

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

**REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MEZCLADORA DE CONCRETO CON CAPACIDAD DE  
12 ft<sup>3</sup>**

**Sara Montoya Bedoya**

**Trabajo de grado presentado como requisito para la obtención del título de  
Ingeniería en Mecatrónica**

**Asesor:**

**Juan José Arbeláez Toro**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**MEDELLIN**

**2016**

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RESUMEN

---

Este trabajo es el informe final de la modalidad de práctica empresarial en ingeniería mecatrónica desarrollada en la empresa FECON S.A.S. Como resultado se presentan las técnicas, los cálculos detallados del rediseño, la selección de los componentes y el proceso de fabricación del sistema mecánico de una mezcladora de concreto de 12 ft<sup>3</sup>, con el propósito de reducir los costos de producción, y satisfacer los requerimientos de precio, volumen, resistencia, potencia y prestaciones del equipo exigidas por los clientes. Lo anterior enmarcado en la política de mejora continua e innovación de la empresa, para ser competitiva en la manufactura de productos livianos para el sector de la construcción.

***Palabras clave: Mezcladora de concreto, Sistema de transmisión, Rediseño, Motor, Método de elementos finitos, Criterio de Von Mises.***

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

## RECONOCIMIENTOS

---

Agradezco sinceramente a todas aquellas personas que con su ayuda colaboraron en el desarrollo de este trabajo de práctica el cual permitirá llevar a feliz término mis estudios, especialmente al profesor Juan José Arbeláez, por la orientación, el seguimiento y la supervisión del mismo, además de por todas enseñanzas que me dejó a lo largo de la carrera.

También quisiera agradecer a la empresa FECON S.A.S por abrirme las puertas y permitirme aplicar lo aprendido en todos estos años y adquirir muchos otros conocimientos, los cuales me servirán en mi vida laboral.

Finalmente un agradecimiento muy especial a mi familia, amigos, profesores y compañeros del ITM que con su ayuda, consejos, y enseñanzas aportaron a mi crecimiento académico y personal.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# ACRÓNIMOS

---

*CAD* Computer aided desing – Diseño asistido por computadora.

*CEMEX* Cementos mexicanos.

*CFD* Computational fluid dynamic – Dinámica de fluidos computacional.

*DEM* Discrete element method – Método de elementos discretos.

*FECON* Fábrica de equipos para la construcción.

*ITM* Instituto tecnológico metropolitano.

*RDM* Rotating drum mixer – Mezcladora de tambor giratorio.

*RDM\_L* Rotating drum mixer with lifters – Mezcladora de tambor giratorio con levantadores.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	6
2.	MARCO TEÓRICO.....	8
2.1	CONCRETO .....	8
2.2	MEZCLADORA DE CONCRETO MÓVIL .....	9
2.2.1	CLASIFICACIÓN DE MEZCLADORAS.....	12
2.2.2	SUBSISTEMAS DE UNA MEZCLADORA .....	13
2.3	ESTADO DEL ARTE.....	15
3.	METODOLOGÍA .....	19
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	24
4.1	ANÁLISIS INICIAL .....	24
4.1.1	ESTUDIO DEL CHASIS.....	24
4.1.2	ESTUDIO DEL EJE DEL TAMBOR .....	32
4.1.3	ESTUDIO DEL PUENTE .....	38
4.3	ANÁLISIS DE COSTOS .....	50
4.4	ANÁLISIS DE CÁLCULOS .....	51
5.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....	53
5.1	CONCLUSIONES .....	53
5.2	RECOMENDACIONES .....	54
5.3	TRABAJO FUTURO.....	54
	REFERENCIAS .....	55
	APÉNDICE.....	56
	APÉNDICE A .....	56
	APÉNDICE B .....	67

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# 1. INTRODUCCIÓN

---

Los mercados actuales exigen a las empresas manufactureras, generar productos con altos estándares de calidad, esto es posible a través de la optimización de los recursos y la implementación de políticas de mejora continua e innovación, tanto en los procesos productivos como en los dispositivos finales de comercialización. La empresa FECON S.A.S dedicada a la fabricación de equipos y maquinaria liviana para la construcción, desarrolla maquinas robustas capaces de hacer trabajo pesado, con altos estándares de calidad, pero la necesidad de mantenerse vigente en el mercado emergente ha llevado a la empresa a incrementar el portafolio de productos y darle a los clientes múltiples opciones para elegir. Es así que surge la idea de generar en FECON S.A.S una línea económica del portafolio actual de productos, a través de la optimización de los procesos y el rediseño de los equipos conservando la calidad y prestaciones, en esta dinámica se realizó este trabajo que consiste en el rediseño y construcción de una mezcladora de concreto con capacidad de 12 ft<sup>3</sup>.

El trabajo está organizado de la siguiente manera, en el capítulo dos (2) se expone el marco teórico, el cual posee toda la información básica del proyecto en cuanto a conceptos y definiciones, además incluye el estado del arte de la tecnología en cuestión, dando así un amplio conocimiento acerca del tema tratar; en el capítulo tres (3) se presenta la metodología, en donde se genera un cronograma de actividades y se explica cómo se llevará a cabo el proyecto; en el capítulo cuatro (4) se muestran los resultados y discusiones, es decir se exponen las respuestas obtenidas en el desarrollo del proyecto y plantea una discusión basada en los resultados de las investigaciones previas evidenciadas en el estado del arte, para así rescatar las fortalezas, debilidades, limitaciones, entre otros, de los trabajos existentes y de lo desarrollado en este proyecto; en el capítulo cinco (5)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Conclusiones, recomendaciones y trabajo futuro, se exaltan las soluciones y problemas obtenidos durante el desarrollo, además se generan una serie de consejos que permitan a los lectores llegar más eficientemente al resultado y que permita desarrollar otros proyectos futuros, este capítulo también habla acerca de cuál es el paso a seguir en el desarrollo y como se complementará la investigación.

**Objetivo general:**

Rediseñar y construir una mezcladora de concreto con capacidad de 12 ft<sup>3</sup>.

**Objetivos específicos:**

- Rediseñar el sistema mecánico sin comprometer la resistencia ni la durabilidad.
- Seleccionar componentes que permitan la construcción de los subsistemas de la máquina,
- Ensamblar y fabricar el sistema completo para evaluar la puesta a punto de la máquina, asegurando su buen funcionamiento.

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

## 2. MARCO TEÓRICO

---

### 2.1 CONCRETO

Es un material compuesto generado a partir de la unión de agregados minerales o rellenos (arena y grava) con agua y cemento. La mezcla de estos componentes logra una reacción química que garantiza una alta resistencia a compresión y flexión y una gran maniobrabilidad cuando este se encuentra fraguado, estas características pueden variar dependiendo de las proporciones de cada uno de los componentes que se manejen en la preparación. El concreto en su estado fresco se caracteriza por: trabajabilidad, consistencia, compacidad, segregación, exudación, contracción y en su estado endurecido por: resistencia mecánica, durabilidad, impermeabilidad, estabilidad volumétrica, elasticidad. Estas características y su bajo costo, hacen del concreto uno de los materiales más empleados en el sector de la construcción (*Mehta & Monteiro, 2010, pag. 1 y 2*). En la tabla 1, se presenta la resistencia y aplicaciones según los índices de mezcla de sus tres materiales principales.

Para realizar una buena mezcla, además de poseer una maquina con buenas características, es necesario tener en cuenta donde se va a ser usada, es decir, tipo de estructura, resistencia a compresión, velocidad rápida o promedio, tipo y cantidad mínima de cemento, relación agua – cemento, tipos de agregados y aditivos.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Tabla 1. Composición de la mezcla de concreto según su resistencia y utilidad.**

CEMENTO (SACO)	AGUAS (BOTES)	ARENA (BOTES)	GRAVA (BOTES)	APLICACIÓN
1+ ☐	1 ☐	2 1/3 ☐☐☐	4 3/4 ☐☐☐☐☐	Grava 1-1/2" Alta resistencia f'c= 300 kg/cm <sup>2</sup> Grava 3/4"
1+ ☐	1 ☐	2 1/3 ☐☐☐	3 1/2 ☐☐☐☐	
1+ ☐	1 1/3 ☐☐	3 1/2 ☐☐☐☐	5 1/2 ☐☐☐☐☐☐	Grava 1-1/2" Columnas y techos f'c= 250 kg/cm <sup>2</sup> Grava 3/4"
1+ ☐	1 1/3 ☐☐	3 ☐☐☐	4 ☐☐☐☐	
1+ ☐	1 1/2 ☐☐	4 ☐☐☐☐	6 1/2 ☐☐☐☐☐☐☐	Grava 1-1/2" Losas y zapatas f'c= 200 kg/cm <sup>2</sup> Grava 3/4"
1+ ☐	1 1/2 ☐☐	4 ☐☐☐☐	5 ☐☐☐☐☐	
1+ ☐	1 3/4 ☐☐	5 ☐☐☐☐☐	7 3/4 ☐☐☐☐☐☐☐☐	Grava 1-1/2" Trabes y dalas f'c= 150 kg/cm <sup>2</sup> Grava 3/4"
1+ ☐	2 ☐	5 ☐☐☐☐☐	5 3/4 ☐☐☐☐☐☐	
1+ ☐	2 1/4 ☐☐☐	6 1/3 ☐☐☐☐☐☐☐	9 ☐☐☐☐☐☐☐☐☐☐	Grava 1-1/2" Muros y pisos f'c= 100 kg/cm <sup>2</sup> Grava 3/4"
1+ ☐	2 1/4 ☐☐☐	6 1/2 ☐☐☐☐☐☐☐	7 ☐☐☐☐☐☐☐	

*Fuente: CEMEX concretos. (2008). Manual del constructor – Construcción general.*

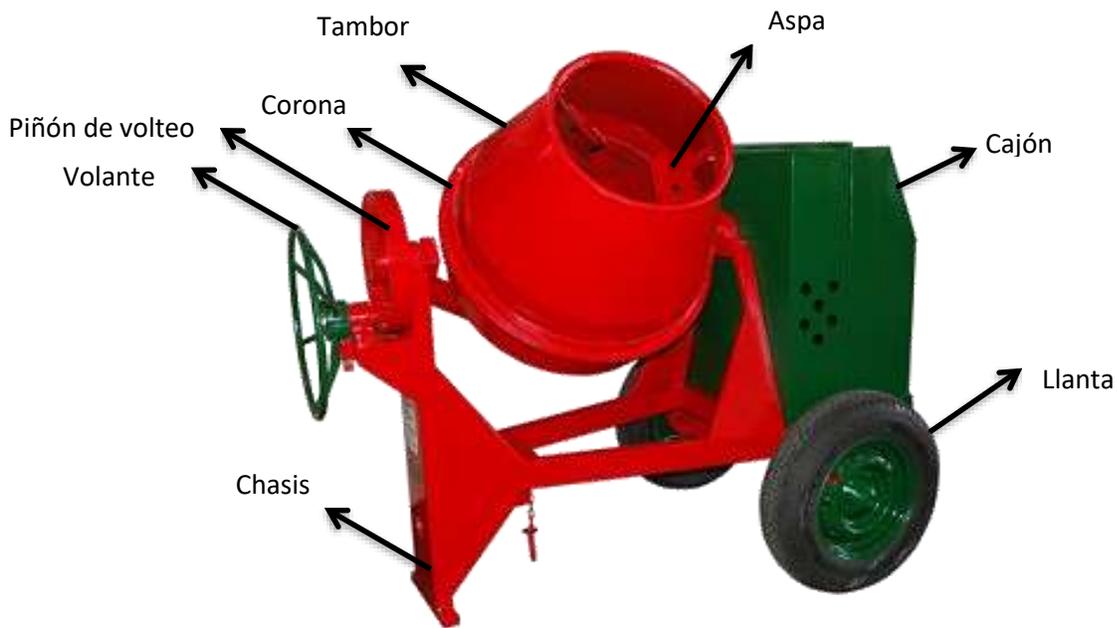
## 2.2 MEZCLADORA DE CONCRETO MÓVIL

Máquina utilizada para combinar de forma homogénea el cemento con arena, para la preparación del concreto, o agregarle a esta preparación previa piedras para generar el hormigón, sin que esta se adhiera al tambor de la mezcladora.

Para alcanzar las características idóneas de la mezcla es necesario garantizar que el volumen del tambor cumple con el especificado en la ficha técnica, en un ángulo de aproximadamente 45°, ya que al ingresar movimiento en esta posición se garantiza la homogeneidad del concreto, el fácil vaciado de la mezcla y se realiza en menor tiempo; si el tambor se encuentra en un ángulo mayor es posible que la mezcla no quede homogénea o que se demore mucho tiempo en realizarse y si por el contrario se

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

encuentra en un ángulo menor la capacidad del mismo se reduce. Además es importante no relacionar el volumen de la mezcladora con el peso, debido a que este depende de la resistencia del concreto para la mezcla y por ende la densidad del mismo. En la figuras 1 se presentan las partes principales de una mezcladora, estas pueden diferir dependiendo del fabricante y del tipo.



**Figura 1. Mezcladora 12ft<sup>3</sup> FECON**

*Fuente: FECON S.A.S. (2010). Portafolio de productos – Mezcladora 12 ft.*

**Chasis:** Estructura rígida que recibe todas las cargas aplicadas sobre la máquina, además es un medio para unir los diferentes componentes de la misma.

**Tambor:** Parte de la maquina donde se ingresan los materiales para realizar la mezcla. En su interior se compone por aspas en ángulos específicos, que con la ayuda del movimiento generado por el motor consiguen que el concreto tenga la consistencia deseada.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Motor eléctrico/Motor a gasolina:** Máquinas que tienen por objeto transformar energía eléctrica o de combustión en energía mecánica, para generar movimiento (véase figura 2).

**Polea:** Rueda plana de metal que permite la transmisión de movimiento por medio de una correa o banda que pasa por un canal o guía en el borde de la misma, generando que la polea ruede sobre su mismo eje (véase figura 2).

**Piñón de volteo:** Rueda plana dentada que permite la transmisión de movimiento mediante el ajuste de las crestas del engrane en los valles de otro piñón, la cual genera el movimiento del tambor para el vaciado de la mezcla.

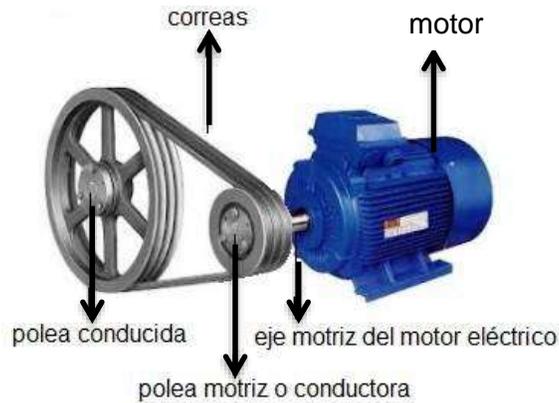
**Corona:** Elemento dentado utilizado en transmisiones, por lo general posee más dientes que el piñón que entrega el movimiento, lo que implica que disminuye la velocidad y aumenta el torque.

**Puente:** Elemento rígido que conecta los dos extremos de la mezcladora y le da soporte al tambor, garantizándole estabilidad para que la mezcla se realice correctamente y no se desperdicie, además une el piñón propulsor con la corona que rodea el tambor, para entregar el movimiento producido por el sistema de potencia.

**Volante:** Elemento metálico que funciona como manubrio, el cual permite la movilidad del tambor y por tanto el fácil vaciado de la mezcla.

**Piñón propulsor:** Rueda plana dentada que permite la transmisión de movimiento que entrega el sistema de potencia al tambor, lo que permite una correcta mezcla.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 2. Transmisión de movimiento introducido por un motor por medio de poleas y bandas.**

*Fuente: Aula fácil. (2013). Curso gratis de dinámica II – La polea.*

### **2.2.1 CLASIFICACIÓN DE MEZCLADORAS**

Debido a que en el campo de la construcción se generan diferentes necesidades primordiales, la industria ha creado múltiples alternativas que puedan satisfacerlas, produciendo máquinas de diferentes características y propiedades, tales como potencia de transmisión, capacidad volumétrica, velocidad de rotación del tambor, tamaño, entre otros. En la tabla 2 se pueden evidenciar los diferentes tipos de mezcladoras y sus propiedades.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Tabla 2. Clasificación de mezcladoras por uso, volumen, potencia y velocidad.**

<b>Mezcladora</b>	<b>Usos</b>	<b>Volumen de carga</b>	<b>Potencia (HP)</b>	<b>Velocidad (rpm)</b>
Tipo Trompo, tambor basculante	Concreto, hormigón	350 – 400 l	5 – 10	30 – 35
Camión hormigonera	Concreto, hormigón	6 – 10 m <sup>3</sup>	10	15 – 20
Móvil automática	Concreto certificado en obra	10 – 25 m <sup>3</sup>	10 - 20	20 – 35
Eje horizontal	Concreto, hormigón	0,5 – 8 m <sup>3</sup>	5 – 40	
Planetaria eje vertical	Concreto, tierra, refractarios, sílice	0,375 – 4,0 m <sup>3</sup>	10 – 50	Planetas 31 – 47 Sistema 9 – 19
Eje vertical	Concreto, hormigón, tierra	0,5 – 1 m <sup>3</sup>	5 – 10	30 – 38

*Fuente: Ardila, C. E, Buitrago, J. A. (2010). Diseño y construcción de una mezcladora de cemento refractario para una potencia de 5 HP.*

### **2.2.2 SUBSISTEMAS DE UNA MEZCLADORA**

En una mezcladora se pueden observar tres tipos de subsistemas, sistemas de potencia, sistema de mezclado y sistema estructural, cada uno formado por diferentes componentes que ayudan a que estos cumplan con su objetivo.

**Sistema de potencia:** Es el encargado de ingresarle movimiento a la máquina para lograr la mezcla, se compone principalmente por un sistema de transmisión, estos son un conjunto de elementos interconectados que tienen como finalidad transferir un movimiento o potencia, mecánicamente existen diferentes tipos, entre los cuales están, transmisión por cadena, por bandas, barras, discos de fricción, juntas, entre otros. Para el rediseño de la mezcladora se definió trabajar con un sistema de bandas y poleas, el cual

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

está compuesto, por el motor, las características del mismo deben ser calculadas y tomadas en cuenta para el diseño, y la transmisión mecánica, que a su vez está compuesto por dos poleas, la primera se encuentra conectada al motor por medio de un eje y es la polea motriz o conductora y la segunda recibe el movimiento que luego transfiere por medio de un eje a un piñón propulsor y tiene por nombre polea conducida, la transmisión de movimiento entre ambas poleas se da por medio de una banda o correa en v.

**Sistema de mezclado:** Se ocupa de realizar la mezcla de concreto y de que esta sea totalmente homogénea, está compuesto principalmente por el tambor, el cual le da la capacidad a la máquina, las aspas, estas garantizan que los componentes queden bien compenetrados, y el puente, que se encarga de generar estabilidad en el tambor y contiene el piñón propulsor, que es el responsable de entregarle a este, por medio de la corona que lo rodea, el movimiento proveniente del sistema de potencia.

**Sistema estructural:** Se encarga de darle estabilidad, robustez y diseño a la máquina, está compuesto únicamente por el chasis, el cual indica la posición donde deben ubicarse todos los demás componentes y los une, y el sistema de movilidad, que contiene a su vez las dos llantas, los rines y el eje que las comunica, este permite que el transporte de la máquina sea fácil y rápido.

Debido a que este sistema es el que más esfuerzos debe soportar, se le realizan análisis computacionales del método de elementos finitos, el cual permite resolver ecuaciones diferenciales asociadas a un problema físico sobre geometrías complicadas y aproximar el comportamiento de cada parte en pequeñas áreas para así acercarse más a los resultados reales.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 2.3 ESTADO DEL ARTE

- Los autores del artículo en cuestión, aseguran que el desgaste en las concretadoras u hormigoneras es uno de los principales fenómenos que se deben controlar para garantizar un mejor rendimiento y reducir el costo de la producción del material, por tanto proponen la optimización del diseño de las aspas de una mezcladora planetaria de dos estrellas, el cual puede aplicarse a diferentes máquinas; en el desarrollo del experimento, se logra evidenciar el progreso del desgaste de las aspas con el tiempo, con esta medición se propone comparar el resultado obtenido por las aspas con las propiedades tradicionales y el nuevo diseño que se generará.

Se propuso un rediseño de las aspas en base al enfoque cualitativo teórico, tomando en cuenta el modelo y propiedades del hormigón fresco, los movimientos realizados por las aspas mientras se efectúa la mezcla y el consumo de energía de la máquina, también se realizaron pruebas experimentales con el fin de demostrar la eficiencia del diseño. En la primera prueba se tomaron en cuenta los ángulos de las aspas, mientras que en la segunda se midieron las tasas de desgaste evidenciadas con respecto a las cuchillas tradicionales T, cada uno de los experimentos se realizó con un ángulo diferente,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  y  $\beta_3$ , para así encontrar el más apropiado para la aplicación.

Basados en los resultados vistos en los experimentos realizados se llegó a la conclusión que las aspas con un ángulo de  $\beta_3$  eran más resistentes al desgaste en comparación con las construidas con un ángulo  $\beta_1$  y  $\beta_2$ , donde  $50^\circ < \beta_1 < \beta_2 < \beta_3$ . Además logró reducir el consumo energético de la máquina al aplicar el nuevo diseño, alcanzando así los objetivos propuestos inicialmente. (Valigi et al, 2015).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- En muchos casos la mezcla se ve directamente conectada con la eficiencia del producto final, lo que implica que los parámetros del proceso y el diseño de la maquinaria tiene un gran impacto sobre la calidad y el costo del producto intermedio o terminado. Por esto los investigadores que realizaron el documento se enfocan en utilizar software que simulen diferentes situaciones que impulsen al estudio a entender el comportamiento de los fluidos mezclados y que ayuden a determinar cuál de los sistemas, Komax o Ross, es el más adecuado.

Se usan dos tipos de software DEM (Discrete element method), el cual es usado para modelar el flujo granular de diversas mezclas usando las interacciones partícula – partícula y partícula – muro, logrando entonces la integración por medio de la segunda ley de Newton, y CFD (Computational fluid dynamic), que es utilizado para la simulación del flujo del fluido a través del modelo multifase euleriano, determinando la velocidad y la presión del mismo, por ultimo pretende unir los resultados obtenidos en ambos métodos y comparar con las mediciones experimentales, para así lograr una predicción del comportamiento de las partículas en diferentes configuraciones de mezcladoras estáticas.

La aplicación del modelo predictivo proporciona la optimización de la geometría general y los parámetros del sistema de mezcla, teniendo como base la calidad del proceso y producto final y el costo monetario del mismo, llegando así, a la conclusión, que el sistema Komax, comparado con Ross, es más aplicable, especialmente cuando la altura de la estructura donde se descarga la mezcla es baja, por otro lado Ross es económicamente viable, debido a la simplicidad de su geometría; esto conlleva a que el sistema óptimo para ser aplicado a cada caso específico, depende de las necesidades que se deban suplir en la construcción del mismo. (*Jovanović et al, 2014*).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- En la investigación se analizó el comportamiento de las partículas en un tambor giratorio de una mezcladora (RDM, Rotating drum mixer) por medio del software DEM, para entender el efecto que puede generar la densidad de las mismas sobre la mezcla y encontrar una manera de reducir la segregación que es uno de los problemas más grandes en la realización de concreto; Se realizó el experimento con dos tipos de partículas, alúmina con una densidad de  $3600 \text{ kg/m}^3$  y acero inoxidable con una densidad de  $7930 \text{ kg/m}^3$ .

Se evidenció que la mayor parte de las partículas de alúmina se ubicaron cerca de la pared del tambor y en la superficie de la mezcla, lo que indica que las partículas con menor densidad pueden moverse fácilmente en comparación con las de una densidad mayor, lo que da a entender que la diferencia de densidad y por tanto movilidad de los materiales que componen la mezcla en el tambor, es la causa de la segregación; también se notó que entre más grande sea la relación entre las densidades de los materiales, el comportamiento de la mezcla se ve altamente afectado, ya que se puede observar menos homogeneidad en el resultado final.

Para lograr solucionar el problema de la segregación en la mezcla de dos materiales con diferentes densidades, se propuso utilizar un tambor giratorio con levantadores (RDM\_L, Rotating drum mixer with lifters) y se observó que el estado de las partículas en la mezcla se volvió más uniforme en comparación con el análisis previo, además no se observó segregación alguna. Estos resultados indican que los levantadores pueden controlar y mejorar en cierta parte el comportamiento de las partículas con alta y baja densidad y optimizar la homogeneidad de la mezcla. (*Yamamoto et al, 2015*).

- La investigación se centra en encontrar los parámetros idóneos para calcular las aspas de un camión mezclador de concreto, teniendo en cuenta el lugar donde

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

están situadas dentro del tambor del mismo; ya que la correcta forma de las aspas y su posición en dirección a la hélice, puede afectar ampliamente la consistencia del concreto durante el transporte hasta su disposición final.

El principal problema es determinar la trayectoria exacta de las aspas, ya que de esto depende la elección de una correcta posición donde deben ser soldadas dentro del tambor, para que su movimiento constante mantenga el concreto en su uniformidad hasta que se descargue el material en la obra civil.

Se realizaron los respectivos análisis basados en la geometría diferencial y se generaron trazos predictivos de las aspas dependiendo del ángulo de la hélice  $\beta$  y de cómo se soldaban en el tambor, utilizando el entorno de programación Turbo Pascal como medio para hacer los cálculos respectivos. (Fedorko et al, 2015).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 3. METODOLOGÍA

---

Para el desarrollo del rediseño de una mezcladora con capacidad de 12 ft<sup>3</sup> o 340 L, se realizó un cronograma por meses, donde se especificaron diariamente tareas concretas, tanto de investigación, como de fabricación, ensamble y procedimiento y acabados finales, con el cual se logró tener un control y orden del progreso del proyecto. El nuevo diseño debía garantizar ciertas especificaciones, para lograr satisfacer las necesidades del mercado, tales como:

- Capacidad de mezcla: 340 L / 12 ft<sup>3</sup>.
- Capacidad según resistencia de 5000 lb: 2 sacos.
- Aspas del tambor: 6 unidades.
- Revoluciones del tambor: 33 rpm.
- Eje central: Montado sobre rodamientos cónicos.
- Sistema de transmisión: Poleas y bandas con protector.
- Sistema de potencia: Motor eléctrico 5 HP a 1800 rpm / Motor a gasolina 6.5 HP a 1800 rpm.

En la primera parte se trabajó lo relacionado con la búsqueda y obtención de información, tomando como referencia el modelo anterior que se comercializa en la empresa, tanto bibliográfica como de cálculos y resistencia, también se analizaron las propiedades de los materiales con los cuales se pensó construir la máquina para conocer y hacer un uso adecuado de sus características específicas tales como dureza, maleabilidad, elasticidad, entre otros; posteriormente se hicieron prototipos en el software SOLIDEDGE 2015, para poder determinar así, las dimensiones de cada una de las partes que componen la máquina, además se realizaron análisis de esfuerzos por elementos finitos por medio de mallas y nodos, para encontrar los puntos críticos de la máquina y garantizar que el



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Tabla 4. Cronograma de fabricación del mes de Agosto para la realización del rediseño de una mezcladora con capacidad de 12ft<sup>3</sup>**

Mes		Julio																	
<b>Mezcladora 12 ft3</b>		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
		M	Mi	J	V	S	D	L	M	Mi	J	V	S	D	L	M	Mi	J	V
Fabricación	Construcción chasis																		

Posteriormente se procede a realizar el ensamble, debido a que en las etapas anteriores se construyeron todas las partes por separado; se propone montar independientemente cada subsistema y finalmente unirlos y conformar la máquina completa. En primer lugar se ajusta el puente al chasis, que contendrá el tambor, se le suministran todos los componentes tales como ejes, rodamientos, bujes, tornillos, chumaceras, cunas, bridas, entre otros, se endereza hasta que quede a punto y se ajusta el piñón propulsor, luego se monta el tambor, el cual fue previamente ensamblado y probado para que cumpla con las características de capacidad y que las aspas dentro de él estén en correcta posición para generar una buena mezcla, después este se rodea por la corona, que es la encargada de recibir el movimiento del sistema de potencia, se debe asegurar que los dientes del piñón propulsor que se encuentra en el puente y la corona que envuelve al tambor encajen perfectamente.

Luego se arma y monta el piñón de volteo, que es el encargado de hacer girar el tambor para lograr un fácil descargue de la mezcla, con su respectivo volante y se ensambla y monta el cajón en el chasis, que es donde se ubica el sistema de potencia, el que se compone del motor y las poleas con sus bandas, estos componentes se deben ajustar y alinear hasta garantizar una buena transmisión de movimiento. En la tabla 5 se puede evidenciar la distribución en días de lo descrito previamente.





	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

### 4.1 ANÁLISIS INICIAL

En el análisis de la estructura de la mezcladora de 12 ft<sup>3</sup> se tomaron en cuenta las fuerzas ejercidas por el tambor con toda su capacidad de mezcla y de forma estática, lo que arroja resultados aproximados de los valores reales de esfuerzo y deformación, que pueden afectar los materiales de los cuales está compuesta la máquina y por ende el funcionamiento de esta. A continuación se presenta la simulación de las partes más críticas de la concretadora, basada en elementos finitos por medio de mallas y nodos, donde se planteó comprobar que las cargas ejercidas no generan esfuerzos más altos que los permisibles por el material, por medio del análisis de Von Mises, también se examina el desplazamiento, garantizando que los componentes no se deforman considerablemente con las fuerzas aplicadas sobre el mismo.

#### 4.1.1 ESTUDIO DEL CHASIS

En la primera parte, luego de haber realizado las piezas y ensamblajes correspondientes, con las medidas reales tomadas del desarrollo estructural, se asignan las propiedades físicas del componente dentro del software, tales como masa, volumen, densidad y peso, las cuales son fundamentales para garantizar resultados más cercanos a los reales; estas se pueden evidenciar en la tabla 7. Por otro lado, en la tabla 8 se muestran las propiedades del material, el cual fue elegido, ya que era el que poseía el límite de elasticidad y rotura más bajo de entre todos los otros materiales que componen a la máquina, esto demuestra que si el material más débil resiste los esfuerzos que se ejercen

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

sobre la misma, esta no fallará en ningún punto, garantizando así su robustez y por ende su buen desempeño.

**Tabla 7. Información del modelo del chasis para la elaboración de elementos finitos.**

Modelo	Propiedades volumétricas
	Masa:37.8184 kg Volumen:0.00481763 m <sup>3</sup> Densidad:7850 kg/m <sup>3</sup> Peso:370.621 N

**Tabla 8. Propiedades del material del chasis para la elaboración de elementos finitos.**

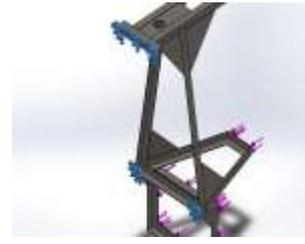
Referencia de modelo	Propiedades
	Nombre: <b>ASTM A36 Acero</b> Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b> Criterio de error predeterminado: <b>Tensión máxima de Von Mises</b> Límite elástico: <b>250 N/mm<sup>2</sup></b> Límite de tracción: <b>400 N/mm<sup>2</sup></b> E: <b>209.8 GPa</b>

Luego se asignaron los puntos de apoyo del chasis, es decir los lugares donde la estructura está en contacto con el suelo, los cuales se consideran fijos por efectos de simulación, pero en la realidad poseen movimiento cuando no se está mezclando concreto, lo que de antemano genera un pequeño error en los resultados que se puedan obtener del estudio, aunque ya que en la etapa de mezclado la máquina no posee movilidad y esa es la situación que a consideración es la más crítica, definir estos espacios como estáticos puede ser lo más cercano a la realidad, generado así valores muy aproximados y por ende

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

verídicos; en la tabla 9 se pueden evidenciar cada uno de estos puntos ubicados en el chasis de la mezcladora.

**Tabla 9. Detalles de la sujeción ejercida sobre el chasis.**

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		<b>Entidades:</b> 3 cara(s) <b>Tipo:</b> Geometría fija

En la primera parte de la tabla 10 se puede observar la fuerza 1 que es ejercida sobre el chasis por las partes que componen la mezcladora, pero por efectos de simulación, solo se toma en cuenta la proveniente del peso del tambor y la mezcla con capacidad completa, obviando otro tipo de componentes que no tienen un aporte significativo. La fuerza se calcula de la siguiente forma:

- Capacidad del tambor = 340 L.
- Factor de conversión del concreto de litros a kilogramos  $\approx 2.1$  kg/L.

$$340 \text{ L} \times 2.1 \frac{\text{kg}}{\text{L}} = 714 \text{ kg}$$

Donde 714 kg = masa de la mezcla dentro del tambor:

$$714 \text{ kg} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 6997.2 \text{ N}$$

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

La fuerza resultante se divide en dos, debido a que tiene dos puntos de apoyo.

$$\frac{6997.2 \text{ N}}{2} = 3498.6 \text{ N}$$

Para acercar el valor encontrado al valor real, debido a que para hacer el cálculo no se tomaron en cuenta muchos componentes, se aproxima por encima la fuerza encontrada.

$$3498.6 \text{ N} \cong 3700 \text{ N}$$

En la segunda parte de la tabla se aplica la fuerza 2 generada por el peso del motor y todo el sistema de transmisión, dos poleas y bandas. La fuerza se calcula de la siguiente forma:

- Peso motor 5 HP a 1800 rpm  $\approx$  50kg.

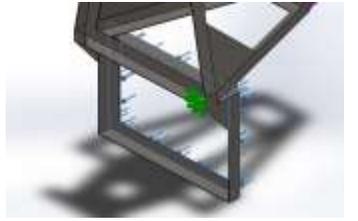
$$50 \text{ kg} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 490 \text{ N}$$

A lo calculado anteriormente se le suma un aproximado de la fuerza que ejercen las poleas, la banda y el cajón que protege al motor, de donde:

$$490 \text{ N} \cong 600 \text{ N}$$

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Tabla 10. Detalles de las cargas ejercidas sobre el chasis.**

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<b>Entidades: 2 cara(s)</b> <b>Tipo: Aplicar fuerza normal</b> <b>Valor: 3700 N</b>
Fuerza-2		<b>Entidades: 1 cara(s)</b> <b>Tipo: Aplicar fuerza normal</b> <b>Valor: 600 N</b>

Luego de darle las características a la estructura tales como propiedades físicas, sujeciones y cargas aplicadas, se procede a generar una malla con sus respectivos nodos, donde su función básica es dividir el chasis en pequeñas partes, para analizarlas por separado y así encontrar los puntos más críticos del chasis. Lo cual genera información muy valiosa, ya que se pueden desarrollar refuerzos sobre estos puntos específicos y así garantizar que el material no falle. En la tabla 11 se pueden observar los aspectos de la malla creada, donde se habla de la forma que se le dio y el tamaño de los elementos por los cuales estaba compuesta, además en la tabla 12 se especifica otro tipo de información que también debe ser tomada en cuenta, tal como número de nodos, número total de elementos, entre otros, y se muestra una figura donde se evidencia la estructura del chasis envuelto en la malla anteriormente descrita.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Tabla 11. Información de la malla utilizada sobre el sólido.**

<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Mallador utilizado:</b>	Malla estándar
<b>Transición automática:</b>	Desactivar
<b>Incluir bucles automáticos de malla:</b>	Desactivar
<b>Puntos jacobianos</b>	4 Puntos
<b>Tamaño de elementos</b>	15.5153 mm
<b>Tolerancia</b>	0.775767 mm
<b>Calidad de malla</b>	Elementos cuadráticos de alto orden

**Tabla 12. Detalles de la malla utilizada sobre el sólido.**

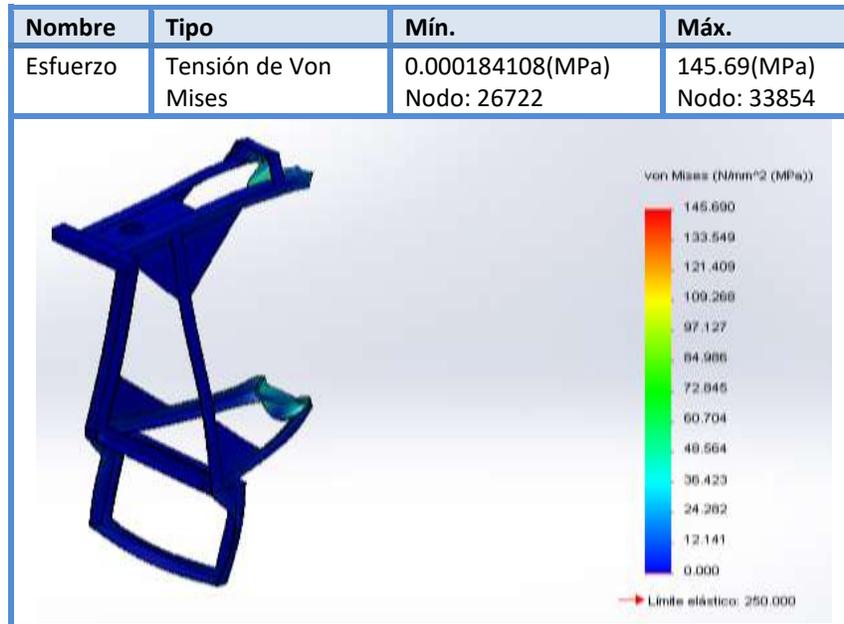
<b>Número total de nodos</b>	63828
<b>Número total de elementos</b>	30451
<b>Cociente máximo de aspecto</b>	43.956
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &lt; 3</b>	12.7
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &gt; 10</b>	1.06
<b>% de elementos distorsionados (Jacobiana)</b>	0



Finalmente el programa arrojó los resultados, donde demostró que el esfuerzo más alto que soportaba la estructura era de 145.690 MPa, el cual se encuentra por debajo del límite elástico del material, que es de 250.000 MPa, demostrando que el chasis es capaz de soportar las cargas que se le aplican. En la tabla 13 se puede evidenciar una figura que muestra en que parte de la estructura se encuentran los puntos críticos, es decir, en qué lugar se concentran los esfuerzos más altos y por donde el zona donde pueden fallar.

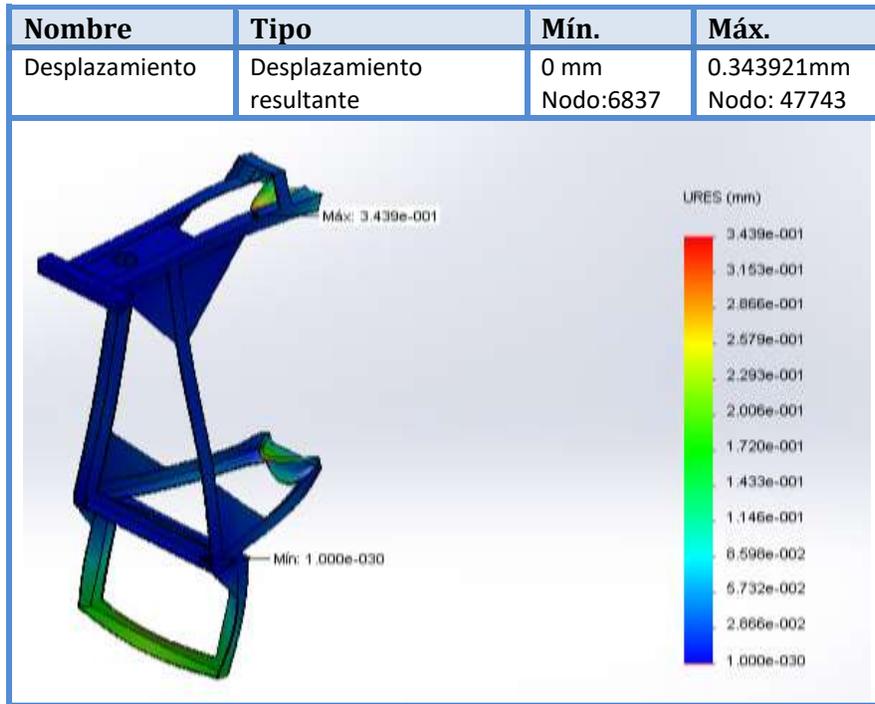
	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Tabla 13. Resultados de los esfuerzos ejercidos sobre el chasis teniendo en cuenta las cargas aplicadas.**



También se analizaron los desplazamientos que evidenciaba el material, y según el estudio realizado por elementos finitos el punto más crítico, donde se genera un mayor desplazamiento es de 0.3439 mm, lo que en realidad demuestra que las cargas y sujeciones que provocan las fuerzas que se aplican sobre el material no representan un daño importante en la estructura, garantizando que tanto en cuanto a esfuerzos y desplazamientos, el material es capaz de soportar y no va a fallar.

**Tabla 14. Resultados de los desplazamientos que experimenta el chasis teniendo en cuenta las cargas aplicadas.**



Debido a los resultados obtenidos se da a entender que la estructura es capaz de soportar las cargas, pero es importante tener en cuenta el factor de seguridad, el cual genera una especie de colchón que protege la máquina, por si en algún momento alguna de las cargas aumenta y por ende incrementan los esfuerzos a tal punto que el material pueda fallar, este factor debe garantizar un resguardo suficiente sin llegar al dimensionamiento, ya que esto afectaría la parte financiera. En la tabla 15 se puede evidenciar que en el punto más crítico tiene un factor de seguridad de 1.7, lo que demuestra que el material es suficientemente fuerte, hasta en su parte más débil, y ya que el factor no es tan alto no cabe pensar en un sobredimensionamiento, lo que indica que el material cumple en todos los aspectos y por tanto es idóneo para la construcción del chasis.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Tabla 15. Resultados del factor de seguridad por nodos del material del chasis teniendo en cuenta las cargas aplicadas**

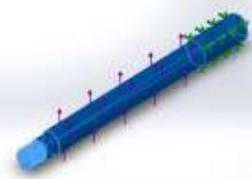
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad	Tensión de Von Mises máx.	1.71597	1.3579e+006
		Nodo: 33854	Nodo: 26722



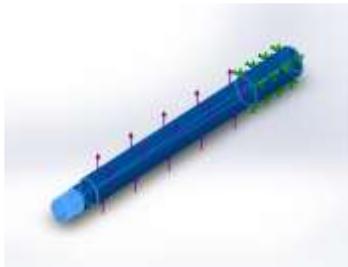
#### **4.1.2 ESTUDIO DEL EJE DEL TAMBOR**

De manera similar al chasis, se procedió con el eje del tambor, el cual es una pieza crítica ya que de él depende la sujeción del puente con el tambor y por tanto la estabilidad del mismo y de la mezcla. En la tabla 16 se evidencian las características físicas del elemento asignadas previamente y en la tabla 17 las propiedades del material escogido para la prueba, tal como se realizó en el estudio anterior.

**Tabla 16. Información del modelo del eje del tambor para la elaboración de elementos finitos.**

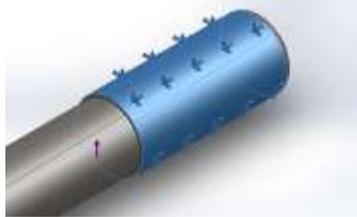
Modelo	Propiedades volumétricas
	Masa:4.09961 kg Volumen:0.000522243 m <sup>3</sup> Densidad:7850 kg/m <sup>3</sup> Peso:40.1762 N

**Tabla 17. Propiedades del material del eje del tambor para la elaboración de elementos finitos.**

Referencia de modelo	Propiedades
	<p>Nombre: <b>AISI 4130 Acero normalizado a 870C</b></p> <p>Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b></p> <p>Criterio de error predeterminado: <b>Tensión máxima de von Mises</b></p> <p>Límite elástico: <b>4.6e+008 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Límite de tracción: <b>7.31e+008 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>E: <b>205 GPa</b></p>

En la tabla 18 se evidencia la sujeción que se presenta en el eje, esta se da debido a que en este punto el eje entra en el puente y se asegura para lograr la estabilidad del tambor, por tanto no posee movimiento alguno.

**Tabla 18. Detalles de la sujeción ejercida sobre el eje del tambor.**

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		<p>Entidades: <b>1 cara(s)</b></p> <p>Tipo: <b>Geometría fija</b></p>

En la tabla 19 se puede observar la carga ejercida por el peso del tambor y la mezcla calculada previamente, pero en este caso la fuerza se aplica completa en el eje y no se divide como en la estructura anterior, lo que implica que se genera un esfuerzo más alto en este componente a comparación con el chasis, por tanto es probable que se presente una falla antes de que se pueda observar algún tipo de daño en la estructura base.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Fuerza ejercida por el peso de la mezcla, calculado previamente:

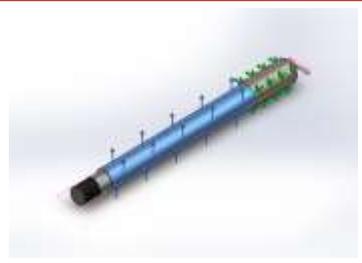
$$714 \text{ kg} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 6997.2 \text{ N}$$

Se aproxima el valor debido a que no se tienen en cuenta varios elementos:

$$6997.2 \text{ N} \cong 7300 \text{ N}$$

En la figura expuesta en la tabla se puede ver en que partes del eje del tambor se aplican las fuerzas y como estas reaccionan en la parte que se encuentra sujeta dentro del puente.

**Tabla 19. Detalles de las cargas ejercidas sobre el eje del tambor.**

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<b>Entidades: 1 cara(s), 1 plano(s)</b> <b>Referencia: Planta</b> <b>Tipo: Aplicar fuerza</b> <b>Valores: 7300 N</b>

De la misma manera que con la estructura anterior, se le realiza un mallado a la pieza para analizar los efectos que producen las cargas sobre esta, y así definir cuáles son los puntos críticos y los esfuerzos y deformaciones que pueden afectar directamente al eje del tambor. En la tabla 20 se especifica la información fundamental de la malla y los elementos que la componen y en la tabla 21, se pueden evidenciar detalles más claros a cerca de los nodos.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Tabla 20. Información de la malla utilizada sobre el sólido.**

<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Mallador utilizado:</b>	Malla estándar
<b>Transición automática:</b>	Desactivar
<b>Incluir bucles automáticos de malla:</b>	Desactivar
<b>Puntos jacobianos</b>	4 Puntos
<b>Tamaño de elementos</b>	8.05502 mm
<b>Tolerancia</b>	0.402751 mm
<b>Calidad de malla</b>	Elementos cuadráticos de alto orden

**Tabla 21. Detalles de la malla utilizada sobre el sólido.**

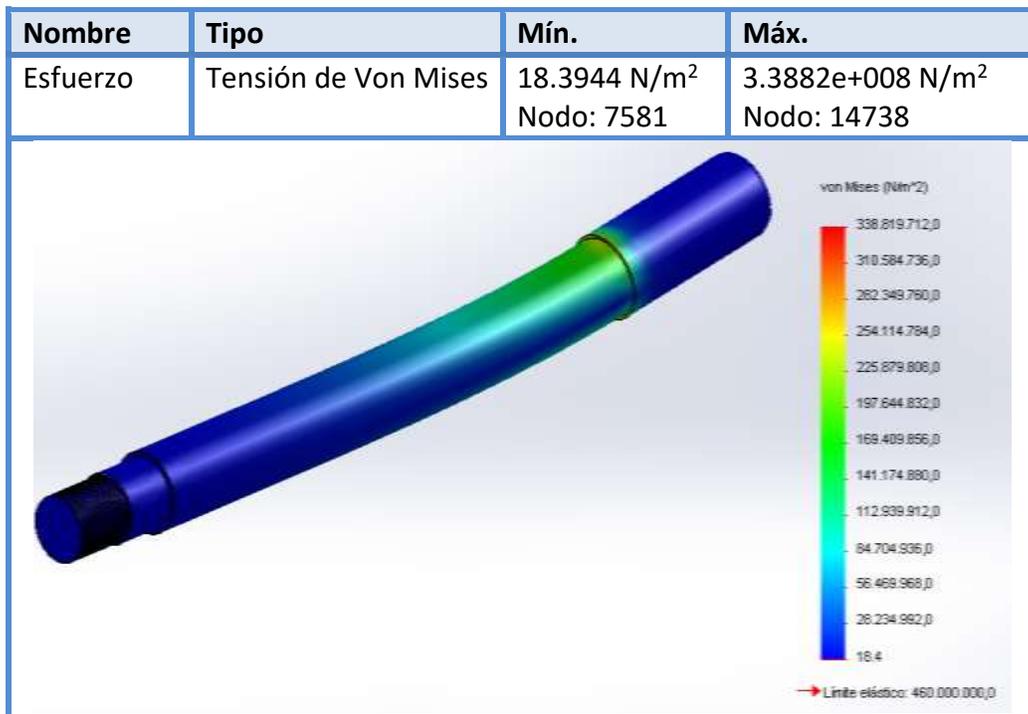
<b>Número total de nodos</b>	20762
<b>Número total de elementos</b>	12652
<b>Cociente máximo de aspecto</b>	235.29
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &lt; 3</b>	67.4
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &gt; 10</b>	14.3
<b>% de elementos distorsionados (Jacobiana)</b>	0



En la tabla 22 se especifican los esfuerzos que sufre la pieza debido a las cargas aplicadas, calculadas previamente, y se muestra en qué punto se concentra el más alto, que en este caso es de 338.82 MPa, el cual se encuentra por debajo del límite elástico del material, 460 MPa, lo que indica que el eje del tambor no debe fallar, garantizando así que este tendrá un correcto funcionamiento y le dará un buen soporte al tambor y a la mezcla,

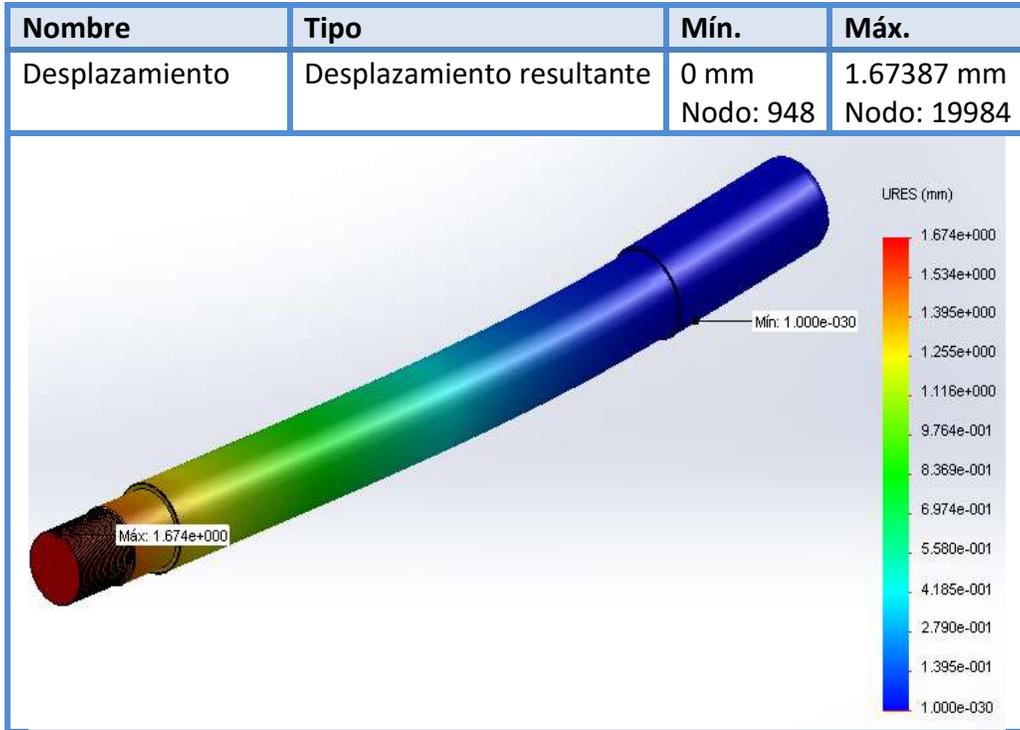
además ya que en la figura se observa cual es la parte más frágil de la pieza, se puede predecir que por ese punto puede fracturarse, cuando la máquina tenga varios años de vida útil, también demuestra coherencia con la construcción física, ya que donde se da el punto más crítico es donde el eje deja de estar fijo, por tanto este pasa de estar completamente inmóvil a tener movimiento causando así una concentración de esfuerzos.

**Tabla 22. Resultados de los esfuerzos ejercidos sobre el eje del tambor teniendo en cuenta las cargas aplicadas.**



En la tabla 23, se muestran los resultados del estudio del desplazamiento que experimenta el eje del tambor cuando se le aplican las cargas; en el punto en el que se obtiene un mayor desplazamiento es el punto más alejado de la sujeción del eje con el puente, debido a que en este punto se presenta un mayor torque, explicado en la fórmula torque igual a fuerza por distancia ( $T = F \times d$ ), aunque sigue siendo poco significativo para ser tomado en cuenta.

**Tabla 23. Resultados de los desplazamientos que experimenta el eje del tambor teniendo en cuenta las cargas aplicadas.**



Por último se estudia el factor de seguridad que se debe tener en cuenta para elegir el material para cubrir cualquier sobrecarga en el sistema, en la tabla 24 se puede observar que el factor de seguridad más bajo, que se da en el punto más crítico es de 1.357, aunque es más bajo que el factor de seguridad con el que se trabajó en el chasis, cumple con las condiciones, por tanto genera el aval para la construcción del eje del tambor con las especificaciones expresadas en este estudio, dando fe de que este no va a fallar con las cargas calculadas.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Tabla 24. Resultados del factor de seguridad por nodos del material del eje del tambor teniendo en cuenta las cargas aplicadas.**

Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Factor de seguridad	Tensión de von Mises máx.	1.35765 Nodo: 14738	2.50076e+007 Nodo: 7581
			

#### **4.1.3 ESTUDIO DEL PUENTE**

Al igual que en los estudios anteriores, se generan dos tablas, en este caso tabla 25 y tabla 26, donde se especifican las características físicas de la pieza que simula el componente de la máquina (masa, volumen, peso) y las propiedades del material elegido para su construcción (límite elástico, tipo de material, límite de máximo esfuerzo a tensión), respectivamente; como se ha demostrado antes, de estos datos depende que los resultados sean lo más cercano a la realidad, y por tanto sean concluyentes en cuanto a la aprobación del diseño de la máquina y la seguridad de su funcionamiento una vez lanzada al mercado.

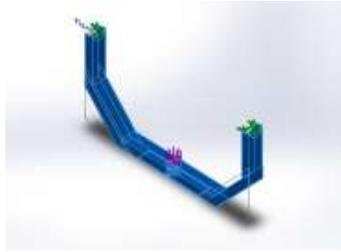
Por otro lado el entendimiento y la correcta aplicación del método de elementos finitos, le da un respaldo a los clientes, a la máquina y al diseñador para garantizar que los materiales por los cuales están compuestos las partes de la mezcladora están elegidos en base a la resistencia que pueden soportar y a las cargas que se le pueden aplicar.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Tabla 25. Información del modelo del puente para la elaboración de elementos finitos.**

	Masa:12.8974 kg Volumen:0.00164298 m <sup>3</sup> Densidad:7850 kg/m <sup>3</sup> Peso:126.394 N
---	---

**Tabla 26. Propiedades del material del puente para la elaboración de elementos finitos.**

Referencia de modelo	Propiedades
	Nombre: <b>ASTM A36 Acero</b> Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b> Criterio de error predeterminado: <b>Tensión máxima de von Mises</b> Límite elástico: <b>250 N/mm<sup>2</sup></b> Límite de tracción: <b>400 N/mm<sup>2</sup></b> E: <b>209.8 GPa</b>

En la tabla 27 se especifican las sujeciones que el componente presenta, en este caso se pueden observar en dos puntos, los cuales van sujetos al chasis para soportar el peso del mismo puente, como se demostró previamente, por tanto no poseen movilidad alguna y se presenta una restricción en estos espacios, lo cual puede causar una concentración de esfuerzos y por esto es motivo de estudio.

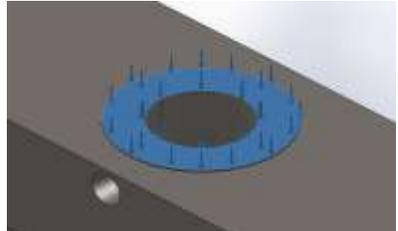
	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Tabla 27. Detalles de la sujeción ejercida sobre el puente.**

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		<b>Entidades: 4 cara(s)</b> <b>Tipo: Geometría fija</b>

La carga que se le aplica al puente proviene de la mezcla y el tambor, como se calculó previamente, pero a diferencia del eje del tambor, el ajuste de fuerza se hace un poco más alto, ya que además de soportar todos los componentes que interactúan con el eje, también tolera el peso de este, de allí surge el punto de aplicación de la fuerza, ya que toda esta es transmitida por la flecha que se introduce en el puente.

**Tabla 28. Detalles de las cargas ejercidas sobre el puente.**

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<b>Entidades: 1 cara(s)</b> <b>Tipo: Aplicar fuerza normal</b> <b>Valor: 7400 N</b>

Debido a que el puente es un elemento importante en el funcionamiento de cualquier mezcladora, es fundamental analizar sus puntos críticos, donde se concentran sus esfuerzos y entender de donde provienen, para garantizar que el material es capaz de soportarlos sin deformarse. Por esta razón se realiza una malla para hacer uso del método de análisis por elementos finitos, expuesto en los estudios anteriores, de la cual se pueden conocer sus propiedades expuestas en la tabla 29 y tabla 30, en la primera se habla acerca

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

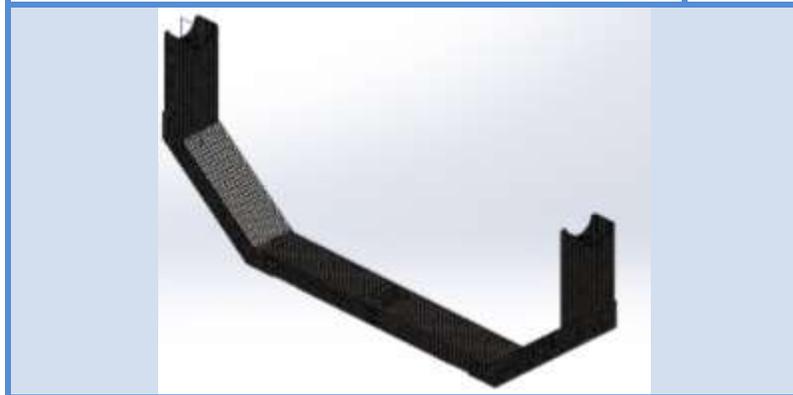
de las características básicas, y en la segunda es un poco más detallada la información, ya que incluye aspectos como los nodos y el número de elementos que la componen.

**Tabla 29. Información de la malla utilizada sobre el sólido.**

<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Mallador utilizado:</b>	Malla estándar
<b>Transición automática:</b>	Desactivar
<b>Incluir bucles automáticos de malla:</b>	Desactivar
<b>Puntos jacobianos</b>	4 Puntos
<b>Tamaño de elementos</b>	9.89321 mm
<b>Tolerancia</b>	0.494661 mm
<b>Calidad de malla</b>	Elementos cuadráticos de alto orden

**Tabla 30. Detalles de la malla utilizada sobre el sólido.**

<b>Número total de nodos</b>	64802
<b>Número total de elementos</b>	32595
<b>Cociente máximo de aspecto</b>	17.297
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &lt; 3</b>	26
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &gt; 10</b>	0.0798
<b>% de elementos distorsionados (Jacobiana)</b>	0

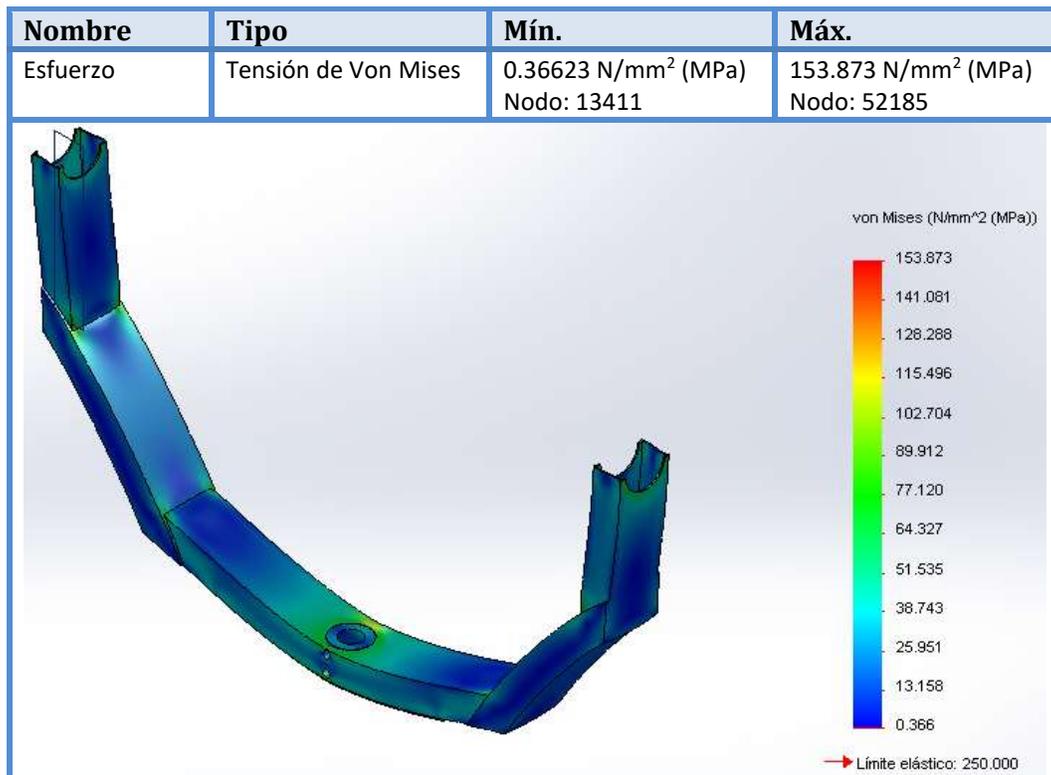


En la tabla 31 se pueden observar los resultados obtenidos en el estudio de esfuerzos basado en Von Mises, donde se comprobó que el esfuerzo máximo que soporta el componente, 153.873 MPa, se encuentra por debajo del límite elástico del material del

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

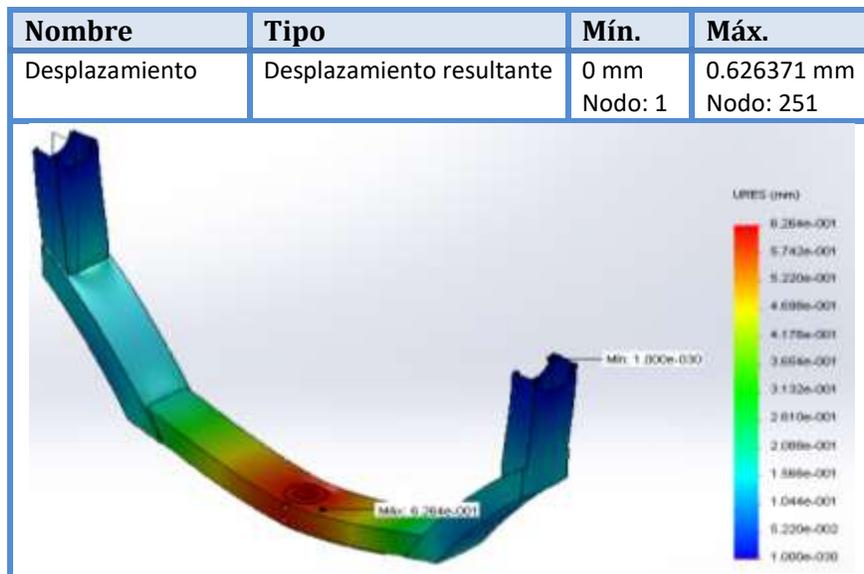
cual está fabricado, 250.000 MPa, lo que lleva a la conclusión de que el material escogido para hacer el puente de la mezcladora, es capaz de soportar las cargas que se le aplican cuando la máquina se encuentra en funcionamiento con capacidad máxima y por tanto no fallará.

**Tabla 31. Resultados de los esfuerzos ejercidos sobre el puente teniendo en cuenta las cargas aplicadas.**



En la tabla 32 se pueden observar los resultados obtenidos en el estudio de desplazamiento, donde se evidencia que la parte más crítica del puente, que es donde se apoya e incrusta el eje del tambor, no presenta un desplazamiento ni deformación considerable, 0.62 mm, lo que demuestra que el material resiste las cargas aplicadas sin fallar ni deformarse visiblemente, dando a entender que el puente está diseñado correctamente para su función específica.

**Tabla 32. Resultados de los desplazamientos que experimenta el puente teniendo en cuenta las cargas aplicadas.**

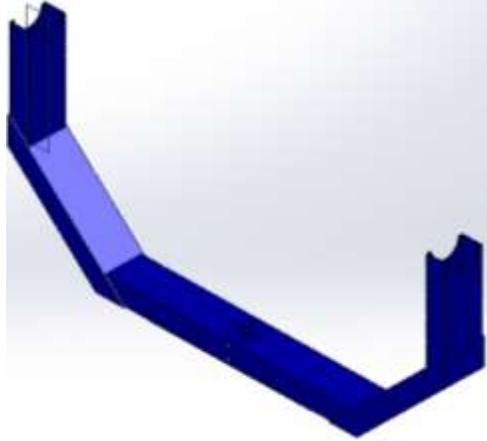


En la tabla 33 se hace referencia al factor de seguridad que posee el material y por tanto el puente, respecto a las fuerzas que se le aplican y a la resistencia, es decir es la protección que posee el diseño, para garantizar que el componente no falle al soportar las cargas comunes, además genera una seguridad extra, por si en algún momento se produce una sobrecarga, la máquina no sufra daños. Se puede observar que el punto más crítico del puente, posee un factor de seguridad de 1.62, lo cual es suficiente para cuidar a la mezcladora de algún sobreesfuerzo que se pueda presentar durante el proceso de hacer el concreto.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Tabla 33. Resultados del factor de seguridad por nodos del material del puente teniendo en cuenta las cargas aplicadas.**

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad	Tensión de Von Mises máx.	1.62472	682.632
		Nodo: 52185	Nodo: 13411



#### **4.2 CONSTRUCCIÓN, ENSAMBLE Y PUESTA A PUNTO**

Con la ayuda del análisis previo y la corroboración del rediseño basado en el estudio de esfuerzos, deformaciones y desplazamientos, además de tener en cuenta el factor de seguridad, se procedió a realizar la construcción física de la máquina, teniendo en cuenta todos los diseños y materiales que se habían supuesto en un principio para desarrollar el CAD (Diseño asistido por computadora) en el software SOLID EDGE, comenzando por el chasis, ya que es la estructura base de toda la máquina y es la encargada de unir y dar resistencia.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 3. Construcción de la estructura del chasis.**

**Fuente:** *Construcción 100% FECON S.A.S.*

Luego se construye el espaldar, que es el componente donde se apoya el cajón que contiene todo el sistema de potencia, este se suelda con el chasis base formando un ángulo de 90°; es de vital importancia una correcta instalación de este, ya que debe darle la mayor estabilidad posible al motor y al sistema de transmisión de movimiento (poleas y bandas), debido a que una pequeña falla en la colocación puede afectar la eficiencia de la mezcladora y por ende generar pérdidas de energía y un menor torque en el eje y el tambor, lo que puede causar que la mezcla no resulte totalmente homogénea o se demore un tiempo excesivo en conseguir la consistencia adecuada.

Para corroborar que se forme un ángulo recto entre el chasis y el espaldar se deben hacer pruebas donde se vaya modificando el colillado de las partes que se apoyan sobre la estructura, hasta encontrar la posición indicada.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 4. Espaldar del chasis para el apoyo del cajón.**

**Fuente:** *Construcción 100% FECON S.A.S.*

Para asegurar que la estructura soporte todo el peso de los demás componentes y la mezcla con la capacidad completa, se le agregan unos refuerzos en lámina en las partes más críticas, en donde se forman ángulos de 90°, es decir, el chasis con el soporte del cajón y el chasis con el espaldar donde se apoya el cajón, ya que estos puntos son altos concentradores de esfuerzos y por ende pueden provocar que la máquina falle.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 5. Refuerzos en el chasis para generar mayor resistencia en la estructura.**

**Fuente:** *Construcción 100% FECON S.A.S.*

El cajón debe tener espacio suficiente para contener todo el sistema de potencia, además se le adecuaron unos agujeros y unos rieles para que generen ventilación y estabilidad al motor respectivamente. Este también posee unas manijas en la parte inferior para ser abierto y así poder intervenir fácilmente el subsistema en caso de que se presente alguna reparación o garantía.

El cajón está compuesto por dos componentes unidos por medio de unas bisagras en la parte superior, el primero es un rectángulo (en la figura representa la parte de atrás), donde se ubican las poleas con sus correspondientes bandas y el segundo (en la figura representa la parte de adelante), es un rectángulo con un corte, el cual contiene las perforaciones antes mencionadas y le da espacio a los rieles para el correcto ajuste del motor.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 6. Cajón protector del sistema de potencia.**

**Fuente:** *Construcción 100% FECON S.A.S.*

Luego de tener las partes por separado se procede a ensamblar la máquina completa, se deben ubicar cada una de la partes en compañía de todos los demás componentes secundarios como rodamientos, cunas, bujes, chumaceras, piñones, ejes y toda la tornillería que incluye, después se prueba la correcta movilidad de las partes como el adecuado ajuste entre el piñón propulsor y la corona, el movimiento suave de la volante con el piñón de volteo y la funcionalidad de las chumaceras para la rotación del puente, además se verifican las partes fijas, como el eje del tambor en el puente y toda la estructura del chasis con sus componentes, por último se procede a cambiar lo que se encuentra punteado con soldadura, por cordones resistentes, con buena penetración y estéticos, para asegurar la firmeza de la unión entre las partes, luego de completar el ensamble, la máquina pasa a un proceso de pulido y pintura.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 7. Ensamble de toda la estructura de la mezcladora.**

**Fuente:** *Construcción 100% FECON S.A.S.*

Finalmente se puede evidenciar el nuevo diseño terminado, donde se pinta con los colores representativos de la empresa FECON S.A.S, verde y rojo, y se le agregan todos los acabados restantes para ser expuesta al mercado, tales como los neumáticos, la volante, el protector de corona y las placas de seguridad.

De acuerdo a todas las pruebas realizadas por medio de software, la máquina debe funcionar correctamente y resistir todos los esfuerzos que se le aplican, además se colocó en funcionamiento sin carga para asegurar el correcto ajuste, pero es de vital importancia hacer pruebas experimentales con capacidad máxima para poner a punto la mezcladora e identificar los puntos críticos, por si se deben hacer algunas correcciones, y darle así la aprobación final al rediseño.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 8. Rediseño final de la mezcladora 12 ft<sup>3</sup>.**

**Fuente:** *Construcción 100% FECON S.A.S.*

#### ***4.3 ANÁLISIS DE COSTOS***

Basados en el objetivo de reducir el precio de la materia prima y los procesos necesarios para la realización de la máquina, se generaron cambios significativos en el nuevo diseño que influyen directamente en el costo final de producción y venta de la misma, pero gracias a las pruebas realizadas previamente no se comprometen la confiabilidad, seguridad, durabilidad y resistencia de la mezcladora, estos se ven reflejados en la apariencia, ya que se deben diferenciar ambas máquinas, debido a que se pretende dejarlas en el portafolio de productos para lograr ampliarlo y darle al cliente múltiples opciones para que realice su compra.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Tabla 34. Diferencias representativas entre el diseño previo y el posterior económicamente.**

Diseño anterior		Diseño nuevo	
Material	Costo	Material	Costo
PTS 80X40X2.5	\$10.135	Ángulo 2"X3/16"	\$7.023
PTS 90X90X2.5	\$15.993	PTS 90X50X2.5	\$2.337
Varilla 5/8"	\$2.995	Varilla 5/8"	\$2.995
PTS 50X30X2.5	\$6.743	U 3"X1 ½"	\$2.935
Rodillo 15123	\$16.125	Rodamiento 6206 2RS	\$11.498
Rodillo 15118	\$16.325		
Cuna 15250	\$8.984		

Además de los cambios presentados en la tabla 34, se generaron otros en cuanto a la tornillería, el tamaño del cajón, el mecanismo de atranque del sistema de mezclado, el diseño de la volante y el tambor, tratando de lograr la mayor diferenciación entre ambas máquinas y reducir costos sin comprometer la robustez de la mezcladora; se logró reducir aproximadamente un 20% del costo de producción, lo cual garantiza que el precio de comercialización sea muy competitivo en el mercado y que atraiga nuevos clientes que conozcan la marca.

#### **4.4 ANÁLISIS DE CÁLCULOS**

En el apéndice A se concluye que la transmisión flexible por poleas con correas en v, necesita 5 correas para funcionar correctamente, pero las pruebas realizadas con la mezcladora a plena carga indican que 2 correas son suficientes, sin generar sobre esfuerzos ni pérdida de potencia, lo que indica que el motor trabaja suavemente garantizando que las correas no sufran esfuerzos significativos.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Con los cálculos realizados se puede inferir que el motor no está trabajando a su potencia nominal, esto puede darse por:

- El funcionamiento de la máquina no es continuo.
- La máquina no sufre de ningún tipo de atascamientos.
- La relación de transmisión es significativamente alta, lo que causa que se reduzca la velocidad y aumenten el torque, por tanto el giro del tambor y el mezclado de los componentes.
- La máquina no trabaja a su capacidad máxima.

En las pruebas realizadas para comprobar el funcionamiento de la mezcladora a plena carga se tomaron las medidas de la corriente del motor, donde se obtuvo que se consume 27 A, lo que conlleva, ya que la potencia del motor no cambia, que el voltaje que necesita el motor es de 138.093 V.

$$P = V * I$$

$$V = \frac{P}{I} = \frac{3728.5 \text{ W}}{27 \text{ A}} = 138.093 \text{ V}$$

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

### 5.1 CONCLUSIONES

- Se logra la construcción de una nueva mezcladora de 12 ft<sup>3</sup>, basada en la máquina predecesora, pero con cambios sustanciales que admiten mantener las cualidades de una concretadora FECON, durabilidad y robustez, utilizando materiales que permiten reducir costos aproximadamente en un 20% con respecto a la máquina fabricada en primer lugar y por ende posicionar a la empresa en el mercado competitivo.
  
- Se genera un nuevo diseño del sistema mecánico de la máquina apoyado en software de simulación SOLID EDGE, donde se comprueba por medio del método de Von Mises, ya que se usan materiales dúctiles con esfuerzos combinados, la resistencia de los componentes más críticas y se analizan los esfuerzos y desplazamientos provocados por las cargas aplicadas en cada uno de ellos, donde se concluye que estos son lo suficientemente resistentes para soportar el funcionamiento de la mezcladora en su capacidad completa, además gracias a los cálculos realizados se da a entender que la máquina no trabaja a su máxima potencia por lo cual el número de correas expresada en el apéndice A puede reducirse significativamente, logrando que la mezcladora funcione adecuadamente y reduzca costos al mismo tiempo.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Partiendo de los resultados de simulación y el ensamble CAD se seleccionaron los materiales de cada uno de los componentes, dimensiones, posición y ajustes mecánicos para una correcta fabricación.
- Se comprueba el funcionamiento de la mezcladora sin carga, lo que permite asegurar el correcto ajuste de todas las partes y la movilidad y fijación de las mismas, garantizando una compenetración y ensamble de las piezas exitoso.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

Se recomienda analizar diferentes aspectos a la resistencia de los materiales de la máquina y el costo de producción, para lograr una mejora completa de la mezcladora, tales como el análisis de las vibraciones y el ruido producidos por el sistema de mezcla y análisis a fatiga, además de acuerdo con el estado del arte presentado en el marco teórico es fundamental hacer un análisis de la posición de las aspas para garantizar que no se presente ningún tipo de segregación en la mezcla y se genera una compenetración homogénea, para que así el concreto puede tener las propiedades de resistencia y elasticidad que lo caracterizan.

## **5.3 TRABAJO FUTURO**

En un futuro cercano se plantea hacer un préstamo de la mezcladora a una obra civil donde se pueda probar su funcionamiento con capacidad máxima durante un periodo de tiempo de cuatro semanas, de donde se sacaran conclusiones acerca del desempeño de la máquina y de los aspectos a mejorar del diseño en cuanto a resistencia, comodidad de descarga de la mezcla, ruido, velocidad y los demás ítems que no se tuvieron en cuenta para el desarrollo del rediseño de la máquina.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## REFERENCIAS

---

- Arbeláez, J. J. (2015). Transmisiones flexibles.
- Ardila, C. E, & Buitrago, J. A. (2010). Universidad industrial de Santander, Facultad de ciencias físico – mecánicas. Diseño y construcción de una mezcladora de cemento refractario para una potencia de 5 HP.
- Aula fácil. (2013). Curso gratis de dinámica II – La polea.
- CEMEX concretos. (2008). Manual del constructor – Construcción general.
- FECON S. A. S. (2003). Portafolio de productos – Mezcladora 12ft.
- Fedorko, G.,Kral, J. J., Kral, J.,Ristovic , I., & Molnar, V. (2015, October 10). Determination of calculation for the shape of blades trace in the concrete mixer truck.
- Jovanović, A., Pezo, M., Pezo, L., & Lević, L. (2014, April 09). DEM/CFD analysis of granular flow in static mixers.
- Lehmann, G. (2011). Equipos e instalaciones electromecánicas (Sexto año) – Cálculo, diseño y optimización de elementos y equipos electromecánicos.
- Mehta, K., & Monteiro, P. (2010). Concreto. Estructura, propiedades y materiales. Instituto mexicano del cemento y del concreto, A. C.
- Valigi, M. C., Logozzo, S., & Rinchi, M. (2015, August 06). Wear resistance of blades in planetary concrete mixers. Design of a new improved blade shape and 2D validation.
- Yamamoto, M., Ishihara, S., & Kano, J. (2015, September 29). Evaluation of particle density effect for mixing behavior in a rotating drum mixer by DEM simulation.

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

# APÉNDICE

---

## APÉNDICE A

### Cálculo de transmisión flexible por correa en v.

#### 1. Relación de transmisión.

#### Cálculo de relación de transmisión

$$i = \frac{D_2}{D_1}$$

$D_1$  = Diámetro de la polea conductora.

$D_2$  = Diámetro de la polea conducida.

$i$  = Relación de transmisión.

$$D_1 = 3 \frac{1}{2} \text{ in} = 88.9 \text{ mm}$$

$$D_2 = 17 \text{ in} = 431.8 \text{ mm}$$

$$i = \frac{431.8 \text{ mm}}{88.9 \text{ mm}} = 4.86$$

#### Cálculo de revoluciones de salida

$$i = \frac{n_1}{n_2}$$

$$n_2 = \frac{n_1}{i}$$

$n_1$  = Revoluciones de entrada.

$n_2$  = Revoluciones de salida.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$n_2 = \frac{1800 \text{ rpm}}{4.86} = 370.37 \text{ rpm}$$

## 2. Potencia de diseño.

$$N_D = C_1 N$$

$C_1$  = Factor de servicio.

$N_D$  = Potencia de diseño.

$N$  = Potencia del motor.

**Tabla 35. Factores de servicio para bandas V.**

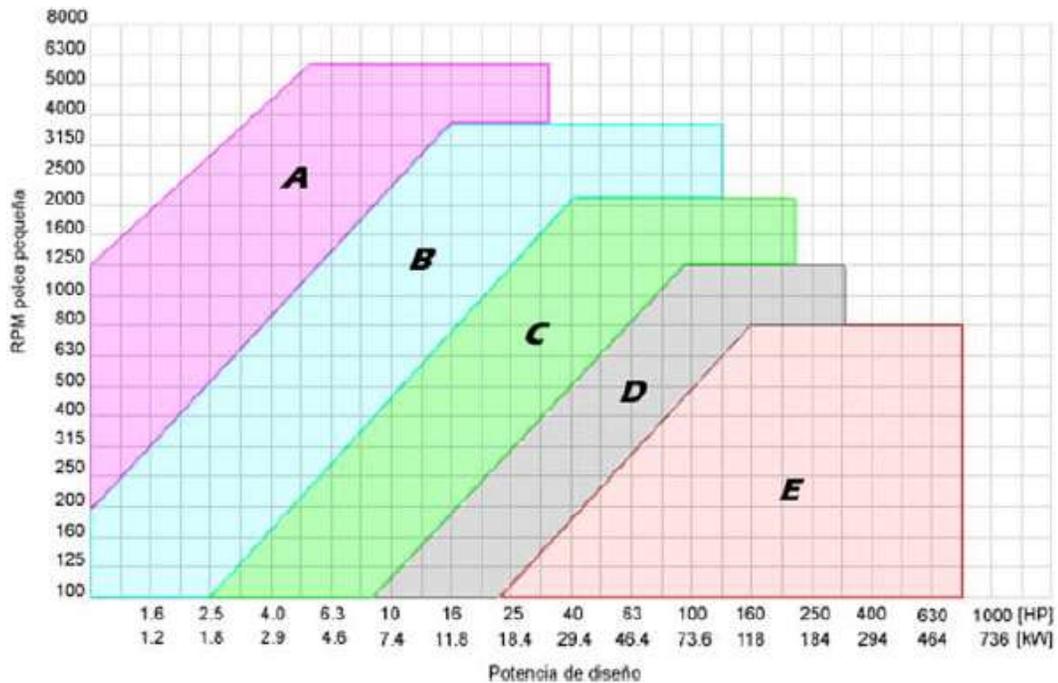
FACTORES DE SERVICIO PARA BANDAS V						
Tipo de máquina impulsada	Motores de CA: par torsional normal Motores de CD: bobinado con derivación Motores de combustión: múltiples cilindros			Motores de CA: par torsional alto Motores de CD: bobinado en serie, bobinado compuesto Motores de combustión: 4 cilindros o menos		
	< 6h * día	6h-15h * día	> 15 h * día	< 6h * día	6h-15h * día	> 15 h * día
Agitadores, sopladores, ventiladores, bombas centrífugas, transportadores ligeros	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Generadores, máquinas herramienta, mezcladores, transportadores de grava	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Elevadores de cangilones, máquinas textiles, molinos de martillos, transportadores pesados	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Trituradoras, molinos de bolas, malacates, extrusoras de hule	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8
Toda máquina que se pueda ahogar	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

**Fuente:** Arbeláez, J. J. (2015). *Transmisiones flexibles*.

- Según tabla de factores de servicio para bandas v, una mezcladora que trabaje entre 6 y 15 horas diarias posee un factor de servicio de 1.2.
- El motor con el que se trabaja es un motor eléctrico a 220 V con una potencia de 5 HP y 1800 rpm.

$$N_D = 1.2 * 5 \text{ Hp} = 6 \text{ Hp}$$

### 3. Selección de sección más apropiada.



**Figura 9. Gráfico de selección del perfil de correa.**

*Fuente: Lehmann, G. (2011). Equipos e instalaciones electromecánicas (Sexto año) – Cálculo, diseño y optimización de elementos y equipos electromecánicos.*

Se puede observar que las revoluciones de la polea pequeña, 1800 rpm, y la potencia de diseño calculada previamente, 6 Hp, se cruzan en el gráfico en la frontera entre A y B, para

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

este caso en particular se selecciona B, de color azul claro, dando a entender que el perfil para la correa con la cual se realizará la transmisión debe ser este.

#### 4. Distancia mínima entre centros.

$$A = \frac{D_1 + D_2}{2} + D_1$$

A = Distancia mínima entre centros.

$$A = \frac{88.9 \text{ mm} + 431.8 \text{ mm}}{2} + 88.9 \text{ mm} = 349.25 \text{ mm}$$

Ya que el sistema de poleas posee distancia determinadas, porque el diseño está basado en el máquina anterior, ya existe una distancia entre centros, por esto trabajaremos con esa medida real para realizar los cálculos posteriores.

#### 5. Longitud de la correa.

$$L = 2A + \frac{\pi}{2}(D_1 + D_2) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4A}$$

L = Longitud de la correa.

$$L = 2(580 \text{ mm}) + \frac{\pi}{2}(88.9 \text{ mm} + 431.8 \text{ mm}) + \frac{(431.8 \text{ mm} - 88.9 \text{ mm})^2}{4(580 \text{ mm})} = 2028.6 \text{ mm}$$

Luego de obtener el valor de la longitud de la correa se aproxima a un valor de longitud estándar y se calcula nuevamente la distancia entre centros.

$$B = 4L_s - 6.28(D_1 + D_2)$$

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$A = \frac{B + \sqrt{B^2 - 32(D_2 - D_1)^2}}{16}$$

B = Factor corrector.

L<sub>s</sub> = Longitud estándar.

$$B = 4(2079 \text{ mm}) - 6.28(88.9 \text{ mm} + 431.8 \text{ mm}) = 5046 \text{ mm}$$

$$A = \frac{5046 \text{ mm} + \sqrt{(5046 \text{ mm})^2 - 32(431.8 \text{ mm} - 88.9 \text{ mm})^2}}{16} = 606.52 \text{ mm}$$

**Tabla 36. Longitudes primitivas de las correas.**

LONGITUDES PRIMITIVAS DE LAS CORREAS					
Nº	Perfil A (13 x 8)	Perfil B (17 x 10.5)	Perfil C (22 x 13.5)	Perfil D (32 x 19)	Perfil E (40 x 25)
26	690				
28	741				
31	817				
35	919	932			
38	995	1008			
42	1097	1110			
46	1198	1211			
51	1325	1338	1347		
55	1427	1440			
60	1554	1567	1576		
64	1656	1669			
68	1757	1770	1779		
71	1833	1846			
75	1935	1948	1957		
80	2062	2079	2084		
81		2100	2109		
85	2189	2202	2211		

**Fuente:** Arbeláez, J. J. (2015). *Transmisiones flexibles*.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 6. Velocidad periférica de la polea menor.

$$V = \omega r$$

V = Velocidad periférica.

$\omega$  = Velocidad angular.

r = radio de la polea menor.

$$V = (1800 \text{ rpm})(0.04445 \text{ m}) \left( \frac{2\pi}{\text{rev}} \right) = 502.72 \text{ m/min}$$

### 7. Potencia nominal por correa.

$$P_{NC} = \left[ a \left( \frac{10^3}{V} \right)^{0.09} - \frac{b}{K_d D_1} - c \left( \frac{V}{10^3} \right)^2 \right] \frac{V}{10^3}$$

a, b, c = Coeficientes de tabla.

$K_d$  = Coeficiente del diámetro.

$P_{NC}$  = Potencia nominal por correa.

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

**Tabla 37. Coeficientes para hallar la potencia nominal de la correa.**

COEFICIENTES a, b y c			
Sistema métrico: P en cv, v en m/min, D <sub>1</sub> en cm			
	a	b	c
A	7.998	44.898	0.4857
B	14.116	117.699	0.8358
C	26.2	327.244	1.4859
D	55.988	1160.811	3.0290
Sistema inglés: P en cv, v en ft/min, D <sub>1</sub> en in			
	a	b	c
A	2.684	5.326	0.0136
B	4.737	13.962	0.0234
C	8.792	38.819	0.0416
D	18.788	137.7	0.0848

*Fuente: Arbeláez, J. J. (2015). Transmisiones flexibles.*

Debido a que la sección que se seleccionó anteriormente es B y ya que se está trabajando con el sistema internacional de medidas, los coeficientes que se toman en cuenta para la realización de la ecuación son los que están asociados a la sección B en la primera parte de la tabla.

**Tabla 38. Coeficientes de corrección del diámetro de poleas.**

COEFICIENTE DEL DIAMETRO			
D <sub>2</sub> /D <sub>1</sub>	K <sub>d</sub>	D <sub>2</sub> /D <sub>1</sub>	K <sub>d</sub>
1.0 – 1.019	1	1.223 – 1.274	1.08
1.020 – 1.032	1.01	1.275 – 1.340	1.09
1.033 – 1.055	1.02	1.341 – 1.429	1.1
1.056 – 1.081	1.03	1.430 – 1.562	1.11
1.082 – 1.109	1.04	1.563 – 1.814	1.12
1.110 – 1.142	1.05	1.815 – 2.948	1.13
1.143 – 1.178	1.06	2.949 – en adelante	1.14
1.179 – 1.07	1.07		

*Fuente: Arbeláez, J. J. (2015). Transmisiones flexibles.*

$$\frac{D_2}{D_1} = \frac{431.8 \text{ mm}}{88.9 \text{ mm}} = 4.86$$

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Con el resultado anterior se puede buscar en la tabla y definir el coeficiente de diámetro necesario para aplicar en la ecuación. En este caso el resultado es 4.86, lo que corresponde un  $K_d$  de 1.14.

$$P_{NC} = \left[ 14.116 \left( \frac{10^3}{502.72 \frac{m}{min}} \right)^{0.09} - \frac{117.699}{(1.14)(8.89 \text{ cm})} - 0.8358 \left( \frac{502.72 \frac{m}{min}}{10^3} \right)^2 \right] \frac{502.72 \frac{m}{min}}{10^3}$$

$$P_{NC} = 1.60 \text{ cv}$$

### 8. Potencia nominal por correa corregida.

$$P_{NCC} = P_{NC} K_L K_{\theta}$$

$P_{NCC}$  = Potencial nominal por correa corregida.

$K_L$  = Coeficiente de longitud.

$K_{\theta}$  = Coeficiente de ángulo.

**Tabla 39. Coeficiente de longitud para correa.**

COEFICIENTE $K_L$								
Longitud nominal	CLASE DE CORREA			Longitud nominal	CLASE DE CORREA			
	A	B	C		B	C	D	E
26	0.81	-	-	128	1.08	0.98	0.87	-
31	0.84	-	-	144	1.11	1.0	0.9	-
35	0.87	0.81	-	158	1.13	1.02	0.92	-
38	0.88	0.83	-	173	1.15	1.04	0.93	-
42	0.9	0.85	-	180	1.16	1.05	0.94	0.91
46	0.92	0.87	-	195	1.18	1.07	0.96	0.92
51	0.94	0.89	0.8	200	1.19	1.08	0.96	0.94
55	0.96	0.9	-	240	1.22	1.11	1	0.96
60	0.98	0.92	0.82	270	1.25	1.14	1.03	0.99
68	1	0.95	0.85	300	1.27	1.16	1.05	1.01
75	1.02	0.97	0.87	330	-	1.19	1.07	1.03
80	1.04	-	-	360	-	1.21	1.09	1.05
81	-	0.98	0.89	390	-	1.23	1.11	1.07
85	1.05	0.99	0.9	420	-	1.24	1.12	1.09
90	1.06	1	0.91	480	-	-	1.16	1.12
96	1.08	-	0.92	540	-	-	1.18	1.14
105	1.1	1.04	0.94	600	-	-	1.2	1.17
112	1.11	1.05	0.95	660	-	-	1.23	1.19
120	1.13	1.07	0.97	-	-	-	-	-
128	1.14	1.08	0.98	-	-	-	-	-

Fuente: Arbeláez, J. J. (2015). *Transmisiones flexibles*.

**Tabla 40. Coeficiente de ángulo para correa.**

Ke para poleas			
D2-D1/A	V	D2-D1/A	V
0.1	1	0.8	0.87
0.2	0.99	0.9	0.85
0.3	0.97	1	0.82
0.4	0.96	1.1	0.8
0.5	0.94	1.2	0.77
0.6	0.93	1.3	0.73
0.7	0.91	1.4	0.7
0.1	0.89	1.5	0.65

Fuente: Arbeláez, J. J. (2015). *Transmisiones flexibles*.

$$P_{NCC} = (1.60 \text{ cv})(1)(0.90) = 1.44 \text{ cv}$$

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

**9. Número de correas necesarias.**

$$\#_C = \frac{N_D}{P_{Ncc}}$$

#<sub>C</sub> = Número de correas necesarias.

$$\#_C = \frac{6.083 \text{ cv}}{1.44 \text{ cv}} = 4.2 \cong 5$$

Según lo anterior son necesarias 5 correas para realizar la transmisión con las poleas elegidas.

**10. Fuerza periférica.**

$$F = \frac{N}{V}$$

F = Fuerza periférica.

$$5 \text{ hp} = 3728.5 \text{ W}$$

$$502.72 \text{ m/min} = 8.38 \text{ m/s}$$

$$F = \frac{3728.5 \text{ W}}{8.38 \text{ m/s}} = 445 \text{ N}$$

**11. Fuerza en el lado tenso y flojo.**

$$F = F_1 - F_2$$

F<sub>1</sub> = Lato tenso.

F<sub>2</sub> = Lato flojo.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\theta_1 = 180 - 57.3 \left( \frac{D_1 + D_2}{A} \right)$$

$\theta_1$  = Ángulo de contacto polea.

$$\theta_1 = 180 - 57.3 \left( \frac{88.9 \text{ mm} + 431.8 \text{ mm}}{606.52} \right) = 130.80$$

**Tabla 41. Relación de fuerzas de lado tenso y flojo según el ángulo de contacto.**

RELACION F1/F2					
Angulo de contacto	F1/F2	Angulo de contacto	F1/F2	Angulo de contacto	F1/F2
180	5	150	3.82	120	2.92
175	4.78	145	3.66	115	2.8
170	4.57	140	3.5	110	2.67
165	4.37	135	3.34	105	2.56
160	4.18	130	3.2	100	2.44
155	4	125	3.06	90	2.24

**Fuente:** Arbeláez, J. J. (2015). *Transmisiones flexibles*.

Según la tabla anterior la relación entre las fuerzas que se aplican en el lado tenso y flojo de la correa es de 3.2.

$$\frac{F_1}{F_2} = 3.2$$

$$F_1 = (F_2)(3.2)$$

Reemplazando en la ecuación de fuerza en el lado tenso y flojo:

$$445 \text{ N} = F_1 - F_2$$

$$445 \text{ N} = (F_2)(3.2) - F_2$$

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$445 \text{ N} = (F_2)(2.2)$$

$$F_2 = 202.3 \text{ N}$$

$$F_1 = F + F_2$$

$$F_1 = 445 \text{ N} + 202.3 \text{ N} = 647.3 \text{ N}$$

## 12. Fuerza en el eje.

$$F_E = F_1 + F_2$$

$F_E$  = Fuerza en el eje.

$$F_E = 647.3 \text{ N} + 202.3 \text{ N} = 849.6 \text{ N}$$

## **APÉNDICE B**

Para la relación de transmisión de los engranajes tipo cremallera de la corona que rodea al tambor y el piñón propulsor que recibe el movimiento del sistema de potencia se utilizó un relación de 7.38, este resultado surge de dividir el número de dientes de la corona, 118, entre el número de dientes del piñón propulsor, 16.

La corona está fabricada con una fundición gris, el cual es un material con alta resiliencia, es decir capacidad para absorber trabajo sin deformaciones permanentes, además es un material económico y con buena resistencia al desgaste, por otro lado el piñón propulsor se fabrica con acero 1045, que es un material con alta resistencia y dureza, por su alto contenido de carbono es utilizado en la fabricación de piezas estructurales o maquinaria con una gran tenacidad, es decir, la energía de deformación que puede absorber un material sin alcanzar la rotura.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES \_\_\_\_\_ 

FIRMA ASESOR \_\_\_\_\_ 

FECHA ENTREGA: 19/05/16

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: \_\_\_\_\_