

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA  
AUTOMÁTICO DE DESPLAZAMIENTO LONGITUDINAL Y  
ROTACIONAL PARA EL TERMO-ROCIADO DE COJINETES  
DE BABBITT**

TUTOR: Prof. Andrea Scagni

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de  
Venezuela  
Por los Brs. Arturo Finco  
Iván Núñez  
Para optar al título  
De Ingeniero Mecánico

CARACAS, 2.002

**Dedicatoria por Arturo Finco :**

Dedicado a la memoria de:

**Manolo, Adela, Fancesca y Pepe**

Todos ellos muertos en transcurso de esta tesis, Q.E.P.D

*... dedicado a un hombre de Honor,  
Mi Padrino,  
Teniente Coronel Jesús Nery Navarro,  
a su esposa e hijos.*

*... a mi Madre y Hermanos.*

## **Agradecimientos por Arturo Finco**

A mis padres por la infinita paciencia que me han tenido

Al pazzo de mi hermano, aunque este agradecimiento no goza precisamente de reciprocidad.

A mi Tía Yolanda por todo el apoyo que me ha dado, y el trabajo, que paso en el tipeo de este tesis.

Al amigo y hermano José Gregorio Villasmil, mientras viva no olvidare que el estando el la cúspide se dio media vuelta y me tendió la mano para facilitarme la llegada.

A otro amigo y hermano Wilson Leung, jamás podré agradecer su apoyo y las innumerables veces que me saco de apuro a mi y a mi hermano con las computadoras, e insisto, “haces magia con ellas”.

A otro amigo y hermano Fracesco Pitassi, del cual lamento que no estés aquí para la celebración, pero me alegro por se que te esta yendo de lo mejor allá en Italia, y quien quita que dentro de poco celebremos del otro lado del charco.

A la gente que considero mi familia: Laurita, Don Chicho, Doña Ana, Alicia, La Nena.

A mis amigos (as), Deisy a la cual debo agradecerle el haberme echo reír en muchos de los innumerables disgustos que pase en el transcurso de esta tesis, a José Monsalve, el cual me ayudo tanto en el taller de la escuela, que mas de un técnico pensó que era mi compañero de tesis.

A los amigos (as), que pueda olvidar y a los que le prometí no mencionarlos para no convertir estos agradecimientos en una cursilería.

Al personal de Plasmatec en particular a Alejandro y a Yorly y muy pero muy especialmente al Sr. Santos, al cual considero que fue un ángel de la guarda, además de un maestro, durante el tiempo que estuvimos trabajando en la construcción, y el cual siempre tendrá en mi a un amigo.

A la familia de Iván por sopórtame todo este tiempo (mas del que hubiera deseado), en especial a Liliana y a su “súper calculadora de panadero”, que muchas cuentas de esta tesis saco. Se que para ellos, sobre todo, en los últimos meses fue incomodo.

## **Gracias...**

*A Dios por darme el don maravilloso de la Vida y la Salud..*

*A mi Madre, por darme siempre su amor y su apoyo en los momentos buenos y malos, por su comprensión y paciencia, y por confiar en mi en todo momento. Todo lo que pueda hacer durante mi vida será insuficiente para pagarle tanto amor.*

*A mi Padre y mi Padrino, quienes con su ejemplo en la vida, han grabado en mi memoria una imagen que siempre me estimulará a luchar por alcanzar esas metas que algún día espero lograr.*

*A mi Abuela Flor, por todo su amor y sus consejos. Todos esos rezos dieron resultado.*

*A mis hermanos, Liliana, Liliaska y Oscar. Y a mis cuñados Gigí y Rafael. Sin la ayuda de todos Ustedes no se como hubiera podido hacerlo.*

*A Yelena Figueroa, quien llegó a mi vida para llenarla de amor y felicidad.. Por la confianza depositada en mi y por la fuerza que me dio cuando estaba en los peores momentos. Por todo eso y más, Gracias Mi Reina ...*

*Al Sr. Santos, y a los compañeros Arturo Finco, Oswaldo Alfonzo y José Gregorio Villasmil por su ayuda y colaboración en este trabajo.*

*... a todos, y a quienes pueda olvidar en este momento, Gracias.*

***Iván Alberto Núñez Piña***

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Ingeniero Andrea Scagni por habernos dado la oportunidad de realizar nuestro Trabajo Especial de Grado en su empresa y por haber confiado en nosotros para llevar acabo este proyecto.

Al Sr. Santos quien en todo momento se portó como un Padre y un Maestro. Siempre lo recordaremos.

A todo el personal que labora en Plasmatec Ingenieros, en especial a Yorly y Alejandro.

A José Gregorio por su ayuda desinteresada en todo momento. Y al que en este momento lo único que se nos ocurre decirle es que “Ford no sabe lo que perdió”.

A José Monsalve por su ayuda en los talleres de la universidad.

A Yolanda por todo el trabajo que le hicimos pasar.

**Finco D. , Arturo F. y Núñez P. , Iván A.**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA  
AUTOMATICO DE DESPLAZAMIENTO LONGITUDINAL Y  
ROTACIONAL PARA EL TERMO-ROCIADO DE COJINETES  
DE BABBITT**

**Tutor : Prof. Andrea Scagni. Tesis. Caracas, UCV. Facultad de Ingenieria.  
Escuela de Ingeniería Mecánica, 2.002, 215 pag.**

**Diseño-Construcción-Termorrociado-Cojinetes-Babbitt**

Este trabajo tiene como objetivo fundamental el diseño y la construcción de una máquina para el termo-rociado de cojinetes de Babbitt por solicitud de la empresa Plasmatec Ingenieros, C.A. Esta empresa se encarga de hacer gran cantidad de trabajos en el área metalmecánica, como reconstrucción de cigüeñales, bombas, ejes, cojinetes, etc. El diseño fue específicamente solicitado para material Babbitt, el cual está constituido principalmente por estaño.

El tipo de termo-rociado que se utilizó principalmente para el diseño de esta máquina es el conocido por Arco eléctrico, el cual consta de dos alambres con diferente polaridad que al chocar forman un arco eléctrico continuo, con el objetivo de derretir el material que va a ser depositado en la superficie que se va a reparar. Este material es proyectado a alta velocidad por medio de un flujo gaseoso, que en este caso específico es aire.

Dicha máquina cumple con los parámetros solicitados por la empresa para garantizar el buen acabado del recubrimiento. Estos parámetros son tales como, mantener la velocidad lineal constante de la pistola, mantener la distancia constante entre la pistola y el cojinete que se está reparando y mantener la mayor perpendicularidad posible en el flujo de partículas con respecto a la superficie del cojinete, entre otras.

## INDICE GENERAL

<b>INDICE GENERAL</b>	<b>viii</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I: MARCO TEORICO</b>	<b>4</b>
1.1    Termo-rociado	<b>5</b>
1.1.1    Definición	<b>5</b>
1.1.2    Características del recubrimiento por termo rociado	<b>5</b>
1.1.3    Métodos de termo-rociado	<b>6</b>
1.1.4    Preparación de la superficie para el termo-rociado	<b>11</b>
1.1.5    Cojinetes de deslizamiento	<b>13</b>
1.1.6    Material de Babbitt	<b>14</b>
<b>CAPITULO II: METODOLOGIA DEL DISEÑO</b>	<b>15</b>
2.1    Metodología del diseño	<b>16</b>
2.2    Fases del diseño	<b>16</b>
2.3    Aplicación de fases del diseño	<b>17</b>
2.3.1    Identificación de necesidades	<b>17</b>
2.3.2    Planteamiento y análisis del problema	<b>18</b>
2.3.3    Búsqueda de soluciones	<b>19</b>
<b>CAPITULO III: CALCULOS</b>	<b>40</b>
3.1    Cálculo de la velocidad del carro	<b>41</b>
3.2    Cálculo del número de dientes de la rueda dentada	<b>42</b>
3.3    Cálculo de la palanca	<b>43</b>
3.3.1    Cálculo de los esfuerzos y deformaciones en Y	<b>44</b>
3.3.2    Cálculo de los esfuerzos y deformaciones en X	<b>47</b>
3.4    Cálculo de la fuerza de la rueda	<b>50</b>
3.5    Cálculo soporte de la pistola	<b>51</b>
3.5.1    Viga 1	<b>52</b>
3.5.2    Viga 2	<b>56</b>
3.5.3    Viga 3	<b>63</b>
3.5.4    Viga 4	<b>68</b>
3.6    Cálculo árbol	<b>75</b>
3.6.1    Cálculo sección 1	<b>76</b>
3.6.2    Cálculo del esfuerzo cortante debido al momento torsor	<b>78</b>
3.6.3    Cálculo de la sección 3	<b>81</b>
3.6.4    Cálculo de la parte 2 de la sección 2	<b>93</b>
3.6.5    Cálculo de las deformaciones	<b>100</b>
3.7    Cálculo de las fuerzas ejercidas por las uñas	<b>102</b>
3.7.1    Cálculo del brazo	<b>102</b>
3.7.2    Cálculo del eje de la uña en X	<b>105</b>
3.8    Cálculos del carro	<b>109</b>

3.8.1	Viga 1	110
3.8.2	Viga 2	116
3.8.3	Viga 3	122
3.8.4	Viga 4	125
3.8.5	Viga 5	133
3.8.6	Viga 6	139
3.9	Cálculos de las fuerzas de las ruedas	142
3.10	Cálculos de los rieles	143
3.10.1	Caso 1	143
3.10.2	Caso 2	147
3.11	Cálculos soporte motor y reductor	151
3.11.1	Viga 1	152
3.11.2	Viga 2	158
3.11.3	Viga 3	162
3.11.4	Viga 7	165
3.11.5	Cálculo de la columnas	168
3.12	Estructura principal	169
3.12.1	Viga 1 - 2	170
3.12.2	Viga 3	171
3.12.3	Viga 4	174
3.12.4	Viga 5	178
3.12.5	Viga 6	181
3.12.6	Cálculo de la estructura lateral	184
3.12.7	Cálculo de la estructura frontal	185
3.12.8	Viga 7	188
3.12.9	Cálculo de la estructura posterior	192
3.12.10	Cálculo de las columnas	193
3.13	Cálculo de la cuña	195
3.14	Cálculo de los resortes	198
3.14.1	Resorte de compresión	198
3.14.2	Resorte de tracción	199
3.14.3	Cálculo del resorte de la uña del carro	200
3.14.4	Cálculo del resorte de la uña de la palanca	201
3.15	Cálculo de la potencia consumida por la maquina	203
3.16	Cálculo de la correa	204
3.17	Cálculo de la cadena	205
3.18	Cálculo del eje del rodamiento de la cadena	206
<b>CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		<b>209</b>
4.1	Conclusiones	210
4.2	Recomendaciones	211
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		<b>212</b>
<b>ANEXOS</b>		<b>215</b>

---

# INTRODUCCIÓN

## *Introducción*

El desgaste es una falla inevitable donde quiera que haya cuerpos en contacto bajo cargas y con movimiento relativo. Normalmente, el desgaste no ocasiona fallas violentas, pero trae como consecuencia: reducción del rendimiento de operación, pérdida de potencia por fricción, incremento del consumo de lubricantes y eventualmente conduce al reemplazo de componentes desgastados y a la obsolescencia de las máquinas en su conjunto. En cualquier pieza que se mueve existe siempre alguna resistencia debida al rozamiento, que se convierte en calor, y esto da como resultado una pérdida de energía. Por consiguiente, la función primordial de la aleación de que se compone un cojinete es mantener un coeficiente de rozamiento bajo entre éste y el miembro móvil. En un cojinete se produce siempre cierto desgaste, y es claro que, por razón de comodidad y de economía, este desgaste debe producirse siempre en la parte menos costosa y más fácil de reemplazar. Por eso la aleación del cojinete es más blanda que el eje miembro móvil.

Por tales razones se toma conciencia del problema y se buscan nuevas técnicas y materiales alternos que persiguen sustituir o recuperar las piezas que se desgastan. Una de las técnicas de mayor auge destinadas a la recuperación de piezas lo constituye el rociado térmico. El termo-rociado consiste en la proyección de partículas de un material metálico o no metálico en condiciones fundidas o semi-fundidas, atomizadas y aceleradas a muy alta velocidad sobre un sustrato para formar un recubrimiento.

Son muchas las piezas mecánicas que se pueden reparar con este proceso, entre las cuales se pueden mencionar algunas como, ejes, cigüeñales, válvulas, cojinetes, entre otras. Este proceso de termo-rociado para recuperar piezas mecánicas puede

realizarse de dos formas, manual o automático. En la forma manual, un operador dirige el flujo del material que se le aporta a la superficie de la pieza, y en la forma automática, un sistema mecánico o electromecánico realiza este trabajo sobre la pieza, cuya geometría permite realizar esta labor.

El fundamento principal de este Trabajo Especial de Grado es diseñar y construir un sistema automático para el termo-rociado de cojinetes de Babbitt a la empresa **PLASMATEC Ingenieros, C.A.**, con la finalidad de sustituir el proceso manual de termo-rociado de cojinetes por un proceso mucho más automático, que permita reducir el consumo de Babbitt y termo-rociar de una manera más uniforme la superficie de la pieza a reparar, es decir, mantener al máximo los parámetros y especificaciones técnicas del fabricante, tales como distancia y velocidad de desplazamiento del termo-rociado. Dichas especificaciones fueron suministradas por la propia empresa y representa la información fundamental de donde debe partir el diseño de este sistema.

Es importante para el buen desarrollo de este trabajo, cumplir con todas las necesidades y solicitudes planteadas por la empresa referidas a este mecanismo, y mantener siempre presente el principio de economía y reducción de gastos.

Para la construcción de este sistema se seguirán criterios de diseño y selección para cada elemento de máquina, material y subsistemas que cumplan con las especificaciones requeridas, y que serán sometidas a diversos procesos de manufactura siguiendo procedimientos adecuados. También se aprovechará cualquier material que ya exista previamente en la empresa que sirva para tal fin. Se harán pruebas de funcionamiento para la puesta a punto de la máquina y para verificar que cumple con las solicitudes hechas por la empresa.

# CAPITULO I

Marco Teórico

## **1.1 Termo-rociado**

### **1.1.1 Definición**

El termo-rociado es un proceso mediante el cual se proyectan partículas de materiales metálicos y no metálicos en estado fundido o semifundido sobre una superficie preparada para formar un revestimiento, que a su vez puede ser metálico o no metálico.

El material a ser depositado se presenta en forma de polvo, barras, cordón o electrodo continuo. El metal es fundido y proyectado por medio del uso de las pistolas de termo-rociado generando el calor necesario mediante la utilización de gases combustibles o un arco eléctrico. Cuando el material es calentado este cambia su estado a semifundido (plástico) o fundido y luego es acelerado mediante el uso de gas comprimido creando un rociado denso de partículas que se dirige hacia el material base (sustrato). Las partículas impactan contra la superficie aplastándose y formando delgadas laminas que se adhieren a las irregularidades de la superficie preparada una tras otra formando el recubrimiento.

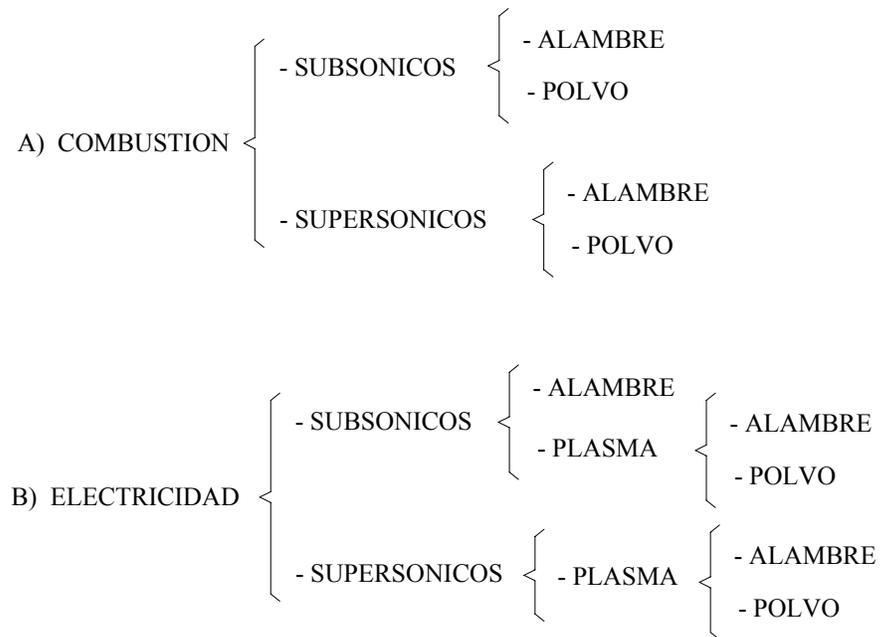
### **1.1.2 Características del Recubrimiento por Termo-rociado**

- La temperatura y la composición química de un recubrimiento termo-rociado es heterogénea.
- Los recubrimientos metálicos tienden a ser porosos, quebradizos y presentan valores de dureza diferentes a los del material original.

- Los procesos de termo-rociado pueden ser realizados en todas las posiciones, sin necesidad de que la atmósfera sea controlada, ofreciendo de esta manera gran flexibilidad para un amplio rango de aplicaciones.
- Se constituye en un método efectivo para minimizar el desgaste y la corrosión, lo cual permite a los industriales prolongar la vida de las partes nuevas y reparar las partes desgastadas.

### 1.1.3 Métodos de Termo-rociado

Los métodos de termo-rociado se pueden clasificar básicamente en dos grandes grupos:



A continuación se explica el principio teórico en el cual se fundamentan estos métodos de termo-rociado.

### 1.1.3.1 Arco Eléctrico - Alambre

En este proceso se utilizan dos alambres metálicos como material para el revestimiento. Los dos alambres están eléctricamente cargados con polaridades opuestas y son alimentados a la pistola, a velocidad controlada. Cuando los alambres se aproximan entre sí, al llegar a la tobera, las cargas opuestas en los alambres producen un arco que genera el calor suficiente para fundir continuamente la punta de los alambres. Aire comprimido es utilizado para atomizar el material fundido y proyectarlo sobre la superficie de trabajo y formar el revestimiento. En este proceso, la cantidad de material que puede ser depositado por unidad de tiempo es una función de la potencia eléctrica del sistema y de la densidad y punto de fusión del alambre. No es necesario el suministro de gas combustible. Muchos tipos de sustrato pueden ser recubiertos con versatilidad, confiabilidad, excelente densidad, resistencia en el revestimiento y alta tasa de deposición. Sólo pueden utilizarse para el revestimiento materiales conductores de electricidad.

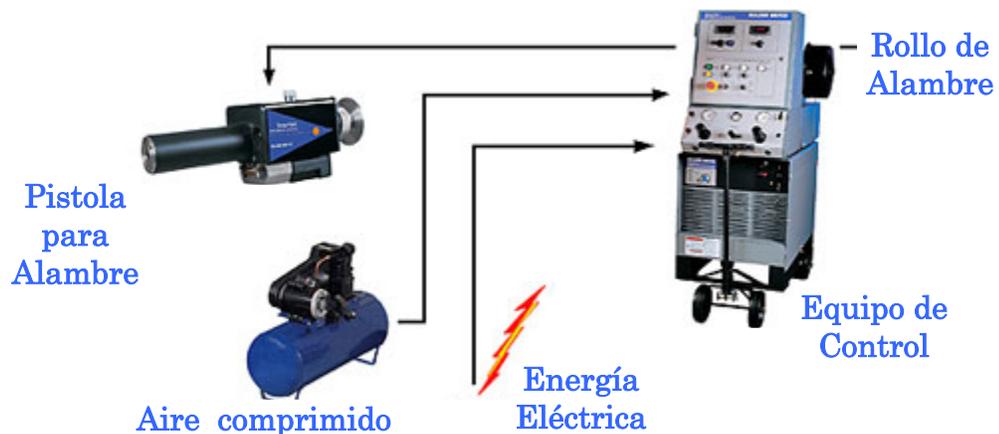


Figura 1. Equipo de Arco Eléctrico

En el equipo de control se gradúan una serie de parámetros que influyen en la óptima calidad de deposición del material proyectado, tales como: Presión de flujo del gas de atomización, Voltaje, Amperaje y Distancia de termo-rociado.

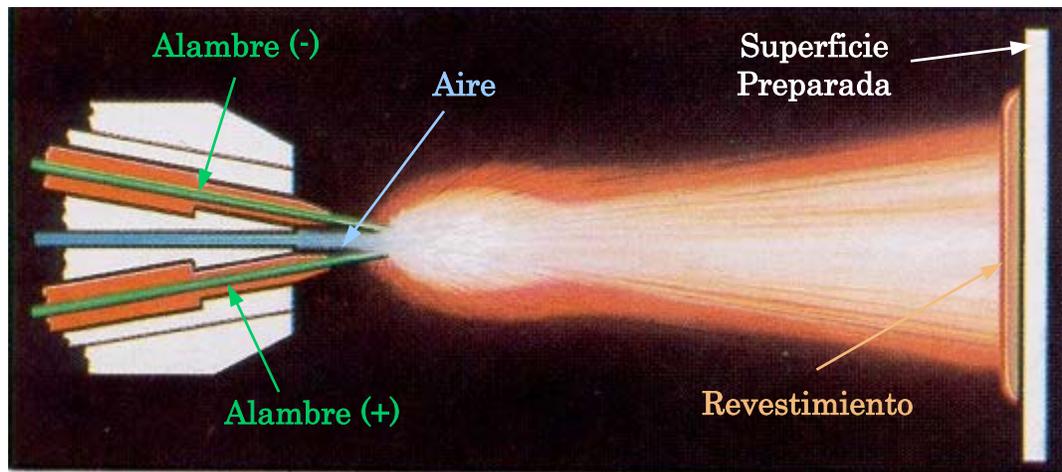


Figura 2. Funcionamiento más detallado de la pistola

En la Figura 2 se puede observar de manera más clara el funcionamiento de la pistola. Se observan los alambres de distinta polaridad formando el arco eléctrico y el aire a presión que impulsa y atomiza las partículas del alambre fundido contra la superficie preparada.

### 1.1.3.2 Plasma

Este es quizás el más flexible de todos los procesos de termo-rociado ya que puede desarrollar suficiente energía para fundir cualquier material. Al utilizar material pulverizado para producir el revestimiento, el número de materiales que pueden ser utilizados en el proceso es casi ilimitado. La pistola de plasma que incorpora un cátodo (electrodo) y un ánodo (tobera) separados por una pequeña

abertura, formando una cámara entre ambas. Corriente directa es aplicada al cátodo y se forma un arco entre este y el ánodo. Al mismo tiempo, los gases son pasados a través de la cámara. El potente arco es suficiente para despojar a los gases de sus electrones, y el estado de la materia conocido como plasma es formado. Debido a la inestabilidad del plasma, los iones en este se recombinan rápidamente al estado gaseoso y se enfrían. En el punto de recombinación, las temperaturas pueden ser de 6600 °C a 16600 °C, las cuales exceden la temperatura superficial del Sol. El material de revestimiento es inyectado a la pluma gas, donde es fundido y proyectado hacia la pieza de trabajo. Los gases típicos para plasma son Hidrógeno, Nitrógeno, Argón y Helio. Este proceso permite un alto control de varios parámetros, trayendo como consecuencia un alto grado de flexibilidad.



Figura 3. Equipo de Plasma para Polvo

### 1.1.3.3 HVOF (High Velocity Oxygen-Fuel) - Polvo

Este proceso utiliza una mezcla de oxígeno y combustible. Dependiendo de los requerimientos del usuario, pueden ser utilizados propileno, propano, kerosén o hidrógeno como combustibles. El material de revestimiento, en forma de polvo, es alimentado axialmente a través de la pistola, utilizándose Nitrógeno como gas de transporte en el caso de polvos. El combustible se mezcla con el oxígeno en un sistema de sifón colocado en la porción frontal de la pistola. Los gases completamente mezclados son impulsados a través de un tobera y encendidos fuera de la pistola. Los gases encendidos forman una configuración de llama circular que rodea y calienta uniformemente el material de revestimiento, también a la salida de la pistola, impulsándolo hacia la superficie de la pieza de trabajo. Como resultado de la alta energía cinética transferida a las partículas por el proceso HVOF, el material de revestimiento no necesita estar totalmente fundido. En vez de ello, las partículas en polvo están en un estado plástico o pastoso, impactando de esta manera contra la superficie de la pieza de trabajo. El resultado es la producción de revestimientos con propiedades químicas predecibles, muy homogéneas y con una fina estructura granular.



Figura 4 Equipo HVOF para Polvo

#### **1.1.3.4 HVOF (High Velocity Oxygen-Fuel) – Alambre**

Este proceso es similar al anterior, presentándose el material a ser rociado en forma de alambre, el cual es alimentado continuamente a una mezcla de oxígeno y combustible donde es fundido por el calor producto de la combustión. Aire comprimido rodea a la llama y atomiza la punta fundida del alambre. Esto impulsa las partículas atomizadas hacia la superficie previamente preparada de la pieza de trabajo. Los combustibles más utilizados son el acetileno, el propano, el hidrógeno y el kerosén. Adicional a las características del proceso enunciadas para el HVOF – polvo, los recubrimientos obtenidos pueden soportar condiciones severas de servicio, particularmente en desgaste y muchas aplicaciones donde existe corrosión.

Otros beneficios asociados al proceso son: excelente tenacidad del recubrimiento, baja cantidad de óxidos, alta densidad con poca porosidad, optimización de la micro dureza, buena calidad superficial del recubrimiento, lo cual evita en muchos casos la necesidad de maquinarse la superficie recubierta.

#### **1.1.4 Preparación de la Superficie para el Termo-rociado**

La preparación de la superficie del sustrato (limpieza y chorro de abrasivo), es necesaria para la aplicación exitosa del revestimiento, esto es, para que la adhesión al sustrato sea de la más alta calidad y se haga mínimo el riesgo de que se produzcan fallas.

El material de revestimiento y el tipo de sustrato son los factores más importantes para determinar el tipo de preparación de superficie necesaria para lograr una adherencia consistente.

#### **1.1.4.1 Manejo y Limpieza**

Es necesario remover todos los contaminantes de la superficie como costras, aceites, grasas, pintura, mediante el precalentado y limpieza con algún solvente (por ejemplo. Thinner), y mantenerla limpia hasta que se halla completado el ciclo de rociado. Todas las partes deben protegerse de contaminantes aéreos, huellas de dedos y ser manipulados con accesorios y materiales limpios.

#### **1.1.4.2 Chorro de Abrasivo**

Esto consiste en producir en el sustrato una superficie “áspera” para que el revestimiento se adhiera con más facilidad y tenacidad. El chorro de abrasivo permite brindar esfuerzos superficiales de compresión, entrecruzamiento de las capas de revestimiento, aumento del área de adherencia y descontaminación de la superficie, todo lo cual contribuye al fortalecimiento del revestimiento.

Los métodos más empleados para el proceso con chorro de abrasivo de las superficies son:

- Soplado con arenilla abrasiva (Sand Blasting)
- Rugosidad
- Aplicación de revestimiento adhesivo
- Combinación de los anteriores

Una vez que la superficie a termo-rociar ha sido sometida a un proceso de soplado con arenilla abrasiva, es necesario remover las partículas que hallan podido quedar incrustadas mediante el soplado con aire, cuya presión dependerá del tamaño de las partículas que fueron utilizadas para el proceso con chorro de abrasivo.

### **1.1.5 Cojinetes de Deslizamiento**

Los cojinetes de deslizamiento son elementos de máquinas diseñados para transmitir cargas o reacciones desde un eje en movimiento relativo con el cojinete.

El movimiento deslizante entre el eje y el cojinete bien sea axial o cilíndrico es característico de todos los cojinetes de deslizamiento. En muchas aplicaciones los cojinetes de deslizamiento ofrecen ventajas sobre los rodamientos debido a su bajo costo, pequeño espacio requerido, posibilidad de operar con poca lubricación, resistencia a la corrosión y su capacidad de soportar altas cargas específicas.

Los cojinetes de deslizamiento son comúnmente diseñados para aplicaciones como: cojinetes principales de ejes y árboles, bocinas de ejes de motores eléctricos, cojinetes de fuerza axial, etc.

#### **1.1.5.1 Requisitos que Deben Reunir los Cojinetes**

Siempre que cualquier metal o aleación posea las siguientes propiedades en un grado adecuado, puede funcionar bien como cojinete.

- 1) Resistencia mecánica
- 2) Característica de ligazón
- 3) Punto de fusión relativamente elevado
- 4) Resistencia a la fatiga
- 5) Características de antifricción
- 6) Propiedad de no rayarse
- 7) Conformabilidad
- 8) Poder de inclusión
- 9) Conductividad térmica

## 10) Resistencia a la corrosión

### **1.1.6 Material de Babbitt**

Los Babbitts de estaño son una clase de aleaciones antifricción que se han acreditado hace muchos años. Su empleo se remonta a una patente concedida en 1.839 a Isaac Babbitt, quién concibió la idea de un cojinete formado por un casco metálico revestido interiormente con una aleación semejante al peltre o metal Britania. La aleación preferida por Babbitt se componía de 89,3% de estaño, 8,9% de antimonio y 1,8% de cobre. Esta composición se acerca mucho a la empleada hoy en aleaciones Babbitt de estaño. El termino Babbitt se ha extendido hasta incluir aleaciones que contienen cantidades limitadas de plomo, zinc, aluminio, arsénico, hierro y bismuto.

---

# CAPITULO II

## Metodología del Diseño

## **2.1 Metodología del Diseño**

Diseñar es formular un plan para satisfacer una demanda humana. La necesidad particular que habrá de satisfacerse puede estar completamente bien definida desde el principio. El diseño en ingeniería mecánica es un estudio de gran amplitud que abarca todas las disciplinas de la ingeniería mecánica, incluso las ciencias térmicas y de los fluidos.

## **2.2 Fases del Diseño**

Comienza con la identificación de una necesidad y con una decisión de hacer algo al respecto. Después de muchas iteraciones, el proceso finaliza con la presentación de los planes para satisfacer tal necesidad. En las secciones siguientes se examinan en detalle estos pasos del proceso de diseño.

### **2.2.1 Identificación de Necesidades:**

Es una actividad bastante creativa, pues la necesidad puede manifestarse simplemente como un vago descontento o bien por la intuición de una dificultad o en la sensación de que algo no es correcto. Por lo general, se identifica de repente a partir de una circunstancia adversa.

### **2.2.2 Planteamiento y Análisis del Problema:**

Se define el problema en forma amplia y en todo detalle. Se puede considerar el objeto a diseñar como algo colocado en una “caja negra”. En este caso se debe especificar lo que entra y lo que sale de dicha caja, junto con sus características y limitaciones.

### **2.2.3 Búsqueda de Soluciones:**

En esta fase del diseño se lleva a cabo una Tormenta de Ideas con posibles soluciones basadas en procesos de investigación.

### **2.2.4 Evaluación:**

Todas las alternativas se valoran, comparan, y se selecciona la que tiene la solución óptima.

### **2.2.5 Presentación:**

La comunicación del diseño a otras personas es el paso final y vital en el proceso de diseño. En esencia, hay sólo tres medios de comunicación que se pueden utilizar, la escrita, la oral y la gráfica.

## **2.3 Aplicación de Fases del Diseño**

### **2.3.1 Identificación de Necesidades**

PLASMATEC Ingenieros, C.A. buscando de manera continua la mejora de sus procesos industriales e investigando la forma de disminuir los costos en los mismo, se toma la tarea de mejorar el proceso para recuperar cojinetes de Babbitt mediante el uso de termo-rociado por arco eléctrico.

Para lograr esto se realiza un análisis detallado del proceso y se identifican varias necesidades que debe tener el mismo para lograr este objetivo. Entre las observaciones y necesidades que se identifican se tienen las siguientes:

- Se necesita disminuir los costos del proceso.
- Se debe buscar que el material aportado sea el necesario, y no la cantidad que suponga el operador, ya que se deposita más de lo necesario.
- Se debe mantener constante la velocidad lineal de la pistola como especifica el fabricante.
- Se debe mantener constante la distancia de termo-rociado como especifica el fabricante.
- Se observa que la pistola es pesada para el operador y además necesita gran cantidad de equipo para protegerse, lo que dificulta y hace incomodo su trabajo.
- Se debe procurar disminuir los tiempos que requiere el proceso.

### **2.3.2 Planteamiento y Análisis del Problema**

En la actualidad la empresa PLASMATEC realiza recuperación de cojinetes de Babbitt por el método de termo-rociado. Esa recuperación se realiza de forma manual, por lo que hay una gran pérdida de material asociada al recubrimiento, trayendo como consecuencia el incremento del costo de este procedimiento.

Para minimizar el tiempo y el costo asociado a este proceso, y debido al aumento de la demanda que posee el mismo en el sector industrial Venezolano, dicha empresa propone el diseño y construcción de una máquina que realice este procedimiento de manera automática.

### **2.3.3 Búsqueda de Soluciones (Tormenta de ideas)**

A continuación se presenta una serie de ideas que se estudiaron y analizaron en busca de la mejor solución posible al problema planteado. Para facilitar la mejor comprensión de estas ideas, se acompañan de dibujos sencillos que ilustran de mejor manera las partes que constituyen estos diseños.

El punto de partida para comenzar a plantear cualquiera de estos diseños es conocer con exactitud los parámetros y especificaciones técnicas que debe poseer la máquina a construir. Estos parámetros son datos suministrados por PLASMATEC.

#### **2.3.3.1 Especificaciones Técnicas que Debe Poseer la Maquina**

Las especificaciones que se mencionan a continuación fueron suministradas por PLASMATEC Ingenieros, C.A. y es fundamental que se cumplan para lograr un acabado de alta calidad durante el proceso. Estas son las siguientes:

1. La máquina debe termo-rociar el cojinete de manera automática y no manual, es decir, el operador no debe soportar en sus manos la pistola.
2. La velocidad lineal con la que se mueve la pistola sobre el cojinete debe ser de  $(10 \pm 1)$  cm/s.
3. El ángulo entre el flujo de Babbitt de la pistola y la superficie del cojinete debe ser lo más perpendicular posible ( $90^\circ$ ) y no puede ser menor a  $70^\circ$ .
4. La distancia entre el pico de la pistola y la superficie del cojinete que se está termo-rociando debe mantenerse entre los límites establecidos por el

fabricante, los cuales son de  $(6 \pm 2)$  pulgadas, es decir  $(152,4 \pm 50,8)$  mm.

5. La máquina debe poder termo-rociar todos los cojinetes cuyos diámetros estén comprendidos entre 10 y 50 cm.
6. Se debe evitar al máximo que los componentes móviles de la máquina estén ubicados por encima del área del cojinete que se va a termo-rociar, ya que de caer alguna partícula de polvo, grasa o residuo metálico, puede traer como consecuencia un mal acabado sobre dicha superficie.
7. La máquina debe portar los rollos que suministran el Babbitt que alimenta la pistola.
8. La máquina debe utilizar durante su construcción la mayor cantidad posible de materiales y equipos que se encuentren en la planta, con el fin de disminuir los costos de su construcción.
9. La máquina debe disminuir el trabajo que realiza el operador, así como la cantidad de equipo que utiliza para su protección.
10. La máquina debe permitir en cualquier momento del proceso la inspección por parte del operador.

### **2.3.3.2 Diseño de la Base Soporte de la Pistola**

Uno de los primeros problemas que se encontró, fue cómo lograr mantener el rango de distancia entre el pico de la pistola y la superficie del cojinete usando diferentes diámetros.

Como se muestra en la Figura 5, al girar la pistola en el centro de un cojinete de 50 cm de diámetro, se puede observar que se mantiene el rango de distancia “d” solicitada por el fabricante, mas no así, cuando se rota la pistola en el mismo punto y se cambia el tamaño del cojinete por otro menor. Se nota que esta distancia varía ( $d_1 < d_2$ ), y en algunos diámetros menores la pistola podría llegar hasta chocar con el cojinete. Todo esto sucede tomando en cuenta que dichos cojinetes se posan sobre un mismo plano de referencia “P.R.” y el árbol se ubica en un plano “P.A.”

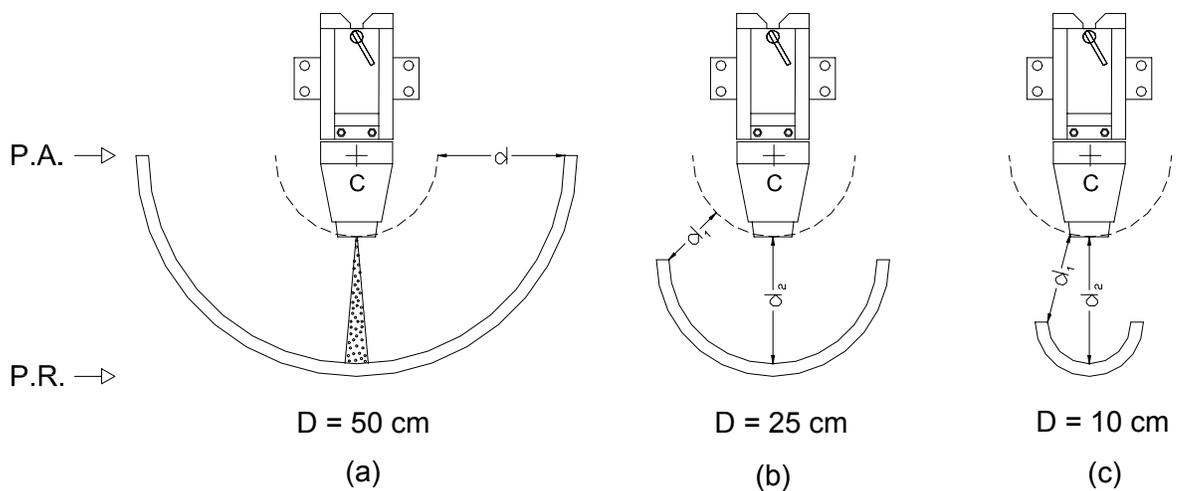


Fig 5. Comparación de la distancia de Termo-rocío entre cojinetes de distinto diámetro, manteniendo fijo P.A. y P.R.

La primera idea para solucionar este problema es que se utilicen diferentes tamaños de bases para sujetar la pistola, pero esto traería como consecuencia que se tenga que hacer una gran cantidad de estas bases, ya que los diámetros de los cojinetes son variables.

Se busca una alternativa diferente para evitar hacer tantas bases, ya que esto incrementa los costos de construcción de la máquina, y se piensa en una base única ajustable para todos los tamaños de cojinetes posibles. Este diseño sale del siguiente análisis ilustrado en las Figuras 6 y 7.

Para mantener el rango de distancia de termo-rociado se necesita que el pico de la pistola no se acerque a la superficie del cojinete mientras rota. Esto se puede lograr trasladando el punto de rotación “C” al centro geométrico del cojinete como se muestra en la Figura 6, donde se toma como ejemplo el caso de un cojinete intermedio de 25 cm de diámetro.

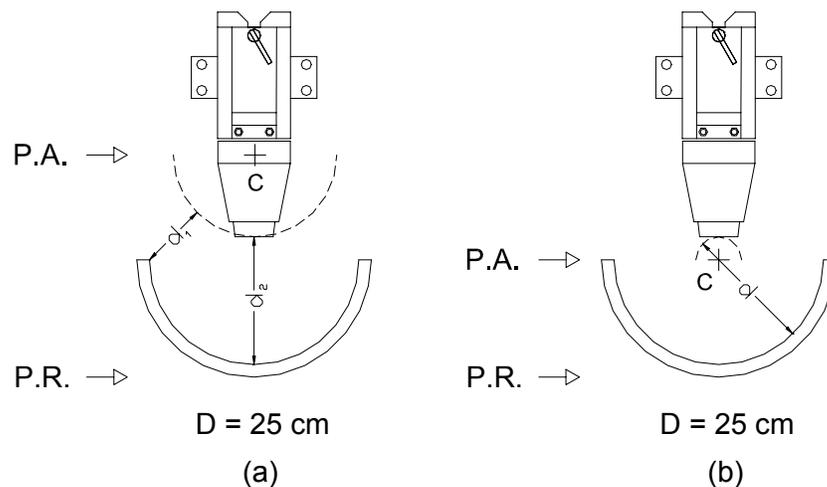


Fig 6. Rotación de la pistola. a.- En el punto inicial.  
b.- En el centro geométrico del cojinete

Se puede observar que el centro de rotación “C” de la pistola se encuentra desplazado verticalmente hacia abajo de su lugar original y el nuevo arco de circunferencia que describe el movimiento de la pistola es concéntrico al cojinete, permitiendo que el pico de la pistola no se acerque a la superficie del mismo, manteniendo una distancia constante “d”. En el caso del cojinete de 10 cm de diámetro sucede algo similar al anterior. En la Figura 7 se puede observar que el centro “C” también está desplazado de su punto original para lograr mantener la distancia necesaria.

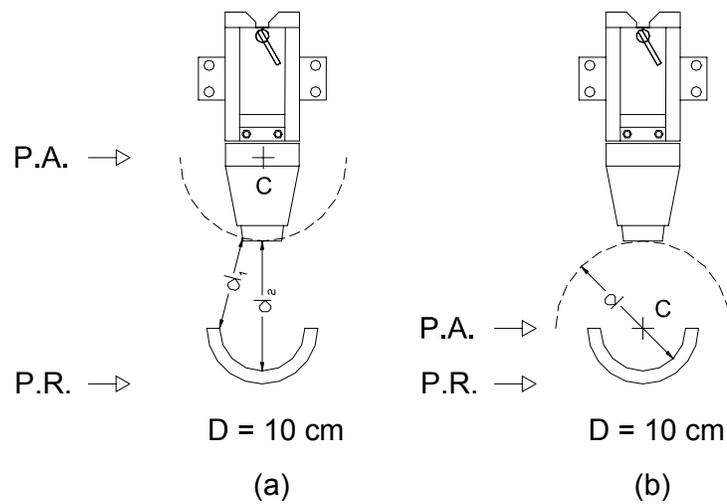


Fig 7. Rotación de la pistola. a.- En el punto inicial.  
 b.- En el centro geométrico del cojinete

Existen unas características que se deben mencionar al hacer una comparación entre los casos de cojinetes de 25 y 10 cm de diámetro analizados anteriormente. Una de ellas es que la distancia entre el plano de referencia “P.R.” y el plano del árbol “P.A.” va disminuyendo con respecto al caso original del cojinete de 50 cm de diámetro. Otra característica importante es que el centro de rotación “C” viene a ser un punto imaginario fuera de los límites físicos de la pistola, como lo muestran las Figuras 6-b y 7-b . A diferencia de estos, el punto “C” se encuentra dentro de los límites físicos de la pistola en el caso del cojinete de 50 cm de diámetro como se observó en la Figura 5-a.

Una vez adoptado este nuevo punto de rotación “C” en el centro geométrico de cada cojinete, aparecen los siguientes problemas. En los cojinetes de 25 y 10 cm de diámetro se puede observar que al girar la pistola choca contra los bordes del cojinete o contra la geometría del cuerpo que contiene a este, es decir, existen componentes mecánicos como por ejemplo bombas o bancadas que tienen una geometría plana en los bordes del cojinete que no permiten la rotación completa de la pistola, con la consecuencia que solamente una zona “Z.T” del cojinete logra ser termo-rociada

debidamente, dejando otras dos en los extremos sin recubrimiento. Este problema se muestra en la Figura 8 y 9.

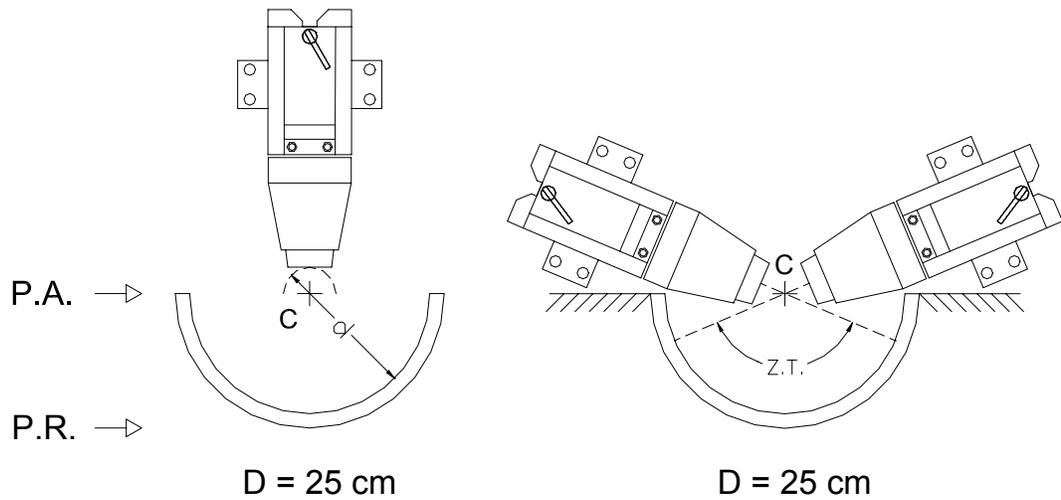


Fig. 8. Choque de la pistola con los bordes del cojinete.

Para solucionar esto, se debe garantizar que toda la superficie del cojinete cualquiera sea su diámetro logre ser termo-rocida completamente manteniendo la mayor perpendicularidad posible con dicha superficie. Para conseguir esto se tomó en cuenta una línea imaginaria con la distancia promedio de 152,4 mm (6 pulgadas) que sale del pico de la pistola para simular la trayectoria del Babbitt, como se muestra en la Figura 10. Esta distancia promedio sale de los límites menor y mayor de las distancias permitidas por las especificaciones del Fabricante, los cuales son de 101,6 mm (4 pulgadas) y 203,2 mm (8 pulgadas). Luego se ubicó la pistola en dirección vertical haciendo contacto dicha línea imaginaria con el punto “M” en el borde del cojinete, y se rotó con respecto a este punto hasta lograr el mayor ángulo “A” posible de manera que no chocara con el cojinete. La referencia que se utilizó al final de la inclinación de la pistola fue considerar una distancia “h” no menor a 8 mm entre cualquier parte de la pistola o su base y el cojinete, como se muestra en la Figura 10.

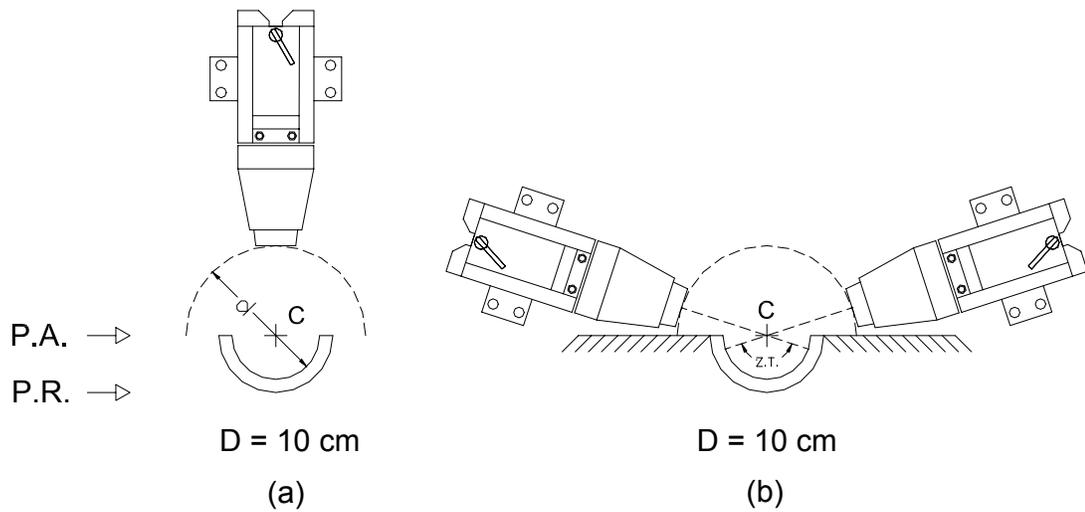


Fig 9. Choque de la pistola con el cuerpo que contiene el cojinete.

Este ángulo “A” es lo más perpendicular que se puede ubicar la pistola para realizar su trabajo al comienzo y debe estar dentro de la tolerancia del ángulo solicitado por la empresa entre 70 y 90 grados.

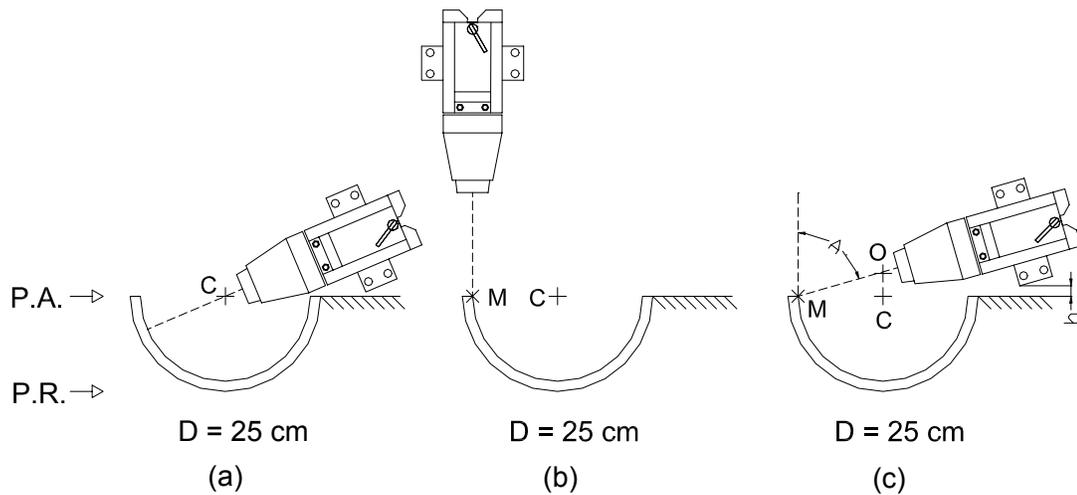


Fig 10. Solución al problema del choque con los bordes del cojinete.

El nuevo punto de rotación “O” está ubicado en la intersección de la línea imaginaria que simula el flujo del Babbitt y la vertical que pasa por el centro geométrico de cualquier diámetro de cojinete. En el ejemplo de la Figura 10 se tomó un cojinete intermedio de 25 cm de diámetro.

Garantizado ya el termo-rociado de toda la superficie del cojinete cualquiera sea su diámetro y buscando la mayor perpendicularidad posible de la pistola, se analiza un nuevo problema que surge al rotar la pistola. Como se muestra en la Figura 11, al girar la pistola desde el nuevo punto “O” y hacer el recorrido del ángulo necesario para que cubra toda la superficie del cojinete, se observa que nuevamente la distancia entre la pistola y la superficie del cojinete va aumentando a medida que se rota hacia el centro del cojinete, es decir, el momento cuando la pistola se encuentra totalmente en dirección vertical.

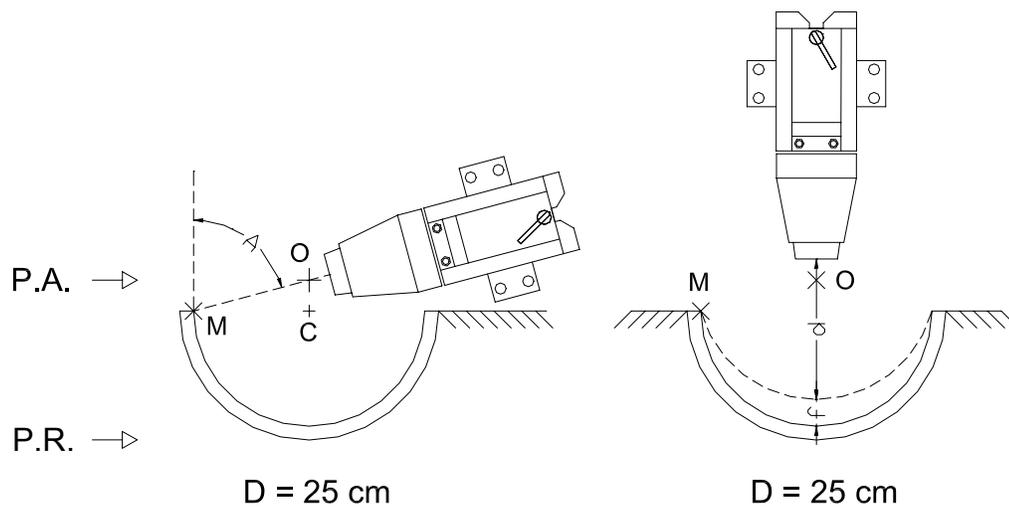


Fig 11. Incremento de una distancia " f " durante la rotación de la pistola.

El aumento de esta distancia puede sobrepasar la tolerancia permitida por el Fabricante, de modo que se procede a sumar la distancia “f” y “d” para verificar que no exceda esta tolerancia. La suma da una distancia “L” igual a 183,21 mm (7,21

pulgadas) en el caso del ejemplo mostrado lo cual implica una distancia próxima al límite superior de 203,2 mm (8 pulgadas).

Como se mencionó anteriormente, se consideró la distancia de 152,4 mm (6 pulgadas) como la distancia promedio a trabajar en este diseño, pero se observa que sólo se logra en los extremos como el punto “M”. Para lograr mantener esta distancia promedio lo más posible durante el proceso, se debe empezar a termo-rociar en el extremo “M” del cojinete con una distancia menor a la promedio para alcanzar esta durante el proceso a medida que se avanza hacia el centro del cojinete. Para lograr mantener esta distancia promedio “d” lo más posible, se repite el proceso anterior de la Figura 10 y 11 con medidas distintas dentro de los límites establecidos por el fabricante, es decir, se partió utilizando una medida para “d” de 101.6 mm (4 pulgadas) y se incrementó en una pulgada hasta 152,4 mm (6 pulgadas). Esto se hizo con ayuda de Autocad y un modelo a escala 2:5 realizado en papel y cartón simulando la pistola y todos los diámetros de cojinetes posibles desde 10 cm hasta 50 cm, incrementando los diámetros de 5 en 5 cm, obteniendo los siguientes resultados que se muestran en la Tabla 1.

**TABLA 1**

d		D [mm]								
		100	150	200	250	300	350	400	450	500
101,6 mm (4 pulg.)	A [°]	71	71	71	71	73	75	77	83	84
	f [mm]	14.34	21.50	28.67	35.84	39.01	40.72	40.91	25.94	24.90
	L [mm]	115.94	123.10	130.27	137.44	140.61	142.32	142.51	127.54	126.50
	L [pulg.]	4.56 *	4.85	5.13	5.41	5.54	5.60	5.61	5.02	4.98
127 mm (5 pulg.)	A [°]	73	73	73	73	73	75	77	78	83
	f [mm]	13.00	19.50	26.00	32.50	39.01	40.72	40.91	42.80	28.82
	L [mm]	140.00	146.50	153.00	159.50	166.01	167.72	167.91	169.80	155.82
	L [pulg.]	5.51	5.77	6.02	6.28	6.54	6.60	6.61	6.68	6.13
152,4 mm (6 pulg.)	A [°]	74	74	74	74	74	75	77	78	83
	f [mm]	12.32	18.48	24.64	30.81	36.97	40.72	40.91	42.80	28.82
	L [mm]	164.72	170.88	177.04	183.21	189.37	193.12	193.31	195.20	181.22
	L [pulg.]	6.49	6.73	6.97	7.21	7.46	7.60	7.61	7.68 *	7.13

D : Diámetro del cojinete.

d : Distancia del punto "M" al pico de la pistola.

f : Distancia que se incrementa " d ".

L : Distancia resultante de sumar " d " y " f ".

En la Tabla 1 se puede observar con un asterisco ( \* ) las distancias menor y mayor de "L", con valores de 4,56 y 7,68 pulgadas respectivamente. El valor menor se obtuvo utilizando 101,6 mm para "d" y 100 mm para "D", y el mayor se obtuvo utilizando 152,4 mm para "d" y 450 mm para "D".

De todas las distancias "L" obtenidas, es con "d" igual a 127 mm (5 pulg.) cuando se obtiene la mayor cantidad de valores de "L" más próximos a la distancia

promedio, trayendo como consecuencia que sea este valor de “d” el seleccionado para realizar el diseño de la base soporte de la pistola.

Sólo queda finalmente ubicar la posición relativa de esta cantidad de puntos de rotación “O” con respecto a la pistola. Todos estos puntos según los diferentes tamaños de cojinetes, vendrán a dar información de la medida “R” que debe tener una ranura donde se moverá el árbol que suministra el movimiento de rotación como se muestra en la Figura 12.

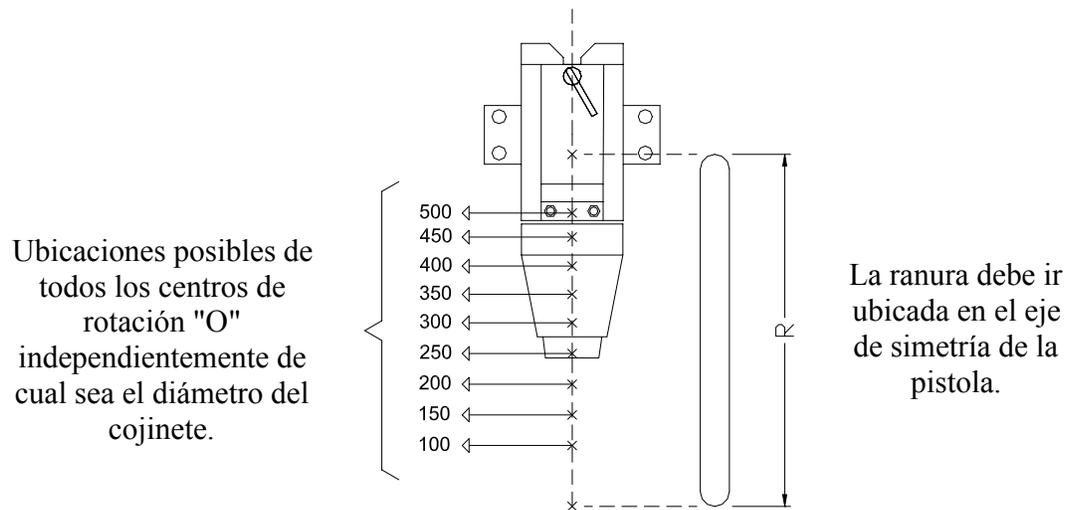


Fig 12. Ranura trasladada a la derecha para entender con facilidad su posición con respecto a la pistola.

Los resultados obtenidos dan una distancia de 198,18 mm entre los puntos extremos “O” de los cojinetes de 100 y 500 mm de diámetro, que se puede redondear a 200 mm. A esta distancia se le sumó 50 mm por la parte superior e inferior para efectos de sobre diseño, y dio como resultado final una ranura con distancia “R” de 300 mm.

Una vez comprobado que esta base de la pistola cumple con el rango de distancia especificado por el fabricante usando cualquiera de los diámetros de cojinetes posibles, se selecciona como diseño definitivo para sujetar la pistola.

Para evitar que esta base se mueva con algún mecanismo que pueda soltar alguna partícula de polvo, grasa o residuo metálico, se procede a separar la pistola lo más posible de la estructura principal que vaya a tener la máquina. Esto se logra alejándola una distancia prudente “U” del árbol o mecanismo que transmita el movimiento de rotación, como se muestra en la Figura 13. En este diseño la ranura queda ubicada en la parte trasera de la base y la pistola en la parte delantera.

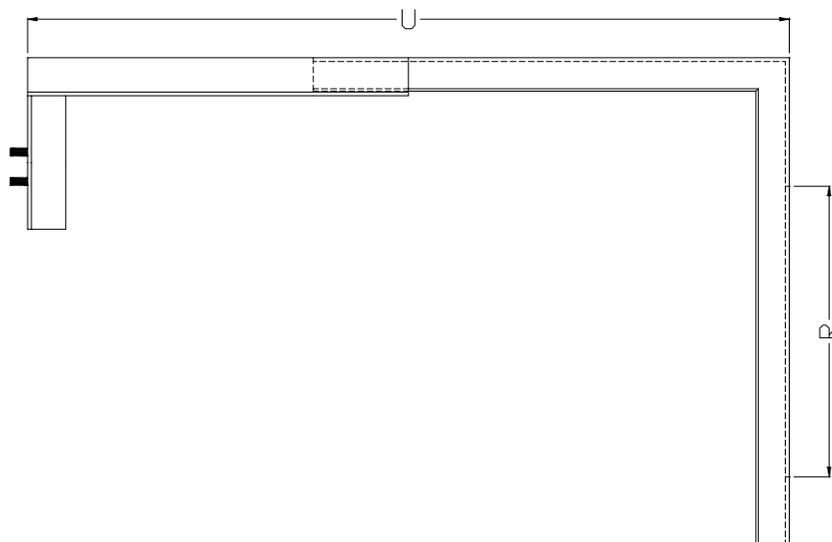


Fig 13. Diseño definitivo de la Base de la Pistola.

El diseño mostrado en la Figura 13 se toma como definitivo después de haber verificado sus cálculos en el Capítulo 3. Sus medidas precisas se muestran en el Plano 1-1 del Anexo A.

### **2.3.3.3 Diseño del Carro Soporte del Árbol**

La base de la pistola debe tener un movimiento lineal y rotacional para poder termo-rociar toda la superficie del cojinete a reparar. El movimiento de rotación de la base se puede transmitir por medio de un árbol y el movimiento lineal se puede transmitir sujetando dicho árbol por medio de unas chumaceras a una estructura con ruedas o carro sobre rieles que le permitan moverse en línea recta. Este movimiento lineal debe ser alternativo.

Otra opción para lograr el movimiento lineal, es mover el cojinete en vez del árbol, pero esto involucra componentes muy robustos ya que los cojinetes de mayor diámetro poseen gran peso y su movimiento trae en consecuencia grandes inercias que necesitarían motores o mecanismos neumáticos de mayor capacidad para lograr moverlos, de modo que la energía necesaria para desplazar estos cojinetes es mayor que la energía necesaria para mover el mecanismo de la pistola. Se descarta entonces la opción de mover los cojinetes.

El movimiento lineal del árbol que soporta la base de la pistola se puede lograr de distintas formas. Entre las empresas investigadas en la parte neumática que venden equipos especializados de alta calidad en la tecnología de la automatización, se destacó la empresa FESTO, sucursal Caracas, en donde se encontró la posibilidad de usar un pistón neumático que se le gradúe a voluntad la distancia necesaria a recorrer dependiendo del tamaño del cojinete. Otra posibilidad es utilizar mecanismos de sproket y cadena que permiten el movimiento lineal y alternativo. Por otra parte, un mecanismo de biela parecido a los motores de combustión interna también se podría utilizar. Y por último, usar un mecanismo Sinfin. Para decidir qué tipo de mecanismo se va a utilizar se consideró los siguientes aspectos: costos de los equipos, precisión que puedan suministrar para cumplir con la velocidad lineal constante solicitada por el fabricante y por último el desgaste y mantenimiento a que puedan estar sometido.

Los posibles diseños usando este tipo de mecanismo se pueden observar en la Figura 14, y haciendo un análisis al detalle de cada uno de ellos con sus ventajas y desventajas se llega a concluir lo que se menciona a continuación.

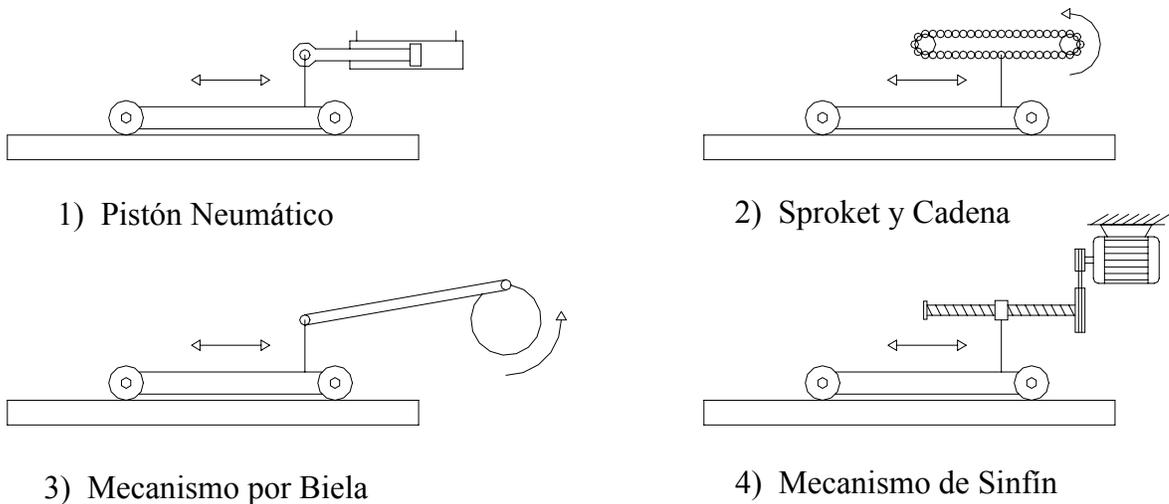


Fig 14. Posibles ideas para lograr el movimiento lineal alternativo.

El mecanismo neumático de FESTO, tiene un alto costo en comparación con los otros equipos. Para mantener la velocidad lineal constante necesita una serie de dispositivos de control, ya que el aire es un fluido compresible y la carga a la que se va a someter este pistón neumático es variable. Por estas razones económicas se descarta la utilización de este sistema.

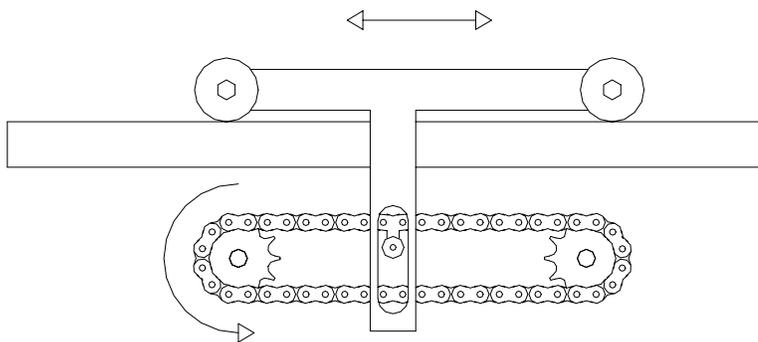
El mecanismo de biela se descarta ya que no proporciona velocidad constante, es decir, la velocidad parte de cero en los extremos y aumenta progresivamente hasta la mitad del recorrido. En la otra mitad de recorrido restante la velocidad disminuye hasta llegar a cero. No se mantiene en ningún momento del recorrido la velocidad constante.

El mecanismo de Sinfín, tiene como componentes una tuerca que se desplaza a lo largo de un Sinfín. Este debe tener una longitud considerable que permita termorociar el cojinete de mayor diámetro. La rosca de este Sinfín debe tener un paso tal que girando a un número determinado de revoluciones suministrado por un motor eléctrico, pueda desplazar la tuerca a la velocidad especificada por el fabricante. Este diseño se descarta, ya que entre el Sinfín y la tuerca se produce cierto grado de fricción debido a que el eje se encuentra girando rápidamente. Además, el movimiento alternativo ayuda a incrementar esta fricción. El costo de maquinado involucrado en la fabricación de estos componentes es considerable, sumado al sistema eléctrico necesario para cambiar el sentido de rotación del motor. De haber sido muy baja la velocidad lineal necesaria y muy lento el número de revoluciones del Sinfín, tendría mayor factibilidad de usarse este diseño.

El mecanismo de cadena tiene la ventaja que puede mantener la velocidad constante y el costo de sus componentes es menor comparado con los diseños propuestos anteriormente. A esto hay que agregar que la empresa tenía en sus depósitos un reductor y un motor cuyas características permitían la construcción de este mecanismo con tan solo tener que calcular los diámetros de las dos poleas que debían llevar para obtener la relación y velocidad especificada por el fabricante. Las cadenas tienen una vida útil larga y no necesitan de mayor mantenimiento que engrasarlas cada cierto intervalo de tiempo. Por todas las razones expuestas, el mecanismo accionado por cadenas fue el diseño seleccionado.

Además, la forma de lograr este movimiento alterno se presentó de 3 formas distintas. Una manual accionando un conmutador intercambiando dos fases de modo que el motor cambie de giro. Una segunda forma más automática a través de microsiches y contactores que trabajando de manera acorde con los movimientos de la máquina cambie el sentido de giro del motor en el momento necesario, es decir, lo

mismo que la anterior pero sin presencia de un operador. Y la tercera forma fue un mecanismo de ranura con rodamiento deslizante, el cual resultó ser el más económico y más sencillo de construir, sin necesidad de componentes eléctricos. Este mecanismo se muestra en la Figura 15 y consta de una cadena con un eslabón de enlace provisto de una aleta con un agujero. A este eslabón se le coloca un rodamiento y a la estructura con ruedas o carro se dota de una ranura. Este rodamiento se inserta en la ranura de modo que pueda desplazarse dentro de ella, aun cuando el eslabón gira 180° y retorna a una cota distinta a la que venía. El movimiento de la cadena se logra con la ayuda del reductor y el motor eléctrico anteriormente mencionados y que estaban sin utilizar. Una ventaja a destacar es que se puede ajustar el movimiento alternativo para distintos tamaños de cojinetes con tan solo recortar o alargar la cadena. De este modo se logra mover el carro de una manera muy sencilla y se toma como diseño a usar. Los detalles de todos los componentes de este sistema se encuentran en los Planos 4-0, 4-1, 4-2, 13-0 y 13-1 del Anexo A y sus respectivos cálculos en el Capítulo 3.



El rodamiento se mueve dentro de la ranura y está unido a un eslabón de la cadena.

Fig 15. Diseño seleccionado utilizando Sproket y Cadena.

### 2.3.3.4 Diseño de la Mesa Soporte del Cojinete

Como se mencionaba anteriormente en las Figuras 6 y 7 existe un movimiento relativo entre los planos que contienen el árbol y la superficie del cojinete. Varias ideas se pensaron para lograr este movimiento.

Una de ellas es dejar el cojinete estático y subir o bajar los rieles del carro como si fuera las uñas de un montacargas. Como es sabido, los montacargas utilizan un sistema de pistón hidráulico para levantar el carro donde se encuentran las uñas. De igual modo se puede hacer esto con el sistema de rieles, con la posibilidad de usar pistones neumáticos o hidráulicos. Otra forma de elevar los rieles del carro es usar un tornillo sinfín accionado de manera manual o con un motor eléctrico o hasta que desplace los rieles de igual manera que lo hacen los pistones. Estos posibles diseños se muestran en la Figura 16.

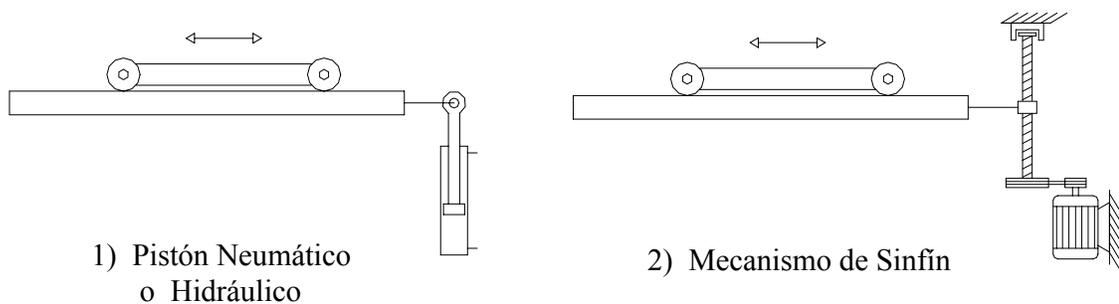


Fig 16. Posibles ideas para mover el árbol sin mover el cojinete.

Otra forma de tener un movimiento relativo entre el árbol y la superficie del cojinete, es colocar a una misma altura el carro donde se encuentra la pistola y mover el cojinete. Este diseño consta de una mesa donde se posa el cojinete y ya sea con un

mecanismo de pistón, sinfín o pasador, se logra nivelar el cojinete en la posición deseada. Este diseño se muestra en la Figura 17.

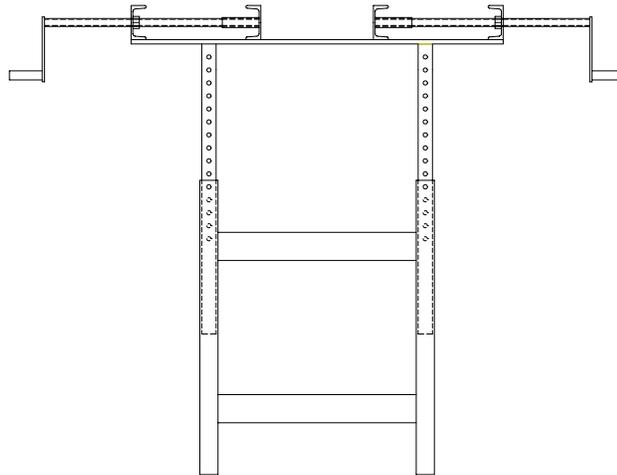


Fig 17. Posible idea para bajar o subir el cojinete sin mover el árbol.

Después de analizar todas estas opciones se selecciona el sistema de pasador por lo económico y lo sencillo de su construcción, además de no necesitar ningún dispositivo que transmita potencia alguna. Esta nivelación se puede hacer de manera manual antes de colocar el cojinete sobre la mesa, como si se estuviera graduando los burros que soportan un automóvil en un taller mecánico. Los detalles y medidas de este diseño se muestran en el Plano 16-0 y 16-1 del Anexo A.

### 2.3.3.5 Diseño del Mecanismo de Rotación del Árbol

De gran importancia es el mecanismo que produce el giro del árbol que soporta la base de la pistola. Para este movimiento se pensó también en la posibilidad de usar distintos diseños.

Uno de ellos incorpora componentes neumáticos de FESTO como actuadores giratorios de doble efecto a los que se les puede graduar el ángulo de rotación deseado. Este equipo resultó ser muy costoso, y la fuerza que proporcionaba no era suficiente para el tamaño y peso del conjunto pistola, base de pistola y carretes con Babbitt. En la Figura 18-1 y 18-2 se muestran estos tipos de componentes.

El actuador de la figura 18-3 resultó ser efectivo en cuanto al par que podía suministrar, pero en contra parte tenía un costo muy elevado, lo cual lo descartó como diseño a ser utilizado.

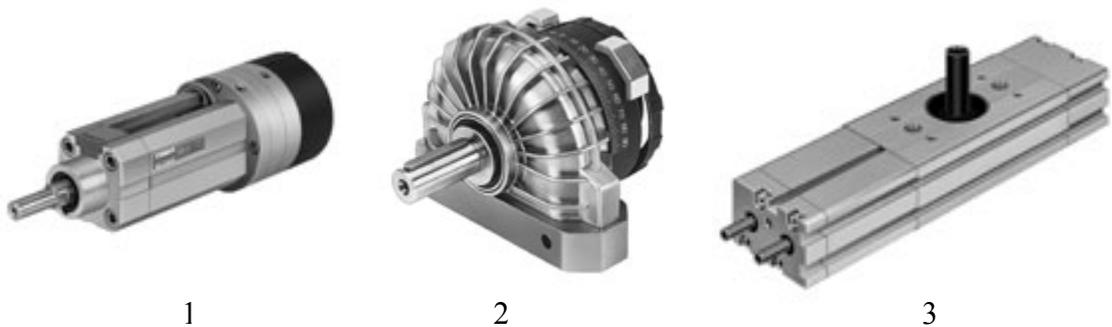


Fig 18. Actuadores Giratorios **FESTO**

También se pensó en utilizar un pistón neumático que suministrara la fuerza necesaria para mover una cremallera que a su vez moviera el árbol por medio de un engranaje. A este pistón también se le puede graduar el recorrido que se necesite en el proceso, es decir, es capaz de suministrar movimientos discretos. Este posible diseño se muestra en la figura 19. Una vez más el alto precio del equipo y sus componentes de control, longitud y peso, sumado al costo del maquinado de la cremallera solicitado en diferentes talleres metal-mecánicos del área metropolitana, trajo como consecuencia que este diseño no se tomara en cuenta.

Rueda dentada girando con movimientos precisos y sin juego, unida solidamente al eje de la base de la pistola

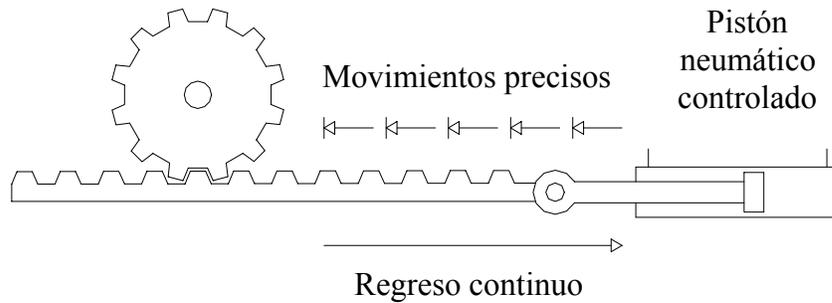


Fig 19. Posible idea de movimiento rotacional utilizando un pistón neumático controlado.

Se pensó en un tercer diseño que usa el principio que utilizan los Ratchet. Este diseño se muestra en la Figura 20 y consta de una rueda dentada que se hace girar sólida al árbol de rotación de la pistola, por medio de una palanca cuyo centro de rotación se encuentra en la línea central de este árbol. En la parte inferior de esta palanca se coloca una rueda que será accionada con una cuña variable. Esta cuña cumple la función de empujar el extremo inferior de la palanca de modo que produzca un giro en ella, y transmitir a su vez este ángulo de rotación al árbol. A esta cuña se le puede ajustar el ángulo de inclinación.

Este diseño resultó ser el más económico en su construcción comparado con los equipos neumáticos de FESTO, debido a que PLASMATEC tenía en el depósito algunas planchas de suficiente espesor para su construcción, además de la facilidad de maquinar algunas piezas con sus propios equipos, a excepción de la rueda dentada que fue maquinada en el CENTRO DE INGENIERIA, ubicado cerca de la Universidad Simón Bolívar.

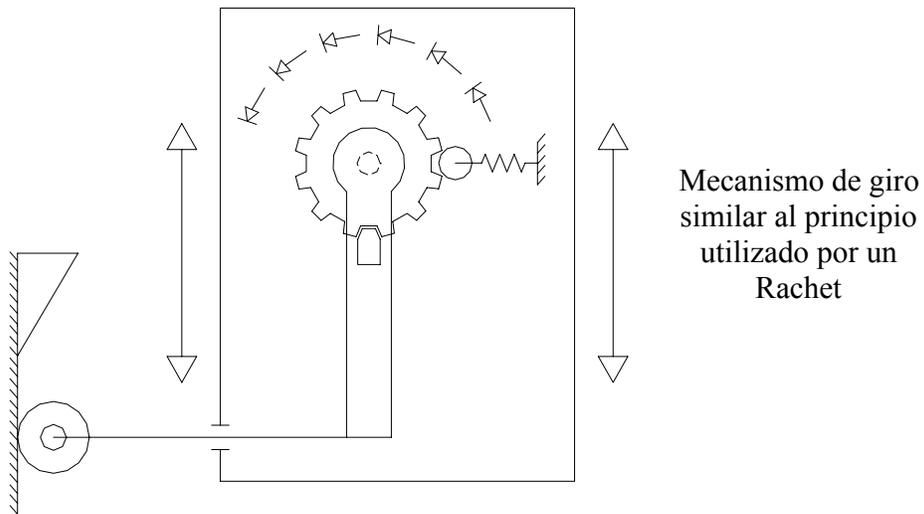


Fig 20. Diseño seleccionado para realizar el movimiento de rotación del árbol.

La forma de trancar en su debido momento a los componentes necesarios de este diseño durante su funcionamiento, se logró por medio de dos trinquetes que se accionan contra la rueda dentada por medio de dos resortes de torsión y uno de compresión. El resorte de torsión de menor fuerza se ubicó en la palanca y el otro de mayor fuerza a un lado de la rueda dentada. Estos resortes de torsión con las características necesarias se lograron ubicar luego de una ardua búsqueda en diferentes empresas fabricantes de resortes en el área de Caracas, Charallave y Los Teques. De no haber encontrado estos resortes se hubiera tenido que hacer uso de un conjunto de resortes comerciales que lograrán el mismo efecto o un gran resorte casi del tamaño del espiral de un automóvil. Solamente hizo falta ayudar el resorte de torsión de mayor fuerza con un resorte de compresión.

Los cálculos del diseño se muestran en el Capítulo 3 y sus componentes con detalles y medidas se muestran en los Planos 3-0, 3-1, 5-0, 5-1, 6-0, 6-1, 14-1, 14-2, 15-0 y 15-1 que aparecen en el Anexo A.

# CAPITULO III

## Cálculos

### 3.1 Calculo de la Velocidad del Carro

Rpm del motor = 1720

Relación de las poleas = 1 a 2

Rpm a la entrada del reductor = 1.720 Rpm x 2

Rpm a la entrada del reductor = 3440 Rpm

Relación del reductor 108 a 1

Rpm a la salida del reductor = 31,851 Rpm

Velocidad lineal de la cadena exigida por la fabrica =10 cm/sg  $\pm$ 1 cm/sg

$$Vl = 2 \times \pi \times R \times n$$

$$Vl = 2 \times \pi \times 2,9 \text{ cm} \times 31,854 \text{ Rpm}$$

$$Vl = 580 \times 364 \text{ cm} / \text{min}$$

$$Vl = 9,672 \text{ cm} / \text{sg.}$$

### 3.2 Cálculo del Número de Dientes de la Rueda Dentada

#### Datos y Consideraciones:

- El ancho de la zona termo rociada por la pistola es de 1,5 cm

$$L = \frac{2\pi R}{2}$$

$$L = \pi \times 0,25 \text{ m}$$

$$L = 0,785 \text{ m}$$

$$\text{Banda de termo rociado} = 1,5 \text{ cm}$$

Se busca un solape de al menos 0,4 cm

Desplazamiento total

$$Dt = B - S$$

$$Dt = 1,5 \text{ cm} - 0,4 \text{ cm}$$

$$Dt = 1,1 \text{ cm} = 0,011 \text{ m}$$

$$\text{N. de dientes} = \frac{L}{Dt}$$

$$\text{N. de dientes} = \frac{0,785\text{m}}{0,011\text{m}}$$

N. de dientes = 71,395 dientes en 180° por lo que se va a construir 144, en los 360°

$$Dt = \frac{0,785\text{m}}{72}$$

$$Dt = 0,010 \text{ m}$$

Quedando un solape de 0,005 m

### 3.3 Calculo de la Palanca

#### Datos y Consideraciones:

- Se considera a la palanca como una viga rectangular homogénea.
- El torque mínimo que tiene que movilizar es el calculado en la página que es de 101,205 N m

- Debido a que el torque adicional que genera las chumaceras, el momento de inercia del eje, la rueda dentada los rollos de material de aporte y la U se considera que el torque total a movilizar se estima en 105 N m.

- Ese torque se duplica debido a la acción de los resortes

$$T = F_x \times l$$

$$F_x = \frac{T}{l}$$

$$F_x = \frac{210Nm}{0,65m}$$

$$F_x = 323.06 \text{ N}$$

El ángulo formado por la cuña para correr 2 dientes es de 62,24 °

Se sabe que la fuerza transmitida por una superficie hacia una rueda es normal a la misma, por lo que:

$$F_x = F \times \cos 62,24$$

$$F_x = \frac{F_x}{\cos 62,24^\circ}$$

$$F_x = 695,622 \text{ N}$$

$$F_x = 348 \text{ N}$$

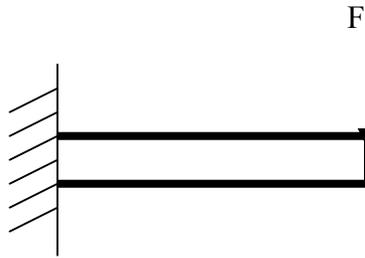
$$F_y = F_x \times \sin 62,24^\circ$$

$$F_y = 696 \text{ N} \times \sin 62,24^\circ$$

$$F_y = 616,88 \text{ N}$$

Por descomposición de fuerzas se sabe que el ángulo escogido es el que hace que la  $F_y$  se incremente al máximo.

### 3.3.1 Cálculo de los esfuerzos y deformaciones en y



- Se considera a la unión con el eje en éste sentido como un empotramiento.

$$M = F \times l$$

$$M = 617 \text{ N} \times 0,65 \text{ m}$$

$$M = 400 \text{ N m}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{S}$$

$$S = \frac{I}{C}$$

$$I = \frac{b x h^3}{12}$$

$$I = \frac{(0,058) \text{ m} \times (0,016)^3 \text{ m}^3}{12}$$

$$I = 1,879 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$c = 0,008 \text{ m}$$

$$S = \frac{1,979 \times 10^{-8} \text{ m}^4}{0,008 \text{ m}}$$

$$S = 2,4746 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{200Nm}{2,474 \times 10^{-6} m^3}$$

$$\sigma_{\max} = 161637,93 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\max} = 161,637 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\max} = \frac{F}{A}$$

$$A = 0,016m \times 0,058 m$$

$$A = 9,28 \times 10^{-4} m^2$$

$$\tau_{\max} = \frac{616N}{9,28 \times 10^{-4} m^2}$$

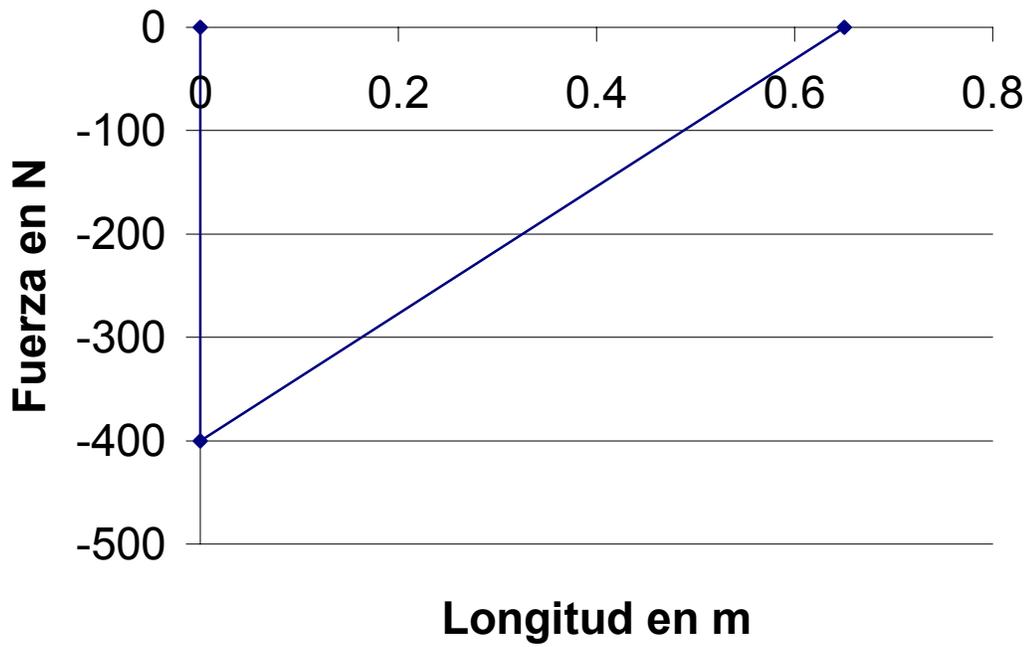
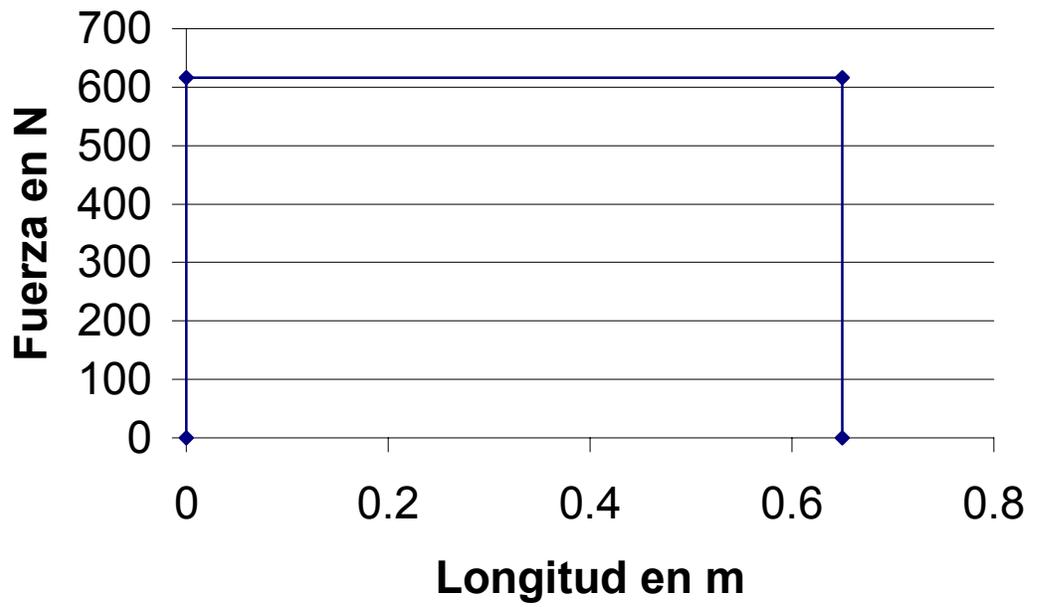
$$\tau_{\max} = 663792 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\max} = 0,663 \text{ Mpa}$$

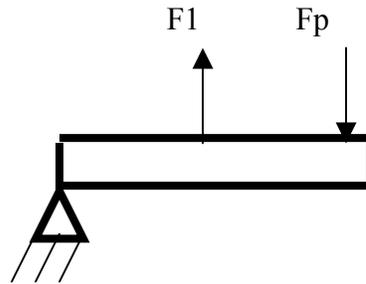
$$y_{\max} = \frac{Fx l^3}{3xE x I}$$

$$y_{\max} = \frac{616N \times (0,65^2 m)^3}{3 \times 200 \times 10^9 Pa \times 2,601 \times 10^{-7} m^4}$$

$$y_{\max} = 5,4199 \times 10^{-4} m$$



### 3.3.2 Cálculo de los esfuerzos en X



$$T_1 = T_2 = 210 \text{ N m}$$

$$F_p = F_x = 323.06 \text{ N}$$

$$F_1 \times l_1 = 210 \text{ N m}$$

$$F_1 = \frac{210 \text{ Nm}}{0,35 \text{ m}}$$

$$F_1 = 600 \text{ N}$$

$$\Sigma F = 0$$

$$\Sigma F = F_a - F_1 + F_2$$

$$F_R = F_1 + F_2$$

$$F_a = 600 \text{ N} - 323 \text{ N}$$

$$F_a = 276,94 \text{ N}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{S}$$

$$S = \frac{I}{c}$$

$$I = \frac{bxh^3}{12}$$

$$I = \frac{0,016 \text{ m} \times (0,058 \text{ m})^3}{12}$$

$$I = 2,601 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$S = 2,601 \times 10^{-7} \text{ m}^4 / 0,029 \text{ m}$$

$$S = 8,970 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{210Nm}{8,970 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_{\max} = 23411371,22 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\max} = 23,411 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{\max} = \frac{F_{\max}}{A}$$

$$A = b \times h$$

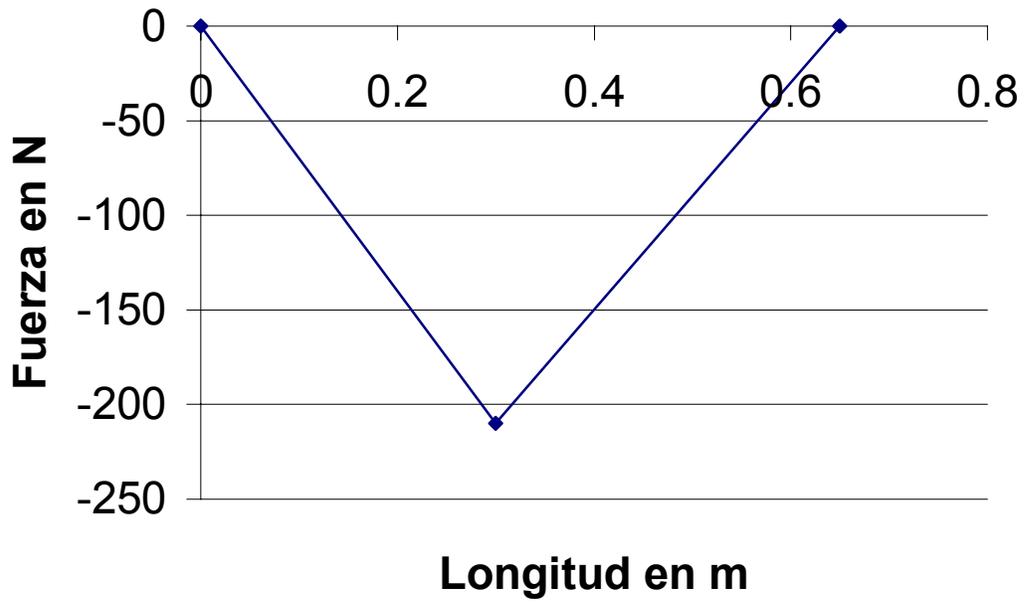
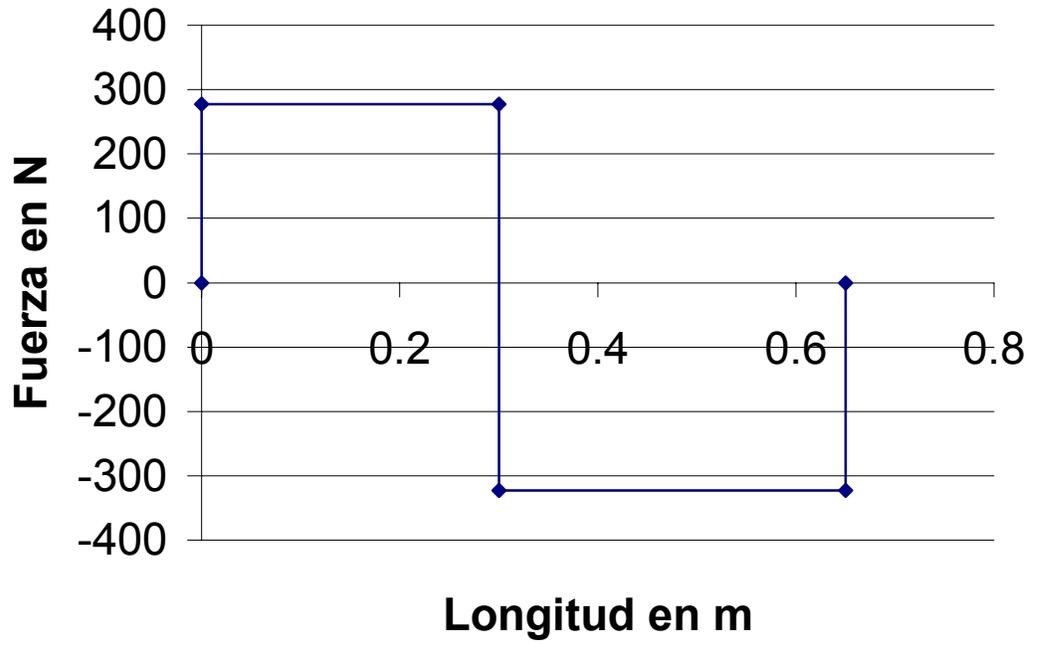
$$A = 0,016 \text{ m} \times 0,058 \text{ m}$$

$$A = 9,28 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\tau_{\max} = \frac{468N}{9,28 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\tau_{\max} = 504310,344 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\max} = 0,504 \text{ Mpa}$$



### **3.4 Cálculo de la fuerza de la Rueda**

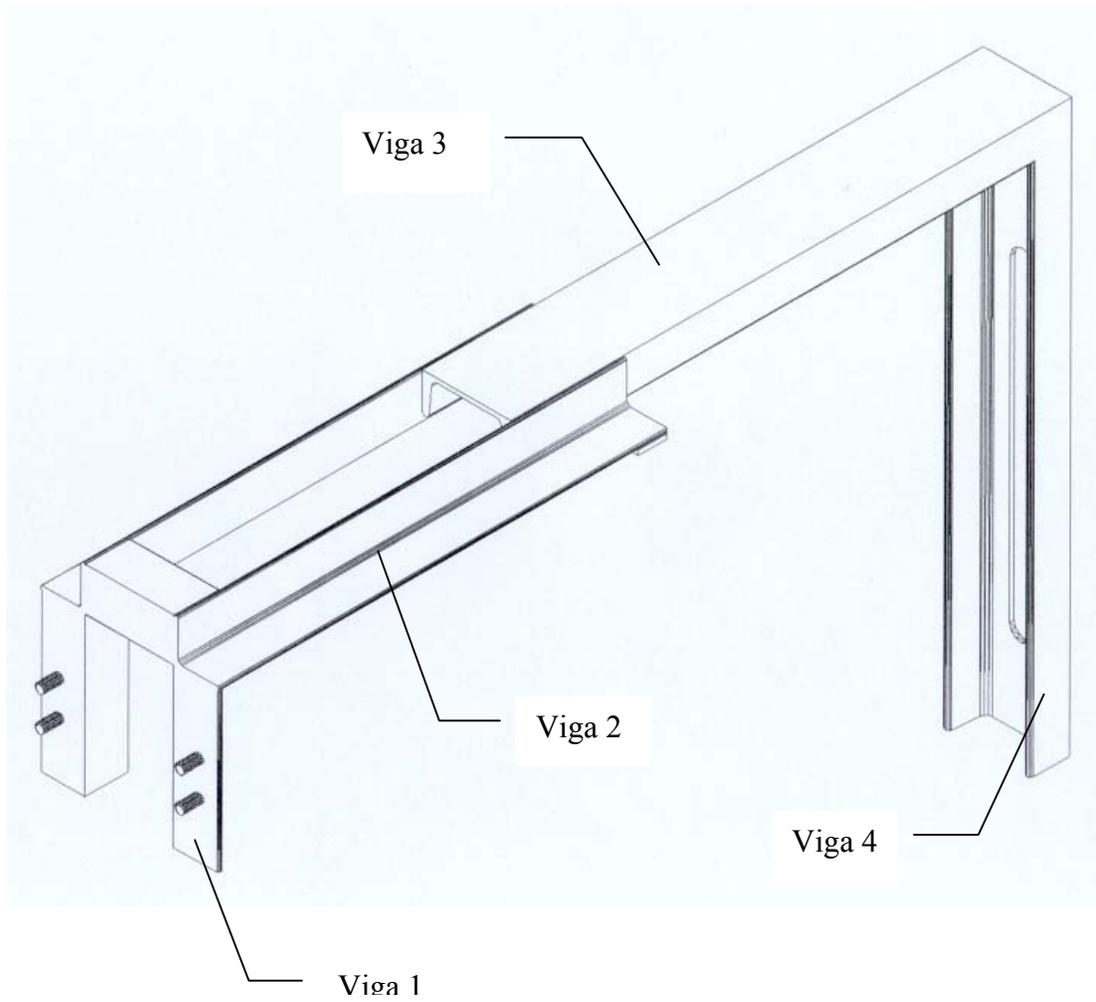
La fuerza total que soporta la rueda es de  $F = 616 \text{ N}$  calculado anteriormente.

Llevándolo a Kg se obtiene.

$$F = 62,85 \text{ Kg}$$

El fabricante “Yanuraya S.A.” aseguró que la rueda elegida puede soportar una fuerza máx de 100 Kg.

### 3.5 Calculo Soporte de la Pistola

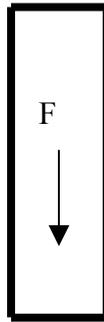


### Datos y Consideraciones:

- La pistola posee un peso de 10 Kg.
- Se considera el centro de masa en el centro de los cuatro pernos que la aguanta.
- Se considera a las vigas en forma individual y en las posiciones extremas horizontal y vertical.

### 3.5.1 Viga 1

#### 3.5.1.1 Caso 1 (Vertical)



- Se supone el peso de la pistola en el centro de los cuatro pernos por lo que se distribuye en igual magnitud en ambos perfiles.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$F_t = m \times g$$

$$F_t = 10 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_i = \frac{F_t}{2}$$

$$F_i = 49 \text{ N}$$

$$A = 238 \text{ mm}^2$$

$$A = 2,38 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\sigma = \frac{F_i}{A}$$

$$\sigma = \frac{49N}{2,38 \times 10^{-4} m^2}$$

$$\sigma = 205882 \text{ Pa}$$

$$\sigma = 0,205 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{\max} = 449,9 \text{ Mpa}$$

Observando su resistencia la fluencia:

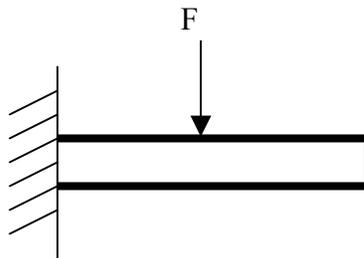
$$\sigma_f = 2520 \text{ Kg/ cm}^2$$

$$\sigma_f = 246,96 \text{ Mpa}$$

### 3.5.1.3 Caso 2 (Horizontal)

#### Datos y Consideraciones

- El peso está ubicado en el centro de los pernos.
- La fuerza se reporta en forma equitativa en los dos perfiles. (por lo que el cálculo de uno es el mismo para el otro).



$$T = F \times l$$

$$l = 0,08 \text{ m.}$$

$$F = 49 \text{ N}$$

$$T = F \times l$$

$$T = 490 \text{ N} \times 0,08\text{m}$$

$$T = 39,2 \text{ N m}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{S}$$

$$S = 1,645 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$$

$$S = 1,645 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{3,92 \text{ Nm}}{1,645 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_{\max} = 2382787,234 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\max} = 2,382 \text{ Mpa}$$

$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$A = 304 \text{ mm}^2$$

$$A = 3,04 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

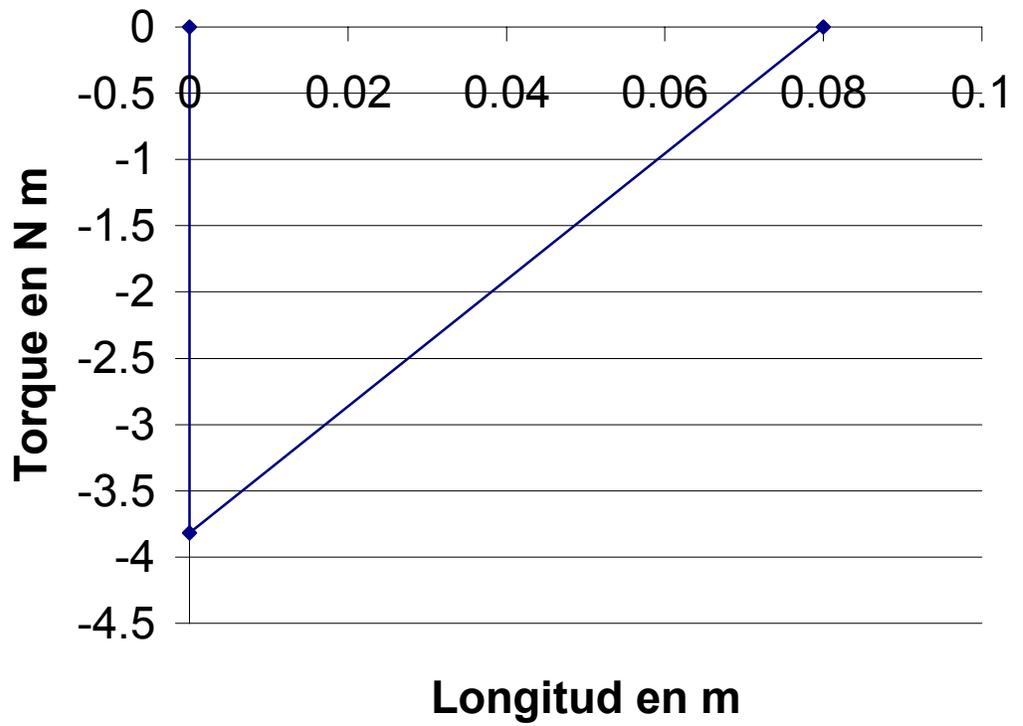
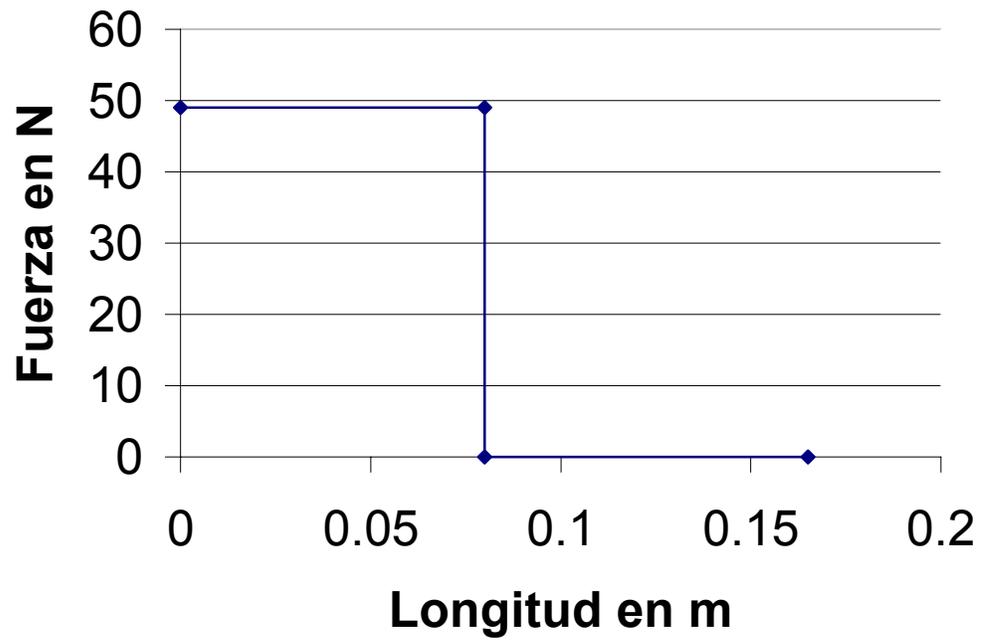
$$\tau = \frac{49 \text{ N}}{3,04 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\tau = 1611842 \text{ Pa}$$

$$\tau = 0,1611 \text{ Mpa}$$

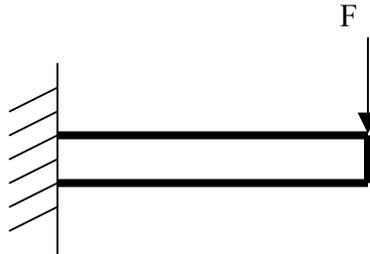
$$Y_{\max} = -\frac{F \times l^3}{3EI}$$

$$Y_{\max} = -9,268 \cdot 10^{-13} \text{ m.}$$



### 3.5.2 Viga 2

#### 3.5.2.1 Caso 2 (Vertical)



#### Datos y Consideraciones

- Se considera la unión soldada como un empotramiento.
- Se supone el peso uniformemente repartido en ambas vigas.
- Al peso de la pistola se le añade el peso de la viga 1 más el peso del refuerzo el cual se supone repartido entre las dos.

#### Cálculo peso Viga 1

$$m^* = 2,38 \text{ Kg/m}$$

$$L_o = 0,095\text{m} + 0,005 \text{ m} + \frac{0,08}{2} \text{ m}$$

$$L_o = 0,14 \text{ m.}$$

$$M = 0,14 \text{ m} \times 2,38 \frac{\text{Kg}}{\text{m}}$$

$$M = 0,333 \text{ Kg}$$

$$F_v = 2 \times 0,333 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_v = 6,537 \text{ N}$$

$$F_t = F_p + F_v$$

$$T = F \times l$$

$$T = 55,537 \text{ N} \times 0,3 \text{ m}$$

$$T = 16,611 \text{ N m}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{S}$$

$$S = 1,645 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$S = 1,645 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{16,611N \times m}{1,646 \times 10^{-6} m^3}$$

$$\sigma_{\max} = 10122174,969 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\max} = 10,122 \text{ Mpa}$$

$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$A = 304 \text{ mm}^2$$

$$A = 3,04 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

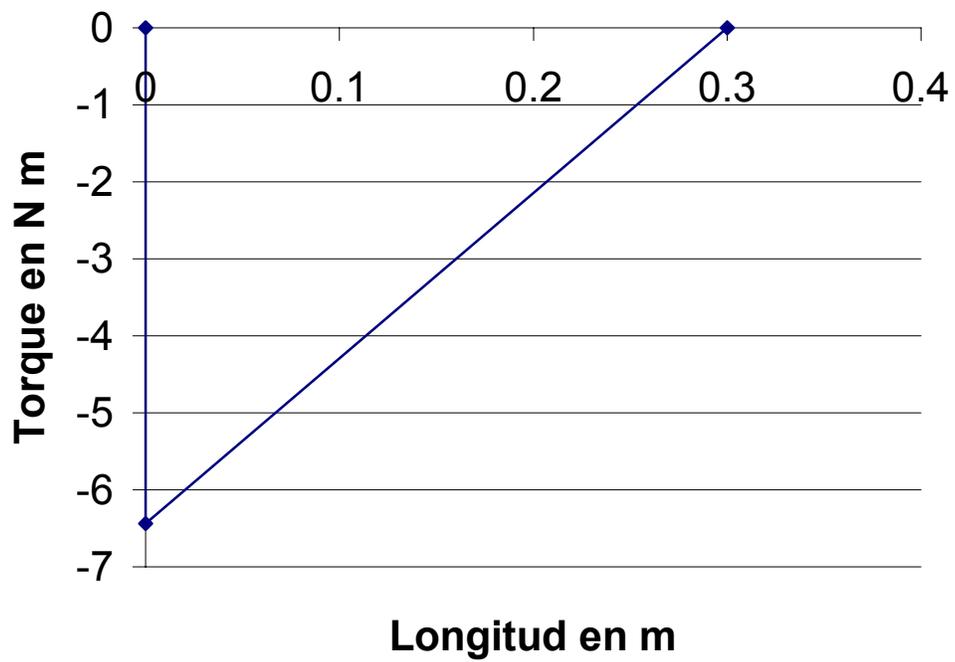
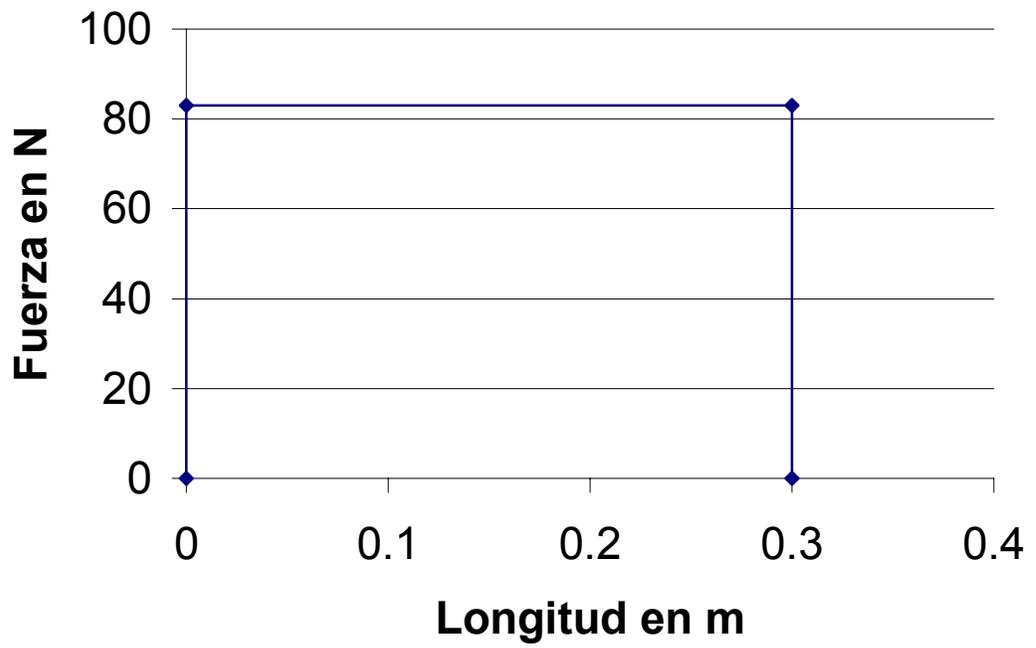
$$\tau_{\max} = \frac{52,265N}{3,04 \times 10^{-4} m^2}$$

$$\tau = 171924,34 \text{ Pa.}$$

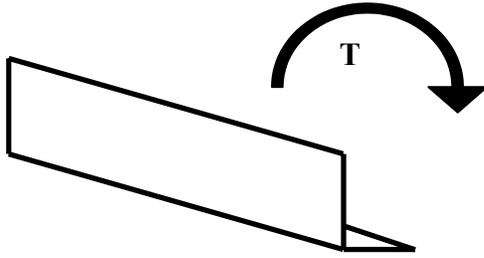
$$\tau = 0,171924 \text{ Mpa}$$

$$Y_{\max} = -\frac{F \times l^3}{3EI}$$

$$Y_{\max} = -1,495 \times 10^{-11} \text{ N/m}^2$$



### 3.5.2.2 Caso 2 (Horizontal)



La torsión en miembros de sección no circular es una materia que no se dicta en pregrado. Debido a su complejidad matemática, sin embargo, en Este T.E.G. se realizan cálculos observando algunas consideraciones con el objetivo de estar seguros que el diseño sea funcional y garantizar la resistencia de materiales en la fase de construcción y puesta en funcionamiento.

#### Datos y Consideraciones

- Se considera la unión soldada como un empotramiento.
- La fuerza ejercida por la pistola y la viga 1 se manifiesta como un torque.
- Se supondrá a la viga 1 como uniforme y se despreciará el peso de los pernos, así se supone su centro de masa por la mitad.
- La fuerza se reparte en forma equitativa entre los dos perfiles por lo que el cálculo de una es igual al cálculo de la otra.
- El centro de masa de la pistola se encuentra entre los pernos.

#### Calculo de la fuerza total

$$F_t = F_r + F_{v1} + F_p$$

$$F_r = l_r \times m_v \times g$$

$$F_r = 0,08m \times 2,38 \frac{Kg}{m} \times 9,8 m/s^2$$

$$F_r = 1,865N$$

$$M_{v1} = 2 \times l_{v1} \times m_{v1}$$

$$M_{v1} = 2 \times 0,145\text{m} \times 2,38\text{Kg/m}$$

$$M_{v1} = 0,690 \text{ Kg}$$

$$F_{v1} = M_{v1} \times g$$

$$F_{v1} = 0,690\text{k} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_{v1} = 6,760\text{N}$$

$$F_p = 98,1\text{N}$$

$$F_t = 106,725\text{N}$$

El Torque total en X

$$T_t = T_{v2} + T_R + T_{v1} + T_p$$

$$T_t = 1,865 \text{ Nm} + 0,559 \text{ Nm} + 2,02 \text{ Nm} + 29,4 \text{ Nm}$$

$$T_t = 33,84 \text{ Nm}$$

$$T_t = M_{\max}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{S}$$

$$S = 1,04 \text{ cm}^3$$

$$S = 1,04 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{33,84 \text{ Nm}}{1,04 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_{\max} = 32542307,69 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\max} = 32,54 \text{ MPa}$$

$$Y_{\max} = -\frac{T \times l^2}{2 \times F \times l}$$

$$Y_{\max} = -2,03 \times 10^{-8} \text{ m}$$

Cálculo del Torque total en Y

$$T_t = T_p + T_v$$

En donde

$$T_{pt} = 880 \text{ N} \times 0,08 \text{ m.}$$

$$T_{pt} = 78,4 \text{ N m}$$

En donde:

$$T_p = \frac{T_{pt}}{2}$$

$$T_p = 39,2 \text{ N m}$$

$$M = 2,38 \text{ Kg/m}$$

$$M_v = 0,1 \text{ m} \times 2,38 \text{ Kg/m}$$

$$M_v = 0,238 \text{ Kg}$$

$$T_v = M_v \times g \times L \text{ cm}$$

$$T_v = 0,238 \text{ Kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{sg}^2} \times 0,05\text{m}$$

$$T_v = 0,0116 \text{ Nm}$$

$$T_t = 39,2 \text{ Nm} + 0,116 \text{ Nm}$$

$$T_t = 39,316 \text{ Nm}$$

De POPOV, Egor P. fórmula del capítulo S – 11 pag. 210 se obtiene:

$$\tau_{\max} = \frac{T}{\alpha \times b \times c^2}$$

$$b = 80$$

$$c = 4$$

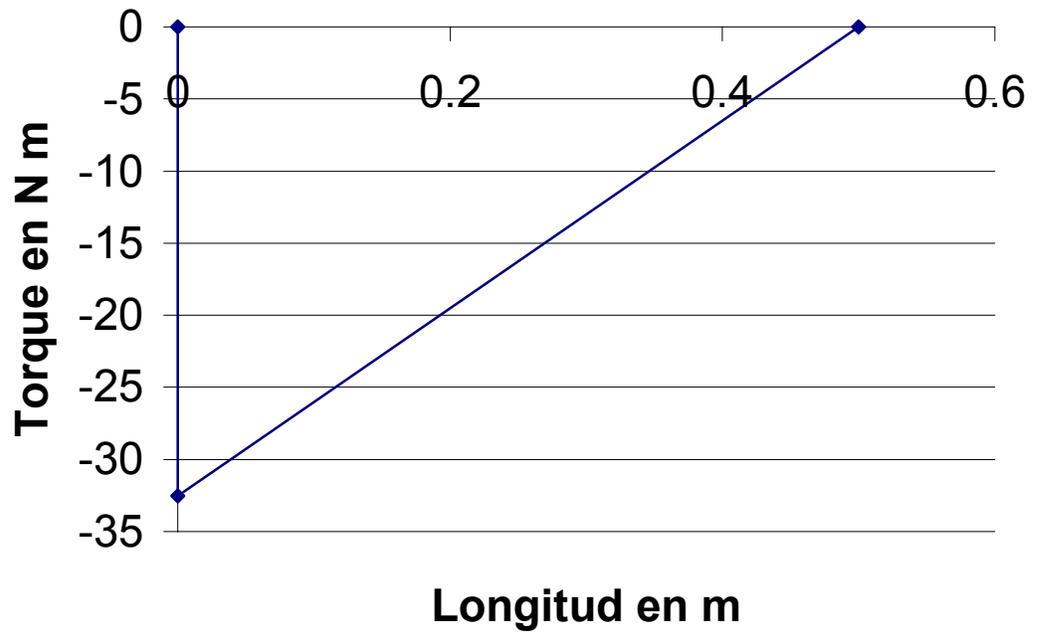
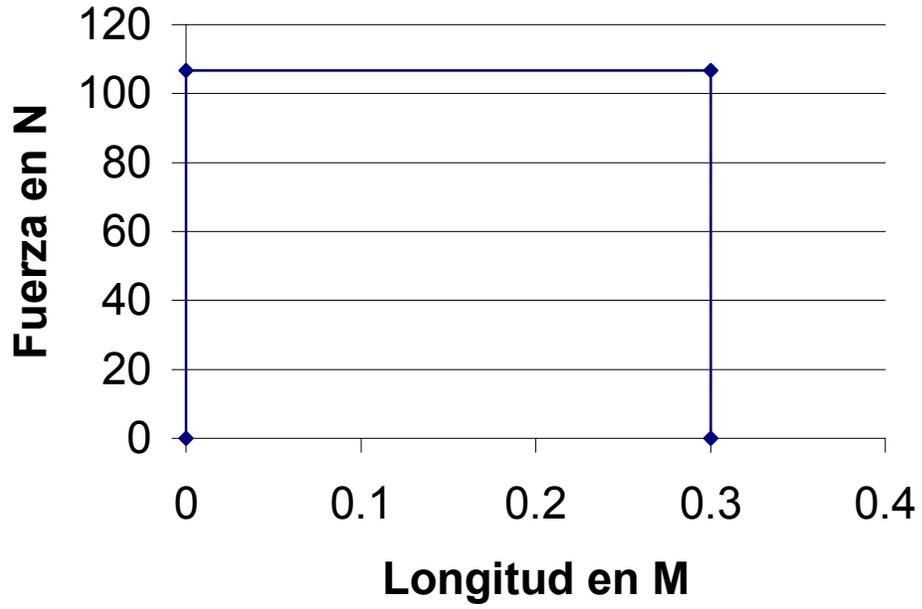
$$\frac{b}{c} = 20$$

De la tabla sacada del mismo capítulo misma página se obtiene:

$$\alpha = 0,312$$

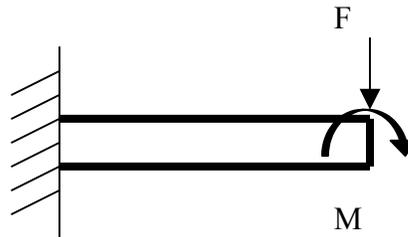
$$\tau_{\max} = 922391,1411 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\max} = 92,239 \text{ M Pa}$$



### 3.5.3 Viga 3

#### 3.5.3.1 Caso 1 (Vertical)



- Se considera la unión soldada como un empotramiento.
- Se supondrá a la viga 3 como uniforme, así se supone su centro de masa por la mitad.

$$M_{v2} = 2 \times (L_{v2} \times m_{v2})$$

$$M_{v2} = 1,904 \text{Kg}$$

$$F_{v2} = M_{v2} \times g$$

$$F_{v2} = 18,659 \text{N}$$

$$T_{v2} = F_{v2} \times l_{cm}$$

$$T_{v2} = 18,659 \text{N} \times 0,1 \text{m}$$

$$T_{v2} = 1,865 \text{ Nm}$$

$$F_r = l_r \times m_v \times g$$

$$F_r = 0,08 \text{m} \times 2,38 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$F_r = 1,865 \text{N}$$

$$T_r = F_r \times L$$

$$T_r = 1,865 \text{N} \times 0,3 \text{m}$$

$$T_r = 0,559 \text{ Nm}$$

$$M_{v1} = 2 \times l_{v1} \times m_{v1}$$

$$Mv1 = 2 \times 0,145m \times 2,38Kg/m$$

$$Mv1 = 0,690 \text{ Kg}$$

$$Fv1 = Mv1 \times g$$

$$Fv1 = 0,690Kg \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$Fv1 = 6,760N$$

$$Tv1 = Fv1 \times L$$

$$Tv1 = 6,760 \text{ N} \times 0,3 \text{ m}$$

$$Tv1 = 2,02 \text{ N m}$$

$$Fp = 98,1N$$

$$Fp = Fp \times L$$

$$Fp = 98,1N \times 0,03m$$

$$Tp = 29,4 \text{ N m}$$

$$Tf = F \times lv3$$

$$Tf = 118,525N \times 0.5m$$

$$Tf = 59,262N \text{ m}$$

$$Tt = Tv1 + Tv2 + Tr + Tp + Tf$$

$$Tt = 77,921 \text{ N m}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{Tt}{S}$$

$$S = 1,040 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{77,921Nm}{1,040 \times 10^{-5} m^3}$$

$$\sigma_{\max} = 7485206,532 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\max} = 7,485 \text{ Mpa}$$

$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{118,525N}{9,420 \times 10^{-5} m^2}$$

$$\tau = 125822,717pa$$

$$\tau = 0,125 \text{ Mpa}$$

$$Y_{\max} = Y_t + Y_f$$

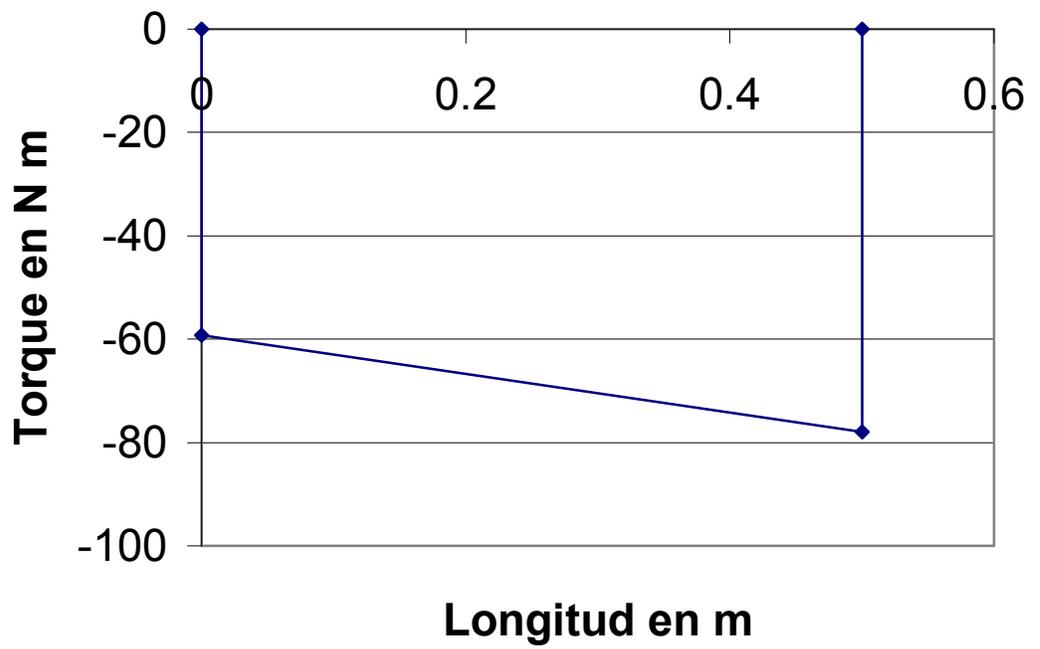
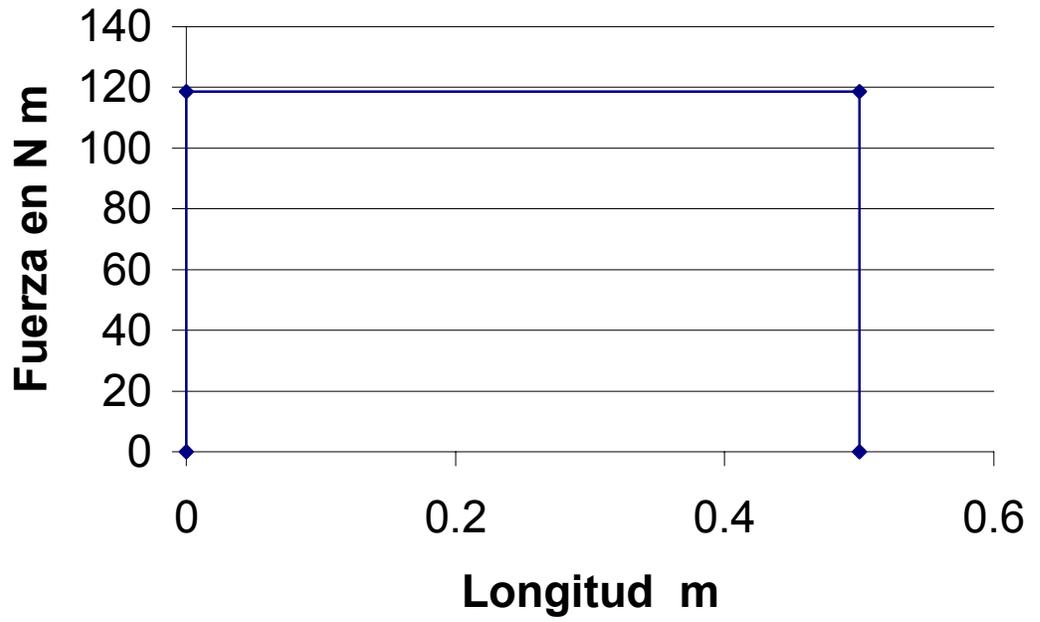
$$Y_t = -\frac{T \times l^2}{2 \times E \times I}$$

$$Y_t = -6,318 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$Y_f = -\frac{F \times l^3}{3 \times E \times I}$$

$$Y_f = 3,203 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$Y_{\max} = -9,521 \times 10^{-5} \text{ m}$$



### 3.5.3.2 Caso 2 (Horizontal)

#### Datos y Consideraciones

- Se considera a la soldadura como un empotramiento.
- La viga 2 no contribuye al torque debido a que su centro de masa coincide con el centro de rotación.

Al no contribuir la viga 2 con el momento, el torque total es el mismo calculado en la pág.

$$T_t = 38,316 \text{ N m.}$$

De la fórmula sacada de POPOV, Egor P. capítulo S-11 pág. 210 se obtiene:

$$\tau_{\max} = \frac{T}{\alpha \times b \times c^2}$$

$$C = 7$$

$$b = 16$$

$$\frac{b}{c} = 2,28$$

$\alpha = 0,252$  Según POPOV, Egor, P., Tabla de la página 210, e interpolando.

$$\tau_{\max} = 19898983 \text{ Pa}$$

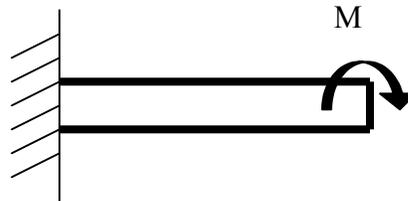
$$\tau_{\max} = 19,89 \text{ M Pa}$$

### 3.5.4 Cálculo de la Viga 4

#### Datos y Consideraciones

- Se considera la unión atornillada como un empotramiento.
- Debido al fresado, consideramos a la viga en sección en U como 2 vigas de sección en L.
- Las dos vigas en L soportan equitativamente los esfuerzos.

#### 3.5.4.1 Caso 1 (Vertical)



#### Cálculo del Momento Torsor de la Viga 3

$$M_{v3} = L_{v3} \cdot m_{v3}$$

$$M_{v3} = 7,44 \text{ Kg/m} \quad \text{Se obtiene de POPOV, Egor P, Tabla 5 pág. 640}$$

$$M_{v3} = 0,5 \text{ m} \times 7,44 \text{ Kg/m}$$

$$M_{v3} = 3,72 \text{ N m}$$

$$F_{v3} = M_{v3} \times g$$

$$F_{v3} = 3,72 \text{ Kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$F_{v3} = 36,456 \text{ N}$$

Para el cálculo del torque suponemos a la viga uniforme por lo que su centro de masa se encuentra ubicado en el centro.

$$T_{v3} = F_{v3} \cdot L_{cmv3}$$

$$T_{v3} = 36,456 \text{ N} \times 0,25 \text{ m}$$

$$T_{v3} = 9,114 \text{ N m}$$

### **De la Viga 2**

$$M_{v2} = (L_{v2} \times m_{v2}) \times 2$$

$$M_{v2} = (0,4 \text{ m} \times 2,38 \text{ Kg/m}) \times 2$$

$$M_{v2} = 1,904 \text{ Kg}$$

$$F_{v2} = M_{v2} \times g$$

$$F_{v2} = 1,904 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_{v2} = 18,659 \text{ N}$$

$$T_{v2} = F_{v2} \times L_{cmv2}$$

$$T_{v2} = 18,659 \text{ N} \times 0,6 \text{ m}$$

$$T_{v2} = 11,195 \text{ N m}$$

### **Del Refuerzo**

$$F_R = L_R \times m_R \times g$$

$$F_R = 0,08 \text{ m} \times 2,38 \text{ K/m} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_R = 1,36 \text{ N}$$

$$T_R = F_R \times L_{cmR}$$

$$T_R = 1,36 \text{ N} \times 0,8 \text{ m}$$

$$T_R = 1,088 \text{ N m}$$

### **De la Viga 1**

$$M_{v1} = 2 \times (L_{v1} \times m_{v1})$$

$$M_{v1} = 2 \times (0,145 \text{ m} \times 2,38 \text{ Kg/m})$$

$$M_{v1} = 0,6902 \text{ K}$$

$$F_{v1} = M_{v1} \times g$$

$$F_{v1} = 0,6902 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_{v1} = 6,763 \text{ N}$$

$$T_{v1} = 6,763 \text{ N} \times 0,8 \text{ m}$$

$$T_{v1} = 5,410 \text{ N m}$$

### **De la Pistola**

$$F_p = m_p \times g$$

$$F_p = 10 \text{ K} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_p = 98 \text{ K m/s}^2$$

$$T_p = F_p \times L_{cmp}$$

$$T_p = 98 \text{ New} \times 0,8 \text{ m.}$$

Hallando el torque total

$$T_T = T_{v3} + T_{v2} + T_{v1} + T_R + T_p$$

$$T_T = 9,114 \text{ N m} + 11,195 \text{ N m} + 1,088 \text{ N m} + 5,410 \text{ N m} + 78,4 \text{ Nm}$$

$$T_T = 105,207 \text{ N m} \quad \Rightarrow \text{ como se reparte } \frac{T_T}{2} = M_{\max}$$

$$M_{\max} = T_T = 52,603 \text{ N m}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{S}$$

Debido a que comercialmente no existe esta medida se busca la que le sigue más pequeña que exista comercialmente, con el fin de encontrar S con la convicción de que en tal condición soporta el  $\sigma_{\max}$  este perfil lo soportará.

SINGER, Ferdinand, L, Tabla B 6 Pág. 544 se encuentra que la medida más parecida comercialmente es:

$$S = 1,49 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$S = 1,49 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

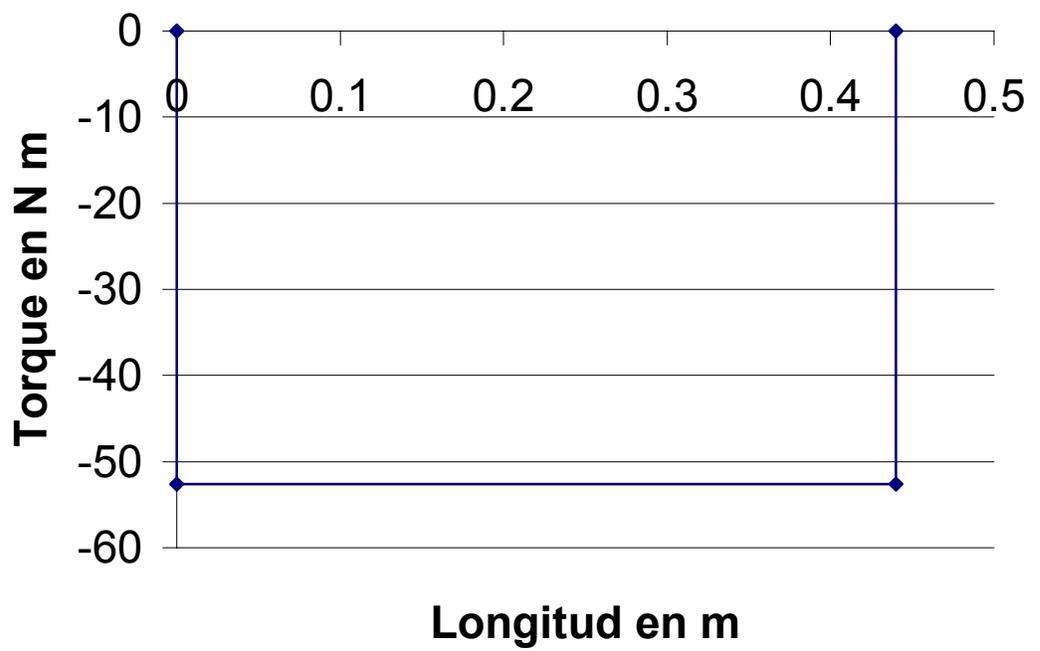
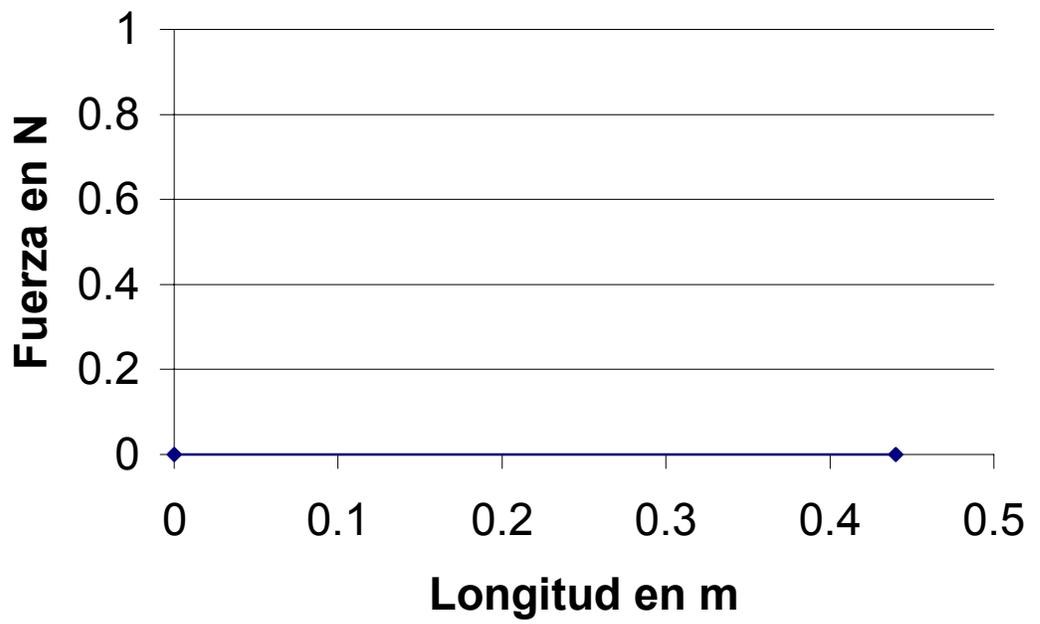
$$\sigma_{\max} = 35304362,41 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\max} = 35,304 \text{ Mpa}$$

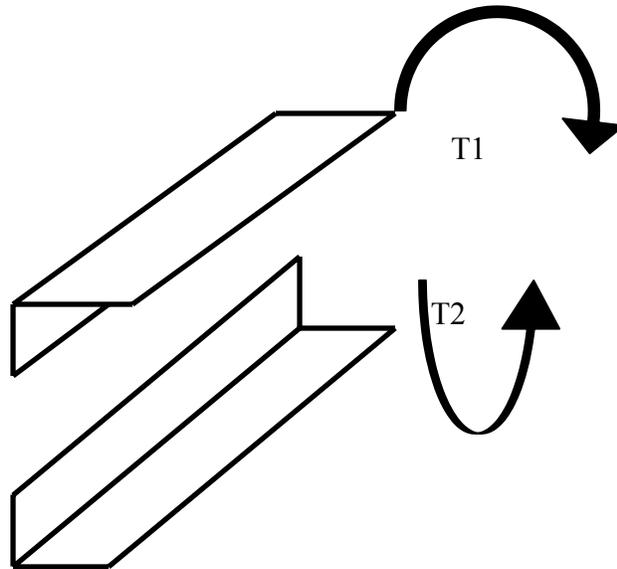
$$Y_{\max} = \frac{M \times l^2}{2 \times E \times I}$$

$$Y_{\max} = -1,38 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Se sabe que el  $\sigma_{\max}$  y el  $y_{\max}$  van a ser menores que los aquí indicados, por la estructura diseñada será capaz de soportar los requerimientos mecánicos a la que será sometida



### 3.5.4.2 Caso 2 (Horizontal)



#### Datos y Consideraciones

- Se considera la unión atornillada como un empotramiento.
- Debido al fresado a la viga se sección en L1 se considera como dos vigas de sección en L.

- Las vigas soportan equitativamente los esfuerzos.

El cálculo de  $T_1$  es el mismo que el  $T_T$  en el caso 1

$$T_1 = T_T = 105,205 \text{ N. m}$$

Como se comporta equitativamente

$$T_{\max} = \frac{T_t}{2}$$

$$T_{\max} = 52,60 \text{ N m}$$

POPOV, Egor P, fórmula del capítulo 5-11 pág. 210 se obtiene:

$$\tau_{\max} = \frac{T}{a \times b \times c^2}$$

$$b = 71 \text{ mm}$$

$$c = 4 \text{ mm}$$

$$\frac{b}{c} = \frac{71 \text{ mm}}{4 \text{ mm}} = 17,75$$

$$\alpha = 0,333$$

$$\tau_{\max} = 139047498,202 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\max} = 139,047 \text{ M Pa}$$

## Calculo del Torque 2

Se supone que la viga 2 y 3 no afecta significativamente al torque, debido a que el centro de masa coincide con el centro de rotación.

Bajo estas condiciones el torque es el mismo que el calculado anteriormente.

$$T_2 = 39,316 \text{ N m}$$

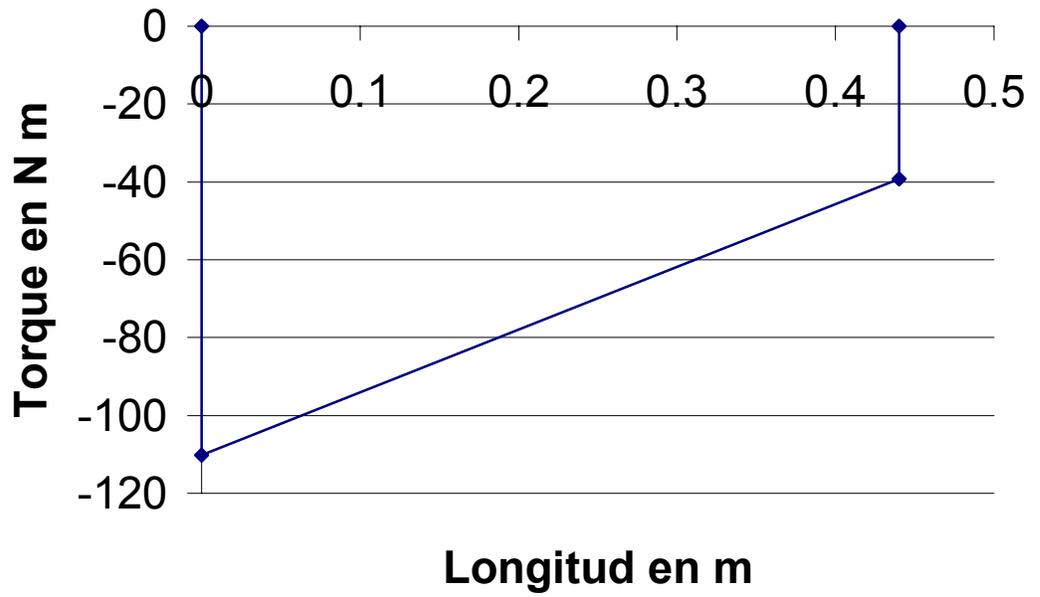
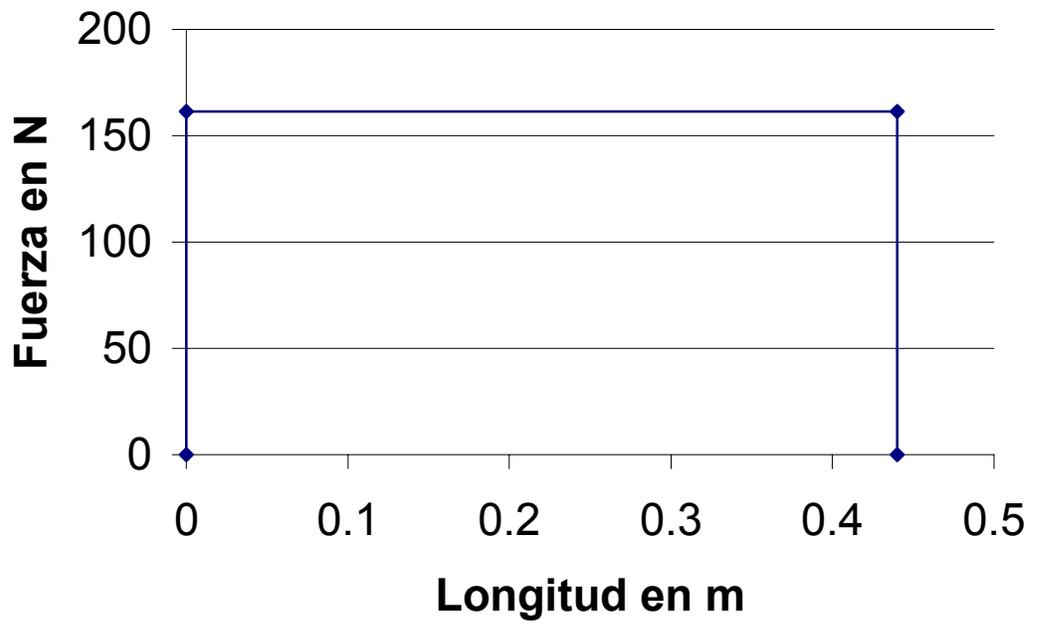
$$\sigma_{\max} = \frac{39,316 \text{ Nm}}{0,717 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_{\max} = 54834030,683 \text{ Pa}$$

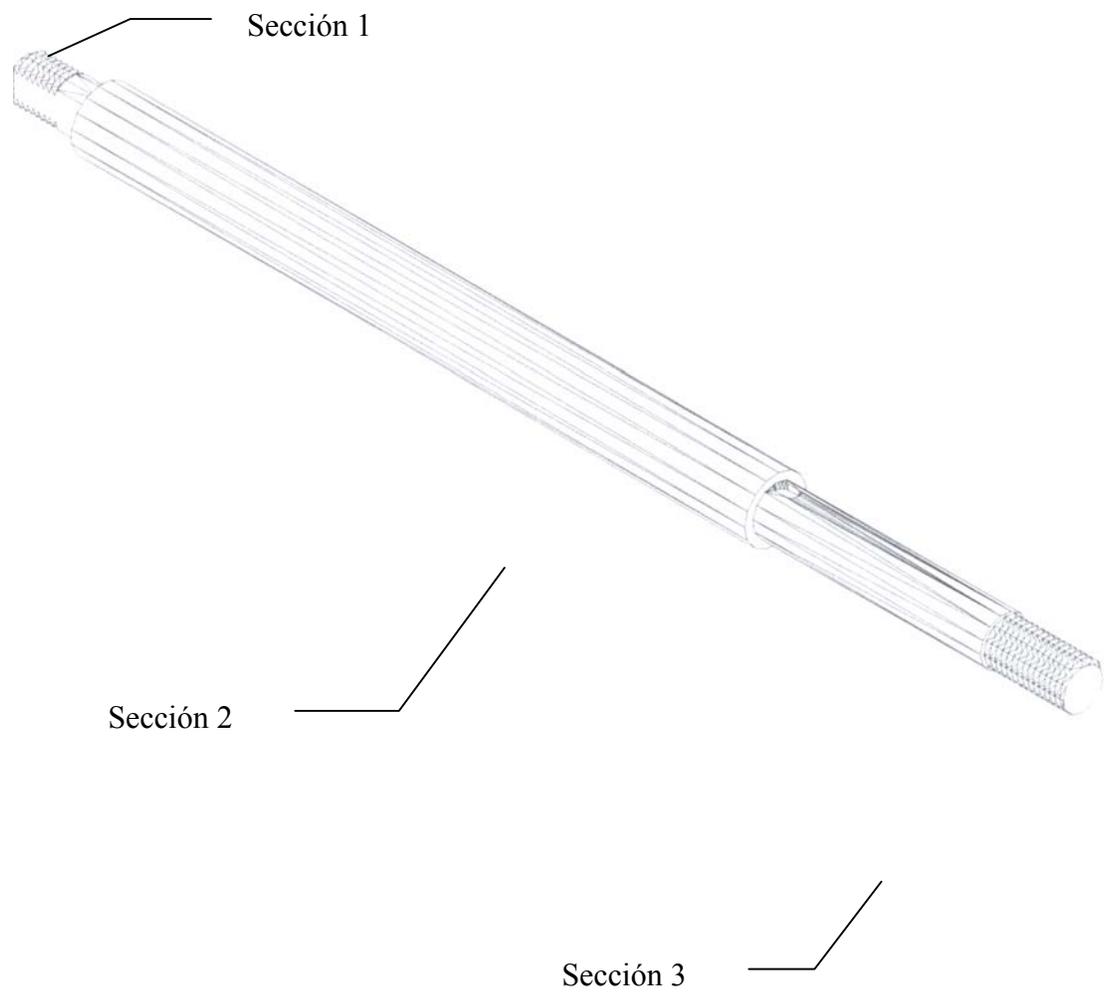
$$\sigma_{\max} = 54,834 \text{ M Pa}$$

$$Y_{\max} = -\frac{M \times l^2}{2 \times E \times I}$$

$$Y_{\max} = -2,468 \times 10^{-5} \text{ m}$$



### 3.6 Cálculo Arbol



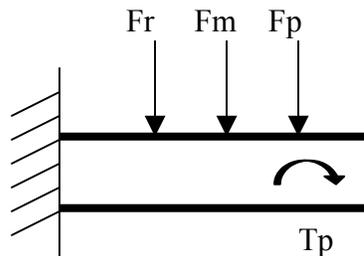
### Datos y consideraciones:

- El peso de los rollos es de 12 Kg cada uno.
- El peso de la rueda dentada es 10 Kg.
- El peso de la palanca es 10 Kg.
- El peso del soporte es 10 Kg.
- La fuerza ejercida por la palanca, las chumaceras, la rueda dentada, se consideran como cargas puntuales.
- Separamos al eje en 3 secciones y se analiza por separado
- Se considera que el material del eje es homogéneo.

#### 3.6.1 Cálculo Sección 1

### Datos y consideraciones:

- Se considera a la unión con la sección dos como un empotramiento.
- Se considera a la rosca como un cilindro constante con el diámetro del hilo mayor.
- Se considera el material del eje homogéneo por lo que podemos ubicar el centro de masa de la sección en el centro geométrico de la misma.



### Cálculo de la masa del Cilindro

$$V_{cil} = \pi \frac{d^2}{4} l$$

$$V_{cil} = \pi \times (0,014 \text{ m})^2 \times 0,201 \text{ m}$$

$$V_{cil} = 1,237 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$M_{cil} = V_{cil} \times d$$

$$d = 7,85 \text{ Kg} / \text{dm}^3 = 7850 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

$$m_{cil} = 1,234 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \times 7850 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

$$m_{cil} = 0,968 \text{ Kg}$$

### **Cálculo del Torque Total**

$$T_T = T_R + T_m + T_p + T_{gp}$$

$$T_R = F_R \times l_R$$

$$F_R = m_R \times g$$

$$F_R = 10 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m} / \text{sg}^2$$

$$F_R = 98 \text{ N}$$

$$T_R = 98 \text{ N} \times 0,008 \text{ m}$$

$$T_R = 0,0784 \text{ N m}$$

$$T_m = F_m \times l_{cm}$$

$$F_m = P_m \times g$$

$$F_m = 0,968 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m} / \text{sg}^2$$

$$F_m = 9,433 \text{ N}$$

$$T_m = 9,433 \text{ N} \times 0,101 \text{ m}$$

$$T_m = 7,442 \text{ N m}$$

$$T_p = F_p \times l_p$$

$$F_p = m_p \times g$$

$$F_p = 10 \text{ Kg} \times 8,8 \text{ m} / \text{sg}^2$$

$$F_p = 98 \text{ N}$$

$$T_p = 98 \text{ N} \times 0,82 \text{ m}$$

$$T_p = 8,036 \text{ N m}$$

Torque generado por la palanca fue calculado anteriormente

$$T_p = 400 \text{ N m}$$

$$T_T = 0,0784 \text{ N m} + 7,442 \text{ N m} + 9,8 \text{ N m} + 400 \text{ N m}$$

$$T_T = 417,320 \text{ N m}$$

$$S = \frac{I}{c}$$

$$I = \frac{\pi x R^4}{4}$$

$$I = \frac{\pi \times (0,014m)^4}{4}$$

$$I = 3,017 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$S = \frac{3,017 \times 10^{-8} \text{ m}^4}{0,014m}$$

$$S = 2,155 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{417,320 \text{ Nxm}}{2,155 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_{\max} = 201689095,128 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\max} = 201,689 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\max} = \frac{F_{\max}}{A}$$

$$A = \pi \times R^2$$

$$A = \pi \times (0,014 \text{ m})^2$$

$$A = 6,157 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\tau_{\max} = \frac{205,4 \text{ N}}{6,151 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\tau_{\max} = 333929 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\max} = 0,333 \text{ Mpa}$$

### 3.6.2 Cálculo del Esfuerzo Cortante Debido al Momento Torsor

$$L_0 = \frac{S}{2}$$

$$\delta = 2 \times L_0$$

$$\delta = 2 \times 3,017 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$\delta = 6,034 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

El T se calculó previamente

$$T_y = 210,414 \text{ N m} = 211 \text{ N m}$$

$$\tau_{y\max} = \frac{211 \text{ Nm} \times 0,014 \text{ m}}{6,034 \times 10^{-8} \text{ m}^4}$$

$$\tau_{y\max} = 49187335,02 \text{ Pa}$$

$$\tau_{y\max} = 49,187 \text{ MPa}$$

Para el acero 1040 los esfuerzos máximos son, para la fluencia = 336 Mpa y para la tracción = 577MPa

$$\tau_{\max} \text{ de fluencia} = 210 \text{ Mpa}$$

$$y = y_R + y_m + y_p + y_{Tg}$$

$$y_R = \frac{FX^2}{6EI} (X - 3^a)$$

$$y_R = \frac{98X^2}{6 \times 20,58 \times 10^{10} \times 3,017 \times 10^{-8}} (X - 3 \times 0,008)$$

$$y_R = 2,630 \times 10^{-3} X^3 - 6,313 \times 10^{-5} X^2$$

$$y_m = \frac{9,493X^2}{6 \times 20,58 \times 10^{10} \times 3,017 \times 10^{-8}} (X - 3 \times 0,74)$$

$$y_m = 2,548 \times 10^{-3} X^3 - 6,313 \times 10^{-5} X^2$$

$$y_m = \frac{9,493X^2}{6 \times 20,58 \times 10^{10} \times 3,017 \times 10^{-8}} (X - 3 \times 0,74)$$

$$y_m = 2,548 \times 10^{-4} X^3 - 5,656 \times 10^{-4} X^2$$

$$y_p = \frac{98X^2}{6 \times 20,58 \times 10^{10} \times 3,017 \times 10^{-8}} (X - 3,07)$$

$$y_p = 2,630 \times 10^{-3} X^3 - 7,891 \times 10^{-4} X^2$$

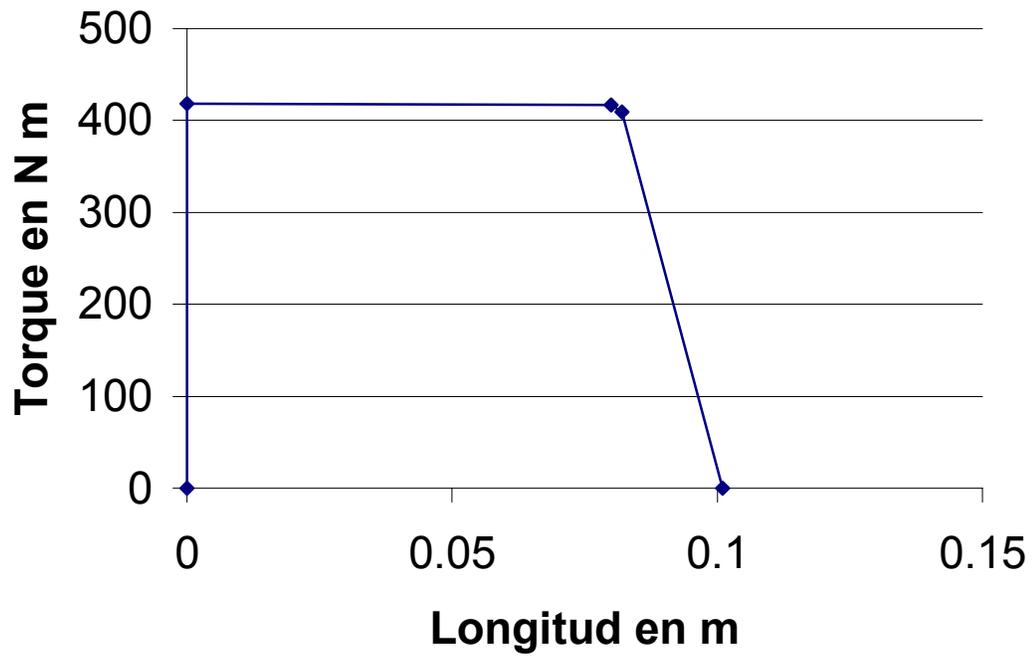
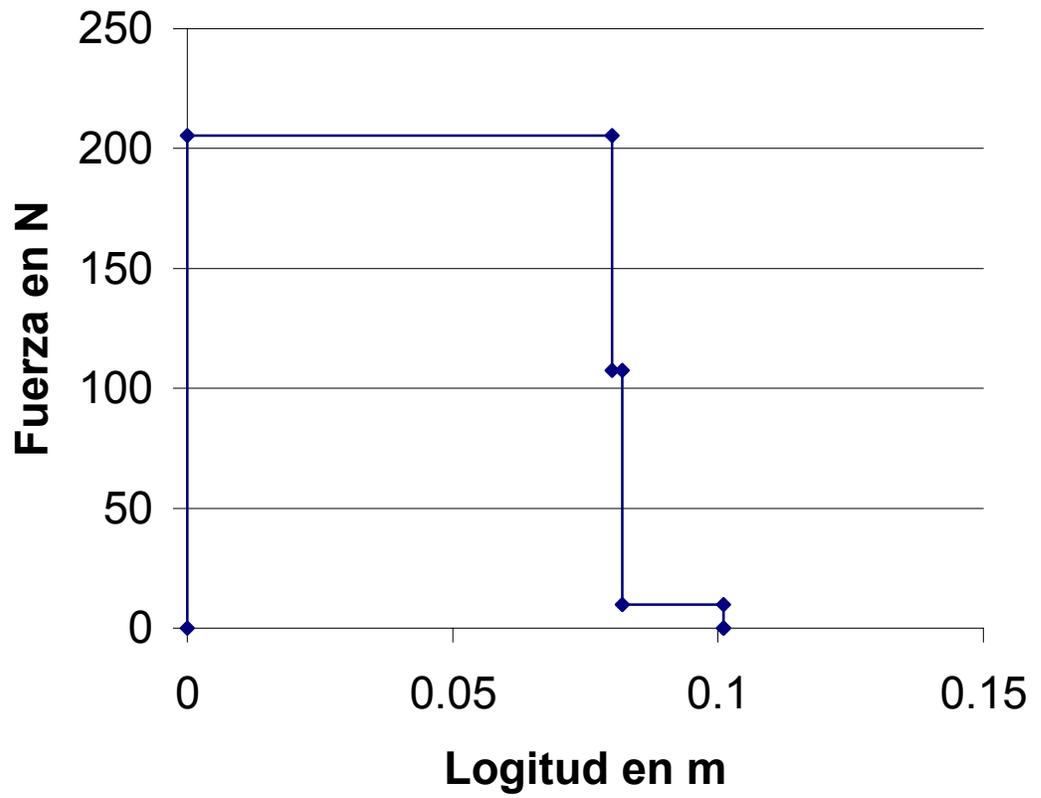
$$y_{Tg} = \frac{-MX^2}{2EI}$$

$$y_{Tg} = 200X^2 / 2 \times 20,58 \times 10^{10} \times 3,017 \times 10^{-8}$$

$$y_{Tg} = -1,610 \times 10^{-2} X^2$$

$$y = 5,515 \times 10^{-3} X^3 - 1,751 \times 10^{-2} X^2$$

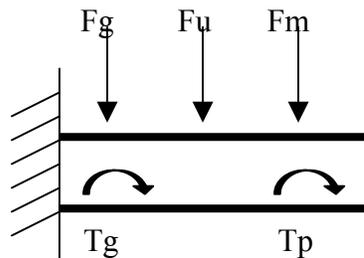
$$y_{\max} = -1,695 \times 10^{-4} \text{ m}$$



### 3.6.3 Cálculo de la Sección 3

• Para efectos de cálculos subdividimos esta sección en 2 partes la primera en donde viene apoyada la segunda parte de la garra y la segunda que lo constituye el resto de la sección.

#### 3.6.3.1 Cálculo parte uno de la sección 3



- Se considera a la unión con la sección 3 como un empotramiento.
- Se considera a la rosca como un cilindro constante con el diámetro del hilo mayor.
- Se considera el material del eje homogéneo por lo que se puede ubicar el centro de masa de la sección en el centro geométrico de la misma.
- Se considera a ésta sección rectangular para el cálculo de los esfuerzos.
- Se considera a la garra dividida en dos secciones una I y un cilindro, la primera sección (la II) se encuentra en la sección 4 y su centro de masa se ubica en el centro de su longitud.

#### Cálculo de la masa de la sección

$$t_{ga} = \frac{Co}{H}$$

$$t_{ga} = \frac{9mm}{29.8mm}$$

$$\alpha = 17.52$$

$$2\alpha = 35.05^\circ \approx 35^\circ$$

### Cálculo de la fracción de la circunferencia

$$F_c = \frac{360^\circ}{35^\circ}$$

$$F_c = 20,57$$

$$F_{ct} = 11,25$$

$$A_o = \pi R^2$$

$$A_o = \pi \frac{(0,0285m)^2}{2}$$

$$A_o = 6,157 \times 10^{-4} m^2$$

$$A_{fc} = \frac{A_o}{f_{ct}}$$

$$A_{fc} = \frac{6,157 \times 10^{-4} m^2}{5,625}$$

$$A_{fc} = 1,094 \times 10^{-4} m^2$$

$$A_o = A_{fc} + \frac{A_c}{2}$$

$$A_c = b \times h$$

$$h = 0,0285$$

$$A_c = 0,018m \times 0,0285m$$

$$A_c = 5,04 \times 10^{-4} m^2$$

$$A_f = 1,094 \times 10^{-4} m^2 + \frac{2,16 \times 10^{-4} m^2}{2}$$

$$A_f = 3,614 \times 10^{-4} m^2$$

$$V_{secc} = A_o \times l_{secc}$$

$$V_{secc} = 3,614 \times 10^{-4} m^2 \times 0,048 m$$

$$V_{secc} = 1,734 \times 10^{-5} m^3$$

$$m_{secc} = V_{secc} \times d$$

$$m_{secc} = 1,734 \times 10^{-5} m^3 \times 7850 \text{ Kg} / m^3$$

$$m_{secc} = 0,137 \text{ Kg}$$

$$F = m \times g$$

$$F = 0,137 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m/sg}^2$$

$$F = 1,352 \text{ N}$$

$$T_T = T_r + T_g + T_{gr} + T_u + T_{gu} + T_m$$

$$T_m = F_m \times l_m$$

$$T_m = 1,352 \text{ N} \times 0,024 \text{ m}$$

$$T_m = 0,032 \text{ N} \times \text{m}$$

$$T_{gr} = F_R + L_{mg}$$

$$T_r = F_R \times l_R$$

$$F_R = 24 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m/sg}^2$$

$$F_R = 235,2 \text{ N}$$

$$T_R = 235,2 \text{ N} \times 0,006 \text{ m}$$

$$T_R = 1,411 \text{ N} \times \text{m}$$

$$T_g = F_g \times l_g$$

Se considera que el centro de masa de la garra está en el centro de la misma.

$$L_g = 0,05 \text{ m}$$

$$F_g = P_g \times g$$

$$F_g = 13 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m/sg}^2$$

$$F_g = 127,53 \text{ N}$$

$$T_{gr} = 127,53 \text{ N} \times 0,05 \text{ m}$$

$$T_{gr} = 6,37 \text{ N} \times \text{m}$$

$$T_g = F_{tg} \times l_g$$

$$F_{tg} = P_{tg} \times g$$

$$P_{tg} = P_g + P_r$$

$$P_{tg} = 13 \text{ Kg} + 24 \text{ Kg}$$

$$P_{tg} = 37 \text{ Kg}$$

$$F_{tg} = 37 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m/sg}^2$$

$$F_{tg} = 362,97 \text{ N}$$

$$T_g = 362,97 \text{ N} \times 0,0005 \text{ m}$$

$$T_g = 0,181 \text{ N} \times \text{m}$$

$$T_u = F_u \times l_u$$

$$F_u = m_u \times g$$

$$F_u = 9,2 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_u = 90,252 \text{ N}$$

$$T_u = 90,252 \text{ N} \times 0,0012 \text{ m}$$

$$T_u = 0,108 \text{ N} \cdot \text{m}$$

El torque generado por la U se calculó anteriormente y es de:

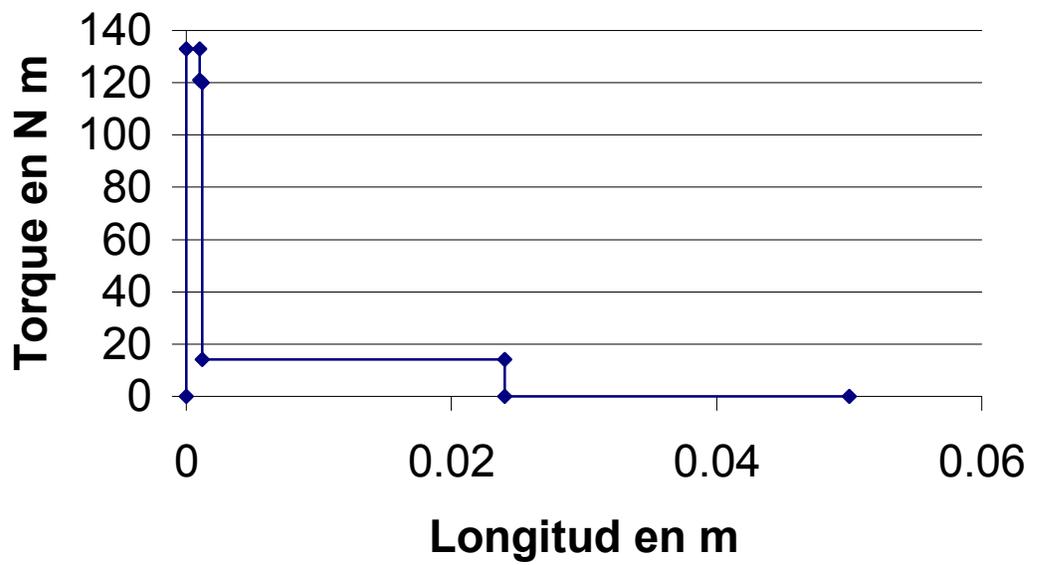
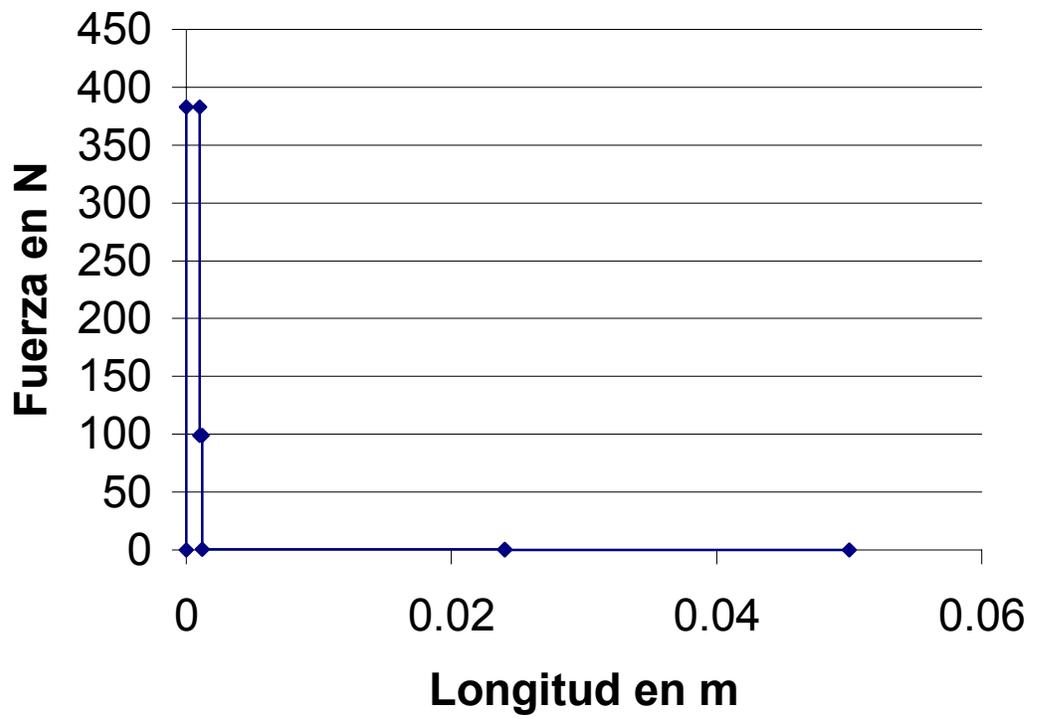
$$T_{gu} = 105,207 \text{ N} \approx 106 \text{ N}$$

$$T_T = 0,0324 \text{ N} \cdot \text{m} + 1,411 \text{ N} \cdot \text{m} + 6,37 \text{ N} \cdot \text{m} + 0,181 \text{ N} \cdot \text{m} + 0,108 \text{ N} \cdot \text{m} + 106 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$T_T = 114,102 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$F_T = F_{Tg} + F_u + F_{cm}$$

$$F_T = 362,6 \text{ N} + 90,252 \text{ N} + 1,352 \text{ N}$$



$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{S}$$

$$M_{\max} = T_T = 114.102 \text{ N x m}$$

$$S = \frac{I}{C}$$

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

$$I = \frac{0,018m(0,0285m)^3}{12} \quad I = 3,472 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$S = \frac{3,472 \times 10^{-8} \text{ m}^4}{0,014m}$$

$$S = 2,480 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{114,102N}{2,480 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_{\max} = 46008870.967 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\max} = 46.008 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{\max} = \frac{F_{\max}}{A}$$

$$\tau_{\max} = \frac{F}{A}$$

$$\tau_{\max} = \frac{454,204N}{5,04 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\tau_{\max} = 801198,51 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\max} = 0,901 \text{ Mpa}$$

Cálculo del esfuerzo torsor máximo

$$\tau_{y\max} = \frac{T_{y\max}}{\alpha bxc^2}$$

$$\frac{b}{c} = \frac{0,0285}{0,018} = 0,168$$

De la tabla de coeficientes rectangulares de la pág 201 de POPOV, Egor, se obtiene:

$$\alpha = 0,231$$

El Tmax fue calculado anteriormente y es de 106 N m

$$\tau_{\max} = \frac{T}{\alpha b x c^2}$$

$$\tau_{\max} = \frac{106 \text{ Nxm}}{0,231 \times 0,0285 \text{ m} \times (0,028 \text{ m})^2}$$

$$\tau_{\max} = 49694.006,809 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\max} = 49,694 \text{ Mpa}$$

$$y = y_{Fg} + y_{Tg} + y_{Fu} + y_{Tu} + y_m$$

$$y_m = \frac{FX^2}{6EL} (X - 3a)$$

$$y_m = \frac{1,352 X^2}{6 \times 20,58 \times 10^{10} \times 3,472 \times 10^{-8}} (X - 3 \times 0,24)$$

$$y_m = 3,153 \times 10^{-5} X^3 - 2,270 \times 10^{-5} X^2$$

$$y_{Fg} = \frac{FX^2}{6EI} (X - 3a)$$

$$y_{Fg} = \frac{362,970 X^2}{6 \times 20,58 \times 10^{10} \times 3,472 \times 10^{-8}} (X - 3 \times 0,0005)$$

$$y_{Fg} = 8,466 \times 10^{-3} X^3 - 1,268 \times 10^{-5} X^2$$

$$y_{Tg} = \frac{TgX^2}{2EI}$$

$$y_{tg} = \frac{6,37X^2}{2 \times 20,58 \times 10^{10} \times 3,472 \times 10^{-8}}$$

$$y_{tg} = -4,457 \times 10^{-4} X^2$$

$$y_u = \frac{FX^2}{6EI} (X - 3a)$$

$$y_u = \frac{90,252X}{6 \times 20,58 \times 10^{10} \times 3,472 \times 10^{-8}} (X - 3 \times 0,0012)$$

$$y_u = 2,105 \times 10^{-3} X^3 - 7,578 \times 10^{-6} X^2$$

$$y_{Tu} = \frac{106X^2}{2 \times 20,58 \times 10^{10} \times 3,472 \times 10^{-8}}$$

$$y_{Tu} = -7417 \times 10^{-3} X^2$$

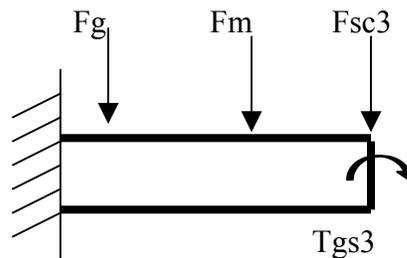
$$y_t = 1,060 \times 10^{-2} X^3 - 7,898 \times 10^{-3} X^2$$

$$y_{max} = -1,702 \times 10^{-5} \text{ m}$$

### 3.6.3.2 Cálculo parte 2 sección 3

- Se considera al material homogéneo por lo que podemos ubicar el control de masa de la sección en el centro geométrico de la misma.

- Se considera la unión con la sección 2 como un empotramiento.



### Cálculo de la masa

$$V_{secc} = A_o \times L$$

$$A_o = \pi \times \left( \frac{0,040m}{2} \right)^2$$

$$A_o = 1,256 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V_{\text{sec}} = 1,256 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \times 0,06 \text{ m}$$

$$V_{\text{sec}} = 7,536 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$m_{\text{sec}} = 6,80 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \times 7850 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{\text{sec}} = 0,591 \text{ Kg}$$

$$F_{\text{cm}} = m_{\text{sec}} \times g$$

$$F_{\text{cm}} = 0,591 \text{ Kg} \times 9,8 \text{ m/sg}^2$$

$$F_{\text{cm}} = 5,803 \text{ N}$$

$$T_{\text{cm}} = F_{\text{cm}} \times l_{\text{cm}}$$

$$T_{\text{cm}} = 5,803 \text{ N} \times 0,03 \text{ m}$$

$$T_{\text{cm}} = 0,174 \text{ N m}$$

**Cálculo del torque ejercido por la segunda sección de la garra.**

**Cálculo de la masa**

$$V_T = (A_{\text{ex}} - A_{\text{in}}) \times l$$

$$A_{\text{ex}} = \pi R^2$$

$$A_{\text{ox}} = \pi \times \left( \frac{0,07m}{2} \right)^2$$

$$A_{\text{ex}} = 3,848 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{\text{in}} = \pi \times \left( \frac{0,038m}{2} \right)^2$$

$$A_{\text{in}} = 1,134 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V_T = (3,848 \times 10^{-3} \text{ m}^2 - 1,134 \times 10^{-3} \text{ m}^2) \times 0,01 \text{ m}$$

$$V_T = 2,714 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$m = V_T \times d$$

$$m = 2,714 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \times 7850 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$m = 0,213 \text{ Kg}$$

$$F_g = m \times g$$

$$F_g = 0,213 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m / sg}^2$$

$$F_g = 2,089 \text{ N}$$

$$T_g = F_g \times l_{cm}$$

$$L_{cm} = 0,05 \text{ m}$$

$$T_g = 2,089 \text{ N} \times 0,05 \text{ m}$$

$$T_g = 0,104 \text{ N m}$$

$$F_{cg} = 454,204 \text{ N}$$

$$l_{sc} = 0,060 \text{ m}$$

$$T_T = F_{sc3} \times l_{sc3} = 27,252 \text{ N m}$$

$$F_T = F_{cm} + F_g + F_{sc2}$$

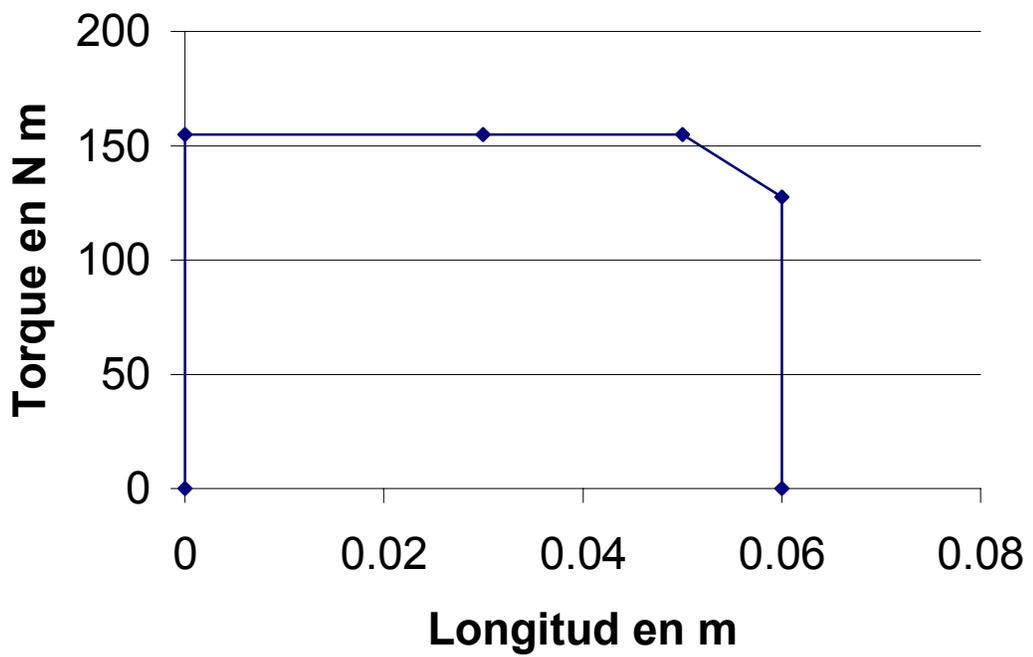
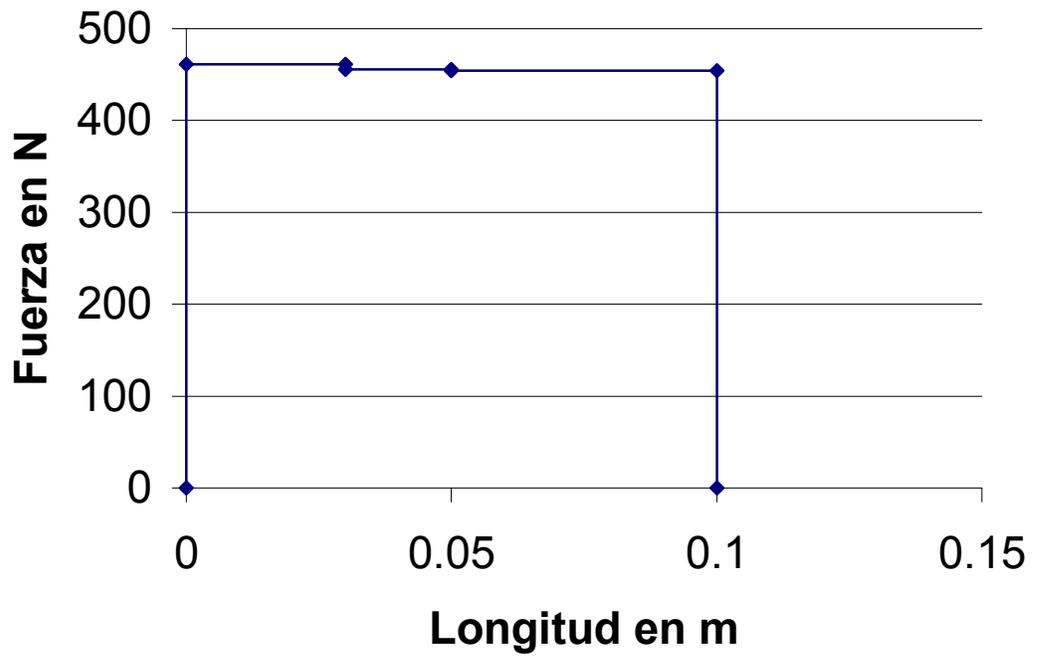
$$F_T = 5,234 \text{ N} + 2,089 \text{ N} + 454,204 \text{ N}$$

$$F_T = 461,527 \text{ N}$$

$$T_T = T_{cm} + T_g + T_{sc2} + T_{sc3}$$

$$T_T = 0,157 \text{ Nm} + 0,104 \text{ Nm} + 27,252 \text{ Nm} + 114,102 \text{ Nm}$$

$$T_T = 141,615 \text{ N m}$$



$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{S}$$

$$S = \frac{I}{C}$$

$$I = \frac{\pi R^4}{4}$$

$$I = \frac{\pi(0,019m)^4}{4}$$

$$I = 1,023 \times 10^{-7} m^4$$

$$S = \frac{I}{C}$$

$$S = \frac{1,023 \times 10^{-7} m^4}{0,015m}$$

$$S = 5,387 \times 10^{-6} m^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{155,002 Nm}{5,387 \times 10^{-6} m^3}$$

$$\sigma_{\max} = 28,773343,23 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\max} = 28,773 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{\max} = \frac{F_{\max}}{A}$$

$$\tau_{\max} = \frac{461,527 N}{1,134 \times 10^{-3} m^2}$$

$$\tau_{\max} = 406990,299 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\max} = 0,406 \text{ Mpa}$$

### **Cálculo del esfuerzo torsor máximo**

$$\tau_{y\max} = \frac{T_{y\max} \cdot c}{J}$$

$$J = 2I$$

$$J = 2,026 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$\tau_{\max} = \frac{106 \text{ Nm} \times 0,019 \text{ m}}{2,026 \times 10^{-7} \text{ m}^3}$$

$$\tau_{\max} = 9940769,89 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\max} = 9,940 \text{ Mpa}$$

$$y = y_{cm} + y_g + y_{sc3} + y_{Tsc3}$$

$$y_{cm} = \frac{5,234 X^2}{6 \times 20,58 \times 10^{10} \times 1,023 \times 10^{-3}} (X - 3 \times 0,03)$$

$$y_{cm} = 4,143 \times 10^{-5} X^3 - 3,729 \times 10^{-6} X^2$$

$$y_g = \frac{2,889 X^2}{6 \times 20,58 \times 10^{10} \times 1,023 \times 10^{-7}} (X - 3 \times 0,005)$$

$$y_g = 2,287 \times 10^{-5} X^3 - 3,430 \times 10^{-7} X^2$$

$$y_{sc3} = \frac{454,204 X^2}{6 \times 20,58 \times 10^{10} \times 1,023 \times 10^{-7}} (X - 3 \times 0,06)$$

$$y_{sc3} = 3,595 \times 10^{-3} X^3 - 6,472 \times 10^{-4} X^2$$

$$y_{gg} = \frac{114,102 X^2}{2 \times 20,58 \times 10^{10} \times 1,023 \times 10^{-7}}$$

$$y_{gg} = -2,7098 \times 10^{-3} X^2$$

$$y_t = 3,6593 \times 10^{-3} X^3 - 2,713 \times 10^{-3} X^2$$

$$y_{\max} = -8,976 \times 10^{-7} \text{ m}$$

### 3.6.4 Cálculo de la parte 2 de la Sección 2

#### Datos y consideraciones

- Se considera al material del eje homogéneo por lo que podemos ubicar el centro de masa de la sección en el centro geométrico de la misma.

- Las uniones con las secciones 1 y de la sección 1 se manifiesta como un torque y una fuerza en los extremos de la sección.

- Se considera que las fuerzas ejercidas por la chumacera son puntuales y se ubican en el centro de la longitud hacia arriba.

- Se considera dos casos: cuando el (1) carro está al final de su carrera y (2) cuando está en un punto intermedio.

### **Cálculo de la fuerza ejercida por el centro de masa**

$$M = V \times d$$

$$V = \pi \times R^2$$

$$V = \pi \times \left( \frac{0,04m}{2} \right)^2$$

$$V = 1,256 \times 10^{-3} m^3$$

$$m = 1,256 \times 10^{-3} m^3 \times 7850 \frac{Kg}{m^3}$$

$$m = 9,859 Kg$$

$$F_{cm} = m \times g$$

$$F_{cm} = 9,859 Kg \times 9,81 m/sg^2$$

$$F_{cm} = 96,624 N$$

### **3.6.4.1 Cálculo de las fuerzas ejercidas por las chumaceras**

#### **3.6.4.2**

#### **(Final de la Carrera (caso 1))**

$$\sum F = 0$$

$$\sum M = 0$$

$$F_{Sc1} + F_{ch1} + F_{cm} + F_{ch2} + F_{Sc3} = 0$$

$$F_{fs1} + T_{gs1} + T_{ch1} + T_{cm} + T_{ch2} + T_{gs2} + T_{f23} = 0$$

El  $T_{gs1}$  fué calculado anteriormente y es de 418,026 N m

El  $T_{gs3}$  fué calculado anteriormente y es de 155,002 N

El  $F_{Sc3}$  fué calculado anteriormente y es de 461,527 N

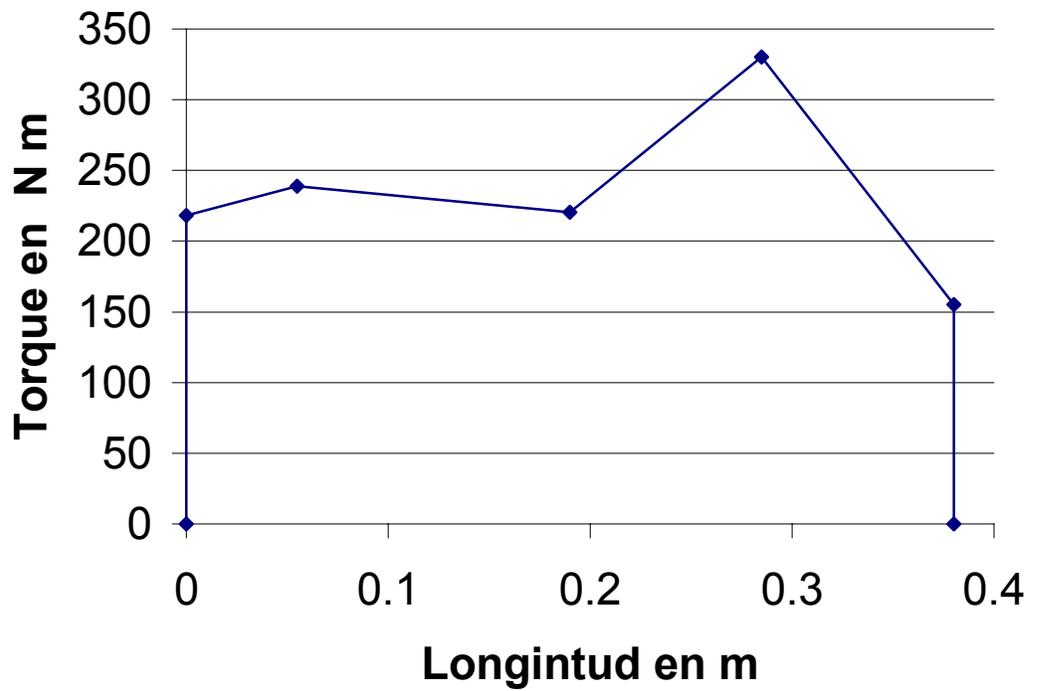
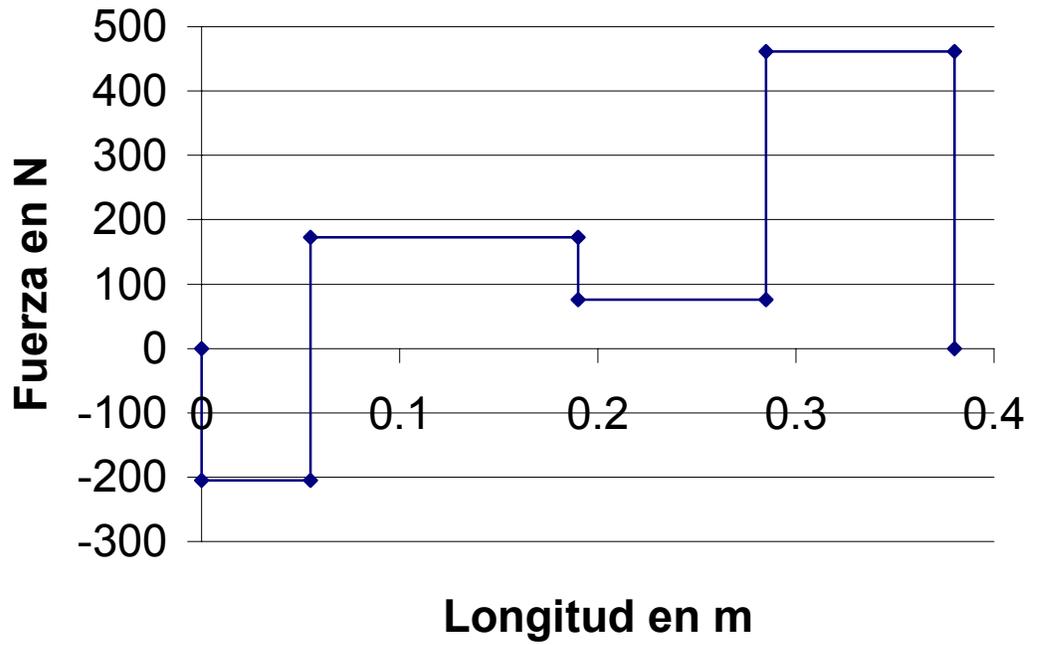
El  $F_{Sc1}$  fué calculado anteriormente y es de 205,493 N

$$\begin{cases} -205,493 \text{ N} + F_{ch1} - 96,624 \text{ N} + F_{ch2} - 461,521 \text{ N} \\ 218,026 \text{ Nm} + 0,055 \text{ m} F_{ch1} - 18,3581 \text{ Nm} + 0,285 \text{ m} F_{ch2} - 175,380 \text{ Nm} - 155,002 \text{ Nm} \end{cases}$$

$$\begin{cases} F_{ch1} + F_{ch2} = 763,638 \text{ N} \\ 0,055 F_{ch1} + 0,285 F_{ch2} = 130,714 \text{ Nm} \end{cases}$$

$$F_{ch1} = 377,925 \text{ N}$$

$$F_{ch2} = 385,712 \text{ N}$$



### 3.6.4.3 Cálculo de las fuerzas ejercidas por las chumaceras

#### (Punto intermedio de la carrera)

En éste caso no hay torque ejercido por la palanca por lo que el torque generado por la sección 1, es el mismo anterior menos el torque generado por la palanca calculado anteriormente por lo que queda.

$$T_{gsc1} = T_{gs1} - T_p$$

$$T_{gs1} = 218,026 \text{ Nxm} = 200 \text{ N x m}$$

$$T_{gs1} = 18,026 \text{ N x m}$$

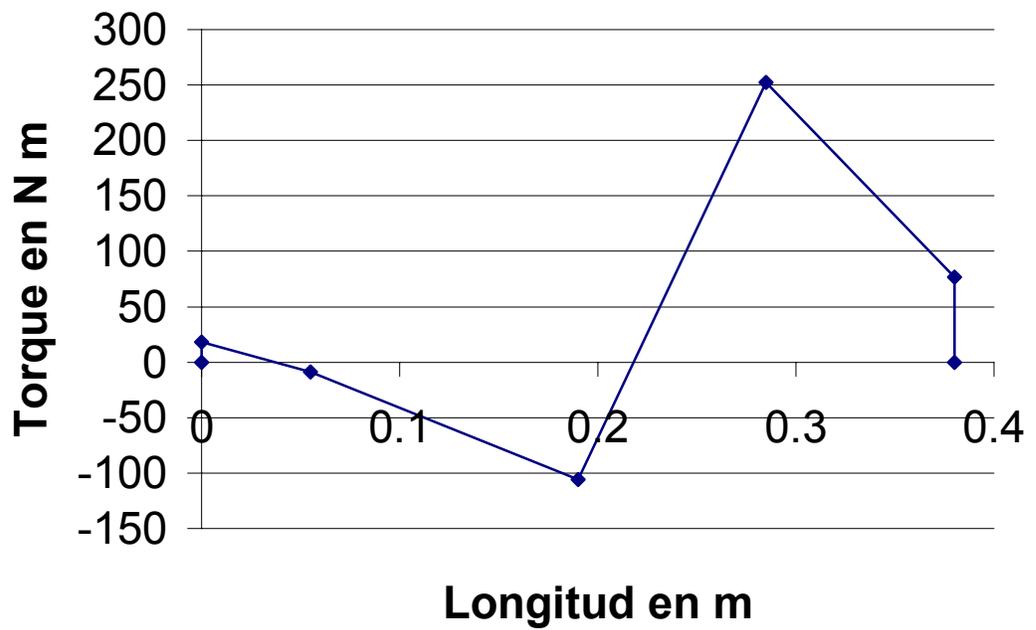
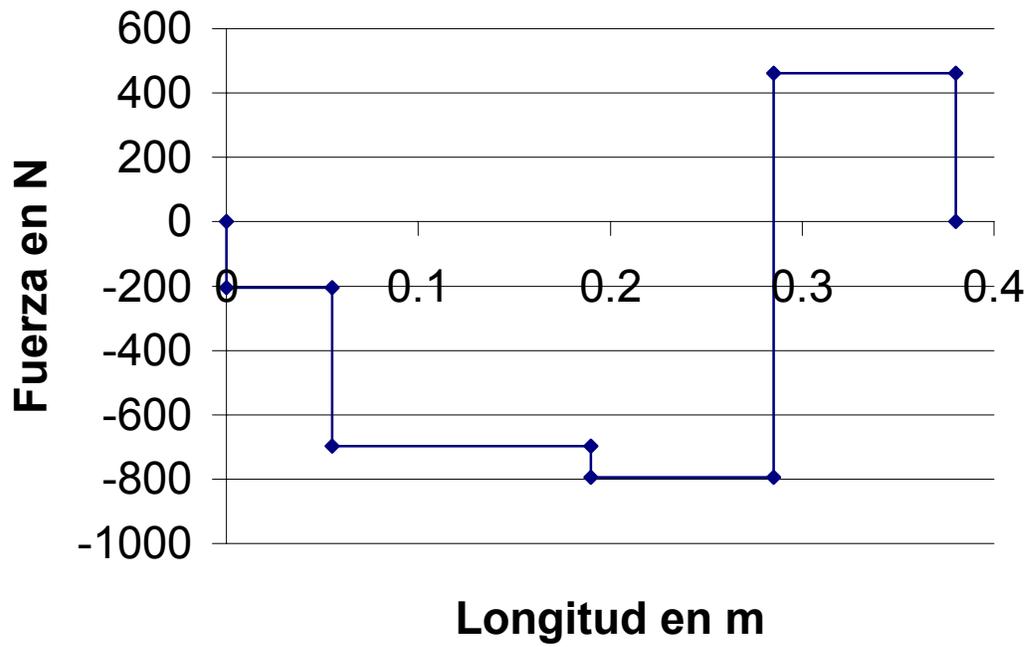
$$\begin{cases} -205,493 \text{ N} - F_{ch1} - 96,62 \text{ N} + F_{ch2} - 461,521 \text{ N} \\ 18,026 \text{ N m} + 0,055 f_{ch1} - 18,358 \text{ Nm} + 0,285 mf_{ch2} - 175,380 \text{ N m} - 155,0021 \text{ Nm} \end{cases}$$

$$F_{ch1} + F_{ch2} = 763,638 \text{ N}$$

$$0,055 F_{ch1} + 0,285 F_{ch2} = 330,714 \text{ Nx m}$$

$$F_{ch1} = -491,639 \text{ N}$$

$$F_{ch1} = 1255,277 \text{ N}$$



De los casos anteriores tomamos los mayores valores de Momento y fuerza para calcular los esfuerzos máximos cometidos

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{S}$$

$$S = \frac{I}{c}$$

$$I = \frac{\pi R^4}{4}$$

$$I = \frac{\pi (0,02m)^4}{4}$$

$$I = 1,256 \times 10^{-7} m^4$$

$$S = \frac{1,256 \times 10^{-7} m^4}{0,02m}$$

$$S = 6,285 \times 10^{-6} m^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{330,714 Nm}{6,283 \times 10^{-6} m^2}$$

$$\sigma_{\max} = 52636320,228 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\max} = 52,636 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{\max} = \frac{F}{A}$$

$$A = \pi \times R^2$$

$$A = \pi \times (0,02)^2$$

$$A = 1,256 \times 10^{-3} m^2$$

$$\tau_{\max} = \frac{763,638 N}{1,256 \times 10^{-3} m^2}$$

$$\tau_{\max} = 607992,038 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\max} = 0,607 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{y \max} = \frac{T_{y \max} x c}{J}$$

$$J = 2 \times L$$

$$J = 1,256 \times 10^{-7} \times 2$$

$$J = 2,512 \times 10^{-7}$$

$$\tau_{y \max} = \frac{106 N \times m \times 0,02 m}{2,512 \times 10^{-7} m^4}$$

$$\tau_{y \max} = 8439,430 \text{ Pa}$$

$$\tau_{y \max} = 8,439 \text{ Mpa}$$

### 3.6.5 Cálculo de las deformaciones

Para el cálculo de las deformaciones, subdividimos a esta sección en 3 delimitada por las chumaceras, las cuales consideramos como empotramientos.

#### 3.6.5.1 Cálculo subsección 3

$$y_t = y_{s3} + T_{gs3}$$

$$y_{s3} = \frac{FX^2}{6EI} (X - 3l)$$

$$y_{s3} = \frac{461,527 X^2}{6 \times 20,58 \times 10^{10} \times 1,256 \times 10^{-7}} (X - 3 \times (0,145))$$

$$y_{s3} = 2,974 \times 10^{-3} X^3 - 1,293 \times 10^{-3} X^2$$

$$y_{tgs3} = - \frac{MX^2}{2EI}$$

$$y_{tgs3} = \frac{218,026 X^2}{2 \times 20,58 \times 10^{10} \times 1,256 \times 10^{-7}}$$

$$y_{tgs3} = -4,217 \times 10^{-3} X^2 \quad y_t = 2,574 \times 10^{-3} X^3 - 5,510 \times 10^{-3} X^2$$

$$y_{\max} = -9,893 \times 10^{-5} \text{ m}$$

#### 3.6.5.2 Cálculo de la Subsección 1

Esta sección tiene la misma distribución de fuerzas, pero con menores requerimientos de la subsección 3 por lo que su deformación va a ser menor.

### 3.6.5.3 Cálculo de la subsección 2

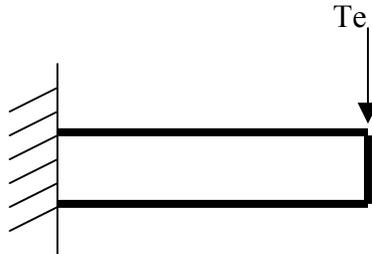
$$y_{\max} = \frac{Fl^3}{48XE_xL}$$

$$y_{\max} = \frac{96,624x(0,2)^3}{48x20,58x10^{10}x1,256x10^{-7}}$$

$$y_{\max} = 6,230x10^{-7} \text{ m}$$

### 3.7 Cálculo de las Fuerzas Ejercidas por las Uñas .

• Como el mecanismo se traba cinemáticamente en el lugar de la rueda ocurre un empotramiento por lo que:



El torque es el mismo ejercido por la rueda y es el calculado anteriormente.

$$M = 106 \text{ N m}$$

#### 3.7.1 Cálculo del Brazo

$$l(x) = l_R \times \cos \alpha$$

$$l(x) = 0,25 \text{ m} \times \cos 16,7^\circ$$

$$l(x) = 0,239 \text{ m}$$

$$l_{TX} = l_u + l_x$$

$$l_{TX} = 0,056 \text{ m} + 0,239 \text{ m}$$

$$l_{TX} = 0,295 \text{ m}$$

$$l_y = l_R \times \sin \alpha$$

$$l_y = 0,25 \text{ m} \times \sin 16,7$$

$$l_y = 0,071 \text{ m}$$

$$\text{Tg } R = \frac{l_y}{l_{tx}}$$

$$\text{Tg } R = \frac{0,071 \text{ m}}{0,295 \text{ m}}$$

$$\text{Tg } R = 13,68^\circ$$

$$\text{Sen } \alpha = \frac{CO}{H}$$

$$H = \frac{CO}{\text{Sen } R}$$

$$H = \frac{0,071}{\text{Sen}13,68}$$

$$H = 0,03002 \text{ m}$$

Se considera a la uña como una viga rectangular cuyo espesor es el menor de su geometría

$$T_{\max} = F_{ey} \times l$$

$$F_{eym} = \frac{106Nxm}{0,3}$$

$$F_{eym} = 353,33 \text{ N}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{S}$$

$$S = \frac{I}{C}$$

$$I = \frac{bxh^3}{12}$$

$$I = \frac{0,016m \times (0,021m)^3}{12}$$

$$I = 1,234 \times 10^{-8} \text{ m}^3$$

$$S = \frac{I}{C}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{106Nxm}{1,176 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_{\max} = 90136054 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\max} = 90,136 \text{ MPa}$$

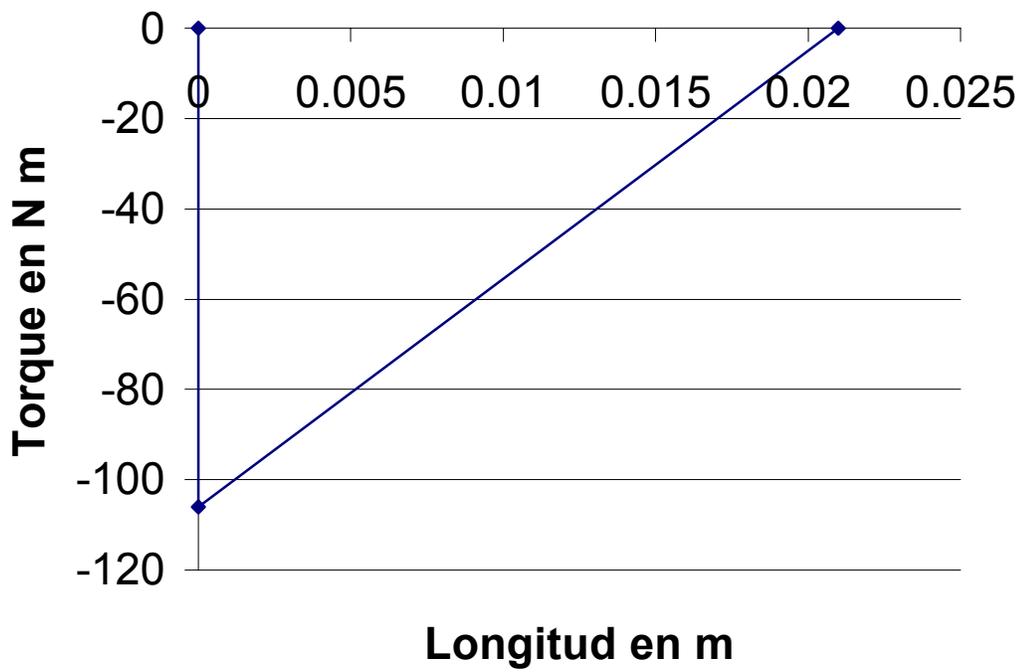
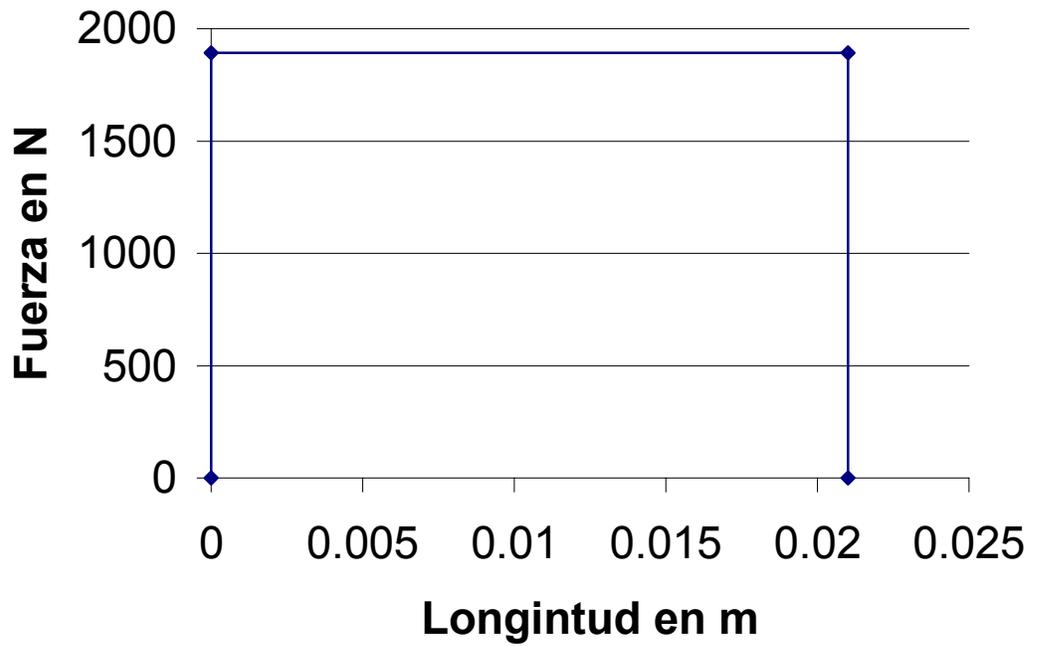
$$\tau_{\max} = \frac{F}{A}$$

$$A = b \times h$$

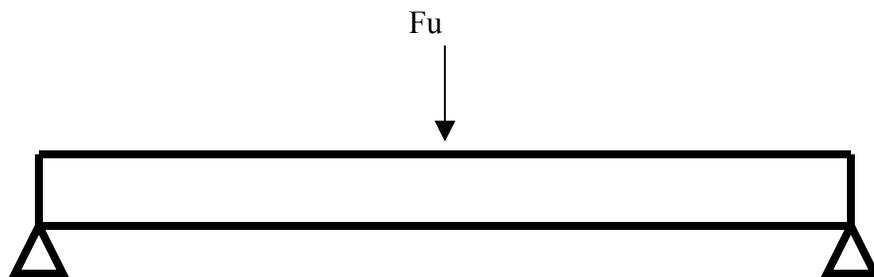
$$A = 0,016 \text{ m} \times 0,021 \text{ m}$$

$$A = 3,365 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\tau_{\max} = \frac{1892,85N}{3,36 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$



### 3.7.2 Cálculo del Eje de la uña en X



$$\sum F_y = 0$$

$$F_{1y} + F_{2y} + F_{uy} = 0$$

$$\sum T = 0$$

Tomado como origen el punto  $F_1$

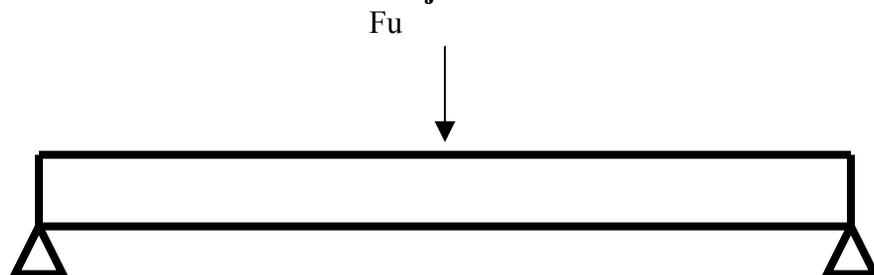
$$T_{f2} - T_{gu} = 0$$

$$F_{1y} + F_{2y} = 353.333 \text{ N}$$

$$F_{2y} = 105,990 \text{ N}$$

$$F_{1y} = 247,340 \text{ N}$$

### 3.7.3 Cálculo de las Reacciones del eje de la uña en Y



$$\sum F_y = 0$$

$$F_{1y} + F_{2y} + F_{uy} = 0$$

$$\sum T = 0$$

Tomando el origen el punto de  $F_1$

$$T_{gf2} - T_{gu} = 0$$

## Datos y Consideraciones

- Se desprecia el peso del tornillo, resorte, la graduación y la uña.

$$\sum F = 0$$

$$F_1 + F_2 + F_u = 0$$

$$\sum T = 0$$

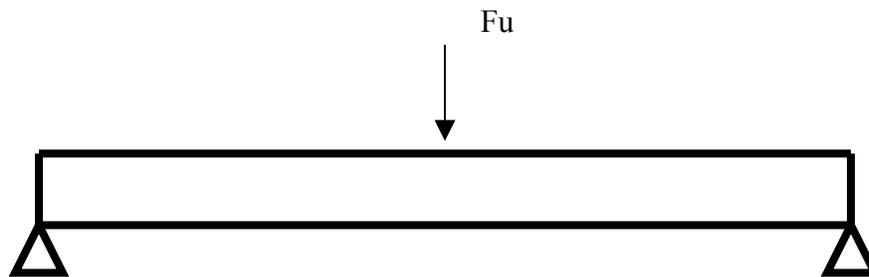
Tomando como origen el punto F1

$$T_{f2} - T_{gu} = 0$$

$$0,1mF_2 = 0,03 \text{ m} \times 122,070 \text{ N}$$

$$F_R = 36.610 \text{ N}$$

### 3.7.4 Cálculo de los esfuerzos máximos en el Eje



$$F_{RU} = \sqrt{F_{ux}^2 + F_{uy}^2}$$

$$F_{RU} = \sqrt{(353,80 \text{ N})^2 + (122,12 \text{ N})^2}$$

$$F_{RU} = 373,838 \text{ N}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{S}$$

$$S = \frac{I}{C}$$

$$I = \frac{\pi R^4}{4}$$

$$I = \frac{\pi x (0,0075 \text{ m})^4}{4}$$

$$I = 2,485 \times 10^{-9} \text{ m}^4$$

$$S = \frac{2,485 \times 10^{-9} \text{ m}^4}{0,0075 \text{ m}}$$

$$S = 3,313 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{11,215 \text{ Newxm}}{3,313 \times 10^{-7} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_{\text{max}} = 3385,1916 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\text{max}} = 33,851 \text{ Mpa}$$

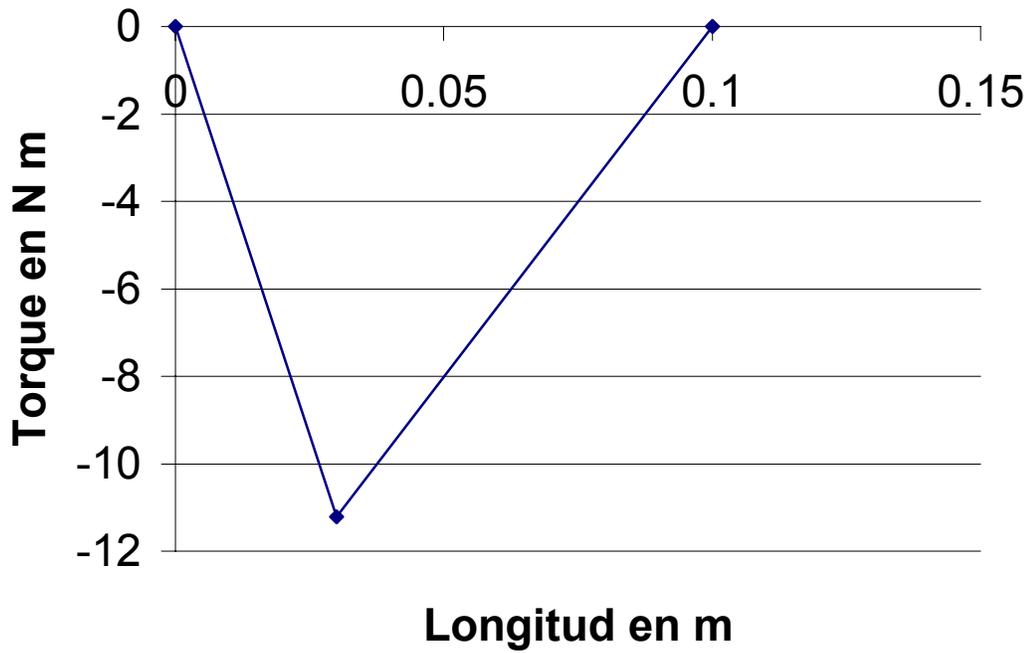
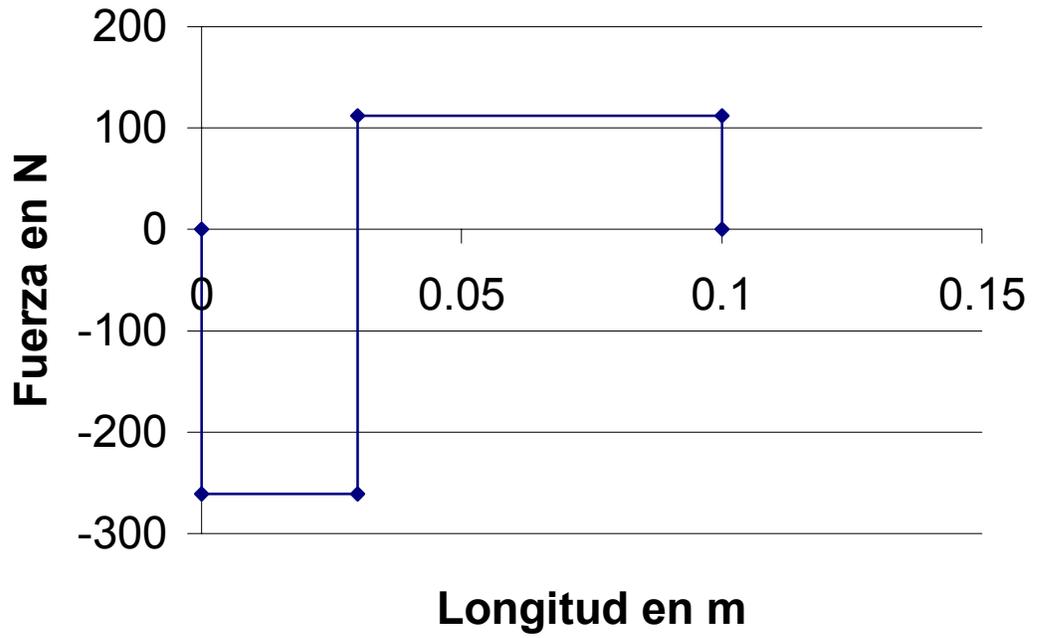
$$\tau_{\text{max}} = \frac{F}{A}$$

$$A = \pi r^2$$

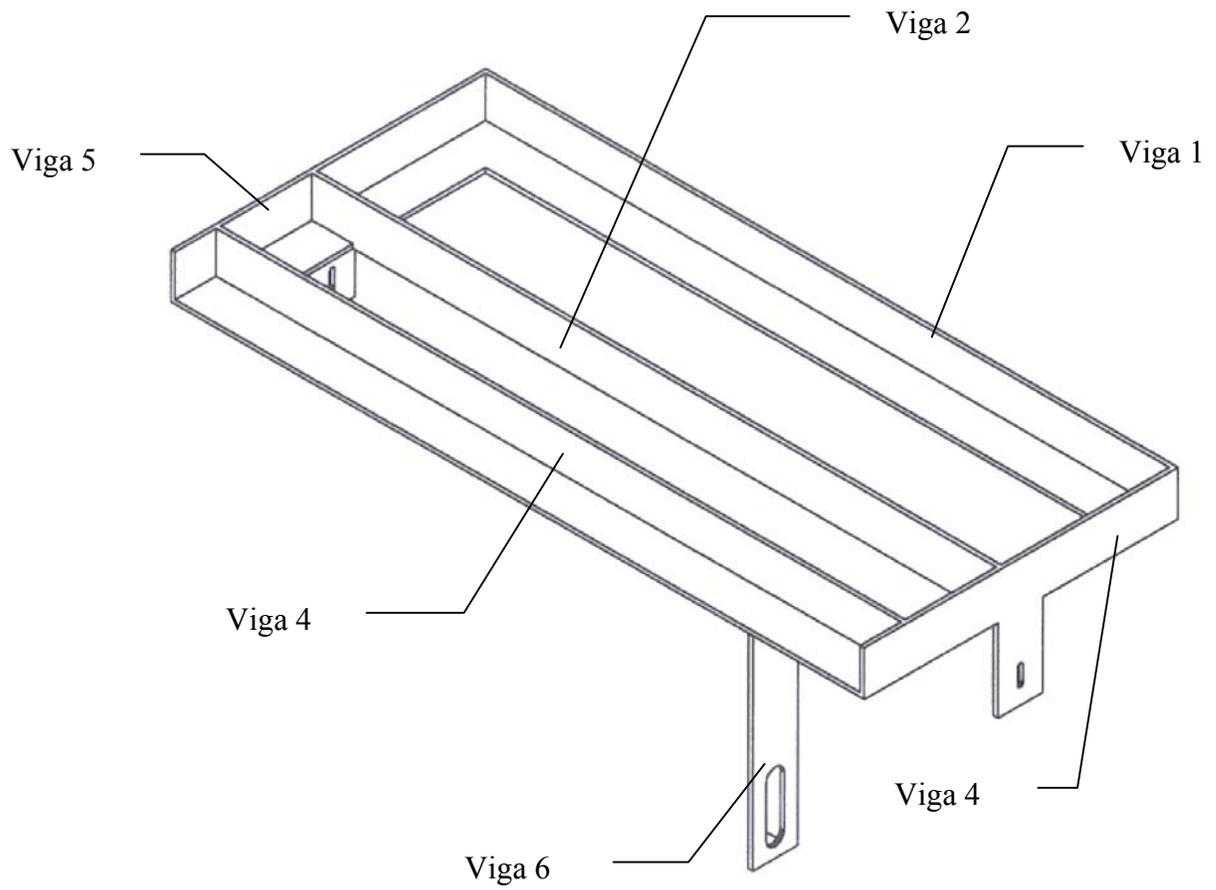
$$A = 1,767 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$\tau_{\text{max}} = 2115490,333 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\text{max}} = 0,211 \text{ MPa}$$



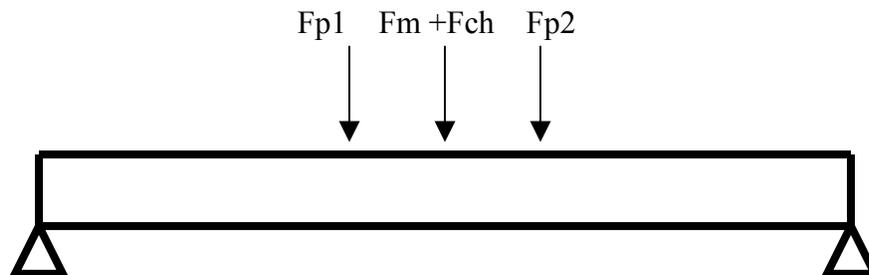
### 3.8 Cálculos del Carro



## Datos y Consideraciones

- Se supondrán ambos casos, cuando el carro esté al final de su carrera y en un Punto Intermedio.
- El peso de la chumacera es de 2 Kg.
- La Fuerza ejercida por las chumaceras es transmitida por los dos pernos los cuáles se reparten equitativamente las cargas.
- Se considera a las vigas de un material uniforme y homogéneo por lo que su centro de masa se ubica en el centro de la misma.

### 3.8.1 Cálculo de la Viga 1



La fuerza generada del eje a la chumacera fue calculada anteriormente, Y es de:

$F_{ch} = 1255,277 \text{ N}$  para un punto intermedio de la carrera

$F_{ch} = 385,712 \text{ N}$  para el final de la carrera

#### 3.8.1.1 Caso 1

**(Punto intermedio de la carrera)**

$$\sum F = 0$$

$$F_{R1} = F_{p1} - F_m - F_{p2} + F_{R2} = 0$$

$$F_{p1} = F_{p2} = \frac{F_e + F_{ch}}{2}$$

$$F_{ch} = m_{ch} \times g$$

$$F_{ch} = 2\text{Kg} \times 9,8 \text{ m / sg}^2$$

$$F_{ch} = 19,12 \text{ N}$$

$$F_{p1} = F_{p2} = \frac{1255,277 \text{ N} + 19,12 \text{ N}}{2} = 637,438 \text{ N}$$

$$m^* = 6,83 \text{ Kg/m}$$

$$m = 6,83 \text{ Kg/m} \times 1 \text{ m}$$

$$m = 6,83 \text{ Kg}$$

$$F_m = m \times g$$

$$F_m = 6,83 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_m = 66,934 \text{ N}$$

$$F_{R1} + F_{R2} = 1341,81 \text{ N}$$

$$\sum T = 0$$

$$-T_{p1} - T_m - T_{p2} + F_{R2} = 0$$

$$T_{p1} = F_{p1} \times l_1$$

$$T_{p1} = 637,438 \text{ N} \times 0,43 \text{ m}$$

$$T_{p1} = 274,098 \text{ N m}$$

$$T_{p2} = F_{p2} \times l_{p2}$$

$$T_{p2} = 637,438 \text{ N} \times 0,57 \text{ m}$$

$$T_{p2} = 363,339 \text{ N m}$$

$$T_m = F_m \times l_m$$

$$T_m = 66,934 \text{ N} \times 0,5 \text{ m}$$

$$T_m = 33,467 \text{ N m}$$

$$F_{R2} = T_{p1} + F_m + T_{p2}$$

$$F_{R2} = 670,710 \text{ N}$$

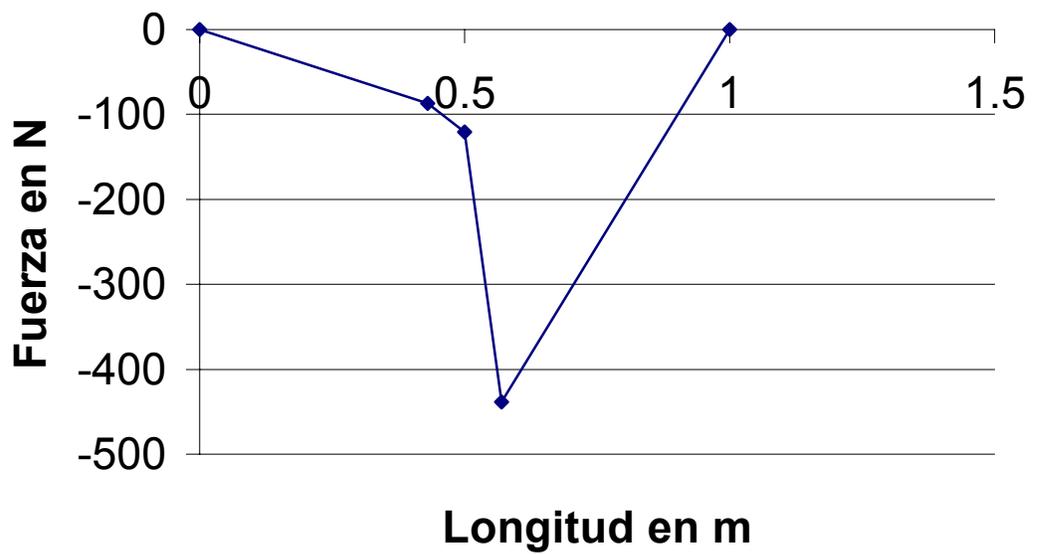
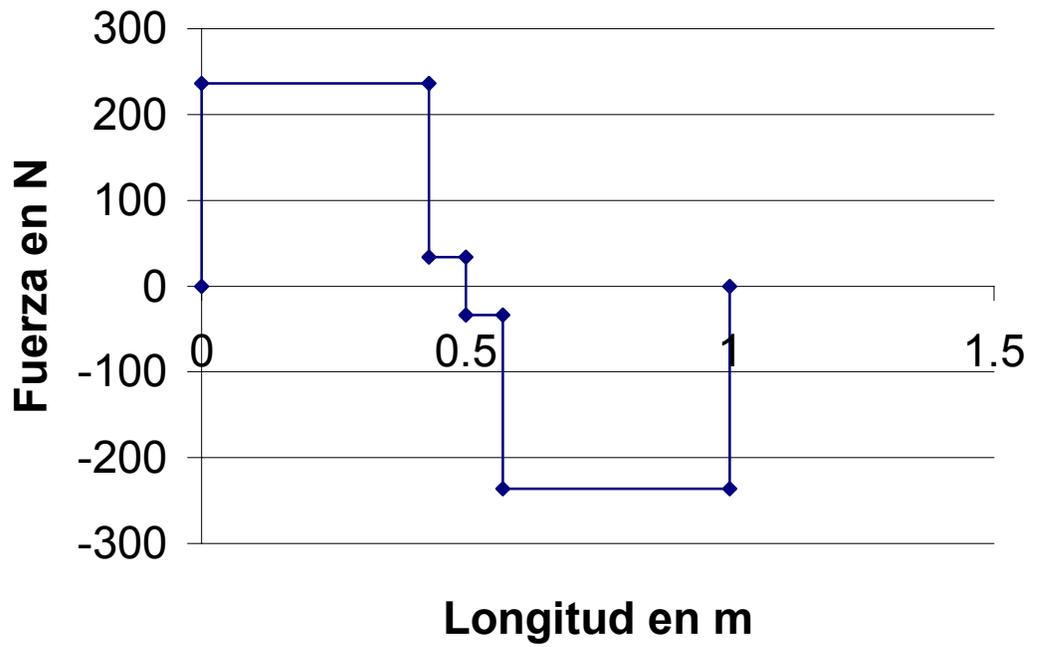
$$T_{R2} = F_{R2} \times l_{R2}$$

$$F_{R2} = \frac{T_{R2}}{l_{R2}}$$

$$F_{R2} = 670,710 \text{ N}$$

$$F_{R1} = 1341,81 \text{ N} - F_{R2}$$

$$F_{R2} = 670,710 \text{ N}$$



### 3.8.1.2 Caso 2

(Final de la Carrera)

$$\Sigma F = 0$$

$$F_{R1} - F_{p1} - F_m - F_{ch} + F_{R2} = 0$$

$$F_{p1} = F_{p2} = \frac{385,712N + 19,62N}{2} = 202,666N$$

$$F_{R1} + F_{R2} = 491,866N$$

$$\Sigma T = 0$$

Se toma como el origen el punto  $F_{R1}$

$$T_{p1} = T_{p1} \times l_{p1}$$

$$T_{p1} = 87,146 \text{ N m}$$

$$T_{p2} = T_{p2} \times l_2$$

$$T_{p2} = 151,519 \text{ N m}$$

$$T_m = 33,467 \text{ N m}$$

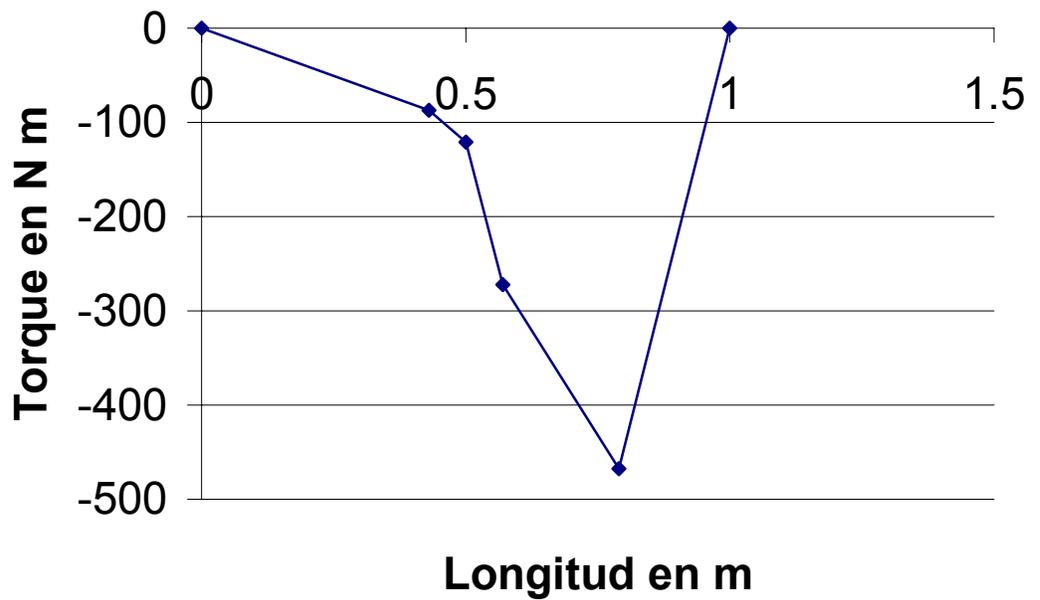
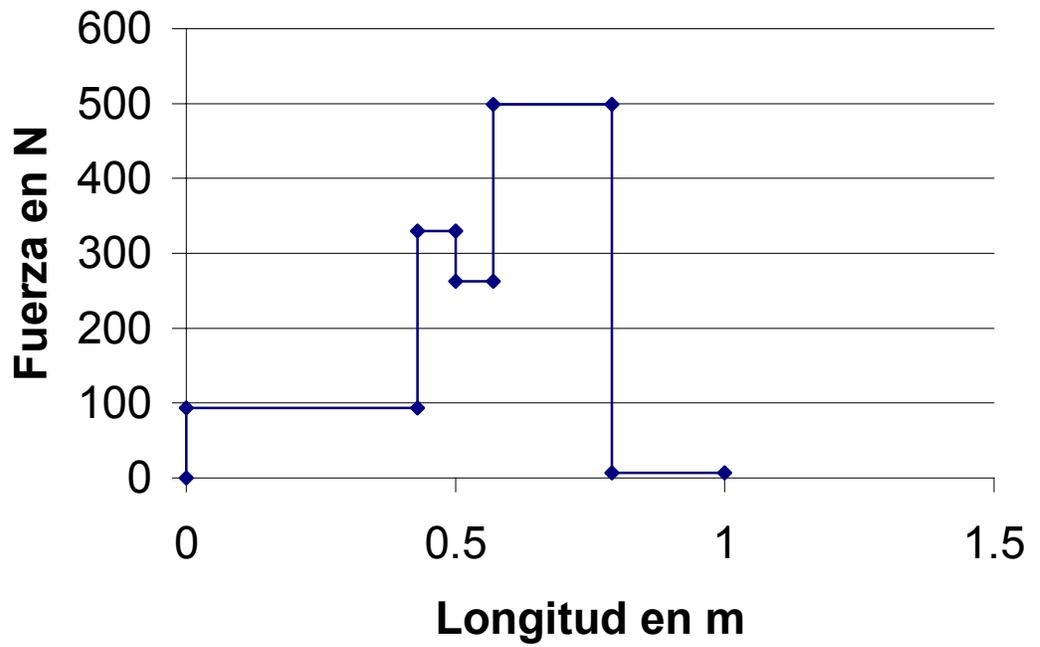
$$T_{FR2} = T_{p1} + T_m + T_{p2}$$

$$T_{FR2} = 272,122 \text{ N m}$$

$$F_{R2} = \frac{T_{R2}}{l_2}$$

$$F_{R1} = 438,799 \text{ N} - F_{R2}$$

$$F_{R1} = 236,133 \text{ N}$$



Se puede observar que los mayores torques se logran en el punto intermedio de la carrera.

$$\sigma_{\max} = \frac{T_{\max}}{S}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{670,710 \text{ Nxm}}{7,18 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_{\max} = 93413788,300 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\max} = 93,413 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\max} = \frac{F_{\max}}{A}$$

$$\tau_{\max} = \frac{670,710 \text{ N}}{8,7 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\tau_{\max} = 770311,494 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\max} = 0,880 \text{ Mpa}$$

$$y = y_{p1p2} + y_m$$

$$y_{p1p2} = \frac{637,438X}{6 \times 20,58 \times 10^{10} \times 33,4 \times 10^{-8}} (4X^2 + 3(0,43)^2 - 3 \times 2 \times 0,43)$$

$$y_{p1p2} = 1,545 \times 10^{-3} X^3 - 1,136 \times 10^{-3} X$$

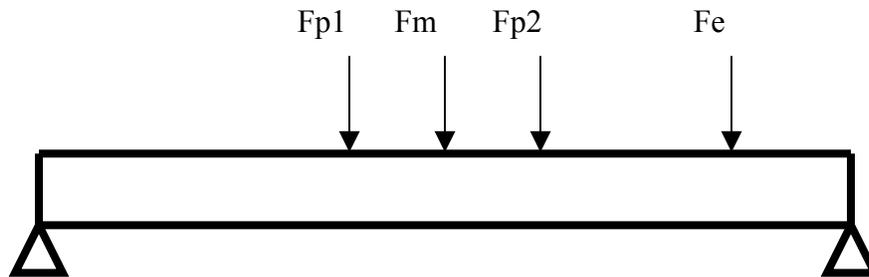
$$y_m = \frac{66,934}{48 \times 20,58 \times 10^{10} \times 33,4 \times 10^{-8}} (4X^2 - 3(1)^2)$$

$$y_m = 8,114 \times 10^{-5} X^3 - 6,086 \times 10^{-5} X$$

$$y = 1,626 \times 10^{-3} X^3 - 1,116 \times 10^{-3} X$$

$$y_{\max} = -3,547 \times 10^{-4} \text{ m}$$

### 3.8.2 Cálculo de la Viga 2



La fuerza del eje de la uña fue calculada en la pág. Y es de:

$$F_e = 247,34 \text{ N}$$

La fuerza generada del eje a la chumacera fue calculada anteriormente. Y es de:

$$F_{ch} = 377,975 \text{ N al final de la carrera}$$

$$F_{ch} = -491,639 \text{ N en un pto. Intermedio de la carrera.}$$

#### 3.8.2.1 Caso 1

**(Punto Intermedio de la carrera)**

$$\sum F = 0$$

$$F_{R1} - F_{p1} - F_m - F_{p2} - F_e + F_{R2} = 0$$

$$F_{p1} = F_{p2} - \frac{F_e + F_{ch}}{2}$$

$$F_{p1} = F_{p2} = \frac{-491,639 \text{ N} + 19,2 \text{ N}}{2}$$

$$F_{p1} = F_{p2} = -236,019 \text{ N}$$

$$F_{R1} + F_{R2} = 86,535 \text{ N}$$

Se toma como origen el punto  $F_{R1}$

$$T_{p1} - T_m + T_{p2} - T_e + T_{FR2} = 0$$

$$T_{FR2} = T_{p1} + T_m - T_{p2} + T_e$$

$$T_{p1} = F_{p1} \times l_{p1}$$

$$T_{p1} = 101,488 \text{ N m}$$

$$T_m = F_m \times l_m$$

$$T_m = 66,934 \text{ N} \times 0,5 \text{ m}$$

$$T_m = 33,467 \text{ N m}$$

$$T_{p2} = 236,019 \text{ N} \times 0,57 \text{ m}$$

$$T_{p2} = 134,530 \text{ N m}$$

$$T_e = F_e \times l_e$$

$$T_e = 247,34 \text{ N} \times 0,79 \text{ m}$$

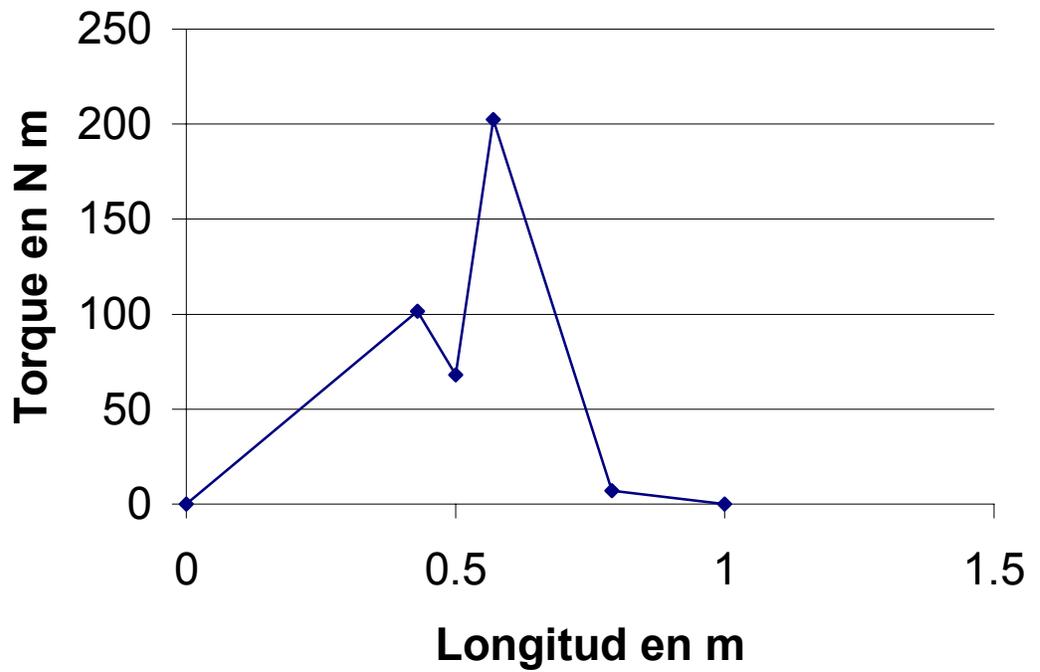
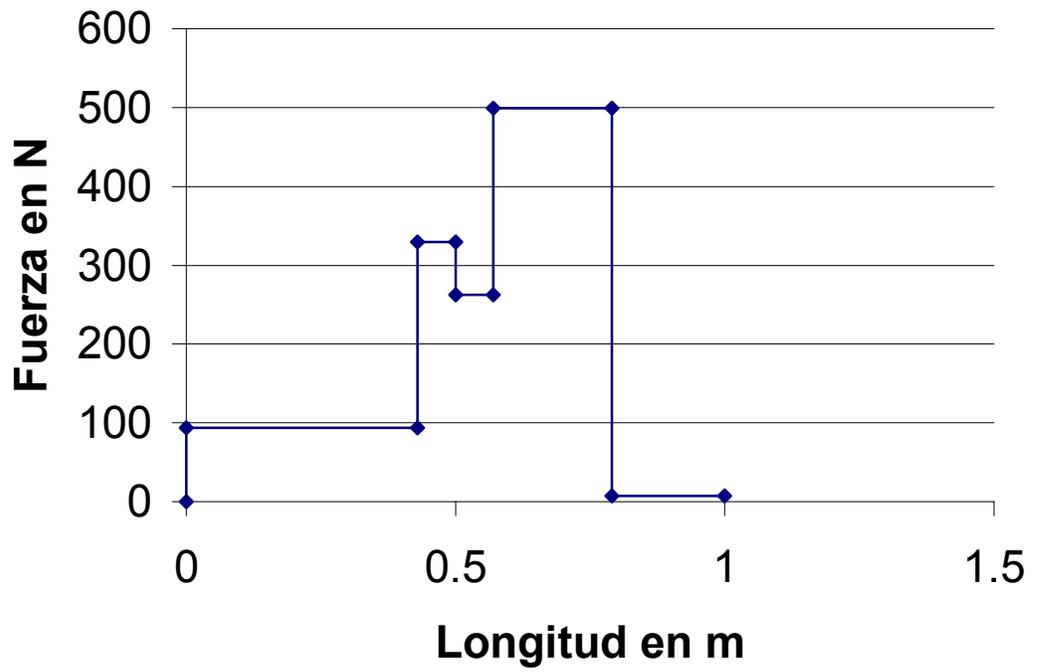
$$T_e = 195,398 \text{ N m}$$

$$T_{FR2} = -7,153 \text{ N m}$$

$$F_{R2} = -7,153 \text{ N}$$

$$F_{R1} = 86,535 - F_{RA}$$

$$F_{R1} = 93,608 \text{ N}$$



### 3.8.2.2 Caso 2

#### (Final de la Carrera)

$$\Sigma F = 0$$

$$FR1 - Fp1 - Fm - Fp2 - Fe + FR2 = 0$$

$$Fp1 = Fp2 = \frac{Fe + Fch}{2}$$

$$Fp1 = Fp2 = \frac{377,975N + 19,62N}{2}$$

$$Fp1 = Fp2 = 198,797 \text{ N}$$

$$FR1 + FR2 = 711,869 \text{ N}$$

$$\Sigma T = 0$$

Se toma como origen el punto de FR1

$$Tp1 - Tm + Tp2 - Te + TFR2 = 0$$

$$Tp1 = Fp1 \times lp1$$

$$Tp1 = 198,797 \text{ N} \times 0,43 \text{ m}$$

$$Tp1 = 85,482 \text{ N m}$$

$$Tm = Fm \times lcm$$

$$Tm = 66,934 \text{ N} \times 0,5 \text{ m}$$

$$Tm = 33,467 \text{ N m}$$

$$Tp2 = Fp2 \times lp2$$

$$Tp2 = 198,797 \text{ N} \times 0,57 \text{ m}$$

$$Tp2 = 113,314 \text{ N m}$$

$$Te = Fe \times le$$

$$Te = 24734 \text{ N} \times 0,79 \text{ m}$$

$$Te = 197,398 \text{ N m}$$

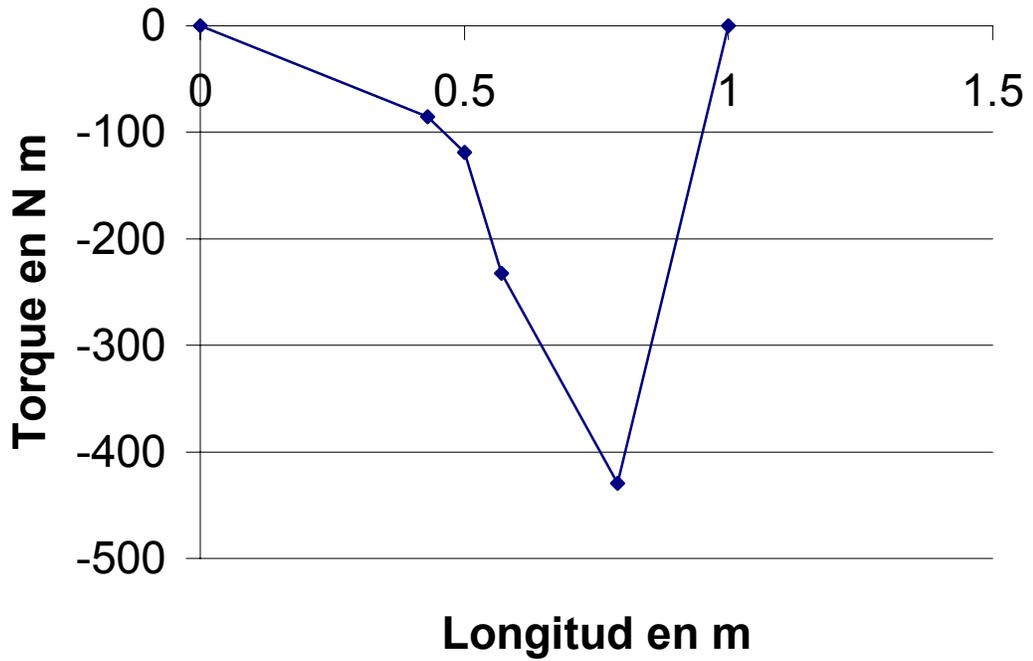
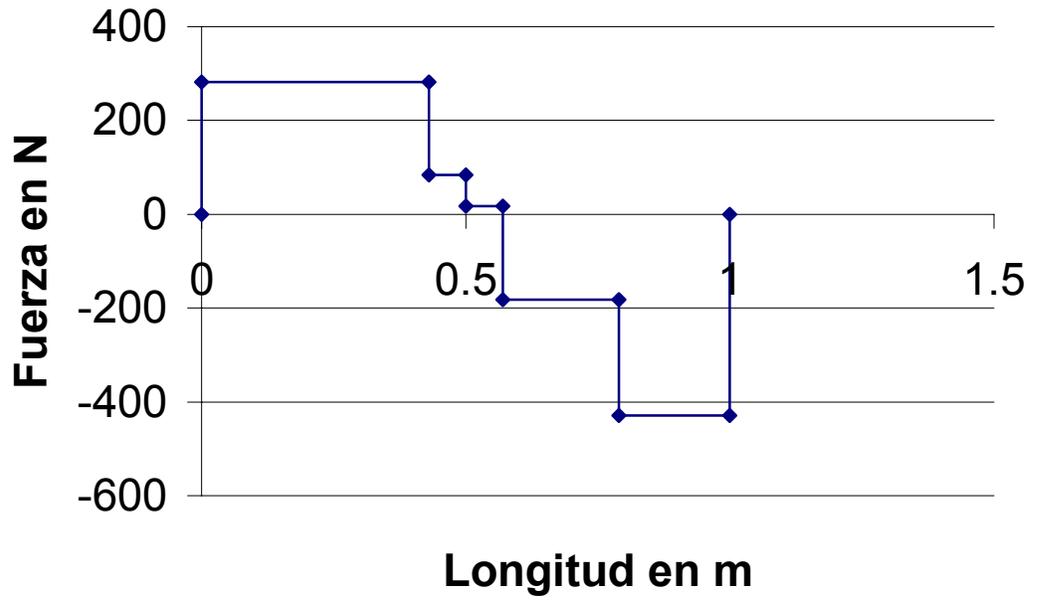
$$TFR2 = 429,661 \text{ N m}$$

$$TFR2 = FR2 \times lR2$$

$$TFR2 = 429,661 \text{ N}$$

$$FR1 = 711,869 - FR2$$

$$FR1 = 282,208 \text{ N m}$$



Las mayores fuerzas y torques se logran al final de la carrera.

$$\sigma_{\max} = \frac{T_{\max}}{S}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{429,611 \text{ Nxm}}{7,18 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_{\max} = 598,34401,144 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\max} = 59,834 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\max} = \frac{429,611 \text{ N}}{8,7 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\tau_{\max} = 493805,747 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\max} = 0,493 \text{ M Pa}$$

Se considera que la fuerza hecha por los pernos en el punto intermedio de la carrera hacia abajo incrementando la deformación.

$$y = y_{p1p2} + y_m + y_e$$

$$y_{p1p2} = \frac{245,819X}{6 \times 20,58 \times 10^{10} \times 33,4 \times 10^{-8}} (4X^2 + 3(0,43)^2 - 3(1) \times (0,43))$$

$$y_{p1p2} = 2,384 \times 10^{-3} X^3 - 4,382 \times 10^{-4} X$$

$$y_m = \frac{66,934X}{48 \times 20,58 \times 10^{10} \times 33,4 \times 10^{-8}} (4X^2 - 3(1)^2)$$

$$y_m = 8,114 \times 10^{-5} X^3 - 6,086 \times 10^{-5} X$$

$$y_e = \frac{(247,34) \times (0,21) \times (1-X)}{6 \times 20,58 \times 10^{10} \times 33,4 \times 10^{-8} \times 1} (X^2 - (0,21)^2 - 2 \times 1 \times X)$$

$$y_e = (1,259 \times 10^{-4} - 1,259 \times 10^{-4} X) (X^2 - 2X + 4,41 \times 10^{-2})$$

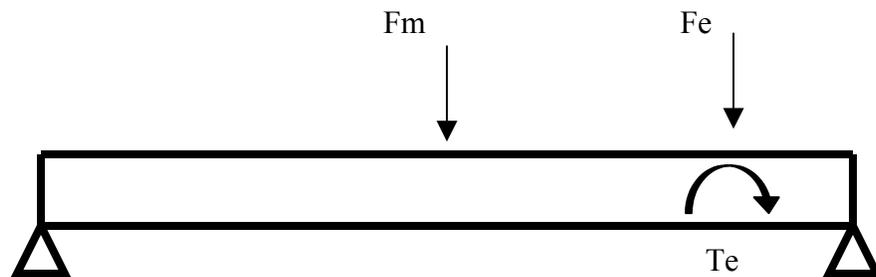
$$y_e = -1,259 \times 10^{-4} X^3 + 3,777 \times 10^{-4} X^2 - 2,573 \times 10^{-4} X + 5,552 \times 10^{-6}$$

$$\frac{dy}{dx} = 7,512 \times 10^{-4} X^2 + 7,554 \times 10^{-4} X - 7,563 \times 10^{-4}$$

$$x = 0,619$$

$$y_{\max} = -1,397 \times 10^{-4} \text{ m}$$

### 3.8.2 Cálculo de la Viga 3



Para ésta viga no hay variación de fuerzas al final o comienzo de la carrera.

Se considera que el torque que aguanta la pistola en su posición mas extrema es dado exclusivamente por el resorte de torsión, y que este lo transmite en su totalidad a la viga 3.

$$T_e = 106 \text{ N m}$$

La fuerza ejercida por el eje fue calculada anteriormente y es de:

$$F_e = 105,990 \text{ N}$$

$$\sum F = 0$$

$$F_{R1} - F_m - F_e + F_{R2} = 0$$

$$F_{R1} + F_{R2} = 172,924 \text{ N}$$

$$\sum T = 0$$

Se toma como origen el punto de  $F_{R1}$

$$-T_m - T_e - T_{fe} + T_{FR2} = 0$$

$$T_{FR2} = T_m + T_e + T_{fe}$$

$$T_m = F_m \times l_{cm}$$

$$T_m = 66,934 \text{ N} \times 0,5 \text{ m}$$

$$T_m = 33,934 \text{ N m}$$

$$T_{fe} = F_e \times l_e$$

$$T_{fe} = 105,990 \text{ N} \times 0,79 \text{ m}$$

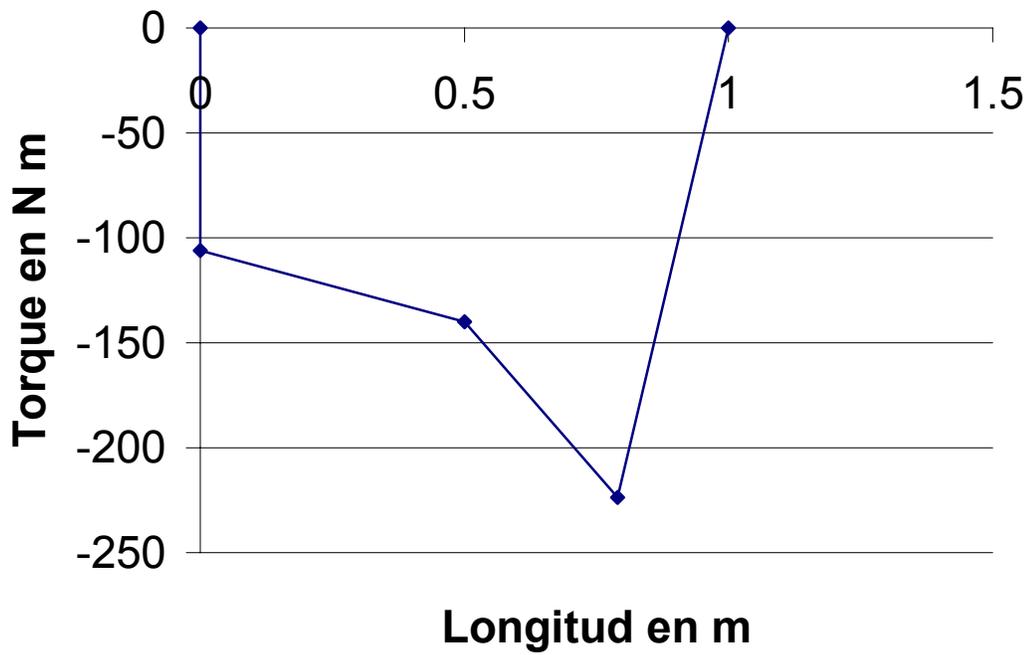
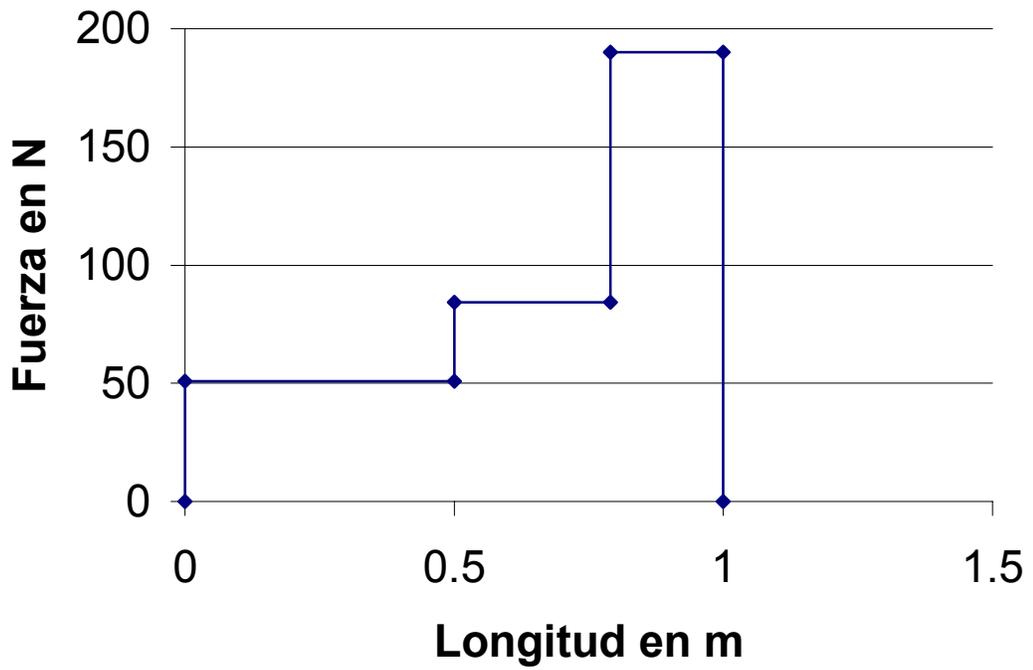
$$T_{fe} = 83,732 \text{ N m}$$

$$T_{FR2} = F_{R2} \times l_{R2}$$

$$F_{R2} = 223,666 \text{ N}$$

$$F_{R1} = 172,924 \text{ N} - 223,666 \text{ N}$$

$$F_{R1} = -50,742 \text{ N}$$



$$\sigma_{\max} = \frac{T_{\max}}{S}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{229,666 \text{ Nm}}{7,18 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_{\max} = 31986908,978 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\max} = 31,986 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\max} = \frac{F_{\max}}{A}$$

$$\tau_{\max} = \frac{223,666 \text{ N}}{8,7 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\tau_{\max} = 257087,356 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\max} = 0,257 \text{ MPa}$$

$$y = y_m + y_e + y_t$$

$$y_m = \frac{Fx}{48EI} (4X^2 - 3l^2)$$

$$y_m = \frac{66,934X}{4 \times 20,58 \times 10^{10} \times 33,4 \times 10^{-8} \times 1} (4X^2 - 3(1)^2)$$

$$y_m = 9,737 \times 10^{-4} X^3 - 7,303 \times 10^{-4} X$$

$$y_e = \frac{Fbx}{GEI} (X^2 - b^2 - l^2)$$

$$y_e = \frac{106 \times 0,21X}{6 \times 20,58 \times 10^{10} \times 33,4 \times 10^{-8} \times 1} (X^2 + (0,21)^2 - (1)^2)$$

$$y_e = 5,384 \times 10^{-5} X^3 - 5,146 \times 10^{-5} X$$

$$y_t = \frac{Mx}{GEI} (X^2 - 3a^2 - 6al + 2l^2)$$

$$y_t = \frac{105X}{6 \times 20,58 \times 10^{10} \times 33,4 \times 10^{-8} \times 1} (X^2 - 4,612)$$

$$y_t = 2,545 \times 10^{-4} X^3 - 1,174 \times 10^{-3} X$$

$$y = 1,282 \times 10^{-3} X^3 - 1,955 \times 10^{-3} X$$

$$\frac{dy}{dx} = 3,846 \times 10^{-3} X^2 - 1,955 \times 10^{-3} = 0$$

$$x = 0,508 \text{ m}$$

$$y_{\max} = -8,250 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Cálculo del esfuerzo generado por el momento torsor.

$$\tau_{\max} = \frac{T}{\alpha b x^2}$$

$$\frac{b}{c} = \frac{130}{6}$$

$$\frac{b}{c} = 21,333$$

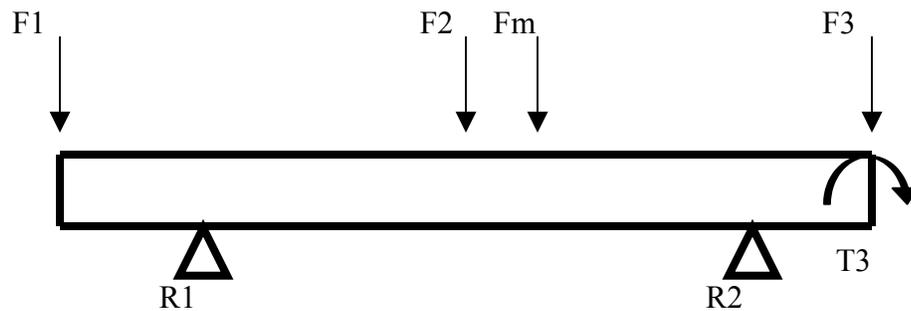
$$\alpha = 0,333$$

$$\tau_{\max} = \frac{86,8 \text{ Nxm}}{0,333 \times 0,13 \times (0,16)^2}$$

$$\tau_{\max} = 56203056,20 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\max} = 56,206 \text{ MPa}$$

### 3.8.4 Cálculo de la Viga 4



Las F1, F2 y F3 fueron calculados anteriormente.

Se supone que el T3 está solamente soportada por ésta viga.

### 3.8.4.1 Caso 1

**(Punto Intermedio de la carrera)**

$$F1 = 670,710 \text{ N}$$

$$F2 = -7,153 \text{ N}$$

$$F3 = 223,666 \text{ N}$$

$$m = m \times l$$

$$m = 6,83 \text{ Kg/m} \times 0,45 \text{ m}$$

$$m = 3,073 \text{ Kg}$$

$$Fm = m \times g$$

$$Fm = 30,151 \text{ N}$$

$$-F1 + FR1 - F2 - Fm + FR2 - F3 = 0$$

$$FR1 + FR2 = 917,374 \text{ N}$$

$$\sum T = 0$$

Se toma como origen el punto F1

Se desprecia el Tf3 ya que el carro se desplaza.

A una velocidad constante

$$TR1 - Tm + TF2 + TR2 - Tf3 = 0$$

$$Tm = Fm \times l \text{ cm}$$

$$Tm = -30,151 \text{ N} \times 0,225 \text{ m}$$

$$Tm = 6,784 \text{ N m}$$

$$T2 = F2 \times l 2$$

$$T2 = 7,153 \text{ N} \times 0,217 \text{ m}$$

$$T2 = 1,555 \text{ N m}$$

$$T3 = F3 \times l 3$$

$$T3 = 223,666 \text{ N} \times 0,45 \text{ m}$$

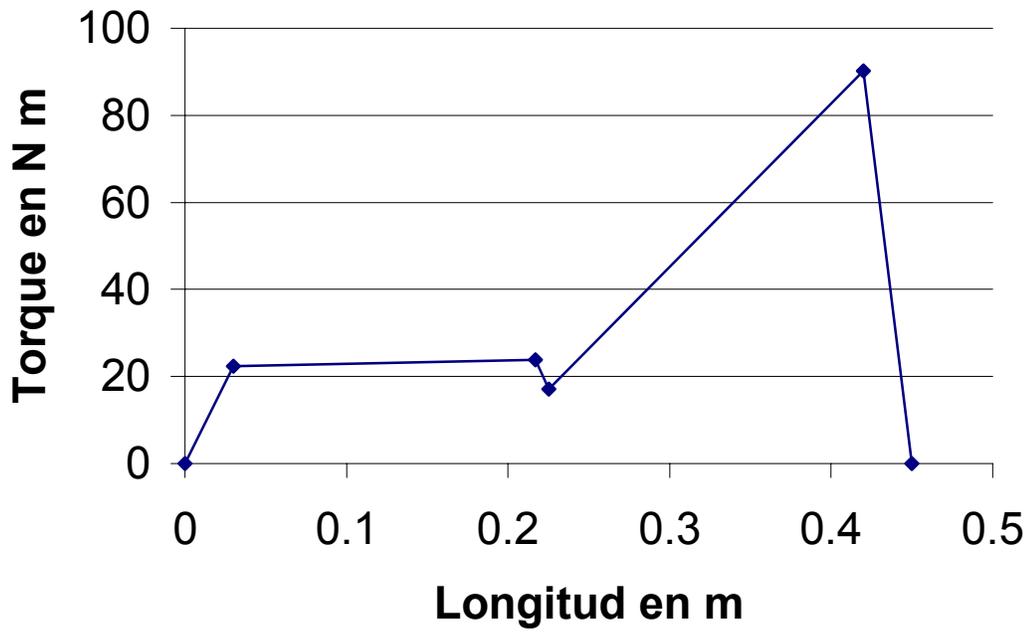
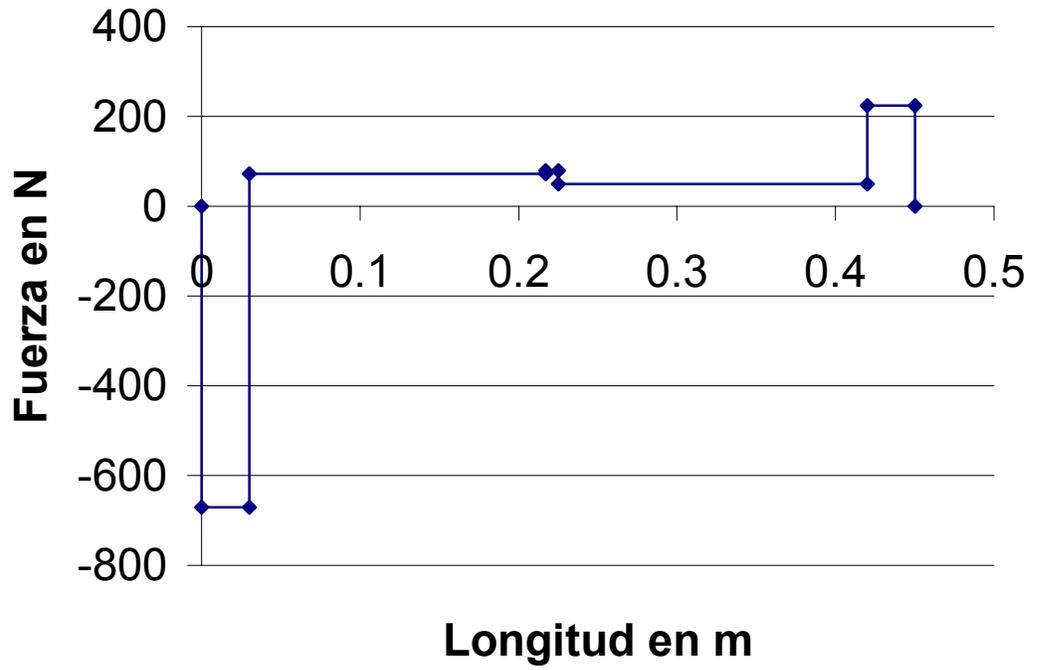
$$T3 = 100,649 \text{ N m}$$

$$T_{R1} + T_{R2} = 95,42 \text{ N m}$$

$$\begin{cases} 0,03 F_{R1} + 0,42 F_{R2} = 95,42 \text{ N m} \\ F_{R1} + F_{R2} = 917,374 \text{ N} \end{cases}$$

$$F_{R1} = 743,274 \text{ N}$$

$$F_{R2} = 174,099 \text{ N}$$



### 3.8.4.2 Caso 2

(Final de la carrera)

$$F_1 = 272,122 \text{ N}$$

$$F_2 = 429,661 \text{ N}$$

$$F_3 = 223,666 \text{ N}$$

$$T_3 = -86,8 \text{ N m}$$

$$\sum F = 0$$

$$-F_1 + F_{R1} - F_2 - F_m + F_{R2} - F_3 = 0$$

$$F_{R1} + F_{R2} = 955,6 \text{ N}$$

$$\sum T = 0$$

Se toma como origen el punto fl

$$T_{R1} - T_m - T_{f2} + T_{R2} - T_3 - T_{f3} = 0$$

$$T_m = 6,784 \text{ N m}$$

$$T_2 = F_2 \times l_2$$

$$T_2 = 429,661 \text{ N} \times 0,217 \text{ m}$$

$$T_2 = 93,236 \text{ N m}$$

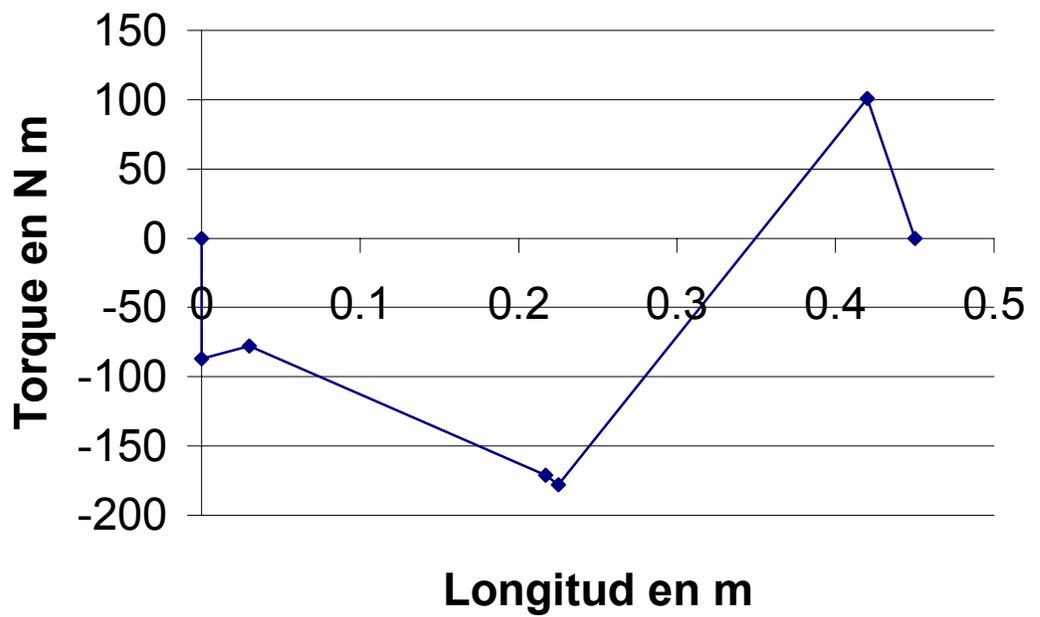
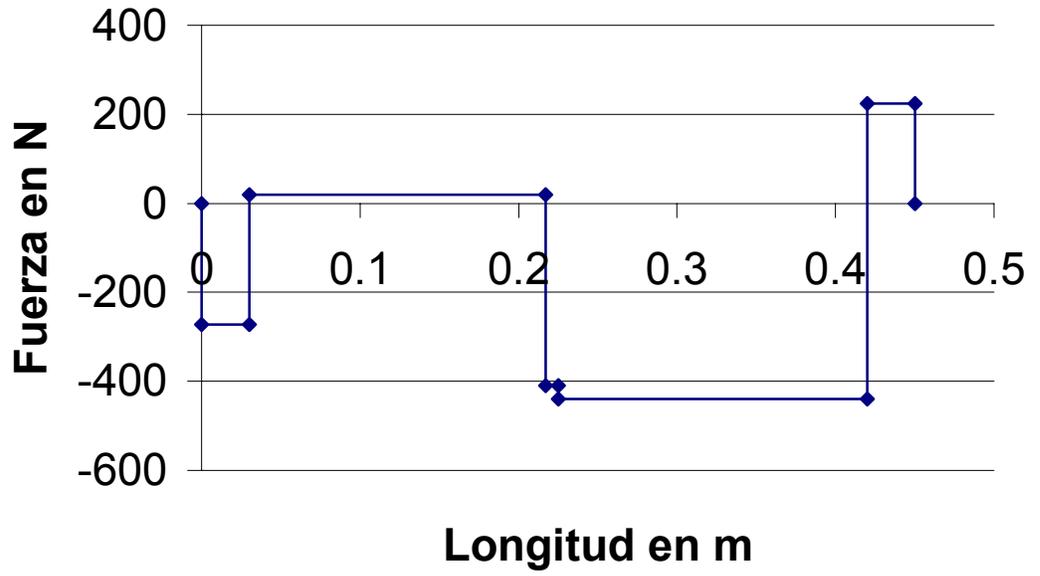
$$T_3 = F_3 \times l_3$$

$$T_3 = 22,666 \text{ N} \times 0,45 \text{ m}$$

$$T_3 = 100,649 \text{ N m}$$

$$\begin{cases} 0,03 F_{R1} + 0,42 F_{R2} = 287,469 \text{ N m} \\ F_{R1} + F_{R2} = 955,555 \text{ N} \end{cases}$$

$$\begin{cases} F_{R1} = 291,959 \text{ N} \\ F_{R2} = 663,597 \text{ N} \end{cases}$$



$$\sigma_{\max} = \frac{T_{\max}}{S}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{178,061 \text{ Nm}}{7,18 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_{\max} = 24799582,172 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\max} = 24,799 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{\max} = \frac{F}{A}$$

$$\tau_{\max} = \frac{670,710 \text{ N}}{8,7 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\tau_{\max} = 770831 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\max} = 0,770 \text{ M Pa}$$

### 3.8.4.3.1 Cálculo de la deformación

Se divide a esta viga en tres secciones las cuales tienen su origen y fin en las ruedas.

Se considera la unión de la viga como un empotramiento.

Se consideran las mayores fuerzas.

$$y_{\max} = \frac{-Fl^3}{3xEeL}$$

$$y_{\max} = \frac{670,710 \times (0,03)^3}{3 \times 20,58 \times 10^{10} \times 33,4 \times 10^{-8}}$$

$$y_{\max} = -8,781 \times 10^{-8} \text{ m}$$

### 3.8.4.3.2 Sección 2

$$y = y_m + y_{F2}$$

$$y_m = \frac{26,130X}{48x20,58x10^{10}x33,4x10^{-8}} (4X^2 - 3(0,39)^2)$$

$$y_m = 3,167x10^{-5} X^3 - 3,613x10^{-6} X$$

$$y_{F2} = \frac{FxbxX}{6xExLxl} (X^2 + b^2 + l^2)$$

$$y_{F2} = \frac{429,611x0,203}{6x20,58x10^{10}x33,4x10^{-8}x0,39} (X^2 + (0,203)^2 - (0,39)^2)$$

$$y_{F2} = 5,422x10^{-4} X^3 - 6,013x10^{-5} X$$

$$y = 5,738x10^{-4} X^3 - 6,374 x 10^{-5} X$$

$$\frac{dy}{dx} = 1,147x X^2 - 6,374 x 10^{-5}$$

$$x = 0,333m$$

$$y_{max} = -3,725 x 10^{-8} m$$

### 3.8.4.2.3 Sección 3

$$y = y_{F3} + y_T$$

$$y_{F3} = \frac{FX^2}{6EI} (X x 3l)$$

$$y_{F3} = \frac{223,666X^2}{6x20,58x10^{10}x33,4x10^{-8}} (X - 0,08)$$

$$y_{F3} = 5,423x10^{-4} X^3 - 4,880x10^{-5} X^2$$

$$y_T = \frac{MX^2}{2EL}$$

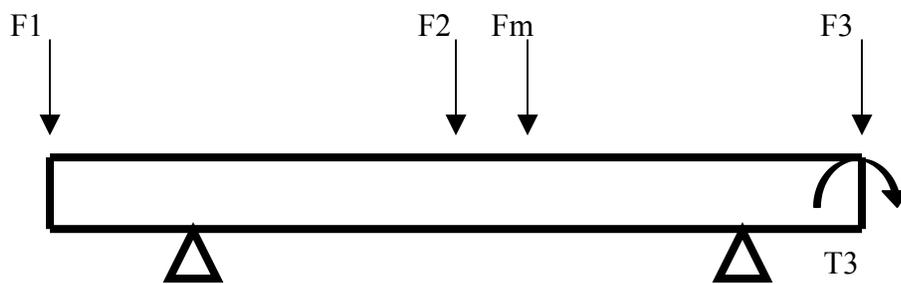
$$y_T = \frac{856,8X^2}{2x20,58x10^{10}x33,4x10^{-8}}$$

$$y_T = 6,313 \times 10^{-4} X^2$$

$$y = 5,423 \times 10^{-4} X^3 + 6,801 \times 10^{-4} X^2$$

$$y_{\max} = -6,267 \times 10^{-7} \text{ m}$$

### 3.8.5 Cálculo de la Viga 5



Las F1, F2, F3 fueron calculadas en anteriormente.

Se suponen que el T3 está totalmente soportada por ésta viga.

#### 3.8.5.1 Caso 1

(Punto Intermedio de la Carrera)

$$F1 = 670,710 \text{ N}$$

$$Fm = 30,151 \text{ N}$$

$$F2 = 93,608 \text{ N}$$

$$F3 = 50,742 \text{ N}$$

Se desprecia el  $T_3$ , ya que se desplaza a velocidad constante.

$$\sum F = 0$$

$$-F_1 + F_{R1} - F_m - F_2 + F_{R2} + F_3 = 0$$

$$F_{R2} + F_3 = 700,861 \text{ N}$$

$$\sum T = 0$$

$$T_{R1} - T_m - T_{F2} + T_{R2} + T_3 = 0$$

$$T_m = 6,784 \text{ N m}$$

$$T_2 = F_2 \times l_2$$

$$T_2 = 83,608 \text{ N} \times 0,217 \text{ m}$$

$$T_2 = 20,312 \text{ N m}$$

$$T_3 = F_3 \times l_3$$

$$T_3 = 50,742 \text{ N} \times 0,45 \text{ m}$$

$$T_3 = 22,833 \text{ N m}$$

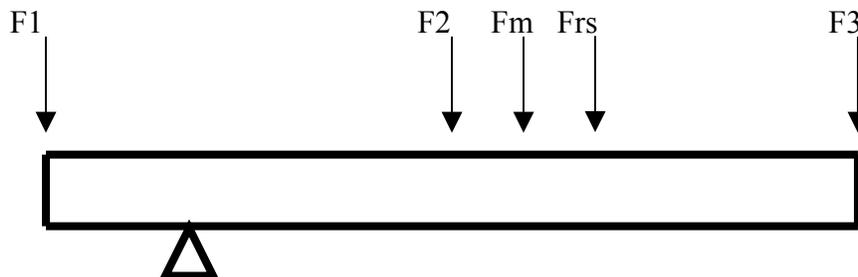
$$T_{R1} + T_{R2} = 4,263 \text{ N m}$$

$$\begin{cases} 0,03 F_{R1} + 0,42 F_{R2} = 4,263 \text{ N x m} \\ F_{R1} + F_{R2} = 700,861 \text{ N} \end{cases}$$

$$F_{R1} = 743,842 \text{ N}$$

$$F_{R2} = - 42,981 \text{ N}$$

Se sabe que la rueda 2 no puede ejercer una fuerza hacia abajo por lo que en éste caso quien realiza ésta fuerza es la rueda de seguridad, por lo que se realizan los cálculos obviando la  $F_{R2}$  y colocando la rueda de seguridad.



$$\Sigma F = 0$$

$$- F_1 + F_{R1} - F_m - F_2 - F_{RS} + F_3 = 0$$

$$F_{R1} - F_{RS} = 700,861 \text{ N}$$

$$\Sigma T = 0$$

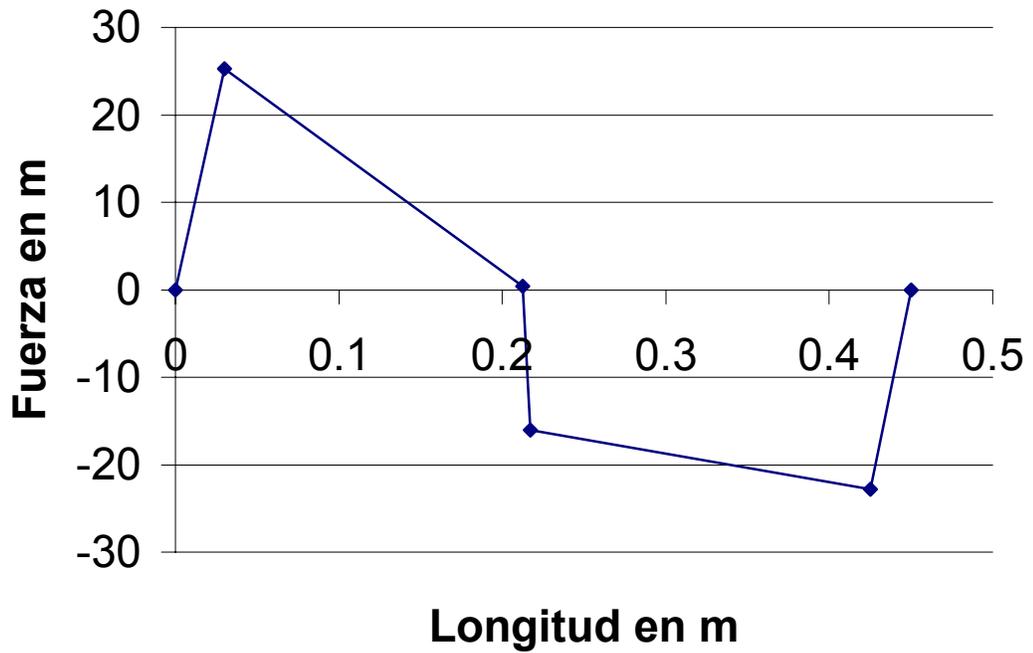
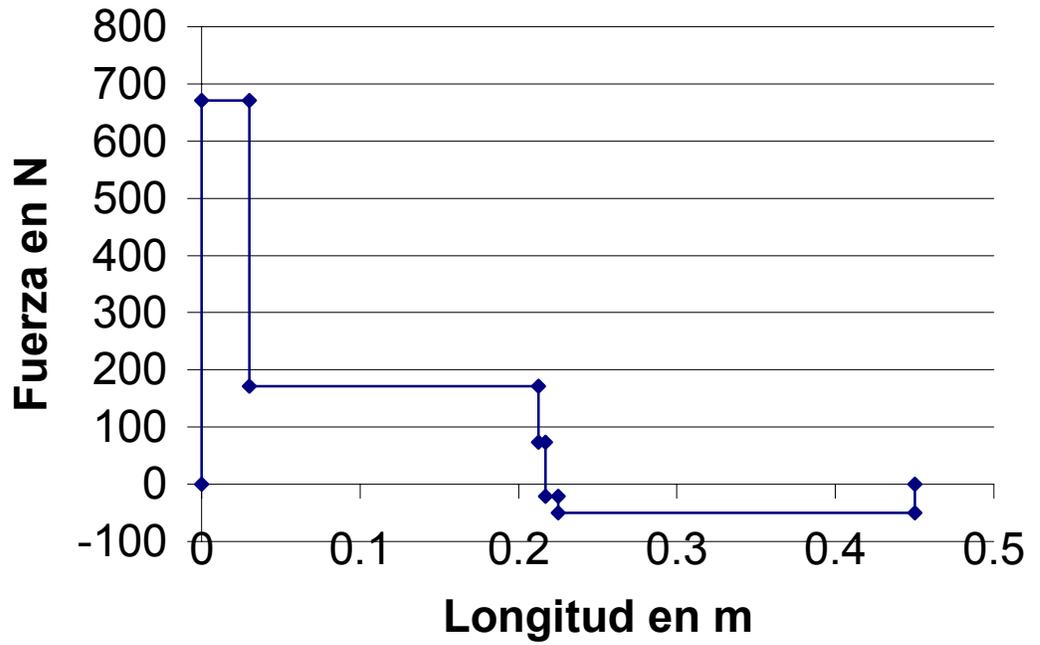
Se toma como origen el punto F1

$$T_{R1} - T_{RS} = 4,263 \text{ N m}$$

$$\begin{cases} 0,03 F_{R1} - 0,2125 F_{RS} = 4,263 \text{ N m} \\ F_{R1} - F_{RS} = 743,727 \text{ N} \end{cases}$$

$$F_{R1} = 842,624 \text{ N}$$

$$F_{RS} = 98,897 \text{ N}$$



### 3.8.5.2 Caso 2

**(Final de la Carrera)**

$$F_1 = 236,133 \text{ N}$$

$$F_2 = 282,203 \text{ N}$$

$$F_3 = -50,742 \text{ N}$$

$$F_m = 30,151 \text{ N}$$

$$T_3 = 86,8 \text{ N}$$

$$\sum F = 0$$

$$-F_1 + F_{R1} - F_2 - F_m + F_{R2} + F_m = 0$$

$$F_{R1} + F_{R2} = 497,745 \text{ N}$$

$$\sum T = 0$$

$$-T_{R1} - T_{R2} - T_m + T_{R2} - T_3 + T_{R3} = 0$$

$$T_{R2} = F_2 \times l_2$$

$$T_{R2} = 282,203 \text{ N} \times 0,221 \text{ m}$$

$$T_{R2} = 62,351 \text{ N m}$$

$$T_m = 6,784 \text{ N m}$$

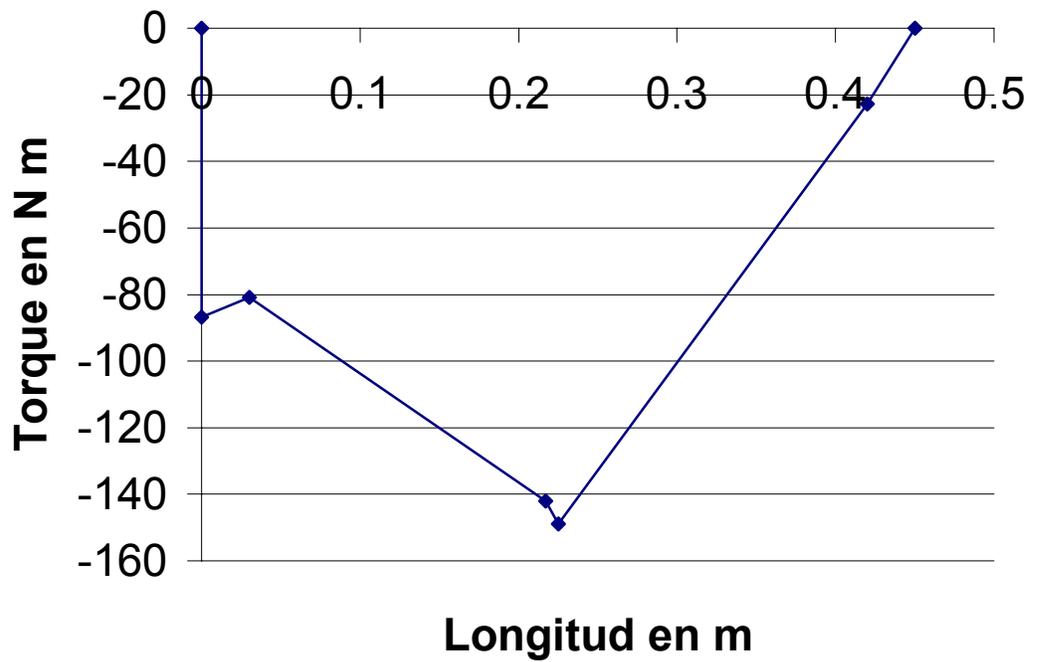
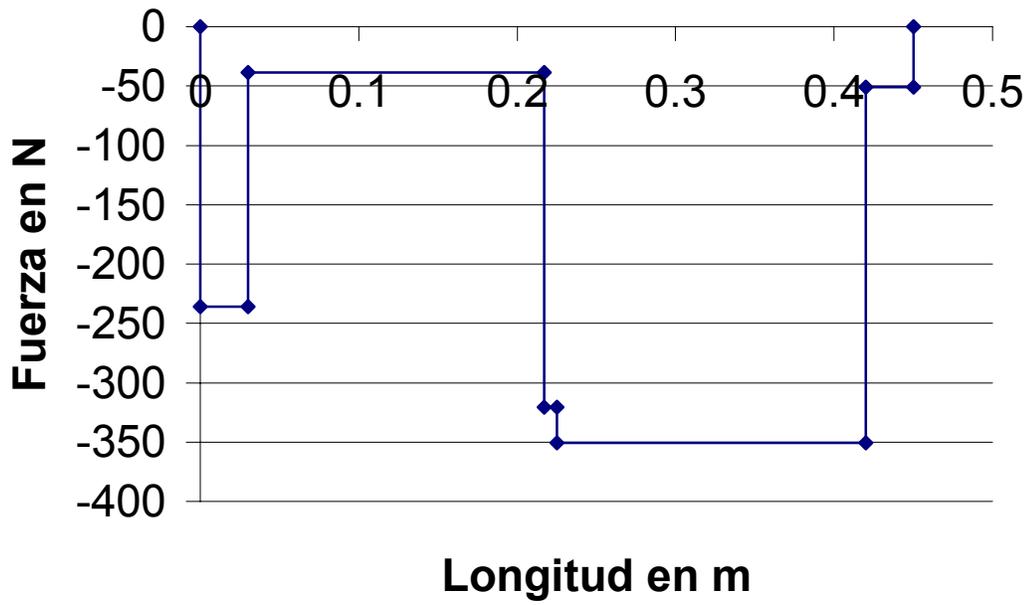
$$T_{R3} = 22,833 \text{ N m}$$

$$T_{R1} + T_{R2} = 131,989 \text{ N m}$$

$$\begin{cases} 0,03 F_{R1} + 0,42 F_{R2} = 131,989 \text{ N m} \\ F_{R1} - F_{R2} = 497,745 \text{ N} \end{cases}$$

$$F_{R1} = 197,589 \text{ N}$$

$$F_{R2} = 300,145 \text{ N}$$



$$\sigma_{\max} = \frac{T_{\max}}{S}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{92,602 \text{ Nxm}}{7,18 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_{\max} = 13454317,549 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\max} = 13,454 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\max} = \frac{F}{A}$$

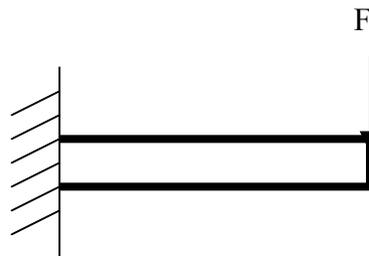
$$\tau_{\max} = \frac{670,710 \text{ N}}{8,7 \times 10^{-4} \text{ m}}$$

$$\tau_{\max} = 770931 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\max} = 0,770 \text{ MPa}$$

Los esfuerzos y requerimientos de esta viga son menores a los de la viga 4 y están distribuidos de la misma forma por lo que la deformación va a ser menor.

### 3.8.6 Cálculo de la viga 6



De cálculos anteriores se saca que la Fa debe ser al menos igual a 348 N

Para efectos de los cálculos se asume:

$$F = 348 \text{ N}$$

$$T = fx \text{ b}$$

$$T = 348 \text{ N} \times 0,28 \text{ m}$$

$$T = 97,44 \text{ N m}$$

$$\tau_{\max} = \frac{F}{A}$$

Se reparte entre dos vigas las cuales se suponen iguales para efectos de los cálculos.

$$A = 0.0195 \text{ m} \times 0,006 \text{ m}$$

$$A = 0,000117 \text{ m}^2$$

$$\tau_{\text{max}} = \frac{348N}{0,00017m^2}$$

$$\tau_{\text{max}} = 1487179,486 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\text{max}} = 1,487 \text{ M Pa}$$

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{M_{\text{max}}}{S}$$

$$S = \frac{I}{C}$$

$$I = \frac{bxh^3}{12}$$

$$I = \frac{0,0195m(0,006)^3 m}{12}$$

$$I = 3,5 \times 10^{-9} \text{ m}^4$$

$$C = \frac{h}{2}$$

$$C = 0,014$$

$$S = 2,5 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{97,4Nm}{1,17 \times 10^{-7} m^3}$$

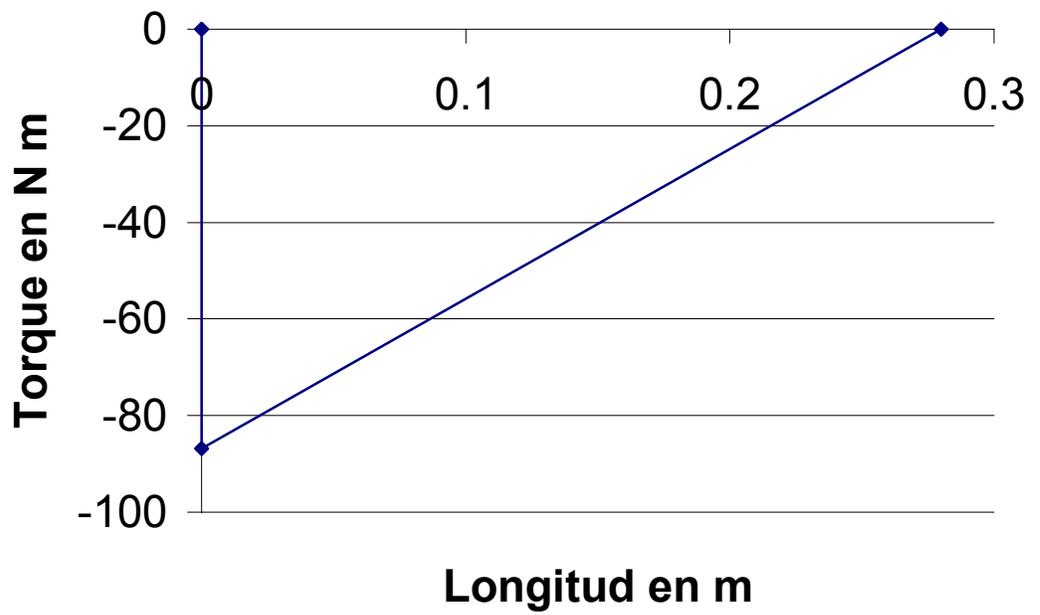
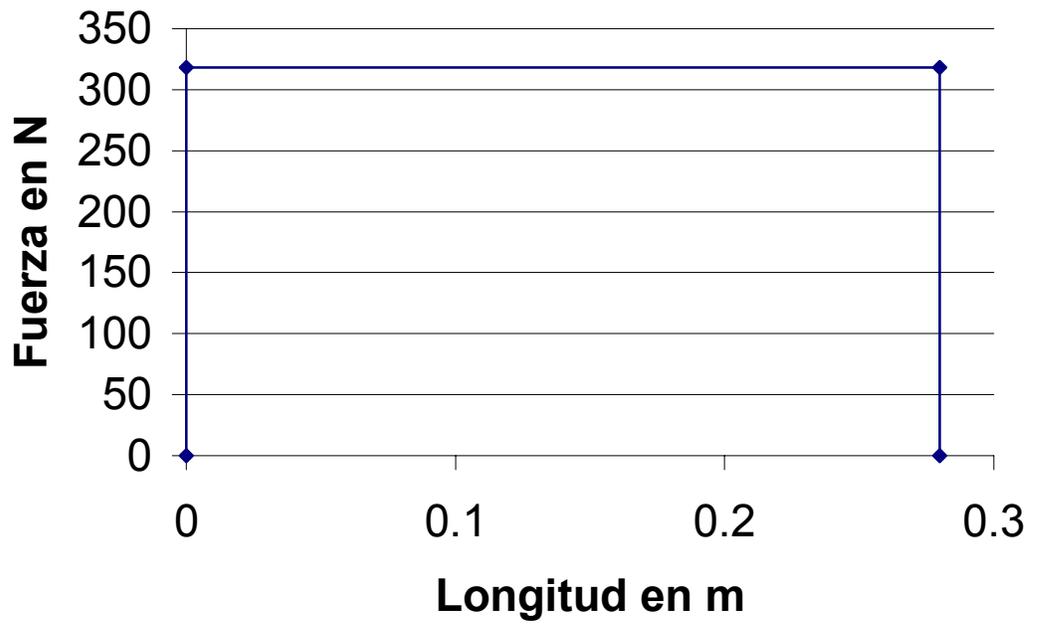
$$\sigma_{\text{max}} = 389600000 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\text{max}} = 3.896 \text{ Mpa}$$

$$y_{\text{max}} = \frac{Fl^3}{3EI}$$

$$y_{\text{max}} = \frac{174(0,28)^3}{3 \times 20,58 \times 10^{10} \times 3,5 \times 10^{-9}}$$

$$y_{\text{max}} = -1,574 \times 10^{-3} \text{ m}$$



### 3.9 Cálculo de las Fuerzas de las Ruedas

La mayor fuerza que soporta las ruedas principales es de  $FR = 842,624 \text{ N}$  calculado anteriormente.

Llevándolo a Kg se obtiene  $F = 85,894 \text{ Kg}$

El fabricante “Yanuraya S.A.” aseguró que la rueda elegida puede soportar una fuerza máx de 120Kg.

En cambio la fuerza máxima que soporta la rueda de seguridad es 98,897 N los cuales llevado a Kg son unos 10,081 Kg

El mismo fabricante nos afirmó que la rueda de seguridad puede soportar una carga máxima de 15 Kg

### 3.10 Cálculo de los Rieles

#### Datos y Consideraciones:

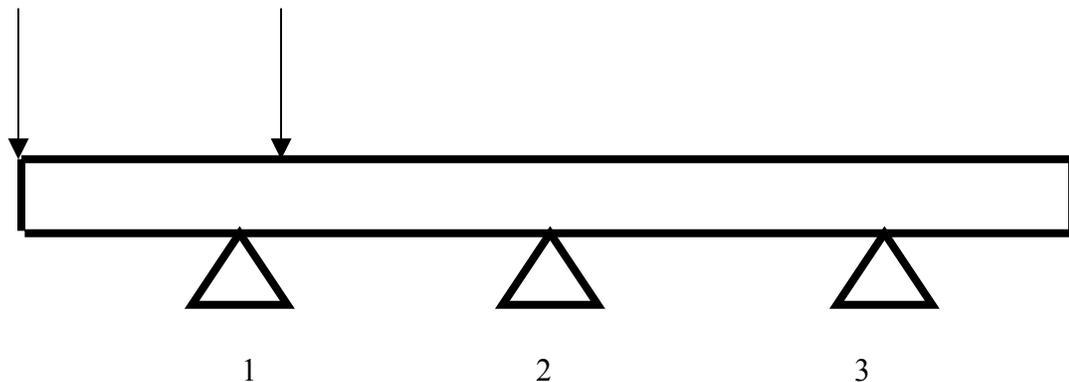
- Los rieles se consideran como una viga hiperestática continua por lo que usamos la ecuación de los tres momentos.
- Se consideran 2 casos, el primero cuando está un extremo de la carrera, el segundo en un punto intermedio de la carrera.
- Se calcula los casos más solicitados en los rieles.

#### 3.10.1 Caso 1 (En el extremo)

$$FR1 = 261,959 \text{ N}$$

$$FR2 = 663,597 \text{ N}$$

$$FR2 \qquad \qquad FR1$$



$$M_1 L_1 + 2 M_2 (L_1 + L_2) + M_3 l_2 + \frac{6 A_1 a_1}{L_1} + \frac{6 A_2 a_2}{L_2} = 0$$

$$M_1 = M_m + M_{FR2}$$

$$M_m = F_m \times l_{cm}$$

$$F_m = m \times l \times g$$

$$F_m = 6,83 \frac{Kg}{m} \times 0,25 \text{ m} \times 9,81 \frac{m}{sg^2}$$

$$F_m = 16,750 \text{ N}$$

$$M_m = 16,750 \text{ N} \times 0,125 \text{ m}$$

$$M_m = 2,093 \text{ Nm}$$

$$M_{FR2} = 663,597 \text{ N} \times 0,25 \text{ m}$$

$$M_{FR2} = 165,899 \text{ Nm}$$

$$M_A = 167,992 \text{ Nm}$$

$$M_2 = 2,093 \text{ Nm}$$

Para calcular  $\frac{6A1a1}{L}$  en el tramo 1 se halla con la suma de los casos de la masa y de la rueda a

$$F_m = 6,83 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} \times 0,49\text{m} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{sg}^2}$$

$$F_m = 32,831 \text{ N}$$

$$\frac{6A1a1}{L} = \frac{261,959 \times 0,13}{0,49} \times (0,49^2 - 0,13^2) + \frac{32,831 \times 0,245}{0,49} \times (0,49^2 - 0,245^2)$$

$$\frac{6A1a1}{L} = 18,468 \text{ Nm}^2$$

$$\frac{6A1a1}{L} = \frac{F_m \times a \times c \times m}{L} \times (L^2 - a \times c \times m^2)$$

$$\frac{6A1a1}{L} = \frac{32,831 \times 0,245}{0,49} \times (0,49^2 - 0,245^2)$$

$$\frac{6A1a1}{L} = 2,956 \text{ Nm}^2$$

$$1,48 M_2 = -63,945 \text{ Nm}^2$$

$$M_2 = -43,206 \text{ Nm}$$

$$F_2 = \frac{43,206 \text{ Nm} - 2093 \text{ Nm}}{0,49 \text{ m}}$$

$$F_2 = 83,904 \text{ N}$$

$$\Sigma F = 0$$

$$-FR_2 - F_{cm1} + F_1 - FR_1 - F_{cm2} + F_2 - F_{cm3} + F_3 - F_{cm4} = 0$$

$$F_1 + F_3 = 940,814 \text{ N}$$

$$\Sigma T = 0$$

Se toma como origen en punto  $FR_1$

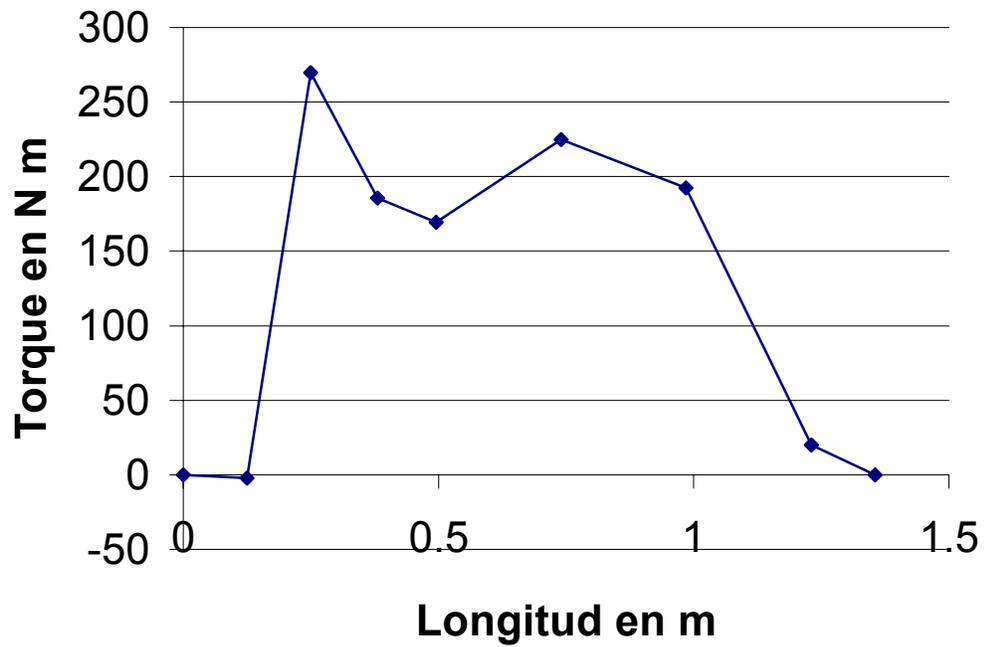
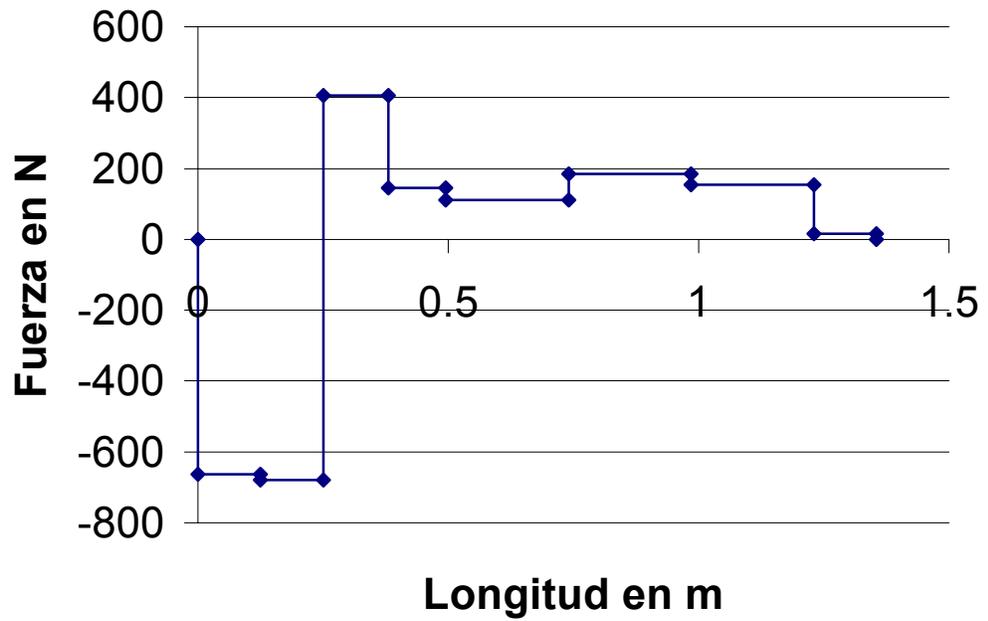
$$-T_{cm1} + TF_1 - TR_1 - T_{cm2} + TF_2 - TF_{cm3} + TF_3 - TF_{cm4} = 0$$

$$0,25 F_1 + 1,23 F_3 = 110,834 \text{ Nm}$$

$$\begin{cases} F_1 + F_3 = 940,814 \text{ N} \\ 0,25 F_1 + 1,23 F_3 = 110,834 \text{ Nm} \end{cases}$$

$$F_1 = 1067,721 \text{ N}$$

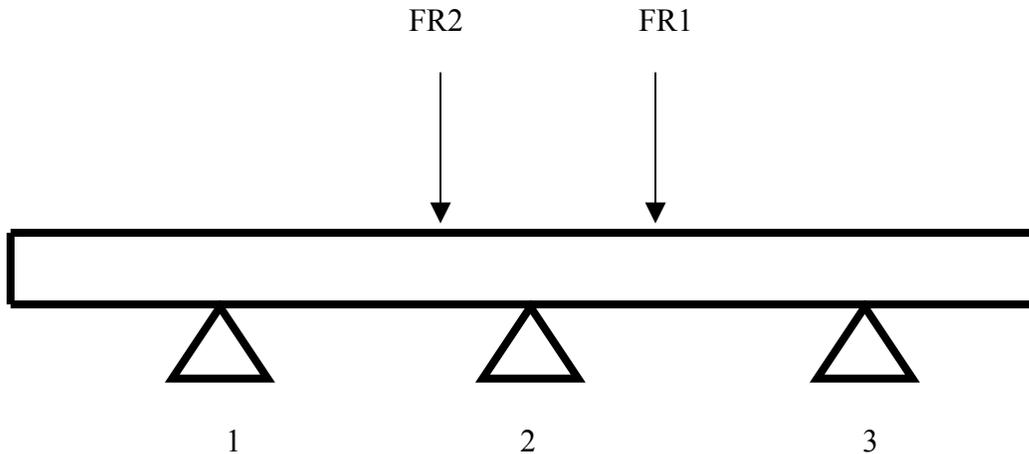
$$F_3 = -126,907 \text{ N}$$



### 3.10.2 Caso 2 (Punto Intermedio)

#### Datos y Consideraciones

- Se ubica el carro en el centro de los rieles.
- Se calcula el más solicitado de los rieles



$$FR1 = 743,274 \text{ N}$$

$$FR2 = 174,099 \text{ N}$$

$$M_1 L_1 + 2 M_2 (L_1 + L_2) + M_3 l_2 + \frac{6 A_1 a_1}{L_1} + \frac{6 A_2 a_2}{L_2} = 0$$

$$M_1 = 2,093 \text{ Nm}$$

$$M_3 = 2,093 \text{ Nm}$$

$$\frac{6 A_1 a_1}{L_1} = \frac{174,099 \times 0,3}{0,49} \times (0,49^2 - 0,3^2) + \frac{32,831 \times 0,245}{0,49} \times (0,49^2 - 0,245^2)$$

$$\frac{6 A_1 a_1}{L_1} = 18,995 \text{ Nm}^2$$

$$\frac{6 A_2 a_2}{L_2} = \frac{743,274 \times 0,3}{0,49} \times (0,49^2 - 0,3^2) + \frac{32,831 \times 0,245}{0,49} \times (0,49^2 - 0,245^2)$$

$$\frac{6A2a2}{L2} = 71,261 \text{ Nm}^2$$

$$M2 = -61,690 \text{ Nm}$$

$$F2 = \frac{61,680 \text{ Nm} - 2,083 \text{ Nm}}{0,49 \text{ m}}$$

$$F2 = 129,626 \text{ N}$$

$$\Sigma F = 0$$

$$-F_{cm1} + F1 - F_{cm2} - F_{R2} + F2 - F_{R1} - F_{cm3} - F3 - F_{cm4} = 0$$

$$F1 + F2 = 887,889$$

$$\Sigma T = 0$$

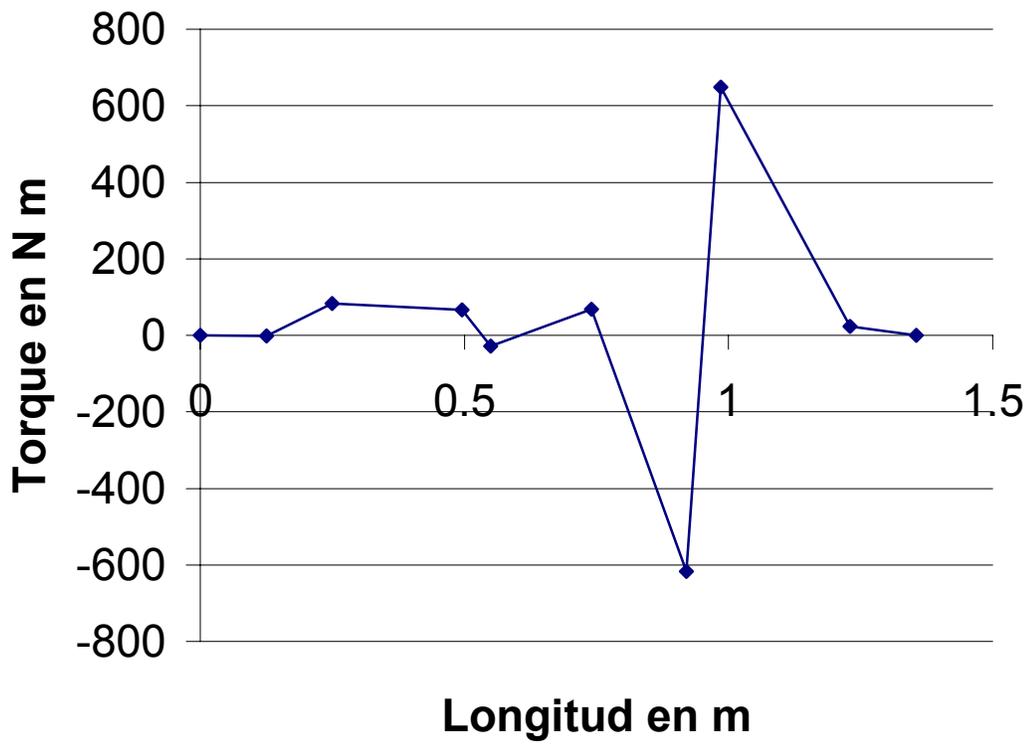
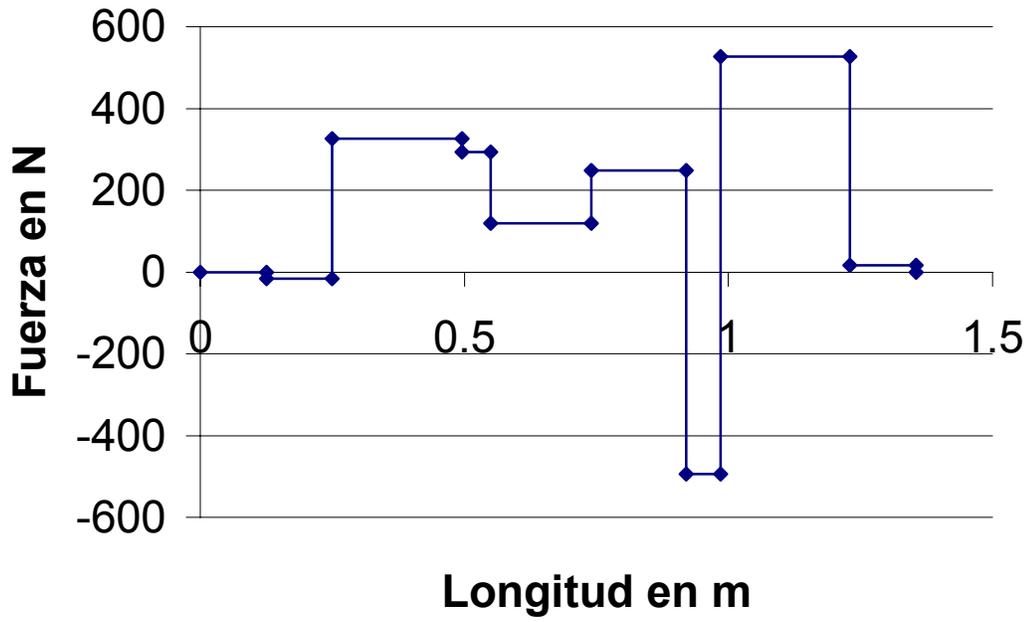
Se usa como origen el punto F1

$$+ T_{cm1} - T_{cm2} - T_{FR2} + T_{F2} - T_{R1} - T_{cm3} + T_{F3} - T_{cm4} = 0$$

$$0.25F1 + 1,23 F3 = 756,787 \text{ N m}$$

$$F3 = 342,160 \text{ N}$$

$$F1 = 545,729 \text{ N}$$



Los mayores momentos de torsión se logran en el caso 2 y están en la viga 1, en cambio las mayores fuerzas cortantes se logran en el caso 1, por lo que usando ambos se obtendrán.

$$\sigma_{\max} = \frac{T_{\max}}{S}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{648,301Nm}{7,18 \times 10^{-6} m^3}$$

$$\sigma_{\max} = 90292618,384 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\max} = 90,292 \text{ MPa}$$

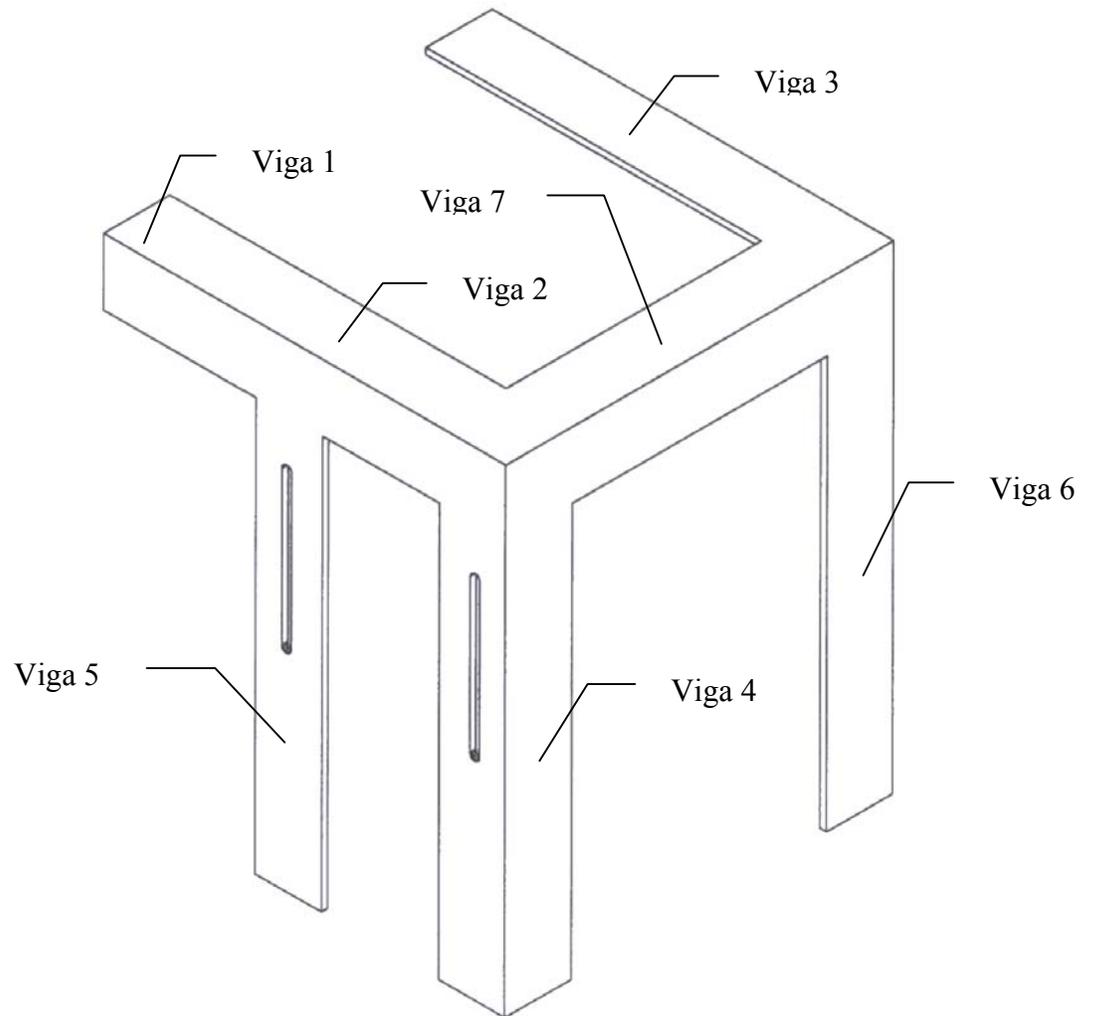
$$\tau_{\max} = \frac{F}{A}$$

$$\tau_{\max} = \frac{680,387N}{8,7 \times 10^{-4} m^2}$$

$$\tau_{\max} = 782054,022 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\max} = 0,782 \text{ Mpa}$$

### 3.11 Cálculos Soporte Motor y Reductor



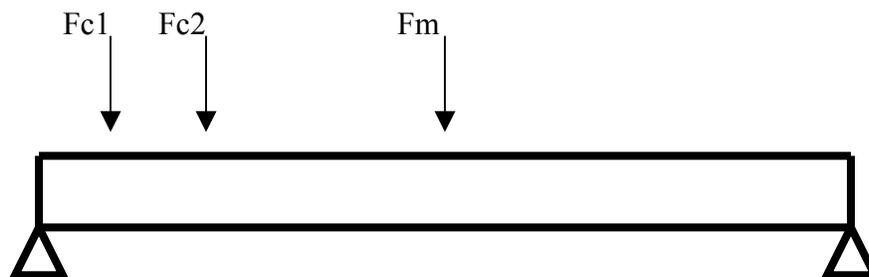
### Datos y consideraciones

- La caja reductora pesa 13,5 Kg. Para efectos de cálculo lo aproximamos a 15 Kg.
- El motor pesa unos 12,3 Kg. Para efectos de cálculo lo aproximamos a 15 Kg.
- Se supone que el peso tanto del motor como del reductor se reparte uniformemente entre sus 4 pernos.

#### 3.11.1 Cálculo de la viga 1

- Para efectos de cálculos la viga uno no tomó en consideración 2 casos, uno en el cual no se considera la viga 4 y el segundo en el cual no se considera el apoyo a la estructura principal.

##### 3.11.1.1 Caso 1



Se supone que la fuerza de la caja es repartida por igual entre los 4 pernos.

$$F_{TC} = m \times g$$

$$F_{TC} = 15 \text{ Kg} \times 9,81 \frac{m}{sg^2}$$

$$F_{TC} = 147,15 \text{ N}$$

$$F_C = \frac{F_{TC}}{4}$$

$$F_C = \frac{147,15 \text{ N}}{4}$$

$$F_{TC} = 36,787 \text{ N}$$

$$\Sigma F = 0$$

$$F_3 - F_{c1} - F_{c2} - F_m + F_e = 0$$

$$m = m \times l$$

$$m = 6,83 \frac{Kg}{m} \times 0,395 m$$

$$m = 2,697 Kg$$

$$F_m = m \times g$$

$$F_m = 26,465 N$$

$$F_3 + F_e = 100,039 N$$

$$\sum T = 0$$

Se toma como apoyo el punto de Fi

$$-T_{FC1} - F_{c2} - T_m + T_{Fe} = 0$$

$$T_{FC1} = F_{c1} \times l_{c1}$$

$$T_{FC1} = 36,787 N \times 0,032m$$

$$T_{FC1} = 1,195 N m$$

$$T_m = F_m \times l_{cm}$$

$$T_m = 26,465 N \times 0,197 m$$

$$T_m = 5,226 N m$$

$$T_{FC2} = F_{c2} \times l_{c2}$$

$$T_{F2} = 36,787 N \times 0,155m$$

$$T_{F2} = 5,701 N m$$

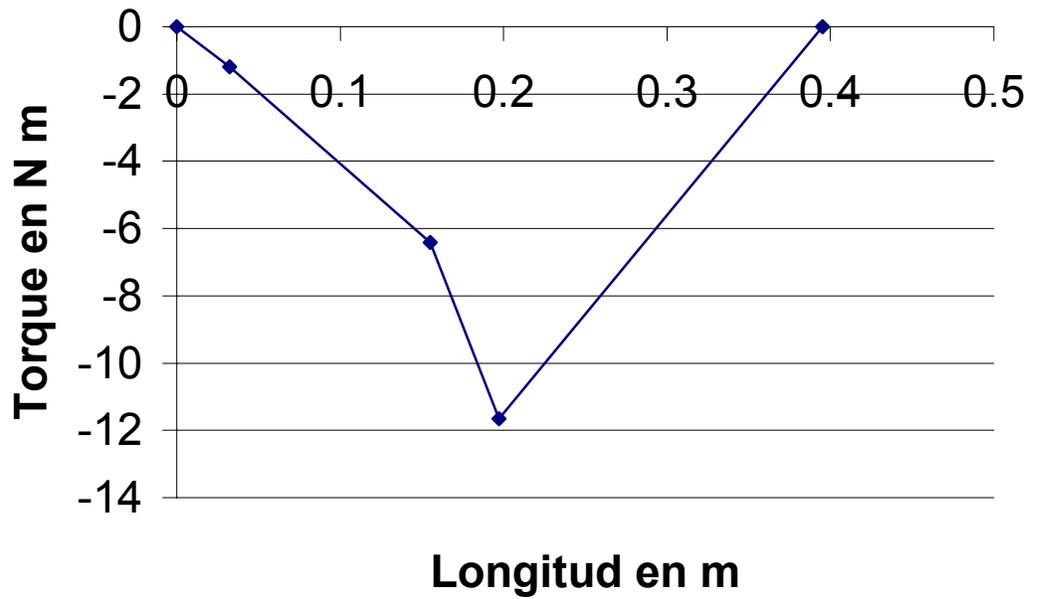
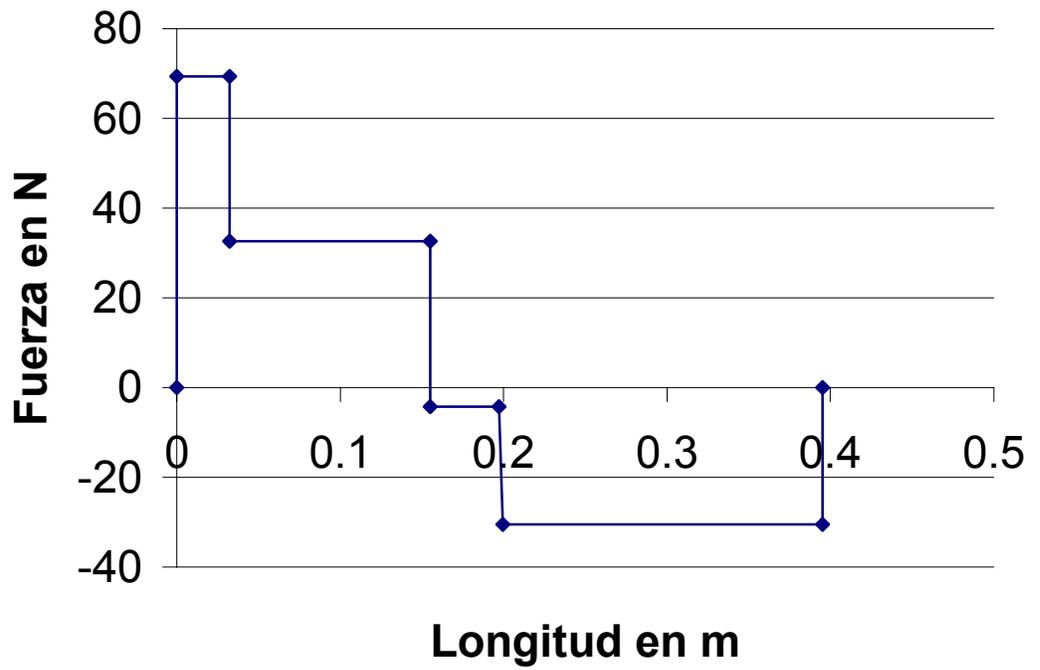
$$T_{F2} = 12,122 N m$$

$$F_e \times l_e = 12,122 N m$$

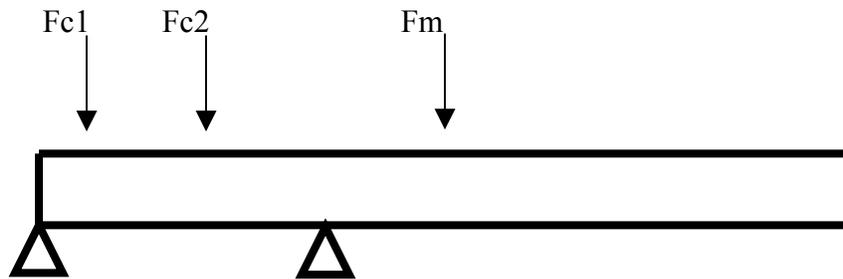
$$F_e = \frac{12,122 Nm}{0,395m}$$

$$F_e = 30,688 N$$

$$F_3 = 69,350 N$$



**3.11.1.2 Caso 2**  
**(Con la viga 4 sin Fe)**



$$\Sigma F = 0$$

$$F_3 - F_{c1} - F_2 + F_4 - F_m = 0$$

$$F_3 + F_4 = 100,35 \text{ N}$$

$$\Sigma T = 0$$

Se toma como origen el punto de F1

$$- T_{Fc1} - T_{Fc2} + T_{FM} - T_m = 0$$

$$T_{Fc1} = 1.195 \text{ N m}$$

$$T_{Fc2} = 5,701 \text{ N m}$$

$$T_m = 5,226 \text{ N m}$$

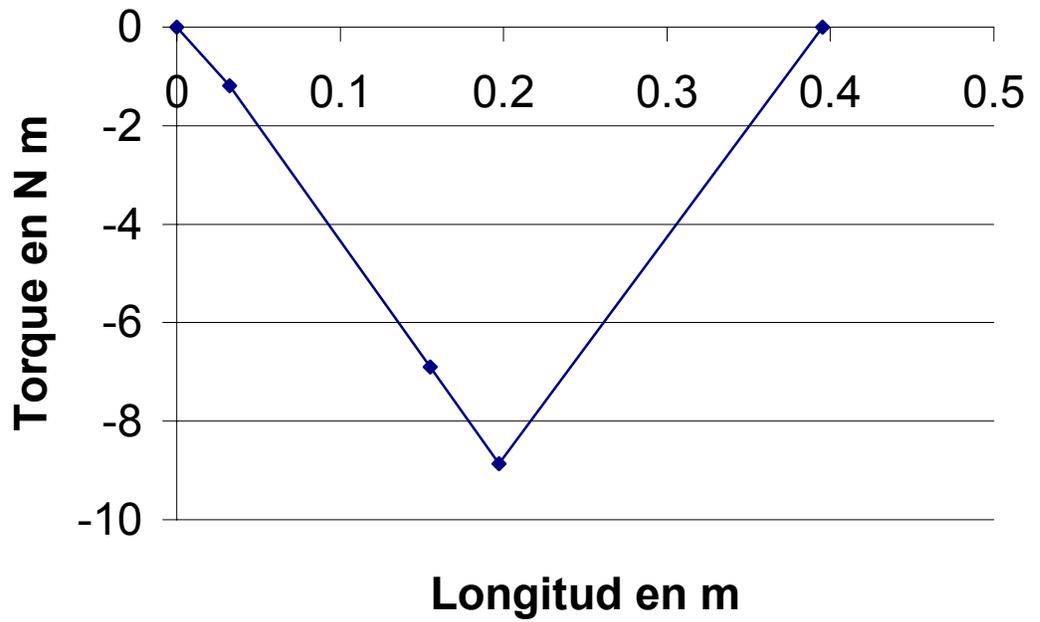
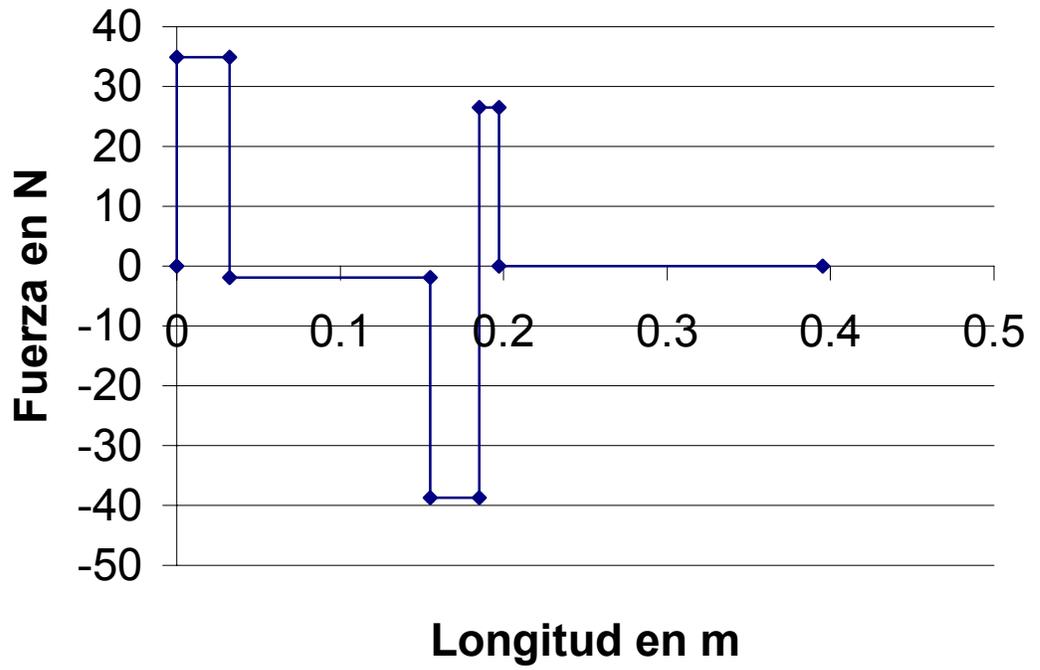
$$T_{F4} = 12,122 \text{ N m}$$

$$F_4 \times l_4 = 12,122 \text{ N m}$$

$$F_4 = \frac{12,122 \text{ Nm}}{0,185 \text{ m}}$$

$$F_4 = 65,524 \text{ N}$$

$$F_3 = 34,865 \text{ N}$$



Los mayores torques se consiguen en el caso 1 por lo que calculamos los esfuerzos para ese caso.

$$\sigma_{\max} = \frac{T_{\max}}{S}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{12,122 Nm}{7,18 \times 10^{-6} m^3}$$

$$\sigma_{\max} = 1,688 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\max} = \frac{F_{\max}}{A}$$

$$\tau_{\max} = \frac{69,350 N}{8,7 \times 10^{-4} m^2}$$

$$\tau_{\max} = 0,079 \text{ MPa}$$

$$y = y_{c1} + y_{c2} + y_m$$

$$y_{c1} = \frac{36,787 \times 0,3625 X}{6 \times 20,58 \times 10^{10} \times 33,4 \times 10^{-8} \times 0,395} (X^2 + (0,3625)^2 - (0,395)^2)$$

$$y_{c1} = 8,185 \times 10^{-5} X^3 - 2,015 \times 10^{-6} X$$

$$y_{c2} = \frac{36,787 \times 0,2 X}{6 \times 20,58 \times 10^{10} \times 33,4 \times 10^{-8} \times 0,395} (X^2 + (0,24)^2 - (0,395)^2)$$

$$y_{c2} = 5,419 \times 10^{-5} X^3 - 5,334 \times 10^{-6} X$$

$$y_m = \frac{26,465 X}{48, \times 20,58 \times 10^{10} \times 33,4 \times 10^{-8}} (4X^2 - 3 \times (0,395)^2)$$

$$y_m = 3,208 \times 10^{-5} X^3 - 3,474 \times 10^{-6} X^{-4}$$

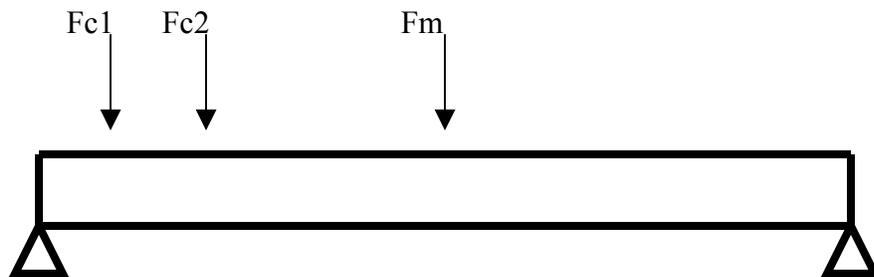
$$y = 2,222 \times 10^{-4} X^3 - 1,082 \times 10^{-5} X$$

$$\frac{dy}{dx} = 6,666 \times 10^{-4} X^2 - 1,082 \times 10^{-5}$$

$$x = 0,127 \text{ m}$$

$$y_{\max} = -9,189 \times 10^{-7} \text{ m}$$

### 3.11.2 Cálculo de la viga 2



$$\sum F_4 = 0$$

$$F_3 - F_{c1} - F_{c2} - F_m + F_e = 0$$

$$m = d \times v$$

$$v = b \times e \times l$$

$$v = 0,05 \text{ m} \times 0,006 \text{ m} \times 0,395 \text{ m}$$

$$v = 0,0001185 \text{ m}^3$$

$$v = 118,5 \text{ cm}^3$$

$$m = 7,833 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 118,5 \text{ cm}^3$$

$$m = 927,855 \text{ g}$$

$$m = 0,927 \text{ Kg}$$

$$F_m = m \times g$$

$$F_m = 0,925 \text{ Kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{sg}^2}$$

$$F_m = 9,102 \text{ N}$$

$$F_1 + F_e = 82,677 \text{ N}$$

$$\sum T = 0$$

Se toma como apoyo el punto de fuerza F1

$$- T_{fc1} - T_{fc2} - T_m + T_{fe}$$

$$T_m = f_m \times l_{cm}$$

$$T_m = 9,102 \text{ N} \times 0,197 \text{ m}$$

$$T_m = 1,783 \text{ N} \times \text{m}$$

$$T_{fe} = 8,169 \text{ Nm}$$

$$F_e = 21,997 \text{ N}$$

$$F_1 = 60,679 \text{ N}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{T_{\max}}{S}$$

$$S = \frac{I}{C}$$

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

$$I = 9 \times 10^{-10} \text{ m}^4$$

$$S = \frac{9 \times 10^{-10} \text{ m}^4}{0,003 \text{ m}}$$

$$S = 3 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{\max} = 28963333,333 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\max} = 28,863 \text{ M Pa}$$

$$\tau_{\max} = \frac{F}{A}$$

$$A = b \times h$$

$$A = 0,003 \text{ m}^2$$

$$\tau_{\max} = \frac{60,678 \text{ N}}{0,003 \text{ m}^2}$$

$$\tau_{\max} = 202263,333 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\max} = 0,202 \text{ M Pa}$$

$$y = y_{c1} + y_{c2} - y_m$$

$$y_{c1} = \frac{356,787 \times 0,3625}{6 \times 20,58 \times 10^{10} \times 9 \times 10^{10} \times 0,395} (X^2 + (0,1975)^2 - (0,395)^2)$$

$$y_{c1} = 3,037 \times 10^{-2} X^3 - 3,554 \times 10^{-3} X$$

$$y_{c2} = \frac{36,787 \times 0,24}{6 \times 20,58 \times 10^{10} \times 9 \times 10^{-10} \times 0,395} (X^2 + (0,1975)^2 - (0,395)^2)$$

$$y_{c2} = 2,011 \times 10^{-2} X^3 - 2,353 \times 10^{-3} X$$

$$y_m = \frac{9,102xX}{4820,58x10^{10}x9x10^{-16}} (4X^2 - 31^2)$$

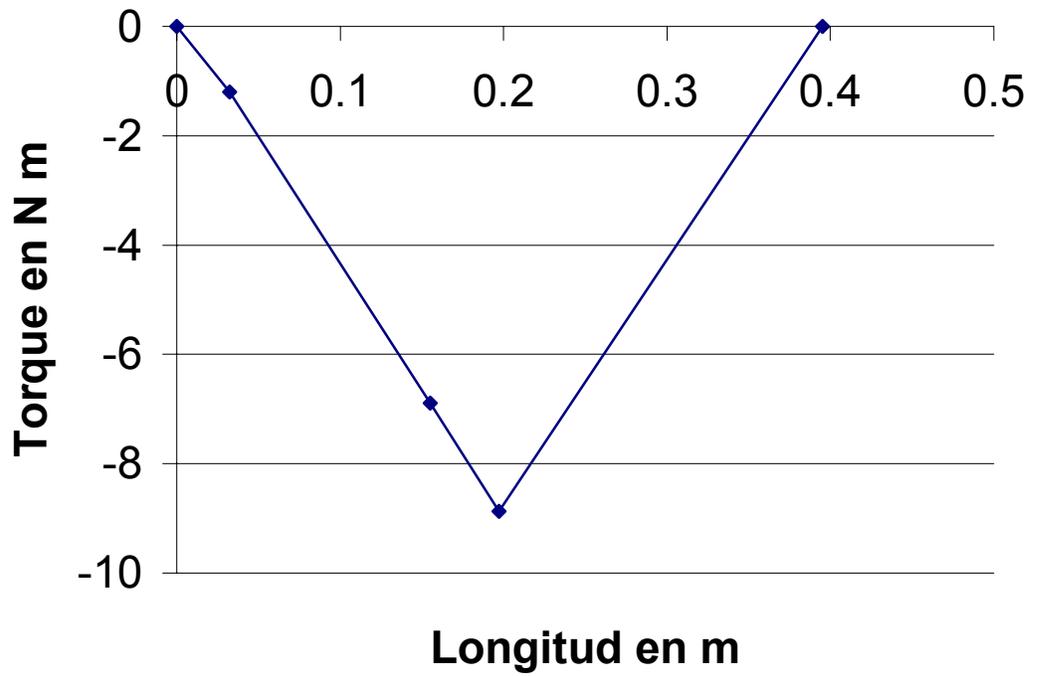
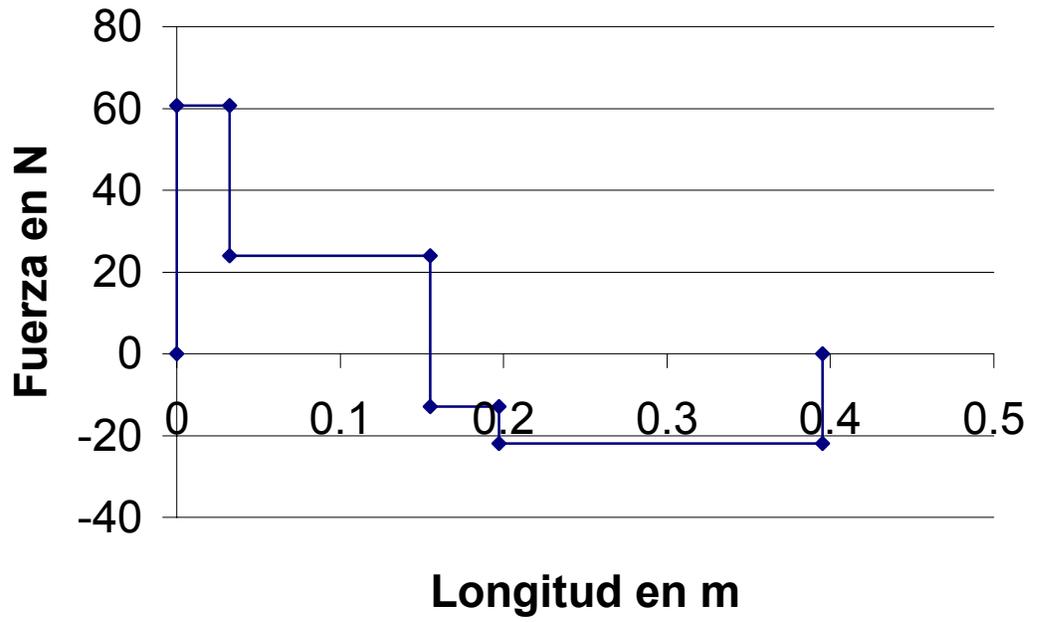
$$y_m = 4,095 \times 10^{-3} X^3 - 5,324 \times 10^{-5} X$$

$$y = 5,457 \times 10^{-2} X^3 - 5,960 \times 10^{-3} X$$

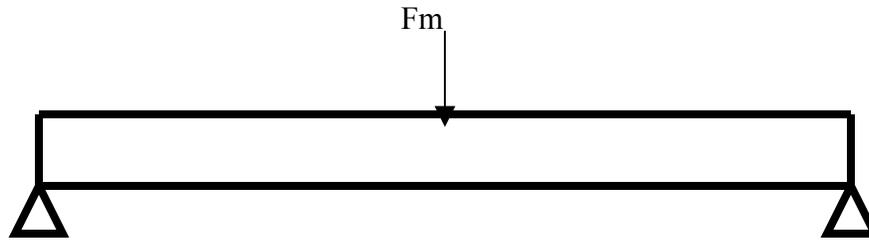
$$\frac{dy}{dx} = 0,1637 X^2 - 5,960 \times 10^{-3} = 0$$

$$x = 0,190m$$

$$y_{max} = -7,533 \times 10^{-4}m$$



### 3.11.3 Cálculo Viga 3



$$\Sigma F = 0$$

$$F_c - F_m + F_e = 0$$

$$F_c + F_e = F_m$$

$$F_m = m \times l \times g$$

$$F_m = 6,83 \frac{Kg}{m} \times 0,395 m \times 9,81 \frac{m}{sg^2}$$

$$F_m = 26,465 N$$

$$F_m + F_e = 26,465 N$$

$$\Sigma T = 0$$

Se toma como origen el punto de F6

$$-T_{cm} + T_{fe} = 0$$

$$T_{fe} = T_{cm}$$

$$T_{cm} = F_m \times l_{cm}$$

$$T_{cm} = 26,465 N \times 0,197 m$$

$$T_{cm} = 5,226 N m$$

$$T_{fe} = 5,226 N m$$

$$F_e = \frac{5,226 Nm}{0,395 m}$$

$$F_e = 13,232 N$$

$$F_c = 13,232 N$$

$$\sigma_{max} = \frac{T_{max}}{S}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{5,226Nm}{7,18 \times 10^{-6} m^3}$$

$$\sigma_{\max} = 727855,153 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\max} = 0,727 \text{ M Pa}$$

$$\tau_{\max} = \frac{F_{\max}}{A}$$

$$\tau_{\max} = \frac{13,232N}{8,7 \times 10^{-4} m^2}$$

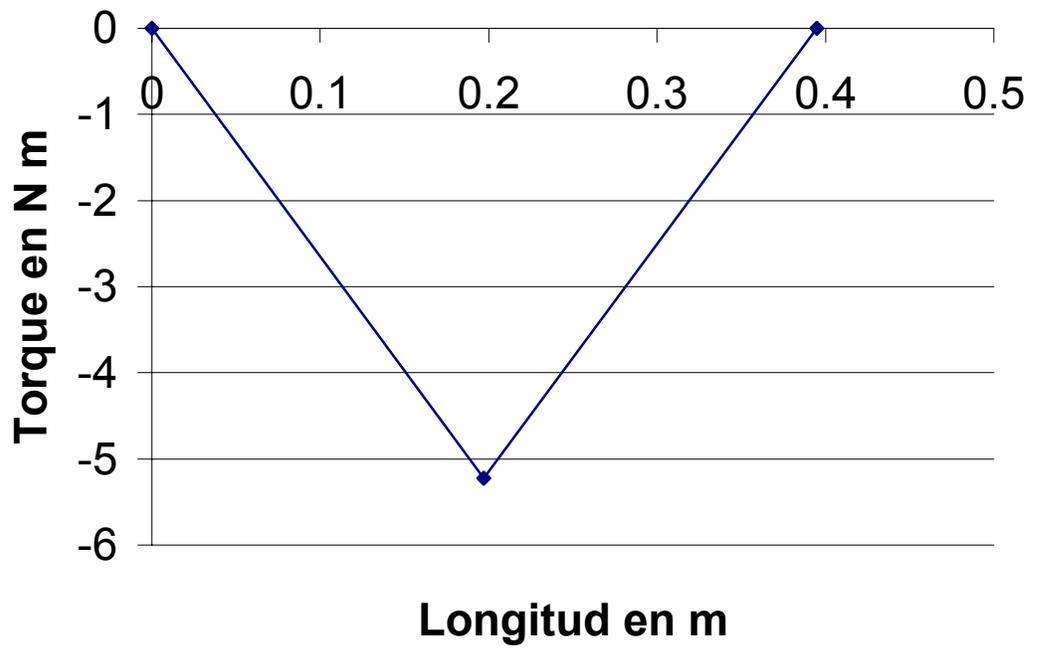
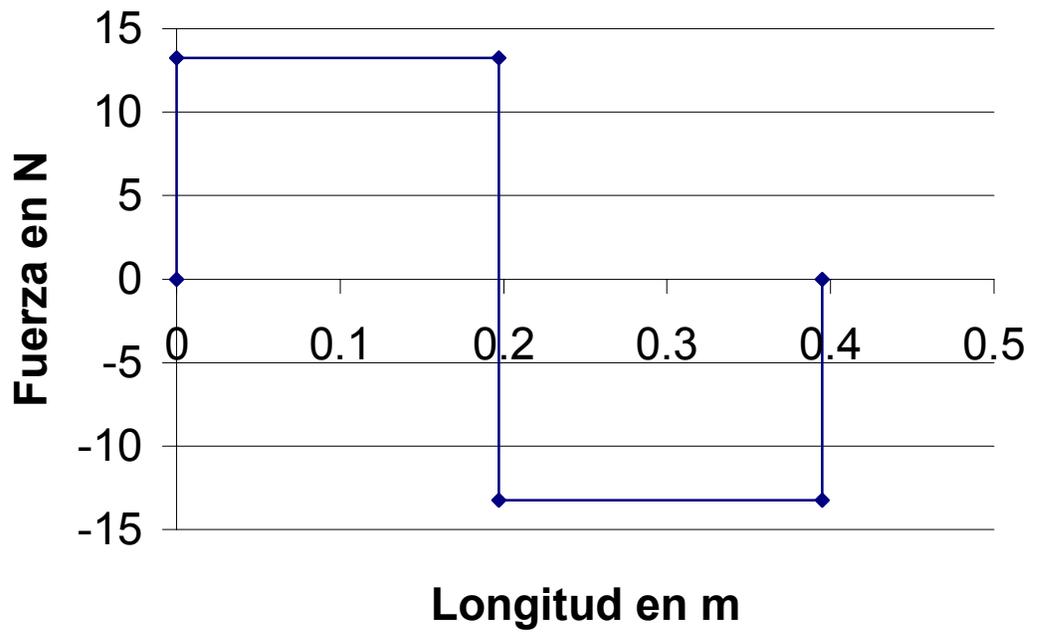
$$\tau_{\max} = 15209,195 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\max} = 0,015 \text{ M Pa}$$

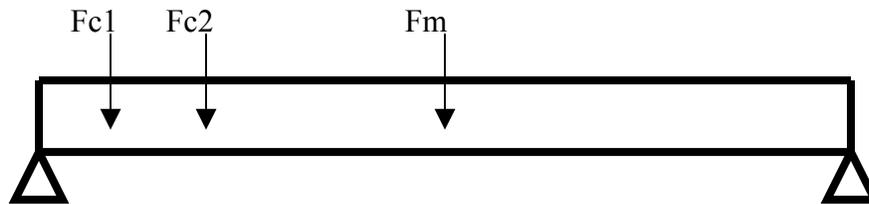
$$y_{\max} = \frac{Fl^3}{48EI}$$

$$y_{\max} = \frac{26,465 \times 0,077}{48 \times 20,58 \times 10^{20} \times 33,4 \times 10^{-8}}$$

$$y_{\max} = -1,286 \times 10^{-8} \text{ m}$$



### 3.11.4 Cálculo de la viga 7



$$F2 = F1 = 69,350 \text{ N}$$

$$\Sigma F = 0$$

$$F5 - F1 - F2 - Fm + F6 = 0$$

$$F5 + F6 = 164,160 \text{ N}$$

$$\Sigma T = 0$$

Se toma como origen el punto de F5

$$- T_{f1} - T_{f2} - T_m + T_6 = 0$$

$$T_{f1} = F1 \times l_{f1}$$

$$T_{f1} = 69,350 \text{ N} \times 0,032 \text{ m}$$

$$T_{f1} = 2,25 \text{ N m}$$

$$T_{f2} = F2 \times l_{f2}$$

$$T_{f2} = 69,350 \text{ N} \times 0,0575 \text{ m}$$

$$T_{f2} = 3,887 \text{ N m}$$

$$T_m = F_m \times l_m$$

$$T_m = 25,460 \text{ N} \times 0,19 \text{ m}$$

$$T_m = 4,837 \text{ N m}$$

$$T_6 = 11,076 \text{ N m}$$

$$F_6 = 29,147 \text{ N}$$

$$F_6 = 135,012 \text{ N}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{T_{\max}}{S}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{11,076 Nxm}{7,18 \times 10^{-6} m^3}$$

$$\sigma_{\max} = 1542618,384 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\max} = 1,5426 \text{ M Pa}$$

$$\tau_{\max} = \frac{F_{\max}}{A}$$

$$\tau_{\max} = \frac{129,619 N}{8,7 \times 10^{-4} m^2}$$

$$\tau_{\max} = 148987,356 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\max} = 0,148 \text{ M Pa}$$

$$y = y_{F1} + y_{F2} + y_m$$

$$y_{F1} = \frac{Fbx}{GEI} x (X^2 + b^2 - l^2)$$

$$y_{F1} = \frac{69,350 \times 0,3475 \times X}{6 \times 2058 \times 10^{10} \times 33,410^{-8} \times 0,38} x (X^2 + (0,3475)^2 - (0,38)^2)$$

$$y_{F1} = 1,537 \times 10^{-3} X^3 - 3,635 \times 10^{-5} X$$

$$y_{F2} = \frac{69,350 \times 0,5225 \times X}{6 \times 20,58 \times 10^{10} \times 33,4 \times 10^{-8} \times 0,38} (X^2 + (0,3225)^2 - (0,38)^2)$$

$$y_{F2} = 1,427 \times 10^{-4} X^3 - 5,764 \times 10^{-6} X$$

$$y_{Fm} = \frac{25,460 \times X}{48 \times 20,58 \times 10^{-10} \times 33,4 \times 10^{-8}} (4X^2 - 3(0,38)^2)$$

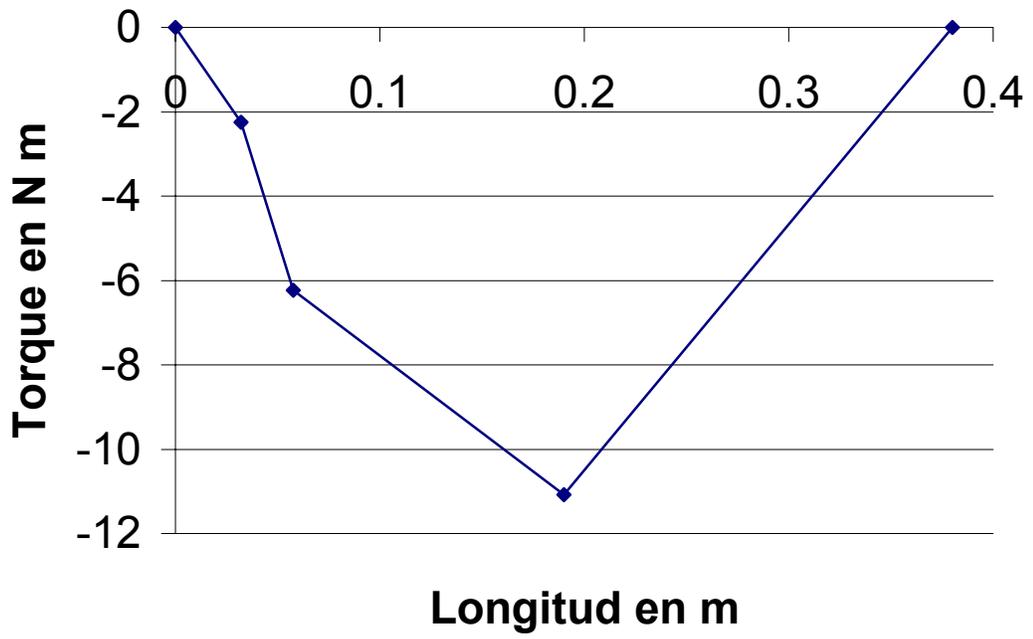
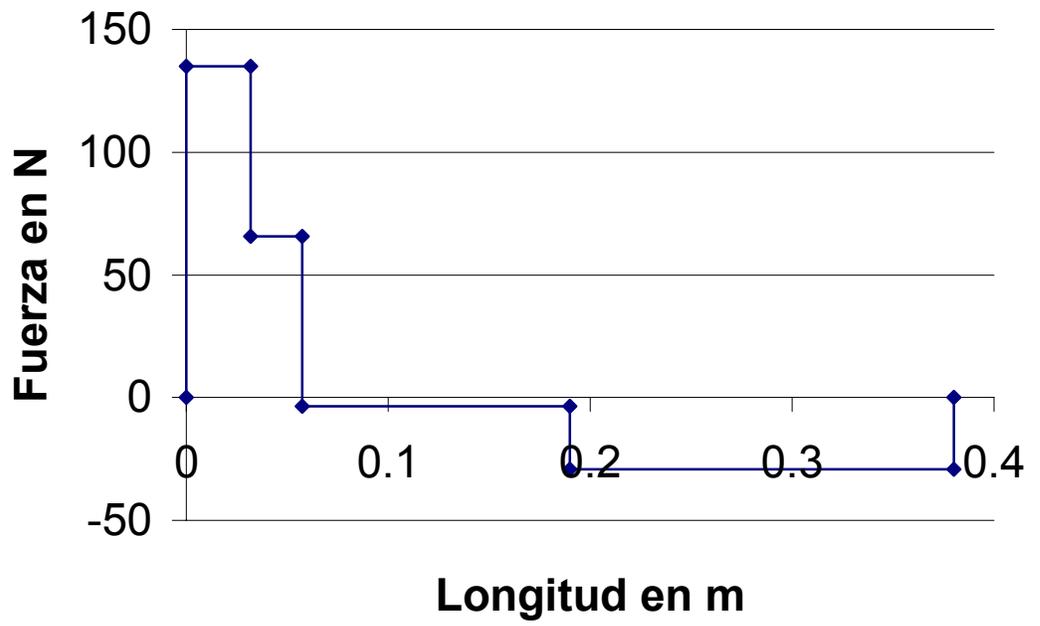
$$y_{Fm} = 3,086 \times 10^{-5} X^3 - 3,342 \times 10^{-6} X$$

$$y = 3,378 \times 10^{-3} X^3 - 4,545 \times 10^{-5} X$$

$$\frac{dy}{dx} = 1,013 \times 10^{-2} X^2 - 4,545 \times 10^{-5} = 0$$

$$x = 0,066$$

$$y_{\max} = -2,028 \times 10^{-6} \text{ m}$$



### 3.11.5 Cálculo de las columnas

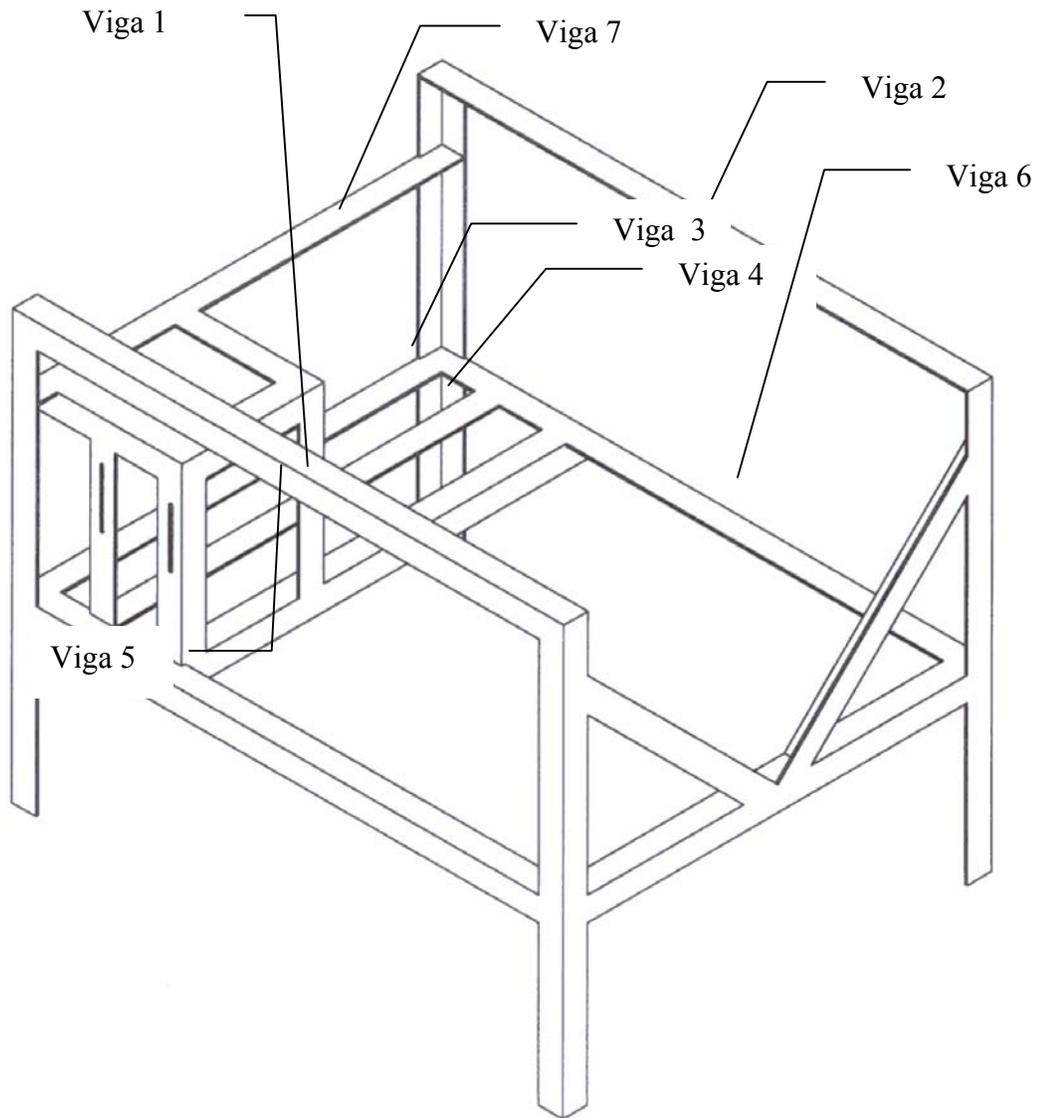
- Mediante la ecuación de Euler calculamos la carga crítica que pueden soportar las columnas.
- Se considera ambos extremos articulados.

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

$$F_{cr} = \frac{20,58 \times 10^{10} \times 33,4 \times 10^{-8} \times \pi^2}{(0,533m)^2}$$

$$F_{cr} = 241656,569 \text{ N}$$

### 3.12 Cálculo de la Estructura Principal



### Datos y Consideraciones

- Consideramos 4 caras en la estructura principal las cuales se trabajan como estructura bidimensionales por el método de los nodos.
- Se considera que los pernos de los rieles transmiten el peor de las fuerzas (todas a la vez).
- La estructura lateral derecha es la misma que la izquierda.

#### 3.12.1 Cálculo de la viga (1-2)

$$F_1 = 1067,687 \text{ N}$$

$$F_2 = 129,626 \text{ N}$$

$$F_3 = 342,160 \text{ N}$$

$$\Sigma F = 0$$

$$F_m = m \times l \times g$$

$$F_m = 98,159 \text{ N}$$

$$F_1 + F_2 = 2049,085 \text{ N}$$

$$\Sigma T = 0$$

Se toma como origen el punto FR1

$$-T_{F1} - T_{F2} - T_{cm} - T_{F3} + T_{R2} = 0$$

$$T_{F1} = F_1 \times l_1$$

$$T_{F1} = 1087,787 \text{ N} \times 0,25 \text{ m}$$

$$T_{F1} = 271,921 \text{ Nm}$$

$$T_{F2} = F_2 \times l_2$$

$$T_{F2} = 129,626 \text{ N} \times 0,74 \text{ m}$$

$$T_{F2} = 95,923 \text{ Nm}$$

$$T_{cm} = F_{cm} \times l_{cm}$$

$$T_{cm} = 73,377 \text{ Nm}$$

$$T_{F3} = F_3 \times l_3$$

$$T_{F3} = 1023,079 \text{ Nm}$$

$$Tr_2 = Fr_2 \times lR_2$$

$$TR_2 = 1390,923 \text{ Nm}$$

$$1,48mFR_2 = 1390,923 \text{ Nm}$$

$$FR_2 = 939,812 \text{ N}$$

$$FR_1 = 1109,273 \text{ N}$$

$$y_{13} = \frac{1087,688x}{6 \times 10^{10} \times 33,4 \times 10^{-8}} ((X^2 + 3(0,25)^2 - 3(1,48)(0,25))$$

$$y_{13} = 2,637 \times 10^{-3} X^3 - 2,432 \times 10^{-3} X$$

$$y_{2m} = \frac{227,635X}{48 \times 20,58 \times 10^{10} \times 33,4 \times 10^{-8}} (4X^2 - 3(1,48)^2)$$

$$y_{2m} = 2,761 \times 10^{-4} X^2 - 4,533 \times 10^{-4} X$$

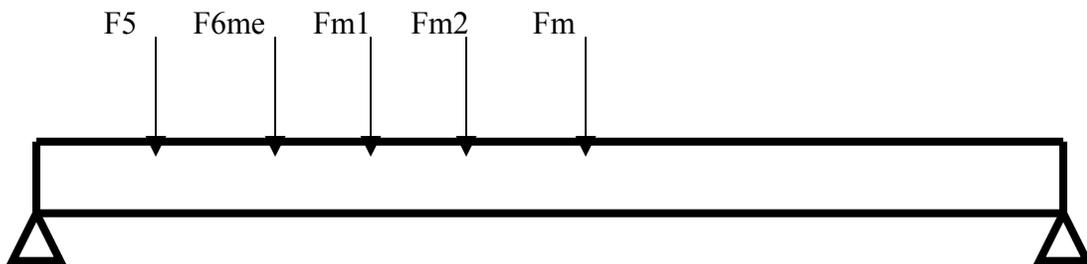
$$y = 2,913 \times 10^{-3} X^3 - 2,885 \times 10^{-3} X$$

$$\frac{dy}{dx} = 8,739 \times 10^{-3} X^2 - 2,885 \times 10^{-3} = 0$$

$$x = 0,74$$

$$y_{\max} = -9,544 \times 10^{-4} \text{ m}$$

### 3.12.2 Cálculo de la viga 3



$$F_{6me} = 29,147 \text{ N}$$

$$F_m = 77,052 \text{ N}$$

$$F_{m1} = 36,75 \text{ N}$$

$$F_{m2} = 37,75 \text{ N}$$

$$\Sigma F = 0$$

$$F_s - F_{6me} - F_{m1} - F_{m2} - F_m + F_6 = 0$$

$$F_5 + F_6 = 179,699 \text{ N m}$$

$$\Sigma T = 0$$

Se toma como origen el punto de F5

$$-T_{gme} - T_{mt1} - T_{mt2} - t_m + T_6$$

$$T_{gme} = F_{gme} \times l_{gm2}$$

$$T_{gme} = 29,147 \text{ N} \times 0,087 \text{ m}$$

$$T_{gme} = 2,539 \text{ N m}$$

$$T_{mt1} = 5,586 \text{ N m}$$

$$T_{mt2} = 12,403 \text{ N m}$$

$$T_m = 73,377 \text{ N m}$$

$$T_g = 93,901 \text{ N m}$$

$$F_6 = \frac{9,3901 \text{ Nxm}}{1,15 \text{ m}}$$

$$F_6 = 81,653 \text{ N}$$

$$F_5 = 98,045 \text{ N}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{T_{\max}}{S}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{93,901 \text{ Nm}}{7,68 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_{\max} = 12226682,708 \text{ Pa}$$

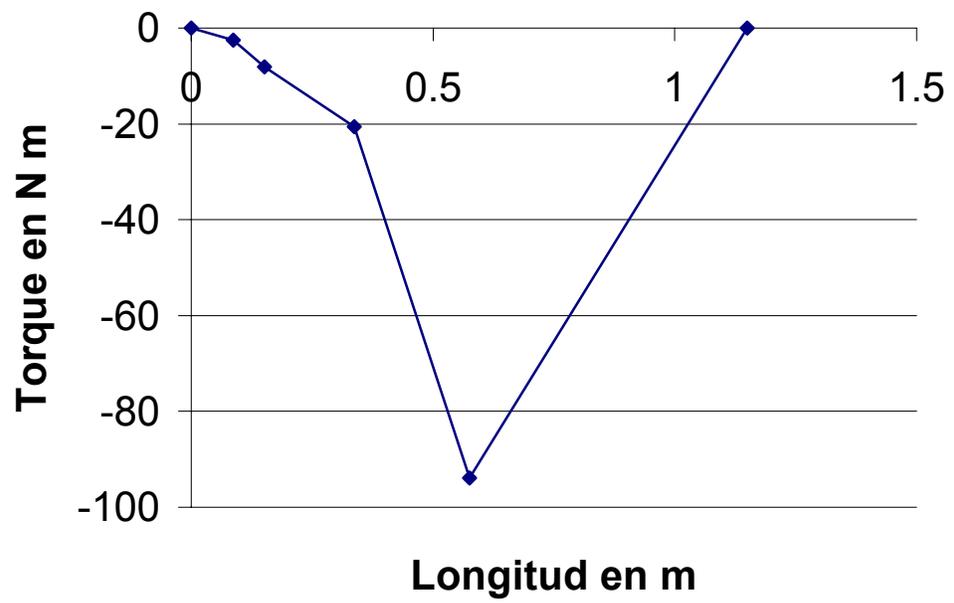
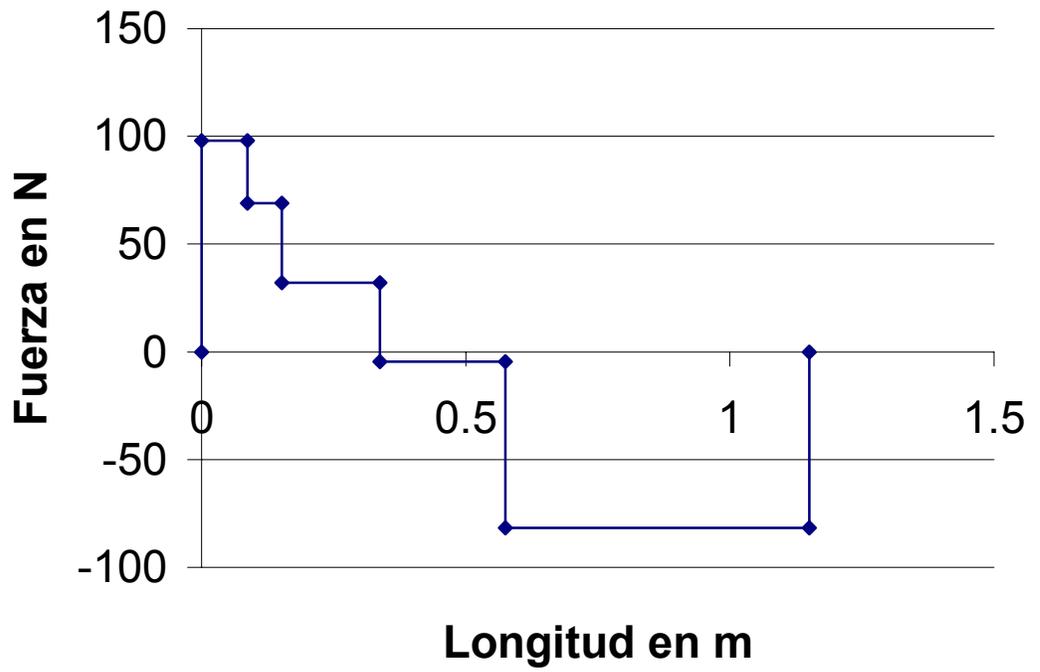
$$\sigma_{\max} = 12,226 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{\max} = \frac{F_{\max}}{A}$$

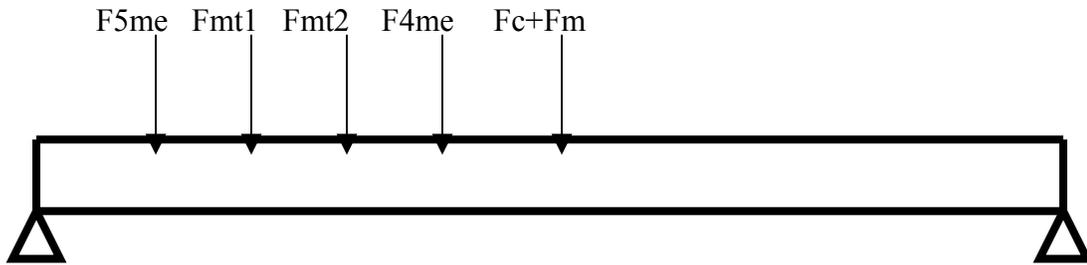
$$\tau_{\max} = \frac{9,8049 \text{ N}}{8,7 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\tau_{\max} = 112695,402 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\max} = 0,112 \text{ M Pa}$$



### 3.12.3 Cálculo de la viga 4



Se asume que el motor transmite la fuerza igual entre las 4 vigas que lo sostienen.

El peso de la cuña, la bisagra y la placa que lo sostiene es de 8,53 Kg el cual se aproxima a 10 Kg y lo repartimos entre ambas vigas.

$$F_{5me} = 34,865 \text{ N}$$

$$F_{4me} = 65,524 \text{ N}$$

$$F_{mt1} = 36,75 \text{ N}$$

$$F_{mt2} = 36,75 \text{ N}$$

$$F_m = m \cdot l \cdot x \cdot g$$

$$F_m = 6,83 \frac{\text{K}}{\text{m}} \times 1,15 \text{ m} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{sg}^2}$$

$$F_m = 77,052 \text{ N}$$

$$F_c = \frac{m \cdot x \cdot g}{2}$$

$$F_c = \frac{10 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m} / \text{sg}^2}{2}$$

$$F_c = 49,05 \text{ N}$$

$$\Sigma F = 0$$

$$F_5 - F_{5me} - F_{mt1} - F_{mt2} - F_{4me} - F_m - F_c - F_6 = 0$$

$$F_5 + F_6 = 299,991 \text{ N}$$

$$\Sigma T = 0$$

Se toma como origen el punto de  $F_5$

$$T_{5me} - T_{mt1} - T_{mt2} - T_{4me} - T_m - T_p + T_g = 0$$

$$T_{5me} = F_{5me} \times l_{5me}$$

$$T_{5me} = 34,865 \text{ N} \times 0,087 \text{ m}$$

$$T_{5me} = 3,050 \text{ N m}$$

$$T_{mt1} = F_{mt1} \times l_{mt1}$$

$$T_{mt1} = 36,75 \text{ N} \times 0,152 \text{ m}$$

$$T_{mt1} = 5,586 \text{ N m}$$

$$T_{m2} = F_{m2} \times l_{m2}$$

$$T_{m2} = 36,75 \text{ N} \times 0,3375 \text{ m}$$

$$T_{m2} = 12,403 \text{ N m}$$

$$T_{4me} = F_{4me} \times l_{4me}$$

$$T_{4me} = 36,75 \text{ N} \times 0,4025 \text{ m}$$

$$T_{4me} = 14,791 \text{ N m}$$

$$T_m = F_m \times l_m$$

$$T_m = 77,052 \text{ N} \times 0,575 \text{ m}$$

$$T_m = 44,304 \text{ N m}$$

$$T_c = F_c \times l_c$$

$$T_c = 49,05 \text{ N} \times 0,575 \text{ m}$$

$$T_c = 28,20375 \text{ N m}$$

$$T_g = 108,339 \text{ N m}$$

$$F_g = \frac{108,339 \text{ Nxm}}{1,15 \text{ m}}$$

$$F_g = 84,208 \text{ N}$$

$$F_g = 105,782 \text{ N}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{T_{\max}}{S}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{108,339 \text{ Nm}}{7,68 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_{\max} = 14106640,25 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\max} = 14,106 \text{ M Pa}$$

$$\tau_{\max} = \frac{F_{\max}}{A}$$

$$\tau_{\max} = \frac{205,782 \text{ N}}{8,7 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\tau_{\max} = 236531,034 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\max} = 0,236 \text{ Mpa}$$

$$y = y_{5me} + y_{4me} + y_{m1} + y_{m2} + y_{cm}$$

$$y_{5me} = \frac{34865 \times 1,0625 X}{6 \times 20,58 \times 10^{10} \times 33,4 \times 10^{-8} \times 1,15} (X^2 + (1,0625)^2 - (1,15)^2)$$

$$y_{5me} = 7,810 \times 10^{-5} X^3 - 1,511 \times 10^{-5} X$$

$$y_{m1} = \frac{36,75 \times 0,9975 X}{6 \times 20,58 \times 10^{10} \times 33,4 \times 10^{-8} \times 1,15} (X^2 + (0,9975)^2 - (1,15)^2)$$

$$y_{m1} = 7,729 \times 10^{-5} X^3 - 2,531 \times 10^{-5} X$$

$$y_{mt2} = \frac{34,685 \times 0,8125}{6 \times 20,58 \times 10^{10} \times 33,4 \times 10^{-8} \times 1,15} (X^2 + (0,8125)^2 - (1,15)^2)$$

$$y_{mt2} = 5,941 \times 10^{-5} X^3 - 3,934 \times 10^{-5}$$

$$y_{4me} = \frac{65,524 \times 0,7475}{6 \times 20,58 \times 10^{10} \times 33,4 \times 10^{-8} \times 1,15} (X^2 + (0,7475)^2 - (1,15)^2)$$

$$y_{4me} = 1,032 \times 10^{-4} X^3 - 7,881 \times 10^{-5}$$

$$y_{cm} = \frac{126,102 X}{48 \times 20,58 \times 10^{16} \times 33,4 \times 10^{-8}} (4X^{-2} - 31^2)$$

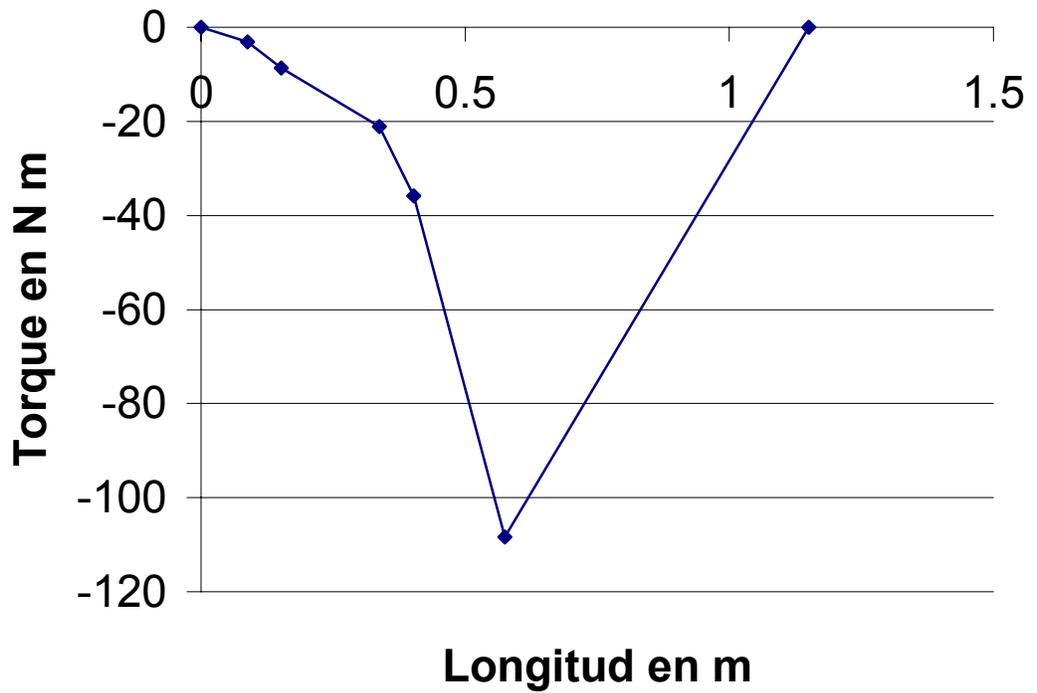
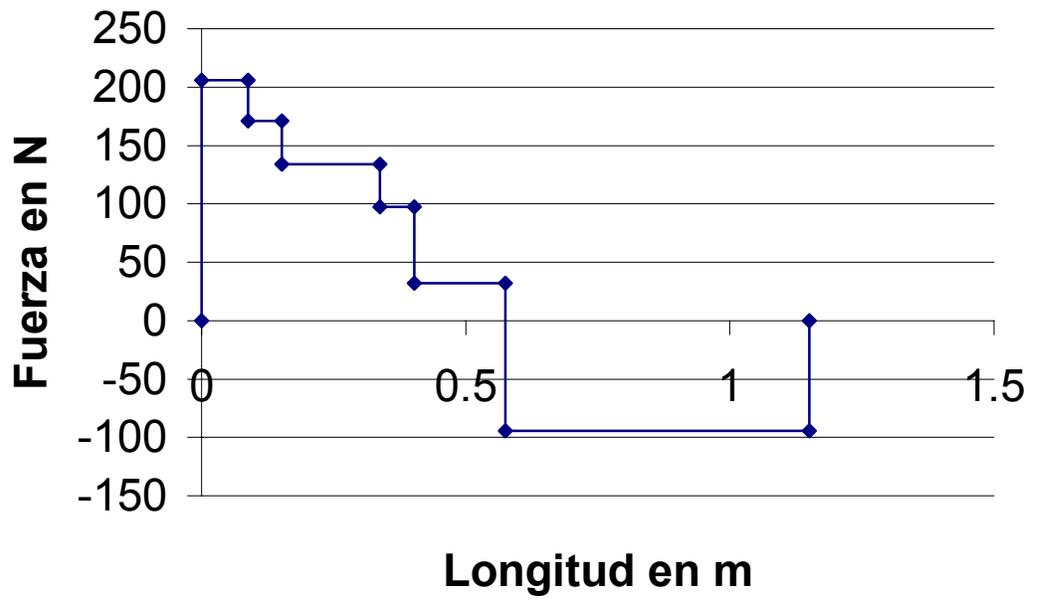
$$y_{cm} = 1,528 \times 10^{-4} X^3 - 1,516 \times 10^{-4} X$$

$$y = 4,708 \times 10^{-4} X^3 - 3,101 \times 10^{-4} X$$

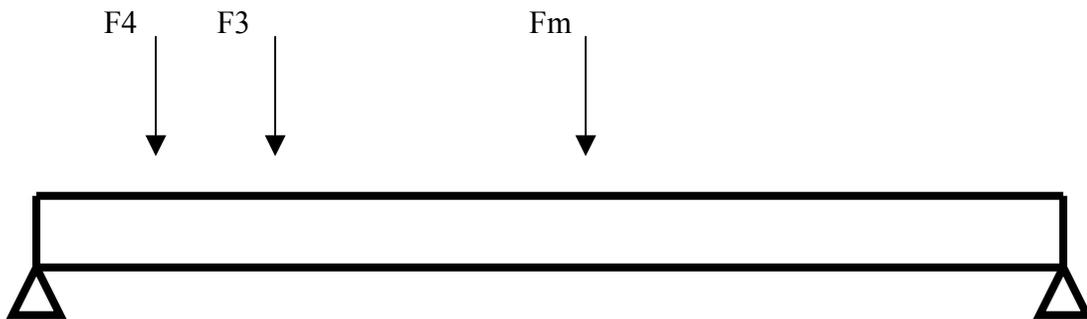
$$\frac{dy}{dx} = 1,412 \times 10^{-3} X^2 - 3,101 \times 10^{-4} = 0$$

$$x = 0,468 \text{ m}$$

$$y_{max} = -9,686 \times 10^{-5} \text{ m}$$



### 3.12.4 Cálculo de la viga 5



$$\Sigma F = 0$$

$$F_{10} - F_m - F_4 - F_3 + F_{11} = 0$$

$$F_4 = 205,208 \text{ N}$$

$$F_3 = 98,045 \text{ N}$$

$$F_m = 98,159 \text{ N}$$

$$F_{10} + F_{11} = 401,412 \text{ N}$$

$$\Sigma T = 0$$

Se toma como origen el punto de F11

$$-T_{f3} - T_{f4} - T_m + T_{f10} = 0$$

$$T_{f3} = F_3 \times l_{f3}$$

$$T_{f3} = 98,045 \text{ N} \times 0,1775 \text{ m}$$

$$T_{f3} = 17,402 \text{ N m}$$

$$T_{f4} = F_4 \times l_{f4}$$

$$T_{f4} = 205 \text{ N} \times 0,6625 \text{ m}$$

$$T_{f4} = 135,812 \text{ N m}$$

$$T_m = f_m \times l_{cm}$$

$$T_m = 88,159 \text{ N} \times 0,75 \text{ m}$$

$$T_m = 72,637 \text{ N m}$$

$$T_{f9} = 225,851 \text{ N m}$$

$$F_9 = \frac{225,851 \text{ Nxm}}{1,48 \text{ m}}$$

$$F_9 = 152,602 \text{ N}$$

$$F_8 = 248,809 \text{ N}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{T_{\max}}{S}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{225,851 \text{ Nxm}}{7,68 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_{\max} = 29407682,281 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\max} = 29,076 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{\max} = \frac{F}{A}$$

$$\tau_{\max} = \frac{248,809 N}{8,7 \times 10^{-4} m^2}$$

$$\tau_{\max} = 285987,356 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\max} = 0,285 \text{ MPa}$$

$$y = y_3 + y_4 + y_m$$

$$y_3 = \frac{98,045 \times 1,302}{6 \times 20,58 \times 10^{10} \times 33,4 \times 10^{-8} \times 1,48} (X^2 + (1,302)^2 - (1,48)^2)$$

$$y_3 = 2,091 \times 10^{-4} X^2 - 1,035 \times 10^{-4} X$$

$$y_4 = \frac{205,208 N \times 1,117}{6,20,58 \times 10^{10} \times 33,410^{-8} \times 1,48} (X^2 + 1,117)^2 - (1,48)^2$$

$$y_4 = 3,755 \times 10^{-4} X^3 - 1,954 \times 10^{-4} X$$

$$y_m = \frac{98,159 X}{4820,58 \times 10^{10} \times 33,4 \times 10^{-8}} (4X^2 - 3(1,48)^2)$$

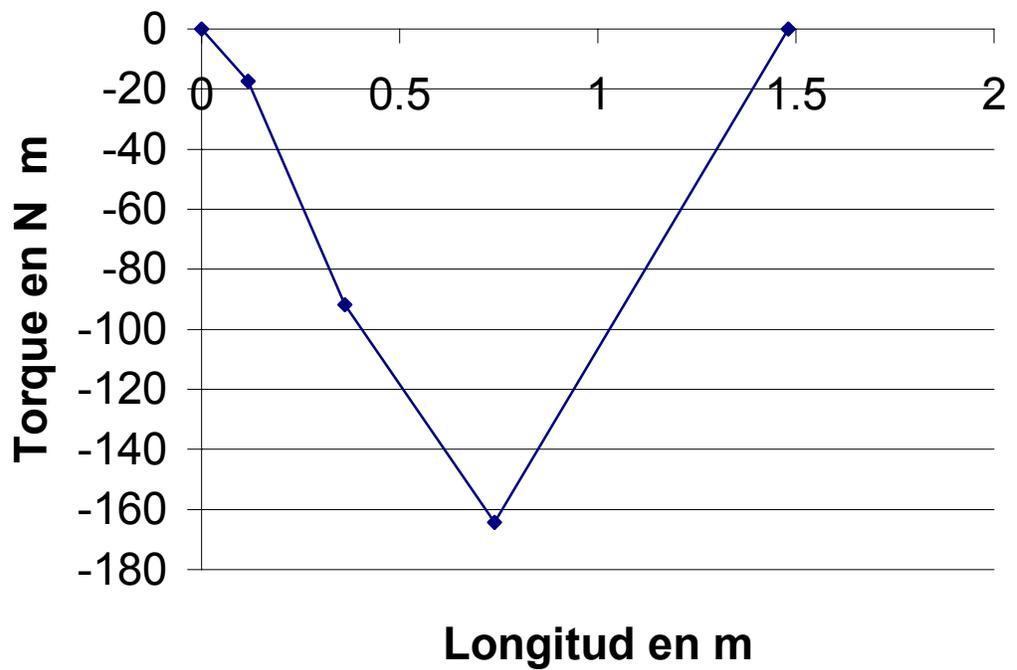
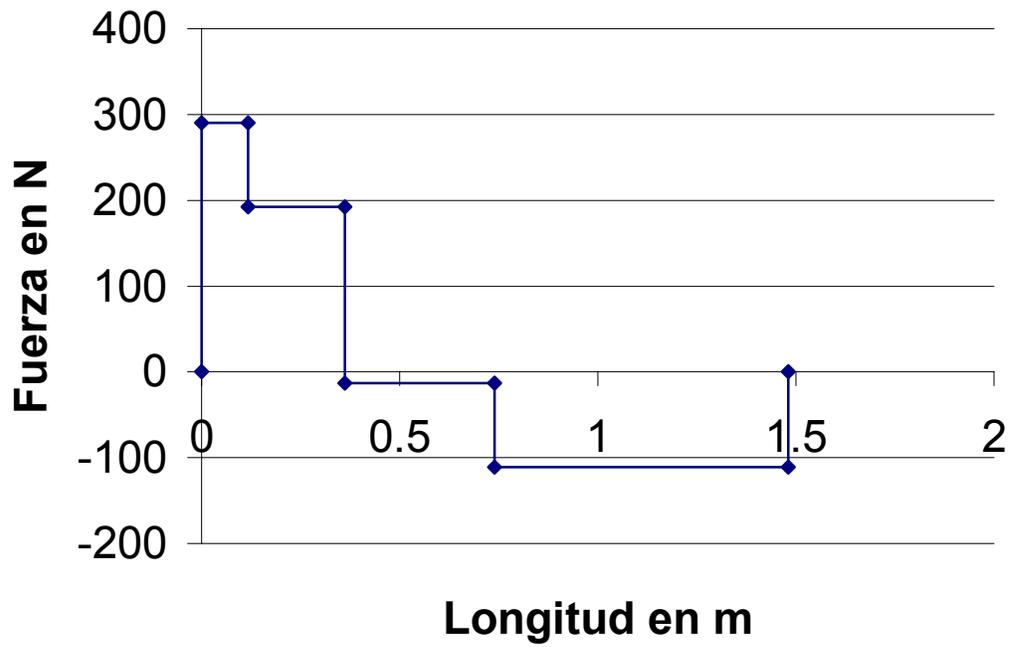
$$y_m = 1,190 \times 10^{-4} X^3 - 1,954 \times 10^{-4} X$$

$$y = 7,036 \times 10^{-4} X^3 - 1,954 \times 10^{-4} X$$

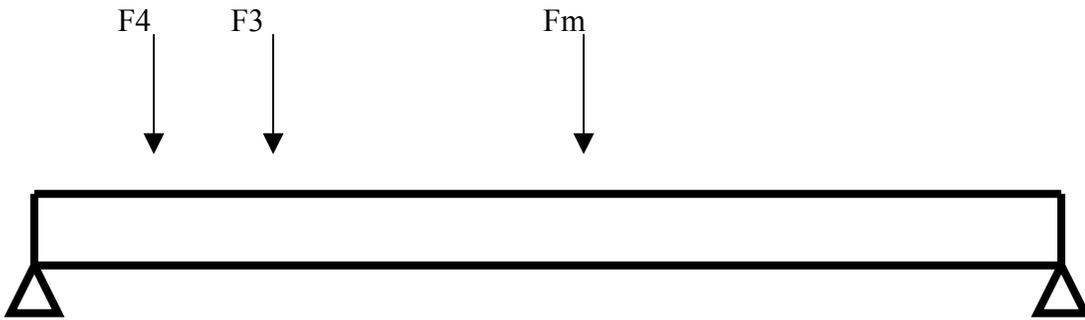
$$\frac{dy}{dx} = 2,110 \times 10^{-3} X^2 - 6,529 \times 10^{-4}$$

$$x = 0,309$$

$$y_{\max} = -1,809 \times 10^{-4} \text{ m}$$



### 3.12.5 Cálculo de la Viga 6



$$F_3 = 81,653 \text{ N}$$

$$F_4 = 94,208 \text{ N}$$

$$F_m = 98,459 \text{ N}$$

$$\sum F = 0$$

$$F_8 - F_3 - F_4 - F_m - F_9 = 0$$

$$F_8 + F_8 = 274,02 \text{ N}$$

$$\sum T = 0$$

Se toma como origen el punto de F8

$$-T_{F3} - T_{F4} - T_m + T_{F9} = 0$$

$$T_{F3} = F_3 \times l_{F3}$$

$$T_{F3} = 81,653 \text{ N} \times 0,1775 \text{ m}$$

$$T_{F4} = F_4 \times l_{F4}$$

$$T_{F4} = 84,045 \text{ N} \times 0,6625 \text{ m}$$

$$T_{F4} = 62,304 \text{ N m}$$

$$T_m = 72,637 \text{ N m}$$

$$T_{F9} = 149,434 \text{ N m}$$

$$F_9 = \frac{149434 \text{ Nm}}{1,48 \text{ m}}$$

$$F_9 = 100,968 \text{ N}$$

$$F_8 = 173,051 \text{ N}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{T_{\max}}{S}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{149,434 \text{ Nm}}{7,68 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_{\max} = 19457552,083 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\max} = 19,457 \text{ Mpa}$$

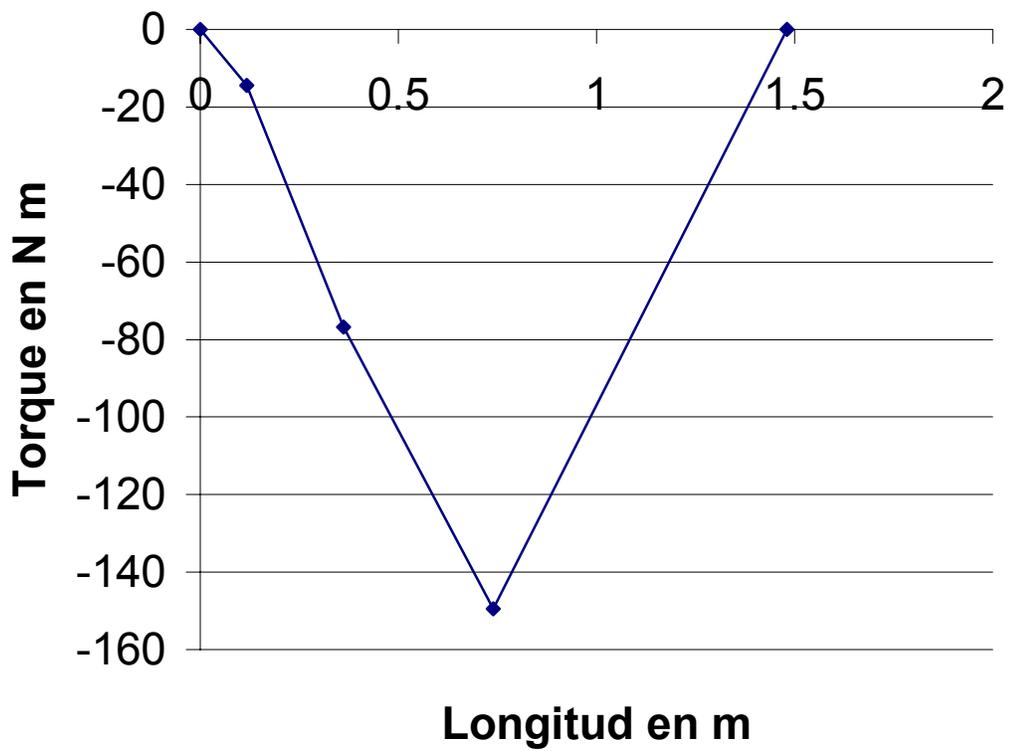
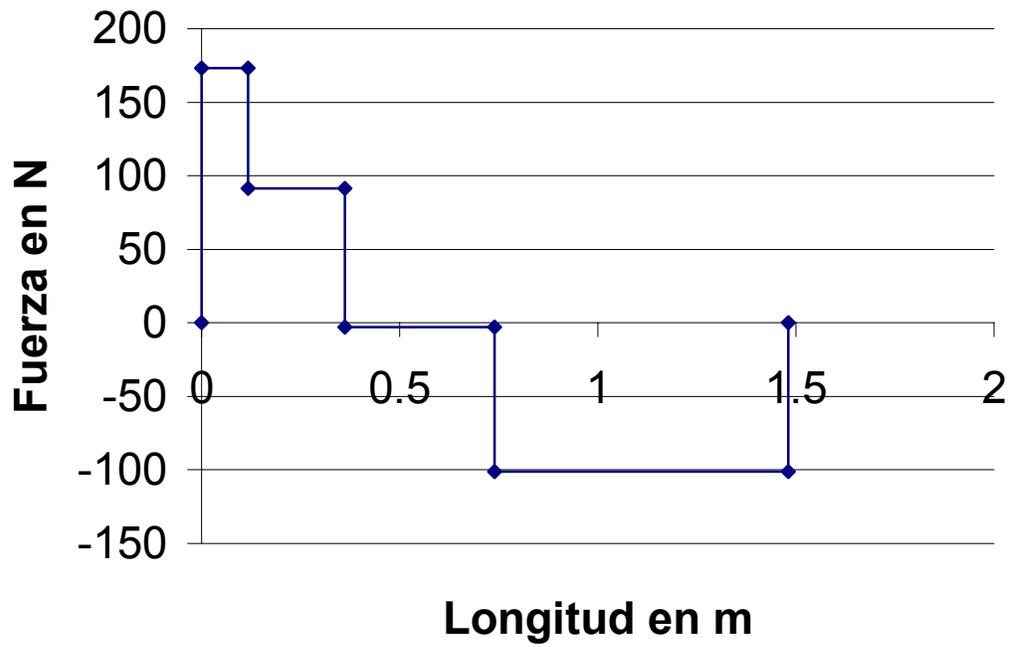
$$\tau_{\max} = \frac{F}{A}$$

$$\tau_{\max} = \frac{173,071 \text{ N}}{8,7 \times 10^4 \text{ m}^2}$$

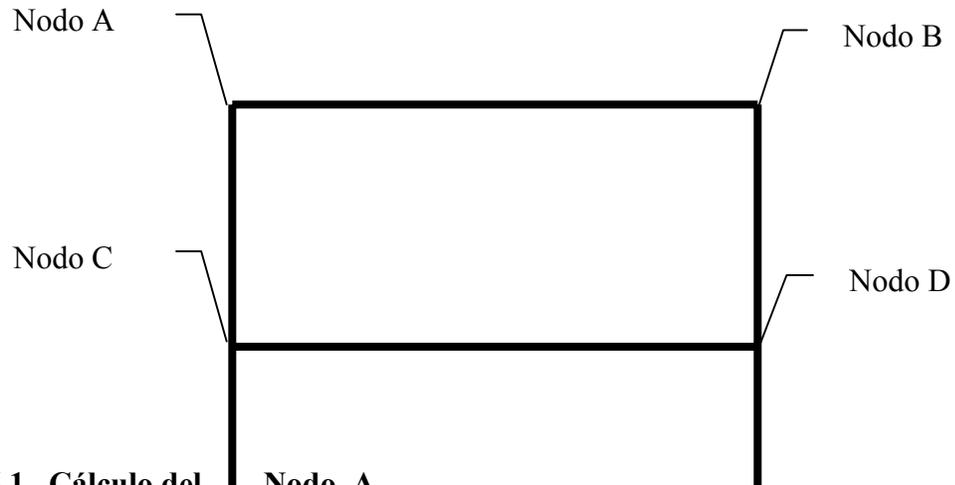
$$\tau_{\max} = 198932,183 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\max} = 0,198 \text{ M Pa}$$

Tiene la misma distribución que fuerzas que la viga 5, pero requerimientos menores por lo que su deformación va a ser menor.



### 3.12.6 Cálculo de la estructura lateral



#### 3.12.6.1 Cálculo del Nodo A

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F_{AB1} - F_{ACy} = 0$$

$$F_{AB1} = 839,812 \text{ N}$$

#### 3.12.6.2 Cálculo del Nodo B

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F_{AB2y} = 1109,273 \text{ N}$$

#### 3.12.6.3 Cálculo del Nodo D

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F_{CDy2} = 248,809 \text{ N (Compresión)}$$

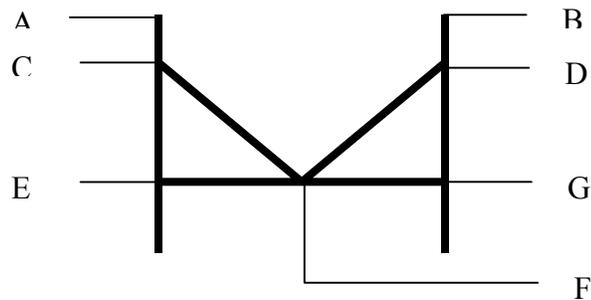
### 3.12.6.4 Cálculo del Nodo C

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

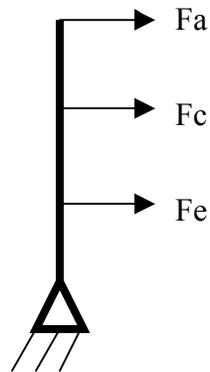
$$F_{CDy1} = 152,602 \text{ N (Compresión)}$$

### 3.12.7 Cálculo de la estructura Frontal



La fuerza 1 es la fuerza generada por la palanca, la cual se supone que se reparte de igual manera entre los dos soportes de los rieles.

$$F_1 = 347,811 \text{ N}$$



$$\sum F_x = 0$$

$$F_A + F_C - F_E = 0$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$-T_A - T_C - T_E = 0$$

$$T_A = F_A \times l_A$$

$$T_A = 399,982 \text{ Nm}$$

$$\begin{cases} F_C + F_E = -347,811 \text{ n} \\ 0,804 F_C + 0,425 F_E = -399,982 \text{ Nm} \end{cases}$$

$$F_C = -665,335 \text{ N}$$

$$F_E = 317,520 \text{ N}$$

### 3.12.7.1 Cálculo del Nodo C

$$\Sigma F_x = 0$$

Debido a que el ángulo es de  $45^\circ$

$$F_{Cx} = F_{Cy}$$

$$F_{Cy} = 665,335 \text{ N}$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$F_{Acy} = 939,812 \text{ N Compresión}$$

$$F_{EC} = F_{Acy} - F_{Cy}$$

$$F_{CEy} = 939,812 \text{ N} - 665,335 \text{ N}$$

$$F_{CE} = 274,477 \text{ N a compresión.}$$

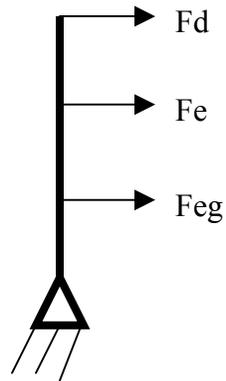
### 3.12.7.2 Cálculo de la Fuerza del Nodo C

$$F_C = F_{CF} \times \cos 45$$

$$F_C = \frac{F_{CFx}}{\cos 45^\circ}$$

$$F_C = \frac{939,812 \text{ N}}{\cos 45^\circ}$$

$$F_{CF} = 1329,094 \text{ N En compresión}$$



$$\Sigma F = 0$$

$$\begin{cases} F_{OF} + F_{gF} = -347,811 \text{ N} \\ 0,804 F_{OF} + 0,425 F_{gF} = -399,982 \text{ Nm} \end{cases}$$

$$F_{OFX} = -665,335 \text{ N (Tracción)}$$

$$F_{GFX} = 317,520 \text{ N}$$

Los cálculos de las fuerzas en los nodos B,F son los moismos efectuados anteriormente

$$F_{BD} = 274,477 \text{ N en compresión}$$

$$F_{OF} = 1329,094 \text{ N en tracción}$$

### 3.12.7.3 Cálculo del Nodo F

$$\Sigma F_x = 0$$

$$F_{CX} + F_{EX} + F_{BX} + F_{GX} + F_{FX} = 0$$

$$+ 665,335 \text{ N} - 317,520 \text{ N} + 665 \text{ N} - 317,520 \text{ N} = - F_{FX}$$

$$F_x = 695,630 \text{ N}$$

$$F_{EF} = F_F - F_E$$

$$F_{EF} = 687,630 \text{ N} - 317,520 \text{ N}$$

$$F_{EF} = 380,110 \text{ N} = \text{a compresión}$$

$$F_{FG} = F_F - F_G$$

$$F_{FG} = 380,110 \text{ a tracción}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F_{CY} + F_D + F_{FY} = 0$$

$$F_{FY} = 1395,260 \text{ N}$$

#### 3.12.7.4 Cálculo del Nodo E

$$\sum F_y = 0$$

$$-F_{Cy} + F_{Ey} - \frac{FF_y}{2} = 0$$

$$-F_{Ey} = \frac{FF_y}{2} + F_{Cy}$$

$$F_{Ey} = 697,630 \text{ N} + 665,335 \text{ N}$$

$$F_{Ey} = 1362,965 \text{ N}$$

$$\sum F_{EX} = 0$$

$$F_{EX} = 317,520 \text{ N}$$

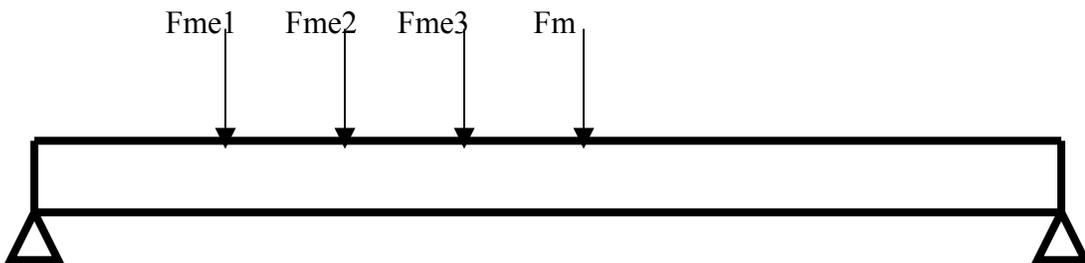
$$F_{EX} = 317,520 \text{ N a tracción}$$

El cálculo del módulo g es el mismo que el cálculo del F

$$F_{gy} = 1362,965 \text{ N}$$

$$F_{EX} = 317,520 \text{ N a compresión}$$

#### 3.12.8 Cálculo de la Viga 7



$$F_{me1} = 30,688 \text{ N}$$

$$F_{me2} = 21,997 \text{ N}$$

$$F_{me} = 13,232 \text{ N}$$

$$F_m = 98,159 \text{ N}$$

$$\Sigma F = 0$$

$$F_8 - F_{me1} - F_{me2} - F_m - F_{11} = 0$$

$$F_8 + F_{11} = 1564,076 \text{ N}$$

$$\Sigma T = 0$$

Se toma como origen el punto de  $F_8$

$$T_{fme1} = F_{me1} \times l_{me1}$$

$$T_{fme1} = 30,688 \text{ N} \times 0,0875 \text{ m}$$

$$T_{fme1} = 2,685 \text{ N m}$$

$$T_{fme2} = F_{me2} \times l_{me2}$$

$$T_{fme2} = 21,997 \text{ N} \times 0,345 \text{ m}$$

$$T_{fme2} = 7,588 \text{ N m}$$

$$T_{fme3} = F_{me3} \times l_{me3}$$

$$T_{fme3} = 13,232 \text{ N} \times 0,4025 \text{ m}$$

$$T_{fme3} = 5,325 \text{ N m}$$

$$T_m = F_m \times l_{cm}$$

$$T_m = 98,159 \text{ N} \times 0,575 \text{ m}$$

$$T_m = 56,441 \text{ N m}$$

$$-T_{me1} - T_{me2} - T_{me3} - T_m + T_{F11} = 0$$

$$T_{F11} = 72,039 \text{ N m}$$

$$F_{11} = \frac{72,039 \text{ Nxm}}{1,15 \text{ m}}$$

$$F_{11} = 62,642 \text{ N}$$

$$F_8 = 101,433 \text{ N}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{T_{\max}}{S}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{72,039 \text{ Nxm}}{7,68 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_{\max} = 9380078,125 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\max} = 9,38 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{\max} = \frac{F}{A}$$

$$\tau_{\max} = \frac{101,433 \text{ N}}{8,7 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\tau_{\max} = 116589,655 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\max} = 0,116 \text{ M Pa}$$

$$y = y_{me1} + y_{me2} + y_{me3} + y_m$$

$$y_{me1} = \frac{30,688x1,0625X}{6x20,58x10^{10}x33,4x10^{-8}x(1,15)} (X^2 + (1,0625) - (1,15)^2)$$

$$y_{me1} = 6,874 \times 10^{-5} X^3 - 1,330 \times 10^{-5} X$$

$$y_{me2} = \frac{(21,997)x(1,005)}{6x20,58x10^{10}x33,4x10^{-8}x1,15} (X^2 - (1,005)^2 - (1,15)^2)$$

$$y_{me2} = 4,661x10^{-5} X^3 - 1,456x10^{-5} X$$

$$y_{me3} = \frac{13,252)x(0,7475)}{6x20,58x10^{10}x33,4x10^{-8}x1,15} (X^2 + (0,7475)^2 - (1,15)^2)$$

$$y_{me3} = 2,085x10^{-5} X^3 - 1,561x10^{-5} X$$

$$y_m = \frac{38,159X}{48x20,58x10^{10}x33,4x10^{-8}} (4X^2 - 3(1,15)^3)$$

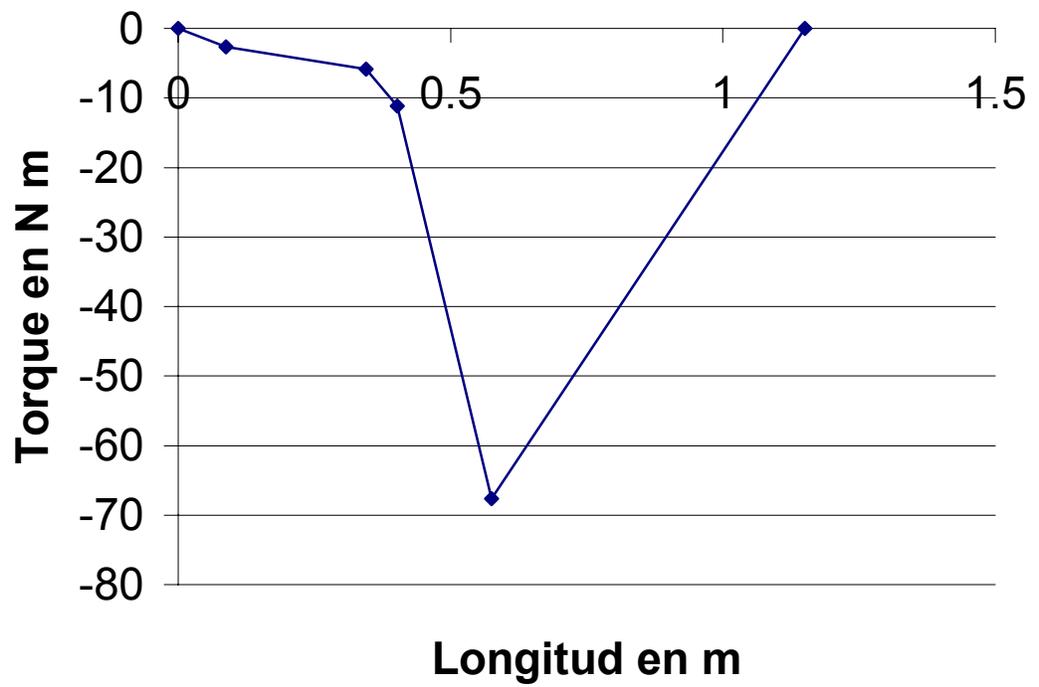
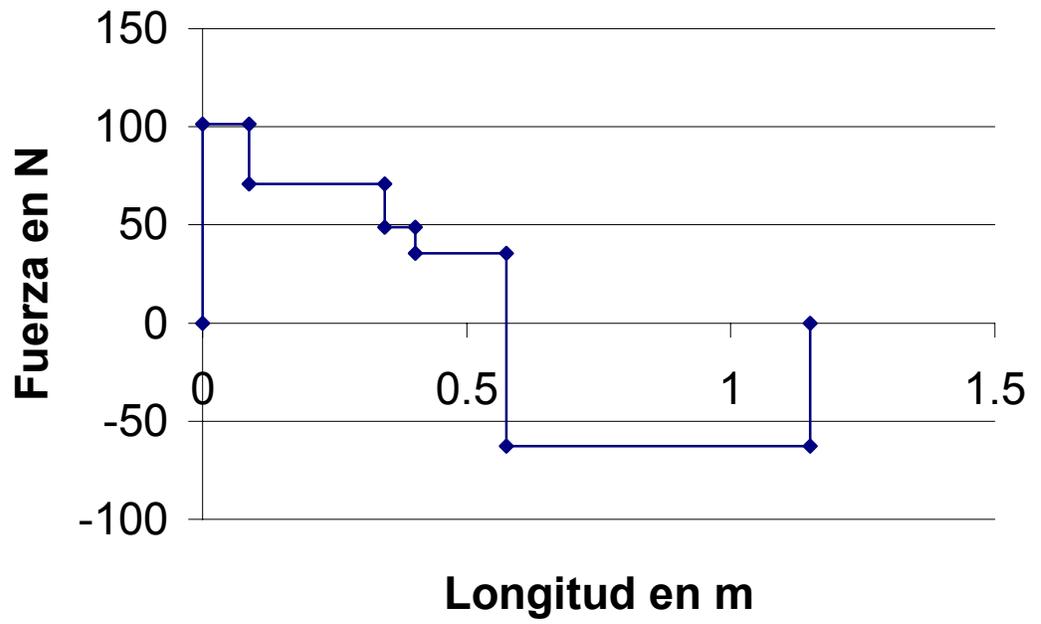
$$y_m = 1,190x10^{-4} X^3 - 3,180x10^{-4} X$$

$$y = 2,552 \times 10^{-4} X^3 - 3,614x10^{-4} X$$

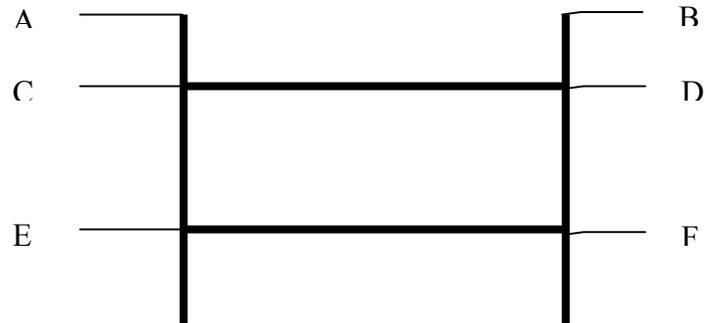
$$\frac{dy}{dx} = 7,656x10^{-4} X^2 - 3,614x10^{-4} = 0$$

$$x = 0,472$$

$$y_{max} = -1,437 \times 10^{-4} \text{ m}$$



### 3.12.9 Cálculo de la estructura posterior



$$\sum F_y = 0$$

$$F_{Ay} + F_c + F_e = 0$$

$$F_c + F_e = -F_{Ay}$$

$$\sum T = 0$$

$$0,804 F_c + 0,425 F_e = -339,982 \text{ Nm}$$

$$\begin{cases} F_c + F_e = -347,811 \\ 0,804 F_c + 0,425 F_e = -399,982 \text{ Nm} \end{cases}$$

$$F_c = -665,335 \text{ N}$$

$$F_e = 667,520 \text{ N}$$

#### 3.12.9.1 Cálculo del Nodo C

$$F_{cx} = +665,335 \text{ N}$$

$$\sum F_{cy} = 0$$

$$F_{cy} - F_{cd1y} = 0$$

$$F_{cy} = 101,433 \text{ N}$$

### 3.12.9.2 Cálculo del Nodo E

En X

$$F_{ex} = + 667,520 \text{ N}$$

En Y

$$\sum F_y = 0$$

$$F_{ey} - \frac{F_{mef}}{2} = 0$$

$$F_{mEY} = m \times l \times g$$

$$F_{mEY} = 77,052 \text{ N}$$

$$F_{EY} = 38,526 \text{ N}$$

### 3.12.9.3 Cálculo del Nodo D

En y corresponden a los mismos cálculos y resultados que el Nodo C

$$\sum F_{Dy} = 0$$

$$F_{Dy} - F_{CD2y} = 0$$

$$F_{Dy} = 62,642 \text{ N}$$

### 3.12.9.4 Cálculo del Nodo F

Corresponden a los mismos cálculos que el Nodo E

### 3.12.10 Cálculo de las columnas

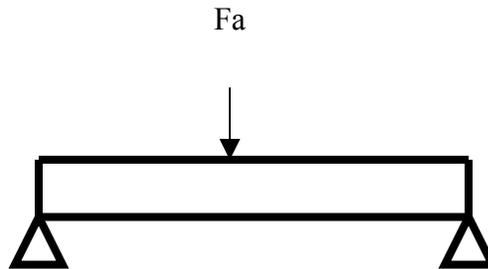
- Mediante la ecuación de Euler calculamos la carga crítica que pueden soportar las columnas.
- Se considera ambos extremos articulados.

$$F_{cr} = \frac{EL\pi^2}{L^2}$$

$$F_{cr} = \frac{20,58 \times 10^{10} \times 33,4 \times 10^{-8} \times \pi^2}{(1,15m)^2}$$

$$F_{cr} = 512974,647 \text{ N}$$

### 3.13 Cálculo de la Cuña



$$F_v = F_s = \frac{FR}{2}$$

$$FR = 62,85 \text{ K} \times 9,81 \text{ N}$$

$$FR = 616,558 \text{ N}$$

$$F_v = F_s = 308,279 \text{ N}$$

$$M_{AB} = FR \times l$$

$$M_{AB} = 308,279 \text{ N} \times 0,15 \text{ m}$$

$$M_{AB} = 46,234 \text{ Nm}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{AB}}{S}$$

$$S = \frac{I}{C}$$

$$I = \frac{bxh^3}{12}$$

$$I = \frac{0,12m \times (0,08m)^3}{12}$$

$$I = 5,12 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$S = 1,28 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{308,279 \text{ Nxm}}{1,28 \times 10^{-4} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_{\max} = 2408429,687 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\max} = 2,408 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{\max} = \frac{F}{A}$$

$$A = b \times h$$

$$A = 0,08 \text{ m} \times 0,12 \text{ m}$$

$$A = 9,6 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\tau_{\max} = \frac{308,279 \text{ N}}{9,6 \times 10^{-3} \text{ m}^2}$$

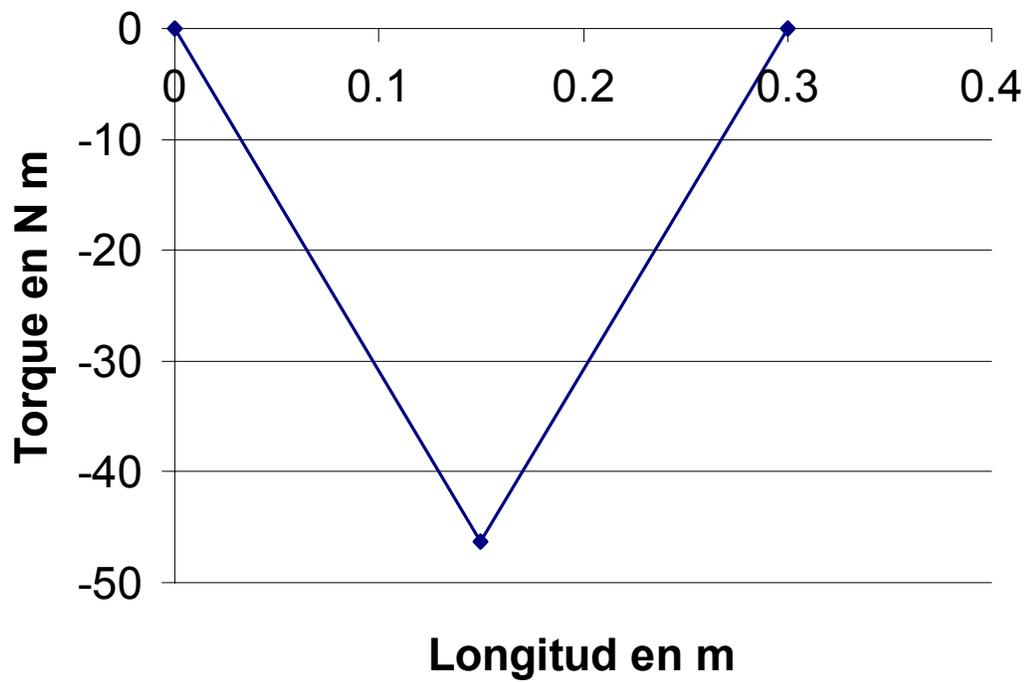
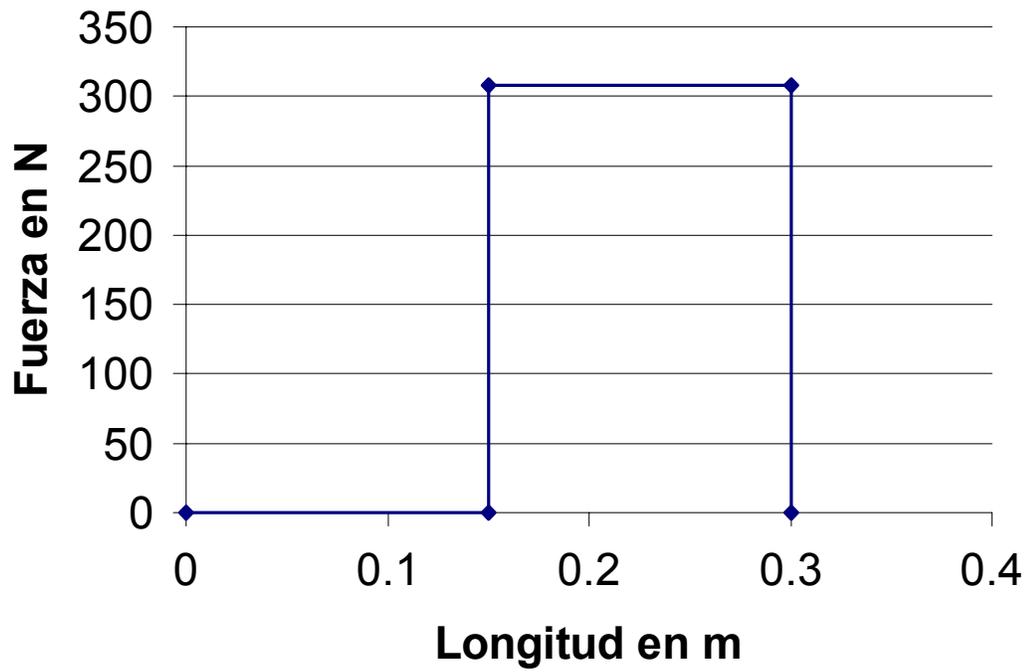
$$\tau_{\max} = 32,112,395 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\max} = 90,032 \text{ Mpa}$$

$$y_{\max} = \frac{-Fl^3}{48XEI}$$

$$y_{\max} = \frac{-308,279 \times (0,3)^3}{48 \times 200 \times 10^8 \times 5,12 \times 10^{-6}}$$

$$y_{\max} = -1,693 \times 10^{-7} \text{ m}$$



### 3.14 Calculo de los Resortes

#### 3.14.1 Resorte de Compresión

Según el fabricante se trata de un resorte estirado duro.

Según tabla de la p. 479 del Shigley

$$M = 0,201$$

$$A = 1510 \text{ M Pa}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{A}{d^m}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{1510}{(0,004)^{0,201}}$$

$$\sigma_{\max} = 4581,027 \text{ M Pa}$$

$$\sigma_{\text{flu}} = 0,45 \sigma_{\max}$$

$$\sigma_{\text{flu}} = 2061,462 \text{ Pa}$$

$$K_s = \frac{2C+1}{2C}$$

$$C = \frac{D-d}{d}$$

$$C = \frac{3,5\text{cm} - 0,4}{0,4}$$

$$C = 7,75$$

$$K_s = \frac{2x(7,75)+1}{2x7,75}$$

$$K_s = 1,064$$

$$F_s = \frac{\sigma_{\text{flu}} \pi x d^3}{8 x k_s x D}$$

$$F_s = \frac{2061,462 \times 10^6 \times \pi \times (0,004)^3}{8 \times 1,064 \times 0,035}$$

$$F_s = 1391,251 \text{ New}$$

$$K = \frac{d^4 x G}{8 x D^3 x N a}$$

Se trata de un resorte aplanado a escuadra porque según la tabla 10-2 p. 472 del Shigley se obtiene

$$N a = 116,2$$

$$N a = 9,6$$

$$K = \frac{(0,004)^4 x 7,93 x 10^{10}}{8 x (0,035)^3 x 9,6}$$

$$K = 6165,208 \text{ N/m}$$

Se sabe que la uña debe ejercer un T de al menos 105 N m torque que se reparte entre ambos resortes.

$$F = F_R x l_{pu}$$

$$F_R = \frac{53 N}{0,3}$$

$$F_R = 176,66 \text{ N}$$

$$F = K x l_R$$

$$l_R = \frac{F R}{K}$$

$$l_R = 2,865 x 10^{-2} \text{ m}$$

### 3.14.2 Resorte a tracción

$$K = \frac{d^4 G}{8 x D^3 x N}$$

$$K = \frac{(0,0028)^4 x 7,93 x 10^{10}}{8 x (0,018)^3 x 24}$$

$$K = 4634,675 \text{ N/m}$$

$$F = K x l_R$$

$$l_R = \frac{F}{K}$$

Se estima que con una fuerza de 25 Kg o 245 N será suficiente para devolver la palanca.

$$l_R = 5,291 \times 10^{-2} \text{ m}$$

### 3.14.3 Calculo Resorte de la Uña del Carro

Se busca que soporte la mitad del torque generado por el eje.

$$T_T = 53 \text{ N m}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{A}{d^m}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{1530}{(0,00549)^{0,201}}$$

$$\sigma_{\max} = 4355,493 \text{ M Pa}$$

$$\sigma_{f/u} = 0,45 \sigma_{\max}$$

$$\sigma_{f/u} = 1959,97 \text{ M Pa}$$

$$K_i = \frac{4C^2 - C - 1}{4C(C - 1)}$$

$$D_m = 0,02953 \text{ m} - 0,000549 \text{ m}$$

$$D_m = 0,02404$$

$$C = \frac{D_m}{d}$$

$$C = \frac{0,02404}{0,00549}$$

$$C = 4,378$$

$$K_i = \frac{4(4,378)^2 - (4,378) - 1}{4(4,378)(4,378 - 1)}$$

$$K_i = 1,187$$

$$T_{\max} = \frac{\pi x d^3 x \sigma A}{32 x K_i}$$

$$T_{\max} = 59,607 \text{ N m}$$

$$K' = \frac{d^4 x E}{10,8 x D x n}$$

$$K' = \frac{(0,00549)^4 \times 207 \times 10^9}{10,8 \times 0,02953 \times 6}$$

$$K' = 98,2 \text{ N m}$$

$$n = \frac{T}{K}$$

$$n = \frac{53}{88,2}$$

$$n = 0,539 \text{ espiras}$$

$$\theta = 0,539 \times 360^\circ$$

$$\theta = 194,15^\circ$$

#### 3.14.4 Calculo del Resorte de la Uña de la Palanca

Se calcula que con un torque de 5 N m es suficiente para colocar la uña en su posición.

$$\sigma_{\max} = \frac{A}{d^m}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{1530}{(0,00549)^{0,201}}$$

$$\sigma_{\max} = 4355,493 \text{ M Pa}$$

$$\sigma_{\text{flu}} = 1959,97 \text{ M Pa}$$

$$k_i = \frac{4C^2 - C - 1}{4C(C - 1)}$$

$$D_m = 0,032 \text{ mm} - 0,0028 \text{ mm}$$

$$D_m = 0,0292 \text{ mm}$$

$$C = \frac{0,0292}{0,0028}$$

$$C = 10,428$$

$$K_i = \frac{4(10,428)^2 - (10,428) - 1}{4(10,428)(10,428 - 1)}$$

$$K_i = 1,082$$

$$T_{\max} = \frac{\pi x d^3 x \sigma f}{32 K_i}$$

$$T_{\max} = 8,670 \text{ Nxm}$$

$$K' = \frac{d^4 E}{10,8 x D x n}$$

$$K' = 5,19$$

$$n = \frac{50}{90,194}$$

$$n = 0,962$$

$$\theta = n \times 360$$

$$\theta = 436,52^\circ$$

### 3.15 Calculo de la Potencia Consumida por la Maquina

$$P = T \times \omega$$

$$T = Fc \times l$$

$$T = 721N \times 0,029 \text{ m}$$

$$T = 20,909 \text{ Nm}$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

$$\omega = \frac{2\pi \times 31,851 \text{ Rpm}}{60}$$

$$\omega = 3,335 \text{ rad/sg}$$

$$P = 69,731 \text{ w}$$

$$P = 0,069 \text{ Kw.}$$

Esta es la mínima potencia requerida por lo maquina, desconocemos la eficiencia del reductor, a causa de la antigüedad del mismo no se pudieron conseguir los manuales. Por su complejidad y edad presumimos una perdidas grandes.

Se asume que el reductor tiene una eficiencia del 50% y la correa se asume una potencia del 80%

$$N_R = \frac{PSR}{PeR}$$

$$PeR = \frac{PSR}{N_R}$$

$$PeR = \frac{0,068}{0,5}$$

$$PeR = 0,136 \text{ Kw}$$

$$N_c = \frac{PSC}{Pec}$$

$$P_{ec} = \frac{P_{SC}}{N_c}$$

$$P_{ec} = \frac{0,136}{0,2}$$

$$P_{ec} = 0,68 \text{ Kw}$$

### 3.16 Calculo de la Correa

$$P = 1,8 \text{ Kw} = 2,41 \text{ HP}$$

La potencia de diseño es de 2,65 Hp

Se selecciona a través de la tabla p. 539 del libro Diseño de elementos de maquinas de Robert L Mott una correa del tipo 3V industrial.

Por la tabla p. 541 del mismo libro se obtiene una potencia de = 3 Hp

$$L = 2C + 1,57 (D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)}{2}$$

$$L = 2(0,3) + 1,57 \times (0,18 + 0,09) + \frac{(0,18 - 0,09)}{2}$$

$$L = 1,0279\text{m} = 40,468 \text{ inc}$$

$$\theta_1 = 180^\circ + 2 \text{ Sen}^{-1} \times \left( \frac{D_2 - D_1}{2C} \right)$$

$$\theta_1 = 2,11328^\circ$$

$$\theta_2 = 180 - 2 \text{ Sen}^{-1} \left( \frac{D_2 - D_1}{2C} \right)$$

$$\theta_2 = 148,671^\circ$$

Potencia Corregida

$$P_c = p_d \times C_o \times C_p$$

C<sub>o</sub> se obtiene:.

$$C_o = 0,95$$

$$C_p = 0,92$$

$$P_c = 2,65 \text{ Hp} \times 0,95 \times 0,92$$

$$P_c = 2,316 \text{ Hp}$$

Como se está utilizando una correa 3V para 3 Hp con una correa es suficiente.

### 3.17 Cálculo de la Cadena

Se dispone en la fábrica de una cadena ASA 50 la cual tiene un esfuerzo último a la tracción de 6100 lb lo que es equivalente a 2767 K

$$F_T = F_p + F_{Tc}$$

$$F_p = 700 \text{ N}$$

$$F_{Tc} = m_{tc} \times a$$

$$M_{tc} = 92 \text{ K} \approx 100 \text{ K}$$

$$a = \frac{V_f - V_o}{t}$$

$$V_f = 0,09672 \text{ m/sg}$$

$$V_o = -0,09672 \text{ m/sg}$$

$$t = \frac{\pi R}{v l}$$

$$t = \frac{\pi \times 2,9 \text{ cm}}{9,762 \text{ cm/sg}}$$

$$t = 0,933 \text{ sg}$$

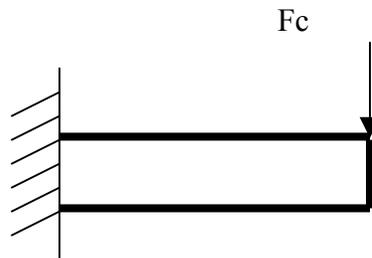
$$a = 0,207 \text{ m/sg}^2$$

$$F_{Tc} = 20,763 \text{ m}$$

$$F_T = 721, \text{ N}$$

Lo que significa que la fuerza a la que se ve sometida la cadena es de 74 K por lo que la cadena que se dispone en la fábrica cumple holgadamente con el cometido.

### 3.18 Cálculo del eje de la rolinera de la cadena



$$F_c = 721 \text{ N}$$

$$T_t = F_c \times l_e$$

$$T_t = 721 \text{ N} \times 0,023 \text{ m}$$

$$T_t = 16,583 \text{ N m}$$

$$S = \frac{I}{c}$$

$$I = \frac{\pi x R^4}{4}$$

$$I = \frac{\pi x (0,005 \text{ m})^4}{4}$$

$$I = 4,908 \times 10^{-10} \text{ m}^4$$

$$S = \frac{4,908 \times 10^{-10} \text{ m}^4}{0,005 \text{ m}}$$

$$S = 2,155 \times 10^{-8} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{16,583 \text{ Nm}}{9,817 \times 10^{-8} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_{\text{max}} = 168913050,963 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\text{max}} = 168,913 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\text{max}} = \frac{F_{\text{max}}}{A}$$

$$A = \pi \times R a^2$$

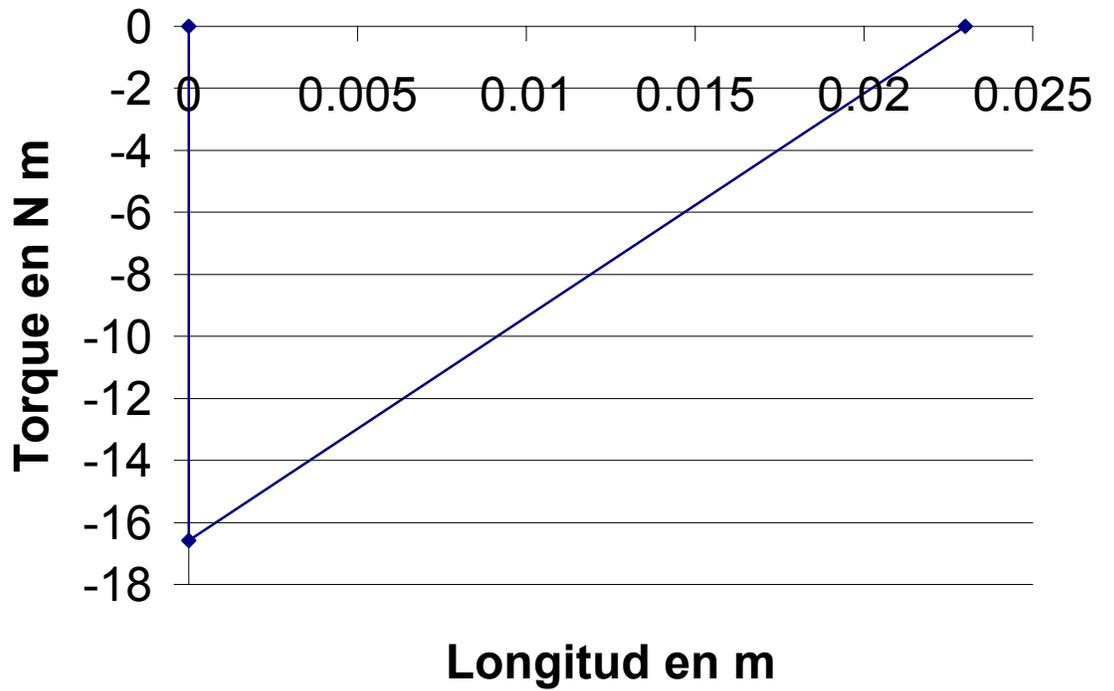
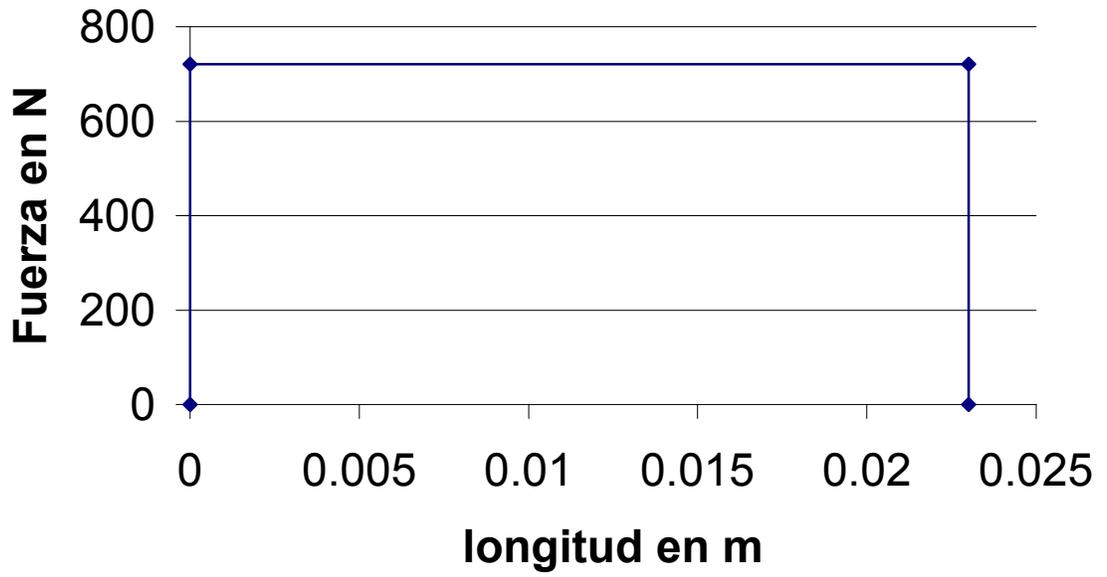
$$A = \pi \times (0.005 \text{ m})^2$$

$$A = 7,853 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\tau_{\max} = \frac{721N}{7,856 \times 10^{-5} \text{ m}^2}$$

$$\tau_{\max} = 9177348,11 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\max} = 9,177 \text{ Mpa}$$



---

## CAPITULO IV

### Conclusiones y Recomendaciones

#### 4.1 Conclusiones

- Se ha diseñado y construido una máquina de desplazamiento longitudinal y rotacional para el termo-rociado de cojinetes de Babbit usando para tal fin las herramientas adquiridas por los estudios de diversas materias de la Ingeniería Mecánica.
- Dicha máquina cumple con todas las especificaciones de velocidad, distancia, ángulo de barrido y otras dadas por la empresa.
- El termo-rociado realizado por la máquina resulta ser de un recubrimiento “excelente, muy denso con las partículas muy finamente atomizadas y homogéneo”, además de haber muy poco desperdicio de material y un ahorro en el tiempo de termo-rociado y maquinado.
- El operario está menos expuesto a los gases producidos por el termo-rociado, por lo que resulta una “menor contaminación del mismo”.
- La construcción se logró a un bajo costo, debido a que se incluyeron materiales existentes en la empresa, llegando a repontenciar equipos que estaban en desuso en la empresa.
- Se logró una gran versatilidad en la máquina, ya que con pequeñas modificaciones se puede usar para aplicaciones que no estaban previstas originalmente en el diseño, por ejemplo, con el cambio del soporte de la pistola se puede adaptar la máquina para el uso del equipo hipersónico, o con el cambio de las poleas se puede lograr velocidades distintas, útiles para otras aplicaciones.

## **4.2 Recomendaciones**

- Se sugiere la construcción de una campana para la recolección y extracción de los gases producidos por el proceso.
- Seguir los pasos descritos en el manual de operación de la máquina.
- Seguir los pasos descritos en el manual de mantenimiento.
- Hacer el estudio detallado de las diferencias que se puedan obtener en las características mecánicas y metalúrgicas del Babbit termo-rociado a distancias extremas obtenidas por la máquina entre 127 mm y 169 mm.

---

## BIBLIOGRAFÍA

## **Bibliografía**

- **Krick, E. (1992).** *Introducción a la Ingeniería y al Diseño en la Ingeniería* (Segunda edición). México, D.F. : Editorial LIMUSA, S.A.
- **Popov, E. (1992).** *Introducción a la Mecánica de Sólidos* (Décima edición). México: Editorial LIMUSA, S.A.
- **Shigley, J. (1990).** *Diseño en Ingeniería Mecánica* (Quinta edición). España: Editorial McGraw-Hill.
- **León J. (1983).** *Dinámica de máquinas*, Méjico Editorial Limusa
- **Acosta A. (1999).** *Estudio comparativo de la resistencia al desgaste de Babbitt termo-rociados y soldados por el proceso TIG*, trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica
- **Martínez L. (1998).** *Evaluación de las propiedades mecánicas de los cojinetes de deslizamiento de metal Babbitt depositado por Termo-rociado y por soldadura TIG*, trabajo especial de grado Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica.
- **Mott, R. (1992).** *Diseño de elementos de Máquinas* (Segunda edición). México: Editorial PRENTICE HALL, S.A.

- **Beer, F. Y Johnston, E., (1987).** *Mecánica Vectorial para Ingenieros* (Cuarta edición). México: Editorial McGRAW-HILL.
- **Oborne, D. (1974).** *La Ergonomía. El trabajo adaptado a las características del hombre*, Tesis doctoral, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Caracas.

**Páginas Web:**

- **Sulzer Metco. (2.002).** [on-line]  
Disponible en: [http:// www.sulzermetco.com](http://www.sulzermetco.com)
- **SKF Interactive Engineering Catalogue. (2.002).** [on-line]  
Disponible en: [http:// 7 iec.skf.com/4e.htm](http://7iee.skf.com/4e.htm)
- **FESTO. (2.002).** [on-line]  
Disponible en: [http:// www.festo.com/InetDomino/coorp\\_sites/en/index\\_hq](http://www.festo.com/InetDomino/coorp_sites/en/index_hq)

---

# ANEXOS

# ANEXO A

## Planos de Componentes Diseñados y Construidos

# ANEXO B

Componentes Comprados o  
Existentes en Almacén

# ANEXO C

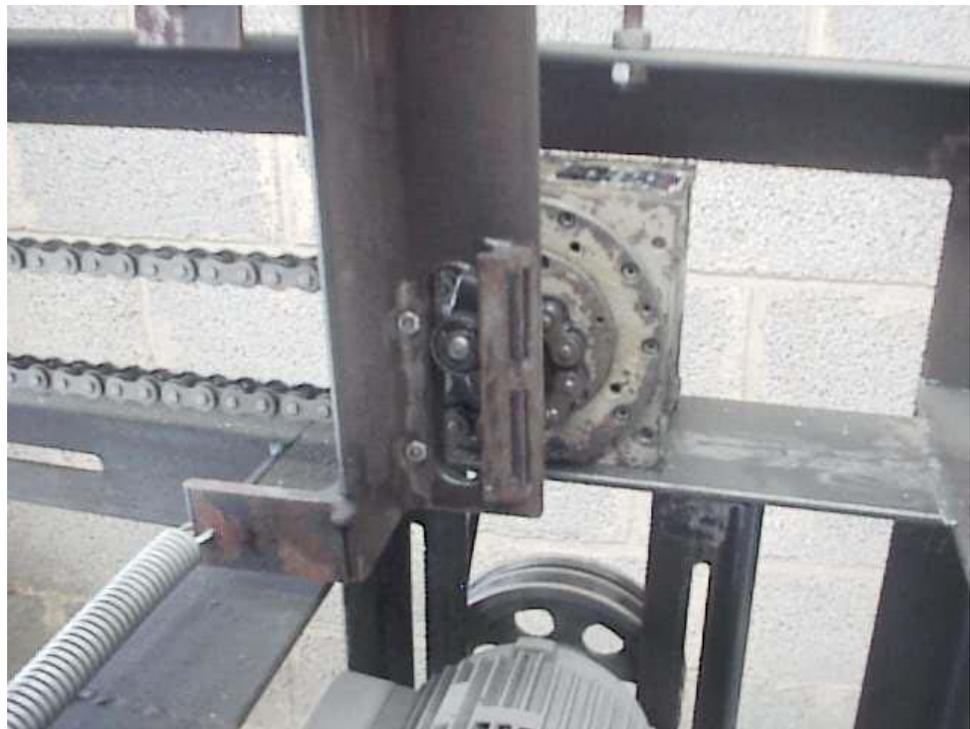
Ensamble de los componentes

---

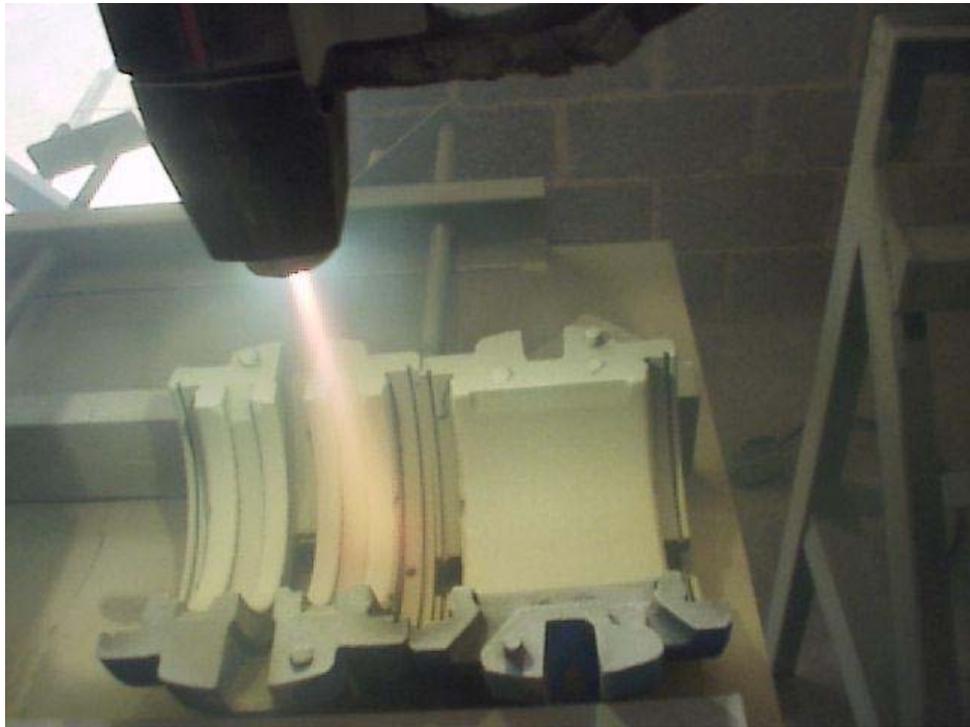
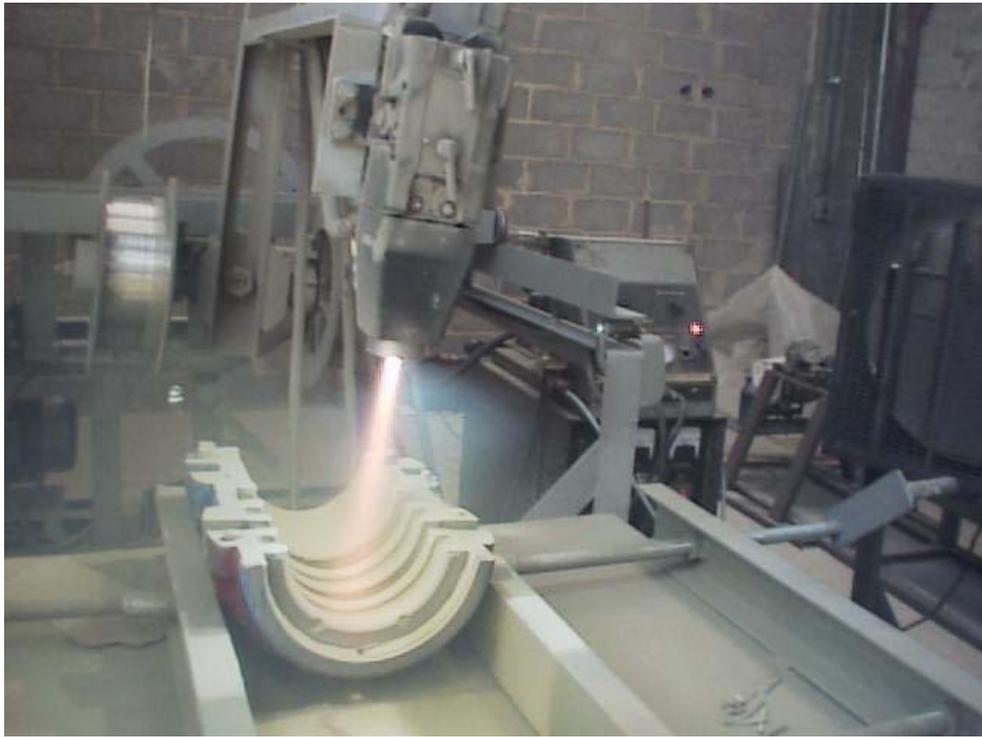
## ANEXO D

Fotos de la máquina









---

# ANEXO E

## Especificaciones Técnicas

## **Especificaciones Técnicas de la Maquina de Termo-rociado de Cojinetes de Babbitt**

Velocidad del carro: 9,672 cm/sg

Angulo de barrido por diente: 2,5°

Potencia del motor: 1,8 Kw.

Revoluciones por minuto del motor: 1720

Ampliación de las correas: 1:2

Reducción de el reductor : 108:1

Reducción total : 54:1

Tipo de aceite usado por el reductor: norma COVENIN 899-3

Tamaño de diámetro del mayor del cojinete capaz de termo rociar: 0,5m

Tamaño de diámetro del menor del cojinete capaz de termo rociar: 0,1m

Longitud máxima del recorrido: 0,5m

## **Manual de operación de la maquina**

1. Ubicar el cojinete en la mesa de apoyo.
2. Fijar el cojinete en el centro de la mesa, y graduar la misma a la altura adecuada, observado que la distancia entre el extremo de la pistola y los bordes radiales sea de 5 pulg. o 127 mm
3. Fijar la pistola a su soporte.
4. Colocar el tamaño de la cadena apropiada, y observando que dicha longitud supere a las de los cojinetes en 25 mm en ambos extremos longitudinales; se puede termo rociar mas de un cojinete de igual diámetro, siempre y cuando la suma de sus longitudes no exceda a los 450mm y se coloque uno pegado al otro.
5. Orientar la pistola al borde radial izquierdo del cojinete.
6. Asegurarse que los rieles estén libres.
7. Ubicar la pistola apuntando hacia un extremo longitudinal del cojinete.
8. Ajustar los parámetros de termo rociado adecuados, y encender el equipo.
9. Encender la maquina.
10. Esperar a que termine el recorrido vigilando el correcto funcionamiento del equipo de termo rociado.
11. Orientar la pistola a la parte inicial del recorrido.
12. Tomar las medidas correspondientes y de ser necesario repetir la operación.

### **Procedimiento para el fijado de la pistola:**

1. Ubicar el equipo de termo rociado al lado izquierdo de la maquina.
2. Desmontar las tuercas de sujeción de los rollos, y colocar los mismos observando que se desenrollen hacia la parte posterior de la maquina.
3. Colocar y apretar a mano las tuercas de sujeción de los rollos.
4. Pasar la pistola juntos con sus diversos cables y mangueras de operación por detrás del soporte vertical delantero izquierdo de la maquina y por debajo del soporte del riel.
5. Fijar la pistola apropiadamente, usando para tal fin las cuatro tuercas ubicadas en el extremo del soporte de la pistola.
6. Parar los diversos cables y mangueras que accionan la pistola por encima de la viga de sujeción.
7. Pasar los cables de alimentación de la pistola, por dentro de las mangueras de aislamiento eléctrico.
8. Conectar a la pistola a los cables de alimentación.

### **Procedimiento para el cambio de la cadena**

1. Soltar el reten que sujeta la rolinera del eslabón de enlace.
2. Aflojar las tuercas que sujetan la placa en donde están el sproker móvil de la cadena.
3. Proceder al retiro y reemplazo de la cadena.
4. Ubicar el eslabón de enlace y colocar el reten del mismo.
5. Tensar la placa del sproker móvil y mientras se tensa manualmente, apretar las tuercas.

### **Procedimiento para la orientación de la pistola.**

1. Trabar la uña de la palanca.
2. Mientras un operario aguanta y el soporte de la pistola otro aplica fuerza en la palanca acoplada a la uña del carro.
3. El primer operario orienta la pistola hacia al borde radial izquierdo del cojinete.
4. El segundo operario deja de aplicar fuerza en la palanca acoplada a la uña del carro.
5. Destrabar la uña de la palanca.

### **Manual de mantenimiento de la maquina**

1. Cada 8 horas de operación se debe lubricar manualmente, la cadena. Esta operación se hará también cuando se proceda al reemplazo de la misma.
2. Cada 40 horas de operación se revisara el nivel de aceite de la reducción en caso de faltar se le suministrar aceite norma COVENIN 899-3 comercialmente usado en transmisiones hidromaticas de los vehículos.
3. Cada 40 horas de operación se procederá la lubricación con grasa de la rueda dentada.
4. Cada 160 horas de operación se procederá con la revisión del estado general de la correa procediendo con su reemplazo si así lo ameritara.

### **Manual de mantenimiento de la maquina**

5. Cada 8 horas de operación se debe lubricar manualmente, la cadena. Esta operación se hará también cuando se proceda al reemplazo de la misma.
6. Cada 40 horas de operación se revisara el nivel de aceite de la reducción en caso de faltar se le suministrar aceite norma COVENIN 899-3 comercialmente usado en transmisiones hidromaticas de los vehículos.
7. Cada 40 horas de operación se procederá la lubricación con grasa de la rueda dentada.
8. Cada 160 horas de operación se procederá con la revisión del estado general de la correa procediendo con su remplazo si así lo ameritara.
9. Cada 960 horas de operación se procederá con el cambio total del aceite en la reducción.
10. Cada 960 horas de operación se procederá con el cambio total del aceite en la reducción.