

**UNIVERSIDAD DISTRITAL “FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS” - FACULTAD  
TECNOLÓGICA  
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA  
FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO**

**Nº DE RADICACIÓN:** \_\_\_\_\_

**INFORMACIÓN EJECUTORES**

**Ejecutor 1**

Nombre (s):	JENNY PAOLA
Apellido (s):	VILLACRES ACEVEDO
Código:	20122375033
E-mail:	Jpva_mec@hotmail.com
Teléfono fijo:	2997363
Celular:	307449632



**Ejecutor 2**

Nombre (s):	JOAN SEBASTIAN
Apellido (s):	DAZA PRIETO
Código:	20131375041
E-mail:	<a href="mailto:Sebastian.daza02@gmail.com">Sebastian.daza02@gmail.com</a>
Teléfono fijo:	4651292
Celular:	314-4857196



**INFORMACIÓN DEL PROYECTO**

Título del Proyecto:	DISEÑO DE UN CARRO MALETERO	
Duración (estimada):	14 a18 Semanas	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una “x”)	Innovación y Desarrollo Tecnológico	
	Prestación y Servicios Tecnológicos	X
	Otro	
Modalidad del Trabajo de Grado:	Monografía	
Línea de Investigación de la Facultad*:	Semillero SIMEC	
Línea de		

Investigación del Proyecto Curricular**:	
Grupo de Investigación:	
Proyecto de Investigación:	
Áreas del conocimiento que involucra:	Diseño por elementos finitos, diseño de máquinas, estática, dinámica, resistencia de materiales
<b>INFORMACIÓN PASANTÍA</b>	
Nombre de la empresa:	
Dirección:	
Teléfonos:	
Correo electrónico:	
Página Web:	
<b>INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA</b>	
Director: (Vo. Bo.)	
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)	
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)	

DISEÑO DE UN CARRO MALETERO DE VENTA AL PASO

JOAN SEBASTIAN DAZA PRIETO  
JENNY PAOLA VILLACRES ACEVEDO

INGENIERO VICTOR RUIZ

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS  
FACULTAD TECNOLÓGICA  
INGENIERIA MECANICA  
BOGOTÁ, NOVIEMBRE DE 2013

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	5
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 ESTADO DEL ARTE.....	5
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	10
2. OBJETIVOS .....	12
2.1 Objetivo General.....	12
2.2 Objetivos específicos.....	12
3. MARCO TEORICO.....	13
3.1 Estructura:.....	13
3.2 Fatiga:.....	15
3.3 AMFE .....	18
3.4 Análisis Por Elementos Finitos .....	20
4. METODOLOGÍA.....	23
5. CRONOGRAMA .....	25
6. PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN.....	28
BIBLIOGRAFIA.....	31

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo de Físico-matemáticos del bastidor de la cosechadora de caña	5
Figura 2. Modelado solución final chasis carcross .....	7
Figura 3 Carro de helados venta ambulante México 1980 .....	8
Figura 4 Carro de Helado Venta ambulante Venezuela 2012 .....	9
Figura 5 Diseño carro de helados concurso lápiz de acero 2013.....	9
Figura 6 Esquema general AMFE .....	19
Figura 7 Cronograma base de actividades.....	26
Figura 8 Diagrama de Gantt.....	27
Figura 9 Cuadro de convenciones diagrama de Gantt.....	27

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Costo de materiales del proyecto .....	28
Tabla 2 Costos de Infraestructura y equipos .....	28
Tabla 3 Costos de Operación.....	29
Tabla 4 Costos totales del proyecto .....	29

## INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la ingeniería el proceso de optimización de piezas, prototipos y materiales ha sido de gran ayuda para el desarrollo de la industria; es por ello que las necesidades de implementar sistemas de análisis digitales y físicos para todas estas piezas han permitido llevar a una nueva escala el modelado, análisis y revisión de resultados. Todo esto permite tener muchas más opciones para el diseño la construcción y la puesta en marcha de prototipos mejorados, que en base a los resultados del modelamiento y análisis, pueda dar un mejor rendimiento tanto en funcionabilidad como en duración de las piezas que lo componen. Estos análisis permiten dar mejoras no solo en rendimiento del equipo sino en confiabilidad y mantenimiento del mismo, para así optimizar los costos tanto de fabricación como de operación, para así dar una mejor factibilidad al desarrollo del equipo.

El crecimiento de la industria y el desarrollo de la tecnología ha permitido tener nuevas herramientas para esta aplicación puntual, así mismo las nuevas interfaces digitales permites a los desarrolladores tener muchas más opciones de creación y aplicación al mundo real, una gran herramienta tecnológica del análisis por elementos finitos a cual permite el análisis de cargas y resistencia de las piezas y permite optimizar piezas y equipos para tener una mejor caracterización de todo el prototipo, mejorando materiales, formas y esfuerzos en las mismas. Así mismo la caracterización de nuevas formas tanto ergonómicas como mecánicas mejoran el desempeño del prototipo, optimizando costos tanto en diseño, como en fabricación, como en mantenimiento del mismo.

En todo el proceso de formación de ingeniería la gran importancia de manejar y trabajar en estas ramas de la carrera, permite que el profesional crezca tanto a nivel técnico como a nivel empresarial, logrando que sea una gran parte dentro de

una compañía de diseño y optimización de procesos dentro de toda la esfera. Es por eso que la incursión dentro de este campo es la intención principal de este proyecto tomando como principal apoyo las herramientas tecnológicas para el desarrollo de todo el proceso de optimización de nuestro prototipo.



## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Quala S.A, multinacional de consumo masivo colombiana dedicada a la fabricación y distribución de alrededor de 27 marcas diferentes de productos, los cuales contienen categorías como bebidas listas para el consumo, cuidado del hogar, cuidado personal, postres y golosinas, culinario y refrescos congelados. Quala S.A. se encuentra ubicada actualmente en más de 6 países en Latinoamérica entre los que se encuentran Ecuador, Brasil, Republica Dominicana, México, entre otros.

Al ser una compañía líder en el mercado de consumo masivo implementa diferentes canales de distribución para llegar a todos los posibles clientes, desde grandes hipermercados, supermercados y tiendas hasta el consumidor final del producto. Al llegar a este punto se puede afirmar que es el canal de distribución que lleva el producto al consumidor final sin necesidad de un distribuidos intermedio es el más rentable para la compañía (Venta al paso).

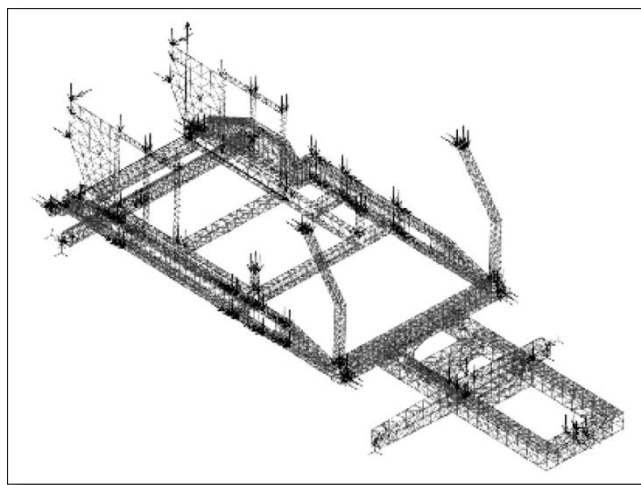
Por medio de este canal de distribución se comercializan productos listos para el consumo como son Bon Ice, Yogoso, Popetas y Vive 100. Los cuales actualmente son los más producidos y comercializados por la compañía; gracias a este tipo de distribución ya que permite una mayor fluidez de los productos en el mercado.

La distribución directa de los productos se lleva a cabo por medio de vendedores que trabajan en las calles de la ciudad, los cuales emplean carros maleteros para transportar los productos y hacerlos llegar a los consumidores finales. El trabajo dichos vendedores se realiza en jornadas extensas, bajo condiciones extremas de uso, expuestos a la lluvia, el sol, y las malas vías de Bogotá, sumado al manejo inadecuado de los usuarios de estos vehículos hacen que la vida útil de los mismos sea muy reducida.

Las implicaciones que tienen estas condiciones en los vehículos son altos costos en repuestos y mantenimiento lo cual genera la necesidad de realizar un estudio que logre determinar cuáles son los fallos presentes en los vehículos y la forma adecuada en los que se puede mejorar. La herramienta que se empleara para el desarrollo de este será el análisis por elementos finitos, ya que permite identificar de una forma más discreta los resultados obtenidos. De esta forma se puede realizar una simulación de la problemática más acorde a las condiciones reales a los que se somete el vehículo. Luego de realizado este proceso se reconoce la necesidad de generar una mejor solución a partir de la realización de un nuevo modelo de carros maleteros, el cual se adapte de una manera más acorde necesidad y condiciones del uso reales, lo que permite mejorar el desempeño actual del elementos, aumentar su vida útil, disminuyendo así costos de mantenimiento y repuestos.

## 1.1 ESTADO DEL ARTE

Como antecedente este proyecto se revisó una tesis de grado de la universidad de Holguín España en el años 2003 titulado “Análisis del bastidor principal de la cosechadora de caña a través del método de los elementos finitos” cuyoas autores son R. Estrada Cingualbres y E. Gómez García el cual explica lo siguiente: “El bastidor de los equipos móviles es un elemento que se diseña para no ser reparado, o sea, es el elemento que caracteriza la durabilidad del equipo. Para garantizar la resistencia, rigidez y durabilidad del mismo es necesario el empleo de técnicas modernas de cálculo que permitan su perfeccionamiento desde las etapas de diseño; el Método de los Elementos Finitos (MEF) es una poderosa herramienta de cálculo que goza, a partir de la difusión de potentes ordenadores personales y de diferentes sistemas profesionales de análisis, de gran uso entre los especialistas de cálculo. El presente trabajo trata sobre el análisis del bastidor principal de la cosechadora cubana de caña de azúcar, modelo KTP-2M, utilizando las técnicas del MEF, con el fin de realizar las necesarias modificaciones que garanticen la resistencia y la rigidez en la parte trasera del bastidor con un menor uso de metal” (R. Estrada Cingualbres, 2003).



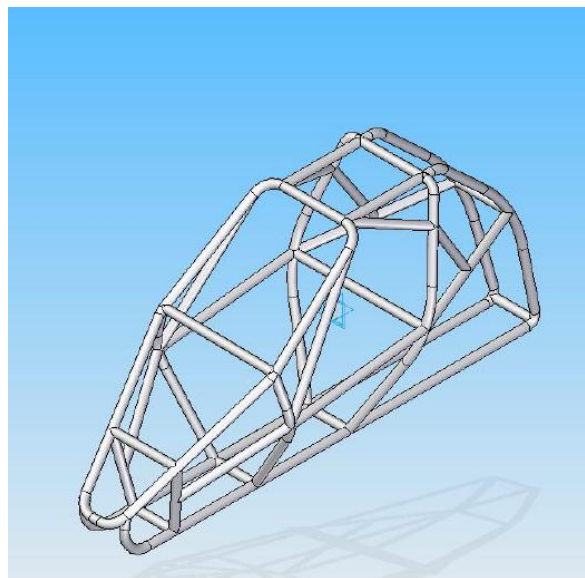
**Figura 1. Modelo de Físico-matemáticos del bastidor de la cosechadora de caña**

El procedimiento que se llevó a cabo para el desarrollo de este análisis fue la creación de un modelo físico-matemático del bastidor, al cual se le realizaron algunas simplificaciones generales con el fin de disminuir la complejidad del análisis el más posible. Luego se procedió a realizar el enmallado de modelo con elementos triangulares para las barras del bastidor, con seis grados de libertad por nodo, elementos sólidos con 8 nodos y tres grados de libertad por nodo para los muñones de apoyo inferior de la sección receptora del bastidor principal. Los materiales que se emplearon fueron acero estructural GOST CT-3 para los elementos del bastidor y acero CT-45 para los elementos sólidos con sus respectivas propiedades Mecánicas. Luego del análisis por elementos finitos se estiman 3955 nodos. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos del análisis se concluye que este elemento tiene un alto porcentaje de oportunidad presente en el uso de forma racional el metal, lo cual ofrezca conservar la resistencia y aumentar la rigidez del mismo. De esto se decide modificar el modelo original, cambiando de forma los largueros de la cola en el perfil y en las dimensiones del mismo; cambiar las dimensiones y espesores de la base, y sustituir los largueros internos por barras de perfil rectangular, sin esfuerzos interiores, lo cual permite aumentar el momento de inercia. Para finalizar se realiza una validación del diseño final presentado lo cual permite corroborar el proceso de análisis realizado.

Otro antecedente referenciado es la investigación realizada en la universidad Carlos III de Madrid España en el año 2010, para obtener el grado de Ingeniero Mecánico, titulado “Diseño y análisis de un chasis tipo Carcross mediante el método de los elementos finitos” cuyo autor es Álvaro García Menéndez. El objetivo principal es el siguiente: “El presente documento trata sobre el estudio de un chasis tipo Carcross destinado a la competición, siguiendo la normativa de la Real Federación Española De Automovilismo (RFEDA) [6]. Se ha modelado una estructura con herramientas de Diseño Asistido por Computador (CAD) y posteriormente analizado mediante el Método de los Elementos Finitos (MEF)” (Menéndez, 2010)

La metodología empleada por el autor para el desarrollo del proyecto fue identificar los criterios de diseño principales que son Rigidez, peso, distribución del espacio, y costo. Luego se continuó con el modelado del chasis y el análisis por elementos finitos del mismo fundamentado en los ensayos establecidos por la norma. Después se realiza el estudio de los datos obtenidos, generando análisis de falla por medio del criterio de Von Mises, y diferentes tipos de análisis de cargas vertical, longitudinal y lateral; lo que al final arroja una solución final. Para culminar se realiza el presupuesto y la fabricación del diseño.

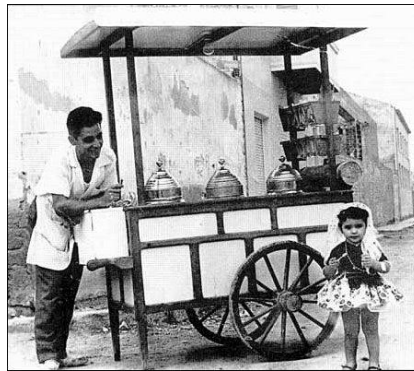
Como conclusión general del estudio anterior se infieren lo siguiente: “ el uso de herramientas CAD (Solid Edge V19) y MEF (Pro Engineer W5) han permitido cumplir los objetivos establecidos, ya que se ha diseñado un chasis ligero, resistente y capaz de soportar los esfuerzos que exige la normativa [6]. Estos programas poseen una interfaz atractiva y sencilla para el usuario, lo que permite familiarizarse con ellos de manera rápida. Además, aproximan los diseños a la realidad con resultados fiables, lo cual permite fabricar un único diseño y sacarlo al mercado sin necesidad de hacer análisis experimentales ni prototipos, los cuales elevan notablemente los costes” (Menéndez, 2010)



**Figura 2. Modelado solución final chasis carcass**

Carro maletero:

Un carro maletero es un dispositivo diseñado para el transporte de mercancías de venta ambulante. Este tipo de artículos lleva en el mercado alrededor de 40 años en donde el producto comercializado en ellos de mayor reconocimiento es el helado.



**Figura 3 Carro de helados venta ambulante México 1980**

Los diseño y estilos de carros de transporte de mercancías ambulantes han cambiado a medida que el tiempo avanza y a la fecha de hoy encontramos variedades a nivel de forma, materiales, diseño, ergonomía del usuario en el vehículo, estética, entre otros. Empresarios como Isidro González presidente de la sociedad para el desarrollo integral ASIPO, compañía que se encarga de acoger pequeños y medianos empresarios para invertir en sus proyectos, promovió el desarrollo de un nuevo modelo de carros de venta de helados ambulante en la zona de la playa de las américas en Venezuela. Este diseño incluía modificar el vehículo y adaptarle un triciclo para que su transporte y manipulación fuera mejorada.



**Figura 4 Carro de Helado Venta ambulante Venezuela 2012**

Similar a este se presentó un diseño modificado de carro en el concurso Lápiz de Acero 2013, en donde se evalúan diferentes diseños industriales. El carro de Helados entro en la categoría P.O.P. y se presentaron dos diseños, que son: “Bicicar y Pushcar son dos presentaciones de Carro de Helados que, con forma aerodinámica y estética moderna buscan consolidarse como un producto ergonómico que haga agradable la experiencia comercial tanto para el trabajador como para el comprador. En su diseño se generaron sistemas de acomodación de baterías eutécticas para mantener el orden dentro del carro y aumentar las condiciones de higiene, pues el producto y las baterías tienen menor contacto. Las tapas están diseñadas para mantener el frío durante más tiempo; la caja térmica tiene 66% más de capacidad en comparación con la de otros carros de helados; dispone de áreas más grandes para ubicar e intercambiar la publicidad y cuenta con un soporte especial para sombrillas y sistema de gato para el cambio llantas” (lápiz de acero, 2013).



**Figura 5 Diseño carro de helados concurso lápiz de acero 2013**

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

Dentro de una empresa en este caso Quala. S.A. existen equipos que tienen un costo de activo y una vida útil, dentro de la vida útil del equipo están contemplados los costos de mantenimiento que este requiera durante el proceso de vida útil. Análisis de costos y demás estudios han demostrado que el sobre costo por mantenimiento de los equipos y sobrecostos en mantenimientos generan millones de pérdidas para la compañía durante la revisión de un solo año, debido a esto se ve la necesidad de implementar una mejora tanto de diseño como de equipo para amortizar todas estas pérdidas que se generan.

Este proyecto va a permitir el desarrollo en conjunto con la compañía, de un carro maletero adaptado tanto a los parámetros de diseños estéticos (publicidad, requerimientos del cliente) como adaptado bajo el análisis de resultados optimizando el equipo basados en cargas, impactos, ergonomía y materiales de construcción, donde las tres metas principales tanto del cliente como de los ejecutores del proyecto son: para el cliente, para los ejecutores y para la universidad.

Para el cliente:

Como se ha explicado, la meta para el cliente es generar un nuevo carro maletero basado en los análisis de resultados vistos por los ejecutores del proyecto, en donde den las recomendaciones de diseño, recomendaciones de materiales, recomendaciones de cargas máximas; y con esto generar una amortización en los sobrecostos anuales generados por el mantenimiento y cambio constante de los carros maleteros.

Para los ejecutores:

En este proceso de documentación, revisión y ejecución, las aplicaciones a las cuales se puede dar una opinión profesional sobre análisis de elementos finitos,



materiales y diseño de prototipos es muy amplia, es por eso que el impacto a nivel profesional y a nivel técnico es bastante importante para los ejecutores del proyecto, dando como foco principal la aplicación de todos estos conocimientos en el análisis de resultados y recomendaciones en el prototipo desarrollado en conjunto con la compañía.

Para la universidad:

Las grandes utilidades a nivel académico tanto de información como de aplicaciones técnicas para futuros proyectos es vital para el desarrollo de la universidad ya que estas utilidades técnicas fomentan la investigación y futura documentación para aplicaciones técnicas y profesionales cercanas.

Todo esto se sustenta en el análisis por elementos finitos que permite ver desde un punto más global el problema, brindando la posibilidad de iterar con las variables inmersas en el problema, lo cual ofrece la posibilidad de solucionar reconocer los puntos críticos de falla en el vehículo de la forma más cercana a la realidad. Los diferentes efectos que se genera a raíz de problema presente son la corta vida útil de los vehículos maleteros de carros, lo cual produce altos costos en repuestos y mantenimiento de los mismos, y gran inversión en materiales para reparación y en elaboración de nuevos vehículos que reemplacen los que no se pueden reparar, estos costos indirectos de distribución se le cargan al producto que se distribuye que es el Bon Ice y las Popetas, estos genera menos rentabilidad en la marca. Aumentando la vida útil y mejorando las condiciones de trabajo de los vendedores se le da un valor agregado al proyecto ya que se presenta ahorros en repuestos y en elaboración de vehículos. La finalidad de este estudio es brindar una nueva solución retomando los análisis obtenidos con las soluciones actuales ya que esto nos permite tener un escenario inicial en donde podremos obtener los resultados de los puntos críticos que se deben mejorar y de esta forma emplear los el análisis obtenido para tomar decisiones en el nuevo diseño planteado.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo General

Diseñar un carro maletero para el transporte de productos de consumo en la calle, con base al análisis de comportamiento de los prototipos suministrados por la Empresa Quala S.A.

### 2.2 Objetivos específicos

- Emplear el método AMFE (Análisis Modal de fallos y efectos) en los prototipos suministrados por Quala S.A. determinando las condiciones críticas del carro maletero.
- Simular los modelos actuales de carros maleteros mediante la técnica de elementos finitos.
- Plantear soluciones de diseño de carros maleteros basados en la información estudiada anteriormente.
- Diseñar en detalle el carro maletero que incluya cálculos, dimensionamiento y modelamiento del elemento en software CAD.
- Validar el comportamiento del carro diseñado frente al comportamiento de los anteriormente estudiados por medio de una simulación aplicando el método de elementos finitos.

### 3. MARCO TEORICO

#### 3.1 Estructura:

Una estructura es, para un ingeniero, cualquier tipo de construcción formada por uno o varios elementos enlazados entre sí que están destinados a soportar la acción de una serie de fuerzas aplicadas sobre ellos.

Esta definición es quizás excesivamente simplista, ya que al emplear los términos “elementos enlazados entre sí”, se induce a pensar en estructuras formadas por componentes discretos, por lo que sólo puede servir como una primera definición. La realidad es que las estructuras con componentes discretos son muy frecuentes en la práctica por lo que su estudio resulta del máximo interés. Además lo habitual es que los elementos sean lineales, del tipo pieza prismática, conocidos como vigas o barras, y cuyo comportamiento estructural individual es relativamente fácil de estudiar, como se hace en Resistencia de Materiales. Con la definición anterior serían ejemplos de estructuras una viga, un puente metálico, una torre de conducción de energía, la estructura de un edificio.

#### Propiedades Mecánicas

Las propiedades mecánicas de los materiales son las que definen el comportamiento de estos. Las más importantes son elasticidad, rigidez, plasticidad, dureza, fragilidad, tenacidad, resistencia a la fatiga, resiliencia y resistencia mecánica. La elasticidad es la capacidad que tienen los materiales elásticos de recuperar la forma primitiva cuando cesa la carga que los deforma. Si se rebasa el límite elástico, la deformación que se produce es permanente.

La rigidez es su opuesto, en este caso se rebasara antes el límite de elasticidad y el material se fracturara. La plasticidad es la capacidad que tienen los materiales

de adquirir deformaciones permanentes bajo la acción de esfuerzos exteriores, sin llegar a la ruptura. La dureza es la mayor o menor resistencia que oponen los cuerpos a ser rayados o penetrados.

La fragilidad es la propiedad opuesta a la tenacidad; el intervalo plástico es muy corto y por tanto, sus límites elásticos y de rotura están muy próximos. La tenacidad es la capacidad de resistencia a la rotura por la acción de fuerzas exteriores. La resistencia a la fatiga es la resistencia que ofrece un material a los esfuerzos repetitivos. La resistencia mecánica es la capacidad de los materiales a soportar esfuerzos de tracción o compresión, cizalladura o esfuerzos cortantes, flexión y torsión.

Esfuerzos a que pueden ser sometidos los materiales:

Los materiales sólidos responden a fuerzas externas como la tensión, la compresión, la torsión, la flexión o la cizalladura. Los materiales sólidos responden a dichas fuerzas con:

Una deformación elástica (en la que el material vuelve a su tamaño y forma originales cuando se elimina la fuerza externa)

### Tipos de estructuras

La estructura es un elemento o conjunto de elementos unidos entre sí, con la finalidad de soportar diferentes tipos de esfuerzos. Las estructuras se pueden dividir en dos grupos según la posición de sus elementos (horizontal-vertical) o la movilidad de sus elementos (rígidas-verticales). Para el diseño y construcción de estas hay que tener en cuenta las propiedades mecánicas de los materiales y el tipo de esfuerzos al que van a estar sometidos estos. Algo que también hay que tener en cuenta es la estabilidad de la estructura, para ello hay que tener en cuenta la situación centro de gravedad y la amplitud de su base de apoyo.

Centro de gravedad es el punto donde confluye la fuerza resultante de la suma de todas las fuerzas que constituyen el peso del cuerpo o estructura. Para hallarlo hay que hacer las medianas de cada uno de sus lados (hallar el baricentro).  
Contra más cerca del suelo está más estabilidad tendrá la estructura.

Estructuras horizontales y verticales:

Las estructuras verticales son aquellas en las que los elementos que soportan los mayores esfuerzos están colocados en posición vertical. Las estructuras horizontales son aquellas en las que los elementos que soportan los mayores esfuerzos se hallan colocados horizontalmente. En este tipo de estructuras los elementos sometidos a mayor esfuerzo trabajan a flexión.

Estructuras rígidas y estructuras articuladas:

Las estructuras rígidas son aquellas que no se deforman cuando se les aplica diferentes fuerzas, excepto si sus elementos se rompen. Las estructuras articuladas son aquellas en las que cuando se les aplica una fuerza, la estructura se deforma, controladamente, al desplazarse los elementos que la integran.

### 3.2 Fatiga:

La fatiga es el mecanismo mediante el cual las fisuras se incrementan en una estructura. El crecimiento tan sólo se produce bajo tensiones cíclicas. La rotura final se produce Normalmente en zonas sometidas a tensión de tracción cuando la sección transversal reducida se hace insuficiente para soportar la carga máxima sin que se produzca la rotura. En condiciones de servicio normales, las fisuras no se propagan mientras la carga sobre la estructura sea estacionaria.

En las estructuras metálicas soldadas, es casi seguro que las roturas de fatiga empezarán a propagarse a partir de las soldaduras y no desde otras uniones, debido a que:

Por una parte la mayoría de los procesos de soldadura dejan discontinuidades a partir de las que pueden propagarse las fisuras. Como resultado de ello, el período inicial, que normalmente es necesario para que aparezca una fisura en un material forjado, es o muy corto o inexistente. Las fisuras pasan la mayor parte de su vida propagándose. Además la mayor parte de las soldaduras estructurales presentan un perfil sin pulir. Normalmente, los cambios acusados de dirección se localizan en los bordes de las soldaduras a tope y en los bordes y primeros cordones de las soldaduras en ángulo.

#### Proceso de rotura por fatiga

El origen de rotura por fatiga es una fisura minúscula que va extendiéndose progresivamente hasta el instante en que no existe suficiente metal sano en la sección para soportar el esfuerzo aplicado; se produce entonces la rotura instantánea por deformación plástica o por fragilidad, de acuerdo con las propiedades del metal y su sensibilidad al efecto entalla una vez formada la fisura. El estudio de la mecánica de fractura muestra que la velocidad de crecimiento de una fisura es proporcional a la raíz cuadrada de su longitud, con la misma fluctuación y el mismo grado de concentración de tensión. Por esta razón, las fisuras de fatiga pasan la mayor parte de su vida en forma de fisuras muy pequeñas difíciles de detectar. Tan sólo en las últimas etapas de su vida comienza la fisura a causar una pérdida significativa del área resistente. Esto plantea problemas para la inspección de estructuras en servicio. El fallo por fatiga se produce si se dan simultáneamente:

- Tensiones de tracción elevadas
- Variación de la tensión con el tiempo

- Número de ciclos de carga suficientemente largo.

El proceso de rotura por fatiga es progresivo y comprende:

- Fase de iniciación de la grieta. En piezas lisas, sin apenas entallas y solicitadas por cargas reducidas puede suponer un 90% de la vida.
- Fase de propagación. Iniciada la grieta, se propaga reduciéndose la sección resistente. Las tensiones en el frente de grieta aumentan acelerando el proceso.
- Fase de rotura. Cuando la sección es insuficiente rotura “sin aviso”

La resistencia a fatiga

La resistencia a la fatiga de un componente se define como el rango de tensión ( $\Delta\sigma R$ ) que, fluctuando a una amplitud constante, origina el agotamiento de dicho componente tras un número especificado de ciclos (N). El rango de tensión es la diferencia entre los puntos máximo y mínimo del ciclo. El número de ciclos hasta la rotura es lo que denominamos resistencia o vida a la fatiga.

La expresión que relaciona N y  $\Delta\sigma R$  (ecuación dada en donde a y m serán conocidos para cada tipo de componente), suele representarse, para mayor comodidad, en escala logarítmica como una línea recta. Su representación gráfica se denomina la curva S-N.

$$\log N = \log a - m \log \Delta\sigma R$$

Esta relación se limita a la rotura estática que se produce cuando se supera la resistencia límite del material cuando el número de ciclos es bajo. En resistencias a fatiga superiores a los 5-10 millones de ciclos, los rangos de tensión son demasiado pequeños para permitir el crecimiento bajo una carga de amplitud constante. Este límite se denomina de tensión no propagadora  $\Delta\sigma D$ . ya que para

rangos inferiores las fisuras no se propagarán.

### 3.3 AMFE

El Análisis Modal de Fallos y Efectos es una metodología que se aplica a la hora de diseñar nuevos productos, servicios o procesos. Su finalidad es estudiar los posibles fallos futuros (“modos de fallo”) de nuestro producto para posteriormente clasificarlos según su importancia. A partir de ahí, obtendremos una lista que nos servirá para priorizar cuáles son los modos de fallo más relevantes que debemos solventar -bien por ser más peligrosos, más molestos para el usuario, más difíciles de detectar o más frecuentes- y cuáles son los menos relevantes de los cuáles no nos debemos preocupar -bien por ser poco frecuentes, bien por tener muy poco impacto negativo o bien porque son fáciles de detectar por la empresa antes de sacar el producto al mercado. Los pasos para realizar un análisis un AMFE son los siguientes:

(AMFE Y SU DESARROLLO, 2010)Lo primero es crear un grupo de trabajo de 4 o 5 personas que tengan conocimientos sobre el producto/servicio/proceso que se está desarrollando. Lo ideal es que el grupo sea multidisciplinar y que incluya varios perfiles diferentes, como diseñadores, ingenieros, técnicos e incluso usuarios finales (ver metodología SCRUM). De esta forma conseguiremos una visión amplia y con diferentes opiniones.

Una vez terminado el paso anterior, tendremos una larga lista de los posibles modos de fallo del producto. Estos deberán ser incluidos en una tabla.

Ahora, llega el momento de clasificarlos según su importancia, para ello a cada modo de fallo le asignaremos tres valores:

**S:** nivel de severidad (gravedad del fallo percibida por el usuario).

**O:** nivel de incidencia (probabilidad de que ocurra el fallo).



**D:** nivel de detección (probabilidad de que NO detectemos el error antes de que el producto se use).

Cuando hayamos calculado el NPR para todos los modos de fallo estudiados, los clasificaremos de mayor a menor. Los modos de fallo con mayor NPR serán los que antes debamos solventar (por ejemplo, se puede acordar que se buscarán soluciones para todos los modos de fallo).

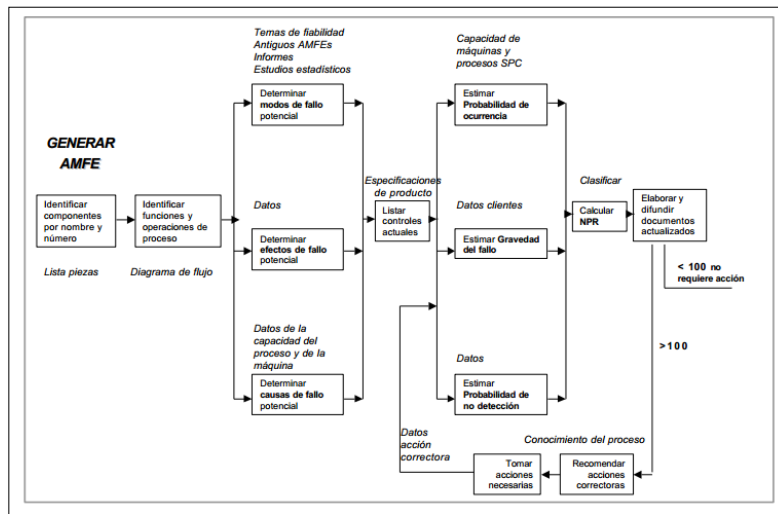


Figura 6 Esquema general AMFE

### Fallos frecuentes en el carro maletero

Dentro de la línea de vida útil del carro maletero se han identificado diferentes fallos que son los más frecuentes a atender y seguidamente dentro de este proyecto a optimizar el prototipo para disminuir el porcentaje de fallos y de veces ocurridos dentro del periodo de vida útil; estos son los fallos más frecuentes:

- Fallos en las ruedas por desgaste, con un 35%:  
Este fallo se da en un gran porcentaje debido al material de las ruedas y a su operación en las calles de las ciudades teniendo en cuenta el estado de estas y la manipulación por los operadores.
- Fallos entre pasador y ruedas, con un 12%:  
El desgaste de la rueda genera unas fuerzas superiores en los ejes y sus sujeciones, en este caso el pasador que la retiene lo cual provoca que este se fracture en la mayoría de sus veces por fatiga del material.
- Fallos en la soldadura del carro maletero, con un 21%:  
Las fallas en las uniones soldadas del carro maletero son frecuentes y en la mayoría de las veces es por un mal uso, por una sobre carga de peso (apilamiento) y por golpes extremos dados a la estructura tales como choque con andenes y escaleras.
- Deformación en la parte superior del vehículo, con un 11%:  
El apilamiento de los vehículos, por ende un sobrepeso para el que está diseñada la estructura provoca una deformación en la parte superior tanto de donde se sujeta el carro como de la tapa de acceso al producto.
- Fallos en la estructura por impactos, con un 42%:  
Los impactos fuertes producidos por andenes, huecos, escaleras, sobrepeso, provocan que la estructura tenga una deformación y ruptura en diferentes puntos críticos.

### 3.4 Análisis Por Elementos Finitos

El Método de los Elementos Finitos es un método numérico de resolución de problemas de Mecánica de Sólidos que resulta de gran importancia por su utilidad práctica. Es una herramienta de cálculo muy potente que permite al ingeniero

resolver infinidad de problemas. En la actualidad para el dicho método en la solución de problemas se emplean diferentes herramientas informáticas. La implementación de dichas herramientas ayudan resolver los problemas de una forma más interdisciplinaria llevando a cabo un análisis de múltiples sistemas inmersos en el problema, en donde el software permite empalmar las entradas y salidas de un tipo de análisis junto con el otro.

Para el empleo de dicha herramienta se necesitan seguir una serie de pasos como se cita a continuación: “El proceso de generación de la solución AEF<sup>1</sup> se realiza en estas herramientas mediante varios pasos: definición de la geometría objeto de estudio, especificación del régimen a estudiar, asignación de las propiedades físicas de los materiales, asignación de las condiciones de contorno, aplicación de las cargas, mallado de la geometría, resolución del problema y análisis de la solución”. (Rodenas, 2006)

En base de dicha información anterior se puede definir que la definición de la geometría de estudio consiste en la elaboración de un modelo en 2D o 3D de la forma de los diferentes objetos inmersos en el problema, estableciendo las diferentes relaciones lógicas que se evidencian en el problema. Para llevar a cabo este tipo de análisis se emplea una herramienta CAD. En la parte de la especificación del régimen es en donde se establece cual es el tipo de análisis que se va a realizar. La asignación de propiedades físicas de los materiales en este ítem se asigna los datos de las propiedades internas que intervienen en el diseño, dependiendo del tipo de análisis que se va a realizar. Algunos ejemplos son propiedades de los materiales, conductividad térmica, entre otros.

Cuando se habla de Asignación de condiciones de contorno se refiere a las condiciones externas de frontera del problema, en donde se establece los factores que intervienen en el problema a analizar. Aplicación de cargas se entiende como las fuentes activas del problema, las condiciones dinámicas del mismo problema

---

<sup>1</sup> Análisis por Elementos Finitos

que se entra a analizar. Relaciones que interactúan entre las condiciones internas y externas. El mallado de la geometría es el momento en que se realiza la división de la geometría objeto de análisis en diferentes elementos en los que se resuelve las ecuaciones que darán solución al problema. Cuando se habla de la resolución del problema es la fase del proceso donde se aplica el método de análisis por elementos finitos y se obtiene la solución del problema físico de forma iterativa. La solución se encuentra en cada uno de los elementos que componen la malla de la geometría. Aunque siempre es evidente agrupar dichas pequeñas soluciones para encontrar el área o volumen crítico afectado.

Luego de encontrar la solución del problema se pasa al análisis de dicha solución la cual brinda la posibilidad de comparar los datos obtenidos con las condiciones a con las cuales se trabaja el problema y tomar una decisión de mejoramiento a dicho problema.

#### 4. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto se implementara una metodología de diseño secuencial, la cual establece que las diferentes fases del proyecto dependen una directamente de la otra en secuencia. Se optó por este tipo de metodología ya que a pesar de que el estudio previo para determinar fallos en los modelos actuales se realizara a la empresa Quala S.A. el alcance del proyecto no incluye que la compañía sea participe de las decisiones que se tomaran basados en dicho estudio. El planteamiento del nuevo diseño de vehículo será realizado por los ejecutores del proyecto. El proyecto se compone de cuatro fases principales de ejecución y diseño que son: fase de análisis de la necesidad, planteamiento de soluciones, diseño detallado y validación de la solución obtenida.

En la fase de análisis de la necesidad se realiza la comprensión del problema de diseño, en donde se puede observar la necesidad de plantear una nueva alternativa de diseño que disminuya los fallos frecuentes en los vehículos maleteros. Para realizar un nuevo diseño a los carros maleteros se inicia por determinar fallos recurrentes en este tipo de vehículos, para esto se emplea la metodología del AMFE (Análisis modal de fallos y efectos). El AMFE es una herramienta que permite evaluar las deficiencias que pueden ocasionar un mal funcionamiento de un producto o servicio. Para el desarrollo del diseño se empleara un AMFE de producto que nos termite evaluar el diseño de los carros maleteros. La aplicación de este método permite determinar las condiciones reales de operación de los vehículos.

Luego de establecer los fallos se continúa con la modelación y simulación de los prototipos actuales suministrados por la compañía Quala S.A. bajo las condiciones establecidas anteriormente, como herramientas para el desarrollo de dicha simulación se utilizaran el software Autodesk Inventor para simular la geometría de los prototipos y para realizar el análisis por elementos finitos se empleara el

Software Ansys el cual permite extrapolar las condiciones de uso real a un espacio de análisis, el cual por medio de un análisis estático, dinámico y de impacto permite reproducir las condiciones reales de operación de los carros maleteros y analizar su comportamiento ante dichas condiciones. De este análisis se deducen los puntos críticos del diseño de los vehículos.

Retomando la información anteriormente obtenida se continúa con la siguiente fase en el proceso de diseño que es el planteamiento de diferentes alternativas de diseño, el primer paso a seguir para plantear las diferentes alternativas es la elaboración de una matriz QFD basada en los datos obtenidos en el AMFE, del desarrollo de esta se obtienen los requerimientos del cliente y de diseño para establecer alternativas conceptuales de diseño, luego de comparar dichas alternativas de diseño enfrentándolas en una matriz con los requerimientos de diseño de los vehículos se obtiene el diseño conceptual preliminar del carro maletero.

A partir de esto se continúa con el diseño en detalle de la solución encontrada lo que implica el cálculo y desarrollo estructural del modelo empleado de carro en el software Autodesk Inventor, lo que permite dar paso a la validación de dicho modelo por medio de la simulación en el software Ansys en donde se extraen las condiciones anteriormente establecidas de uso del vehículo y se analiza el comportamiento de dicho diseño sometido a estas. Esto nos permite evaluar el diseño y tomar las decisiones necesarias para encontrar el comportamiento más óptimo frente a las condiciones de uso. Finalmente se realizara los planos de fabricación de los del modelo solución que servirán como soporte del diseño desarrollado.

## 5. CRONOGRAMA

El cronograma del proyecto presentado a la universidad consolida las actividades base para el desarrollo del proyecto, para la realización del cronograma se empleó la herramienta Project 2010. Dicho cronograma está sujeto a cambios o modificaciones.

Proyecto de grado					
ID	Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors
1	<b>DISEÑO CARRO MALETERO</b>	<b>121 days</b>	<b>Thu 21/11/13</b>	<b>Thu 08/05/14</b>	
2	Aprobación factibilidad proyecto	1 day	Thu 21/11/13	Thu 21/11/13	
3	Analisis De La Necesidad	48 days	Fri 22/11/13	Tue 28/01/14	
4	Reconocimiento de las condiciones espaciales de uso	5 days	Fri 22/11/13	Thu 28/11/13	2
5	Desarrollo del AMFE	5 days	Fri 22/11/13	Thu 28/11/13	2
6	Analisis Primer Modelo	23 days	Fri 29/11/13	Tue 31/12/13	
7	Modelamiento Estructural en Autodesk Inventor de la geometria	5 days	Fri 29/11/13	Thu 05/12/13	5
8	Simulación estatica	5 days	Fri 06/12/13	Thu 12/12/13	7
9	Simulación dinámica y de impacto	3 days	Fri 13/12/13	Tue 17/12/13	8
10	Analisis de resultados obtenidos de la simulacion	8 days	Wed 18/12/13	Fri 27/12/13	9
11	Validación del modelo y toma de desiciones	2 days	Mon 30/12/13	Tue 31/12/13	10
12	Analisis Segundo Modelo	22 days	Mon 30/12/13	Tue 28/01/14	
13	Modelamiento Estructural en Autodesk Inventor de la geometria	5 days	Mon 30/12/13	Fri 03/01/14	10
14	Simulación estatica	5 days	Sat 04/01/14	Thu 09/01/14	13
15	Simulación dinámica y de impacto	3 days	Fri 10/01/14	Tue 14/01/14	14

Proyecto de grado					
ID	Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors
16	Analisis de resultados obtenidos de la simulacion	8 days	Wed 15/01/14	Fri 24/01/14	15
17	Validación del modelo y toma de desiciones	2 days	Mon 27/01/14	Tue 28/01/14	16
18	Analisis Tercer Modelo	22 days	Mon 30/12/13	Tue 28/01/14	
19	Modelamiento Estructural en Autodesk Inventor de la geometria	5 days	Mon 30/12/13	Fri 03/01/14	10
20	Simulación estatica	5 days	Sat 04/01/14	Thu 09/01/14	19
21	Simulación dinámica y de impacto	3 days	Fri 10/01/14	Tue 14/01/14	20
22	Analisis de resultados obtenidos de la simulacion	8 days	Wed 15/01/14	Fri 24/01/14	21
23	Validación del modelo y toma de desiciones	2 days	Mon 27/01/14	Tue 28/01/14	22
24	Planteamiento De Soluciones	12 days	Wed 29/01/14	Thu 13/02/14	
25	Desarrollo de QFD con los datos obtenidos del AMFE	4 days	Wed 29/01/14	Mon 03/02/14	18,23
26	Generación alternativas de Diseños Conceptuales	8 days	Fri 31/01/14	Tue 11/02/14	25
27	Matriz comparativa de alternativas	2 days	Wed 12/02/14	Thu 13/02/14	26
28	Diseño Detallado	13 days	Fri 14/02/14	Tue 04/03/14	
29	Calculos estructurales de la solucion	5 days	Fri 14/02/14	Thu 20/02/14	27

Proyecto de grado					
ID	Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors
30	Modelamiento en Autodesk Inventor de la alternativa	8 days	Fri 21/02/14	Tue 04/03/14	29
31	Validación De La Solución Obtenida	26 days	Wed 05/03/14	Wed 09/04/14	
32	Simulación de la solución obtenida en Ansys	5 days	Wed 05/03/14	Tue 11/03/14	30
33	Analisis de resultados	8 days	Wed 12/03/14	Fri 21/03/14	32
34	Toma de decisiones sobre el diseño	8 days	Mon 24/03/14	Wed 02/04/14	32,33
35	Simulación a los ajustes al diseño	5 days	Thu 03/04/14	Wed 09/04/14	34
36	Documentación de cierre	21 days	Thu 10/04/14	Thu 08/05/14	
37	Planos de fabricación del diseño	7 days	Thu 10/04/14	Fri 18/04/14	35
38	Elaboración documentos de grado	15 days	Fri 18/04/14	Thu 08/05/14	37

Figura 7 Cronograma base de actividades



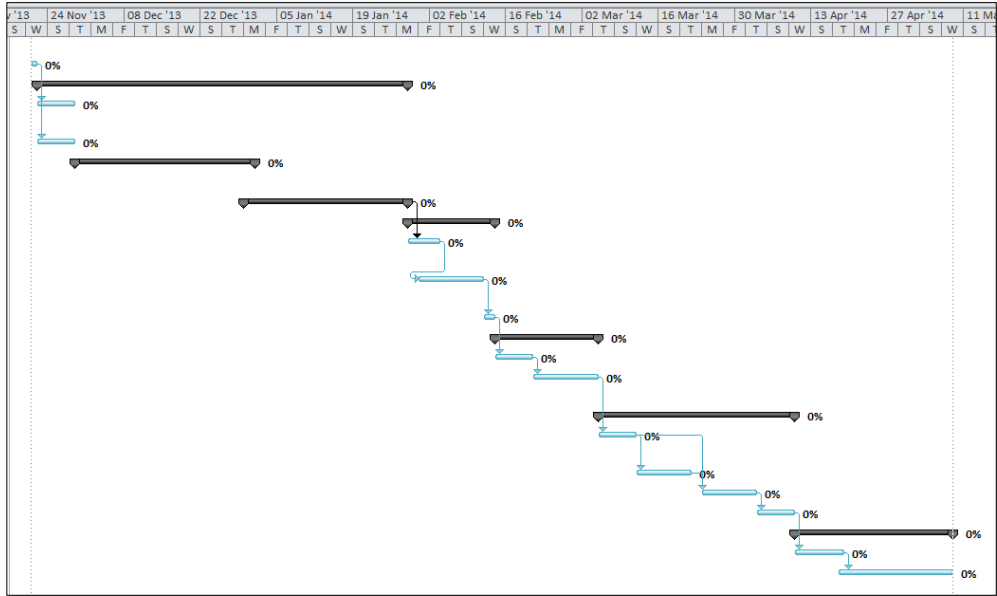


Figura 8 Diagrama de Gantt

Critical		Finish-only		Manual Summary	
Critical Split		Duration-only		Project Summary	
Critical Progress		Baseline		External Tasks	
Task		Baseline Split		External Milestone	
Split		Baseline Milestone		Inactive Task	
Task Progress		Milestone		Inactive Milestone	
Manual Task		Summary Progress		Inactive Summary	
Start-only		Summary		Deadline	

Figura 9 Cuadro de convenciones diagrama de Gantt

## 6. PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN

COSTO DE MATERIALES Y SUMINISTROS					
CATEGORÍA	ITEM	DESCRIPCIÓN	PRECIO	UNIDADES PRODUCCIÓN	COSTO TOTAL
CONSUMIBLES	PAPELERÍA	PAPELERÍA Y UTILES DE ESCRITORIO	\$ 50.000,00	2	\$ 100.000,00
		CORREOS, TELEFONO	\$ 200.000,00	2	\$ 400.000,00
		COPIAS Y DUPLICADOS	\$ 9.500,00	2	\$ 19.000,00
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 519.000,00</b>

**Tabla 1 Costo de materiales del proyecto**

TIPO	DESCRIPCIÓN	COSTO DEL EQUIPO	TIEMPO AMORTIZACIÓN (años)	COSTO HORA POR EQUIPO	COSTO MES POR EQUIPO
INFRAESTRUCTURA	APARTAESTUDIO (Arriendo)	\$ 245.000,00	0,6	\$ 141,78	\$ 34.027,78
	MUEBLES Y ENSERES	\$ 1.500.000,00	2	\$ 260,42	\$ 62.500,00
	AGUA	\$ 60.000,00	0	\$ 250,00	
	LUZ	\$ 120.000,00	0	\$ 500,00	
	GAS	\$ 8.000,00	0	\$ 33,33	
EQUIPOS	LICENCIA DE SOFTWARE	\$ 3.200.000,00	5	\$ 13.333,33	\$ 53333,33333
	COMPUTADORES	\$ 4.000.000,00	2	\$ 694,44	\$ 166.666,67
	UPS	\$ 300.000,00	2	\$ 52,08	\$ 12.500,00
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 15.265,39</b>	<b>329027,7778</b>
<b>SUBTOTAL ANUAL</b>					<b>3540000</b>

**Tabla 2 Costos de Infraestructura y equipos**

OPERACIONES	OPERARIO	TIEMPO POR OPERACIÓN (min)	CANT	TIEMPO TOTAL (min)	TIEMPO TOTAL (h)	COSTO PERSONA (min)	COSTO DE MANO DE OBRA (min)	COSTO MANO DE OBRA TOTAL EN EJECUCION	
DIGITALIZACION EN ANSYS	EJECUTOR PROYECTO 1	300	2	600	10,00	\$ 320,00	\$ 21.600,00	\$ 220.000,00	
DUCUMENTACION DIGITAL	EJECUTOR PROYECTO 1	60	6	360	6,00	\$ 112,00	\$ 160,00	\$ 220.000,00	
LECTURA DE AYUDAS DIGITALES	EJECUTOR PROYECTO 1	120	7	840	14,00	\$ 150,00	\$ 180,00	\$ 40.000,00	
DIGITALIZACION EN ANSYS	EJECUTOR PROYECTO 2	300	2	600	10,00	\$ 320,00	\$ 360,00	\$ 220.000,00	
DUCUMENTACION DIGITAL	EJECUTOR PROYECTO 2	60	6	360	6,00	\$ 112,00	\$ 160,00	\$ 220.000,00	
LECTURA DE AYUDAS DIGITALES	EJECUTOR PROYECTO 2	120	7	840	14,00	\$ 150,00	\$ 180,00	\$ 40.000,00	
		TIEMPO TOTAL POR OPERACIÓN		EJECUCION TOTAL EN MINUTOS	EJECUCION TOTAL EN HORAS		TOTAL POR OPERACION MANO DE OBRA	MANO DE OBRA TOTAL PARA LA EJECUCION	
		<b>SUBTOTAL</b>		<b>\$ 960,00</b>		<b>\$ 3.600,00</b>	<b>60</b>	<b>22640</b>	<b>\$ 960.000,00</b>

**Tabla 3 Costos de Operación**

DESCRIPCION	VALOR
MATERIALES Y SUMINISTRO	\$ 519.000,00
COSTOS MANO DE OBRA	\$ 960.000,00
INFRAESTRUCTURA	\$ 3.540.000,00
<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>	<b>\$ 5.019.000,00</b>

**Tabla 4 Costos totales del proyecto**

Las financiación de la investigación será costeada por los investigadores en un 40% cada uno, los cuales obtendrán el dinero por medio de la prestación de servicios de asesoría a la empresa Quala S.A. la cual se verá beneficiada por los resultados obtenidos a lo largo de la investigación, ya que se presentara un plan de mejoramiento sobre los vehículos maleteros empleados por esta empresa para la distribución de sus productos, para un total de la investigación del 80%. La Universidad Distrital Francisco José De Caldas brinda apoyo con las asesorías y recursos que considere puedan otorgar a los investigadores.

Se presupuesta el gasto de recursos de la siguiente manera

Mano de obra investigadores 35%

Inversión capital 25%

Gastos de infraestructura 20%

Recursos de la Universidad distrital 10%

Costos de materiales 10%

## BIBLIOGRAFIA

*TEORIA DE LA FATIGA*. (08 de 05 de 2005). Obtenido de

[http://ocw.uniovi.es/file.php/53/Teoria/Capitulo\\_III.pdf](http://ocw.uniovi.es/file.php/53/Teoria/Capitulo_III.pdf)

*ESTRUCTURAS Y SU INTERIOR*. (23 de 05 de 2007). Obtenido de

<http://www.estructuras.unal.edu.co/Pagina%20ANSYS/fernandomejia/4link.pdf>

*Teoria de la Fatiga*. (25 de 10 de 2007). Obtenido de

[http://ocw.uniovi.es/file.php/53/Teoria/Capitulo\\_III.pdf](http://ocw.uniovi.es/file.php/53/Teoria/Capitulo_III.pdf)

*AMFE Y SU PROCESO*. (12 de 05 de 2009). Obtenido de

<http://blog.pucp.edu.pe/media/avatar/665.pdf>

*AMFE Y SU DESARROLLO*. (12 de 01 de 2010). Obtenido de

<http://www.pdcahome.com/3891/amfe-guia-de-uso-del-analisis-modal-de-fallos-y-efectos/>

*ELEMENTOS FINITOS APLICADOS*. (24 de 08 de 2012). Obtenido de

[http://caterina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lim/jimenez\\_p\\_a/capitulo2.pdf](http://caterina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/jimenez_p_a/capitulo2.pdf)

Menéndez, A. G. (2010). *Diseño y análisis de un chasis tipo carcass mediante el método de los elementos finitos*. 2010. Madrid , España : Universidad Carlos III de Madrid.

R. Estrada Cigalbres, E. G. (2003). *Análisis del bastidor principal de la cosechadora de caña a través del Método de los elementos finitos*. 2006. Madrid , España.

Rodenas, M. E. (2006). *El análisis por elementos finitos: una metodología muy reciente en economía*. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid España.