

## **Automátas y Control Discreto**

# **Control Semi-Automático Coordinado de Grúa Portuaria de Muelle tipo Pórtico**

Autores:

**Alan Vignolo - 12667**

**Brandon Mamani - 12749**

Profesor:

**Ing. Gabriel L. Julián**

# Índice

<b>Resumen</b>	<b>2</b>
<b>Introducción</b>	<b>4</b>
<b>Desarrollo</b>	<b>6</b>
<b>1 Definición del proyecto</b>	<b>6</b>
<b>2 Modelado del Sistema</b>	<b>6</b>
2.1 Traslación del Carro . . . . .	6
2.1.1 Carro . . . . .	6
2.1.2 Cable del Carro Elástico Amortiguado . . . . .	8
2.1.3 Accionamiento de Traslación del Carro . . . . .	9
2.2 Izaje de la Carga . . . . .	11
2.3 Análisis de la Carga . . . . .	11
<b>Conclusiones</b>	<b>12</b>
<b>Referencias</b>	<b>13</b>

## Resumen

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus

sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.3

## Introducción

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus

sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.3

# Desarrollo

## 1. Definición del proyecto

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetur odio sem sed wisi.

## 2. Modelado del Sistema

### 2.1. Traslación del Carro

Como ya se menciona subsistema de traslación del carro es el encargado de mover la carga sobre el puente de la grúa portuaria desde el barco hasta el muelle y viceversa en el proceso de carga y descarga de mercancías.

El carro esta simplemente apoyado sobre sus 4 ruedas, no motorizadas, en los rieles de la viga principal del puente de la grúa portuaria, por lo que se considera que solo puede desplazarse horizontalmente y sin resbalamiento.

Su desplazamiento se da por los cables ubicados en sus laterales. Estos cables trabajan en paralelo y se despliegan en una configuración cerrada desde el carro hasta el tabor que se encuentra en la casa de máquinas. El tambor es el elemento que transforma el movimiento rotacional de los motores en movimiento lineal del carro.

Dentro de la casa de máquinas también se encuentra el motor que acciona el carro que esta acoplado con un reductor que a vez esta acoplado con el tambor. En el eje del motor hay un freno de estacionamiento normalmente cerrado, esto quiere decir que el freno esta activo cuando no tiene energía y se abre cuando se energiza.

#### 2.1.1. Carro

Se puede considerar al carro como un cuerpo rígido que esta simplemente apoyado sobre una viga y que tiene la capacidad de desplazarse libremente por esta de forma que desde la perspectiva del marco de referencia se considere solo un movimiento horizontal. Entonces el diagrama de fuerzas que actúan sobre el carro es el siguiente:

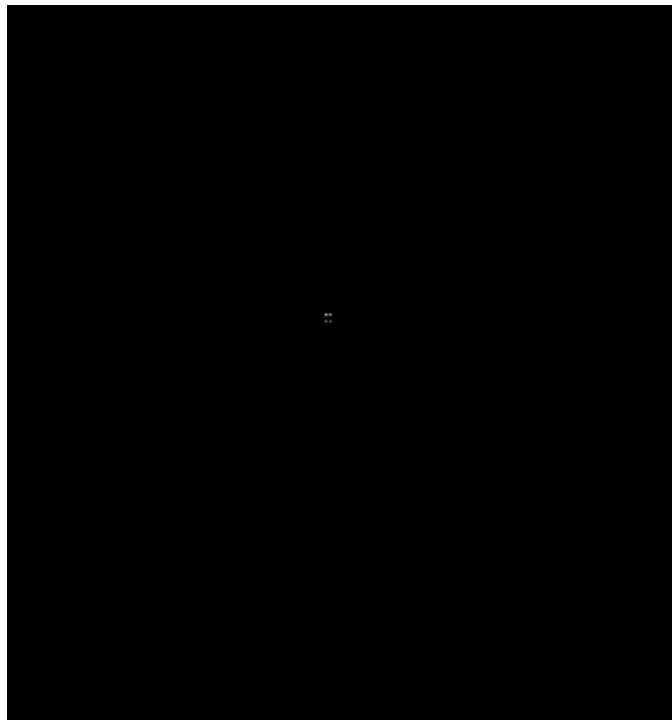


Figura 1: Diagrama de fuerzas del carro

La ecuación de movimiento del carro se puede obtener a partir de la segunda ley de Newton. La ecuación de movimiento es la siguiente:

$$M_t \ddot{x}_t(t) = F_{tw}(t) - b_t \cdot \dot{x}_t(t) + 2 \cdot F_{hw} \cdot \sin(\theta(t)) \quad (1)$$

El diagrama de bloques correspondiente a esta ecuación es el siguiente.



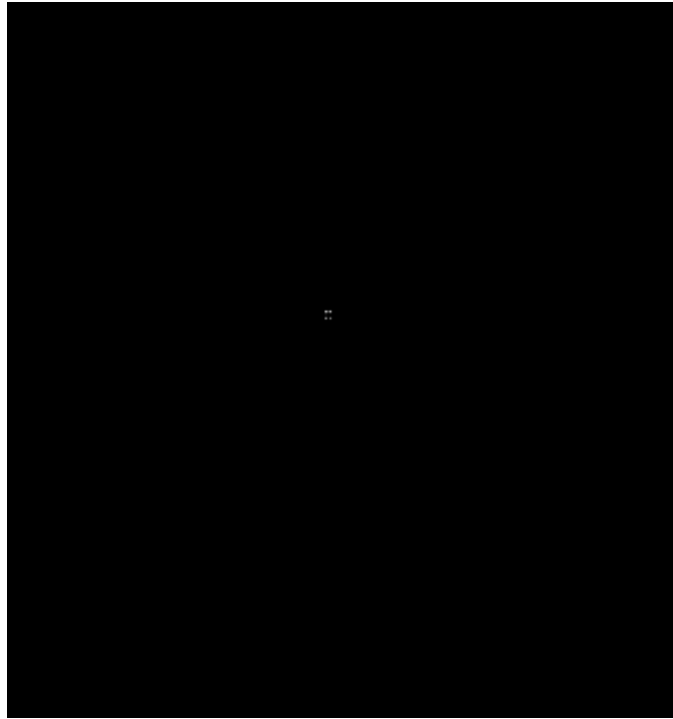


Figura 2: Diagrama de fuerzas del carro

### 2.1.2. Cable del Carro Elástico Amortiguado

Los cables conectados al carro, los cuales son los encargados de transmitir el movimiento generado por el motor, tienen un comportamiento elástico amortiguado a lo largo de su eje longitudinal. Esto implica que la longitud de los cables variara según los esfuerzos que se ejerzan sobre estos.

La siguiente ecuación modela el comportamiento anteriormente dicho.

$$F_{tw}(t) = K_{tw} \cdot (x_{td}(t) - x_t(t)) + b_{tw} \cdot (\dot{x}_{td}(t) - \dot{x}_t(t)) \quad (2)$$

Y la siguiente imagen es el modelo que la representa.

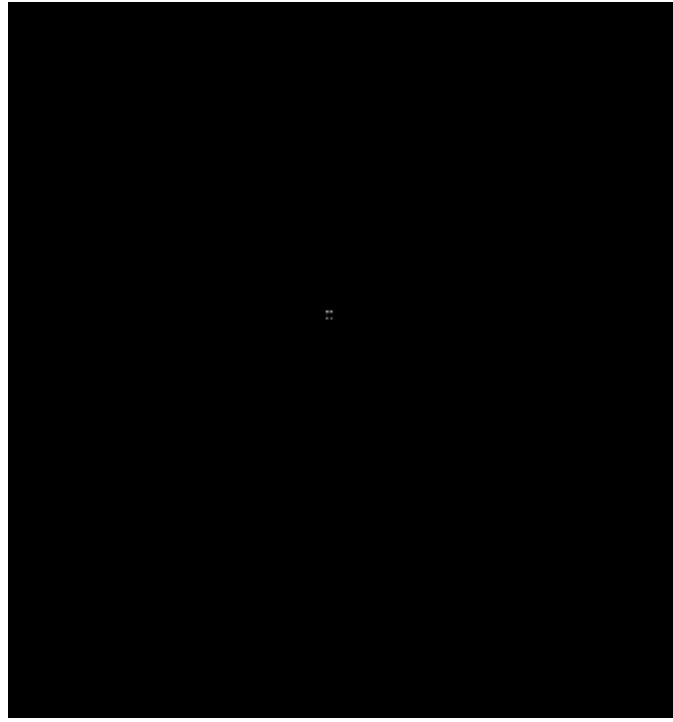


Figura 3: Diagrama de fuerzas del carro

### 2.1.3. Accionamiento de Traslación del Carro

Como ya se ha mencionado anteriormente, el accionamiento del carro se da en la casa de maquinas. Primero, el motor transforma energía eléctrica en energía mecánica. Las coordenadas usadas para este se corresponden a las del eje rápido. También se recuerda que tiene el freno asociado a este eje que tiene su modo de funcionamiento. La ecuación del motor es:

$$J_{tm+tb} \cdot \dot{\omega}_{tm}(t) = T_{tm}(t) + T_{tb}(t, (BBK_t)) - b_{tm} \cdot \omega_{tm}(t) - T_{tml}(t); \dot{\theta}_{tm}(t) = \omega_{tm}(t) \quad (3)$$

Este freno, normalmente cerrado, mientras este desenergizado un resorte estará activo y entregara un torque de frenado. Este torque tiene un limite máximo. Cuando se energiza el freno, un mecanismo electro-hidráulico abre el freno y este deja de actuar.

$$T_{tb}(t, BBK_t = \text{Off}) = -b_{tb} \cdot \omega_{tm}(t), \text{ saturado: } -T_{tbMAX} < T_{tb}(t) < T_{tbMAX} \quad (4)$$

$$T_{tb}(t, BBK_t = \text{On}) = 0 \quad \text{N.m} \quad (5)$$

Acoplado al motor esta el reductor de engranajes. Se considera que este tiene un comportamiento rígido y que no tiene backlash. La relación de transmisión de este esta dada por:

$$\begin{aligned} \omega_{td}(t) \cdot i_t &= \omega_{tm}(t) \\ T_{tml}(t) \cdot i_t &= T_{td}(t) \end{aligned} \quad (6)$$

La ecuación dinámica del tambor, cuyo eje llamamos eje lento, esta dada por:

$$J_{tm+tb}.\dot{\omega}_{tm}(t) = T_{tm}(t) + T_{tb}(t, (BBK_t)) - b_{tm}.\omega_{tm}(t) - T_{tml}(t); \dot{\theta}_{tm}(t) = \omega_{tm} \quad (7)$$

El tambor cambia el tipo de movimiento de rotacional a traslacional. Esto se muestra en las siguientes ecuaciones:

$$v_{td}(t) = r_{td}.\theta_{td}(t); \quad \dot{x}_{td}(t) = v_{td}(t); \quad F_{tw}(t).r_{td} = T_{tdl}(t) \quad (8)$$

Como se observa en las ecuaciones anteriores, estamos trabajando con distintos sistemas de referencia, por lo que es necesario referir el sistema a un sistema de referencia traslacional del tambor. Para esto en la \*ecuación del motor\* remplazamos con la \*ecuación del reductor\* y \*ecuación\* de relación del tambor despejamos el torque  $T_{td}(t)$ .

$$T_{td}(t) = -\frac{J_{tm+tb}.\dot{i}_t^2}{r_{td}}.\ddot{x}_{td}(t) - \frac{b_{tm}.\dot{i}_t^2}{t_{td}}.\dot{x}_{tm}(t) + T_{tm}(t).\dot{i}_t - T_{tb}(t, (BBK_t)).\dot{i}_t \quad (9)$$

Esta expresión la reemplazamos en la \*ecuación\* del eje lento y reordenando los términos se llega a la siguiente ecuación dinámica que describe el sistema.

$$J_{eq}.\ddot{x}_{td}(t) = -b_{eq}.\dot{x}_{td}(t) + \dot{i}_t.(T_{tm}(t) - T_{tb}(t, (BBK_t))) - F_{tw}(t).r_{td} \quad (10)$$

Donde:

$$J_{eq} = \frac{J_{tm+tb}.\dot{i}_t^2 + J_{td}}{r_{td}}$$

$$b_{eq} = \frac{b_{tm}.\dot{i}_t^2 + b_{td}}{r_{td}}$$

A continuación se muestra el diagrama de bloques que representa el sistema.

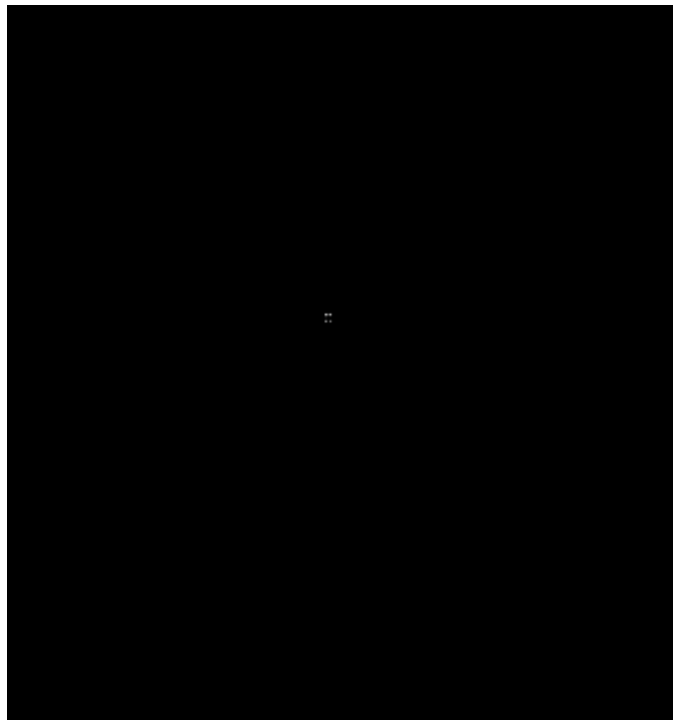


Figura 4: Diagrama de fuerzas del carro

## 2.2. Izaje de la Carga

## 2.3. Análisis de la Carga

## Conclusiones

## Referencias

Por alguna razón, el número de la última página no se muestra en el pie de página a menos que se encuentre un texto presente en esta página. Por favor, siéntase libre de corregirlo. Gracias.