos no superiores a los 130mm, resistencia: factor de seguridad mayor de 1, y esfuerzos máximos distantes de juntas, de no cumplir algún criterio se itera según decisión del equipo de diseño.	
23	Si la respuesta positiva, se entrega un saldo de carga según PBV y la estructura pasa al proceso siguiente en su fabricación (instalaciones eléctricas, red de gases medicinales, paredes, suelo, puertas, etc.) a consideración de la fábrica.	
24	Si procesos posteriores modifican la estructura o superan el saldo de peso, es necesario volver a someterlo a las estructuras iterativas aquí planteadas, según decisiones del equipo de diseño y debe seguir cumpliendo todos los criterios.	

Se traduce como estabilización en el punto 21, como la invariabilidad en los resultados obtenidos, para así lograr la congruencia; esto se traduce en que, con un mallado más grande y de calidad (mayor número de elementos) entrega unos resultados semejantes a los teóricos o analíticos esperados, un mallado pobre o de menos elementos puede entregar incongruencias por la naturaleza del trabajo con métodos de elementos finitos. Por eso es necesario conseguir el mallado óptimo congruente con el menor costo computacional.

La interacción entre el paso 12, 13 y 21 son vitales para esta explicación sobre el mallado, pues al simplificar la traducción del software como elementos; el programa ANSYS simplifica su mallado lo que es positivo para el proceso pues la forma de los elementos puede garantizar buenas calidades y reducir la cantidad de elementos para obtener la congruencia.

Por ejemplo, el caso de Al 2,0 SQR 0,25 W con sus refuerzos, logro una congruencia con una cantidad de 6820 elementos y 46729 nodos, sin advertencias ni errores de forma, contacto,

refinamiento, orden, etc. Esta mejora de calidad de malla valida el desarrollo de la evaluación, además de que el diseño debe orientarse a que el elemento crítico determine a los demás.

El criterio de la prueba es evaluar la condición mas critica, por ello se carga el CM más distante posible (CM natural del vehículo) para reproducir la peor de las situaciones.

6. Análisis postproceso.

La NTC 3729:2018 no tiene un rigor técnico automotriz real y actualizado, por lo menos en sus conceptos de seguridad pasiva y activa es muy somero y vago, pues es muy permisivo en su actividad, por ejemplo, permite la presencia de una mayor cantidad de personal activo o dinámico en el desplazamiento del vehículo, posibilitando la presencia de más personas en el traslado que realmente no son necesarias, así altera las garantías de funcionamiento usando un espacio como el mueble abatible para mover 3 personas más, además del personal de atención y atendido; según la teoría agrega 240 Kg más al vehículo y en el área de carga, lo que se traduce como una afectación a su funcionamiento lo que lo vuelve contradictorio, pues la NTC exige no alterar en ningún punto el funcionamiento correcto del vehículo; ahora, diseñar un espacio de carga para 5 personas (400 Kg según la teoría) obliga al parque automotor nacional a aumentar sus exigencias con el fabricante, y usar vehículos con configuraciones distintas, chasis reforzado, vehículos con 4 llantas traseras, sistemas de frenos rigurosos, etc. Pues el funcionamiento de una ambulancia es crítico al requerir altas potencias, velocidades rápidas en su atención, y cambios abruptos en su dinámica. A eso se suma que el proceso de adquisición se realiza como un vehículo regular con un chasis para construir sobre él, y desconocen en muchos casos el manual del carrocerero, no lo exigen o no se les hace relevante.

Continuando con el rigor sobre la norma, no entrega tabulaciones como las estipuladas en este método, pesos teóricos, o valores para efecto de diseño que orienten correctamente al

fabricante de la carrocería, por lo menos conocer las cargas regulares a operar y que requiere cumplir.

El anexo D de la NTC erra por falta de información, además, la herramienta para la ejecución física de esta prueba es compleja e inexistente por lo común; esto es un requerimiento por norma para una fábrica de este tipo de carrocerías, y se hace una necesidad desarrollar la herramienta para fabricar una condición particular (vehículo, modelo, marca, etc. Especifico), o una herramienta que se adapte a todas las condiciones, con valores adaptativos como tamaños para la placa de aplicación y cargas distintas en su operación para cumplir con rigor.

Se comprende que el proceso de fabricación vehicular es relativamente poco en Colombia, lo que limita muchas acciones de esta industria en fortalecerse y competir correctamente garantizando condiciones de seguridad, y a esto se suman las limitantes en los tipos de vehículos presentes en el parque automotor.

Ahora, el método pretende facilitar las necesidades del equipo diseñador, otorgándole herramientas para la fabricación de este núcleo fundamental en el desarrollo del compartimento de paciente, facilitándole instrucciones sobre como favorecer la seguridad con la estructura, los criterios de diseño a considerar sin contradicciones, y los parámetros dentro de los cuales se puede mover realmente el diseñador. Rigurosamente el método otorga ciertos excesos para que teóricamente el diseño siempre exceda la condición a la que estará sometido, que es el reto real que garantizar en operación.

La prueba simulada del método pretende otorgar otro medio para poder medir esa condición estructural de seguridad propuesta en el anexo D de la NTC, simulando la verdadera situación crítica para la estructura y sus condiciones, pudiendo alterar condiciones o modificar formas para mejorar ese comportamiento final y que la estructura cumpla en exceso.

Esta prueba no elimina la evaluación final sobre la estructura, este proceso de control de calidad debe incluirse físicamente en su manufactura, ya sea desarrollando la herramienta del anexo D para cumplir la norma nacional, o una alternativa como la presentada en este método.

Para la simulación, conocer el método de elementos finitos es crucial para entender el concepto de congruencia descrito en este proceso, relacionado a los resultados obtenidos y no fallar en ese análisis; iterar ese mallado es fundamental y también comprender los resultados y como variarlos, lo que hace en teoría, la correcta ejecución de la prueba; esto se puede volver otro método para optimizar tiempos, pero requiere de mayor información, múltiples diseños y un análisis estadístico sobre estas respuestas.

Es importante relacionar el detalle sobre las juntas, ya que el método no considera afectaciones por zonas de calor (caso de soldaduras), pero se puede evaluar si el equipo de diseño lo considera importante, realizando cambios sobre la configuración del software CAE en el modelo, particionando miembros (se fragmenta la zona del miembro que se espera sea afectada por el calor del proceso de soldadura y se une como “bounded”) y agregando un material más con las condiciones térmicas de respuesta, por ejemplo, la afectación del choque térmico al material 6061 T6 reducen sustancialmente su límite de fluencia, y ese nuevo material se relaciona en el miembro particionado afectado por la zona de calor.

Colombia requiere un mayor rigor sobre estos vehículos, no solamente en el proceso de fabricación requerido, también por quienes traen esos tipos de vehículos al mercado sin conocer realmente para que vayan a ser usados, sumado al desconocimiento de la norma por empresas prestadoras del servicio de salud, quienes solo dan cumplimiento a la resolución 3100 que es la única que revisan los entes de regulación, y no hay un trabajo real sobre el proceso de mantenibilidad del vehículo, cargas y la gestión de la flota por la entidad.

Intervenciones sobre vehículos tipo furgón (cabina-chasis) sin conocimiento del manual del carrocerero y sin contacto con el fabricante del vehículo son insostenibles para el desarrollo adecuado y la actividad de fabricación.; esto se traduce como una sugerencia para entidades que requieren este servicio, de un cambio de paradigma y más que un proceso de fabricación para la cabina del paciente, solo se dediquen a realizar el proceso de selección vehicular (con vehículos tipo van) correctamente, conociendo las cargas y solo dedicándose a la adecuación para la ejecución de la actividad de emergencia, para así garantizar los requerimientos seguridad vehicular de la norma nacional.

Sin una rigurosa adaptación, actualización o cambio de la norma, sistemas ADAS y postratamiento que se esperan para sistemas EURO 6 (que es a lo que el país espera migrar) se verán afectados, y la actualización de este parque automotor sufrirá sustancialmente; esto concluye en la relevancia de la adaptabilidad de la norma y la estandarización de procesos para dar garantías de funcionamiento, evaluación, y cumplir con condiciones reales de seguridad vial.

7. Conclusiones.

Se consolidó una matriz de decisión, criterios y cargas técnicas que traduce las ambigüedades de la normativa nacional, y esta nutrida por normas internacionales en parámetros de diseño cuantitativo con tabulaciones como bases de datos fundamentales para la metodología.

Se incluyeron herramientas CAD (SolidWorks) en el diseño, para agilizar los procesos conceptuales, detalle y análisis de forma, antes del proceso de evaluación sobre la ejemplificación propuesta, y facilitar modificaciones sobre el modelo.

Se diseñó una prueba de carga analizada con las normativas relacionadas, aprovechando software CAE (ANSYS) para su desarrollo, para evaluar correctamente el modelo y estipular respuestas para deformaciones, esfuerzos y factor de seguridad.

Se integraron herramientas CAE (ANSYS) que permitieron la transición de un modelo de validación físico-destructivo a uno virtual-predictivo, que debe ser constatado en su proceso de manufactura y control de calidad.

Se evaluó con criterios normativos para iterar correctamente el ciclo de diseño, cambiando configuraciones, modificando forma en la estructura y con la posibilidad de modificar el material, considerando peso, rigidez y resistencia para obtener un modelo final para la ejemplificación del método.

Se estructuró una metodología de diseño consolidada en una tabla con de 24 pasos, ofreciendo al sector carrocerero una hoja de ruta replicable para la calidad del diseño estructural y el cumplimiento de la NTC 3729:2018.

Referencias Bibliográficas

Asociación Española de Normalización. (2024). UNE-EN 1789:2021+A1:2024. Vehículos de transporte sanitario y sus equipos. Ambulancias de carretera. Madrid: UNE.

ASTM International. (2009). ASTM F2020-02a (Reapproved 2009): Standard practice for design, construction, and procurement of emergency medical services systems (EMSS) ambulances. ASTM International [PDF].

Byran, E., & Gilad, I. (2012). Design considerations to enhance the safety of patient compartments in ambulance transporters. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 18(2), 221–231 [PDF].

Coelho, A. de S., & Branco, V. (2017). Design research for the development of a medical emergency ambulance: Design as a symbolic qualifier in the design of complex systems/products. *The Design Journal*, 20(sup1), S2135–S2157 [PDF].

Congreso de la República de Colombia. (2002, 6 de agosto). Ley 769 de 2002: Por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre y se dictan otras disposiciones. http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0769_2002.html

Deros, B. M., Daruis, D. D. I., Thiruchelvan, S., Othman, R., Ismail, D., Rabani, N. F., Hatta, M. F. M., Hassan, A., & Zakaria, N. I. M. (2016). Evaluation on ambulance design and musculoskeletal disorders risk factors among ambulance emergency medical service personnel. *Iranian Journal of Public Health*, 45(Suppl. 1), 52–60 [PDF].

Ferreira, J., & Hignett, S. (2005). Reviewing ambulance design for clinical efficiency and paramedic safety. *Applied Ergonomics*, 36(1), 97–105 [PDF].

Hignett, S., Crumpton, E., & Coleman, R. (2009). Designing emergency ambulances for the 21st century. *Emergency Medicine Journal*, 26(2), 135–140 [PDF].

Hignett, S., Lang, A., Pickup, L., Ives, C., Fray, M., McKeown, C., & Wilkinson, J. (2020). Exploring the need for and application of human factors and ergonomics in ambulance design: Overcoming the barriers with technical standards. *Applied Ergonomics*, 85, 103061 [PDF].

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. (2018, 15 de agosto). NTC 3729:2018 Tipología vehicular. Ambulancias de transporte terrestre [Norma técnica]. ICONTEC.

McCormac, J. C., y Csernak, S. F. (2012). *Diseño de estructuras de acero* (5.^a ed.). Pearson Educación.

Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia. (2019, 25 de noviembre). Resolución número 3100 de 2019: Por la cual se definen los procedimientos y condiciones de inscripción de los prestadores de servicios de salud y de habilitación de los servicios de salud y se adopta el Manual de Inscripción de Prestadores y Habilitación de Servicios de Salud [PDF]. SCARE. <https://scare.org.co/wp-content/uploads/resolucion-3100-de-2019-versi%C3%B3n-copias-y-pegar.pdf>

Ministerio de Transporte. (2015, 6 de octubre). Resolución 3752 de 2015: Por la cual se establecen los dispositivos de seguridad para los vehículos automotores, remolques y semirremolques que se importen, fabriquen o ensamblen en el país. <https://bit.ly/Res3752-2015>

National Fire Protection Association. (2018). *NFPA 1917: Standard for automotive ambulances* (Ed.2019).

Smith, W. F., y Hashemi, J. (2014). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales* (5.^a ed.). McGraw-Hill Interamericana.

Apéndices**Apéndice A.** Tabla de pesos y valores para botiquín tipo C.

Elementos	Unidad	Cantidad	Peso (Kg)
GASAS LIMPIAS PAQUETE	Paquete X 100	2	1,2
GASAS ESTÉRILES PAQUETE	Paquete X 3	20	
APÓSITO o COMPRESAS NO ESTÉRILES	Unidad	8	
ESPARADRAPO DE TELA ROLLO 4"	Unidad	4	0,8
BAJALENGUAS	Paquete X 20	4	0,3
VENDA ELÁSTICA 2 X 5 YARDAS	Unidad	4	1,95
VENDA ELÁSTICA 3 X 5 YARDAS	Unidad	4	
VENDA ELÁSTICA 5 X 5 YARDAS	Unidad	4	
VENDA DE ALGODÒN 3 X 5 YARDAS	Unidad	4	
VENDA DE ALGODÒN 5 X 5 YARDAS	Unidad	4	
CLORHEXIDINA O YODOPOVIDONA (JABÓN QUIRURGICO)	Galón	2	8,1
SOLUCIÓN SALINA 500 cc	Unidad	10	5,5
GUANTES DE LÁTEX PARA EXAMEN	Caja X 100	2	2
TERMÓMETRO DE MERCURIO ó DIGITAL	Unidad	2	0,12
ALCOHOL ANTISÉPTICO FRASCO POR 275 ml	Unidad	2	0,52
VASOS DESECHABLES	Paquete por 25	2	0,4
ACETAMINOFÉN TABLETAS POR 500 mg	Sobre por 10	4	0,6
HIDRÓXIDO DE ALUMINIO TABLETAS	Sobre por 10	4	
ASA TABLETAS POR 100 mg	Sobre por 10	2	
ELEMENTO DE BARRERA o MÁSCARA PARA RCP	Unidad	2	0,5
Contenedor del botiquín (PLASTICO)	Unidad	1	4
TOTAL			25,99

Apéndice B Ficha técnica Land Cruiser 79.



VERSIÓN	LAND CRUISER 79 CHASÍS
DIMENSIONES EXTERIORES	
LARGO (mm)	5.220
ANCHO (mm)	1.795
ALTURA (mm)	1.970
DISTANCIA ENTRE EJES (mm)	3.180
ALTURA AL PISO (mm)	235
ÁNGULO DE ENTRADA (Grados)	35
ÁNGULO DE SALIDA (Grados)	29
TANQUE COMBUSTIBLE (Gal/L)	47,6 Gal / 180 L (DOBLE DEPÓSITO DE 90L)
PESO	
PESO VACÍO (kg)	1.975
PESO BRUTO VEHICULAR (kg)	3.200
CAPACIDAD DE CARGA (kg)	1.225
MOTOR	
CILINDRAJE (c.c.)	3.956
COMBUSTIBLE	GASOLINA EXTRA (95 OCTANOS RON O MÁS)
RELACIÓN DE COMPRESIÓN	10:1
POTENCIA MÁXIMA (hp @ rpm)	228 @ 5.200
TORQUE MÁXIMO (Nm @ rpm)	360 @ 3.800
TECNOLOGÍA MOTOR	6 CILINDROS EN V + 24 VÁLVULAS + DOHC + VVT-I + EFI
NIVEL DE EMISIONES	+ TRANSMISIÓN POR CADENA EURO IV + OBD
TRANSMISIÓN	
TRANSMISIÓN MECÁNICA: 5 VELOCIDADES + REVERSA	●
TRACCIÓN	
SISTEMA TRACCIÓN 4WD PART TIME	●
SELECTOR 4X2 - 4X4 TIPO PALANCA, POSICIONES: H2 - H4 - N - L4	●
BLOQUEO DIFERENCIAL TRASERO	●
BLOQUEO DIFERENCIAL DELANTERO	●
SUSPENSIÓN	
SUSPENSIÓN DELANTERA	EJE RÍGIDO CON RESORTES HELICOIDALES
SUSPENSIÓN TRASERA	EJE RÍGIDO CON BALLESTAS SEMIELÍPTICAS
BARRA ESTABILIZADORA DELANTERA	●
LLANTAS Y DIRECCIÓN	
LLANTAS	225/95 R16C
RINES	16 x 6J - ACERO
LLANTA DE REPUESTO	●
TIPO DE DIRECCIÓN	BOLAS RECIRCULANTES
ASISTENCIA DE DIRECCIÓN	ASISTENCIA HIDRÁULICA
TIMÓN EN URETANO	●
AJUSTE TIMÓN ALTURA Y PROFUNDIDAD	●
RADIO GIRO (m)	7,2 (RUEDA)
FRENOS	
FRENOS DELANTEROS CON DISCOS VENTILADOS	●
FRENOS TRASEROS DE TAMBOR	●
FRENO DE ESTACIONAMIENTO MANUAL	●
SEGURIDAD ACTIVA	
ASISTENCIAS DE SEGURIDAD ACTIVA	ABS + VSC + BA + EBD + HAC + A-TRC
MONITOR DE PRESIÓN DE LAS LLANTAS	●
LUZ DE FRENADO DE EMERGENCIA	●
SEGURIDAD PASIVA	
CINTURONES DE SEGURIDAD DELANTEROS	2 DE 3 PUNTOS + 1 DE 2 PUNTOS
CINTURONES DE SEGURIDAD TRASEROS	N/A
AIRBAGS (2): (1) CONDUCTOR + (1) PASAJERO	●