UNIVERSIDAD LA SALLE

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS



SISTEMA DE MEDIO DE TRANSPORTE DE FRUTAS EN ZONAS ALTAMENTE PENDIENTES.

Caso: “Comunidad PACOLLO”

Por:

Ruddy Junior Romero Melgar

Tutor: Dr. Rene Reynaga Barriga.

Revisor: Ing. Javier Heredia Poma

Proyecto de grado presentada para la obtención del Grado de Licenciatura en Ingeniería de Sistemas

La Paz - Bolivia

2014

DEDICATORIA

A mis Padres por brindarme todo su apoyo, amor incondicional, motivación y por todos sus esfuerzos y sacrificios para que me formara como un gran profesional.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida, sabiduría y fortalezas necesarias para alcanzar el mayor deseo de mi vida y permitirme culminar esta etapa con éxito. A mis docente por apoyarme todo el tiempo, en las enseñanzas y valores inculcados.

TABLA DE CONTENIDOS

I. MARCO REFERENCIAL ____ *12*

1.1 Introducción ____ **12**

1.2 Antecedentes ____ **12**

1.3 Planteamiento del Problema ____ **16**

1.4 Formulación del Problema ____ **17**

1.4.1 Fines ____ 18

1.4.2 Propósito ____ 18

1.5 Objetivos ____ **19**

1.5.1 Objetivo General ____ 19

1.5.2 Objetivos Específicos ____ 19

1.6 Justificaciones ____ **20**

1.6.1 Justificación Teórica ____ 20

1.6.2 Justificación Metodológica ____ 20

1.6.3 Justificación Práctica ____ 20

1.6.4 Justificación Social ____ 20

1.6.5 Justificación Económica ____ 20

1.7 Límites, alcances y aportes ____ **21**

1.7.1 Límites ____ 21

1.7.2 Alcances ____ 21

1.7.3 Aportes ____ 21

1.8 Modelos y Herramientas ____ **22**

A. Metodología del proyecto ____ **22**

B. Herramientas ____ **22**

II. MARCO TEÓRICO ____ *23*

2.1 Desarrollo orientado a prototipos ____ **23**

2.1.1 Pasos para el desarrollo de prototipos ____ 25

2.1.1.1 Investigacion preliminar 26
2.1.1.2 Definicion de los requerimientos del sistema 26
2.1.1.3 Análisis de los requerimientos 26
2.1.1.4 Análisis grueso y especificación 26
2.1.1.5 Diseño y construcción 26
2.1.1.6 Evaluación 27
2.1.1.7 Modificación 27
2.1.1.8 Término 27
2.1.2 Diseño técnico 28
2.1.3 Programación y pruebas 28
2.1.4 operación y mantención 28
2.1.5 Razones para usar este modelo 29
2.1.5.1 Ventajas 30
2.1.5.2 Desventajas 30
2.1.6 Conclusiones 30
2.2 Cinemática 31
2.3 Estática 33
2.3.1 Fuerza 36
2.3.2 Movimiento Continuo 36
2.4 La Velocidad 37
2.4.1 Velocidad Media 37
2.4.2 Velocidad Instantánea 39
2.4.3 Vector Velocidad 40
2.5 Leyes de Newton de la Dinámica 42
2.5.1 Ley de la inercia, o primera ley de Newton 42
2.5.2 Segunda ley de Newton 43
2.5.2.1 Medidor de fuerzas 46
2.5.2.2 La masa de un objeto 47
2.5.3 Tercera ley de Newton 51
2.6 Palancas 53
2.6.1 ¿Qué es una palanca? 54

2.6.2 El principio de la palanca ____ 55
2.6.3 Punto de apoyo en el centro ____ 56
2.6.4 Punto de apoyo descentrado ____ 56
2.6.5 ¿Cuántos tipos de palanca hay? ____ 57
2.6.5.1 Palanca de primer grado o clase ____ 57
2.6.5.2 Palanca de segundo grado o clase ____ 60
2.6.5.3 Palanca de tercer grado o clase ____ 61
2.6.6 Palancas múltiples ____ 62
2.6.7 Ley de las palancas ____ 62

2.7 Teoría de control ____ 64

2.7.1 Desarrollo teoríco ____ 65
2.7.2 Era del control moderno ____ 65
2.7.3 Ejemplos de control ____ 66
2.7.4 Aplicaciones actuales del control ____ 68

2.8 ¿Qué estudia la Mecánica Teórica? ____ 72

2.9 Centro de masas ____ 73

III. MARCO PRÁCTICO ____ 75

3.1 Recopilación de datos ____ 75
3.2 Análisis preliminar del proyecto ____ 76
3.2.1 Algoritmo de Denavit- Hartenberg para el análisis de la morfología del robot ____ 76
3.2.2 Algoritmo de Denavit- Hartenberg para situar los sistemas de coordenadas ____ 77
3.2.3 Algoritmo de Denavit- Hartenberg para obtener los parámetros de D-H ____ 78
3.3 Solución Propuesta ____ 79
3.4 Implementación ____ 91

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ____ 102

4.1 Conclusiones ____ 102

4.2 Recomendaciones ____ 102

V. BIBLIOGRAFIA Y WEBGRAFÍA ____ 104

VI. ANEXOS_____106

a. Estudios de la aceleracion y torque de la carretilla _____ 106

b. Manual de Usuario_____ 110

c. Manual de Construcción _____ 111

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.- Ubicación de la comunidad de PACOLLO 11
Ilustración 2.- Ejemplo de Burros subiendo cajas 13
Ilustración 3.- Cargado 1 14
Ilustración 4.- Cargado 2 14
Ilustración 5.- Frenado 14
Ilustración 6.- Llanta rota 14
Ilustración 7.- Carretilla Motorizada 15
Ilustración 8.- Slopemowing 16
Ilustración 9.- Desarrollo Orientado a Prototipos 25
Ilustración 10.- Versión Inestable 29
Ilustración 11.- Trayectoria de una partícula y vectores 40
Ilustración 12.- Un Objeto cae 44
Ilustración 13.- Los objetos no se mueven 44
Ilustración 14.- Arrastre en un movimiento acelerado 45
Ilustración 15.- Medidor de fuerza que B ejerce en A 46
Ilustración 16.- Medidas de Fuerzas y de aceleraciones 48
Ilustración 17.- Líneas rectas que mejoren su ajuste 48
Ilustración 18.- Valor cualquiera separado con una rata horizontal 49
Ilustración 19.- El cuerpo A actúa sobre el cuerpo B 52
Ilustración 20.- Galileo habría “movido” la Tierra 53
Ilustración 21.- Fuerza, Fulcro, Carga 55
Ilustración 22.- Punto de apoyo en el centro 56
Ilustración 23.- Punto de apoyo descentrado 56
Ilustración 24.- Tipos de palanca 57
Ilustración 25.- Primera clase #1 58
Ilustración 26.- Primera clase #2 58
Ilustración 27.- Primera clase #3 58
Ilustración 28.- Primera clase #4 59
Ilustración 29.- Primera clase #5 59
Ilustración 30.- Primera clase #6 59
Ilustración 31.- Segunda clase #1 60
Ilustración 32.- Segunda clase #2 60
Ilustración 33.- Segunda clase #3 60
Ilustración 34.- Tercera clase #1 61
Ilustración 35.- Tercera clase #2 61
Ilustración 36.- Tercera clase #3 61
Ilustración 37.- Palanca múltiple 62
Ilustración 38.- Control 64
Ilustración 39.- Lazo Abierto 66
Ilustración 40.- Lazo Cerrado 67
Ilustración 41.- Grandes estructuras espaciales 68

Ilustración 42.- Robótica 68
Ilustración 43.- Control de la combustión 69
Ilustración 44.- Control de Fluidos 70
Ilustración 45.- Control de Plasma 70
Ilustración 46.- Control de Economía 71
Ilustración 47.- Dextrógiro 77
Ilustración 48.- Denavit y Hartenberg en la Carretilla 78
Ilustración 49.- Parámetros de D-H 78
Ilustración 50.- Cinemática de la carretilla 1 79
Ilustración 51.- Cinemática de la carretilla 2 80
Ilustración 52.- Cinemática de la carretilla 3 81
Ilustración 53.- Cinemática de la carretilla 4 82
Ilustración 54.- Cinemática de la carretilla 5 83
Ilustración 55.- Control de la Aceleración 1 84
Ilustración 56.- Control de la Aceleración 2 85
Ilustración 57.- Control de la Aceleración 3 85
Ilustración 58.- Control de la Aceleración 4 86
Ilustración 59.- Control de la Aceleración 5 87
Ilustración 60.- Control del Torque 1 88
Ilustración 61.- Control del Torque 2 88
Ilustración 62.- Control del Torque 3 89
Ilustración 63.- Control del Torque 4 90
Ilustración 64.- Control del Torque 5 91
Ilustración 65.- Diseño 1 92
Ilustración 66.- Diseño 2 92
Ilustración 67.- Diseño 3 93
Ilustración 68.- Diseño 4 93
Ilustración 69.- Diseño 5 94
Ilustración 70.- Diseño 6 94
Ilustración 71.- Diseño 7 95
Ilustración 72.- Diseño 8 96
Ilustración 73.- Diseño 9 96
Ilustración 74.- Diseño 10 97
Ilustración 75.- Diseño 11 97
Ilustración 76.- Diseño 2-1 98
Ilustración 77.- Diseño 2-2 99
Ilustración 78.- Diseño 2-3 99
Ilustración 79.- Diseño 2-4 100
Ilustración 80.- Diseño 2-5 100
Ilustración 81.- Diseño 2-6 101
Ilustración 82.- Diseño 2-7 101
Ilustración 83.- Boceto de estudio 106
Ilustración 84.- Concepto de función de transferencia 109

Ilustración 85.- Producto Pre competitivo 110
Ilustración 86.- Construcción 1 111
Ilustración 87.- Construcción 2 112
Ilustración 88.- Construcción 3 112
Ilustración 89.- Construcción 4 113
Ilustración 90.- Construcción 5 114
Ilustración 91.- Construcción 6 114

RESUMEN

El sistema de medio de transporte de frutas en zonas altamente pendientes, consta del análisis del modelo a realizar, y se realizara la simulación en un software de simulación, la dinámica del prototipo, el sistema de control del prototipo a diseñar y entregarlo como producto precompetitivo.

Dicho prototipo tendrá que resolver la problemática de transportar la fruta cosechada de las zonas de la comunidad PACOLLO.

Ilustración 1: Ubicación de la Comunidad de PACOLLO.



Fuente: Google Mapas**.**

La comunidad de PACOLLO es una pequeña población situada a 78 Km. de la ciudad de La Paz, camino a Coroico en Nor Yungas.

Con clima semi tropical y acompañado del cristalino Rio Huarinilla.

SISTEMA DE MEDIO DE TRANSPORTE DE FRUTAS EN ZONAS ALTAMENTE PENDIENTES

I.- MARCO REFERENCIAL

1.1 Introducción

El siguiente proyecto contempla el estudio del área de la localidad de PACOLLO, sobre el cual vamos a desarrollar un prototipo de sistema que solucione la problemática del medio de transporte de las frutas de la comunidad.

Nuestro producto precompetitivo, ayudará a facilitar la cosecha de frutas en la localidad estudiada.

La mayoría de las frutas que se cultivan en estas áreas son frágiles, y pierden su valor al golpearse o caerse. Esto dificulta considerablemente la tarea de transportar la fruta cosechada, dado que se la debe transportar a través de terrenos bastante empinados y escabrosos.

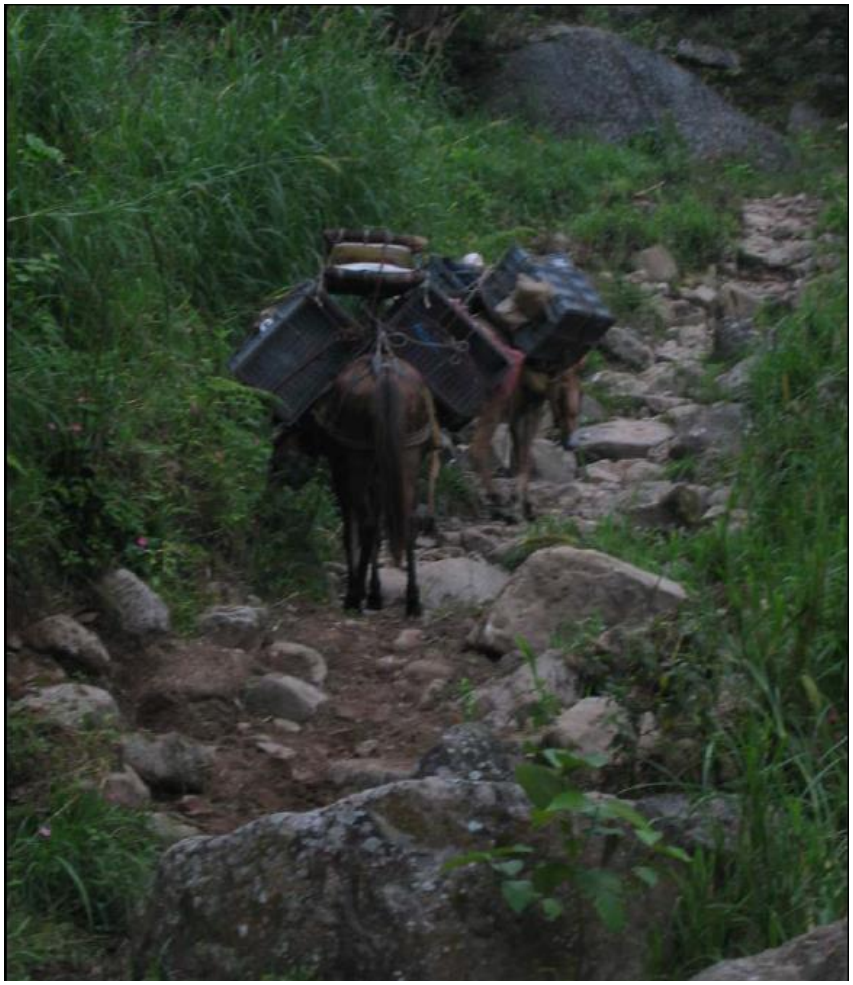
Dicho producto precompetitivo se implementara en la comunidad de PACOLLO y será simulado en un software de simulación.

1.2 Antecedentes

La comunidad de PACOLLO anteriormente transportaba sus mandarinas usando Burros, estos mismos eran comidos por los Leopardos, o morían al torcerse el tobillo por la zona de la ladera de la montaña.

Ejemplo ilustrativo de unos Burros subiendo carga por una ladera:

Ilustración 2: Ejemplo de Burros subiendo cajas.



Fuente: Internet – Burros subiendo cajas**.**

Actualmente la comunidad transporta sus jabas (Cajas) de mandarinas (una jaba de mandarina contiene un aproximado de 1000 mandarinas) usando una carretilla normal, con un palo que lo usan para el frenado en la bajada de la ladera de la montaña, pero la llanta de la carretilla terminaba rompiéndose, motivo por el cual cambiaron el neumático de la carretilla por uno más grueso.

Exiten dos tipos de Jabas de mandarinas una que mide ochenta centímetros de largo y la otra que mide un metro de largo.

Ilustración 3: Cargado 1



Fuente: Propia**.**

Ilustración 4: Cargado 2



Fuente: Propia**.**

Se observa el cargado de la jaba (caja para mandarinas) en la carretilla que los comunarios utilizan para transportar las mandarinas.

Ilustración 5: Frenado



Fuente: Propia**.**

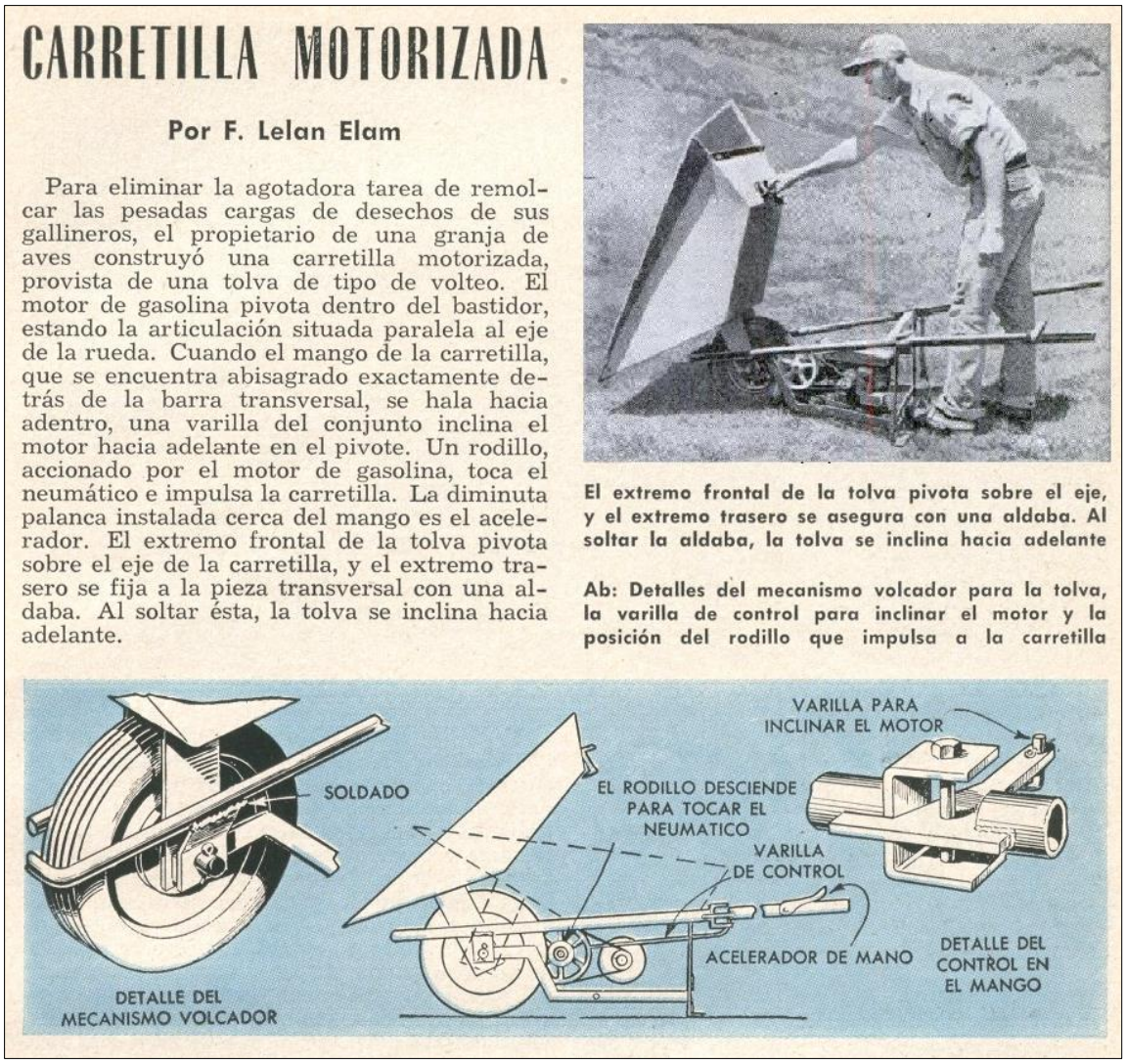
Ilustración 6: Llanta Rota



Fuente: Propia**.**

Se aprecia en la Ilustración 6 como con el neumático normal de la carretilla terminaba rompiéndose.

Ilustración 7.- Carretilla Motorizada



CARRETILLA MOTORIZADA

Por F. Lelan Elam

Para eliminar la agotadora tarea de remolcar las pesadas cargas de desechos de sus gallineros, el propietario de una granja de aves construyó una carretilla motorizada, provista de una tolva de tipo de volteo. El motor de gasolina pivota dentro del bastidor, estando la articulación situada paralela al eje de la rueda. Cuando el mango de la carretilla, que se encuentra abisagrado exactamente detrás de la barra transversal, se hala hacia adentro, una varilla del conjunto inclina el motor hacia adelante en el pivote. Un rodillo, accionado por el motor de gasolina, toca el neumático e impulsa la carretilla. La diminuta palanca instalada cerca del mango es el acelerador. El extremo frontal de la tolva pivota sobre el eje de la carretilla, y el extremo trasero se fija a la pieza transversal con una aldaba. Al soltar ésta, la tolva se inclina hacia adelante.

El extremo frontal de la tolva pivota sobre el eje, y el extremo trasero se asegura con una aldaba. Al soltar la aldaba, la tolva se inclina hacia adelante

Ab: Detalles del mecanismo volcador para la tolva, la varilla de control para inclinar el motor y la posición del rodillo que impulsa a la carretilla

SOLDADO

DETALLE DEL MECANISMO VOLCADOR

VARILLA PARA INCLINAR EL MOTOR

EL RODILLO DESCIENDE PARA TOCAR EL NEUMATICO

VARILLA DE CONTROL

ACELERADOR DE MANO

DETALLE DEL CONTROL EN EL MANGO

Fuente: Revista Mecánica Popular - Volumen 15**.**

La carretilla motorizada que fue creada para llevar carga con la menor fuerza requerida. (1)

En la fundación SLOPEMOWING de Nueva Zelanda, desarrollaron un tractor 630 Kg a control remoto y con un motor de 63 HP, que te permite trabajar con pala y pico en laderas para poder cultivarlas. (2)

Ilustración 8.- Slopemowing



Fuente: Sistema de Gestión Remota de Vegetación en Terrenos empinados

En nuestro proyecto estamos enfocados a diseñar el modelo sistemático que permita transportar las frutas que se encuentran en las parcelas de la montaña de la comunidad de PACOLLO.

1.3 Planteamiento del Problema

La Comunidad de PACOLLO es una pequeña población situada a 78 Km. de la ciudad de La Paz, camino a Coroico en Nor Yungas. En la zona de los Yungas, el cultivo de cítricos, café, verduras, etc. ha reducido alarmantemente en los últimos años por el creciente cultivo de la hoja de coca. El 60% de la población se dedica al cultivo de la hoja de coca y el 30% de la población se dedica a los cítricos y al café, y un 10% en menor cantidad a otros rubros. En los últimos cinco años se doblaron los cultivos de la coca.

En la comunidad de PACOLLO el problema radica en la dificultad del transporte de las frutas de las parcelas que se encuentran en las laderas de la montaña. La carga de cada jaba (una caja con 1000 mandarinas) pesa

aproximadamente 200 Kilogramos, la cual es transportada por personas de la comunidad.

Debido al peso de las jabas, la comunidad sólo puede transportar aproximadamente 10 por día, lo cual les impide aumentar su producción y generar mayores ingresos. Peor aún, dadas las condiciones empinadas del terreno, el transporte de las jabas no es lo suficientemente cuidadoso, causando que los productos se terminan aplastando, disminuyendo aún más la producción.

Esta situación causa que muchos de los comunarios abandonen la producción de fruta, y se dediquen al cultivo de la coca. La hoja de coca, según expertos, quita los nutrientes a los suelos y más plantaciones provocan la deforestación de bosques y la escasez de agua. Los cerros que al ingreso a los Yungas estaban cubiertos de nieve hace años, ahora sólo tienen tierra y eso se debe a la deforestación y a los cambios climáticos.

Como respuesta a esta situación, proponemos un sistema que permitirá aumentar drásticamente la productividad de las parcelas de frutas, al mejorar la capacidad de transporte de la fruta de las parcelas a la carretera, y evitar la pérdida de producto causada por la mala manipulación.

1.4 Formulación del Problema

¿Cómo debería ser el diseño de nuestra carretilla para que pueda ajustarse a las condiciones geográficas de la parcela de la Comunidad?

¿Cuáles son las características y diseños de una carretilla que permite transportar la fruta de parcela a la carretera?

¿Cómo se debería simular el sistema antes de ser implementado?

Al ser un área poco accesible tenemos que buscar la forma de diseñar un sistema que permita a la comunidad extraer sus productos de la ladera de la montaña.

¿Cómo lo vamos hacer?

Realizando un modelo que sea económico y funcional al momento de querer implementarlo o construirlo.

¿Qué problemas ofrece el transporte?

Existe problema en los operadores y las maquinarias a utilizar.

Nosotros buscamos con nuestro sistema solucionar estos problemas y reducir los costos al momento de querer implementarlo.

1.4.1 Fines

El fin de este proyecto de grado es realizar el estudio sistemático para encontrar unas soluciones a las necesidades de la comunidad de PACOLLO:

- Reducir los excesivos tiempos de transporte de las jabas de frutas.
- Asegurar la manipulación de sus jabas para que no sufran ningún daño en su transporte.
- Realizar el análisis de costos del sistema a diseñar.

1.4.2 Propósito

- Mejorar las condiciones de transporte de las jabas de frutas que se encuentran en las parcelas de la comunidad.
- Evitar los daños de las frutas que llevan las jabas creando un sistema que las manipula de una forma delicada.
- Establecer los estudios adecuados para que el diseño de la caretilla pueda ser viable, económico y funcional.
- Mayor eficiencia en el transporte de jabas de frutas.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Diseñar y desarrollar un sistema de medio de transporte de frutas. Este diseño será llevado a la fase de prototipo y finalizara con su entrega como producto precompetitivo, tendrá la capacidad de transportar fruta de las regiones donde se encuentran los cultivos de frutas de la comunidad PACOLLO, hacia un lugar plano donde podrán ser transportadas mediante técnicas convencionales.

Para realizar el sistema y simular su funcionamiento, se utilizará el software de simulación. Esto permitirá desarrollar la dinámica del sistema, su sistema de control, y demostrar las funcionalidades que ofrece.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Análisis y levantamiento de información, características geográficas y requerimientos técnicos permitan definir el diseño del Sistema de medio de Transporte de Frutas.
- Definición de la estructura del sistema que vamos a desarrollar.
- Simulado del funcionamiento del sistema a implementar en la comunidad de PACOLLO.
- Desarrollo del manual de funcionamiento del producto a entregar.

1.6 Justificaciones

1.6.1 Justificación Teórica

El desarrollo de nuestro sistema ofrece una solución que en teoría ayudará a los de la comunidad PACOLLO a transportar sus jabas de frutas a la carretera ya que estas se encuentran en la ladera de la montaña.

1.6.2 Justificación Metodológica

La importancia metodológica de este proyecto radica en los estudios de la cinemática y dinámica de la carretilla el cual servirá para dar un diseño funcional.

1.6.3 Justificación Práctica

La construcción e implementación del sistema de medio de transporte de frutas permitirá facilitar considerablemente la actividad de cosecha de frutas.

El sistema a diseñar tiene que ser funcional ya que contaría con las normas de control adecuada para su desarrollo.

1.6.4 Justificación Social

Se permitirá mejorar la calidad de vida de los ciudadanos de la comunidad de PACOLLO, además de fomentar la producción de frutas por encima de la creación de catos de COCA.

1.6.5 Justificación Económica

El sistema contribuirá a aumentar la productividad de las parcelas de frutas, lo cual tendrá un efecto positivo directo en los ingresos económicos de la comunidad.

Y el costo de la carretilla que ofrecemos lo ligamos a un análisis de costos que sean los mínimos pero que ofrecen lo máximo al momento de su funcionamiento.

1.7 Límites, alcances y aportes

1.7.1 Límites

El sistema de transporte a diseñar, servirá para la comunidad PACOLLO, ya que el diseño de la carretilla esta hecho de acuerdo a la geografía de la zona en la que se encuentra la comunidad.

El diseño de la carretilla es para transportar frutas desde las parcelas de la comunidad PACOLLO hasta la carretera y el resto del transporte que es más sencillo se realizará de la manera tradicional.

Por último, la principal limitante de este proyecto es el costo, pues se deberá usar los materiales y procedimientos de construcción más económicos posibles, ya que este sistema se implementará en una población rural de bajos recursos.

1.7.2 Alcances

El sistema que proponemos llegará a la fase de diseño y análisis del mismo y su debido análisis de costos de implementación.

Además, el diseño de la carretilla será aplicable a un área en específico de la parcela. Sin embargo, luego será posible adaptar el diseño para construir un producto que puedan trabajar en otras áreas.

1.7.3 Aportes

La entrega del sistema de medio de transporte de frutas, la cual contaría con el análisis de diseño, estudio de su cinemática, dinámica y control de la

carretilla, junto con su debida documentación para su manipulación y mantenimiento.

La instalación de frenos a disco en el aro de nuestra carretilla más su adaptación con frenos y su estudio de funcionamiento saldrían hacer un aporte mecánico para nuestra carretilla.

1.8 Modelos y Herramientas

A. Metodología del proyecto

La metodología a utilizar es el desarrollo orientado a prototipos como pasos iniciales para posteriormente llegar a presentar un producto precompetitivo.

¿Qué es un producto precompetitivo?

A diferencia de un producto competitivo que es aquel que goza de atributos en calidad, precio, diseño, unidad y exclusividad que lo hacen más atractivos que la competencia, el producto precompetitivo es lo más cercano a un producto final, con la diferencia que este todavía no se ha ganado una buena aceptación en el mercado.

B. Herramientas.

Se utilizó software de simulación, para poner en marcha nuestro prototipo antes de pasar a ser un producto precompetitivo.

¿Qué es Software de Simulación y para qué sirve?

El software de simulación es un paquete de computadoras que permite realizar la simulación para un ambiente específico.

Los simuladores son actualmente muy utilizados para el análisis de alto nivel, requiriéndose únicamente agregar detalles en un cierto nivel, puesto que lo demás es estándar

Los simuladores tienen como funciones:

- Matemática y Computación.
- Desarrollo de Algoritmos.
- Modelamiento, Simulación Y prototipo.
- Análisis de datos, exploración y visualización.
- Gráficas científicas e ingenieriles.

Las herramientas de simulación son bastantes amplias y se recomienda utilizar la que mejor se adapte al desarrollo de su sistema.

II.- MARCO TEÓRICO

2.1 Desarrollo orientado a prototipos

A partir de la ingeniería tradicional de construir productos de software nace la ingeniería de software como aplicación de modelos y formas para realizarlos, la cual nos condiciona a tener como norte precisiones y seguridades que en otros ámbitos tiene la ingeniería.

Anteriormente existían varios enfoques los cuales buscaban abordar de manera sistemática la planificación, análisis, diseño e implementación de los productos, proyectos de desarrollo de software ya sean de gran escala y aplicaciones pequeñas, lo que buscaban es la mejora de los enfoques precedentes.

En este apartado vamos a trabajar, analizar y explicar la metodología de desarrollo orientada a prototipos las ventajas y desventajas que presenta esta metodología.

En muchos casos esta metodología se considera como un método independiente.

Prototipo es una representación o modelo del sistema a desarrollar que, a diferencia de un modelo de simulación, incorpora componentes del producto real.

Un prototipo tiene un funcionamiento limitado en cuanta a capacidades, confiabilidad o eficiencia.

En la utilización de este método se inicia con la definición de los objetivos globales para el software para luego pasar a identificar los requisitos conocidos y las áreas del esquema en donde es necesaria más definición. Entonces se plantea con rapidez una iteración de construcción de prototipos y se presenta el modelado.

Con todo esto que se realiza llegamos a obtener un diseño rápido de lo que necesitamos para realizar nuestro proyecto.

El objetivo de este diseño es centrarse en una representación de los aspectos del software y hardware que sean visibles para el cliente o para el usuario final lo que podrá ser la configuración de la interfaz con el usuario y el formato de los despliegues de salida.

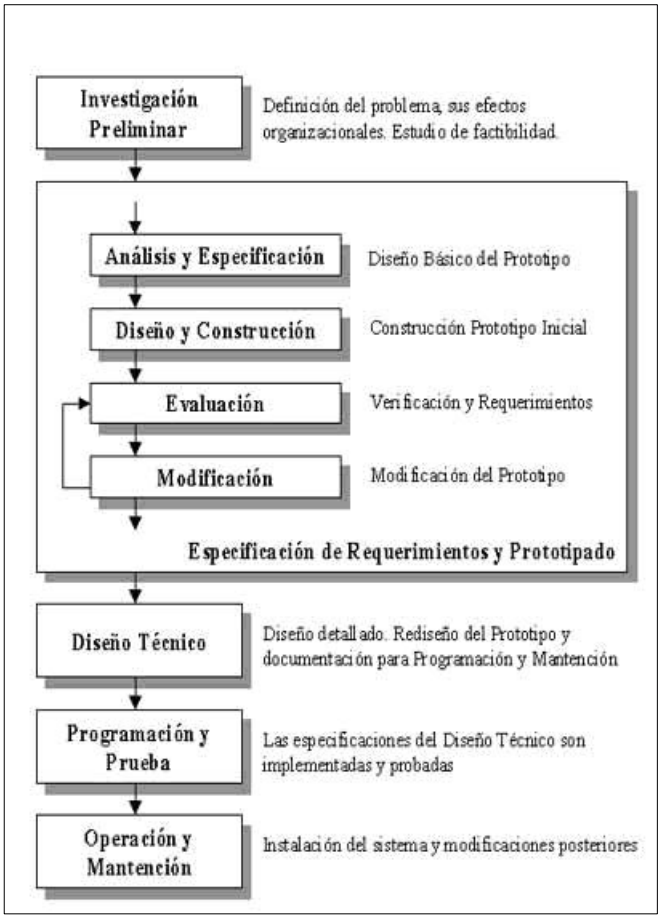
Con este diseño rápido nos conducimos a la construcción de un prototipo, este a su vez es evaluado por el cliente o por el usuario para una retroalimentación, con esta ayuda por parte de los usuarios se logra refinar los requisitos del software que se desarrollara.

La iteración ocurre cuando el prototipo se ajusta para satisfacer las necesidades del cliente. Esto permite que al mismo tiempo el desarrollador entienda mejor lo que se debe hacer y el cliente vea resultados a corto plazo.

El prototipado permite entregar al usuario lo que sería una visión la solución final en etapas tempranas del desarrollo, reduciendo tempranamente los costos de especificaciones erróneas. (3)

2.1.1 Pasos para el desarrollo de prototipos

Ilustración 9.- Desarrollo Orientado a Prototipos



Fuente: Modelo Orientado a Prototipos.

Modelo de Desarrollo que pone énfasis en la etapa de especificación de requerimientos a través de la construcción de prototipos que aproximan al usuario a la idea final del sistema, con objeto de poder clarificar los requerimientos. (3)

2.1.1.1 Investigación preliminar

En esta etapa lo esencial es determinar el problema y su ámbito, la importancia y los efectos potenciales que tendrán sobre la organización, identificar una idea general de la solución para realizar un estudio de factibilidad que determine la factibilidad de una solución software.

2.1.1.2 Definición de los requerimientos del sistema

Esta es la fase más importante de todo el ciclo de vida del método de prototipos, el objetivo en esta fase es determinar todos los requerimientos y deseos que los usuarios tienen en relación al proyecto que se está deseando implementar.

Aquí el desarrollador interactúa con el usuario y sus necesidades mediante la construcción, demostración y retroalimentaciones del prototipo.

2.1.1.3 Análisis de los requerimientos

Esta etapa es un proceso que busca aproximar las visiones del usuario y del desarrollador mediante sucesivas iteraciones.

Para la definición de los requerimientos tenemos cinco etapas entre dos de las cuales se establece un ciclo interactivo

2.1.1.4 Análisis grueso y especificación

En esta fase se busca desarrollar un diseño básico para el prototipo inicial.

2.1.1.5 Diseño y construcción

Lo que se consigue en esta fase en obtener un prototipo inicial, aquí el desarrollador debe concentrarse en construir un sistema con la máxima funcionalidad, poniendo énfasis en la interfaz del usuario.

2.1.1.6 Evaluación

Los objetivos de esta etapa son obtener por parte de los usuarios la especificación de los requerimientos adicionales del sistema y verificar que el prototipo desarrollado lo haya sido en concordancia con la definición de requerimientos del sistema.

En el saco de que los usuarios identifiquen fallasen el prototipo el desarrollador corrige dichas fallas antes de continuar con la siguiente evaluación.

Se modifica y se evalúa cuantas veces sea necesario hasta que los requerimientos del sistemas sean satisfechos.

En el proceso de evaluación se efectúan cuatro pasos separados:

- Preparación.
- Demostración.
- Uso del prototipo.
- Discusión de comentarios.

Esta es la fase en donde se decide si el prototipo es aceptado o modificado.

2.1.1.7 Modificación

Se da cuando la definición de requerimientos del sistema es alterada en la etapa de evaluación. El desarrollador entonces debe modificar el prototipo de acuerdo a los comentarios hechos por los usuarios.

2.1.1.8 Término

Una vez que se ha desarrollado un prototipo estable y completo, es necesario ponerse de acuerdo en relación a aspectos de calidad y de representación del sistema.

2.1.2 Diseño técnico

En esta etapa el sistema debe ser rediseñado y tener la respectiva documentación guiándose en los estándares que tiene la organización la cual servirá como ayuda en mantenciones futuras del mismo.

En este punto existen dos etapas:

Producción de una documentación de diseño la cual específica y describe la estructura del software, interfaces de usuario, funciones y el control de flujo.

Producción de todo lo requerido para promover cualquier mantención futura del software.

2.1.3 Programación y prueba

En esta etapa es donde los cambios identificados en el diseño técnico son implementados y probados para asegurar la corrección y completitud de los mismos con respecto a los requerimientos.

Las pruebas serán de realizarse tantas veces sea necesarias para verificar cualquier tipo de anomalía en el sistema.

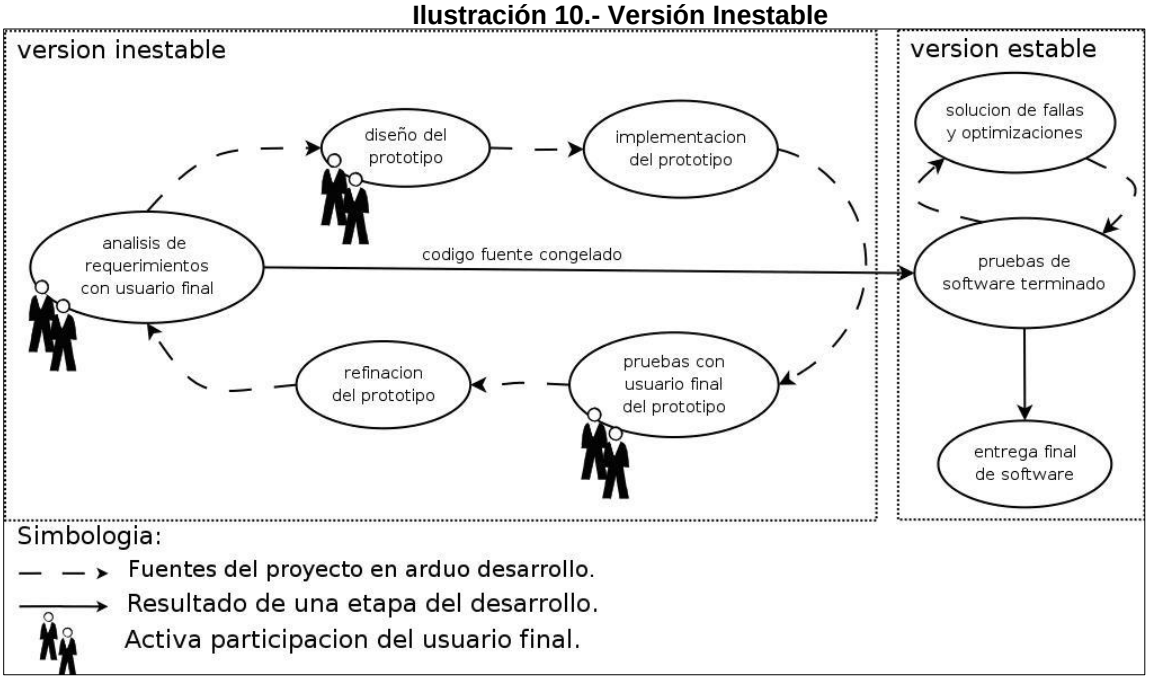
2.1.4 Operación y mantención

En esta fase se realiza ya la instalación y mantención del software, la complejidad en esta caso resulta menor ya que en las etapas anteriores los usuarios han trabajado con el sistemas al momento de hacer las pruebas de prototipos, además la mantención también debería ser una fase menos importante, ya que se supone que el refinamiento del prototipo permitiría una mejor claridad en los requerimientos, mediante lo cual las mantenciones perfectivas se reducirían.

Si existiese el caso en el cual se requiera una manutención entonces el proceso de prototipado es repetido y se definirá un nuevo conjunto de requerimientos.

La siguiente Ilustración nos indica el ciclo de vida de los modelos orientados a prototipos.

Ilustración 10.- Versión Inestable



Fuente: Modelo Orientado a Prototipos.

2.1.5 Razones para usar este modelo

Con este modelo se puede ilustrar los formatos de datos de entrada, mensajes, informes y diálogos al usuario, mediante lo cual se logra un mejor entendimiento de las necesidades. Se logra una exploración de los aspectos técnicos del producto propuesto.

Otra de las razones para usar un prototipo es cuando el modelo de fases análisis - diseño - instrumentación es inapropiado, es decir cuando el sistema se lo puede realizar solamente con esta metodología.

Y este modelo nos servirá para alcanzar nuestro producto precompetitivo por medio del modelo orientado a prototipos. (3)

2.1.5.1 Ventajas

- Útil cuando el cliente conoce los objetivos generales para el software, pero no identifica los requisitos detallados de entrada, procesamiento o salida.
- Existe una reducción de la incertidumbre y del riesgo.
- Se reduce el tiempo y costos.
- Hay incremento en la aceptación del nuevo sistema.
- Mejora la administración de proyectos.
- Existe mayor comunicación entre los desarrolladores y el usuario.

2.1.5.2 Desventajas

- Se depende de las herramientas de software para el éxito ya que la necesidad de disminución de incertidumbre depende de las iteraciones del prototipo, entre más iteraciones existan mejor y este último se logra mediante el uso de mejores herramientas lo que hace a este proceso dependiente de las mismas.
- No es posible usar la metodología en a todos los sistemas.
- Puede existir una mala interpretación que pueden hacer los usuarios del prototipo, al cual pueden confundir con el sistema terminado.

2.1.6 Conclusiones

Podemos ver que a pesar de que existan inconvenientes o desventajas el desarrollo mediante la construcción de prototipos puede ser un paradigma efectivo para la ingeniería de nuestro proyecto.

2.2 Cinemática

La cinemática es una parte de la Mecánica que estudia las propiedades geométricas del movimiento de los cuerpos prescindiendo de su inercia (masa) y de las fuerzas aplicadas a estos. Por una parte, la cinemática, es una introducción a la Dinámica, puesto que el establecimiento de las nociones y de las dependencias esenciales de la cinemática es necesario para el estudio del movimiento de los cuerpos teniendo en cuenta la acción de las fuerzas.

Por otra parte, los métodos cinemáticos poseen una significación práctica propia, por ejemplo, durante el estudio de la transmisión del movimiento en los mecanismos. Por esta razón, gracias a las exigencias de la industria de la construcción de maquinaria en desarrollo, la cinemática se convirtió en una rama independiente de la mecánica (en la primera mitad del siglo XIX). Por movimiento entendemos en mecánica un cambio con el tiempo de la posición de un cuerpo dado en el espacio respecto a otros cuerpos.

Para determinar las posiciones de un cuerpo (o de un punto) en movimiento con relación a otro cuerpo, respecto ahí cual se estudia el movimiento, se fija rigurosamente un sistema cualquiera de coordenadas, que junto con este cuerpo forma el así llamado sistema de referencia.

Si las coordenadas de todos los puntos del cuerpo en el sistema de referencia elegido permanecen constantes, entonces el cuerpo está en reposo respecto de este sistema de referencia.

Si las coordenadas de algunos puntos del cuerpo se modifican en el tiempo, el cuerpo está en movimiento respecto del sistema de referencia dado (y, como es natural, respecto del cuerpo con el cual el sistema de referencia está unido).

En lo siguiente, al hablar del movimiento del cuerpo respecto del sistema de referencia dado, sobreentenderemos el movimiento respecto del cuerpo con el cual este sistema de referencia está unido.

El movimiento de los cuerpos se efectúa en el espacio con el tiempo. En mecánica, el espacio se examina como espacio euclidiano tridimensional. Todas las medidas se efectúan sobre la base de los métodos de la geometría de Euclides.

Al medir las distancias como unidad de longitud se toma el metro. En mecánica, el tiempo se considera como universal, es decir, que este transcurre de la misma manera en todos los sistemas de referencia. La unidad de tiempo es el segundo.

El espacio euclidiano y el tiempo universal reflejan solo aproximadamente las propiedades reales del espacio y del tiempo. Sin, embargo, como muestra la experiencia, para los movimientos que se estudian en mecánica (movimientos con velocidades muy pequeñas en comparación con la velocidad de la luz) esta aproximación nos da una precisión suficiente para la práctica. El tiempo es una magnitud escalar que varía constantemente. En los problemas de cinemática, el tiempo t se considera una magnitud variable independiente (argumento).

Todas las magnitudes variables restantes (distancia, velocidad, etc.) se consideran como magnitudes que varían con el tiempo, es decir, como funciones del tiempo t. El tiempo se cuenta a partir de un momento inicial (1 = 0), cuya elección depende del caso.

Todo instante de tiempo t dado se determina por el número de segundos transcurridos desde el momento inicial hasta el momento dado; la diferencia entre dos instantes sucesivos cualesquiera se llama intervalo de tiempo. Los axiomas de la geometría son los que dan los fundamentos obtenidos por la experiencia y confirmados por la práctica, sobre los cuales se basa la

cinemática. Para el estudio cinemático del movimiento no son necesarios ni axiomas ni leyes adicionales. Para resolver los problemas de cinemática hace falta que el movimiento que se estudia sea definido (descrito) de una o de otra manera.

Definir cinema-ticamente un movimiento o formular una ley del movimiento de un cuerpo (o de un punto) es definir en cualquier momento de tiempo, la posición de este cuerpo (o punto) respecto del sistema de referencia dado. La determinación de las formas matemáticas de la definición del movimiento de puntos o cuerpos es una de las tareas más importantes de la cinemática.

Por eso, al estudiar el movimiento de cualquier objeto empezaremos por determinar la manera de definir este movimiento. La tarea principal de la cinemática consiste en determinar, conociendo la ley del movimiento del cuerpo (o del punto) dado, todas las magnitudes cinemáticas que caracterizan el movimiento del cuerpo entero, así como el movimiento de cada uno de sus puntos por separado (trayectorias, velocidades, aceleraciones, etc.). Para resolver este problema hace falta que sea definida directamente la ley del movimiento del cuerpo dado o la ley del movimiento de algún otro cuerpo ligado cinema-ticamente con el cuerpo dado.

El estudio de la cinemática lo empezaremos con el estudio del movimiento del objeto más simple, el punto (cinemática del punto), y luego pasaremos al estudio de la cinemática del cuerpo sólido. (4)

2.3 Estática

Llamase Estática a la rama de la Mecánica donde se exponen las nociones generales de las fuerzas y se estudian las condiciones del equilibrio de cuerpos materiales que se encuentran bajo la acción de fuerzas.

Por equilibrio entendemos el estado de reposo de un cuerpo con relación a otros cuerpos materiales. Si se puede menospreciar el movimiento del cuerpo en relación al cual se estudia el equilibrio, entonces el equilibrio se llama convencionalmente absoluto y en caso contrario, relativo.

En la Estática vamos a estudiar solamente el llamado equilibrio absoluto de los cuerpos. En la práctica, tratándose, digamos, de cálculos de ingeniería, se puede considerar como equilibrio absoluto el equilibrio respecto a la Tierra o a los cuerpos fijados rígidamente a ella. La validez de esta afirmación se fundamentara en la Dinámica, donde la noción del equilibrio absoluto se puede definir de un modo más riguroso. En este curso será también examinado el problema relacionado con el equilibrio relativo de los cuerpos. Las condiciones de equilibrio de un cuerpo dependen del estado de este cuerpo, si este es sólido, líquido o gaseoso. El equilibrio de los cuerpos líquidos y gaseosos se estudia en Tos cursos de Hidrostática y Aerostática. En el curso general de Mecánica se estudian, por lo común, solamente problemas del equilibrio de cuerpos sólidos.

Todos los cuerpos solidos existentes en la naturaleza cambian en cierto grado, bajo la influencia exterior, su forma. Los valores de tales deformaciones dependen del material constitutivo de estos cuerpos, de su forma geométrica y de sus dimensiones, así como de las cargas aplicadas. Para asegurar la estabilidad de distintas obras y construcciones de ingeniería, el material y las dimensiones de sus elementos se eligen de manera que las deformaciones bajo las cargas que actúan sobre estas sean muy pequeñas.

A causa de esto, al estudiar las condiciones de equilibrio, se permite omitir las deformaciones pequeñas de los cuerpos solidos correspondientes y considerarlos como indeformables o rígidos (absolutamente solidos). Llamaremos cuerpo rígido a aquel cuerpo en el cual la distancia entre dos de sus puntos cualesquiera permanece invariable. En lo sucesivo, al resolver

problemas de estática, consideraremos a todos los cuerpos como rígidos. Como se verá al final del, las condiciones de equilibrio obtén idas para los cuerpos rígidos, pueden ser aplicadas no solo a los cuerpos que presenten poca deformación sino también a cualquier cuerpo variable.

De este modo, el campo de aplicación práctica de la estática del cuerpo solido resulta bastante extenso. Al calcular la resistencia de los elementos de todo tipo de construcciones o de máquinas, es necesario tomar rigurosamente en consideración la deformación de los cuerpos. Estos problemas se estudian en los cursos de Resistencia de materiales y Teoría de la elasticidad.

Para que un cuerpo solido sometido a la acción de un sistema de tuerzas se encuentre en estado de equilibrio (en reposo) es necesario que las fuerzas citadas satisfagan determinadas condiciones de equilibrio del sistema de fuerzas dado.

Hallar dichas condiciones es una de las misiones principales de la Estática.

Mas para hallar las condiciones de equilibrio de diferentes sistemas de fuerzas, así como para resolver una serie de otros problemas de la Mecánica, hace falta saber componer las fuerzas aplicadas a un cuerpo sólido, sustituir la acción de un sistema de fuerzas por la de otro y en particular, reducir un sistema de fuerzas dado a su expresión más simple.

Por eso, la estática del cuerpo solido estudia los dos problemas principales siguientes:

1) Composición de fuerzas y reducción de los sistemas de fuerzas aplicadas a un cuerpo solido a su expresión más simple,

2) Determinación de las condiciones de equilibrio de los sistemas de fuerzas que actúan sobre un cuerpo sólido. Los problemas de Estática pueden ser resueltos, bien por medio de las construcciones geométricas

correspondientes (métodos geométrico y gráfico), bien con ayuda de cálculos numéricos (método analítico). (5)

2.3.1 Fuerza

El estado de equilibrio o de movimiento de un cuerpo depende del carácter de sus interacciones mecánicas con otros cuerpos, es decir, de aquellas presiones, atracciones o repulsiones que experimenta dicho cuerpo como resultado de estas interacciones.

La magnitud que es la medida cuantitativa de la interacción mecánica de los cuerpos materiales se llama, en mecánica, fuerza. Las magnitudes que se estudian en mecánica pueden ser divididas en dos categorías: las escalares que se caracterizan completamente por su valor numérico y las magnitudes vectoriales que, además de su valor numérico, se caracterizan también por su dirección y sentido en el espacio.

La fuerza es una magnitud vectorial.

Su acción sobre un cuerpo se determina por:

1) El valor numérico o módulo de la fuerza.

2) La dirección de la fuerza.

3) El punto de aplicación de la fuerza. (5)

2.3.2 Movimiento Continuo

De los motores de movimiento continuo y del propio movimiento continuo se habla frecuentemente, tanto en sentido directo como figurado, pero no todos comprenden claramente qué es lo que debe entenderse por esta denominación. Un motor de movimiento continuo (o movimiento continuo de primera especie), es un mecanismo ideal, el cual, además de moverse así mismo ininterrumpidamente, puede efectuar algún trabajo útil (por ejemplo, levantar un peso).

Aunque desde hace muchísimo tiempo se intenta construir semejante mecanismo, nadie lo ha conseguido hasta ahora. La infecundidad de todos estos intentos hizo llegar a la convicción de que el motor de movimiento continuo era irrealizable y contribuyó a formular uno de los principios básicos de la ciencia moderna: la ley de la conservación de la energía.

En cuanto al propio movimiento continuo (o movimiento continuo de segunda especie), debe entenderse por él todo movimiento ininterrumpido que ni realiza trabajo ni consume energía. (5)

2.4 La velocidad

De un objeto que se mueve, no sólo nos interesa la posición que ocupa sino también con qué velocidad se mueve. ¿Cómo definimos la velocidad de un objeto que se mueve? Comenzaremos hablando del concepto de velocidad media para llegar a continuación a la definición de velocidad instantánea.

2.4.1 Velocidad Media

La velocidad de un vehículo es el espacio que recorre por unidad de tiempo.

Si recorremos una distancia de 100 km en 4 h, podemos decir que hemos viajado a una velocidad media de 100 km / 4 h = 25 km/h.

En general, representamos con s el espacio recorrido por un objeto, con t el tiempo que ha tardado a recorrerlo y con <v> la velocidad media correspondiente; Δt y Δs (que se leen “delta te” y “delta ese”) son, respectivamente, el incremento de tiempo y el incremento de desplazamiento causados por el movimiento. La expresión siguiente define la velocidad media:

$$\langle v \rangle \models \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1)$$

La velocidad media de un cuerpo que se ha desplazado un intervalo delta ese durante un tiempo delta te se calcula como el cociente entre el espacio que ha recorrido y el tiempo que ha tardado en recorrerlo.

Es muy importante que aprendamos a definir correctamente las magnitudes.

Es muy importante que aprendamos a definir correctamente las magnitudes.

La velocidad media de un cuerpo que se ha desplazado un intervalo delta ese durante un tiempo delta te es igual al espacio que ha recorrido el cuerpo en un tiempo (o en este tiempo).

La única diferencia esencial entre los dos enunciados es que se ha sustituido “por unidad” de tiempo por “en un tiempo”. No es correcto el segundo enunciado porque estaríamos diciendo que una velocidad es un cambio de posición (o un desplazamiento), y entonces la velocidad sería una magnitud que se mediría con las mismas unidades que el desplazamiento. No es lo mismo decir “espacio recorrido en un intervalo de tiempo” que “espacio recorrido por unidad de tiempo”. Con “por” en la segunda expresión se indica que hay un cociente.

En conclusión, la magnitud velocidad media tiene el significado siguiente:

La velocidad media de un objeto que se ha desplazado Δs durante un tiempo Δt es el espacio que ha recorrido el objeto por unidad de tiempo.

Por lo tanto, la velocidad es una magnitud nueva, obtenida mediante un cociente a partir de las magnitudes desplazamiento y tiempo, y que tiene dimensiones (y unidades de medida) diferentes de las de espacio y de las de tiempo.

Decimos que la magnitud velocidad es una magnitud derivada, mientras que el espacio y el tiempo son magnitudes fundamentales. Como los

desplazamientos y los tiempos se miden en el SI en metros (m) y segundos (s), respectivamente, la unidad del SI de la velocidad será metros por segundo (m/s).

Veremos más adelante que la descripción completa de la magnitud velocidad es más complicada, porque una velocidad siempre indica un movimiento en alguna dirección. (5)

2.4.2 Velocidad Instantánea

Cuando nos referimos a la velocidad de un objeto podemos estar hablando de la velocidad media, de la velocidad máxima, de la velocidad límite, de la velocidad mínima, etc. Pero si no lo especificamos, se sobreentiende que hablamos de la velocidad instantánea. ¿Cómo se define esta velocidad? Pensemos, primero, en una partícula que se mueve en una dimensión. La variable x basta para describir la posición de la partícula sobre una línea recta.

Si una partícula puntual se mueve de manera que está en la posición x en un instante de tiempo t, la posición instantánea viene dada por la función matemática $x(t)$. Luego, la velocidad instantánea de esta partícula, es decir, la velocidad que tiene la partícula en el instante t, se define de la manera siguiente:

$$v = \frac{dx}{dt} \quad (2)$$

La expresión anterior de la velocidad instantánea se lee así:

La velocidad instantánea de un objeto es la derivada de la posición con respecto al tiempo.

La velocidad instantánea tiene, como toda velocidad, el significado de espacio recorrido por unidad de tiempo.

Recordad que, matemáticamente, una derivada se calcula como el paso al límite de un cociente de incrementos:

$$v = \frac{dx}{dt} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (3)$$

Por lo tanto, para calcular una velocidad instantánea debemos calcular una velocidad media en un trayecto muy, muy corto; matemáticamente, a partir de un trayecto que hacemos en un incremento de tiempo que tiende a cero.

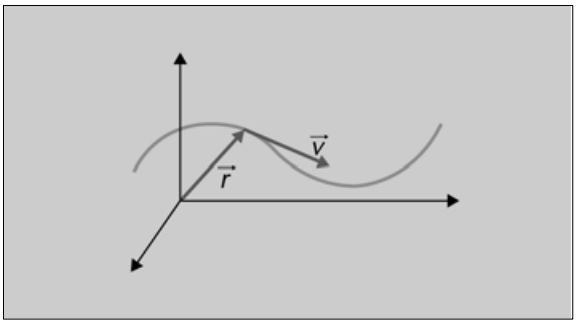
Ahora haremos tres actividades para reforzar el concepto de velocidad instantánea.

Primero recordaremos el significado geométrico de la derivada y después aprenderemos a representar la velocidad instantánea y a calcularla. (5)

2.4.3 Vector Velocidad

La velocidad es una magnitud vectorial, porque para determinarla necesitamos dar tres valores numéricos: para determinar totalmente la velocidad de un objeto necesitamos dar su dirección y sentido del movimiento y la distancia que recorre por unidad de tiempo. O bien, podemos dar las componentes del vector velocidad en algún sistema de referencia.

Ilustración 11.- Trayectoria de una partícula y vectores.



Fuente: Mecánica, Cinemática y Dinámica, Albert G ras Martí.

En el caso general de un movimiento en tres dimensiones, en el que la posición de la partícula venga dada por la función $\vec{r}(t)$, Ilustración 11, es decir, por el vector de posición de la partícula con respecto a un punto fijo del espacio, en realidad estamos dando tres funciones del tiempo:

$$\begin{aligned} x &= x(t) \\ y &= y(t) \\ z &= z(t) \end{aligned} \quad (4)$$

Vectorialmente:

$$\vec{r}(t) = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k} \quad (5)$$

En cada situación podemos escoger las direcciones XYZ de la manera que más convenga para describir el movimiento. Ya sabemos que hay una relación entre la pendiente de la curva posición-tiempo y la velocidad de la partícula. Lo mismo ocurre en una trayectoria tridimensional: hay una relación entre la pendiente de la trayectoria y la velocidad.

La velocidad de una partícula es la derivada del vector de posición con respecto al tiempo.

Conocer la velocidad de la partícula, definida como la derivada temporal del vector de posición $\vec{r}(t)$:

$$\vec{v}(t) = \frac{d\vec{r}(t)}{dt} \quad (6)$$

Equivale, en la práctica, a trabajar con tres derivadas de funciones; los tres componentes del vector velocidad:

$$\vec{v} = (v_x, v_y, v_z) = v_x\vec{i} + v_y\vec{j} + v_z\vec{k} \quad (7)$$

Explícitamente:

$$v_x = \frac{dx}{dt} \qquad v_y = \frac{dy}{dt} \qquad v_z = \frac{dz}{dt} \quad (8)$$

La expresión (8) es la generalización a un movimiento tridimensional de la expresión (2), válida para un movimiento unidimensional. La Ilustración 11 representa una trayectoria cualquiera en el espacio (en un sistema de coordenadas cartesianas tridimensional), y el vector de posición y la velocidad de la partícula en un punto cualquiera. El vector velocidad instantánea tiene la dirección de la recta tangente a la trayectoria de la partícula en cada punto. (5)

2.5 Leyes de Newton de la dinámica

La dinámica es la parte de la mecánica que estudia las causas que producen los movimientos y la relación entre las causas y los efectos que se observan. En este apartado formalizaremos los conceptos necesarios y las relaciones que se establecen entre ellos: leyes y fórmulas que relacionan magnitudes físicas. Enunciaremos las tres leyes básicas de la dinámica, las tres leyes de Newton.

En el apartado anterior hemos discutido algunas situaciones dinámicas que resultan de la aplicación de fuerzas. En este apartado introduciremos las leyes que determinan el movimiento de los cuerpos. Esto nos llevará a definir de manera precisa términos como *fuerza* y *masa*, que en la vida diaria se utilizan de manera informal y, a veces, metafórica. Así, daremos a los términos *fuerza*, *masa*, *energía*, *trabajo*, etc., un significado técnico muy preciso y concreto. Se trata de cambios semánticos (cambios en el significado) que sólo interiorizaremos adecuadamente si empleamos los conceptos en contextos variados y de dificultad creciente. (4)

2.5.1 Ley de la inercia, o primera ley de Newton

Estamos acostumbrados a ver que los objetos que están en movimiento acaban deteniéndose si no se hace nada: si lanzamos una pelota, acaba cayendo al suelo y rueda hasta que se detiene; un vehículo se frena si no pisamos el acelerador de manera constante.

En ambos casos, la fuerza de rozamiento con el suelo, de la pelota o de las ruedas del coche, detendrán la pelota o el vehículo.

También vemos constantemente objetos en reposo, que no se mueven si no se actúa sobre ellos: una piedra en el camino, un libro encima de la mesa, una bola de billar, etc., no se mueven si no los golpeamos o los cogemos.

En conclusión, para detener objetos son necesarias acciones, que denominamos *fuerzas*, y hacen falta fuerzas para mover objetos.

El lenguaje científico pretende ser preciso e inequívoco. Por lo tanto, mientras que en la vida diaria decimos que una acción, como un golpe con la mano, un desnivel, etc., han causado un movimiento, cuando hablamos en términos científicos sólo utilizaremos el término *fuerzas*.

Una definición cualitativa de fuerza es, pues, la siguiente.

Una fuerza es cualquier acción, ejercida desde el exterior de un cuerpo, que modifica su velocidad o su estado de reposo (ausencia de velocidad). (4)

2.5.2 Segunda ley de Newton

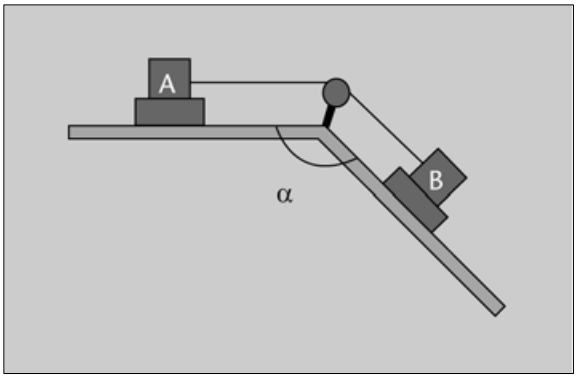
Todos tenemos la experiencia que si agarramos una persona de la mano, y tiramos de ella con fuerza hacia nosotros, la persona se nos acerca; si tiramos de ella con más fuerza, el efecto es mayor. Podríamos decir que tirones y cambios de velocidades (aceleraciones) están relacionadas.

Como no tenemos la opción de hacer un experimento en el laboratorio para llegar al concepto cuantitativo de fuerza, plantearemos un experimento mental (o, como le gustaba decir a Einstein en alemán, un *Gedankenexperiment*).

Hagamos un experimento mental como el de la Ilustración 12: un objeto B puede deslizarse sobre un plano de inclinación variable y está ligado a otro cuerpo, A, que se mueve sobre un plano horizontal. El ángulo α que forma el plano inclinado puede variar. Los dos objetos se mueven sin fricción

(imaginemos que las superficies están bien pulidas y engrasadas, o que son de hielo).

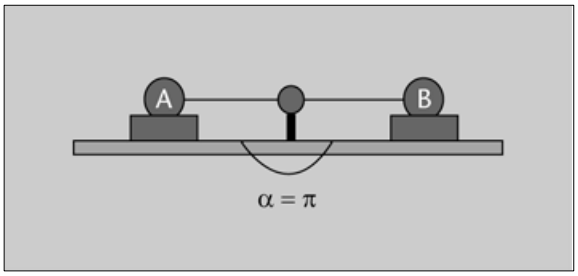
Ilustración 12.- Un Objeto cae.



Fuente: Breve Curso de Mecánica Teórica.

Si el ángulo α es de 180° (Ilustración 12), las superficies en que descansan A y B son planas y ambos objetos estarán en reposo.

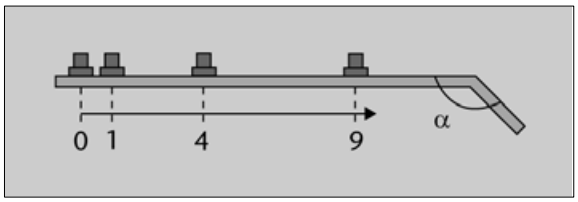
Ilustración 13.- Los objetos no se mueven.



Fuente: Breve Curso de Mecánica Teórica.

Pero si fijamos un ángulo en el intervalo $\pi/2 < \alpha < \pi$ y colocamos los objetos, el cuerpo B comenzará a caer y esto hará que el cuerpo A también se mueva. Una ráfaga de fotos disparada a A (diversas fotos en una fracción de segundo) nos daría un resultado como el de la Ilustración 14.

Ilustración 14.- Arrastre en un movimiento acelerado.



Fuente: Breve Curso de Mecánica Teórica.

Si no hay fricción, la caída de B será del tipo “caída libre”. En efecto, podríamos comprobar (por ejemplo, disparando otra ráfaga de fotos) que las posiciones de B para incrementos constantes de tiempo siguen una relación del tipo de la ley de movimiento en caída libre, ecuación $\Delta z \propto t^2$.

$$\Delta l \propto (\Delta t)^2 \quad (9)$$

Donde Δl es la distancia recorrida por B durante el tiempo Δt. El desplazamiento del cuerpo A seguirá la misma relación que el cuerpo B.

A partir de los datos experimentales del desplazamiento en función del tiempo transcurrido, $\Delta l(\Delta t)$, podríamos deducir la aceleración a del cuerpo B. Sólo deberíamos ajustar los datos a la expresión $\Delta z = \frac{1}{2} a t^2$ bien conocida por nosotros:

$$\Delta l = \frac{1}{2} a (\Delta t)^2 \quad (10)$$

Como el objeto de A está unido por un hilo al cuerpo B, A también se desplaza por la superficie horizontal con la misma aceleración constante que B.

Entre los ángulos $\alpha = \pi$ y $\alpha = \pi/2$ la aceleración de los cuerpos A y B aumentará desde el valor a = 0 para $\alpha = \pi$ hasta un valor máximo, $a = g$, para $\alpha = \pi/2$. Si $\alpha = \pi/2$ el cuerpo B cae en caída libre y con la máxima aceleración, g, sin ser afectado por el plano inclinado. Como hemos dicho, este hecho experimental podría comprobarse con una cámara que dispare una ráfaga de

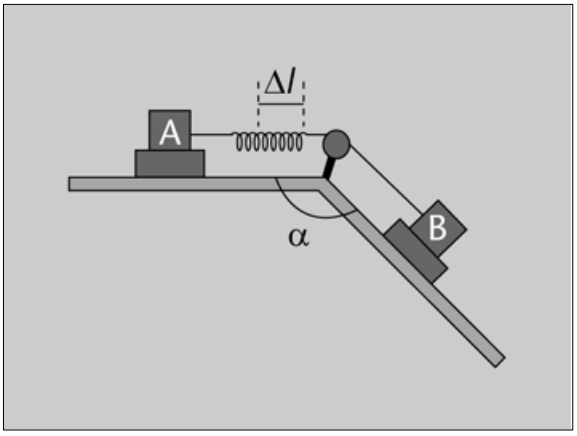
fotos. En definitiva, tenemos un valor de la aceleración del cuerpo A para cada ángulo α del plano inclinado.

Además de la aceleración de los dos objetos en el experimento anterior, debemos medir las fuerzas que actúan. Vamos a ver cómo podemos hacerlo. (4)

2.5.2.1 Medidor de fuerzas

Ahora sofisticaremos un poco el experimento y construiremos mentalmente un medidor de fuerzas, mediante un muelle elástico que situaremos entre A y B (véase la Ilustración 15).

Ilustración 15.- Medidor de fuerza que B ejerce en A.



Fuente: Breve Curso de Mecánica Teórica.

Podríamos comprobar experimentalmente que para cada ángulo α hay un alargamiento diferente del muelle (todos tenemos la experiencia de que si aplicamos una fuerza sobre un muelle podemos estirarlo, y cuanto mayor es esa fuerza, el alargamiento es mayor). Con una ráfaga de fotografías podríamos comprobar también que el alargamiento del muelle es constante durante el movimiento que se produce para cada ángulo del plano inclinado.

Por lo tanto, podemos asociar un valor de la fuerza que ejerce B a cada valor del alargamiento del muelle, y determinar así qué fuerza ejerce B sobre A

para cada ángulo. Por el momento, daremos la fuerza en unidades arbitrarias, es decir: construiremos una escala 0,1, 2, etc., sobre el muelle, de manera que el valor 0 corresponda a la posición del extremo del muelle cuando $\alpha = \pi$, y mediremos qué punto de la escala alcanza el muelle estirado para cada valor del ángulo del plano inclinado. Podemos construir una tabla de valores experimentales de fuerza y de aceleración para cada ángulo, porque la fuerza y la aceleración pueden medirse independientemente (la fuerza, a partir del alargamiento del muelle, y la aceleración, a partir de la ráfaga de fotos).

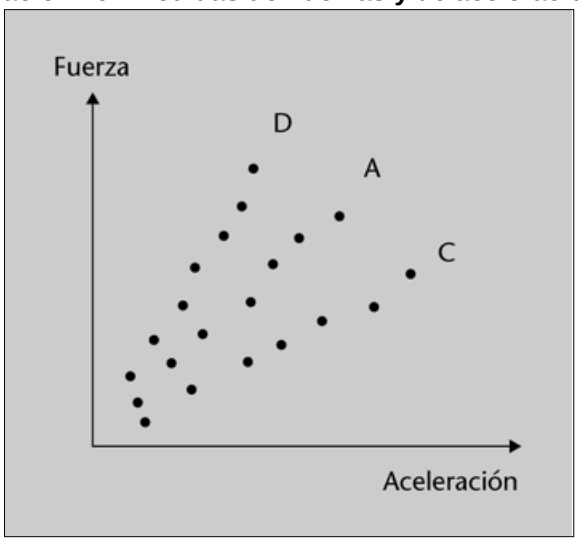
Observad que no hemos propuesto ninguna hipótesis sobre qué relación funcional existe entre la fuerza aplicada y el alargamiento del muelle. Ya vais a ver en el apartado 6 que en algunos casos esta relación es sencilla, pero para el experimento que nos ocupa no es necesario investigarla. Podemos continuar la discusión del experimento sin conocer la relación que liga fuerzas y alargamientos o compresiones en un muelle elástico. (4)

2.5.2.2 La masa de un objeto

Ahora cambiamos el objeto A por otro parecido, pero más grande o más pequeño.

Repetimos los experimentos y representamos en una gráfica fuerza aceleración la relación que existe para cada ángulo entre las fuerzas que indica el medidor (el alargamiento del muelle) y la aceleración que observamos en el objeto (por medio de la ráfaga de fotos). Si lo hacemos para objetos diferentes, obtendremos una gráfica como la de la Ilustración 16.

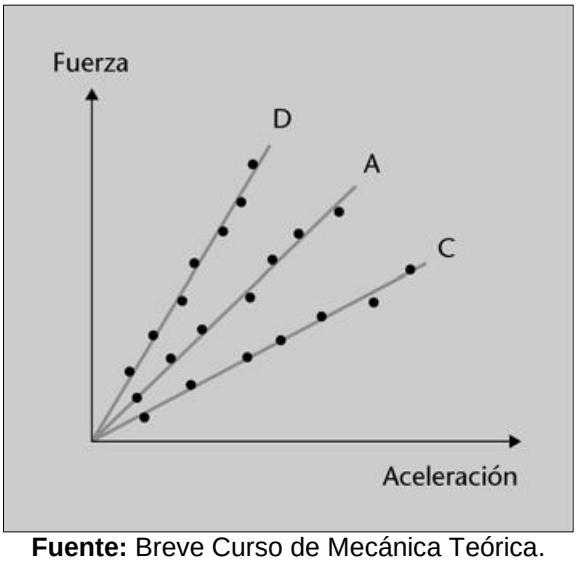
Ilustración 16.- Medidas de Fuerzas y de aceleraciones.



Fuente: Breve Curso de Mecánica Teórica.

Como los puntos correspondientes a cada cuerpo en la Ilustración 16 están bastante alineados, puede hacerse pasar una recta por la secuencia de puntos que corresponde al movimiento de cada objeto (véase la Ilustración 17).

Ilustración 17.- Líneas rectas que mejoren su ajuste.



Fuente: Breve Curso de Mecánica Teórica.

¿Qué significa este resultado que hemos obtenido de los experimentos de medida de fuerzas aplicadas y de aceleraciones producidas por diversos cuerpos?

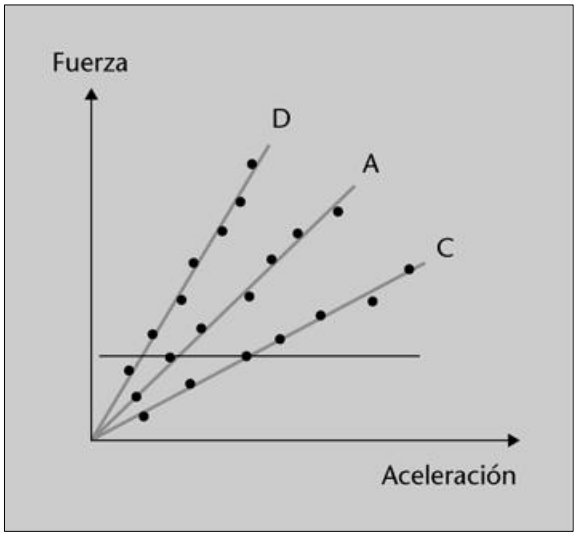
Nos damos cuenta de dos hechos:

1) La relación entre fuerza y aceleración es lineal, es decir, ambas magnitudes son proporcionales.

2) La pendiente de las rectas es diferente para cada objeto.

Empecemos por el segundo hecho. Si nos fijamos en el valor de una fuerza cualquiera y trazamos una raya horizontal (Ilustración 18), observamos que para una misma fuerza el objeto D se acelera menos que el objeto A, y éste menos que el objeto C. Diremos que C tiene menos inercia que A y que A tiene menos inercia que D.

Ilustración 18.- Valor cualquiera separado con una rata horizontal.



Fuente: Breve Curso de Mecánica Teórica.

El primer hecho, que las fuerzas aplicadas resultan ser directamente proporcionales a las aceleraciones que adquieren los objetos, es una ley de la naturaleza.

La constante de proporcionalidad es un valor único para cada objeto, una "propiedad" de cada objeto.

En conclusión, cuando aplicamos diversas fuerzas, F, a un cuerpo que se acelera, a, por la aplicación de estas fuerzas, se encuentra el hecho experimental de que F es proporcional a a, $F \propto a$. Si simbolizamos con m la constante de proporcionalidad que relaciona las fuerzas aplicadas a un cuerpo y las aceleraciones que éstas provocan, podemos escribir la relación fuerza-aceleración:

$$F = ma \quad (11)$$

La propiedad del cuerpo que se acelera, m, es la pendiente de la línea recta correspondiente a cada cuerpo en la Ilustración 18. Denominamos esta propiedad *masa inercial*, o simplemente, *masa*, por abreviar.

Esta ley, la segunda ley de Newton, se enuncia de la manera siguiente: si sobre una partícula de masa m actúa una fuerza F, ésta le comunica una aceleración que viene dada por el cociente de la fuerza por la masa.

Mientras que la escala de fuerzas del experimento mental anterior era arbitraria, la existencia de este número único para un cuerpo determinado *no* es un asunto de definición o de convenio y no puede deducirse a partir de principios teóricos: es un hecho físico experimental, una ley de la naturaleza, que denominamos *segunda ley de Newton*. Newton llegó a la conclusión anterior por conjetura, y no por pruebas experimentales directas, pero se dio cuenta de su carácter de ley básica del movimiento, y por eso lo denominamos *segunda ley de Newton de la dinámica*.

La masa, igual que la longitud y el tiempo, es una de las siete unidades fundamentales del Sistema Internacional. La unidad de masa inercial se denomina kilogramo, se simboliza por kg y corresponde (por convenio internacional) a la masa de una pieza patrón determinada conservada en París.

La fuerza es una magnitud derivada. La unidad de fuerza es el newton y se representa con la letra N. (5)

2.5.3 Tercera ley de Newton

Ya tenemos una idea formada sobre el concepto de fuerza y sabemos cómo se relaciona la aplicación de una fuerza en un cuerpo con la aceleración que le comunica. Pero en una interacción, es decir, en la aplicación de una fuerza, siempre actúan dos objetos, tanto si se trata de una fuerza de contacto como si es una fuerza de acción a distancia. Cuando apoyamos un objeto sobre una mesa, hay fuerzas de contacto entre el objeto y la mesa. Cuando la Tierra atrae una manzana que cae del árbol, es una fuerza que actúa a distancia, sin contacto; hablamos entonces de *acción a distancia*.

Hemos hablado de la fuerza normal que ejerce el plano inclinado que sostiene una caja; dicha fuerza se origina por el hecho de colocar la caja. La caja ejerce una fuerza sobre el plano inclinado y el plano inclinado ejerce una fuerza sobre la caja. Si retiramos la caja, la fuerza normal que ejerce el plano desaparece.

Cuando tenemos una interacción entre dos o más cuerpos, como la Luna, el Sol y la Tierra, o una pelota y una raqueta en un día de viento, o dos vehículos que chocan, etc., habitualmente sólo nos interesa conocer qué efecto tienen las fuerzas que actúan sobre uno de los cuerpos que interaccionan. En los ejemplos anteriores, puede interesarnos saber qué le ocurre a la Luna o a la pelota o a uno de los vehículos. La tercera ley de Newton nos permite separar mentalmente dos o más cuerpos que interaccionan y aplicar la segunda ley de Newton a uno de los objetos aisladamente.

La tercera ley de Newton dice que las fuerzas siempre se ejercen por pares: si un cuerpo A ejerce una fuerza $\bar{F}_{A\to B}$ sobre un cuerpo B, entonces el cuerpo B ejerce una fuerza igual y contraria sobre el cuerpo A, $\bar{F}_{B\to A}$.

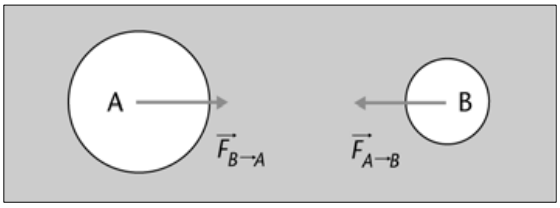
Se habla de fuerza de acción y fuerza de reacción (Ilustración 19). Simbólicamente:

$$\vec{F}_{B\to A} = -\vec{F}_{A\to B} \quad (12)$$

Si nos interesa el comportamiento del sistema “A más B” (es decir, del conjunto de ambos cuerpos A y B) diremos que si no actúa ninguna fuerza externa al sistema, entonces la fuerza a la que está sometido el sistema es nula, porque las dos fuerzas se compensan:

$$\vec{F}_{B\to A} + \vec{F}_{A\to B} = 0 \quad (13)$$

Ilustración 19.- El cuerpo A actúa sobre el cuerpo B



Fuente: Breve Curso de Mecánica Teórica.

La expresión (19) indica que un sistema no puede estar acelerado por fuerzas internas, porque éstas se anulan por pares. Las fuerzas internas a un sistema no modifican el estado de movimiento.

Pero si queremos saber qué le ocurrirá al cuerpo B, por ejemplo, entonces la fuerza a la que está sometido B es únicamente $\vec{F}_{A\to B}$; esta fuerza ya no se anula con la fuerza $\vec{F}_{B\to A}$, porque esta última fuerza actúa sobre el cuerpo A y no interviene en la dinámica del cuerpo B.

Además, si en el sistema formado por los dos cuerpos A y B hay una fuerza externa $\vec{F}_A$ que actúa sobre el cuerpo A, y otra fuerza externa $\vec{F}_B$ que actúa sobre B, entonces la dinámica del cuerpo B viene determinada por el valor de la fuerza total que actúa sobre B, $\vec{F}_B + \vec{F}_{A\to B}$ la masa de B es m_B, podemos escribir que la aceleración que tendrá el cuerpo B es, por la segunda ley de Newton, ecuación: $\vec{F} = m\vec{a}$

$$\vec{a}_B = \frac{\vec{F}_B + \vec{F}_{A\to B}}{m_B} \quad (14)$$

Conviene insistir en el hecho de que las fuerzas de acción y reacción están aplicadas sobre cuerpos diferentes. Por esta razón no se anulan (no se compensan) si consideramos un solo cuerpo y las fuerzas que actúan sólo sobre este cuerpo. (4)

2.6 Palancas

El hombre, desde los inicios de los tiempos ha ideado mecanismos que le permitan ahorrar energía y con ello lograr que sus esfuerzos físicos sea cada vez menores. Entre los diversos mecanismos para hacer más eficientes sus esfuerzos se pueden citar las poleas, los engranajes y las palancas.

La palanca es una máquina simple que se emplea en una gran variedad de aplicaciones.

Probablemente, incluso, las palancas sean uno de los primeros mecanismos ingeniados para multiplicar fuerzas. Es cosa de imaginarse el colocar una gran roca como puerta a una caverna o al revés, sacar grandes rocas para habilitar una caverna.

Con una buena palanca es posible mover los más grandes pesos y también aquellos que por ser tan pequeños también representan dificultad para tratarlos.

Ilustración 20.- Galileo habría "movido" la Tierra.



Fuente: Palancas.

Se cuenta que el propio Arquímedes, en sus estudios sobre las palancas, habría dicho: "Dadme un punto de apoyo y moveré el mundo". En realidad, obtenido ese punto de apoyo y usando una palanca suficientemente larga, eso es posible.

En nuestro diario vivir son muchas las veces que “estamos haciendo palanca”. Desde mover un dedo o un brazo o un pie hasta tomar la cuchara para beber la sopa involucra el hacer palanca de una u otra forma.

Ni hablar de cosas más evidentes como jugar al balancín, hacer funcionar una balanza, usar un cortaúñas, una tijera, un diablito (sacaclavos), etc.

Casi siempre que se pregunta respecto a la utilidad de una palanca, la respuesta va por el lado de que “sirve para multiplicar una fuerza”, y eso es cierto pero prevalece el sentido que multiplicar es aumentar, y no es así siempre, a veces el multiplicar es disminuir (piénsese en multiplicar por un número decimal, por ejemplo). (6)

2.6.1 ¿Qué es una palanca?

Básicamente está constituida por una barra rígida, un punto de apoyo (se le puede llamar “fulcro”) y dos fuerzas (mínimo) presentes: una fuerza (o resistencia) a la que hay que vencer (normalmente es un peso a sostener o a levantar o a mover en general) y la fuerza (o potencia) que se aplica para realizar la acción que se menciona. La distancia que hay entre el punto de apoyo y el lugar donde está aplicada cada fuerza, en la barra rígida, se denomina brazo. Así, a cada fuerza le corresponde un cierto brazo.

Como en casi todos los casos de máquinas simples, con la palanca se trata de vencer una resistencia, situada en un extremo de la barra, aplicando una fuerza de valor más pequeño que se denomina potencia, en el otro extremo de la barra.

En una palanca podemos distinguir entonces los siguientes elementos:

1. **El punto de apoyo o fulcro**.
2. **Potencia**: la fuerza (en la Ilustración de abajo: esfuerzo) que se ha de aplicar.
3. **Resistencia**: el peso (en la Ilustración de abajo: carga) que se ha de mover.

Ilustración 21.- Fuerza, Fulcro, Carga.



Fuente: Palancas.

4. **El brazo de potencia (b_2)**: es la distancia entre el fulcro y el punto de la barra donde se aplica la potencia.
5. **El brazo de resistencia (b_1)**: es la distancia entre el fulcro y el punto de la barra donde se encuentra la resistencia o carga. (7)

2.6.2 El principio de la palanca

El tronco del árbol actúa como una palanca. Ésta es simplemente una barra que oscila sobre un eje o punto de apoyo. Si se aplica una fuerza que empuja o tira sobre un punto de la palanca, ésta oscila sobre el punto de apoyo ejerciendo una acción útil sobre otro punto. La fuerza que se aplica, llamada *potencia* (contrapeso), permite levantar un peso, o vencer una resistencia. Ambas son llamadas *carga.*

El punto en que se mueve la palanca es tan importante como la potencia que se aplica. Una potencia (contrapeso) menor puede mover la misma carga,

si se aplica más alejada del punto de apoyo. Es decir, la potencia debe mover una distancia mayor para equilibrar la carga.

Es fundamental tener en cuenta la distancia que hay entre la carga o el contrapeso y el punto de apoyo.

2.6.3 Punto de apoyo en el centro

La carga y el contrapeso se hallan equidistantes del punto de apoyo. Aquí, ambas fuerzas son iguales y ambos extremos oscilan con igual intensidad hasta hallar el equilibrio.

Ilustración 22.- Punto de apoyo en el centro.



Fuente: Palancas.

2.6.4 Punto de apoyo descentrado

El contrapeso está dos veces más lejos del punto de apoyo que la carga. A pesar de que el contrapeso sólo pesa la mitad, ejerce el doble de fuerza que la carga.

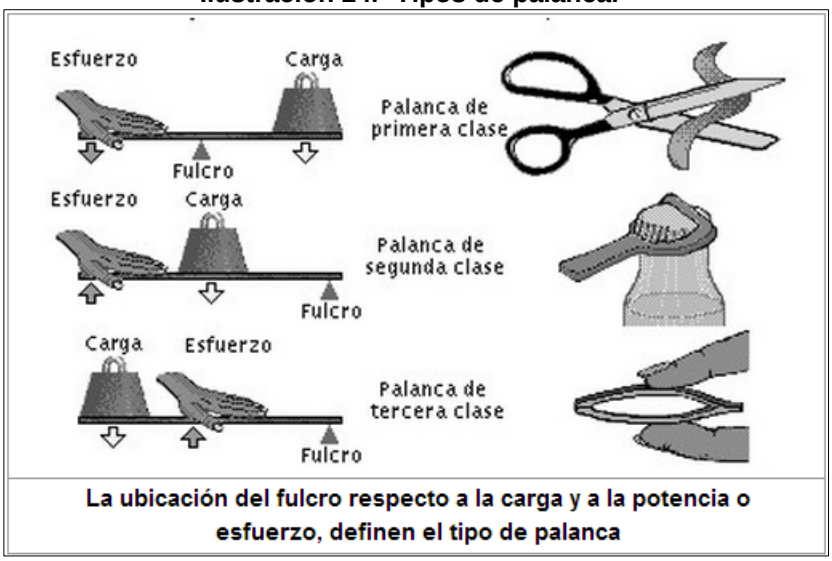
Ilustración 23.- Punto de apoyo descentrado.



Fuente: Palancas.

2.6.5 ¿Cuántos tipos de palanca hay?

Ilustración 24.- Tipos de palanca.



Fuente: Palancas.

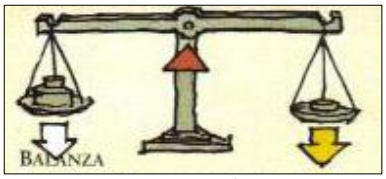
Según lo visto en la Ilustración y lo definido en el cuadro superior, hay tres tipos de palancas:

2.6.5.1 Palanca de primera grado o clase

Las de 1º grado o clase tienen el punto de apoyo situado siempre entre la carga y la fuerza que se le imprime desde el extremo opuesto.

Si el contrapeso (potencia) está a una distancia del punto de apoyo doble de la que hay entre la Carga (resistencia) y este punto (esquema de arriba), se observa que se necesita la mitad de Contrapeso para levantar la Carga (ejemplo, peso de un mueble. Y si la distancia entre el Contrapeso (potencia) y el punto de apoyo fuese tres veces mayor que la distancia entre el punto y la Carga, sólo se necesitaría un tercio del Contrapeso, y así sucesivamente, ya que la palanca aumenta la cantidad de fuerza que se aplica sobre ella.

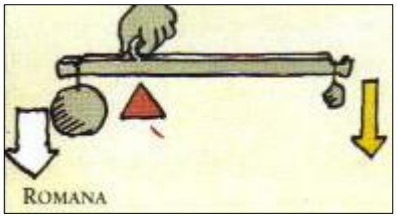
Ilustración 25.- Primera clase #1.



Fuente: Palancas.

El objeto que se pesa es la carga, y los contrapesos realizan la fuerza para equilibrar el mecanismo. Ambos pesos son iguales y se encuentran a la misma distancia.

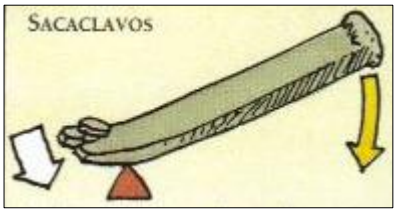
Ilustración 26.- Primera clase #2.



Fuente: Palancas.

El punto de apoyo no está en el centro, y el peso se desplaza por la barra hasta que equilibra el objeto que debe ser pesado.

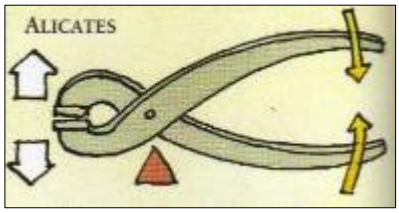
Ilustración 27.- Primera clase #3.



Fuente: Palancas.

La fuerza realizada por el operador se aumenta para extraer el clavo. La carga es la resistencia del clavo al ser extraído.

Ilustración 28.- Primera clase #4.



Fuente: Palancas.

Los alicates son una palanca combinada (una pareja de palancas unidas en el punto de apoyo). La carga es la resistencia que el objeto opone al cierre de la herramienta.

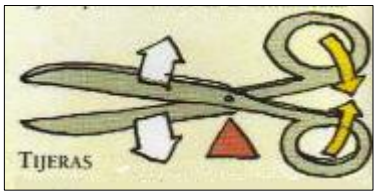
Ilustración 29.- Primera clase #5.



Fuente: Palancas.

Basta inclinar las varas de la carretilla para poder transportar una pesada carga con un pequeño esfuerzo.

Ilustración 30.- Primera clase #6.



Fuente: Palancas.

Las tijeras son palancas combinadas de primer grado. Realizan una fuerte acción de corte cerca del punto de apoyo. La carga es la resistencia del material a la acción de corte de las hojas de la tijera.

2.5.5.2 Palanca de segundo grado o clase

Ilustración 31.- Segunda clase #1.



Fuente: Palancas.

Al elevar las varas es posible levantar una pesada carga que se halla más cerca del punto de apoyo, la rueda.

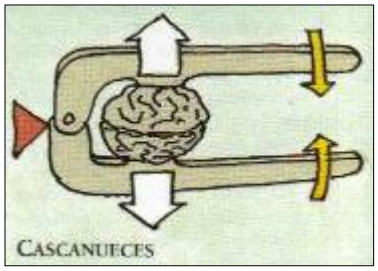
Ilustración 32.- Segunda clase #2.



Fuente: Palancas.

Al levantar el mango, se supera la fuerte resistencia de la tapa.

Ilustración 33.- Segunda clase #3.

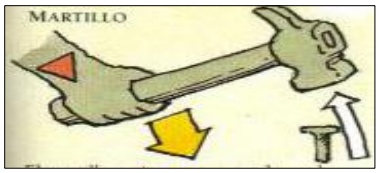


Fuente: Palancas.

El cascanueces es una palanca combinada de segundo grado. La carga es la resistencia que la cáscara de la nuez opone a ser partida. (6)

2.6.5.3 Palanca de tercer grado o clase

Ilustración 34.- Tercera clase #1.



Fuente: Palancas.

El martillo actúa como una palanca de tercer grado cuando se utiliza para clavar un clavo. El punto de apoyo es la muñeca y la carga es la resistencia que opone la madera. La cabeza del martillo se mueve a mayor velocidad que la mano al golpear.

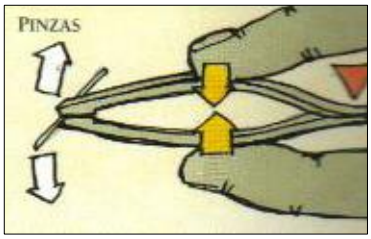
Ilustración 35.- Tercera clase #2.



Fuente: Palancas.

Mientras una de las manos actúa como punto de apoyo, la otra provee la fuerza para mover la caña. La carga es el peso del pez, que se puede levantar a gran altura con un movimiento de mano corto.

Ilustración 36.- Tercera clase #3.

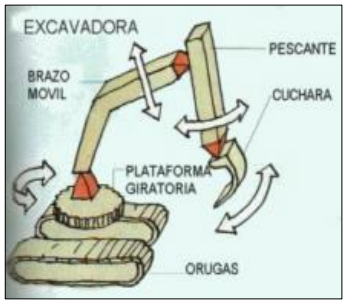


Fuente: Palancas.

Un par de pinzas es una palanca de tercer grado compuesta. El esfuerzo que ejercen los dedos se reduce en los extremos de la pinza, lo cual le permite tomar objeto. (6)

2.6.6 Palancas múltiples

Ilustración 37.- Palanca múltiple.



Fuente: Palancas.

La excavadora es un ensamble rotativo de tres palancas (el pescante, el móvil y la cuchara) montadas sobre orugas. Estas tres palancas accionadas por pistones hidráulicos que permiten colocar la cuchara en cualquier posición, van montadas sobre una plataforma. (6)

2.6.7 Ley de las palancas

Desde el punto de vista matemático hay una ley muy importante, que antiguamente era conocida como la “ley de oro”, nos referimos a la Ley de las Palancas: **El producto de la potencia por su brazo (F2 • b2) es igual al producto de la resistencia por el brazo suyo (F1 • b1)**

Lo cual se escribe así: **F1 • b1 = F2 • b2**

Lo que significa que: **Trabajo motor = Trabajo resistente**

Llamando F1 a la fuerza a vencer y F2 a la fuerza a aplicar y recordando que b1 es la distancia entre el fulcro y la fuerza a vencer y b2 la distancia entre el fulcro y el lugar donde se ha de aplicar la fuerza F2. En este caso se está considerando que las fuerzas son perpendiculares a los brazos.

Y es válida para todo tipo de palancas.

Ahora bien, ¿en qué se sostiene la Ley de las Palancas?

En un concepto mucho más amplio, el concepto de **“torque”**.

Al comentar las características de cada tipo de palanca, dijimos que su uso involucra siempre un movimiento rotatorio. Bien, cada vez que se realiza, o se intenta realizar, un movimiento rotatorio se realiza lo que se denomina “torque”.

Torque es la acción que se realiza mediante la aplicación de una fuerza a un objeto que debido a esa fuerza adquiere o puede adquirir un movimiento rotatorio.

Abrir una puerta involucra la realización de torque. El eje de rotación son las bisagras.

Abrir un cuaderno involucra la realización de torque. El eje de rotación es el lomo o el espiral.

Jugar al balancín es hacer torque. El eje de rotación es el punto de apoyo.

Al mover un brazo se realiza torque. El eje de rotación es el codo.

Dos situaciones excepcionales hay que distinguir:

- Cuando se aplica la fuerza en el eje de rotación no se produce rotación, en consecuencia no hay torque. ¿Se imaginan ejercer una fuerza en una bisagra para abrir una puerta?

- Cuando se aplica la fuerza en la misma dirección del brazo tampoco se realiza rotación, por lo tanto tampoco hay torque. O, mejor dicho, el torque es nulo. Imagínense atar una cuerda al borde de la tapa de un libro y tirar de él, paralelo al plano del libro, tratando de abrirlo.

Ya que mencionamos el caso de situaciones particulares donde el torque que se realiza resulta ser nulo, destaquemos también que el torque es máximo cuando el ángulo entre el brazo y la fuerza a aplicar es un ángulo recto (90º y 270º). Otros casos, donde el ángulo entre la fuerza aplicada y el brazo no es ni

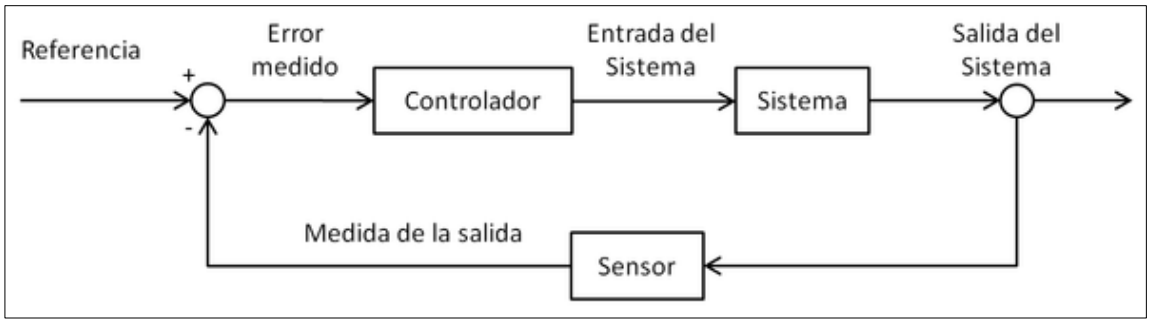
recto ni nulo ni extendido (0º o 180º) necesitan de matemática que en estos momentos no están al alcance.

El lector más avanzado puede trabajar con el concepto, matemático, de torque como igual al producto entre la fuerza aplicada, la longitud del brazo y el seno del ángulo que forman la fuerza aplicada y el brazo. (7)

2.7 Teoría de control

La Teoría de Control es un campo interdisciplinario de la ingeniería y las matemáticas, que trata con el comportamiento de sistemas dinámicos. A la entrada de un sistema se le llama *referencia*. Cuando una o más variables de salida de un sistema necesitan seguir cierta referencia sobre el tiempo, un controlador manipula la entrada al sistema para obtener el efecto deseado en la salida del sistema (retroalimentación).

Ilustración 38.- Control.



Fuente: Internet - Teoría de control.

El concepto del lazo de control para controlar el comportamiento dinámico de la referencia: se trata de realimentación negativa, pues al valor censado se le resta el valor deseado para crear la señal de error, que es amplificada por el controlador. (8)

2.7.1 Desarrollo teórico

Al mismo tiempo que Watt se dedicaba a perfeccionar su regulador de bolas, Laplace y Fourier (basándose en la trasformada Z) desarrollaban los métodos de Transformación Matemática, tan utilizados y asumidos en la Ingeniería Eléctrica y por supuesto en la actual Ingeniería de Control. (Explicaremos algo de ellos más adelante)

En el siguiente medio siglo se produjeron significativas contribuciones en el campo del control automático. Durante las dos décadas anteriores a la II Guerra Mundial ocurrieron importantes desarrollos en la aviación y en la electrónica. Nyquist realizó su clásico trabajo sobre la estabilidad de sistemas lineales retroalimentados, aunque enfocado a redes de comunicaciones, siendo durante la II Guerra Mundial que la gente interesada en control automático descubrió de nuevo sus ideas. El trabajo de Hazen, fue el primer intento de desarrollar alguna teoría sobre servomecanismos.

La palabra *servo* fue entonces usada por primera vez, y es derivada de la palabra latina “servus” que significa *esclavo*, la cual expresa justamente la función de aquellos mecanismos de control que fueron diseñados para mover los timones de barcos y aviones, obedeciendo fielmente las órdenes enviadas por los pilotos de las naves. (8)

2.7.2 Era del control moderno

De 1945 a 1950 se consolidaron los avances realizados durante la guerra, se publicaron los primeros libros sobre servomecanismos y algunas universidades del mundo empezaron a ofrecer cursos sobre control automático. La teoría desarrollada hasta fines de los años cuarenta estaba relacionada con sistemas lineales continuos. El análisis y la síntesis de sistemas de control eran basados en el método de tanteos. Alrededor de 1950, Evans introdujo su llamado *método del lugar de raíces*. Más o menos al mismo tiempo se

desarrollaron los computadores digitales, cambiando el interés de los sistemas continuos a los sistemas discretos.

Desde 1955 a la fecha, la ingeniería de control ha experimentado un desarrollo sin precedentes. Los computadores analógico y digital han alcanzado grandes niveles de perfeccionamiento y su disponibilidad es prácticamente universal. La mayoría de las universidades del mundo han desarrollado excelentes programas de ingeniería de control y ésta es una de las más populares áreas de investigación. Se han generado nuevas formas de control y se tiende a la optimización de los sistemas. (8)

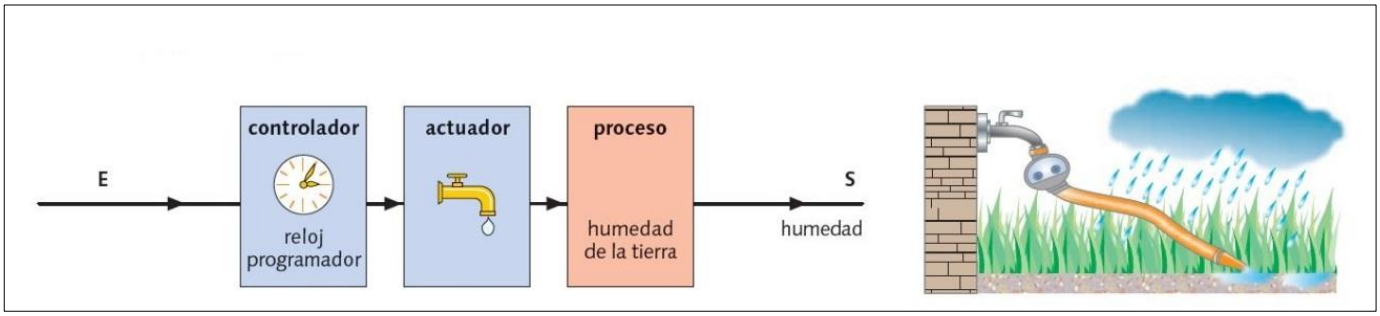
2.7.3 Ejemplos de control

No todos los sistemas automáticos realizan su función correctamente.

Observa lo que ocurre con este sistema de riego automático que ha sido programado para regar por las tardes.

Esté seca o húmeda, la planta se riega. Un sistema como este, que se activa sin tener en cuenta el estado de la salida, recibe el nombre de sistema de control en lazo abierto.

Ilustración 39.- Lazo Abierto.

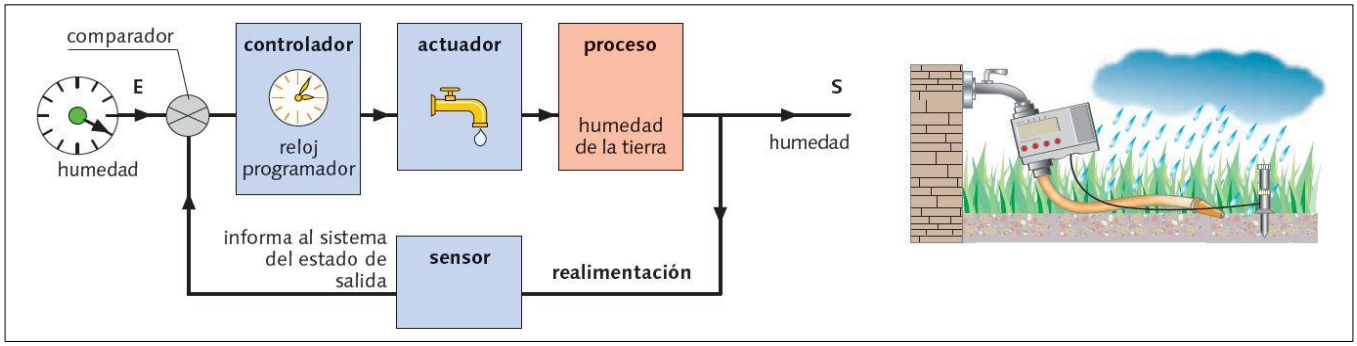


Fuente: Internet - Teoría de control.

Se utilizan sistemas de control en lazo abierto, por ejemplo, en una tostadora de pan, un reloj, un semáforo, etcétera.

Para solucionar el problema anterior se debe diseñar un sistema cuyo funcionamiento dependa de la salida en cada momento, es decir, un sistema que mida continuamente el grado de humedad de la planta y ponga en marcha el riego solo cuando sea necesario. En estos casos, se dice que existe una realimentación de la salida a la entrada:

Ilustración 40.- Lazo Cerrado.



Fuente: Internet - Teoría de control.

Cuando la salida se compara con la entrada con el fin de corregir posibles errores debidos a perturbaciones que afecten al sistema, se habla de un sistema de control en lazo cerrado.

Otros sistemas de control en lazo cerrado son el mecanismo de llenado de una cisterna de agua, los sistemas automáticos de iluminación, etcétera. (8)

2.7.4 Aplicaciones actuales del control

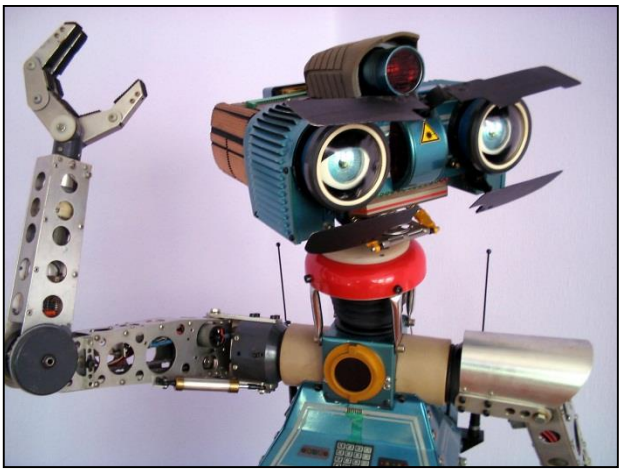
Ilustración 41.- Grandes estructuras espaciales.



Fuente: Internet - Teoría de control.

- **Grandes estructuras espaciales**. Es frecuente escuchar que el despliegue de una antena o telescopio en el espacio ha ocasionado algunos problemas técnicos, algunos de ellos sumamente costosos o incluso que han inutilizado completamente la estructura. Estos despliegues y acoplamientos de componentes deben basarse en el control. (8)

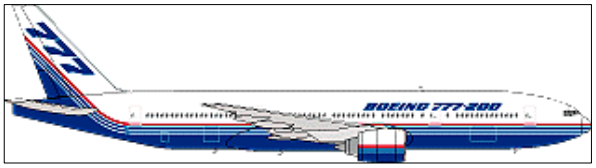
Ilustración 42.- Robótica.



Fuente: Internet - Teoría de control.

- **Robótica.** Existe la importancia de desarrollar métodos eficientes de visión artificial, por ejemplo. Pero la Teoría del Control está también en el centro de gravedad en este campo. El desarrollo de la robótica depende de manera fundamental de la eficiencia y robustez de los algoritmos computacionales para el control de los robots. No resulta difícil imaginar la complejidad del proceso de control que hace que un robot camine y que lo haga de manera estable o sea capaz de coger con sus "manos" un objeto. (8)

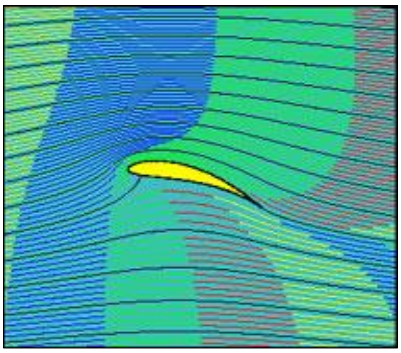
Ilustración 43.- Control de la combustión.



Fuente: Internet - Teoría de control.

- **Control de la combustión.** Se trata de un tema relevante en la industria aeronáutica y aeroespacial en las que se hace imprescindible controlar las inestabilidades en la combustión que, normalmente, viene acompañada de perturbaciones acústicas considerables. En el pasado se ha realizado el énfasis en los aspectos del diseño, modificando la geometría del sistema para interferir la interacción, combustión-acústica o incorporando elementos disipativos. El control activo de la combustión mediante mecanismos térmicos o acústicos, es un tema en el que casi todo está por explorar. (8)

Ilustración 44.- Control de Fluidos.



Fuente: Internet - Teoría de control.

- **Control de Fluidos**. Se trata de un problema con mucha importancia en aeronáutica puesto que la dinámica estructural del avión (en sus alas, por ejemplo) está acoplada con el flujo del aire en su entorno. Aunque en los aviones convencionales se puede en gran medida ignorar este acoplamiento, es probable que los aviones del futuro tengan que incorporar mecanismos de control para evitar la aparición de turbulencias en torno a las alas. Desde un punto de vista matemático casi todo está por hacer, tanto en lo que respecta a la modelización, el control de los aspectos computacionales. (8)

Ilustración 45.- Control de Plasma.



Fuente: Internet - Teoría de control.

- **Control de Plasma**. La obtención de reacciones de fusión controladas es uno de los mayores retos para resolver los problemas energéticos del planeta. En la actualidad, una de las vías más prometedoras es el de los tokomaks: máquinas en las que se confina el plasma mediante mecanismos electromagnéticos. El problema fundamental es mantener el plasma, de muy alta densidad, a una temperatura muy alta en la configuración deseada durante intervalos de tiempo prolongados a pesar de sus inestabilidades. Esto se realiza a través de sensores mediante los cuales se obtiene la información necesaria para efectuar cambios rápidos y precisos de las corrientes que han de compensar las perturbaciones del plasma. (8)

Ilustración 46.- Control de Economía.



Fuente: Internet - Teoría de control.

- **Economía**. Las Matemáticas están jugando hoy en día un papel activo en el mundo de las finanzas. En efecto, la utilización de modelos matemáticos para predecir las fluctuaciones de los mercados financieros es algo común (mucha gente sueña con predecir los movimientos en Bolsa y poder volverse un “poco” rico). Se trata frecuentemente de modelos estocásticos en los que la Teoría del Control ya existente puede ser de gran utilidad a la hora de diseñar estrategias óptimas de inversión y consumo. (8)

2.8 ¿Qué estudia la Mecánica Teórica?

La Mecánica, en el sentido general de la palabra, es una ciencia dedicada a resolver todos los problemas relacionados con el estudio del movimiento o del equilibrio de los cuerpos materiales y de las interacciones que se manifiestan entre los cuerpos durante este proceso.

La Mecánica Teórica es una rama de la mecánica, en ella se estudian las leyes generales del movimiento y de la interacción de los cuerpos materiales, es decir, las leyes que son válidas tanto para el giro de la Tierra alrededor del Sol, como para el vuelo de un cohete o de un proyectil, etc.

Otra rama de la mecánica estudia las diferentes disciplinas técnicas, comunes y especiales, dedicadas al diseño y al cálculo de distintas construcciones concretas, motores, mecanismos y maquinas o de sus elementos (piezas). Todas estas disciplinas técnicas se basan en las leyes y en los procedimientos (métodos) de la Mecánica Teórica.

En Mecánica, bajo el concepto de movimiento se sobreentiende el movimiento mecánica, es decir, un cambio de la disposición reciproca de los cuerpos en el espacio, que tiene lugar en el transcurso del tiempo.

La interacción mecánica es una interacción tal que tiene por resultado la variación del movimiento de estos cuerpos o que modifica su forma (deformación).

La magnitud que expresa la medida cuantitativa de la interacción mecánica de los cuerpos se llama, en

Mecánica, fuerza. La misión principal de la Mecánica Teórica es el estudio de las leyes generales del movimiento y del equilibrio de los cuerpos materiales sometidos a la acción de las fuerzas que les son aplicadas.

Dependiendo de la índole de los problemas que se examinan, la mecánica se divide en Estática, Cinemática y Dinámica.

En la Estática se exponen las nociones de las fuerzas y de las condiciones del equilibrio de los cuerpos materiales sometidos a la acción de dichas fuerzas.

En la Cinemática se estudian las propiedades geométricas generales del movimiento de los cuerpos.

Por fin, en la Dinámica se examinan las leyes del movimiento de los cuerpos materiales sometidos la acción de las fuerzas. (5)

2.9 Centro de masas

El centro de masas de un sistema discreto o continuo es el punto geométrico que dinámicamente se comporta como si en él estuviera aplicada la resultante de las fuerzas externas al sistema. De manera análoga, se puede decir que el sistema formado por toda una masa concentrada en el centro de masas es un sistema equivalente al original. Normalmente se abrevia como c.m.

En un tratamiento de sistemas de masas puntuales el centro de masas es el punto donde, a efectos inerciales, se supone concentrada toda la masa del sistema. El concepto se utiliza para análisis físicos en los que no es indispensable considerar la distribución de masa.

En la física, el centroide, el centro de gravedad y el centro de masas pueden, bajo ciertas circunstancias, coincidir entre sí. En estos casos se suele utilizar los términos de manera intercambiable, aunque designan conceptos diferentes. El centroide es un concepto puramente geométrico que depende de la forma del sistema, el centro de masas depende de la distribución de materia, mientras que el centro de gravedad depende también del campo gravitatorio. Así tendremos que:

- El centro de masas coincide con el centroide cuando la densidad es uniforme o cuando la distribución de materia en el sistema tiene ciertas propiedades, tales como simetría.
- El centro de masas coincide con el centro de gravedad, cuando el sistema se encuentra en un campo gravitatorio uniforme (el módulo y la dirección de la fuerza de gravedad son constantes). (9)

III.- MARCO PRÁCTICO

3.1 Recopilación de datos

La información obtenida para la realización de este proyecto de grado bien directamente de la comunidad de PACOLLO.

Fuentes primarias:

- Los comunarios de PACOLLO nos informa que para bajar sus jabas de frutas tienen muchas complicaciones por que la pendiente les obliga a bajar con calma para poder llegar al final sin pasar por ningún problema, las pendientes del lugar se encuentran entre los 30° a 45° en la mayor parte del lugar, tomando en cuenta que existe lugares planos pero son escasos en la ladera que se encuentra la comunidad de PACOLLO.
- Los comunarios nos dicen que la carga que suelen llevar tiene un peso máximo de 200Kg que es considerado para ellos una jaba grande de mandarinas.
- La plancha de la carretilla no es del tamaño adecuado de la jaba de frutas lo cual ocasiona que esta sobre salida de la plancha que tiene, y que para sostenerla se necesita amarrarla con cuerdas.
- Existe también bastante humedad y lluvias que hacen que el terreno se vuelva resbaloso y eso les ocasiona caídas y resbalones llegando a tal punto que tuvieron que cambiar las llantas de sus carretillas para poder transportar sus jabas con mas facilidad.

Fuentes Secundarias:

- Para la formulación de la investigación a realizarse se toma en cuenta los conceptos generales de cinemática, dinámica de movimientos, etc.

- Libro consultado para la mayor parte del desarrollo del prototipo, es el de **FUNDAMENTOS DE ROBÓTICA DE ANTONIO BARRIENTOS.** (10)
- Entre muchos libros de física y dinámica.

3.2 Análisis preliminar del proyecto

Para alcanzar el objetivo de diseñar y desarrollar un prototipo de sistema de medio de transporte de frutas, debemos poder realizar el modelo cinemático y dinámico para su análisis correspondiente.

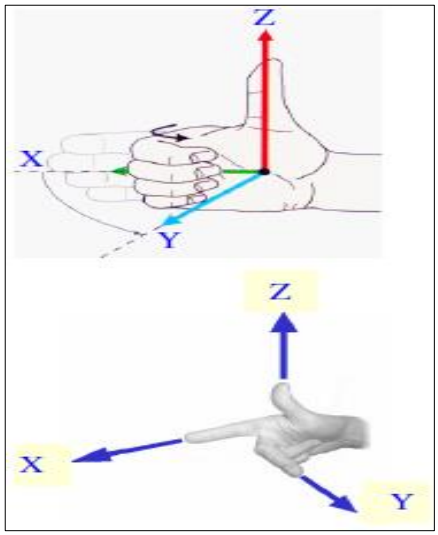
Para realizar la cinemática directa de nuestra carretilla debemos aplicar los pasos de robótica para poder realizar la simulación correspondiente junto con su cinemática y dinámica.

3.2.1. Algoritmo de Denavit- Hartenberg para el análisis de la morfología del robot

- **D-H1:** Numerar los eslabones de 0 a N. El eslabón 0 será la base fija del robot.
- **D-H2:** Numerar las articulaciones de 1 a N.
- **D-H3:** Determinar cuáles son los ejes de cada articulación, de giro o traslación. (10)

3.2.2. Algoritmo de Denavit- Hartenberg para situar los sistemas de coordenadas

Ilustración 47.- Dextrógiro.



Fuente: Sistema dextrógiro – Fundamentos de Robótica.

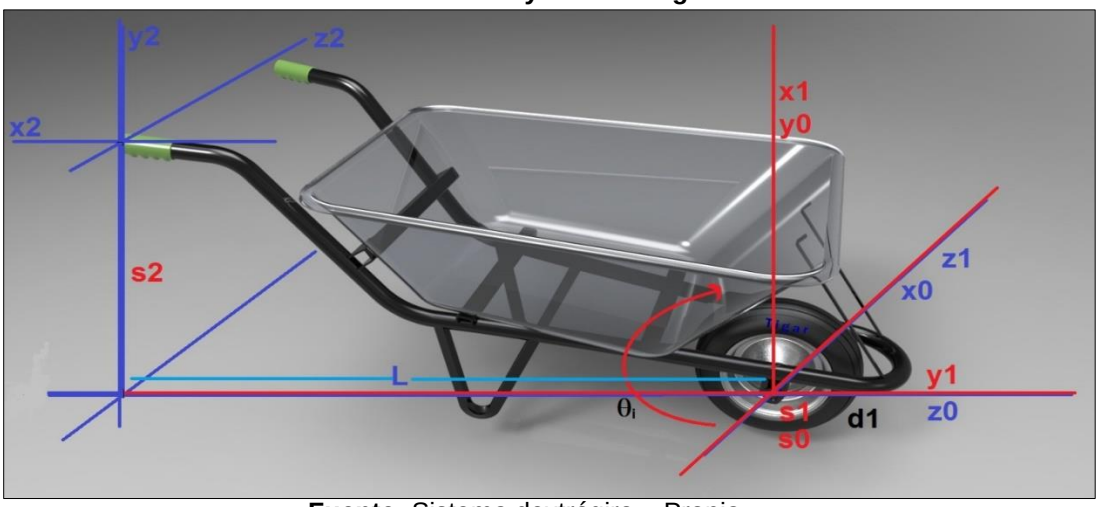
- **D-H4:** De 0 a N-1 situar el eje Z_i sobre el eje de la articulación i+1.
- **D-H5:** situar el origen del sistema de la base S_0 en cualquier punto del eje Z_0. Elegir X_0 y Y_0 de modo que formen un sistema dextrógiro con Z_0.
- **D-H6:** De 1 a N-1 situar el sistema de S_i en la intersección de Z_i con la línea normal común a Z_{i-1} y Z_i. Si fuesen paralelos (S_i) se situaría en la articulación i+1.
- **D-H7:** Situar X_i en la línea normal común a Z_{i-1} y Z_i.

- **D-H8:** Situar Y_i para completar el sistema dextrógiro con X_i y Z_i.
- **D-H9:** Situar el sistema S_n en el extremo del robot, con Z_n paralelo a Z_{n-1} y X_n normal a Z_{n-1} y Z_n. (10)

3.2.3. Algoritmo de Denavit- Hartenberg para Obtener los parámetros de D-H

- θ_i**:** El giro en torno a Z_{i+1} para que X_{i-1} y X_i queden paralelos.
- $\mathbf{d_i}$**:** El desplazamiento a lo largo de Z_{i-1} para que X_{i-1} y X_i queden alineados.
- $\mathbf{a_i}$**:** El desplazamiento a lo largo de X_i para que coincidan los orígenes de S_{i-1} y S_i.
- α_i**:** El giro en torno a X_i para que coincidan los sistemas S_{i-1} y S_i. (10)

Ilustración 48.- Denavit y Hartenberg en la Carrtilla.



Fuente: Sistema dextrógiro – Propia.

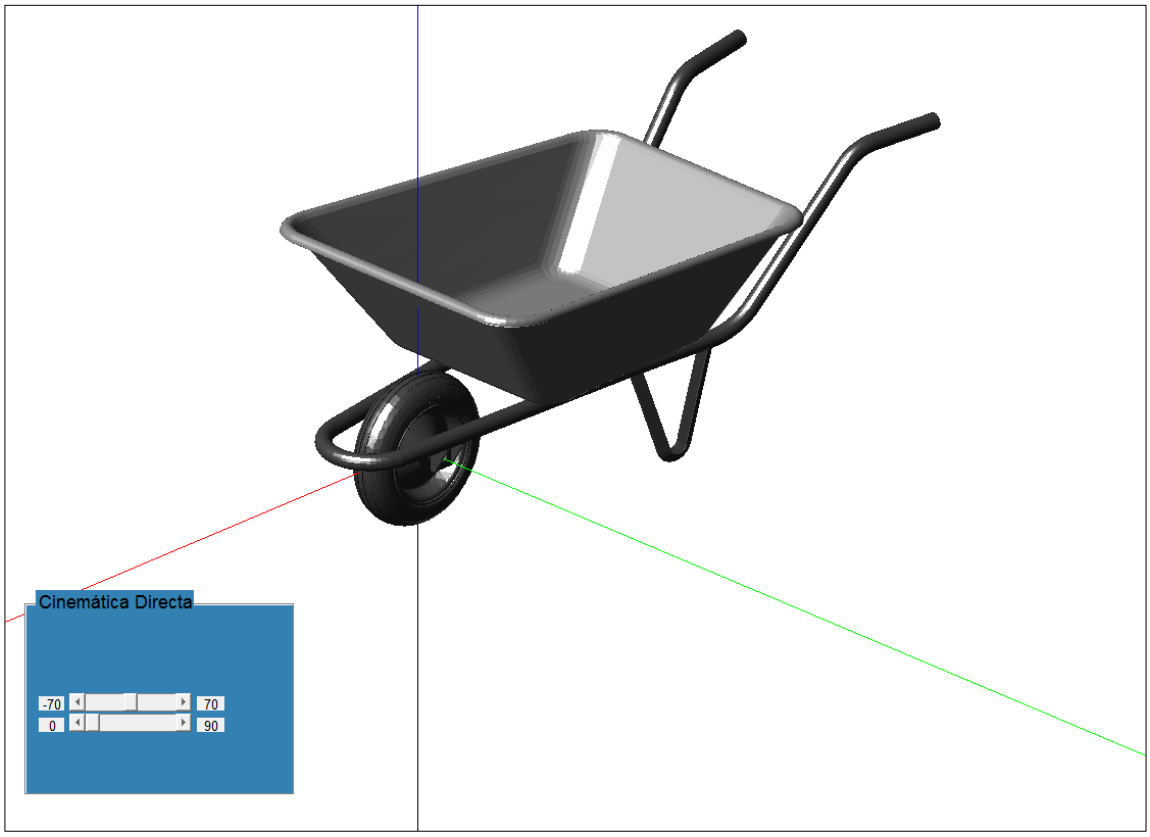
Ilustración 49.- Parámetros de D-H.

	Gz	Tz	Tx	Gx
i	θ_i	$\mathbf{d_i}$	$\mathbf{a_i}$	α_i
1	90°	d	0	90
2	-90°	0	L	0

Fuente: Propia.

3.3 Solución Propuesta

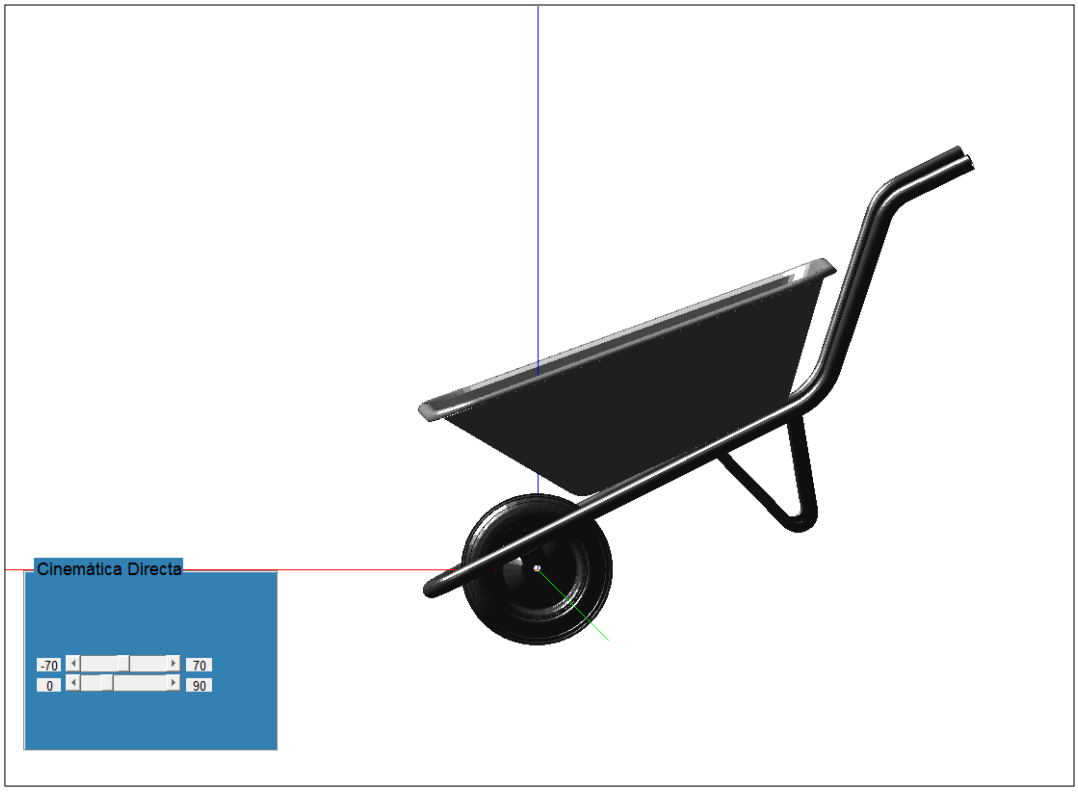
Ilustración 50.- Cinemática de la carretilla 1.



Fuente: Software de simulación.

En esta simulación se puede ver cómo funciona la cinemática de la carretilla, la cual nos dice que su programación es la correcta al moverse de manera adecuada.

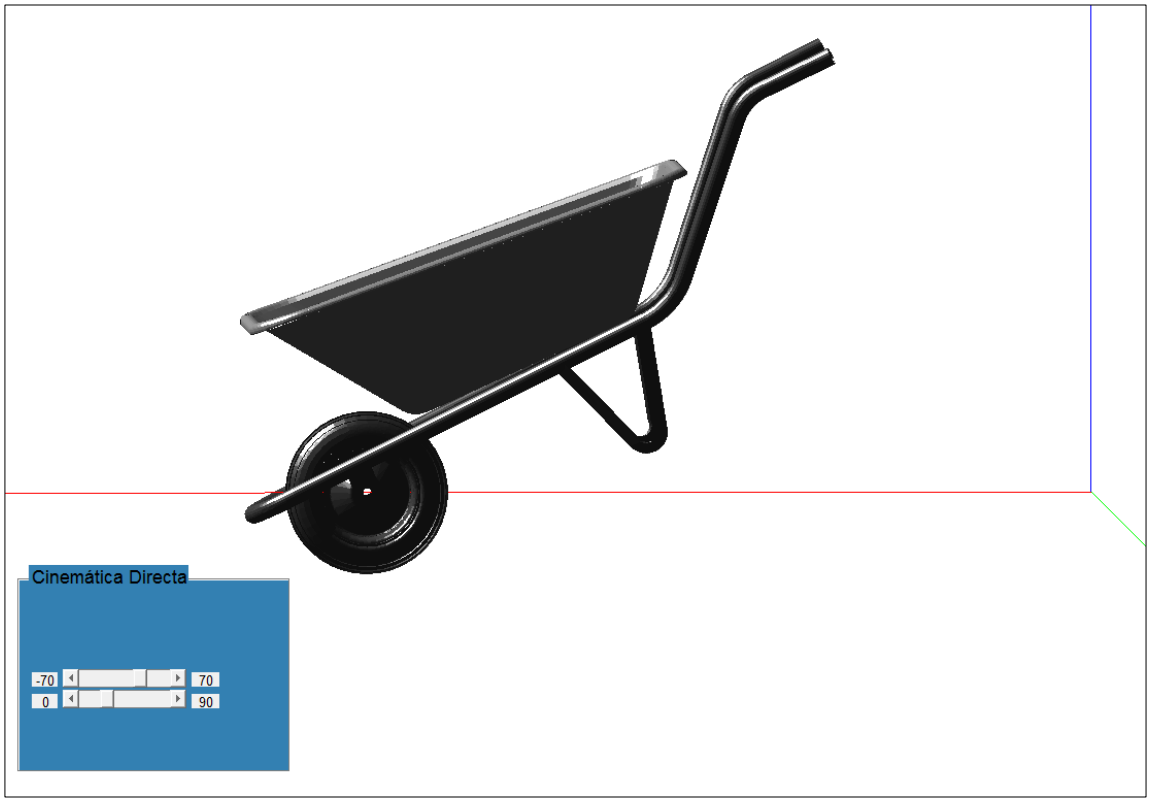
Ilustración 51.- Cinemática de la carretilla 2.



Fuente: Software de simulación.

Se logra apreciar los movimientos de torque de la carretilla, cada uno de estos movimientos que está realizando la carretilla fueron analizados y programados para su buen funcionamiento, para que el momento de su presentación final como producto precompetitivo tenga la mayor capacidad real que el mismo de la simulación.

Ilustración 52.- Cinemática de la carretilla 3.



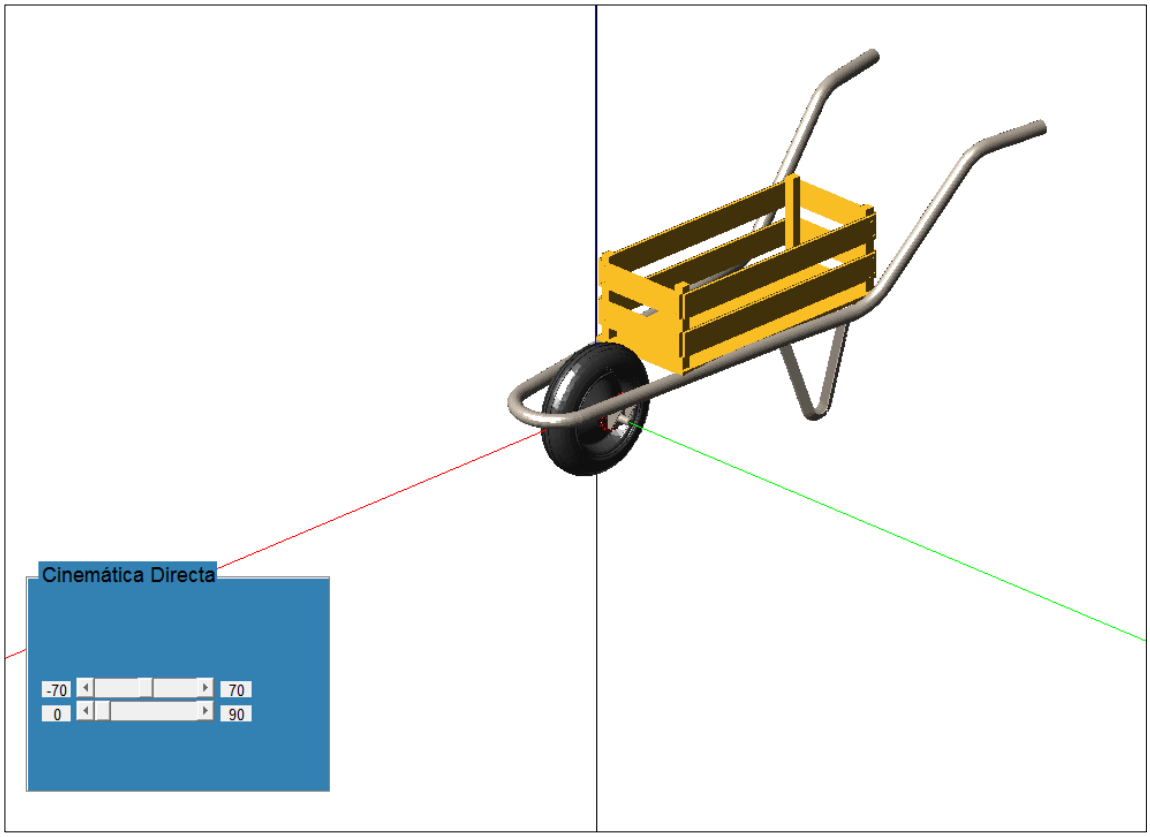
Fuente: Software de simulación.

En la imagen vista se logra ver la traslación de la carretilla con el torque aplicado.

La simulación nos sirve para ver el funcionamiento de la carretilla sin que esté presente la misma.

Después de ver el funcionamiento de una carretilla convencional se empieza a definir el diseño que tiene que agarrar nuestro proyecto, así que para que cumpla con nuestros requerimientos de la comunidad de llevar la jaba de frutas, se piensa cambiar el diseño de la plancha de la carretilla por una que puede albergar la caja de mandarinas o jaba, y que tenga los retenes adecuados en los que se puede amarrar la jaba de frutas.

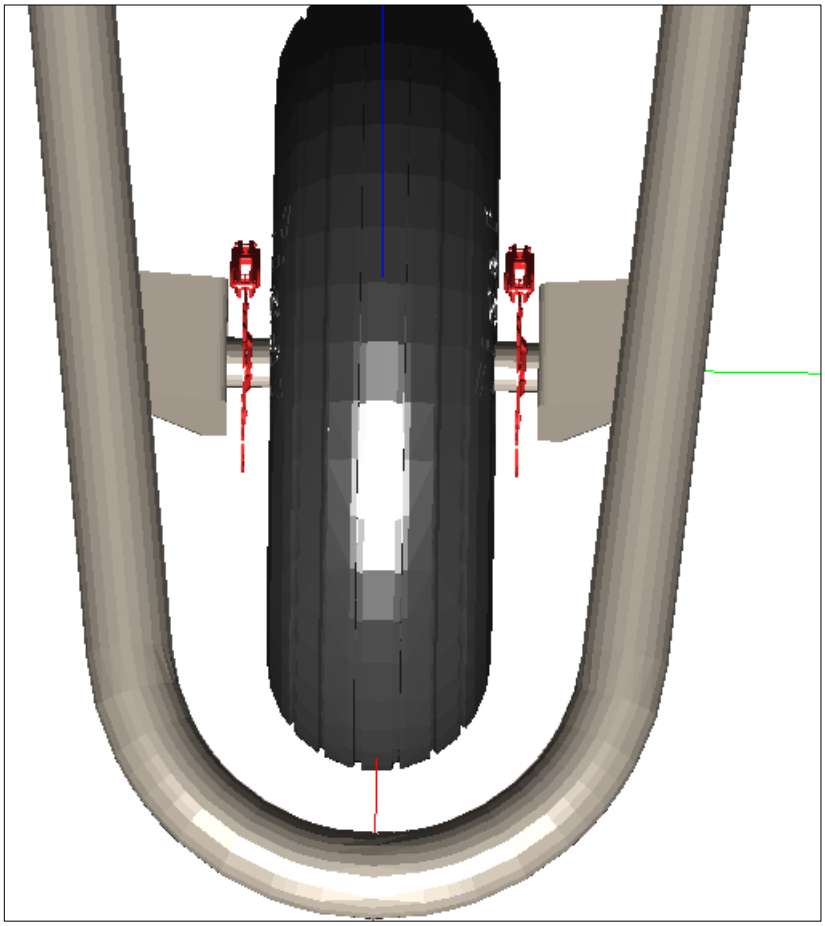
Ilustración 53.- Cinemática de la carretilla 4.



Fuente: Software de simulación.

Por los consiguiente en nuestro diseño propuesto esta la carretilla con una modificación en la plancha para que puede albergar la jaba de frutas.

Ilustración 54.- Cinemática de la carretilla 5.



Fuente: Software de simulación.

Al diseño se le incluye un par de frenos a disco de bicicleta los cuales servirán para este proyecto y cubrirán la necesidad de reducción de velocidad al momento de bajar por la ladera de la comunidad de PACOLLO.

Sobre estos mismos frenos realizaremos un control PID de lazo cerrado con el humano como interfaz para poder cumplir con el control adecuado de velocidad.

Como solución se plantea un Control PID de la aceleración de la carretilla en las pendientes de la comunidad de PACOLLO

```
%% Sistema de control de la Aceleración de la Carretilla.
%% Valores de entrada
```

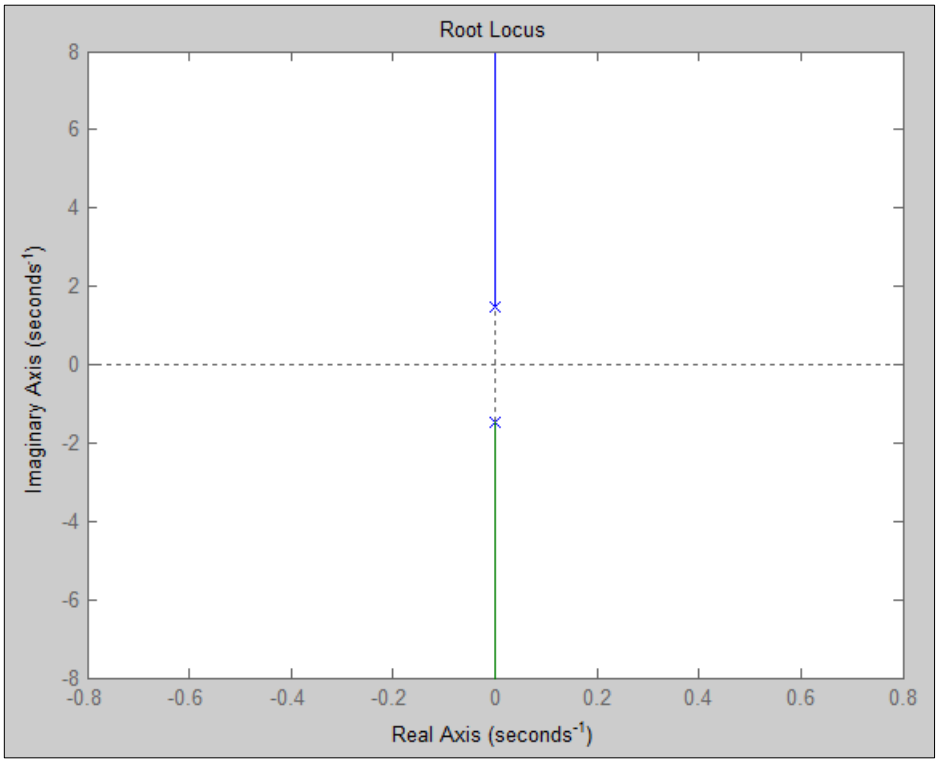
```
%alpha puede tomar los valores de 10 a 30 grados.
alpha=15;
%theta puede tomar los valores de 0, 35 a 45 grados.
theta=35;

%% Funcion de transferencia

As=tf(-1 , [6.54*sin(theta) 0 0.03237*sin(alpha+theta)])

%% Diseño del control Feedback
rlocusplot(As)
```

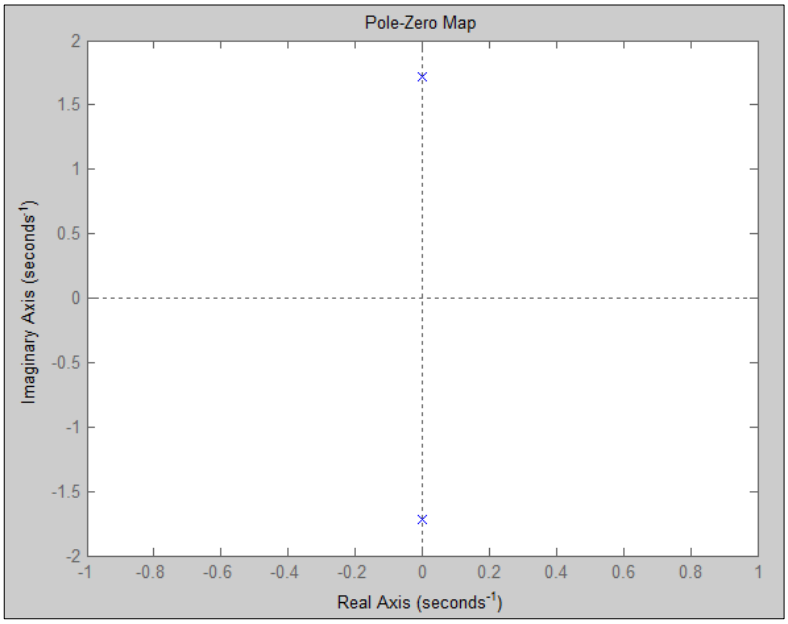
Ilustración 55.- Control de la Aceleración 1.



Fuente: Software de simulación.

```
%% Control
Kp=1;
% K=50 se sale el overshot al 100% y existe mucha
oscilación en el control así que lo mantenemos en 1.
sysct=feedback(Kp*As,1);
pzmap(sysct)
```

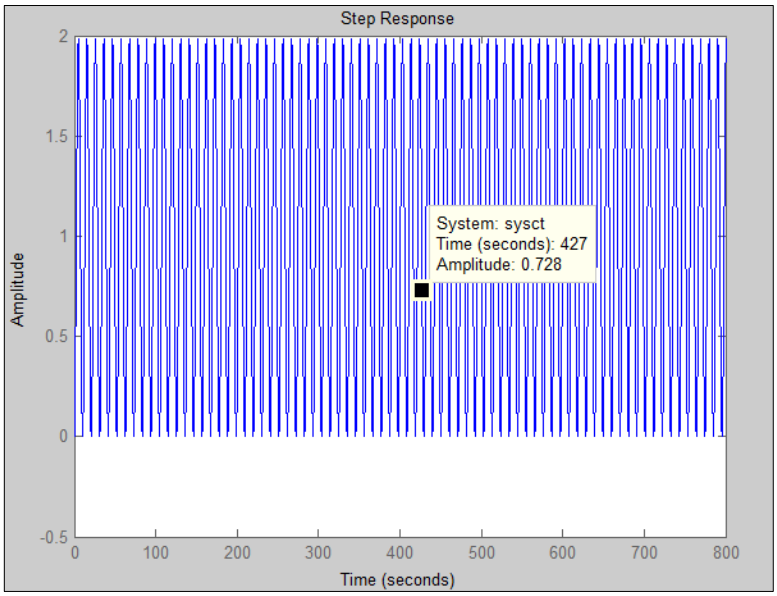
Ilustración 56.- Control de la Aceleración 2.



Fuente: Software de simulación.

```
%% Vemos como esta el control.
stepplot(sysct)
```

Ilustración 57.- Control de la Aceleración 3.

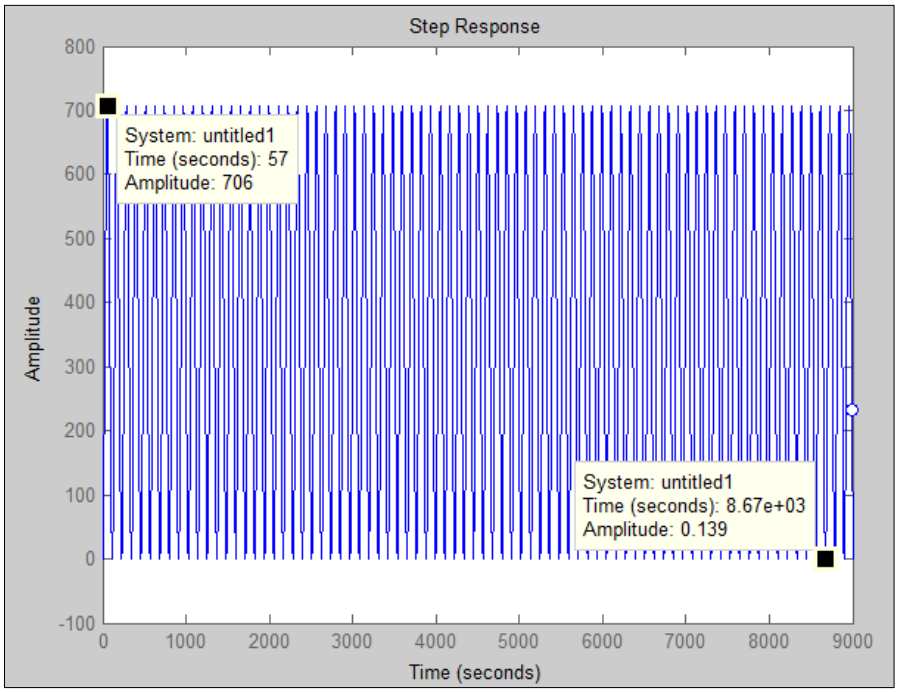


Fuente: Software de simulación.

```
%% Nuevo control.

Kp=1;
Ki=1;
Kd=1;
Gpro=tf([Kp],[1]); %Proporcional
Gdif=tf([Kd],[1]); %Diferencial
Ginte=tf([Ki],[1]);%Integral
Gc1=Gpro+Gdif+Ginte;
rlocusplot(Gc1*As)
stepplot (Gc1*As)
```

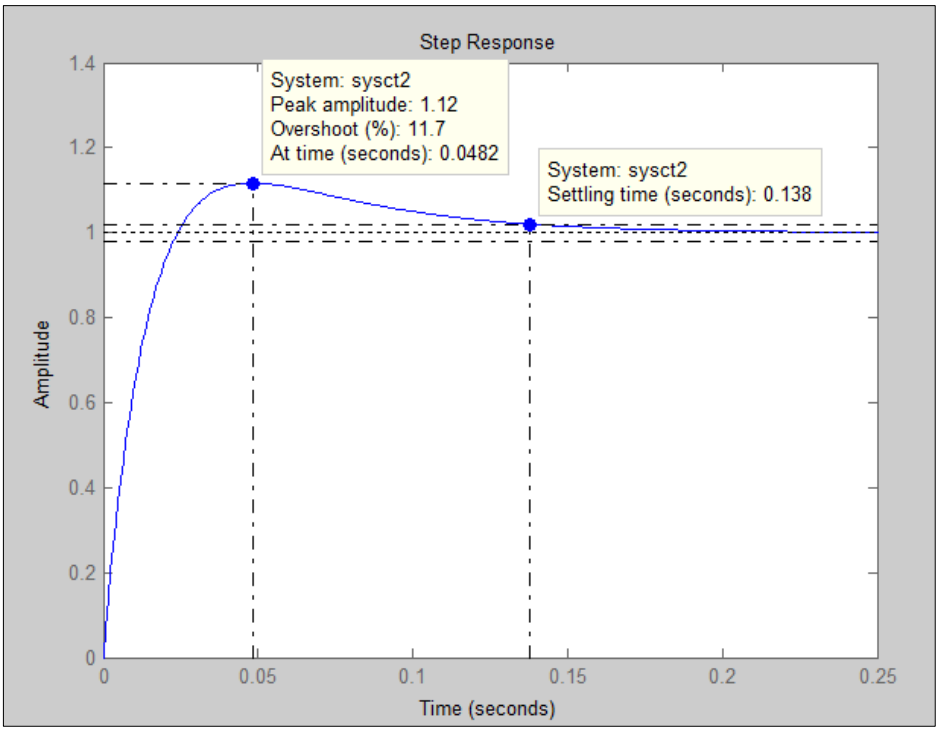
Ilustración 58.- Control de la Aceleración 4.



Fuente: Software de simulación.

```
%% Construccion del lazo Cerrado.
Kp=4500;
Ki=0;
Kd=250;
Gpro=tf([Kp],[1]); %Proporcional
Gdif=tf([Kd 0],[1]); %Diferencial
Ginte=tf([Ki],[1 0]);%Integral
Gc1=Gpro+Gdif+Ginte;
sysct2=feedback(Gc1*As,1);
stepplot(sysct2)
```

Ilustración 59.- Control de la Aceleración 5.



Fuente: Software de simulación.

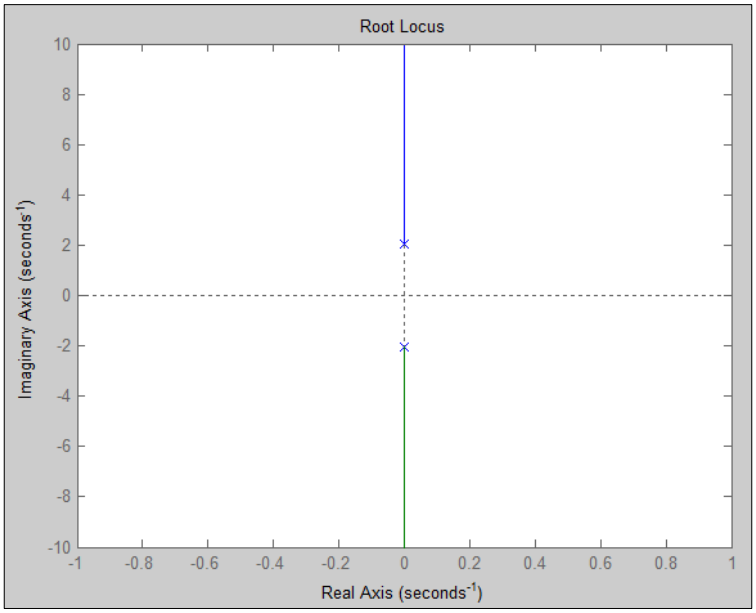
Se aprecia que con el cálculo realizado de aceleración de centro de masa, el control PID se encuentra estabilizado.

```
%%Sistema de control del Torque de la carretilla.
%% Valores de entrada
% m, es la masa total de la carretilla.
m=202;
g=9.81;
%theta puede tomar los valores de 0, 35 a 45 grados.
theta=35;
%% Funcion de transferencia para el torque de la
carretilla.

Ht=tf(1 , [m 0 -m*g*sin(theta)])

%% Diseño del Control Feedback
rlocusplot(Ht)
```

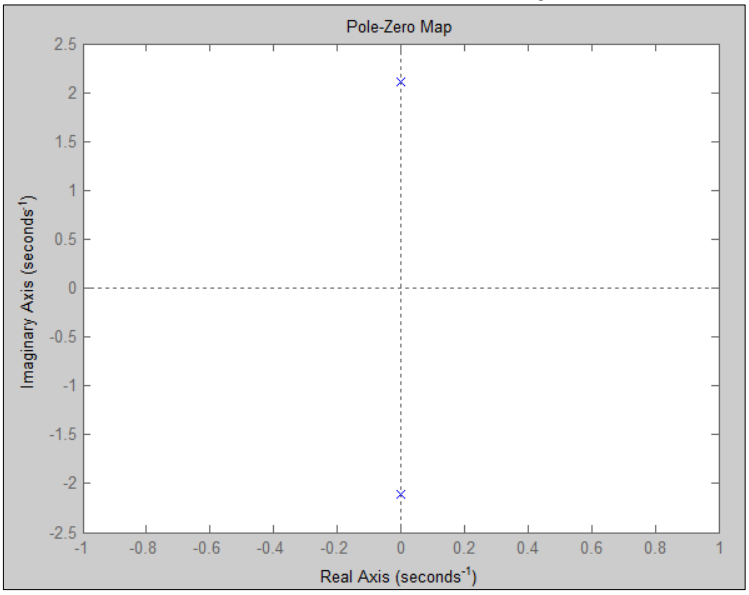
Ilustración 60.- Control del Torque 1.



Fuente: Software de simulación.

```
%% Control
Kp=50;% K=50 se sale el overshot al 100% y existe mucha
osilacion.
sysct=feedback(Kp*Ht,1);
pzmap(sysct)
```

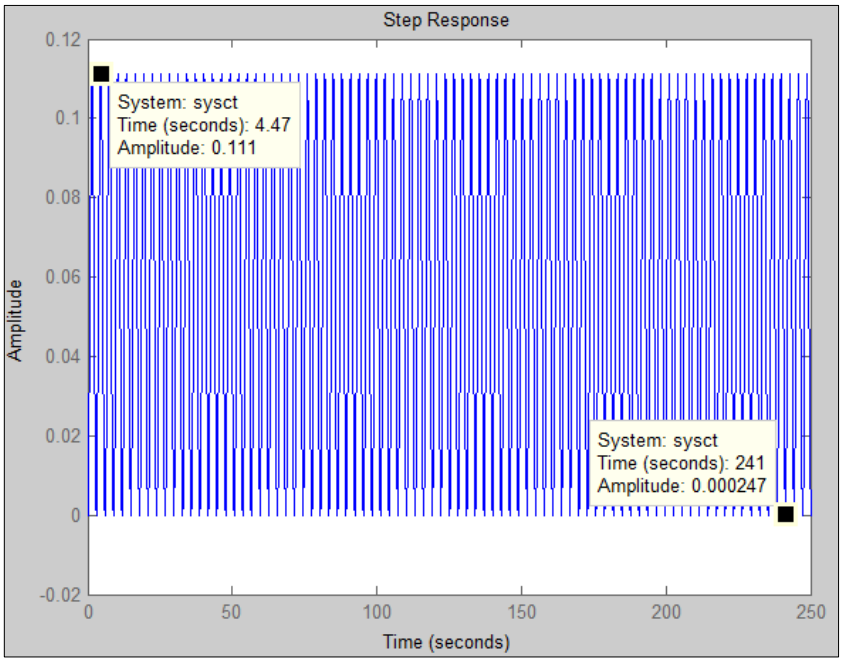
Ilustración 61.- Control del Torque 2.



Fuente: Software de simulación.

```
%% Vemos como esta el control
stepplot(sysct)
```

Ilustración 62.- Control del Torque 3.



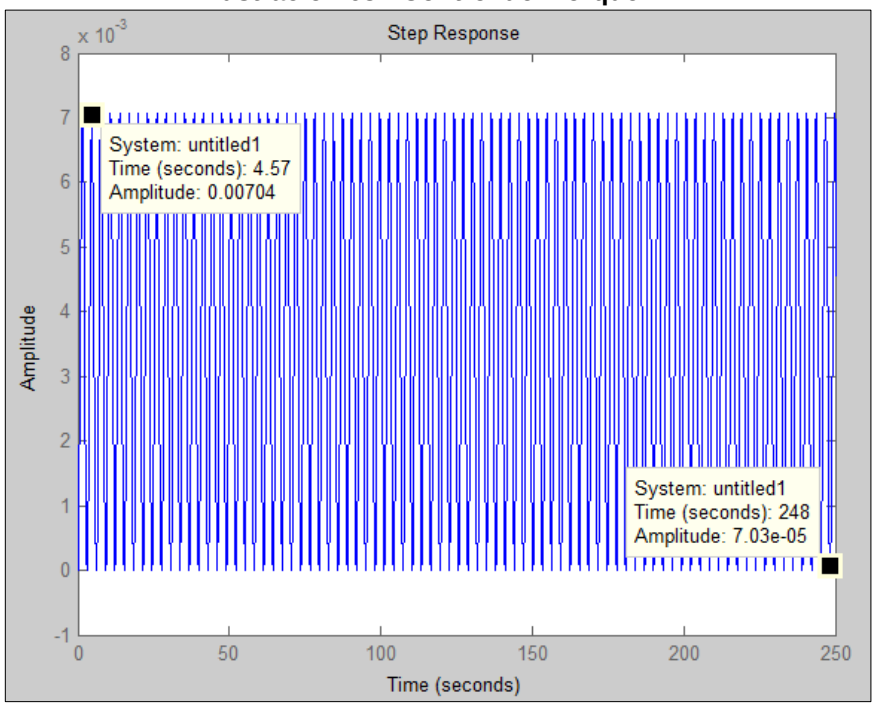
Fuente: Software de simulación.

```
%% Nuevo control

Kp=1;
Ki=1;
Kd=1;
Gpro=tf([Kp],[1]); %Proporcional
Gdif=tf([Kd],[1]); %Diferencial
Ginte=tf([Ki],[1]);%Integral
Gc1=Gpro+Gdif+Ginte;

rlocusplot(Gc1*Ht)
stepplot (Gc1*Ht)
```

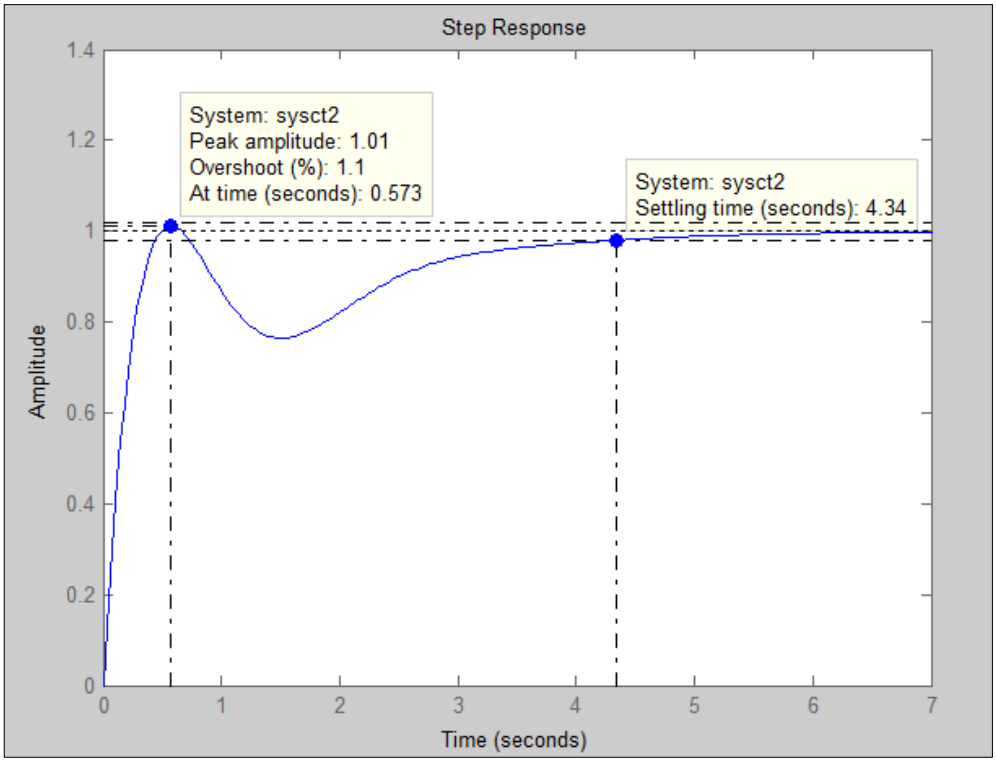
Ilustración 63.- Control del Torque 4.



Fuente: Software de simulación.

```
%% Construccion del lazo Cerrado
Kp=1550;
Ki=1500;
Kd=900;
Gpro=tf([Kp],[1]); %Proporcional
Gdif=tf([Kd 0],[1]); %Diferencial
Ginte=tf([Ki],[1 0]);%Integral
Gc1=Gpro+Gdif+Ginte;
sysct2=feedback(Gc1*Ht,1);
stepplot(sysct2)
```

Ilustración 64.- Control del Torque 5.



Fuente: Software de simulación.

El control del torque se encuentra estabilizado en un tiempo de 4.34 segundos, esto debido a que no deja de ser un gran peso el que hay que levantar con la carretilla.

3.4 Implementación

La implementación se va realizar la primera semana del mes de Mayo del 2014, en el cual se entregara la carretilla diseñada por nosotros como producto pre competitivo a los comunarios de la comunidad de PACOLLO, junto a su manual de usuario y el debido control PID aplicado para controlar la aceleración de la carretilla.

Esta implementación ya cuenta con la carretilla terminada y en fase de producto precompetitivo el cual servirá para cumplir con el objetivo de llevar la jaba de frutas de las laderas de la comunidad de PACOLLO.

Ilustración 65.- Diseño 1.



Fuente: Propia**.**

Ilustración 66.- Diseño 2.



Fuente: Propia**.**

Ilustración 67.- Diseño 3.



Fuente: Propia**.**

Ilustración 68.- Diseño 4.



Fuente: Propia**.**

Ilustración 69.- Diseño 5.



Fuente: Propia**.**

Ilustración 70.- Diseño 6.



Fuente: Propia**.**

Ilustración 71.- Diseño 7.



Fuente: Propia**.**

Ilustración 72.- Diseño 8.



Fuente: Propia**.**

Ilustración 73.- Diseño 9.



Fuente: Propia**.**

Ilustración 74.- Diseño 10.



Fuente: Propia**.**

Ilustración 75.- Diseño 11.



Fuente: Propia**.**

En las imágenes anteriores se puede apreciar el primer diseño que tiene nuestra carretilla.

El mismo es de agrado de la comunidad de PACOLLO y por requerimientos de la comunidad se realizaron modificaciones de acuerdo a los pedidos de los comunarios para poder mejorar el sistema.

Ilustración 76.- Diseño2-1.



Fuente: Propia**.**

Ilustración 77.- Diseño2-2.



Fuente: Propia**.**

Ilustración 78.- Diseño2-3.



Fuente: Propia**.**

Ilustración 79.- Diseño2-4.



Fuente: Propia**.**

Ilustración 80.- Diseño2-5.



Fuente: Propia**.**

Ilustración 81.- Diseño2-6.



Fuente: Propia**.**

Ilustración 82.- Diseño2-7.



Fuente: Propia**.**

Este segundo diseño es nuestro producto precompetitivo, el cual cumple con cada requerimiento de los comunarios de PACOLLO y este mismo es de bastante agrado para la comunidad.

IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

En respuesta a las necesidades de la comunidad de PACOLLO se puede concluir que los objetivos principales están cumplidos y que se puede seguir mejorando.

El aporte mecánico en la carretilla, al implementar dos frenos a disco y su estudio de funcionamiento de los mismos aplicando la teoría de sistemas de control para poder controlarlos.

Se definió la estructura del sistema de acuerdo a la simulación y a los requerimientos de los comunarios de PACOLLO.

Se llega a demostrar el medio de transporte que es nuestra carretilla con frenos a disco es una herramienta útil.

4.2 Recomendaciones

Se puede trabajar con el manejo de distintos puntos de vista para dar una solución más compleja, siendo soluciones electrónicas con sensores, lo cual implica mayor costo, para este proyecto se utilizó al máximo la optimización de los costos al momento de implementar nuestra solución final para la comunidad.

Realizar el estudio de su utilidad en distintas áreas y zonas en las que se puede aplicar el mismo proyecto.

Verificar la factibilidad y aceptabilidad del mercado para poder producirlo a una escala mayor.

La construcción de nuestra carretilla puede llegar a tener un precio más bajo si tan solo contáramos con los equipos adecuado para su construcción, y si se comprara los materiales al por mayor se llegaría a reducir a un más el costo de construcción llegando hasta a un 20% menos.

Se recomienda que mediante la decanatura de ingeniería se presente el proyecto a las comunidades y al supremo gobierno como aporte de la investigación universitaria y apoyo al desarrollo frutícola.

V.- BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

1. **Elam, F. Lelan.** Carretilla Motorizada - Revista Mecánica Popular - Volumen 15 - Octubre 1954 - Número 4 . *Mi Mecánica Popular.* [En línea] Idea original de Mi Mecánica Popular por: Ricardo Cabrera Oettinghaus, 2010. http://www.mimecanicapopular.com/verherr.php?n=1020.

2. **Leirca, Ing. Eduardo Raffo.** Software de Simulación. *Industrial Data, Facultad de Ingeniería Industrial.* [En línea] 1997-2008. http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibVirtual/publicaciones/indata/v02_n1/software.htm.

3. **Ruiz, María del Carmen, Vivanco, Mónica y R., Leidy Reyes.** Ingenieria en Sistemas 2009 UNL. *Prototipos Informáticos.* [En línea] 2009. http://sistemas2009unl.wordpress.com/prototipos-informaticos/.

4. **Benito, Albert Gras Marti/ Azelea Gras V/ Julio V. Santos.** *Mecánica, Cinemática y Dinámica.* s.l. : UOC, 2011.

5. **Targ, S.M.** *Curso Breve de Mecanica Teorica.* s.l. : MIR MOSCÚ, 1976.

6. **P., Profesor Joaquín Romero.** El Principio de la Palanca. *Educación Tecnológica.* [En línea] http://www.educaciontecnologica.cl/palancas.htm.

7. **Profesor en Línea.** Palancas Concepto. [En línea] http://www.profesorenlinea.cl/fisica/PalancasConcepto.htm.

8. **Valenzuela, Irene y Kilian, Christopher.** Transformada de Laplace y Teoría de Control. *Modern Control Technology.* [En línea] 2005. http://www.dmae.upm.es/WebpersonalBartolo/VariableCompleja/VCParteI/11_Transformada_de_Laplace/Teoria%20de%20Control.ppt.

9. **Blas, Teresa Martín y Fernández, Ana Serrano.** Dinámica Centro de Masas. [En línea] http://acer.forestales.upm.es/basicas/udfisica/asignaturas/fisica/dinamsist/cdm.html.

10. **Hernandez Sampieri, Roberto Fernández Collado.** *Metodología de la Investigación.* México : Mc Graw Hill, 1997.

11. **Denavit, Richard Scheunemann y Denavit, Jacques.** *Kinematic Synthesis of linkages.* New York : Mc Graw Hill, 1965.

12. **Algoritmo de Denavit- Hartenberg para la obtención del modelo.** *Universidad de Guadalajara Materia Robótica.* [En línea] http://proton.ucting.udg.mx/materias/robotica/r166/r81/r81.htm.

13. Slopemowing. The ultimate in Remote Systems Vegetation Management on Steep Terrain. *Sistema de Gestión Remota de Vegetación en Terrenos Empinados.* [En línea] 2013. http://www.slopemowing.com.

14. Barrientos, Antonio. *Fundamentos de Robótica (2da ED.).* s.l. : Mc Graw Hill, 2007.

VI.- ANEXOS

a. Estudios de la aceleración y torque de la carretilla

Fr= Fuerza de rozamiento la levantar la carretilla (Al levantar la carretilla no existe fuerza de rozamiento por tanto $F(r)$= 0).

Fi= Fuerza inicial.

Fk= Fuerza de rozamiento rueda – suelo.

M1= 202Kg (Peso de la carretilla con la jaba de mandarinas).

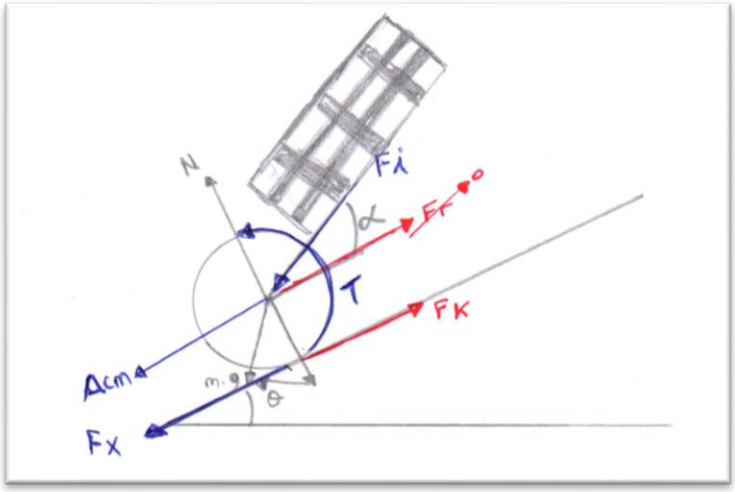
g= 9,81 m/s^2 (Gravedad).

Acm = Aceleración en el centro de masa de la rueda.

∝=15 (alpha puede tomar los valores de 10 a 30 grados).

θ =35 (theta puede tomar los valores de 0, 35 a 45 grados).

Ilustración 83.- Boceto de estudio.



Fuente: Propia**.**

Primero hallamos la Fuerza Inicial:

$$\sum F = M1 * Fi$$

$$M1 * g * sen \propto -f(r) = M1 * Fi$$

$$\cancel{M1} * g * sen (\propto +\theta) - 0 = \cancel{M1} * Fi$$

$$g * sen (\propto +\theta) = Fi$$

Segundo la fuerza de rozamiento rueda – suelo:

$$Fk = \frac{1}{2} * M1 * Acm$$

Luego sacamos las fuerzas ejercidas en X para poder tener nuestra formula final de la aceleración respecto a su centro de masa:

$$\sum Fx = M1 * Acm$$

$$Fx * Fk * Fi = M1 * Acm$$

$$M1 * g * sen(\theta) - \frac{1}{2} M1 * Acm + g * sen (\propto +\theta) = M1 * Acm$$

$$M1[g * sen(\theta) - \frac{1}{2} Acm + \frac{g}{M1} * sen (\propto +\theta)] = M1 * Acm$$

$$\cancel{M1}[g * sen(\theta) - \frac{1}{2} Acm + \frac{g}{M1} * sen (\propto +\theta)] = \cancel{M1} * Acm$$

$$g * sen(\theta) - \frac{1}{2} Acm + \frac{g}{M1} * sen (\propto +\theta) = Acm$$

$$g * sen(\theta) + \frac{g}{M1} * sen (\propto +\theta) = Acm + \frac{1}{2} Acm$$

$$g * sen(\theta) + \frac{g}{M1} * sen (\propto +\theta) = \frac{3}{2} Acm$$

$$9{,}81 * sen(\theta) + 0{,}04856 * sen (\propto +\theta) = \frac{3}{2} Acm$$

$$\frac{3}{2} * 9{,}81 * sen(\theta) + \frac{3}{2} * 0{,}04856 * sen\ (\propto + \theta) = Acm$$

$$6{,}54 * sen(\theta) + 0{,}03237 * sen\ (\propto + \theta) = Acm$$

Seguimos con la obtención de la función de transferencia respecto a la formula obtenida de la aceleración del centro de masa de la carretilla:

$$6{,}54 * sen(\theta)s^2\Phi(s) + 0{,}03237 * sen\ (\propto + \theta)\Phi(s) = Acm(s)$$

$$\Phi(s)[6{,}54 * sen(\theta)s^2 + 0{,}03237 * sen\ (\propto + \theta)] = Acm(s)$$

$$\frac{\Phi(s)}{Acm(s)} = \frac{1}{6{,}54 * sen(\theta)s^2 + 0{,}03237 * sen\ (\propto + \theta)}$$

Seguimos con la fórmula de la fuerza de torque para levantar la carretilla:

m= 202Kg (Peso de la carretilla con la jaba de mandarinas).

g= 9,81 m/s^2 (Gravedad).

∝=15 (alpha puede tomar los valores de 10 a 30 grados).

θ =35 (theta puede tomar los valores de 0, 35 a 45 grados).

T= Fuerza de Torque aplicada al levantar la carretilla.

$$m - mg * sen(\propto + \theta) = T$$

Obtenemos la función de transferencia del torque de la carretilla:

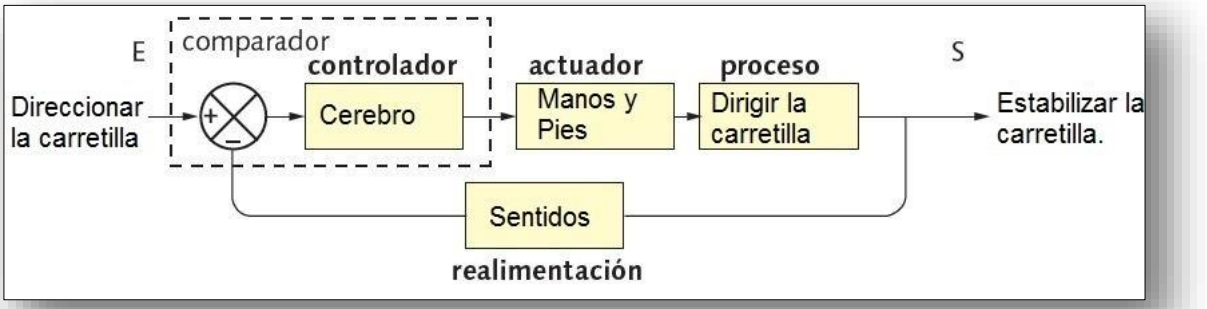
$$ms^2\Phi(s) - mg * sen(\propto + \theta)\Phi(s) = T(s)$$

$$\Phi(s)[ms^2 - mg * sen(\propto + \theta)] = T(s)$$

$$\frac{\Phi(s)}{T(s)} = \frac{1}{ms^2 - mg * sen(\propto + \theta)}$$

Concepto final de la función de transferencia aplicada a nuestra carretilla.

Ilustración 84.- Concepto de función de transferencia.



Fuente: Propia**.**

b. Manual de Usuario

Ilustración 85.- Producto Pre competitivo.



Fuente: Propia**.**

Especificaciones técnicas:

- Altura: 38 cm.
- Largo: 1,8 metros.
- Ancho: 50 cm.
- Peso: 10,1 kg.
- Costo: Bs. 550.

1.- Se recomienda solo llevar una Jaba de fruta (en todo caso no pasar los 200Kg. de peso).

2.- Las pastillas de los frenos a disco, se deben cambiar con regularidad cada mes (o cuando se lo requiera de acuerdo al uso dado).

3.- Aceitar los rodamientos de la llanta de la carretilla con frecuencia para tener un buen funcionamiento (se recomiendo aceitar una vez al mes).

4.- Tomar en cuenta la pintura anticorrosiva que lleva puesta cambiarla una vez al año para mantener la estructura en buen estado y evitar que la humedad la oxide.

5.- Amarrar de la manera apropiada la jaba de frutas con una cuerda y pasar la cuerda por las argollas de la carretilla.

c. Manual de Construcción

Ilustración 86.- Construcción 1.



Fuente: Propia**.**

Materiales:

1. Un tubo de acero negro de 2,5 mm. de espesor, 11 cm. de diámetro y 3,50 metros para poder hacer la estructura de forma rígida y resistente.
2. Fierro angular 3 metros para el apoyo de la plancha de la carretilla.
3. Una llanta marca “Original Minero” de alto 38 cm. y superficie de 12 cm. de alto tráfico y con rodamientos.
4. Un fierro macizo de 26 cm. de largo y 9cm de diámetro para soporte de la llanta.
5. Dos frenos a disco manual de bicicleta marca BOLT con sus agarradores de mano.
6. Conseguir una calamina gruesa de 1 metro de largo y 50 cm. para usarla como plancha de la carretilla.
7. Un tubo metálico de 30 cm. dividido en dos partes de 15 cm. cada una y con un diámetro de 5 cm. y espesor de 1,5 mm. de espesor.
8. Fierro Platino de 3 metros de largo y grosor de 2,5 mm. para usarlo de soporte y fierro ½ de 50 cm. para crear las argollas.
9. Pintura anti corrosiva y gasolina para limpiar el acero negro.

Proceso de construcción:

Paso 1: Doblar el pico de la carretilla 40cm con ángulo de 45° a ambos lados para poder hacer que entre la llanta de manera perfecta.

Paso 2: En el N° 1 de la ilustración 87 hay que doblar 15 cm en un ángulo de 45°, N° 2 doblar 20 cm igualmente con un ángulo 45°, N° 3 con el fierro angular poner un soporte de 20 cm de alto, N° 4 usar el fierro angular para el segundo soporte de 12 cm de alto.

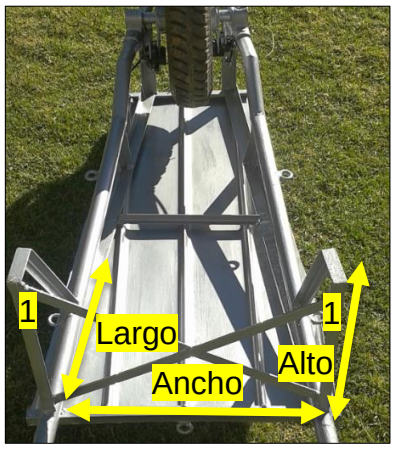
Ilustración 87.- Construcción 2.



Fuente: Propia**.**

Paso 3: Usar dos pares de 1 metro de largo con el fierro angular para crear la plancha, poner la calamina gruesa y cortar de acuerdo a la superficie observada en la ilustración 88 y poner un fierro angulas en medio para tener un soporte en el medio.

Ilustración 88.- Construcción 3.



Fuente: Propia**.**

Paso 4: Para el apoyo de la estructura de la carretilla, crear los soportes de la carretilla (ver ilustración 88 N° 1), con un alto de 32 cm. separadas a los lados 46 cm. y de largo 22 cm. en dirección a la llanta, y toda la estructura en general separada 62 cm, de los agarradores de mano.

Paso 5: Hacer pasar la llanta por el fierro macizo, ajustar la llanta al fierro macizo para que no se mueva, con el platino crear una forma circular con espacio para atornillar el freno a disco al aro de la llanta (ver ilustración 89).

Ilustración 89.- Construcción 4.



Fuente: Propia**.**

Paso 6: Una vez puesta la llanta junto con el disco, poner un retén con platino o angular y justar a la altura adecuada el freno a disco (ver ilustración 89).

Paso 7: Con el fierro de ½ crear las argollas para poder pasar la soga y sostener la caja de frutas o jaba de frutas y con los platinos crear el soporte de la caja (ver ilustración 91).

Paso 8: Hacer pasar el cable del freno a disco por el mismo tubo de acero negro (ver ilustración 90).

Ilustración 90.- Construcción 5.



Fuente: Propia**.**

Ilustración 91.- Construcción 6.



Fuente: Propia**.**

Paso 9: Limpiar la carretilla con gasolina, dejar secar y pasar luego la pintura anticorrosiva hasta que quede con un acabado fino sobre el metal.