

LA FORMA ÓPTIMA DE CALCULAR UN CHASIS DE ASCENSOR MEDIANTE EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS

David Sánchez Mateo; Andrés Serrano Pastor

Ingeniería SAMAT S.L. - Zaragoza - david.sanchez@ingenieriasamat.es

FORO: COMPONENTES

RESUMEN

El cálculo estructural de un chasis de ascensor mediante elementos finitos es una herramienta de seguridad y optimización industrial. Sus resultados dependen de la fidelidad con la que se representen geometría, uniones, cabina, cargas y apoyos. Las simplificaciones excesivamente conservadoras pueden conducir a refuerzos innecesarios, cuyo coste se repercute en materias primas, fabricación, transporte y montaje durante toda la vida comercial del producto. La comunicación propone una metodología escalonada que comprende la definición del objetivo, el alcance físico del modelo, la preparación geométrica, la selección de elementos, la verificación de malla, los casos de carga y la evaluación conjunta de tensiones, deformaciones, estabilidad y uniones. Para productos de serie larga se plantea un nivel avanzado basado en no linealidad, contactos avanzados, cálculo dinámico transitorio del impacto, fatiga, sensibilidad y correlación experimental. El propósito es mantener la seguridad normativa y sustituir márgenes arbitrarios por conocimiento verificable y adecuar la profundidad del análisis al retorno industrial esperado.

Palabras clave: elementos finitos; chasis de ascensor; optimización estructural; impacto; no linealidad; fatiga.

La seguridad es una condición de partida. La optimización consiste en alcanzarla sin trasladar incertidumbres evitables al peso del producto.

1. INTRODUCCIÓN: LA CONSECUENCIA ECONÓMICA DEL CÁLCULO

El chasis constituye el vínculo estructural entre la cabina, el sistema de suspensión, los elementos de guiado, el paracaídas y los amortiguadores. Su diseño debe satisfacer los requisitos de seguridad aplicables y conservar la geometría funcional del conjunto. Junto a estas obligaciones existe una segunda dimensión, especialmente relevante para fabricantes: cada kilogramo incorporado al diseño se replica en todas las unidades fabricadas.

Una metodología de cálculo mejorable debe conducir necesariamente a una estructura segura. En la práctica industrial suele producir el efecto opuesto: ante la incertidumbre sobre las cargas, los apoyos, las uniones o la interpretación de los resultados, se incrementan espesores y se añaden refuerzos. Esta decisión reduce el riesgo aparente del cálculo, pero incorpora costes recurrentes de material, corte, plegado, soldadura, pintura, transporte, manipulación y montaje. También incrementa la masa móvil y condiciona otros componentes del sistema.

El cálculo se realiza una vez; el sobrepeso se fabrica, se sufre y se paga en cada unidad.

1.1. DEL MARGEN NORMATIVO AL MARGEN ARBITRARIO

Debe distinguirse entre los coeficientes prescritos por la normativa, los márgenes técnicos asociados a incertidumbres identificadas y el sobredimensionamiento introducido únicamente por falta de confianza en el modelo. En lenguaje coloquial, este último se denomina en ocasiones «coeficiente de la almohada»: el margen añadido para que el ingeniero responsable duerma tranquilo. La expresión resulta útil siempre que no se confunda con una invitación a reducir la seguridad. El objetivo es eliminar únicamente reservas no justificadas mediante una representación física mejor, verificaciones independientes y control de fabricación.

Tipo de margen	Origen	Tratamiento
Reglamentario	Norma y evaluación de conformidad	Se aplica íntegramente.
Técnico justificado	Variabilidad de cargas, materiales, montaje o uso	Se documenta y controla.
Arbitrario	Incetidumbre no analizada o acumulación de hipótesis	Se sustituye por mejor modelización o validación.

Por tanto, la optimización no consiste en aproximarse de forma imprudente a un límite, sino en conocer el margen real, identificar dónde es necesario y evitar que varias hipótesis conservadoras se multipliquen entre sí.

1.2. DEFINICIÓN DEL CHASIS

Aunque parezca contraintuitivo, la definición de un chasis, más bien, todo el ascensor en sí; no lo hacen los responsables técnicos, sino la Alta Dirección de la empresa. Mediante su idiosincrasia y plasmado en los manuales de Calidad y de Diseño, son los responsables de decidir qué tipo de producto quiere vender: ligero, barato (“batallero”), robusto, de alta calidad, etc.

Y, en función de estas directrices, el diseño se realizará de una forma u otra.

2. DEFINICIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MODELO DE CÁLCULO

Antes de empezar debe definirse qué decisión se pretende adoptar. No requiere el mismo modelo una verificación preliminar de un chasis único que la optimización de una familia destinada a fabricarse durante diez o doce años. La extensión física del modelo, el tipo de análisis y el nivel de detalle deben responder a esa decisión.

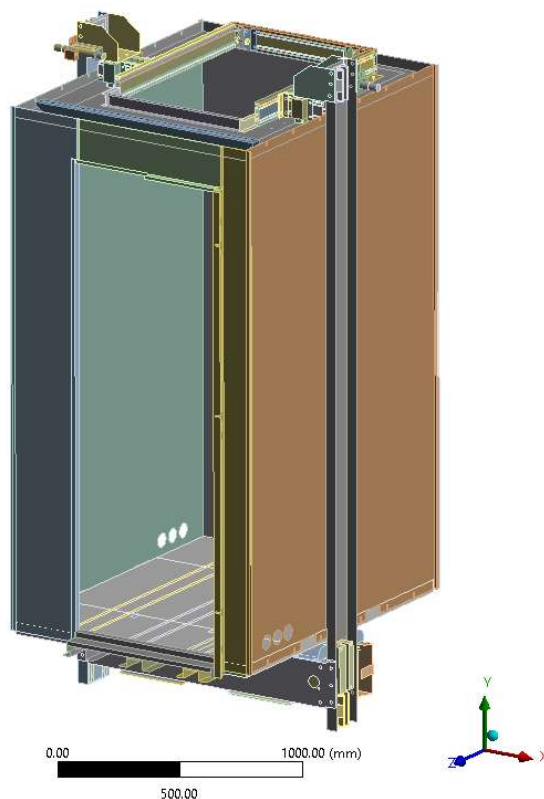


Figura 1. Ejemplo de modelo global con cabina y chasis. Fuente: caso de cálculo de Ingeniería SAMAT.

2.1. POR QUÉ CONVIENE INCLUIR LA CABINA

El análisis aislado del chasis obliga a sustituir la cabina por cargas y restricciones equivalentes. Esta simplificación puede ser válida en fases iniciales, pero requiere demostrar cómo se reparte la carga y qué rigidez aportan el suelo, los cerramientos y sus uniones. La cabina puede actuar como diafragma, redistribuir esfuerzos entre largueros, modificar la torsión y limitar o amplificar desplazamientos. Las masas de puertas, pisaderas, decoración y equipos introducen además excentricidades que no quedan representadas mediante una carga uniforme genérica.

Incluir una representación simplificada de la cabina suele ser preferible a presuponerla infinitamente rígida o completamente desacoplada. También permite comprobar compatibilidades funcionales: deformaciones que no comprometen el límite elástico pueden afectar a holguras, nivelación, puertas o confort.

2.2. POR QUÉ CONVIENE INCLUIR LAS GUÍAS Y FIJACIONES

El nivel más completo incorpora la interacción con rozaderas, paracaídas, tramos relevantes de guía y fijaciones. No siempre es necesario modelar la longitud completa. La rigidez equivalente puede representarse mediante vigas, muelles o conexiones remotas, reservando el detalle para ménsulas y anclajes críticos. Esta ampliación permite obtener reacciones coherentes y estudiar la influencia conjunta de la deformación de guías, fijaciones, estructura portante y juegos del guiado.

El modelo óptimo no es el que contiene más piezas, sino el que reproduce el camino de las cargas con la fidelidad necesaria para decidir.

3. GEOMETRÍA, ELEMENTOS Y UNIONES

La geometría de fabricación no debe trasladarse al modelo sin una preparación previa. El objetivo es conservar rigidez, masa, excentricidades, áreas resistentes y puntos de transmisión de carga, eliminando detalles que solo incrementan el coste computacional.

Zona o componente	Representación habitual	Criterio de decisión
Chapas delgadas	Elementos shell en superficie media	Relación espesor/dimensiones y flexión de placa.
Bloques, ejes y piezas gruesas	Elementos sólidos	Estado tensional tridimensional o contacto local.
Perfiles esbeltos	Elementos viga o shell	Necesidad de tensiones locales y pandeo de pared.
Tornillos no críticos	Vigas, conectores o uniones equivalentes	Rigidez y transmisión global.
Tornillos/uniones críticas	Contacto y pretensado; detalle sólido si procede	Deslizamiento, separación y reparto entre tornillos.
Soldaduras	Unión idealizada más evaluación local específica	Categoría de detalle, garganta y trayectoria de tensiones.

3.1. SIMPLIFICACIÓN SELECTIVA

Pueden eliminarse redondeos y taladros pequeños alejados de zonas solicitadas. Deben mantenerse cambios de sección, pliegues, cartelas, aberturas y radios que gobiernen la rigidez, el pandeo o la concentración de tensiones. En elementos shell es necesario revisar espesor, orientación, continuidad de superficies medias y excentricidades. Una simplificación geométrica correcta reduce tiempo de solución sin alterar la respuesta buscada.

3.2. LAS UNIONES FORMAN PARTE DEL MODELO RESISTENTE

Una unión completamente rígida, articulada o adherida constituye una hipótesis. Debe compararse con la realidad de la soldadura, el apriete, la fricción y las posibles holguras. En zonas no críticas pueden emplearse conectores equivalentes; en las zonas que condicionan el diseño conviene representar apertura, cierre, contacto y deslizamiento. La rigidez de la unión puede cambiar el reparto de esfuerzos tanto como el espesor de una chapa.

La estrategia eficiente combina un modelo global con submodelos locales. El primero proporciona desplazamientos y fuerzas de interfaz; el segundo permite estudiar tornillos, soldaduras, contactos o radios sin extender una malla extremadamente fina al conjunto completo.

4. MALLADO Y VERIFICACIÓN NUMÉRICA

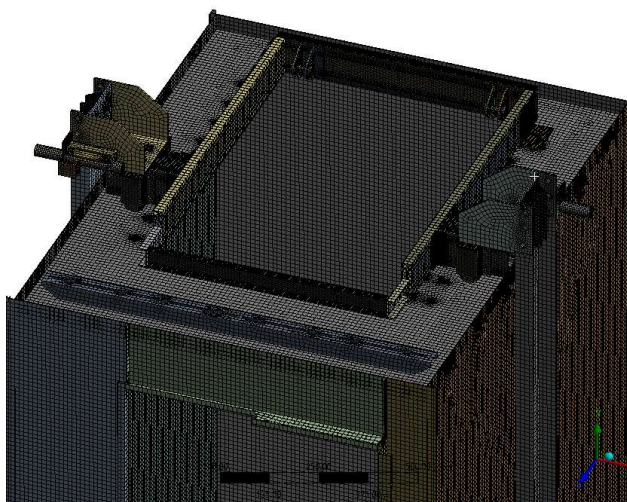


Figura 2. Detalle de una malla mixta en cabina y chasis. Fuente: caso de cálculo de Ingeniería SAMAT.

La calidad geométrica de los elementos es necesaria, pero no suficiente. Indicadores como skewness, orthogonal quality o element quality detectan elementos distorsionados; no demuestran por sí solos que el tamaño de malla sea adecuado ni que la solución represente correctamente el fenómeno.

4.1. SENSIBILIDAD Y CONVERGENCIA

La malla debe refinarse en entradas de carga, contactos, uniones, pliegues, cambios de sección y zonas próximas a apoyos. La verificación se realiza comparando al menos dos o tres niveles de refinamiento y controlando magnitudes físicamente estables: desplazamientos globales, reacciones, energía, fuerzas en conectores, tensiones estructurales promediadas y factores de pandeo. La convergencia de un máximo puntual de tensión no siempre es posible ni necesaria.

4.2. SINGULARIDADES

Una carga puntual, una arista viva, una restricción ideal o una unión rígida pueden generar singularidades: al reducir el tamaño del elemento, el pico de tensión aumenta sin converger. Reforzar directamente esa zona puede convertir un artefacto numérico en peso permanente. Tampoco es correcto eliminar el resultado por el mero hecho de superar el límite del material. Debe identificarse el origen mediante refinamiento, revisión de condiciones de contorno, modelización de radios o contactos, linealización de tensiones y, cuando proceda, submodelado.

Una malla más fina no corrige unas hipótesis mejorables: únicamente resuelve esas hipótesis con mayor precisión.

Como verificación adicional, deben equilibrarse cargas y reacciones, compararse órdenes de magnitud con cálculos manuales y revisar visualmente la deformada. Estas comprobaciones sencillas detectan errores de unidades, restricciones redundantes y caminos de carga incompatibles.

5. CASOS DE CARGA Y CONDICIONES DE CONTORNO

El chasis no trabaja del mismo modo en todos los estados. La suspensión, el paracaídas, los amortiguadores y los dispositivos de mantenimiento introducen las reacciones verticales en posiciones diferentes. Por ello no existe una única «carga del ascensor», sino combinaciones con caminos resistentes específicos.

Escenario	Acciones principales	Reacción o apoyo dominante
Funcionamiento normal	Peso propio, carga útil descentrada, puertas, equipos y aceleraciones	Puntos de suspensión y guiado.
Actuación del paracaídas	Inercia de masas y excentricidades con factor aplicable	Paracaídas y guías.
Impacto sobre amortiguadores	Masa, velocidad, desaceleración y curva fuerza-carrera	Huellas reales de los amortiguadores.
Rebote del contrapeso	Impacto que sufre el chasis como efecto secundario de la actuación del paracaídas	Paracaídas acunados
Carga y descarga	Efecto excéntrico al cargar el ascensor	Puntos de suspensión y rozaderas
Mantenimiento	Personas, equipos y cargas locales	Cerrojos, apoyos o zonas de acceso.
Acuñamiento del contrapeso	Efecto secundario de la activación del paracaídas del contrapeso	Puntos de suspensión y guiado.

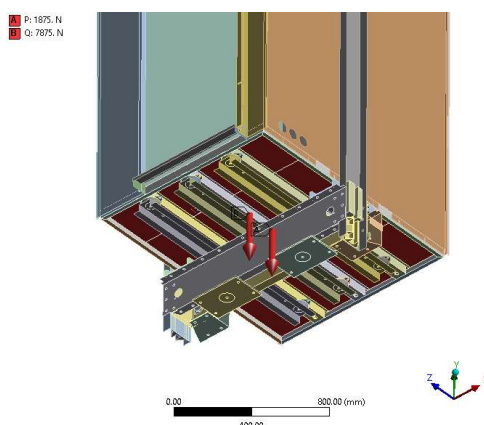


Figura 3. Ejemplo de aplicación de cargas descentradas sobre el suelo de cabina. Fuente: caso de cálculo de Ingeniería SAMAT.

5.1. REQUISITOS LOCALES Y RESPUESTA GLOBAL

Debe evitarse trasladar automáticamente a todo el chasis un requisito formulado para un componente o fenómeno concreto. En particular, el requisito de resistencia del suelo asociado a una carga multiplicada no equivale, por sí mismo, a imponer cuatro veces el peso de la cabina y la carga útil como carga estática global del chasis durante el impacto contra los amortiguadores. Esta extrapolación puede crear solicitaciones artificiales y conducir a refuerzos innecesarios.

El chasis sí debe resistir la respuesta real del impacto. La reacción entra por las huellas de los amortiguadores y se transmite a través de los elementos inferiores; intervienen la masa efectiva, la velocidad, la carrera y característica del amortiguador, su número y posición, la posible falta de simultaneidad y las excentricidades. La hipótesis simplificada utilizada debe documentarse y contrastarse con los requisitos normativos aplicables al diseño concreto.

6. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS Y CÁLCULO LINEAL

La tensión equivalente de Von Mises es una magnitud útil para materiales dúctiles, pero no constituye por sí sola un criterio completo de aceptación. Deben evaluarse desplazamientos, estabilidad, reacciones, tornillos, soldaduras, contactos y compatibilidad funcional. En chapas delgadas puede gobernar el pandeo; en uniones soldadas puede gobernar la fatiga; en puertas o guiado puede gobernar una deformación muy inferior a la asociada al límite elástico.

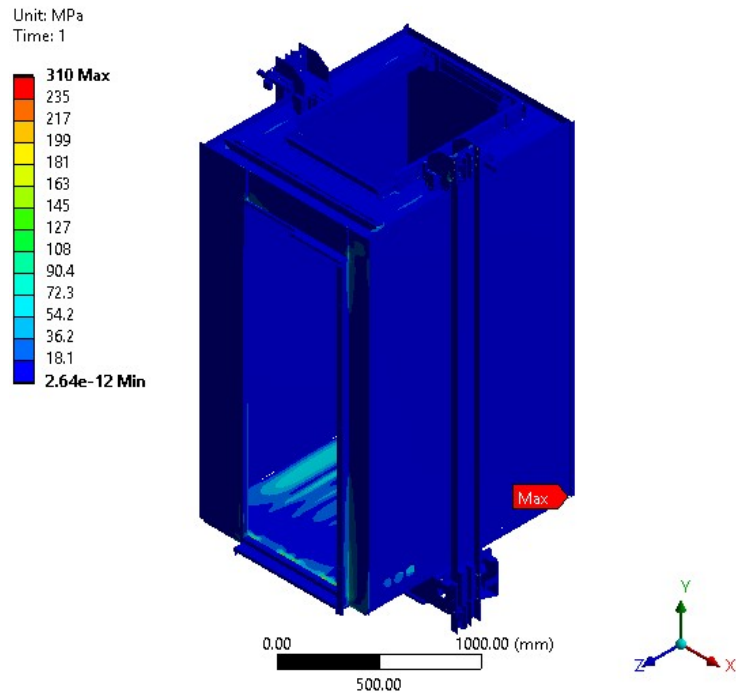


Figura 4. Campo de tensión equivalente en un caso de carga. Los máximos locales deben interpretarse atendiendo a su extensión y convergencia. Fuente: caso de cálculo de Ingeniería SAMAT.

Comprobación	Pregunta de ingeniería
Resistencia	¿Las tensiones estructurales son compatibles con el material y el criterio adoptado?
Rigidez	¿Las deformaciones mantienen puertas, holguras, nivelación y guiado?
Estabilidad	¿Existen modos de pandeo local o global relevantes?
Uniones	¿Tornillos y soldaduras transmiten las fuerzas sin fallo, separación o deslizamiento inadmisibles?
Equilibrio	¿La suma de reacciones coincide con las acciones aplicadas?
Robustez	¿El resultado permanece aceptable ante tolerancias y variaciones previsibles?

6.1. ALCANCE DEL ANÁLISIS LINEAL

El análisis estático lineal es adecuado cuando el material permanece elástico, las deformaciones son pequeñas, las condiciones de contacto no cambian y la carga dinámica puede representarse mediante un factor equivalente validado. Su principal ventaja es la rapidez: permite comparar variantes y detectar caminos de carga con un coste razonable. Para unidades especiales y series cortas puede constituir el nivel óptimo si se acompaña de márgenes justificados.

La decisión de avanzar a un análisis más complejo debe basarse en el riesgo, la no linealidad esperada, el volumen de fabricación y el retorno potencial de la optimización.

7. CÁLCULO AVANZADO PARA PRODUCTOS DE SERIE

7.1. NO LINEALIDAD

Un modelo no lineal permite representar grandes desplazamientos, pérdida de rigidez, plasticidad, contactos que abren o cierran, fricción, pretensado y deslizamiento de uniones. Puede descubrir inestabilidades no visibles en un cálculo lineal o, por el contrario, demostrar redistribuciones que evitan interpretar una plastificación local como fallo global. No se utiliza para obtener resultados más favorables, sino para aproximar mejor el comportamiento físico cuando deja de ser proporcional.

7.2. IMPACTO DINÁMICO TRANSITORIO

La sustitución de un impacto por una fuerza estática amplificada es práctica, pero no reproduce su evolución temporal. Un análisis dinámico transitorio incorpora velocidad inicial, masa e inercia, rigidez y amortiguamiento, curva fuerza-carrera del amortiguador, contacto y posible asincronía entre apoyos. Permite conocer aceleraciones, fuerza máxima, duración del pulso, oscilación posterior y secuencia de transmisión de esfuerzos.

Un coeficiente estático estima el efecto del impacto; un cálculo dinámico permite comprender cómo se produce y cómo se reparte.

7.3. FATIGA

Resistir la carga máxima una vez no garantiza la vida del producto. Arranques, frenadas, variaciones de carga, vibraciones y otros ciclos generan rangos de tensión que pueden afectar especialmente a soldaduras, taladros, pliegues, cambios de sección, soportes de poleas y anclajes. El análisis requiere definir espectros de uso, número de viajes, vida objetivo, distribución de cargas y categorías de detalle. En estructuras soldadas no debe basarse únicamente en el máximo de Von Mises, sino en el método de evaluación de fatiga y los rangos de tensión correspondientes.

Nivel	Contenido	Aplicación habitual
Convencional	Estático lineal, casos normativos, sensibilidad de malla	Verificación y series cortas.
Avanzado	No linealidad, contactos, pandeo e imperfecciones	Zonas críticas y optimización.
Producto de serie	Dinámica transitoria, fatiga, sensibilidad, ensayo y correlación	Familias con volumen y vida comercial prolongada.

8. ESTRATEGIA INDUSTRIAL Y CONCLUSIONES

La profundidad del cálculo debe guardar relación con el número de unidades, la vida comercial y el coste recurrente del peso. En una unidad especial, una reserva adicional puede ser económicamente razonable si evita una campaña de validación desproporcionada. En una serie larga, la inversión inicial en modelización, ensayos y correlación puede amortizarse en cada chasis producido.

Serie corta o unidad especial	Serie larga
Modelo lineal bien planteado.	Modelo lineal como referencia.
Simplificaciones documentadas.	No linealidad en fenómenos relevantes.
Márgenes adicionales justificados.	Impacto dinámico cuando permita reducir incertidumbre.
Validación de zonas esenciales.	Fatiga, tolerancias y espectros de uso.
Optimización limitada por su retorno.	Ensayos, correlación y optimización paramétrica.

8.1. RETORNO DE LA OPTIMIZACIÓN

El retorno puede expresarse como el ahorro unitario multiplicado por el volumen previsto, menos el coste adicional de cálculo, ensayo y validación. El ahorro unitario no se limita al precio del acero: incluye operaciones de fabricación, soldadura, acabado, transporte, manipulación, montaje y efectos derivados de la masa móvil. Una reducción moderada de peso puede adquirir una dimensión relevante cuando se replica durante diez o doce años.

El desarrollo avanzado se paga una vez, mientras que el sobredimensionamiento se paga en todas las unidades.

8.2. CONCLUSIONES

- La calidad del modelo depende principalmente de sus hipótesis físicas: alcance, uniones, cargas y apoyos.
- La cabina debe incluirse o sustituirse mediante una equivalencia demostrada; su rigidez y sus excentricidades modifican el camino de las cargas.
- La malla debe verificarse mediante sensibilidad y las singularidades deben interpretarse antes de reforzar.
- Los requisitos locales no deben extrapolarse indiscriminadamente al conjunto estructural.
- Los análisis no lineal, dinámico y de fatiga constituyen herramientas de optimización especialmente valiosas para series largas.
- La optimización no reduce la seguridad: reduce la incertidumbre y concentra el material donde aporta función resistente.

Calcular mejor cuesta una vez. Fabricar peso innecesario cuesta durante toda la vida comercial del producto.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] UNE-EN 81-20:2020. Reglas de seguridad para la construcción e instalación de ascensores. Ascensores para el transporte de personas y cargas. Parte 20.
- [2] UNE-EN 81-50:2020. Reglas de diseño, cálculos, inspecciones y ensayos de componentes de ascensor.
- [3] UNE-EN ISO 12100:2012. Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo.
- [4] UNE-EN 1993-1-9. Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Fatiga.
- [5] Bathe, K. J. Finite Element Procedures. Prentice Hall, 1996.
- [6] Ingeniería SAMAT S.L. Informe técnico de cálculo estructural de chasis de ascensor mediante MEF, 2025.