 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

DISEÑO DE GRÚA PARA FACILITAR IZADO DE PACIENTES CON DISCAPACIDAD

Esteban Albeiro Aguirre González

Aarón Alberto Londoño Garay

Ingeniería electromecánica

M. Ing. Luis Fernando Cardona Sepúlveda.

Asesor

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

2018

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

Una de las actividades del día de los pacientes hospitalizados en instituciones de salud, y de las personas con discapacidades psicomotrices o discapacitados, es poder realizar el baño personal de forma práctica, sencilla y cómoda, no solo para ellos mismos, sino para sus acompañantes y/o personal asistencial, quienes son los que finalmente sufren el desgaste de la actividad. En este trabajo se realizó un diseño de un dispositivo que levante al paciente, el cual pueda facilitar la actividad del baño/aseo y poderlos movilizar en desplazamientos pequeños para acomodarlos, en la cama y en una silla de ruedas.

Para llegar al diseño final, se siguió una metodología de diseño que evalúa diferentes alternativas existentes o posibles para alcanzar la mejor opción. La estructura fue modelada en un programa CAD y simulada en un software de elementos finitos, para garantizar que la estructura soportara adecuadamente los esfuerzos a los que está sometido y que la deformación fuera aceptable. La estructura resultante es ergonómica, liviana y de fácil fabricación.

Palabras clave: Elementos finitos, grúa de izado, pacientes, simulación, discapacidad, sobrepeso

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Este trabajo no se hubiera sido podido realizarlo sin la preparación y los conocimientos que nos proporcionó el instituto tecnológico metropolitano (ITM) por lo mismo estoy profundamente agradecido y en permanente deuda con ella y con los profesores que tuve a bien conocer los cuales nos dieron un cambio de mentalidad he ideología que nos ayudaron a ser mejores profesionales

Dedicamos este proyecto de grados a Dios y a nuestros padres hermanos esposa e hijos. A Dios porque ha estado con nosotros a cada paso que damos, cuidándonos y dándonos fortaleza para continuar en todo este proceso de educación a todas nuestras familiar que nos han apoyado desde el comienzo de esta carrera

Agradecimientos también a todos nuestros compañeros que estuvieron a lo largo del tiempo realizando trabajos y logrando aprendizajes juntos espero que todos logren terminar sus carreras y sigamos en contacto siendo excelentes profesionales muchos éxitos

Por esto agradecemos a nuestro director de proyecto profesor LUIS FERNANDO CARDONA SEPÚLVEDA, por la paciencia los regaños correcciones y conocimiento que nos transmitió a través de sus clases muchas gracias por ser parte fundamental de nuestra formación

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

BC = Condición de borde

CAD = Diseño asistido por computador

D = Diámetro interior del cilindro

d = Diámetro del vástago del pistón

dx = distancia

E = Módulo de elasticidad del material

F = Fuerza

FEM = Método de elementos finitos

FS = Factor de seguridad

I = Momento de inercia mínimo del area transversal de la columna

L = Longitud no soportada de la columna cuyos extremos estan articulados

M = Momento

n = normal

P = Presión de operación

Pcr = Carga axial crítica o máxima sobre la columna justo antes de que se comience a pandear

t = Tracción

u = Desplazamiento

W = Peso

θ = Ángulo

σ = Esfuerzo normal

σ_{cr} = Esfuerzo crítico

$\sigma_{VonMises}$ = Esfuerzo de von Mises

τ = Esfuerzo cortante

ε = Deformación unitaria normal

γ = Deformación unitaria cortante

ν = Módulo o coeficiente de Poisson del material.

Γ = Frontera

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	7
1.1 Generalidades	7
1.2 Objetivos	8
1.2.1 Objetivo general	8
1.2.2 Objetivos específicos.....	8
2. MARCO TEÓRICO	9
2.1 Discapacidad motriz	9
2.2 Obesidad y sobrepeso	10
2.3 Método de elementos finitos.....	12
2.3.1 Pasos básicos.....	12
2.3.2 Relaciones de esfuerzo-deformación-desplazamiento	12
2.3.3 Condiciones de frontera.....	15
2.3.4 Esfuerzo de von Mises.....	16
2.4 Estado del arte	16
3. METODOLOGÍA.....	21
3.1 Metodología de diseño conceptual.....	21
3.2 Paso a paso de simulación elementos finitos en ANSYS	22
3.2.1 Engineering data (Datos de ingeniería).....	24
3.2.2 Creación de geometría	24
3.2.3 Mallado y condiciones de borde	25
3.3 Estimación del costo.....	28
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1 Elección del mejor diseño	29
4.1.1 Enunciado del objetivo.....	29
4.1.2 Necesidades del cliente.....	29
4.1.3 Identificación de atributos	30

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.1.4 Lista de objetivos jerárquicos.....	31
4.1.5 Comparación de pares de objetivo	32
4.1.6 Diagrama de funciones.....	34
4.1.7 Lista de especificaciones	35
4.1.8 Brainstorming (tormenta de ideas).....	35
4.1.9 Pesos ponderados	35
4.1.10 Selección de la solución más prometedora	37
4.2 Análisis de elementos finitos de diseño propuesto	42
4.2.1 Análisis de esfuerzo de von Mises.....	43
4.2.2 Análisis de deformación	48
4.3 Diseño del cilindro hidráulico.....	38
4.3.1 Cálculo del cilindro	39
4.3.2 Cálculo de pandeo	41
4.4 Costo.....	50
CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.....	51
REFERENCIAS	53
APÉNDICES	54

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

El baño se constituye en una de las actividades de mayor beneficio en el proceso de recuperación un paciente con discapacidad o dificultades motrices. Sin embargo, la incapacidad del paciente para realizar algunos movimientos del cuerpo ya sea por sí mismo o ayudado por una persona acompañante y/o personal asistencial, dificulta su aseo personal y por tanto su recuperación. Aunque existen grúas para levantar pacientes en el mercado, estas son de alto costo y deben ser importadas desde el exterior. Con este trabajo se pretende proponer el diseño de un dispositivo de bajo costo que pueda levantar a un paciente con discapacidad o dificultades motrices que facilite su cuidado. En este trabajo se diseñó una grúa que soporta 270kg para mejor desempeño del trabajo hospitalario.



Figura 1. Grúa de izados (ENERPAC, 2001)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Diseñar un dispositivo mecánico simple que pueda levantar a personas y/o pacientes con discapacidades motrices para facilitar el aseo personal.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar las soluciones comerciales existentes para determinar características tales como precio, carga máxima, ventajas y desventajas.
- Calcular los esfuerzos y deformaciones de la estructura del dispositivo tipo grúa mecánico, que sea capaz de levantar pacientes con obesidad.
- Diseñar el sistema de levantamiento de carga adecuado para el dispositivo tipo grúa.
- Estimar el costo de fabricación del diseño de la grúa para pacientes.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Discapacidad motriz

La movilidad motriz de una persona puede derivar en riesgos, particularmente en las dorsales, lumbares y la mayoría de las extremidades del cuerpo con las que realizamos movimientos en los distintos tipos de empleos. Los trabajadores de unidades hospitalarias son más expuestos a realizar estos tipos de movimientos para poder ayudar a movilizar los pacientes. La discapacidad en Colombia es un tema de suma importancia ya que es el segundo país en Latinoamérica con mayor discapacidad como se muestra en la figura 2. Esta situación genera más preocupación cuando vemos la actual situación del sistema de salud del país y los procedimientos que se manejan dentro de unidades hospitalarias locales.

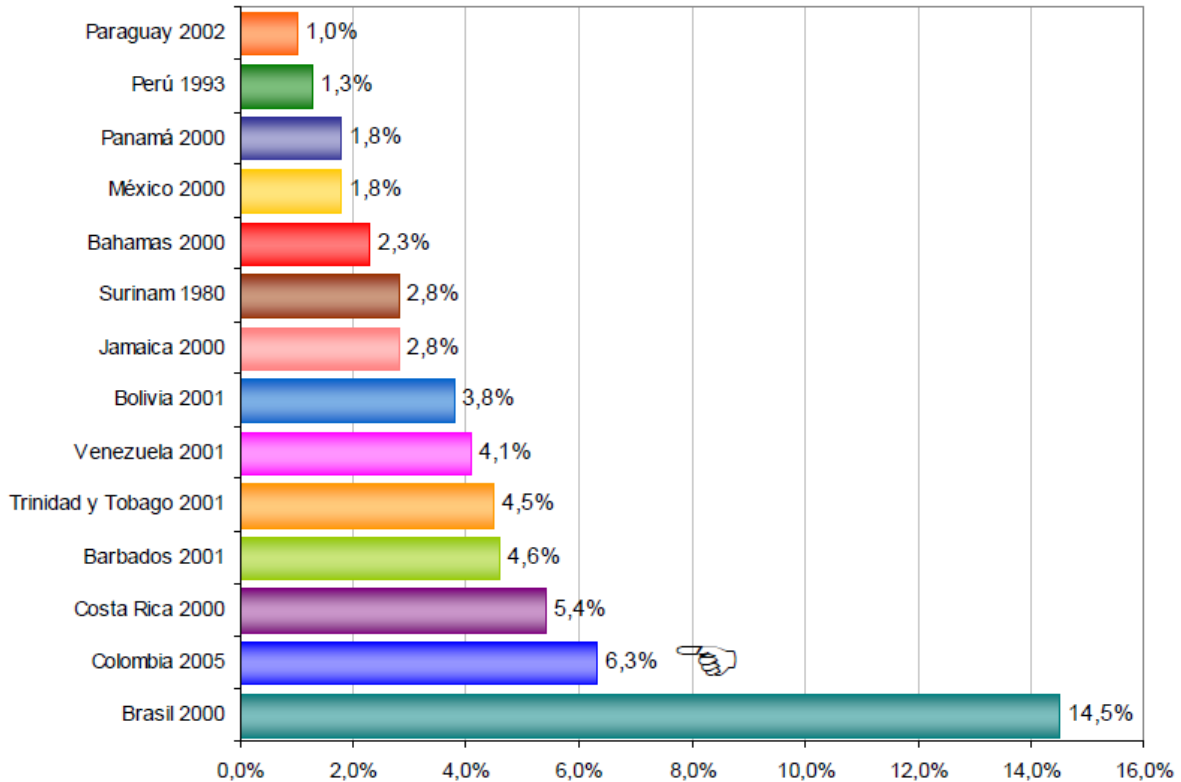


Figura 2. Porcentaje de discapacidad en Colombia y latino américa (MINSALUD, 2015)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El 28,3% de las personas con discapacidad refieren que su discapacidad es principalmente consecuencia de alguna enfermedad general, el 11,3% indica que es consecuencia de algún accidente y un 9,9% señala que es principalmente debido a alteraciones genéticas o hereditarias. Las lesiones autoinfligidas (0,4%) y los desastres naturales (0,1%) con las consecuencias que con menor frecuencia identificaron las personas con discapacidad. Solo el 0,5% de las personas con discapacidad informan que la consecuencia de su discapacidad fue el conflicto armado, probablemente debido a subregistro o a la letalidad de algunos hechos victimizantes.

Los lugares donde las personas con discapacidad encuentran las principales barreras que les impiden desarrollar sus actividades diarias con mayor autonomía son:

- Calle o vías (45,7%),
- Escaleras (40,5%),
- Vehículos de transporte público (33,5%)
- Andenes y aceras (28,6%)
- Parques, plazas, estadios, teatros e iglesias (25,1%)

También es relevante que los espacios de las viviendas, centros educativos y centros de salud son los que menor número de personas identifican con barreras.

2.2 Obesidad y sobrepeso

Se estima que en el año 2016 más de 1900 millones de adultos de 18 o más años tenían sobrepeso, de los cuales, más de 650 millones son obesos. La mayoría de la población mundial vive en países donde el sobrepeso y la obesidad se cobran más vidas de personas que la insuficiencia ponderal. 41 millones de niños menores de cinco años tenían sobrepeso o eran obesos pero La obesidad puede prevenirse.

El sobrepeso y la obesidad se definen como una acumulación anormal o excesiva de grasa que puede ser perjudicial para la salud. El índice de masa corporal (IMC) es un indicador simple de la relación entre el peso y la talla que se utiliza frecuentemente para identificar el sobrepeso y la obesidad en

los adultos. Se calcula dividiendo el peso de una persona en kilos por el cuadrado de su talla en metros (kg/m²).

El IMC proporciona la medida más útil del sobrepeso y la obesidad en la población, pues es la misma para ambos sexos y para los adultos de todas las edades. Sin embargo, hay que considerarla como un valor aproximado porque puede no corresponderse con el mismo nivel de grosor en diferentes personas.



Figura 3. Fórmula de peso para determinar obesidad (Tomadieta, 2016)

A nivel mundial, el sobrepeso y la obesidad están vinculados con un mayor número de muertes que la insuficiencia ponderal. En general, hay más personas obesas que con peso inferior al normal. Ello ocurre en todas las regiones, excepto en partes de África subsahariana y Asia. A nivel mundial ha ocurrido lo siguiente:

- Un aumento en la ingesta de alimentos de alto contenido calórico que son ricos en grasa; y
- Un descenso en la actividad física debido a la naturaleza cada vez más sedentaria de muchas formas de trabajo, los nuevos modos de transporte y la creciente urbanización.

La causa fundamental del sobrepeso y la obesidad es un desequilibrio energético entre calorías consumidas y gastadas. A menudo los cambios en los hábitos alimentarios y de actividad física son consecuencia de cambios ambientales y sociales asociados al desarrollo y de la falta de políticas de apoyo en sectores como la salud; la agricultura; el transporte; la planificación urbana; el medio ambiente; el procesamiento, distribución y comercialización de alimentos, y la educación.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.3 Método de elementos finitos

2.3.1 Pasos básicos

Los pasos básicos que aparecen en cualquier método de elementos finitos

1. **Preprocesado:** esta etapa incluye:

- Discretización: Crear el dominio CAD y subdividir el problema en nodos y elementos finitos (mallado). Mientras mas subdivisiones se realicen, los resultados serán más detallados, pero a un costo computacional mas alto.
- Definir las propiedades del material a utilizar, tales como el módulo de Young (E) y el coeficiente de Poisson (ν).
- Asumir una función de forma para representar el comportamiento físico de un elemento; es decir, una función continua se supone para representar el comportamiento aproximado (solución) de un elemento.
- Desarrollar las ecuaciones para un elemento. Ensamblar los elementos para presentar todo el problema. Construir la matriz de rigidez global y aplicar las condiciones de fronteras y condiciones iniciales de carga.

2. **Solución:** En esta fase se resuelve un conjunto de ecuaciones algebraicas lineales o no lineales de forma simultánea para obtener resultados nodales, tales como los valores de desplazamiento en diferentes nodos o valores de temperatura en diferentes nodos de un problema de transferencia de calor.

3. **Postprocesado:** Se obtienen y analizan los resultados, tales como los esfuerzos principales y la deformación.

2.3.2 Relaciones de esfuerzo-deformación-desplazamiento

Las seis componentes de esfuerzo independientes que determinan el estado de esfuerzos en un punto de un cuerpo elástico 3D (figura 4) se pueden escribir como (Correa Legorreta, 2017) (Hibbeler, 2006):

$$\text{Ecuación 1: } \sigma = \{\sigma\} = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} = [\sigma_{ij}]$$

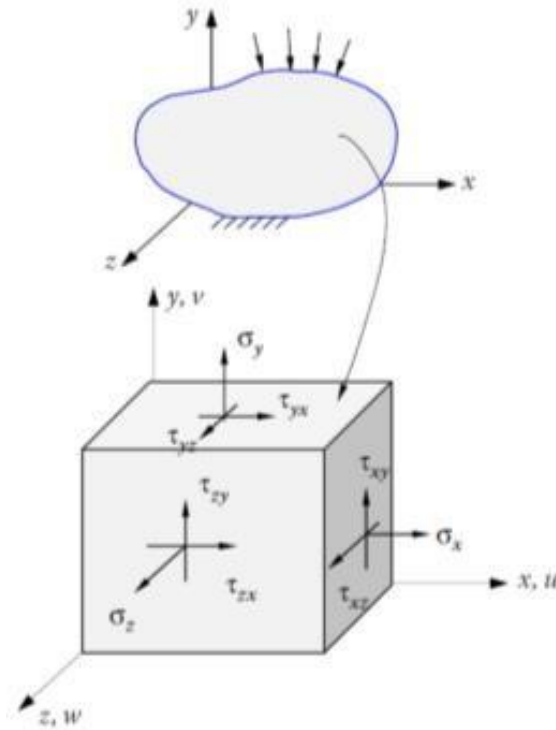


Figura 4. Esfuerzo de punto estático en 3D (Correa Legorreta, 2017)

Del mismo modo, las seis componentes de la deformación unitaria independientes en 3D se pueden expresar como:

$$\text{Ecuación 2: } \varepsilon = \{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix} = [\varepsilon_{ij}]$$

La relación esfuerzo - deformación unitaria en 3D está dada por:

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Ecuación 3:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix}$$

El campo de desplazamiento puede ser descrito como:

$$\text{Ecuación 4: } u = \begin{Bmatrix} u(x, y, z) \\ v(x, y, z) \\ w(x, y, z) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix}$$

El campo de deformación unitaria está relacionado con el campo de desplazamiento como se indica a continuación:

$$\text{Ecuación 5: } \varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z}$$

$$\text{Ecuación 6: } \gamma_{xy} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}, \quad \gamma_{yz} = \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z}, \quad \gamma_{xz} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}$$

Estas seis ecuaciones se pueden escribir de la siguiente forma:

$$\text{Ecuación 7: } \varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right), \quad i, j = 1, 2, 3$$

O simplemente, en notación tensorial

$$\text{Ecuación 8: } \varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} (u_{i,j} + u_{j,i})$$

Los esfuerzos y el vector de fuerza f en cada punto, satisface las siguientes tres ecuaciones de equilibrio para los problemas elastoestáticos.

$$\text{Ecuación 9: } \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + f_x = 0$$

$$\text{Ecuación 10: } \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + f_y = 0$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\text{Ecuación 11: } \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + f_z = 0$$

O en notación tensorial: $\sigma_{ij} + f_i = 0$

2.3.3 Condiciones de frontera

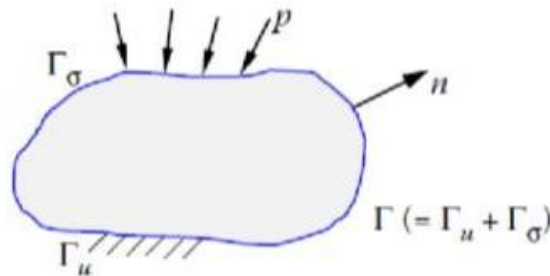


Figura 5. La frontera de un dominio elástico 3D (Correa Legorreta, 2017).

La frontera Γ de la región 3D se puede dividir en dos partes, Γ_u y Γ_σ . Las condiciones de contorno o de frontera (BC) se pueden describir como:

En Γ_u (desplazamiento específico) $\rightarrow u_i = \bar{u}_i$

En Γ_σ (tracción específica) $\rightarrow t_i = \bar{t}_i$

En el que las cantidades con barra denotan los valores dados, y la tracción (esfuerzo sobre una superficie) se define por $t_i = \sigma_{ij} n_j$ o en forma de matriz como:

$$\text{Ecuación 12: } \begin{Bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} n_x \\ n_y \\ n_z \end{Bmatrix}$$

Con n siendo la normal.

Para el análisis de esfuerzos en 3D, se deben de resolver 15 ecuaciones con 15 incógnitas bajo las condiciones de frontera establecidas:

- Las ecuaciones que relacionan el esfuerzo con la deformación unitaria
- Las ecuaciones que relacionan el desplazamiento con la deformación unitaria.
- Las ecuaciones de equilibrio estático.

Los esfuerzos y la deformación se obtienen a partir de la solución numérica de este problema

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

matemático, usualmente con un software de elementos finitos, tal como el ANSYS.

2.3.4 Esfuerzo de von Mises

A partir de los resultados del análisis de elementos finitos, se pueden usar las componentes xyz del esfuerzo tridimensional para evaluar el esfuerzo de von Mises:

$$\text{Ecuación 13: } \sigma_{\text{vonMises}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_x)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) \right]^{1/2}$$

Se predice que existe falla en el material cuando el esfuerzo de von Mises es superior a la resistencia de fluencia S_y del material. Por ejemplo, para acero estructural la resistencia de fluencia es 320 MPa, por lo que un esfuerzo de von Mises mayor a 320 MPa provoca la falla del material.

2.4 Estado del arte

En las investigaciones realizadas y búsqueda sobre proyectos de grúas para discapacitados encontramos que en Colombia no son muchas las que fabrican este tipo de equipos y los que se encuentran tienen un precio alto y además los equipos levantan hasta los 160 kilos aproximadamente. En este trabajo se desea diseñar un equipo que soporte los 270 kilos, que sirva para la manipulación de pacientes con grandes índices de obesidad.

En un trabajo de tesis del Instituto Politécnico Nacional de México en enero de 2017 encontramos un equipo que presenta pruebas numéricas y experimentales utilizando el método de extensometría e interferometría efectuadas a una grúa auxiliar, originalmente con la finalidad de facilitar el traslado de pacientes con problemas de movilidad dentro de los hospitales. Este equipo tiene la facultad de realizar movimientos laterales, por eso su estructura es más compleja, tal como se muestra en la figura 6. Esta grúa es capaz de soportar 200 kilos de carga.

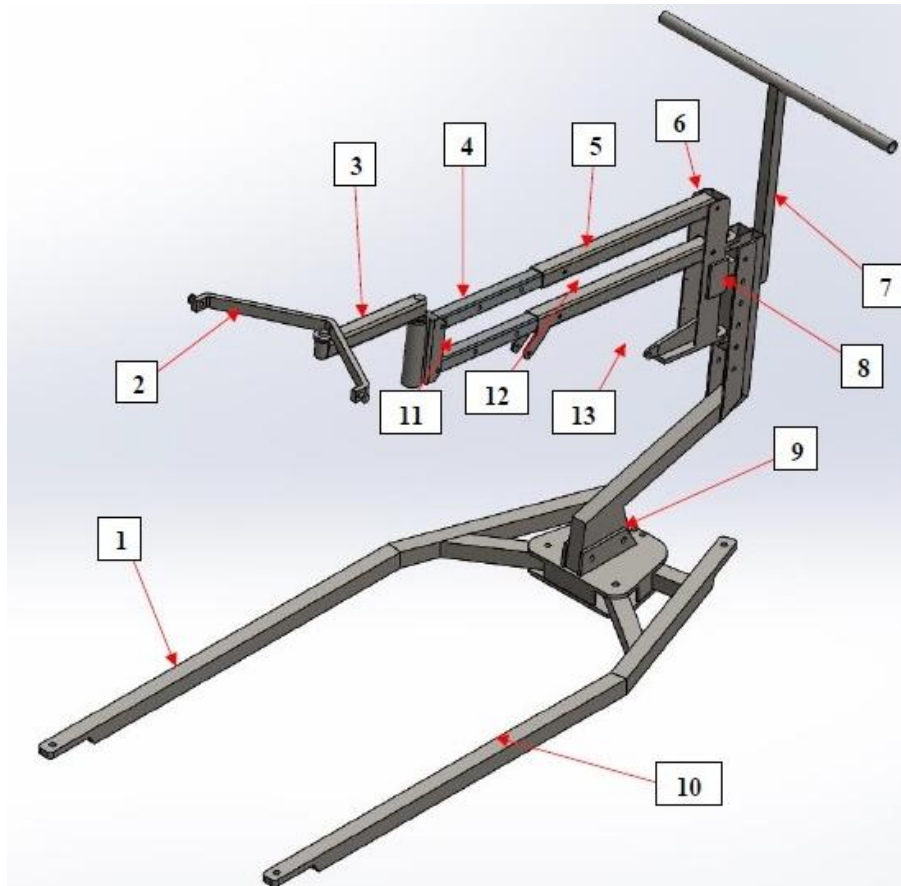


Figura 6. Identificación de piezas de la grúa auxiliar (Correa Legorreta, 2017)

En otra investigación (Sealy, 2012) se pudo observar que la causa mayor de incapacidades de las enfermeras en los hospitales se debe al movimiento y levantamiento de pacientes en sus turnos de trabajo. En ese trabajo, la grúa fue diseñada para ser controlada con un sistema inalámbrico remoto, para activar el actuador del desplazamiento vertical. Estas características principales del diseño fueron incorporadas para permitir mayores cargas y mayor estabilidad. Esta grúa se muestra en la figura 7.



Figura 7. Montaje de elevación del paciente (Sealy, 2012)

A continuación, se presentan algunas grúas elevadoras de pacientes que se consiguen comercialmente:

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

	<p>Elevador de pacientes Alliance</p> <p>“Alliance® Stand-Assist Patient Lift”:</p> <p>Características principales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Carga máxima: 400 lb (181 kg) • Fuente de energía: eléctrico, hidráulico. • Dimensiones generales: 45 "x27" x14 • Ventajas: equipo cómodo, de fácil manejo de operación. • Desventajas: gasto de energía, equipo muy grade. • Precio: \$6.500.000
--	--

Figura 8. Ascensores para pacientes Alliance™ (Djoglobal, 2018)


	<p>Grúa de funcionamiento hidráulico.</p> <p>Características principales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Carga máxima: 150 Kilos. • Fuente de energía: manual • Dimensiones generales: Patas abiertas: 86 centímetros Patas cerradas: 52 centímetros Altura total: 1.90 centímetros. • Ventajas: equipo más ligero, • Desventajas: soporta menos peso, desgaste de operario, • Precio: 4.890.00
---	---

Figura 9. Traslado y pesaje de pacientes – atlas (tekvobioingenieria, 2018)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

	<p>Grúa de funcionamiento hidráulico.</p> <p>Características principales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Carga máxima: 160 Kg • Fuente de energía: eléctrico Motor elevador 12V CC. Motor para apertura de patas 12V CC • Dimensiones generales: Ancho total: 610 mm Largo total: 1.070 mm Alto total: 1.280 mm • Ventajas: manipulación eléctrica con control remoto • Desventajas: gasto de energía eléctrico • Precio: 3.564 euros
---	---

Figura 10. Grúa Molift bipedestación (solostocks, 2013)

3. METODOLOGÍA

3.1 Metodología de diseño conceptual

En este trabajo se siguió la metodología de diseño conceptual de Velilla Diaz y colegas (Velilla Diaz & Montero Alvarez, 2010), cuyo esquema se presenta en la figura 11. Esta metodología permite seleccionar la mejor opción para la realización de la estructura siguiendo un paso a paso, en el que se asignan puntajes (pesos ponderados) a diferentes aspectos de diseño entre diferentes opciones posibles, dando como resultado la mejor alternativa de acuerdo con las especificaciones dadas.

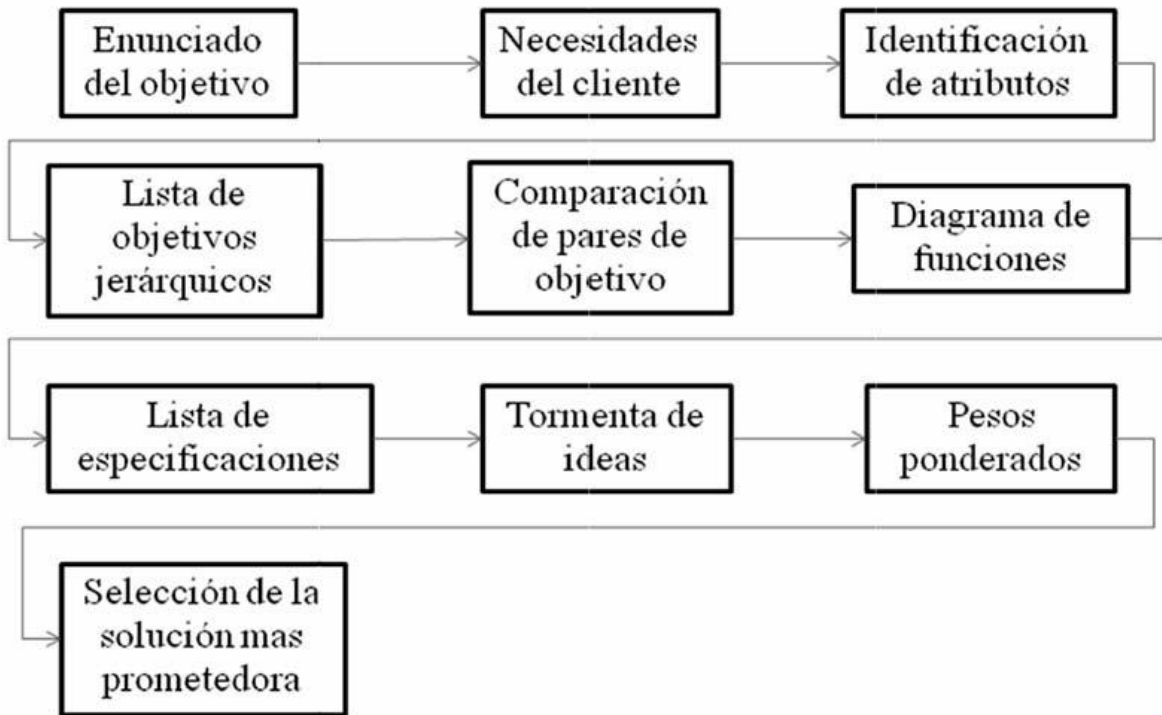


Figura 11. Metodología de diseño conceptual (Velilla Diaz & Montero Alvarez, 2010)

A partir del diseño escogido se realizan cálculos del diseño de la estructura con dos herramientas principales:

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Análisis de elementos finitos a la estructura estática propuesta utilizando el software ANSYS versión 19 académica.
- Teoría de diseño del libro de Mott (Mott, 2006) y del libro de mecánica de materiales de Hibbeler (Hibbeler, 2006), de los cuales se obtuvo formulas y ecuaciones para el cálculo de algunos componentes de la estructura.

3.2 Paso a paso de simulación elementos finitos en ANSYS

Se abre el programa ANSYS WORKBENCH 19 y aparece la ventana principal de trabajo del programa, mostrada en la figura 12.

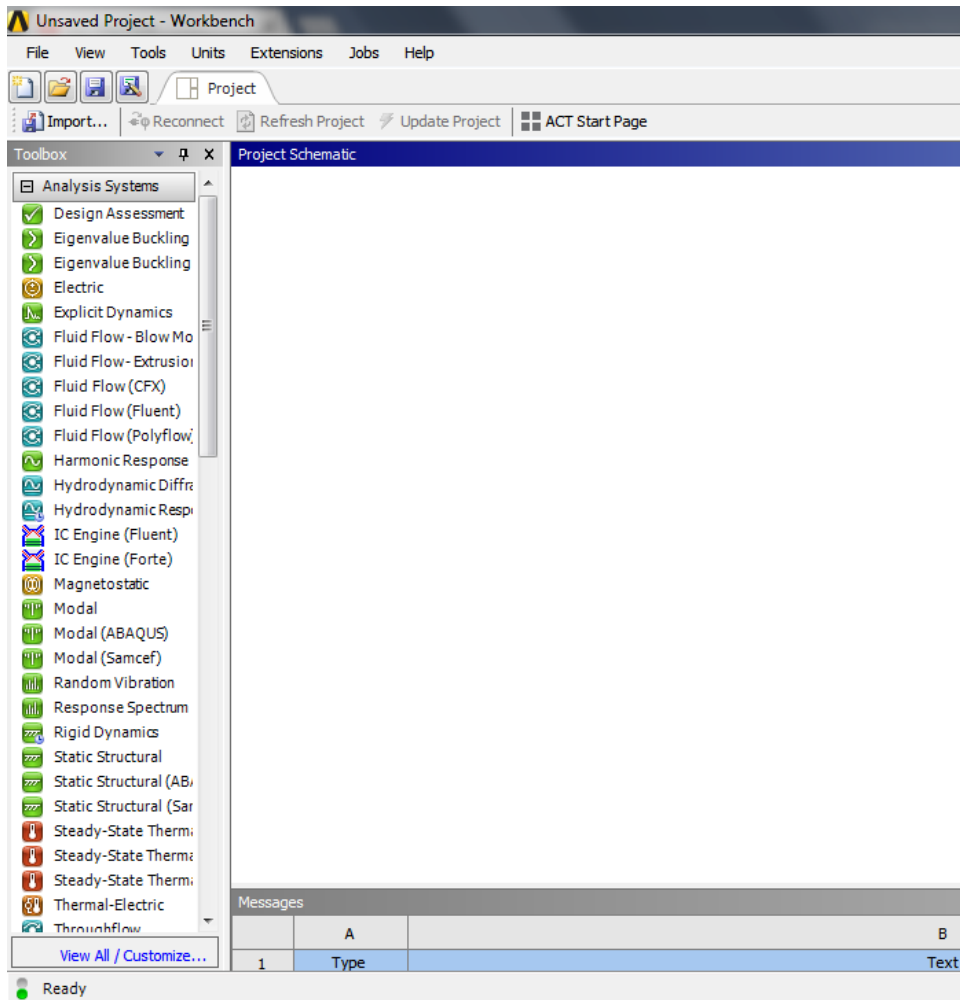


Figura 12. Ventana principal de ANSYS WORKBECH 19.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Al lado izquierdo tiene la caja de herramientas “Toolbox” la cual contiene aplicaciones para el análisis de distintos sistemas. Se selecciona “static strutural” de la caja de herramientas con un click sostenido y se arrastra hacia Project schematic, figura 13. Esto crea el nuevo proyecto para evaluar estáticamente la estructura.

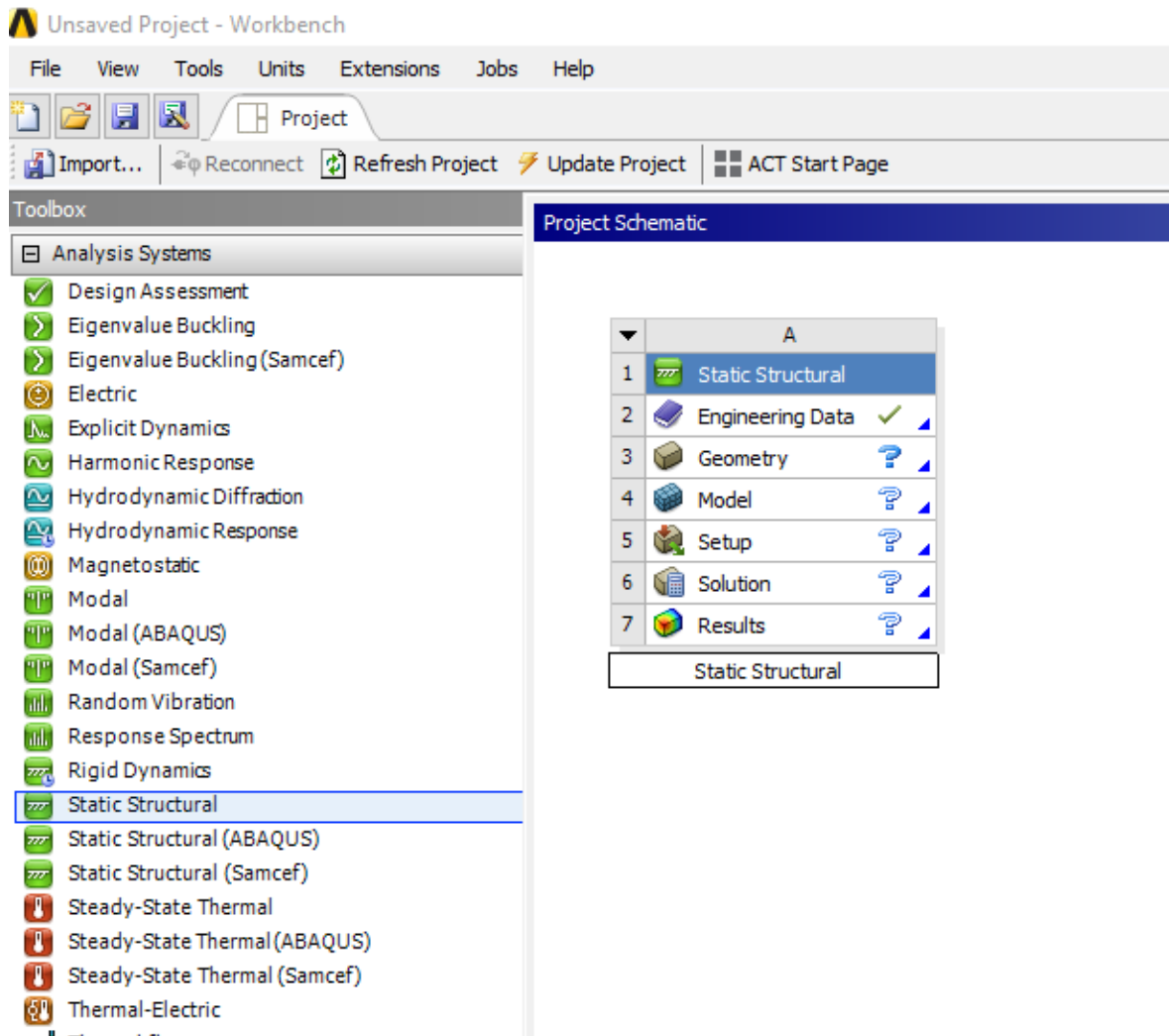


Figura 13. Sistema de análisis estático de una estructura.

Las características, condiciones y simulaciones del sistema se deben configurar en el orden que aparecen:

- 1- Engineering data (Datos de ingeniería, principalmente propiedades del material).
- 2- Geometry (Geometría).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- 3- Mallado
- 4- Setup (configuración)
- 5- Solution (solución)
- 6- Results (Resultados)

3.2.1 Engineering data (Datos de ingeniería).

En este paso se introduce el tipo de material de la estructura a evaluar, en este caso acero estructural. Se introduce la resistencia a la fluencia (“Tensile Yield Strength”) de 322 MPa para el acero estructural tiene (dato suministrado por el fabricante de perfiles de aceros la Colmena), tal como aparece en la figura 14.

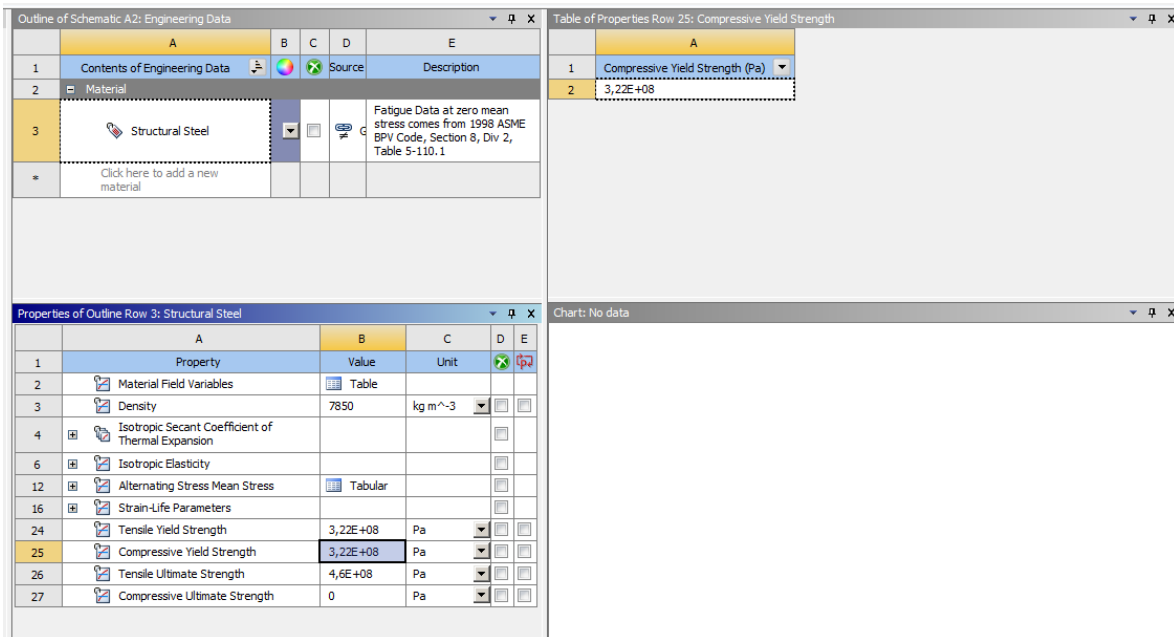


Figura 14. Selección del material

3.2.2 Creación de geometría

En este caso la geometría se carga desde el software Inventor, ya que permite tener un mejor modelado del CAD en 3D. Para ingresarla se da clic derecho en geometría y luego clic en “import geometry”, como se observa en la figura 15. Se busca el archivo para cargar en formato STEP; ANSYS también ofrece la opción de crear la geometría que se desee utilizar desde otro programa de dibujo

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

propio (SpaceClaim o designModeler). A continuación, se busca el archivo en el equipo y se carga la geometría. Para terminar con el paso de geometría se le da clic abrir y queda totalmente cargado el modelo CAD.

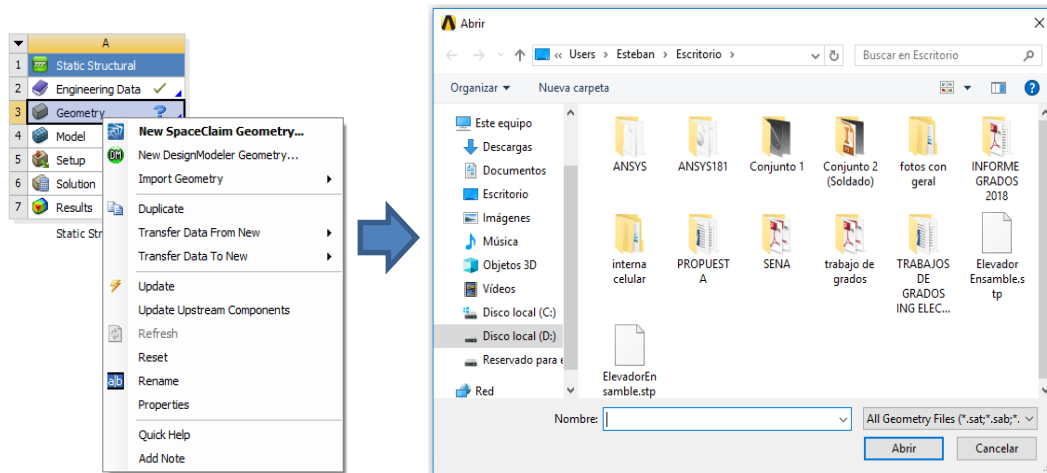


Figura 15. Importar geometría en ANSYS mechanical

3.2.3 Mallado y condiciones de borde

A continuación, desde el workbench se da clic derecho en “model” y se selecciona “Edit”. Esto carga un módulo del ANSYS llamado “mechanical”, desde donde se genera la malla de la estructura y posteriormente se realiza la simulación. Para generar la malla se hace click derecho sobre el icono azul de “mesh” que se muestra en la figura 16 y a continuación se selecciona “Generate mesh”.

Los parámetros de mallado típicos se muestran también en la figura 16. Se utilizó un método de mallado “patch conforming” con elementos “tetra” para todos los elementos de la estructura estudiada. Esto genera mallas con 100% de elementos tetraédricos (todas las caras triangulares) de una manera muy rápida y con una calidad aceptable, sin deformar la geometría para acomodar los elementos. El número de elementos para toda la estructura estuvo cercano a los 700 mil, aunque también se realizaron simulaciones con 2 y 10 millones de elementos y no se encontró diferencia significativa en los resultados.

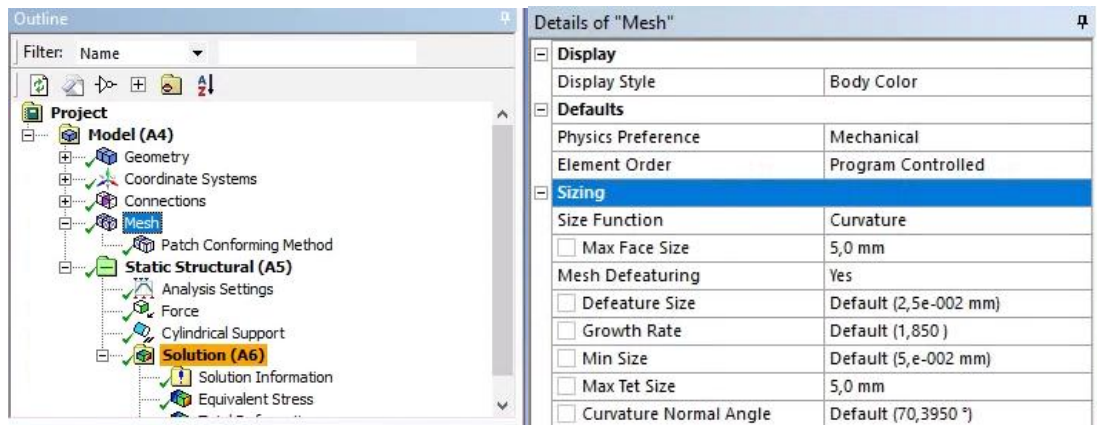


Figura 16. Parámetros de mallado típicos

Para agregarle la carga a la estructura, se selecciona la cara del gancho (figura 17) y haciendo click derecho en “Static structural” se seleccionar el tipo de cargas a las cuales esté sometido, tales como presiones, fuerzas, momentos, etc. (figura 18). En este caso se asigna una fuerza aprox. de 2700 N en dirección negativa en Z (para un carga de 270 kg), tal como se muestra en la parte inferior izquierda de la figura 17.



Figura 17. Selección de cara para aplicar la carga

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

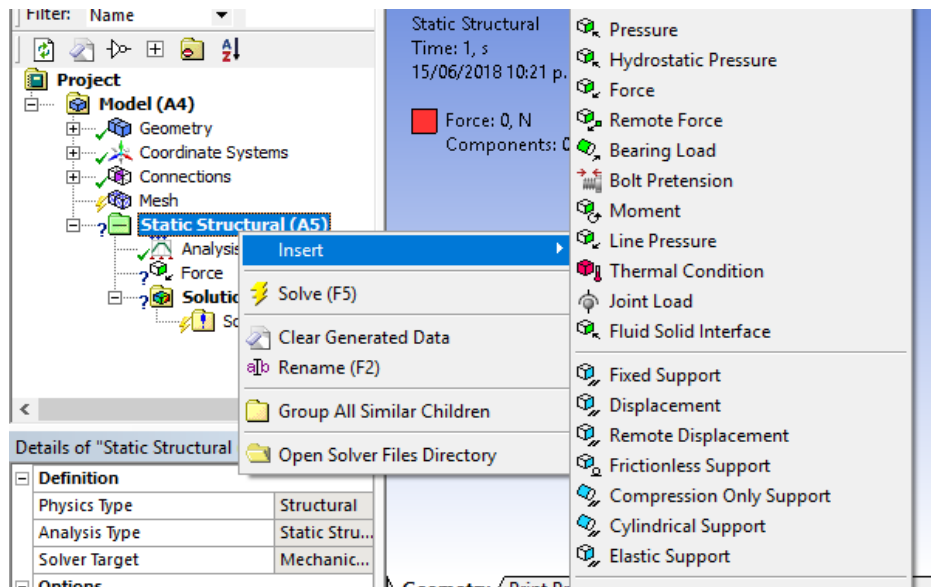


Figura 18. Selección de cargas y restricciones

De manera similar se seleccionan las caras de las ruedas que soportan la estructura (figura 19) y se seleccionan soportes cilíndricos como restricción (la de soporte fijo también es válida).

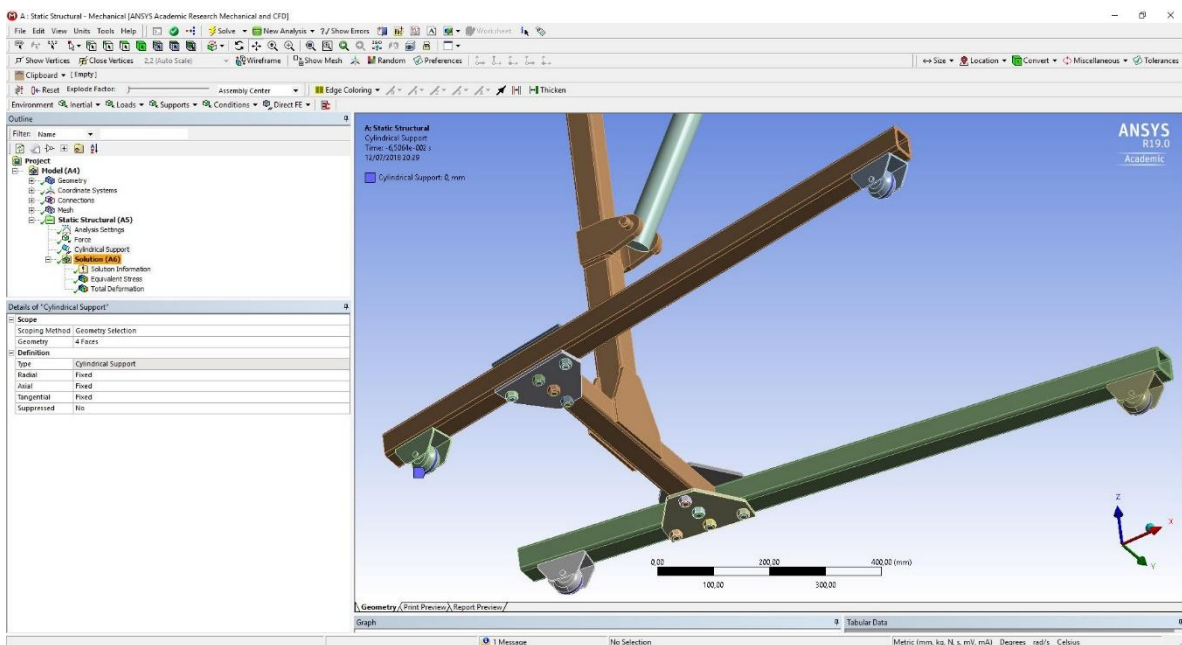



Figura 19. Selección de caras de las ruedas para establecer las restricciones

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Antes de continuar se observa al lado izquierdo dentro del “outline” que no se presenten errores y todo aparezca con el símbolo . Entonces, se da click derecho en “solution” y se insertan los resultados de interés en este trabajo (figura 20):

- stress → Equivalent Von-Misses
- deformation → Total deformation

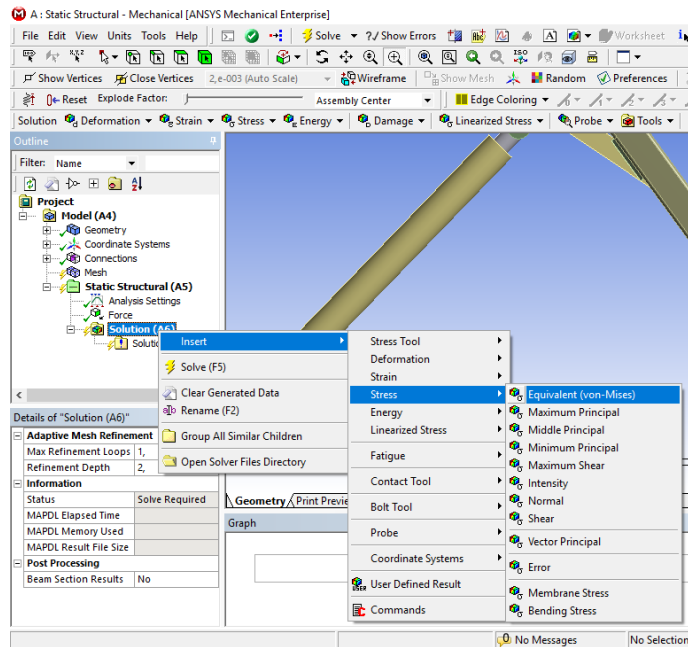


Figura 20. Datos a calcular en la solución (esfuerzo de Von-Misses)

Terminado estos pasos, se puede dar clic en el “update” (icono rayo amarillo) para actualizar la malla (si no se ha creado) y en “solve” (también icono de rayo amarillo) para correr la simulación.

3.3 Estimación del costo

En la metodología para hallar el costo se preguntaron a diferentes proveedores y fabricantes locales de las diferentes piezas, para poder mirar el posible costo que puede tener la realización de la estructura, tanto como de los materiales y la mano de obrar para el ensamble y puesta en funcionamiento. Estos datos se reportan al final del siguiente capítulo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Elección del mejor diseño

Siguiendo la metodología planteada en el proyecto colegas (Velilla Diaz & Montero Alvarez, 2010), se sigue el paso a paso mostrado en la figura 11:

4.1.1 Enunciado del objetivo

Diseñar un sistema que permita maniobrar cargas pesadas, facilitando así el montaje y descargue de pacientes en el día a día de trabajo que sea, económica y rentable. Que cumpla con la demanda del mercado colombiano (que los pacientes se puedan montar y descargar de forma rápida y segura) y satisfaga los estándares de calidad para sistemas de montaje y descargue de carga.

4.1.2 Necesidades del cliente

Una de las actividades del día de los pacientes hospitalizados en instituciones de salud y de las personas con discapacidades psicomotrices o discapacitados, es poder realizar el baño personal de forma práctica, sencilla y cómoda, no solo para ellos mismos, sino para sus acompañantes y/o personal asistencial, quienes son los que finalmente sufren el desgaste de la actividad. Con este trabajo se propone un diseño de un dispositivo que levante al paciente, el cual pueda facilitar la actividad del baño/aseo y poderlos movilizar en desplazamientos pequeños para acomodarlos, por ejemplo, en la cama o en una silla de ruedas. Estas necesidades se muestran en la figura 21.

Tabla 1. Identificación de atributos

<p>Que sea fácil de transportar.</p> <p>Que sea fácil de instalar.</p> <p>Que sus componentes sean fáciles de fabricar.</p> <p>Que los costos de ensamblaje sean bajos.</p> <p>Que sus repuestos sean económicos y asequibles.</p> <p>Que no genere consecuencias negativas para el ambiente.</p> <p>Que tenga una manipulación segura.</p> <p>Que el mantenimiento del equipo sea fácil y económico.</p>	<div style="background-color: #4F81BD; color: white; text-align: center; padding: 5px;">RESTRICCIONES</div> <p>Que cumpla con la demanda del mercado colombiano.</p> <p>Que nos soporte 270kg para su aplicación</p> <div style="background-color: #4F81BD; color: white; text-align: center; padding: 5px;">FUNCIONES</div> <p>Soporta pacientes con sobre peso.</p> <p>Levantar, transportar y ubicar los pacientes.</p> <p>Monte y descargar los pacientes en camillas o donde lo requieran</p>
---	--

4.1.4 Lista de objetivos jerárquicos

Los objetivos enunciados cumplen las necesidades previstas y visualizan el funcionamiento general del sistema. Se identificó de esta manera los objetivos de diseño, costos, logística, medio ambiente u otros. Esto se hace para asignar un grado de jerarquía a cada uno de los términos mencionados, con la finalidad de orientar las actividades durante el proceso de diseño. Esta lista se presenta en la tabla 2.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 2. Objetivos jerárquicos

1 COSTO	2 DISEÑO	3 LOGÍSTICA	4 MEDIO AMBIENTE
1.1 Que tenga bajos costos de inversión. 1.2 Que el mantenimiento del equipo sea fácil y económico. 1.3 Que sus repuestos sean económicos. 1.4 Que los costos de ensamblaje sean bajos.	2.1 Que pueda soportar el peso de los pacientes a levantar. 2.2 Que pueda transportar Los pacientes y ubicarlos en un lugar determinado. 2.3 Que presente estabilidad para que no se caigan los pacientes. 2.4 Que sus componentes sean fáciles de fabricar. 2.5 Que tenga una manipulación segura. 2.6 Que su operación sea sencilla y económica.	3.1 Que sus repuestos Sean asequibles. 3.2 Que sea fácil de transportar. 3.3 Que sea fácil de instalar.	4.1 Que no genere consecuencias negativas para el ambiente. 4.2 Que sus componentes sean reciclables. 4.3 Que genere bajo niveles de ruido.

4.1.5 Comparación de pares de objetivo

En esta etapa se presenta la relación de importancia que los objetivos mantienen entre sí, tomando como punto de comparación las filas frente a las columnas. Se asigna un valor numérico que representa la importancia del objetivo respecto a otro para mantener un control durante el proceso de diseño, se presentan los objetivos de primer nivel (diseño, costo, logística y medio ambiente). Posteriormente se establece la comparación entre los grados de importancia para los objetivos de segundo nivel. Estas comparaciones se presentan en las tablas 3 a 7.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO				Código	FDE 089
					Versión	03
					Fecha	2015-01-22

Tabla 3. Objetivos de primer nivel

FACTORES A EVALUAR	1 COSTOS	2 DISEÑO	3 LOGISTICA	4 MEDIO AMBIENTE	TOTAL FILA	PESO
COSTO	3	2	2	4	11,00	0,3324937
DISEÑO	0,5	3	4	4	11,50	0,34760705
LOGISTICA	0,5	0,25	3	3	6,75	0,20403023
MEDIO AMBIENTE	0,25	0,25	0,33	3	3,83	0,11586902
TOTAL					33,08	1

NOTA: los valores de las calificaciones son los siguientes:
 1 mucho menos importante
 3 igual importante,
 5 más importante

Tabla 4. Objetivos de Segundo nivel: Costos

1 COSTOS						0,33	
CRITERIOS	1,1	1,2	1,3	1,4	TOTAL FILA	PESO RELATIVO	PESO ABSOLUTO
1,1	3	3	4	5	15	0,452944137	0,149471565
1,2	0,33	3	2	3	8,33	0,251635632	0,083039758
1,3	0,25	0,50	3	2	5,75	0,173628586	0,057297433
1,4	0,20	0,33	0,50	3	4,03	0,121791646	0,040191243
TOTAL					33,12	1	0,33

Tabla 5. Objetivos de Segundo nivel: Diseño

2DISEÑO							0,35		
CRITERIOS	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	TOTAL FILA	PESO RELATIVO	PESO ABSOLUTO
2,1	3	4	3	4	3	4	21	0,2818792	0,098657718
2,2	0,25	3	3	4	3	4	17,25	0,2315436	0,081040268
2,3	0,33	0,33	3	4	3	4	14,67	0,196868	0,068903803
2,4	0,25	0,25	0,25	3	2	3	8,75	0,1174497	0,041107383
2,5	0,33	0,33	0,33	0,5	3	4	8,5	0,114094	0,039932886
2,6	0,25	0,25	0,25	0,33	0,25	3	4,33	0,0581655	0,020357942
TOTAL							74,5	1	0,35

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 6. Objetivos de Segundo nivel: Logística

3 LOGISTICA					0,2	
CRITERIOS	3,1	3,2	3,3	TOTAL FILA	PESO RELATIVO	PESO ABSOLUTO
3,1	3	2	2	7	0,424242424	0,084848485
3,2	0,5	3	2	5,5	0,333333333	0,066666667
3,3	0,5	0,5	3	4	0,242424242	0,048484848
TOTAL				16,5	1	0,2

Tabla 7. Objetivos de Segundo nivel: Medio Ambiente

4 MEDIO AMBIENTE					0,12	
CRITERIOS	4,1	4,2	4,3	TOTAL FILA	PESO RELATIVO	PESO ABSOLUTO
4,1	3	2	3	8	0,419213974	0,050305677
4,2	0,5	3	4	7,5	0,3930131	0,047161572
4,3	0,33	0,25	3	3,5833	0,187772926	0,022532751
TOTAL				19,0833	1	0,12

4.1.6 Diagrama de funciones

En el diagrama de funciones se logra apreciar de forma clara los factores involucrados en el proceso de manipulación de la estructura y la forma cómo interactúan, visualizando los pacientes y las funciones próximas a seguir. Se observa que el sistema es muy manual y depende de los operarios generara algún tipo de ruido, y finalmente cumple la función para la cual fue diseñado. Este diagrama se presenta en la figura 22.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

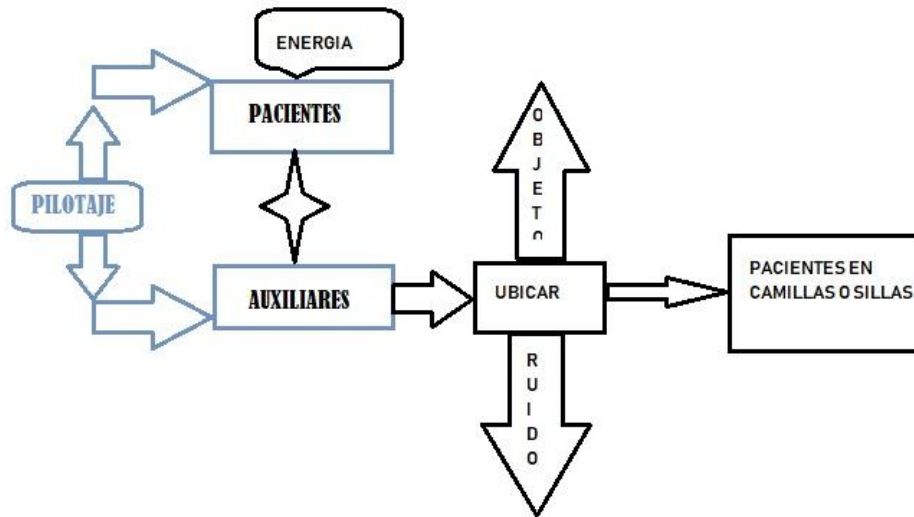


Figura 22. Diagrama de funciones

4.1.7 Lista de especificaciones

A continuación, se presenta en la tabla 8 un listado detallado de las necesidades con su grado de importancia, para apreciar el grado de cumplimiento en cuanto a necesidades significativas.

4.1.8 Brainstorming (tormenta de ideas)

Se presentan las alternativas para el sistema a seleccionar; de las cuales será seleccionada la que en mayor grado cumpla las funciones. Estas alternativas ya fueron presentadas en el marco teórico (estado del arte, figuras 8, 9 y 10).

4.1.9 Pesos ponderados

Para evaluar y seleccionar la alternativa final se desarrolla una comparación entre los pesos ponderados de cada alternativa y se selecciona la que presente mayor cumplimiento frente a las funciones requeridas. De acuerdo a cada criterio: costos, diseño, logística, y medio ambiente se analiza si cada una de las alternativas cumple con el objetivo propuesto en cada criterio, asignándole un valor ponderado el cual mide la importancia relativa de cada una de ellas. Este procedimiento es

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

importante para la toma de decisiones, debido a que se escoge el sistema que más satisfaga las necesidades. Los resultados de este ítem se muestran en la tabla 9.

Tabla 8. Especificaciones de cumplimiento

NÚMERO	NECESIDAD	GRADO
1	Que tenga bajos costos de inversión.	15
2	Que el mantenimiento del equipo sea fácil y económico	8.33
3	Que sus repuestos sean económicos.	5.75
4	Que los costos de ensamblaje sean bajos	4.03
5	Que soporte el peso de los pacientes que va a levantar	21
6	Que transportar los pacientes y ubique en un lugar determinado.	17.25
7	Que presente estabilidad para que los pacientes no se caigan.	14.66
8	Que sus componentes sean fáciles de fabricar.	8.75
9	Que tenga una manipulación segura.	8.5
10	Que su operación sea sencilla y económica.	4.33
11	Que sus repuestos sean asequibles.	74.5
12	Que sea fácil de transportar.	7
13	Que sea fácil de instalar.	5.5
14	Que no genere consecuencias negativas para el ambiente.	4
15	Que sus componentes sean reciclables.	8
16	Que genere bajo niveles de ruido.	7.5

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO		Código	FDE 089
			Versión	03
			Fecha	2015-01-22

Tabla 9. Pesos ponderados

CRITERIOS DE EVALUACION			FIGURA 8		FIGURA 9		FIGURA 10	
CATEGORIA		PONDERACION	apreciación	ponderación	apreciación	ponderación	apreciación	ponderación
COSTO	1	0,149472	3	0,44841	5	0,747358	1	0,1494716
	2	0,08304	4	0,33216	5	0,415199	3	0,2491193
	3	0,057297	2	0,11459	4	0,22919	2	0,1145949
	4	0,040191	3	0,12057	5	0,200956	3	0,1205737
DISEÑO	5	0,098658	1	0,09866	1	0,098658	1	0,0986577
	6	0,08104	4	0,32416	4	0,324161	4	0,3241611
	7	0,068904	4	0,27562	4	0,275615	4	0,2756152
	8	0,041107	2	0,08221	4	0,16443	2	0,0822148
	9	0,039933	4	0,15973	4	0,159732	4	0,1597315
	10	0,020358	2	0,04072	4	0,081432	4	0,0814318
LOGISTICA	11	0,084848	2	0,1697	3	0,254545	3	0,2545455
	12	0,066667	4	0,26667	4	0,266667	4	0,2666667
	13	0,048485	4	0,19394	4	0,193939	4	0,1939394
MEDIO AMBIENTE	14	0,050306	5	0,25153	5	0,251528	5	0,2515284
	15	0,047162	4	0,18865	4	0,188646	3	0,1414847
	16	0,022533	3	0,0676	4	0,090131	4	0,090131
TOTAL				3,13491		3,942187		2,8538671

4.1.10 Selección de la solución más prometedora

La evaluación de las alternativas tuvo como resultado que la solución más prometedora es la alternativa presentada en figura número 9 (tuvo el puntaje más alto, 3,94 y se resalta en rojo). A continuación, se muestra de nuevo esta alternativa en la figura 23.

	<p>Grúa de funcionamiento hidráulico.</p> <p>Características principales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Carga máxima: 150 Kilos. • Fuente de energía: manual • Dimensiones generales: Patas abiertas: 86 centímetros Patas cerradas: 52 centímetros Altura total: 1.90 centímetros. • Ventajas: equipo más ligero, • Desventajas: soporta menos peso, desgaste de operario, • Precio: 4.890.000
---	--

Figura 23. Traslado y pesaje de pacientes – atlas (tekvobioingeniería, 2018)

4.2 Diseño del cilindro hidráulico

Para calcular el diámetro de cilindro adecuado se requiere conocer la fuerza que se aplica sobre el mismo. Para ello se realiza primer el diagrama de cuerpo libre del bastidor de la estructura en la posición donde está ubicado el cilindro (figura 24). El punto A corresponde al lugar donde se conecta el gancho y se sostienen los 270 kg (2648,7 N \approx 2700 N). Para esta pieza se realiza un balance de momentos con respecto al punto C para hallar la fuerza F que se ejerce sobre el cilindro.

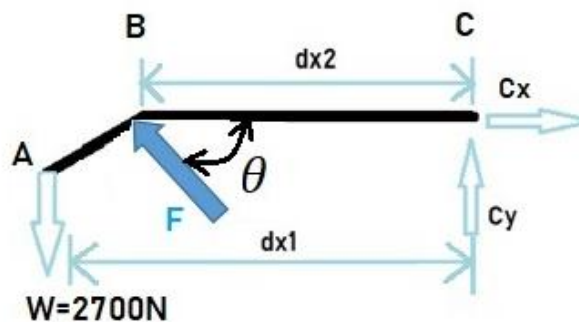


Figura 24. Diagrama de cuerpo libre del bastidor.

$$\sum \text{Momentos respecto a C} = 0$$

$$Wdx1 - F(\text{Sen}\theta)dx2 = 0$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$F = \frac{Wdx_1}{(\text{Sen}\theta)dx_2}$$

En estos cálculos tomamos las medidas dx1, dx2, F, en una posición estándar de la estructura (Estas medidas varían dependiendo del como esté extendido el vástago del cilindro):

$$F = \frac{2700N * 0.86m}{\text{sen}(66.7^\circ) * 0.689m}$$

$$F = 3700N$$

En los cálculos que siguen se utilizará una fuerza de diseño 10kN para tener un amplio factor de seguridad respecto a cualquier posición que pueda tener la estructura durante su operación.

4.2.1 Cálculo del cilindro

Las fuerzas generadas en un cilindro en la extensión del pistón son:

$$F_{\text{extensión}} = P * \frac{\pi D^2}{4} * 0,9$$

Donde

P = Presión de operación (MPa)

D = Diámetro interior del cilindro (mm)

d = Diámetro del vástago del pistón (mm)

0,9 = Coeficiente de rozamiento de rodamientos, juntas y partes móviles del cilindro.

El factor de carga es la relación entre la carga real y la fuerza teórica de salida del cilindro. La tabla 10 indica la relación entre el factor de carga y la velocidad del pistón.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 10. Relación entre el factor de carga y la velocidad del pistón (Creus, 2011)

Velocidad del pistón (mm/s)	Factor máximo de carga
8 a 100	70%
101 a 200	30%
201 a 300	10%

Para calcular el diámetro mínimo del cilindro se tendrá en cuenta lo siguiente:

- La carga de diseño es de 10 kN.
- La presión de servicio es de 70 MPa
- Velocidad del pistón = 100 mm/s, para un Factor de carga = 70%

Para calcular la fuerza de salida del cilindro se toma la carga de diseño y se divide por el factor de carga.

$$F = 10.000/0,7 = 14.285.71 \text{ N}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F(N)}{0,9 \cdot \pi \cdot P(MPa)}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 14.285.71(N)}{0,9 \cdot \pi \cdot 70(MPa)}} = 16.99 \text{ mm}$$

Se considera un diámetro comercial de 1 pulgada (25,4 mm). Con este diámetro la fuerza máxima real que puede desarrollar el cilindro es:

$$F = P * \frac{\pi \cdot D^2}{4} * 0,9$$

$$F = 70 \text{ MPa} * \frac{\pi \cdot (25.4 \text{ mm})^2}{4} * 0,9 = 14285.71 \text{ N} = 14.285 \text{ kN}$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.2.2 Cálculo de pandeo

Según R. C. Hibbeler, Mecánica De Materiales Edición 6, la ecuación de pandeo para una columna con ambos extremos articulados se puede formular como sigue:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$

Donde:

P_{cr} = Carga axial crítica o máxima sobre la columna justo antes de que se comience a pandear.

E = Módulo de elasticidad del material. Para acero estructural se puede asumir que $E = 207,0$ GPa.

I = Momento de inercia mínimo del area transversal de la columna.

L = Longitud no soportada de la columna cuyos extremos estan articulados.

El esfuerzo critico es el esfuerzo promedio en la columna justo antes de que se pandee y se calcula así:

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A}$$

Entonces:

$$\phi_{int} = 25.4 \text{ mm} = 0,0254 \text{ m}$$

$$\phi_{ext} = 50.8 \text{ mm} = 0,0508 \text{ m}$$

$$E = 207,0 \text{ GPa} = 207\ 000\ 000 \text{ kN/m}^2$$

$$I = \frac{1}{4} \pi (\phi_{ext})^4 - \frac{1}{4} \pi (\phi_{int})^4$$

$$L = 1 \text{ m (inicialmente asumida)}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \left(207\ 000\ 000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right) \left(\frac{1}{4} \pi (0,0508\text{m})^4 - \frac{1}{4} \pi (0,0254\text{m})^4 \right)}{(1\text{m})^2}$$

$$P_{cr} = 2504.529 \text{ kN}$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El esfuerzo crítico es entonces:

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} \quad \sigma_{cr} = \frac{2504.529 \text{ kN}}{\frac{\pi}{4}(0,0508 \text{ m})^2 - \frac{\pi}{4}(0,0254 \text{ m})^2} \quad \sigma_{cr} = 164808.4351 \text{ kN/m}^2$$

El factor de seguridad (Fs) en este caso es:

$$F_s = \frac{P_{cr}}{\text{Fuerza de extension}} \rightarrow F_s = \frac{2504.529 \text{ kN}}{14.285 \text{ kN}} \quad F_s = 175.325$$

EL cilindro de vástago de 1" de diámetro, pistón de 2" de diámetro y 1 m de carrera tiene un factor de seguridad excelente por pandeo, lo que garantiza que el cilindro no se va a deformar durante su operación normal.

4.3 Análisis de elementos finitos de diseño propuesto

A partir del diseño conceptual obtenido del proceso descrito en la sección 4.1, se procedió a dibujar en inventor una grúa de izado similar utilizando principalmente perfiles de acero estructural, ver figura 25.



Figura 25. Vista isométrica de grúa propuesta en este trabajo

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La grúa consta de una base en H, una columna y un bastidor hechos de perfil rectangular de acero estructural de sección de 50 x 30 mm. Los planos de detalle de la estructura se presentan en el apéndice de este trabajo. La grúa tiene además un cilindro hidráulico que permite levantar o descargar los pacientes. Los cálculos de este cilindro se presentan en la sección 4.3.

Con el propósito de verificar que la estructura propuesta es resistente a la carga aplicada máxima (270 kg), se procedió a realizarle el análisis de elementos finitos, de acuerdo con la metodología descrita en la sección 3.2. Los resultados para el esfuerzo de von Mises y la deformación se presentan a continuación.

4.3.1 Análisis de esfuerzo de von Mises

En la figura 26 se observa que la zona superior, donde se conectan las platinas al bastidor, tiene cordones de soldaduras en los bordes. En los empates se presentaban concentraciones de esfuerzo importantes que causaban problemática en el cálculo. En la figura se puede ver que aun con la soldadura hay concentración de esfuerzo en los bordes, ya que estas zonas tienen ángulos rectos y bordes con filo. Sin embargo, no se superan los 320 MPa, que es el límite de fluencia del material y por tanto no hay falla.

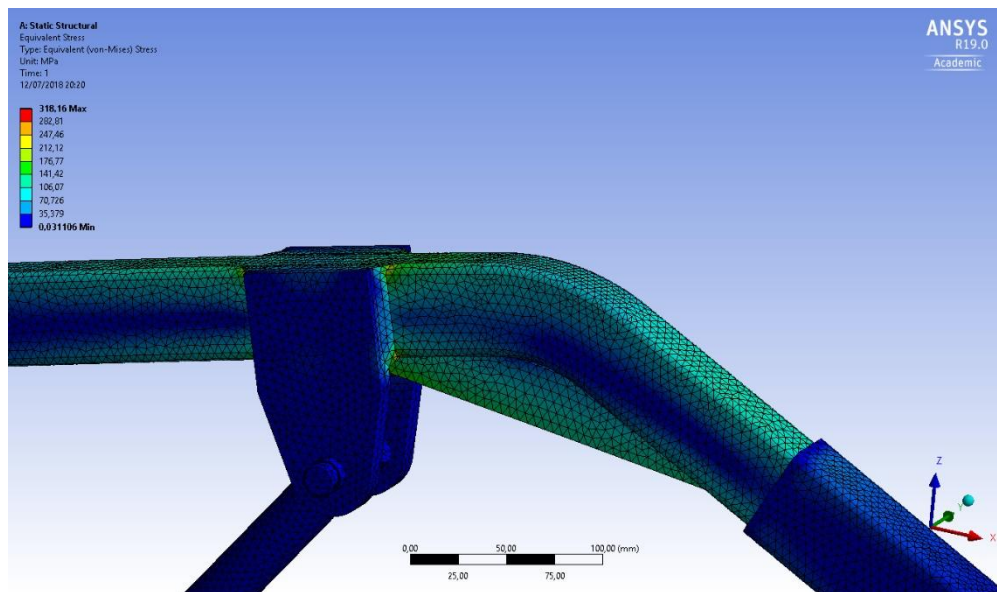


Figura 26. Soporte superior del cilindro

En el gancho de sujeción de la figura 27 se puede observar que tiene un refuerzo de platina con un pasador que lo sujeta. Se puede observar que no tiene muchos puntos de esfuerzo importantes. No se presenta mayor problema en este caso, ya que el gancho soporta el peso de los 270 kilogramos sin problema.

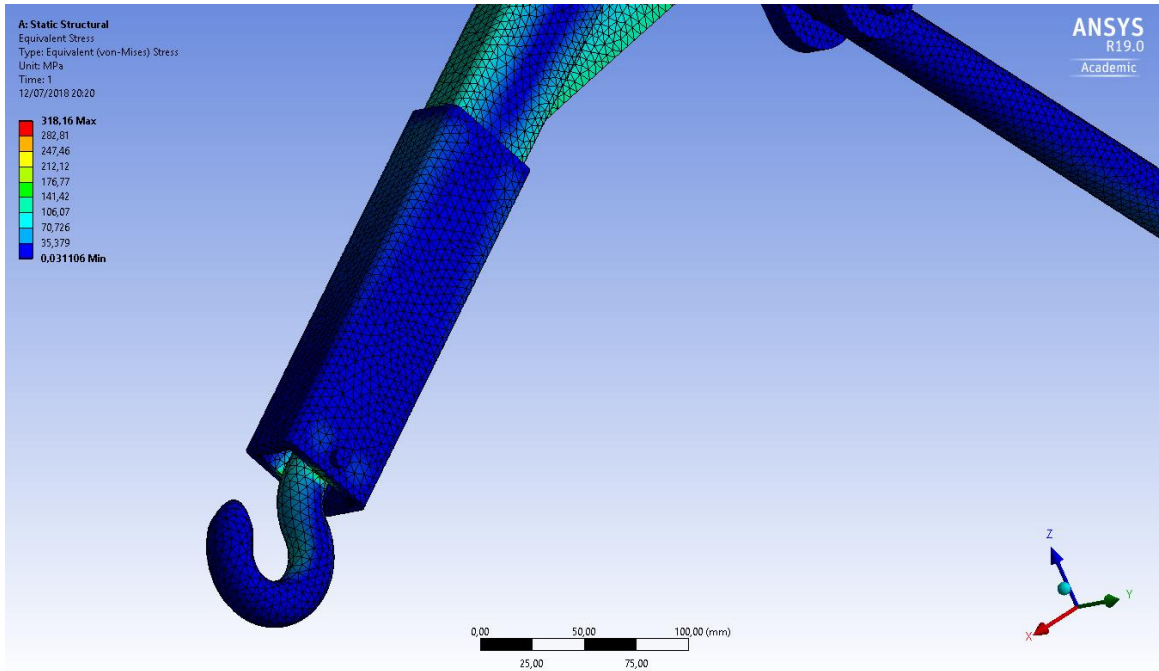


Figura 27. Ganchos de sujeción

En la conexión del cilindro con el bastidor, como muestra la figura 28, se puede observar una pequeña concentración de esfuerzo en uno de los extremos de la soldadura. Se tuvo que reforzar las platinas que sujetan el cilindro por la parte de abajo para que el esfuerzo sea inferior a la resistencia del material. Este es uno de los 3 puntos críticos del diseño propuesto.

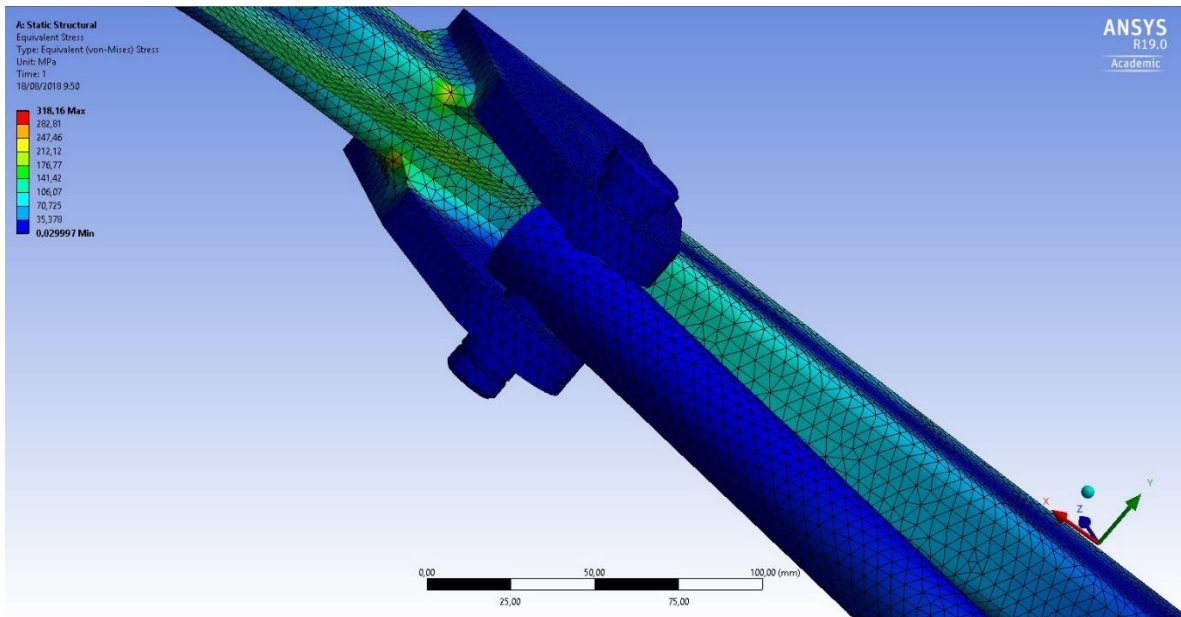


Figura 28. Conexión cilindro-bastidor

El soporte del bastidor se muestra en la figura 29. Se puede observar que tiene platinas reforzadas en ambos lados al igual que los pasadores y bujes. Se puede ver que tiene una muy buena resistencia, ya que el esfuerzo máximo de von Mises es cercano a los 100 MPa.

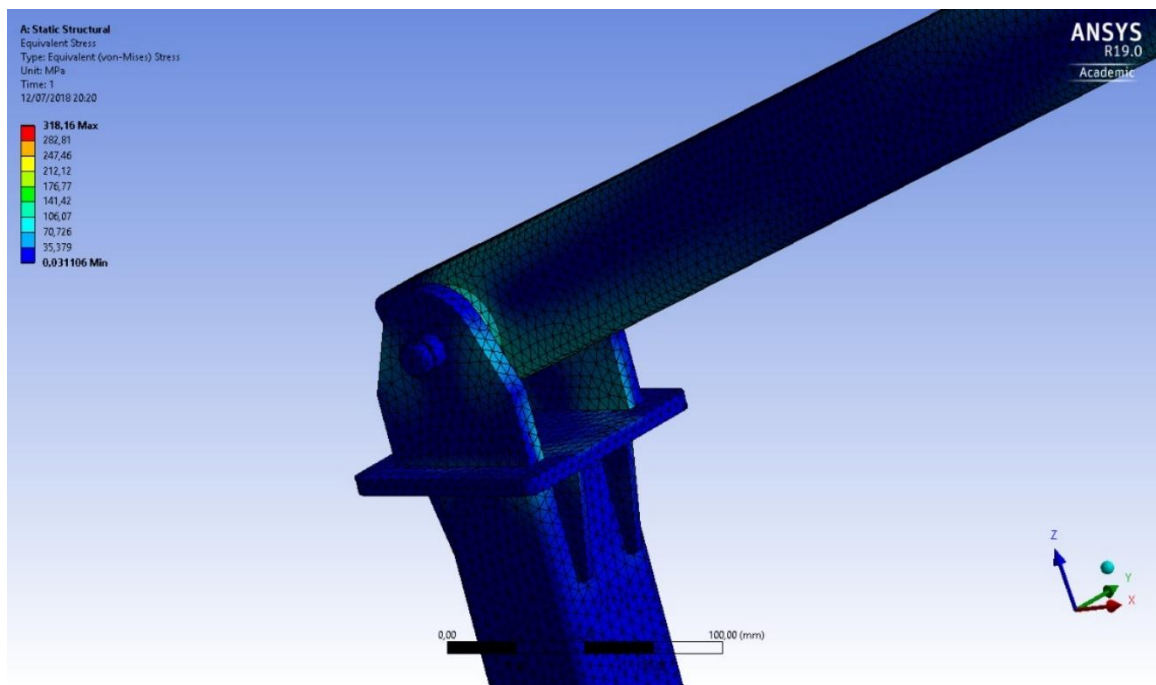


Figura 29. Soporte del bastidor

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El soporte inferior del cilindro se muestra en la figura 30. Se observa platinas reforzadas bujes y pasadores de seguridad con cordones de soldadura. Se presentan problemas de concentración de esfuerzos en los bordes y redondeos que están sujetos de la platina al marco de la estructura. En este trabajo se aplicó soldadura para minimizar estos puntos donde se generan la mayor concentración de esfuerzos. También se pudo haber cambiado el diseño para incluir más redondeos y secciones más gruesas, por ejemplo.

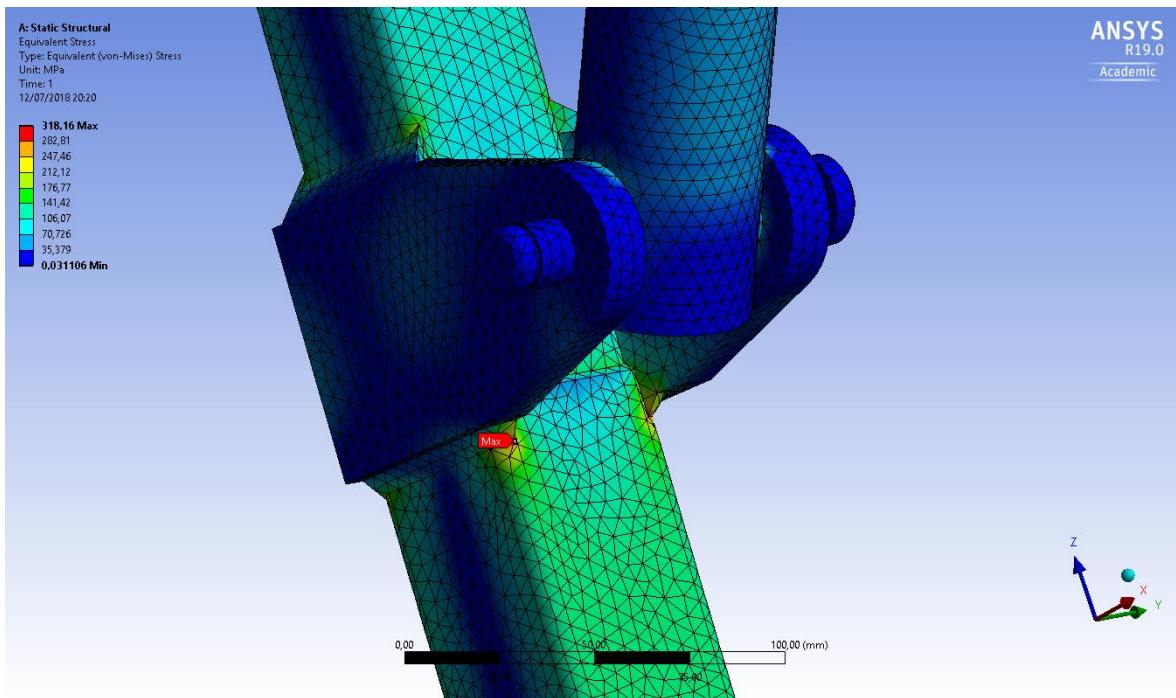


Figura 30. Soporte inferior del cilindro

La base de la estructura se muestra en la figura 31 y figura 32. Se observa que no tiene concentración de esfuerzos en los soportes de la estructura en la figura; se puede ver que la estructura puede ser desensamblada en la parte de soporte al piso y no requiere de cordones de soldadura. La platina que sujeta el marco vertical esta reforzada porque es uno de los puntos donde se genera más concentración de esfuerzos.

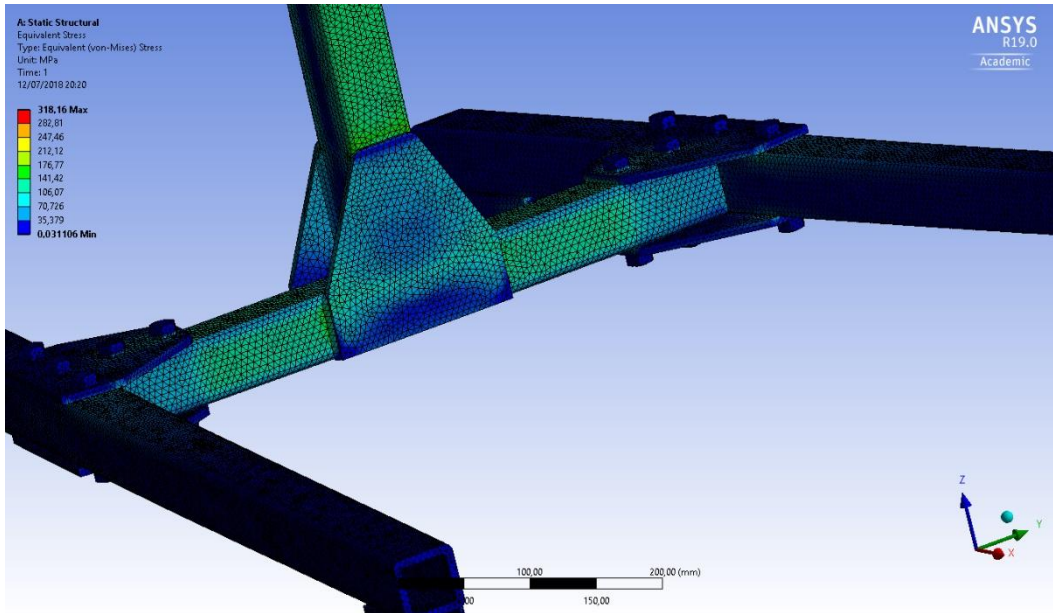


Figura 31. Base de la estructura

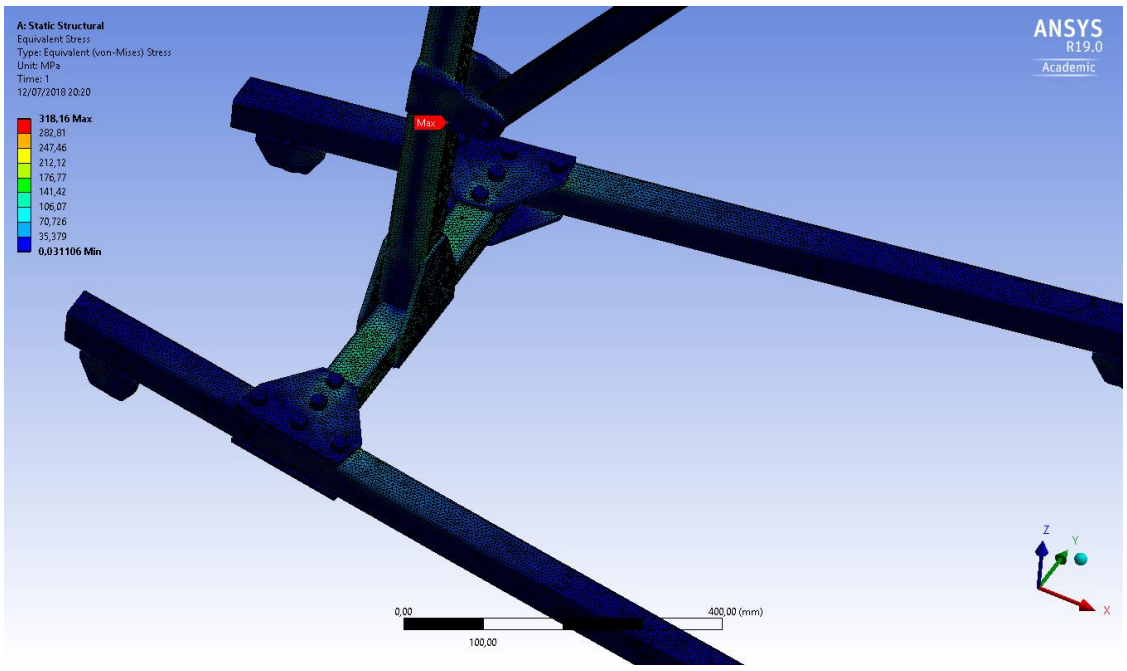


Figura 32. Base de la estructura (otra vista)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.3.2 Análisis de deformación

En la figura 33 se puede observar que la deformación unitaria en el gancho y cilindro es muy pequeña. El bastidor soporta el peso con una deformación total máxima de tan solo de 3 cms.

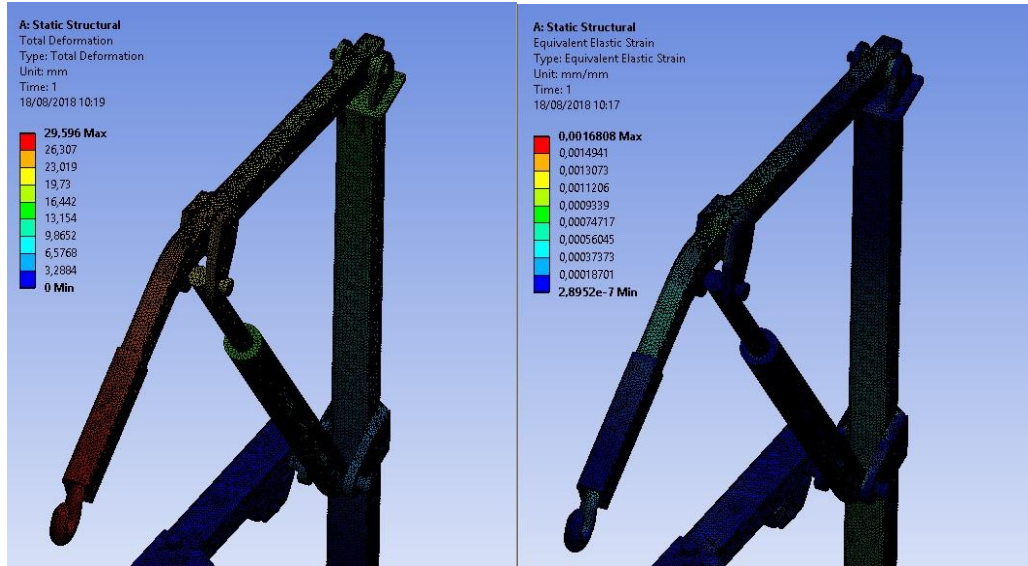


Figura 33. Lado izquierdo: Deformación total del bastidor. Lado derecho: deformación unitaria del bastidor.

La deformación de la estructura completa se muestra en la figura 34. La estructura es rígida en las bases y bastidores la deformación de la estructura se puede ver a partir del soporte del bastidor. El punto máximo de deformación se puede ver en la punta del gancho. Los cálculos realizados permiten determinar que la estructura soporta el peso de diseño y no da deformación que pueda ocasionar daño a la estructura o a los pacientes.

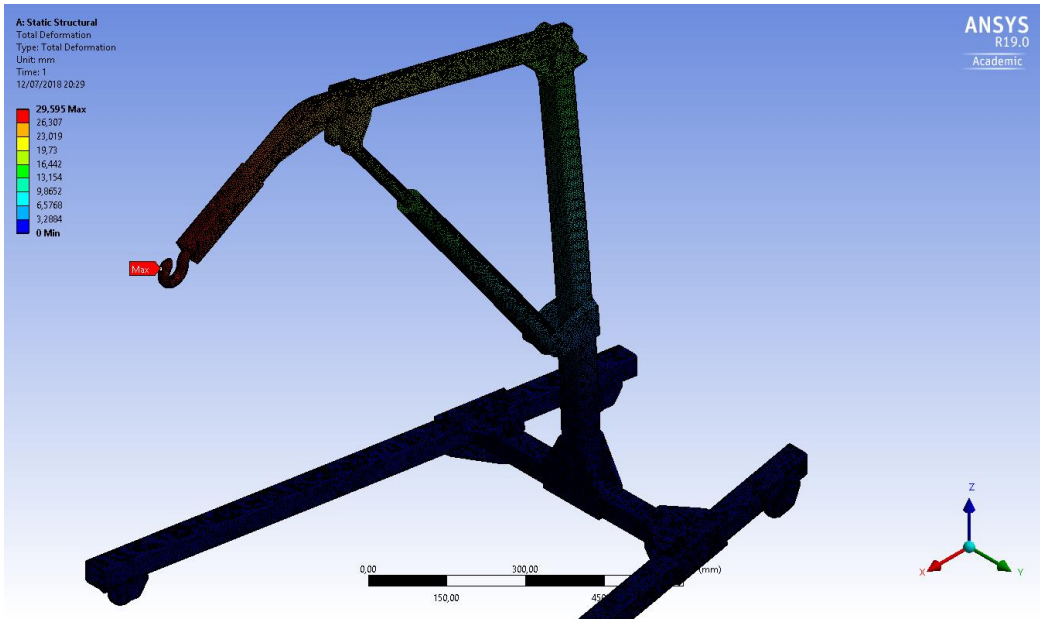


Figura 34. Deformación total de la estructura

En la figura 35 se observa el factor de seguridad de la estructura. Se puede ver que tiene un valor de 1.1 aproximadamente y en la mayoría de la estructura tiene valores mucho más altos, mayores a 5.

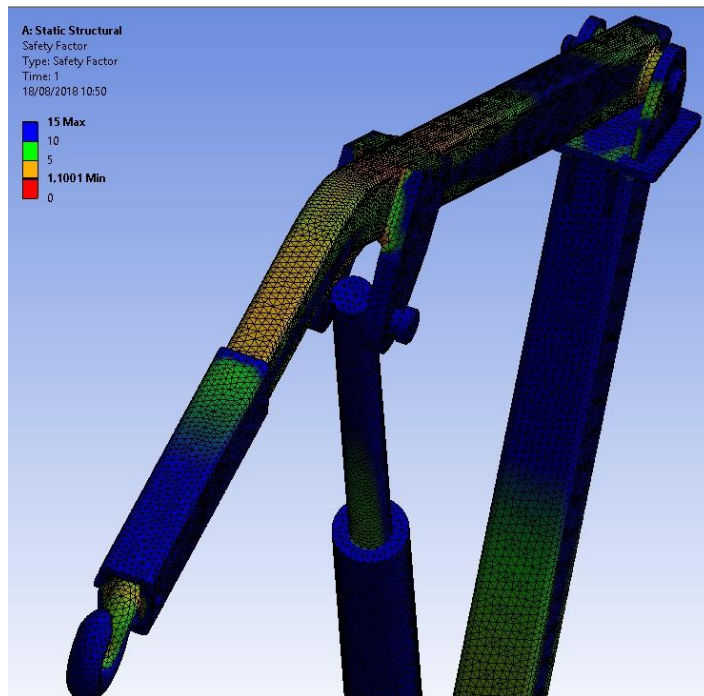


Figura 35. Factor de seguridad de la estructura

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.4 Costo

Para este análisis de costos se consultaron varios proveedores de materiales verificando los precios, y la calidad, para poder dar un valor aproximado del costo que tendría el poder realizar una estructura, con materiales al costo. Consultando con los proveedores el valor de los materiales, el precio cambia dependiendo de la cantidad y la fecha en que se realice la compra. Por tanto, el valor dado en el momento tiene tiempo de validez y está sujeto a inventario. El costo aproximado es de la estructura es de 5.364.375 millones; este precio se da con la bomba manual y el costo aproximado con bomba eléctrica es de 11.552.375 millones. El detalle de los costos se presenta en la tabla 11.

Tabla 11. Costos de la estructura

UNIDAD	ITEM	VALOR C/U	VALOR TOTAL	REFERENCIA
1	CILINDRO	\$487,375 + IVA	\$579.980	Cilindro doble acción 1.5" x 19,6" de ojo en vástago y ojo soporte plano en cilindro. (Magister)
1	BOMBA	\$ 7,500,00 + IVA	\$ 8.925.00	Bomba eléctrica liviana con manguera de 1.5 mts con manómetro. (Marca ENERPAC) de 0 a 10,000Psi
		\$ 2,300,000 + IVA	\$2.737.000	Bomba manua liviana con tanque en fibra de vidrio, con manguera de 1.5 mts con manómetro. (Marca ENERPAC) 2 velocidades, de 0 a 10,000Psi
10	ACERO ESTRUCTURAL	\$ 95,000 +IVA x 1m	\$1.130.500	Acero estructural de 2x1 1/8 x1/4" (DOBLACO)
15	TORNILLOS	\$ 75,000 + IVA	\$89.250	Acero Galvanizado con 2 arandelas planas y una de presión. (M12x60)
16	TORNILLOS	\$ 13.500 + IVA	\$16.065	Acero galvanizado y tropicalizado con 2 arandelas planas y tuerca de seguridad. (M8x60)
2	RUEDA SOPORTE FIJO PLANO	\$ 42.000 + IVA c/u	\$99.960	Ruedas en plásticos del futuro (Resina Nylon para molde y extrusión a máquina)
2	RUEDA SOPORTE PLANO GIRATORIO	\$ 53.000 + IVA c/u	\$126.140	
3	BUJE	\$ 60,000 + IVA c/u	\$214.200	Taller procesos industriales
4	PASADORES	\$ 78,000 + IVA c/u	\$371.280	Taller procesos industriales
		TOTAL	5,364,375	Precio con bomba manual
		TOTAL	11.552.375	Precio con bomba eléctrica

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Un resultado principal del trabajo fue poder llegar a que la estructura propuesta soporta la izada de pacientes con sobrepeso y que al tiempo sea de fácil manipulación y buena seguridad. Se realizaron los ajustes y refuerzos pertinentes a la estructura para que los cálculos diera la resistencia que se requería para este proyecto. Se puede fabricar la estructura con la confiabilidad de haberse realizado los análisis tanto de resistencia como de costos, utilizando además una metodología de diseño probada anteriormente con éxito.

Se realizaron análisis en el programa ANSYS mechanical con diferentes tipos de calibres en los materiales en la estructura para dar las condiciones que soporten el peso con factores de seguridad para que el material no fuera tan robusto y fuera el de mejor opción para realizarse.

Antes de realizar los cálculos, se realizaron comparaciones con diferentes prototipos de equipos con sistemas eléctricos, equipos manuales o equipos hidráulicos; esto permitió obtener la mejor opción para la realización del proyecto, destacándose por ejemplo la selección de una bomba manual y un tipo de material como lo es el acero estructurado

Con el software ANSYS se pudo identificar las zonas más críticas de la estructura propuesta, las cuales fueron las conexiones del cilindro con el bastidor y el perfil vertical, así como la unión entre ese perfil y el bastidor. En esas zonas las platinas deben ir reforzadas y se debe usar cordones de soldadura para minimizar zonas de concentración de esfuerzos y dar mayor resistencia a la estructura. Se realiza el cálculo de resistencia del equipo para dar cumplimiento a las especificaciones requeridas, siendo satisfactorio el resultado en cada elemento analizado.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TRABAJO FUTURO Y RECOMENDACIONES

Se recomienda fabricar el equipo según planos y especificaciones dadas en este proyecto. A futuro se podrían hacer análisis dinámicos sobre la estructura y pensar también en automatizar mucho más el equipo.

Para proyectos de diseño en general se recomienda la utilización de la metodología seguida en este proyecto, ya que tiene un enfoque que permite elegir la mejor entre varias opciones de diseño. El programa ANSYS se recomienda en muy buena parte ya que se pueden realizar los cálculos de resistencia y deformaciones sobre toda la estructura de una manera realista.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- Correa Legorreta, C. E. (2017). *Analisis numerico-experimental de una grua auxiliar de pacientes con problemas de movilidad*. Mexico: Instituto politécnico nacional.
- Creus, A. (2011). *Neumática e hidráulica* (2da ed. ed.). Mexico: Alfaomega.
- Djoglobal. (2018). <http://www.djoglobal.com/products/chattanooga/alliance-stand-assist-patient-lift>.
- ENERPAC. (2001). *Hydraulix power for all industrial application*.
- Hibbeler, R. C. (2006). *Mecánica de materiales* (6ta ed. ed.). Mexico: Pearson education.
- MINSALUD. (2015). <http://discapacidadcolombia.com/index.php/estadisticas>.
- Mott, R. L. (2006). *Diseño y elementos de máquinas* (4ta ed. ed.). Mexico, Mexico: Prentice hall.
- Sealy, W. (2012). *A Finite Element Study of a Patient Lift Conceptual Design*. Panama: 10th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology LACCEI.
- solostocks. (2013). www.solostocks.com.
- tekvobioingenieria. (2018). www.tekvobioingenieria.com.
- Tomadieta. (2016). <https://www.tomadieta.com/indice-masa-corporal/>.
- Velilla Diaz , W., & Montero Alvarez, D. (Enero-Junio de 2010). Metodología de diseño conceptual para la selección de un sistema manipulador de tambores para camiones de carga. *Prospect*, 8(1), 53-62.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

APÉNDICES

A continuación se anexan los planos de la estructura propuesta en este trabajo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES *Esteban Aguirre G*
Haron H. Jondano G

FIRMA ASESOR *[Signature]*

INFORME FINAL APROBADO
 3:00 PM FECHA ENTREGA: 21-08-2015

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO ___ ACEPTADO ___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES ___

ACTA NO. _____
 FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____
 FECHA ENTREGA: _____