

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

Diseño, construcción y simulación virtual de un prototipo didáctico de un sistema de elevador a escala de los utilizados en edificios para subir/bajar personas.

Alumno:

Rodríguez Arce Julián Darío

No. de Control:

10270827

Ing. Mecánica.

Asesores:

Interno: Ing. José Manuel Rasgado Bezares

Externo: Dr. Andrés Blanco Ortega

Cuernavaca, Morelos, Diciembre 2014

Contenido

Lista de figuras y tablas	3
Nomenclatura.....	4
Introducción	5
Capítulo 1	6
Antecedentes	6
Justificación	8
Objetivos	8
Objetivo general.....	8
Objetivos específicos.....	8
Alcances y limitaciones	8
Caracterización del área en que se participo.....	9
Capítulo 2	10
Fundamentos teóricos	10
Procedimiento y descripción de las actividades	13
Definir especificaciones de ingeniería del prototipo sistema elevador	13
Modelado dinámico de ingeniería del prototipo sistema elevador.....	17
Diseño de estrategia de control	18
Simulación con modelo y estrategia de control.....	18
Diseño CAD del sistema de elevador.....	19
Simulación del sistema elevador con un prototipo virtual	24
Construcción del prototipo físico	25
Capítulo 3	27
Resultados	27
Graficas de posición, velocidad, aceleración y torque en SIMNON30.....	27
Graficas de posición, velocidad, aceleración y torque en SIMULINK.....	27
Graficas de posición, velocidad, aceleración y torque en ADAMS.....	28
Capítulo 4	29
Conclusiones y Recomendaciones	29
Bibliografía	29
Anexos.....	30
Programación en SIMNON30	30
Polinomio de Bezier	32

Lista de figuras y tablas

	Descripción	Página
F-1.1	Mecanismo de poleas	
F-1.2	Sistema de seguridad de Elisha Graves Otis	
F-1.3	Organigrama del CENIDET	
F-2.1	Sistema por adherencia	
F-2.2	Sistema por enrollamiento de cable	
F-2.3	Sistema hidráulico	
F-2.4	Grupo tractor	
F-2.5	Elevador KONE EcoSpace	
F-2.6	Cabina y hueco	
F-2.7	Estructura	
F-2.8	Diagrama para el torque	
F-2.9	Diagrama	
F-2.10	Control PID en SIMULINK	
F-2.11	Vistas del elevador	
F-2.12	Prototipo en ADAMS	
F-2.13	Prototipo elevador	
F-3.1	Graficas en SIMNON30	
F-3.2	Graficas en SIMILIKN	
F-3.3	Graficas en ADAMS	
T-1	Especificaciones del elevador KONE EcoSpace	
T-2	Medidas del elevador	
T-3	Escala	
T-4	Piezas del elevador	
T-5	Materiales	
T-6	Herramientas	

Nomenclatura

Símbolo	Descripción	símbolo	Descripción
g	Gramo, gravedad	$\ddot{\theta}$	Aceleración angular
M	Masa	$\dot{\theta}$	Velocidad angular
F	Fuerza	θ	Desplazamiento angular
N	Newton	\ddot{x}	Aceleración lineal
T_{\min}	Torque mínimo	\dot{x}	Velocidad lineal
τ, T	Torque	x	Desplazamiento lineal
J	Momento de inercia	J_e	Momento de inercia equivalente
Kg	Kilogramo	s	segundo
m	metro	mm	Milímetro
e	Error	ζ	Factor de amortiguamiento
b_1, b_2	Amortiguamiento 1,2	b_e	Amortiguamiento equivalente
w_n	Velocidad angular nominal	k_d, k_p, k_i	constantes

Introducción

El diseño y la construcción del prototipo de un elevador fueron realizados en el periodo de agosto-diciembre de 2014 en la ciudad de Cuernavaca en las instalaciones del CENIDET. En el siguiente reporte se exponen los criterios con los cuales se seleccionaron los materiales, el tipo de elevador, así como procedimientos y cálculos para poder realizar un elevador a escala funcional basado en uno real.

El proceso de construcción de un prototipo didáctico de un sistema de elevador con un enfoque de ingeniería concurrente se respaldará mediante el uso de un prototipo virtual antes de su construcción. Será un elevador a escala de los utilizados en edificios para subir/bajar personas. La idea es que sea un prototipo didáctico para implementar varias prácticas, desde el uso de sensores, actuadores, hasta programas estrategias de control para movimientos suaves.

El proyecto consiste en diseñar un elevador a escala de 4 niveles. Se realizó el diseño de la estructura y las piezas en SolidWorks, como los dibujos de trabajo, posteriormente se hicieron simulaciones virtuales en el programa de ADAMS para hacer análisis cinemático y dinámico.

Finalmente se mostrara una comparación de las dimensiones del elevador real como las del prototipo a escala, y se analizará el comportamiento del prototipo para estudiar su comportamiento.

Capítulo 1

Antecedentes

Los elevadores fueron creados por la necesidad de los hombres de poder transportarse de manera vertical al construir edificaciones de múltiples niveles.

Desde la antigüedad hasta nuestra época, el hombre ha utilizado distintos tipos de fuerzas para poder realizar el desplazamiento vertical, desde la fuerza humana y animal hasta los motores eléctricos en la actualidad.

Arquímedes fue quien desarrollo el primer elevador, el cual funcionaba con cuerdas y poleas, conocidos como polipastos, el sistema consistía en varias cuerdas corran paralelas por numerosos rodillos, por lo cual la carga se distribuía.

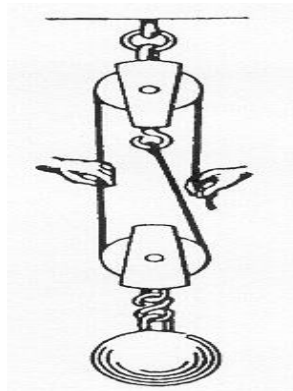


Figura 1.1 Mecanismo de Poleas

Los primeros ascensores eran movidos por hombres mediante polipastos, posteriormente los elevadores funcionaban gracias a un embolo que llevaba la canina y esto movía arriba y abajo a lo largo de un cuerpo de bomba, accionado por la presión del agua o solían ser movidos por sistemas de correas con poleas acopladas a los ejes principales de transmisión de fuerza movidos mediante la generación de vapor.

Al final del siglo XVIII se estableció que la evolución del elevador estaría estrechamente ligada al desarrollo de la energía eléctrica. Los primeros elevadores eléctricos eran cabinas robustas y se proyectaban para la utilización de corriente directa.

El gran desarrollo de los elevadores modernos tuvo sus orígenes cuando el ingeniero Elisha Graves Otis inventó un mecanismo de seguridad en un elevador de carga, en una exposición en Nueva York, con este invento el elevador se volvió más seguro lo que permitió que se pudieran tener un mayor recorrido. El sistema de seguridad era sencillo, consistía en un muelle fijado en la parte superior de la plataforma del elevador, al subir la plataforma el muelle se arqueaba y sus extremos no tenían contacto con los rieles guía que había a cada lado, pero al cortar el cable o al no haber tensión en el cable del que colgaba la cabina, el muelle recuperaba su forma y sus extremos se trababan en los rieles dentados evitando así la caída de la cabina.



Figura 1.2 Sistema de Elisha Graves Otis

El ascensor eléctrico fue una modificación directa del primitivo ascensor con tambor accionado a vapor pero sustituyendo esta fuente de energía por la eléctrica mediante un motor de corriente continua.

Conforme se elevaba la altura de los edificios y la velocidad de los ascensores aumentaba se hizo necesario un sistema de operación para detener la cabina con precisión introduciéndose el denominado control de señal, este sistema requiere un operador que mediante pulsación de un botón el sistema del ascensor registra la orden y determina automáticamente aceleraciones, repuestas a llamadas desde otros pisos, deceleraciones y ajuste exactos al nivel del piso.

Los circuitos de maniobra fueron progresivamente evolucionando desde los relés hasta un minúsculo computador que ejecutaba un programa de ordenador donde se establecía en un lenguaje informático la maniobra a realizar.

Justificación

El interés sobre la realización de un prototipo didáctico de un elevador a escala viene de la necesidad de que en la institución (CENIDET) haya un prototipo para poder realizar prácticas que les ayuden a los estudiantes de esta institución comprender mejor lo aprendido en clases.

Con la construcción de este prototipo a escala se lograra dar una solución viable para conseguir que los estudiantes del Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico realicen prácticas, con mayor exactitud se realizara el prototipo para que los estudiantes puedan implementar diferentes estrategias de control y puedan utilizar distintos sensores para lograr el control de la trayectoria del elevador.

La implementación de este prototipo a escala generara una mayor comprensión de lo que se está realizando en clases, al poner en práctica lo aprendido.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar un prototipo didáctico de un sistema de elevador a escala con un enfoque de ingeniería concurrente.

Objetivos específicos

1. Diseñar estrategias de control para el prototipo.
2. Analizar el comportamiento dinámico de un elevador.
3. Lograr la mayor velocidad posible en el desplazamiento sin que se pierda el confort durante el recorrido.

Alcances y limitaciones

La fabricación de este prototipo a escala de un elevador pretende comparar el comportamiento de los elevadores actuales, tales como la velocidad máxima y aceleración que podría alcanzar, pero

debido a las dimensiones del material con que se construirá la estructura, lo único que estará a escala será la cabina, así como el peso de la carga máxima.

Caracterización del área en que se participo

El centro nacional de investigación y desarrollo tecnológico (CENIDET) ofrece sus programas de posgrado para egresados de licenciaturas a fines que estén interesados en prepararse para la investigación aplicada y el desarrollo tecnológico. Estos programas están estructurados para que el alumno adquiera conocimientos y habilidades que le permitan desarrollarse con éxito en campos como:

- Industria de base tecnológica
- Instituciones de investigación o desarrollo tecnológico
- Escuelas para la formación de ingenieros



Figura 1.3 Organigrama de la empresa

El área en la que se desarrolló el proyecto es en el área de investigación en diseño mecánico del Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET), trabajando en el laboratorio de mecánica perteneciente a este centro de investigación.

El laboratorio cuenta con cubículos de experimentación equipados con las herramientas y maquinaria necesaria dependiendo de los temas de investigación que se desarrollan en este centro de investigación.

Capítulo 2

Fundamentos teóricos

Un elevador o ascensor es un aparato elevador instalado permanentemente, que sirve niveles definidos, que utiliza una cabina, en la que las dimensiones y constitución permite evidentemente el acceso de personas, desplazándose al menos parcialmente, a lo largo de guías verticales o cuya inclinación sobre la vertical es inferior a 15° . Los elevadores se pueden clasificar según el tipo de sistema que utilicen:

- Sistema por Adherencia.

Los sistemas por adherencia transmiten la potencia mecánica del grupo tractor a los cables de acero por medio de la fricción de la polea motriz, la cual centra el circuito que conecta por un lado la cabina y su carga neta, y por otro el contrapeso cuya masa esta definida por el peso de la cabina más la mitad de la carga útil.

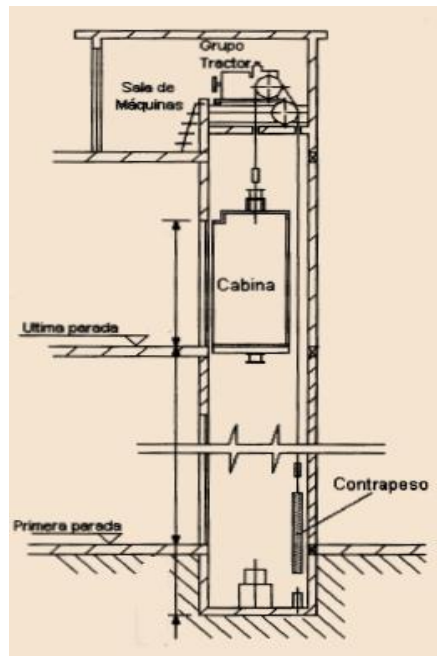


Figura 2.1 Sistema por Adherencia

- Sistema por Enrollamiento de cable.

Consiste básicamente de un grupo tractor acoplado a un tambor, alrededor del cual se enrolla un cable de acero que directamente, o mediante un mecanismo de polipasto, desplaza a la cabina, sea para arriba, enrollando el cable, o para abajo desenrollándolo.

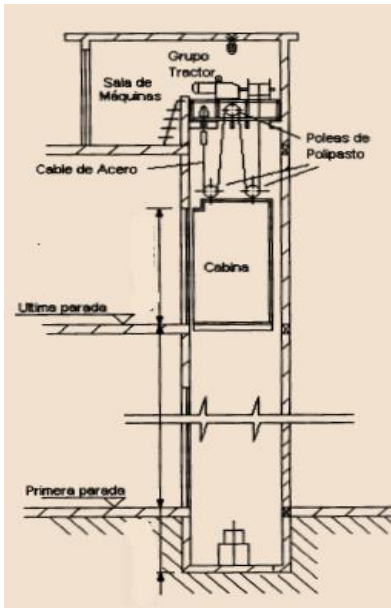


Figura 2.2 Sistema por enrollamiento de cable

- Sistemas hidráulicos.

Consiste de un motor, bomba, bloque de válvulas y depósito de aceite, que actúa por presión sobre un vástago, el cual eleva la cabina. Pueden actuar directa o indirectamente; en cuyo caso actúa combinado con cables o cadenas.

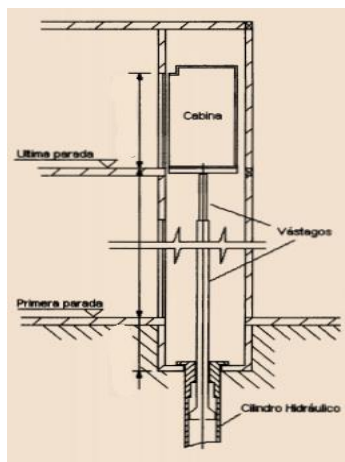


Figura 2.3 Sistema hidráulico

Las partes principales de un ascensor son las siguientes:

- Pozo o ducto
- Puertas de acceso
- Guías metálicas
- Amortiguadores
- Circuito de tracción
- Circuito de elevación
- Cabina

El circuito de tracción o grupo tractor es el conjunto de motor, freno y caja de reducción por engranes, además de la bancada sobre la cual va montado el conjunto y los acoples correspondientes. A partir del eje de salida de la caja reductora se instala ya sea la polea motriz o el tambor de enrollamiento de cable.

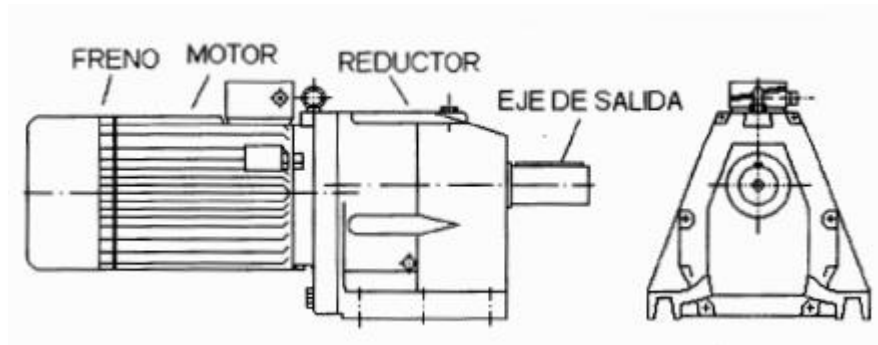


Figura 2.4 Grupo tractor

La cabina está formada básicamente por un bastidor y su cubículo, el bastidor es la estructura metálica resistencia unida por medio de los cables y/o poleas al grupo tractor. El cubículo consiste de piso antideslizante, paredes y el techo. El área útil de la cabina debe ajustarse al tipo de instalación efectuada. Cuando el pozo del elevador debe ser compartido con una instalación de contrapeso, la disponibilidad del área estará en el orden del 70%, cuando se cuenta con una instalación de enrollamiento o elevación hidráulica, el área útil, sin contar el espacio de los rieles será del 100%.

Las guías metálicas son los elementos funcionales del pozo, pues su papel es mantener la dirección vertical de la cabina durante toda su marcha. Son perfiles rectilíneos de acero, se instalan por lo general en pareja y en paralelo.

El pozo del elevador es el espacio exclusivamente destinado al desplazamiento de la cabina y del contrapeso (si lo hubiese), contando además del espacio de los rieles guía.

Procedimiento y descripción de las actividades

Definir especificaciones de ingeniería del prototipo sistema elevador

Lo que se busca es un diseño simple y funcional de sistema elevador, por lo que la opción que se tomó fue la de un sistema por enrollamiento de cable debido a su simplicidad en comparación con los otros dos sistemas. Debido a que los materiales utilizados en este prototipo a escala son utilizados en construcciones de mayor tamaño no será necesario calcular o analizar todas las fuerzas, esfuerzos o fricciones, ya que los valores dados en el elevador a escala son muy pequeñas y se pueden considerar despreciables en comparación a las cargas con las que fueron diseñados estos materiales.

El prototipo será un elevador a escala de 4 pisos. Las medidas se tomarán de un elevador real, el KONE EcoSpace el cual tiene las siguientes dimensiones.

Main specifications, single entrance (SEC) and through type (TTC) cars							
Speed m/s	Load kg	Max. no. of stops	Max. travel m	Car height (CH) mm	Headroom (SH) mm	Pit (PH) mm	Door
0.63, 1.0	320, 400 450, 480, 630, 1000	14	35	2100	3400	1100	Side opening
				2200	3500		

Tabla 1 Especificaciones del elevador KONE EcoSpace

Y se tomó el que tiene una capacidad de 320kg para cuatro personas.

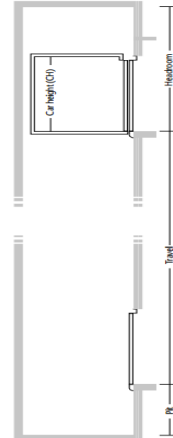


Figura 2.5 Elevador KONE EcoSpace

Tomando esto en cuenta y aplicando una escala de $1\text{m}=81.81\text{mm}$
 Las dimensiones del hueco y de la cabina quedaron de la siguiente manera,
 Para mayor facilidad a la hora de fabricar el prototipo se redondearon algunas
 medidas.

HUECO	KONE EcoSpace	Escala	Utilizada
A	1350mm	110.04mm	110mm
B	1500mm	122.71mm	125mm
CABINA			
A	750mm	61.35mm	78mm*
B	1100mm	89.99mm	120mm*
C	2200mm	179.98mm	180mm*

Tabla 2 Medidas Elevador

*Por cuestiones de diseño y para que se pudiera utilizar la mayor parte del hueco cabina, no se respetara las medidas de la cabina del elevador KONE EcoSpace que se tomó como referencia.

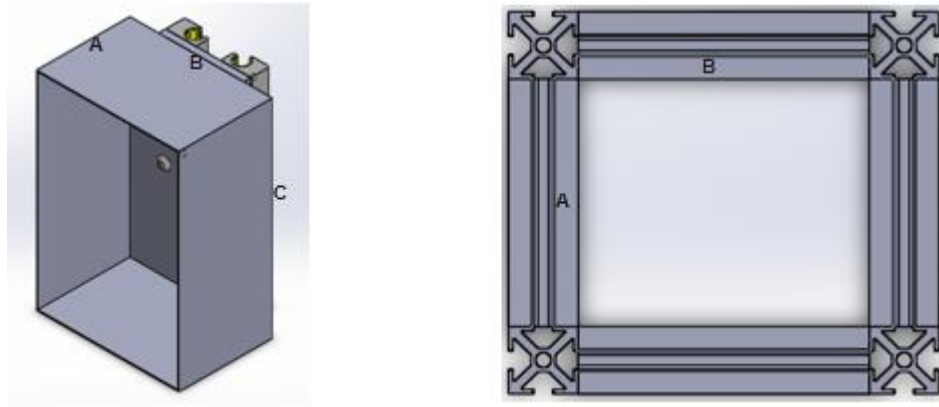


Figura 2.6 Cabina y hueco

Con estas medidas la estructura del prototipo será de 110cm de altura y 38.5cm, constara de 6 espacios, de los cuales 4 son de los pisos, uno del cuarto de máquinas (donde ira el motor) y el de hasta abajo será para un sistema de amortiguamiento.

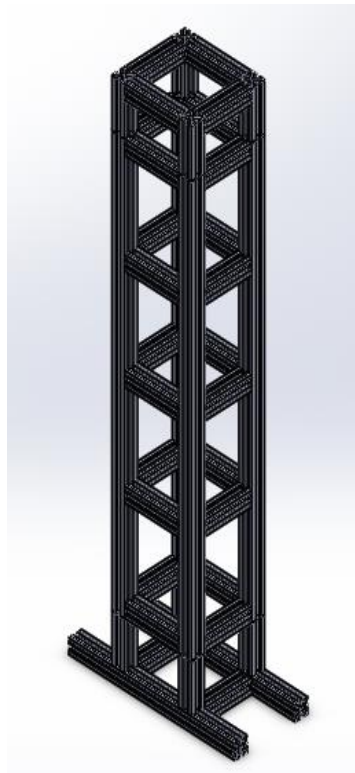


Figura 2.7 Estructura

Para calcular el torque mínimo que necesita el motor para poder mover el elevador tomamos la carga máxima que especificaba el elevador KONE EcoSpace.

$$\text{Peso aproximado cabina} = 664.32g$$

$$\text{Carga máx.} = 1920g$$

$$M = 2584.32g = 2.58kg$$

$$F = (2.58kg) \left(9.806 \frac{m}{s^2} \right) = 25.299N$$

$$T = (25.299N)(11.5mm) = 290.9385 N * mm$$

$$T_{min} = 0.291 N * m$$

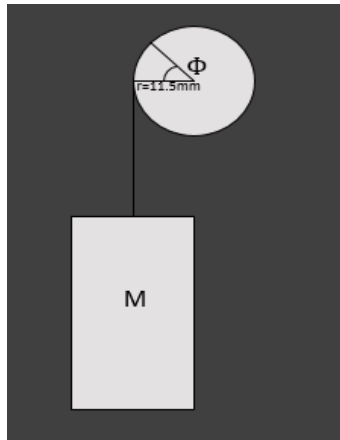


Figura 2.8 Diagrama para el Torque

Con lo anterior podemos tener los siguientes parámetros para el diseño

- Elevador para ser utilizado en departamentos u hoteles pequeños → (4 pisos)
- Carga máxima → 320kg
- Recorrido → 7.7m
- Sistema elevador → Enrollamiento
- Torque mínimo → 0.291 N*m
- Motor → 12v DC
- Escalas → 81.81mm=1m, 6g=1kg

	Real	Escala
Carga	320kg	1920gr
Recorrido	7.7m	630mm

Tabla 3 Escala

Modelado dinámico de ingeniería del prototipo sistema elevador

La variable que se controlara es el Torque, mediante variables de estado:

$$J\ddot{\phi} = \sum \tau$$

$$J\ddot{\phi} = -Fr + \tau - b_1\dot{\phi} \dots(A)$$

$$M\ddot{x} = \sum F$$

$$M\ddot{x} = F - Mg + b_2\dot{x} \dots(B)$$

$$F = M\ddot{x} + Mg + b_2\dot{x}$$

$$F = (\ddot{x} + g)M + b_2\dot{x} \dots(C)$$

Sustituyendo (C) en (A)

$$J\ddot{\phi} = -[(\ddot{x} + g)M + b_2\dot{x}]r + \tau - b_1\dot{\phi} \dots(D)$$

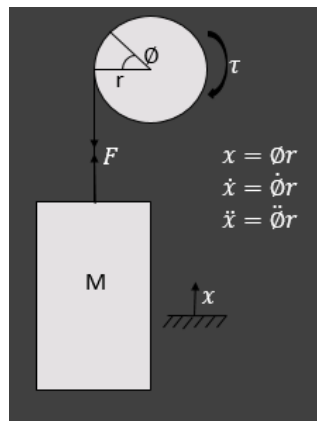
Sustituyendo el valor de x e igualando a cero la ecuación (D)

$$J\ddot{\phi} + [(\ddot{\phi}r + g)M + b_2\dot{\phi}r]r - \tau + b_1\dot{\phi} = 0$$

$$J\ddot{\phi} + (\ddot{\phi}rM + gM + b_2\dot{\phi}r)r - \tau + b_1\dot{\phi} = 0$$

$$J\ddot{\phi} + \ddot{\phi}r^2M + gMr + b_2\dot{\phi}r - \tau + b_1\dot{\phi} = 0$$

$$(J + r^2M)\ddot{\phi} + (b_2r^2 + b_1)\dot{\phi} = \tau - Mgr$$



Diseño de estrategia de control

Se desarrollara un control tipo proporcional integral derivativo (PID) y con el polinomio de Bézier se hará el seguimiento de trayectoria (Polinomio en los anexos).

Control PID:

$$J_e \ddot{\phi} + b_e \dot{\phi} = \tau - Mgr \dots (1)$$

$$\ddot{\phi} = (\tau + P)(1/J_e) \quad (2) \quad P = -b_e \dot{\phi} - Mgr$$

$$\ddot{\phi} = v \dots (3) \quad v = (\tau + P)(1/J_e) \rightarrow \tau = v J_e - P$$

$$v = \ddot{\phi}_d - k_d(\dot{\phi} - \dot{\phi}_d) - k_p(\phi - \phi_d) - k_i \int (\phi - \phi_d) dt \dots (4)$$

$$\ddot{\phi} = \ddot{\phi}_d - k_d(\dot{\phi} - \dot{\phi}_d) - k_p(\phi - \phi_d) - k_i \int (\phi - \phi_d) dt$$

$$\ddot{\phi} - \ddot{\phi}_d + k_d(\dot{\phi} - \dot{\phi}_d) + k_p(\phi - \phi_d) + k_i \int (\phi - \phi_d) dt = 0 \dots (5)$$

Sustituyendo los valores del error en la ecuación (5)

$$\ddot{e} + k_d \dot{e} + k_p e + k_i \int e dt = 0$$

Derivando

$$\ddot{e} + k_d \dot{e} + k_p e + k_i e = 0 \rightarrow S^3 + k_d S^2 + k_p S + k_i = 0$$

$$(S^2 + 2\zeta w_n S + w_n^2)(S + P)$$

$$S^3 + (2\zeta w_n + P)S^2 + (w_n^2 + 2P\zeta w_n)S + Pw_n^2 = 0$$

$$k_d = 2\zeta w_n + P \quad e = \phi - \phi_d$$

$$k_p = w_n^2 + 2P\zeta w_n \quad \dot{e} = \dot{\phi} - \dot{\phi}_d$$

$$k_i = Pw_n^2 \quad \ddot{e} = \ddot{\phi} - \ddot{\phi}_d$$

Simulación con modelo y estrategia de control

Para la simulación se utilizó el software de MATLAB SIMULINK con conexión a ADAMS para que estuviera dando los valores en tiempo real de la simulación del elevador a continuación se muestra una imagen con la programación en SIMULINK.

También se realizara una simulación con el software SIMNON30 en el cual se representara el movimiento ideal del elevador, (programa en el anexo).

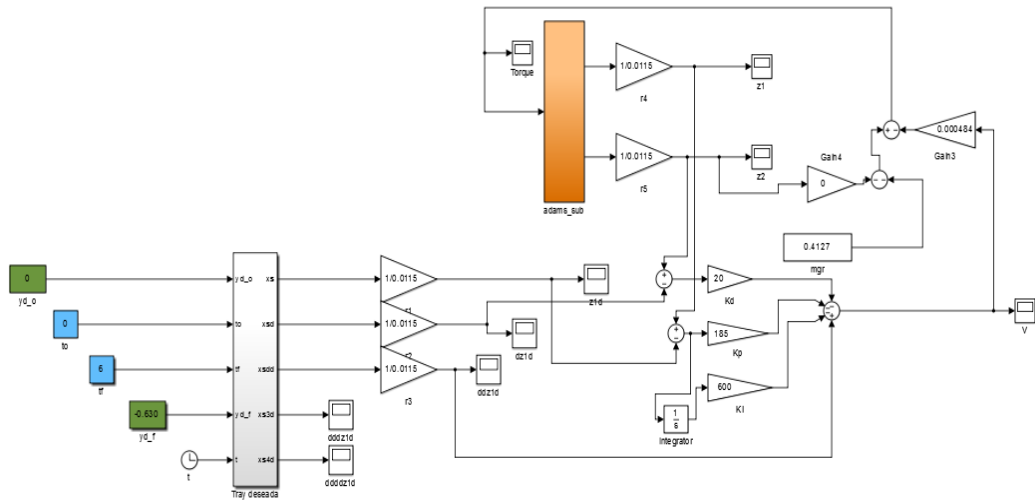


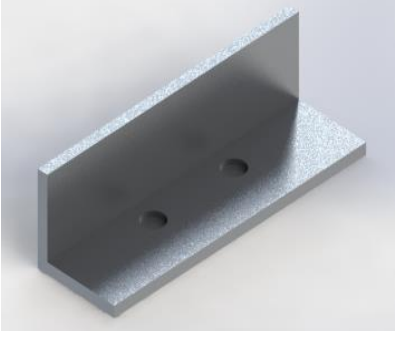
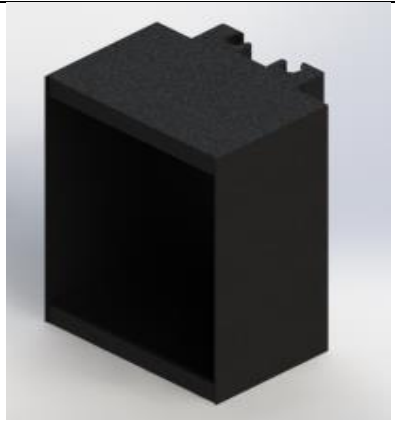
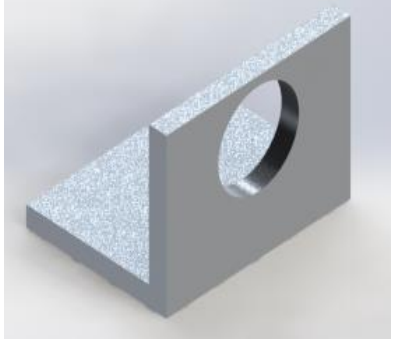
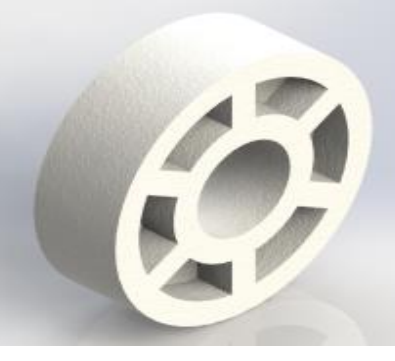
Figura 2.10 Control PID en SIMULINK

Diseño CAD del sistema de elevador

El prototipo se realizó en el programa SolidWorks, SolidWorks es un software CAD (diseño asistido por computadora) para modelado mecánico en 3D El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. A continuación se muestran los elementos del elevador.

IMAGEN	PIEZA	LONGITUD	MATERIAL	CANTIDAD
	Base de la estructura	385mm	Perfil modular 30x30 de aluminio	2

	<p>Perfil de 110mm</p>	<p>110mm</p>	<p>Perfil modular 30x30 de aluminio</p>	<p>10</p>
	<p>Perfil de 125mm</p>	<p>125mm</p>	<p>Perfil modular 30x30 de aluminio</p>	<p>10</p>
	<p>Perfil de 1100mm</p>	<p>1100mm</p>	<p>Perfil modular 30x30 de aluminio</p>	<p>4</p>
	<p>Guía</p>	<p>870mm</p>	<p>Acero</p>	<p>2</p>

	Base de la guía	-----	Perfil L de aluminio	2
	Cabina	-----	Placa de hierro	1
	Soporte de rodamiento	-----	Aluminio	1
	Rodamiento	-----	Plástico	1

	Eje	38mm	Aluminio	1
	Polea	-----	Acero	1
	Motor 12v	-----	-----	1

Tabla 4 Piezas del elevador

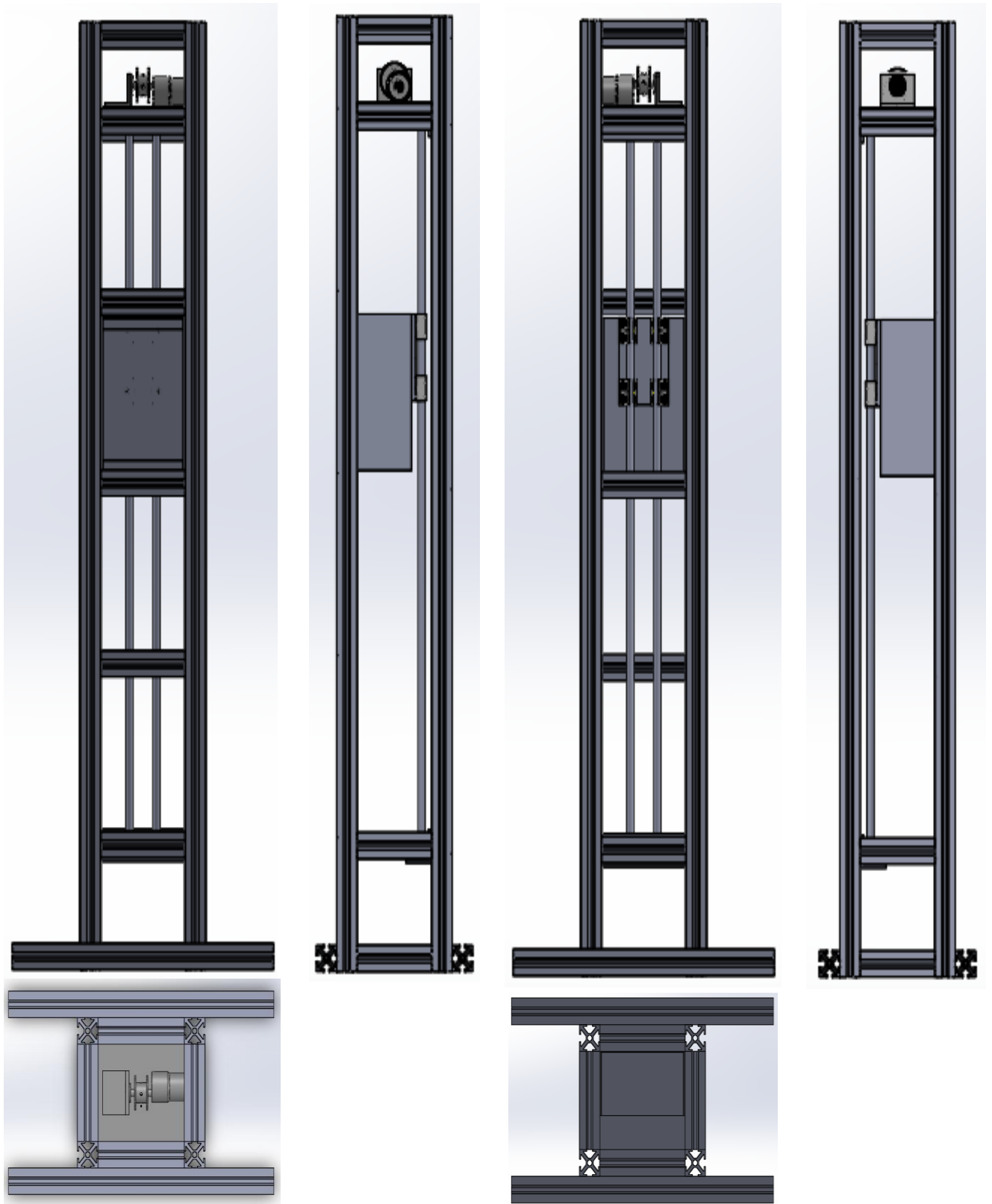


Figura 2.11 Vistas del elevador

Simulación del sistema elevador con un prototipo virtual

Con el prototipo simulado en SolidWorks se importó a otro software para realizar la simulación cinemática y dinámica.

MSC.Adams dispone de un entorno gráfico que está dividido en varios paquetes, en este proyecto se utilizó en Adams/View este permite importar archivos de CAD y construir modelos. Resolviendo las ecuaciones mediante el método numérico de Runge-Kutta.

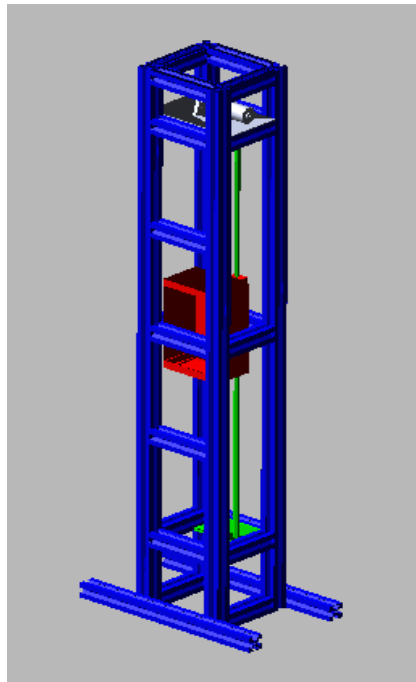


Figura 2.12 Prototipo en ADAMS

Construcción del prototipo físico

MATERIAL	CANTIDAD
Perfil modular 30x30mm de aluminio	8m
Placa de hierro de 3mm	1m ²
Tornillos	40
Cable de acero ¹ / ₃₂	1m
Perfil L de 30x30x5	30cm
Remaches ⁵ / ₃₂	20 piezas
Barra circular de acero de 10mm de diámetro	2m
Barra circular de aluminio de 8mm de diámetro	5cm
Abrazadera tipo omega	1 pieza
Placa deslizable	1 pieza

Tabla 5 Materiales

HERRAMIENTAS
Esmeril
Juego de Brocas
Taladro de banco
Desarmadores
Remachadora
Llaves Allen
Machuelo

Tabla 6 Herramientas

1. Primero se corta el perfil modular con el esmeril a las medidas indicadas en los planos.
2. Una vez cortado el perfil se taladra para poder poner los tornillos.
3. En los agujeros realizados y al interior del perfil se realizan cuerdas con el machuelo.
4. Realizadas las cuerdas en los perfiles se procede a ensamblar la estructura (ver plano en anexo).

5. El perfil L se máquina de la forma que está en los planos, estas piezas serán el soporte de los rieles guías.
6. Se barrena el perfil L y una parte de la estructura para poder colocar los soportes, La barra circular se corta y se colocan en el soporte, así tendremos los rieles guías del elevador listo.
7. Con la placa de hierro se construye la cabina y se fija a la placa deslizante, y se coloca en los rieles guías.
8. Con el perfil L se fabrica el soporte del rodamiento y con la barra circular de aluminio se hace el eje.
9. En parte superior de la estructura se coloca una placa de hierro, sobre la cual ira el grupo tractor, que es el soporte del rodamiento, el rodamiento, el eje, la polea y el motor.
10. Finalmente se fija el cable a la cabina y a la polea que será el tambor de enrollamiento.

Las medidas y especificaciones de la construcción de las piezas vienen en los anexos.



Figura 2.13 Prototipo elevador

Capítulo 3

Resultados

Una vez realizadas las simulaciones en los diferentes softwares se obtuvieron las siguientes graficas de velocidades, aceleraciones, posiciones y torques necesario.

El tiempo en que se completa el recorrido, tanto la distancia que se desea recorrer pueden ser cambiadas en el programa, por lo que los resultados variarían.

Graficas de posición, velocidad, aceleración y torque en SIMNON30

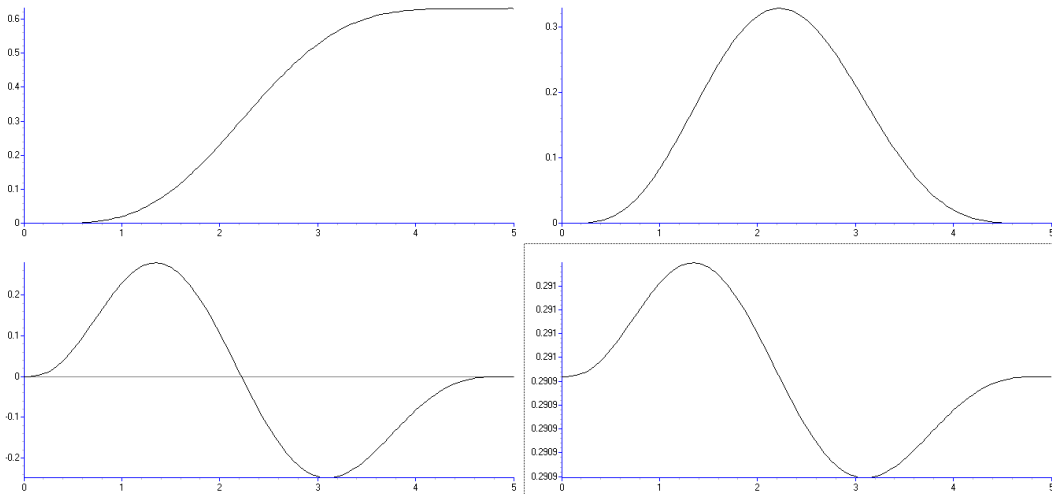


Figura 3.1 Graficas SIMNON30

Estas graficas representan el comportamiento ideal que debe tener el elevador con la estrategia de control implementada, la gráfica superior derecha representa el desplazamiento, la superior izquierda la velocidad, la inferior derecha es la aceleración y la última grafica es el torque del motor.

Graficas de posición, velocidad, aceleración y torque en SIMULINK

Ejemplos en SIMULINK

EJEMPLO 1 → Para que se realizara el recorrido máximo del prototipo del elevador que es de 63cm en un tiempo de 5 segundos se obtuvieron los siguientes resultados.

- Velocidad máxima alcanzada fue aproximadamente de 0.409 m/s
- Aceleración máxima alcanzada fue aproximadamente de 0.396 m/s^2

- Torque máxima alcanzado 0.291-0.128 N*m

EJEMPLO 2→Para que se realizara el recorrido máximo del prototipo del elevador que es de 63cm en un tiempo de 10 segundos se obtuvieron los siguientes resultados.

- Velocidad máxima alcanzada fue aproximadamente de 0.204^{m/s}
- Aceleración máxima alcanzada fue aproximadamente de 0.098 ^{m/s²}
- Torque máxima alcanzado 0.291-0.128 N*m

EJEMPLO 3→Para que se realizara el recorrido máximo del prototipo del elevador que es de 63cm en un tiempo de 15 segundos se obtuvieron los siguientes resultados.

- Velocidad máxima alcanzada fue aproximadamente de 0.175^{m/s}
- Aceleración máxima alcanzada fue aproximadamente de 0.043 ^{m/s²}
- Torque máxima alcanzado 0.291-0.128 N*m

Graficas en ADAMS

Capítulo 4

Conclusiones y Recomendaciones

- Se observó que entre más tiempo tarde el elevador en realizar el recorrido la velocidad y aceleración máxima alcanzada es menor pero el torque tiende a ser constante.
- Se recomienda que para que las practicas sobre el elevador sean más reales se coloque un sistema de amortiguamiento en el a parte inferior.
- No poner más carga de la que se especifica.
- Implementar otras estrategias de control para el elevador.
- Si se desea tener mayor capacidad de carga en el elevador colocar un sistema de polea como los de la figura 1.1.

Bibliografía

Beer. (2010). *Mecánica vectorial para ingenieros Dinámica*. México: Mc Graw Hill.

Budynas, R. G. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México: Mc Graw Hill.

Junta de Castilla y León. (s.f.). *Manual de eficiencia energética en aparatos elevadores*. España.

KONE EcoSpace. (24 de Octubre de 2014). Obtenido de <http://cdn.kone.com/www.kone.mx/Images/brochure-kone-elevator-ecospace.pdf?v=1>

Miravete, A. (2007). *Elevadores: Principios e innovaciones*. Barcelona: Reverte S.A.

Parker Hannifin Corporation. (s.f.). *Parker-IPS Catalogo 1816*. Huston.

Anexos

Programación en SIMNON30

CONTINUOUS SYSTEM PROTOELE

"Version: 1.0

"Abstract:

"Description:

"Revision: 1.0

"Author: Darío

"Created: 07/10/2014

➤ " States, derivates and time:

STATE z1 z2 z3

DER dz1 dz2 dz3

TIME t

➤ " Initializations:

z1:0

z2:0

z3:0

➤ " Equations:

dz1=z2

dz2= (tao-m*g*r-be*z2)/Je

dz3=z1-xd

v=ddxd-kd*(z2-dxd)-kp*(z1-xd)-ki*z3

tao =v*Je-Per

Per=-be*dz1-m*g*r

ax2=ax1*ax1

ax3=ax2*ax1

ax4=ax3*ax1

ax5=ax4*ax1

ax6=ax5*ax1

ax7=ax6*ax1

ax8=ax7*ax1

ax9=ax8*ax1

ax10=ax9*ax1

➤ " Parameter values:

m=2.58

b1=0

b2=0

r=0.0115

g=9.806

Je=J+r*r*m

Wn =10

Zeta =0.5

p=6

kd =2*zeta*wn+p

kp =wn*wn+2*p*zeta*wn

ki =p*wn*wn

be =b2*r*r+b1

J=6.4028e-7

➤ " Equations:

ti=0

xi=0

tf=5

xf=0.630

a1=252

a2=1050

a3=1800

a4=1575

a5=700

a6=126

ax1= (t-ti)/ (tf-ti)

➤ "Trayectoria suave
 $x = x_i + (x_f - x_i) * (a_1 * a x^5 - a_2 * a x^6 + a_3 * a x^7 - a_4 * a x^8 + a_5 * a x^9 - a_6 * a x^{10})$

➤ "posicion deseada
 $x_d = \text{if } t < t_i \text{ then } x_i \text{ else (if } t > t_f \text{ then } x_f \text{ else } x)$

➤ "Velocidad
 $a x_{11} = 5 * a_1 * a x^4 - 6 * a_2 * a x^5 + 7 * a_3 * a x^6$
 $a x_{12} = -8 * a_4 * a x^7 + 9 * a_5 * a x^8 - 10 * a_6 * a x^9$
 $a x_{13} = a x_{11} + a x_{12}$
 $d x = (x_f - x_i) * a x_{13} / (t_f - t_i)$
 $d x_d = \text{if } t < t_i \text{ then } 0 \text{ else (if } t > t_f \text{ then } 0 \text{ else } d x)$

➤ "aceleración
 $a x_{14} = 4 * 5 * a_1 * a x^3 - 5 * 6 * a_2 * a x^4 + 6 * 7 * a_3 * a x^5$
 $a x_{15} = -7 * 8 * a_4 * a x^6 + 8 * 9 * a_5 * a x^7 - 9 * 10 * a_6 * a x^8$
 $a x_{16} = a x_{14} + a x_{15}$
 $d d x = (x_f - x_i) * a x_{16} / ((t_f - t_i) * (t_f - t_i))$
 $d d x_d = \text{if } t < t_i \text{ then } 0 \text{ else (if } t > t_f \text{ then } 0 \text{ else } d d x)$

END

Polinomio de Bezier

1 Polinomio de Bezier

La planificación de trayectorias se basa en los polinomios Bezier para obtener la trayectoria deseada

$$\begin{aligned} x_d(t) &= x_i + (x_f - x_i) \sigma(t, t_i, t_f) \mu_p^5, & t \in [t_i, t_f] \\ \sigma(t, t_i, t_f) &= \gamma_1 - \gamma_2 \mu_p + \gamma_3 \mu_p^2 - \dots - \gamma_6 \mu_p^5, & 0 \leq \sigma \leq 1, \quad \mu_p = \frac{t - t_i}{t_f - t_i} \end{aligned} \quad (1)$$

donde $x_i = x_d(t_i)$ y $x_f = x_d(t_f)$ son las velocidades inicial y final deseadas, en las cuales se pasa a través de la primera frecuencia natural, de tal manera que

$$x_d(t) = \begin{cases} 0 & \text{for } 0 \leq t < t_i \\ \sigma(t, t_i, t_f) x_{of} & \text{for } t_i \leq t \leq t_f \\ x_f & \text{for } t > t_f \end{cases} \quad (2)$$

La función $\sigma(t, t_i, t_f)$ describe un polinomio Bézier tal que $\sigma(t_i, t_i, t_f) = 0$ y $\sigma(t_f, t_i, t_f) = 1$. Los parámetros en la función polinomial $x_d(t)$ son seleccionados como $\gamma_1 = 252$, $\gamma_2 = 1050$, $\gamma_3 = 1800$, $\gamma_4 = 1575$, $\gamma_5 = 700$, $\gamma_6 = 126$.

Desarrollando el polinomio, queda:

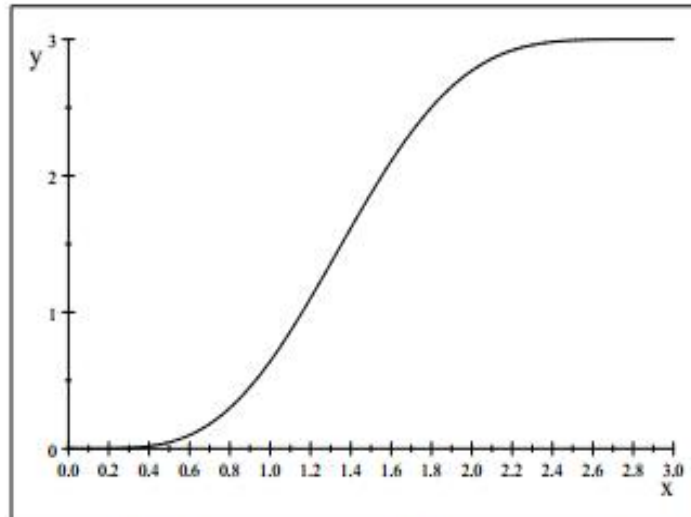
$$\begin{aligned} x_d(t) &= x_i + (x_f - x_i) (\gamma_1 - \gamma_2 \mu_p + \gamma_3 \mu_p^2 - \gamma_4 \mu_p^3 + \gamma_5 \mu_p^4 - \gamma_6 \mu_p^5) \mu_p^5 \\ x_d(t) &= x_i + (x_f - x_i) (\gamma_1 \mu_p^5 - \gamma_2 \mu_p^6 + \gamma_3 \mu_p^7 - \gamma_4 \mu_p^8 + \gamma_5 \mu_p^9 - \gamma_6 \mu_p^{10}) \\ \mu_p &= \frac{t - t_i}{t_f - t_i} \end{aligned}$$

$$x_d(t) = x_i + (x_f - x_i) \left(\gamma_1 \left(\frac{t - t_i}{t_f - t_i} \right)^5 - \gamma_2 \left(\frac{t - t_i}{t_f - t_i} \right)^6 + \gamma_3 \left(\frac{t - t_i}{t_f - t_i} \right)^7 - \gamma_4 \left(\frac{t - t_i}{t_f - t_i} \right)^8 + \gamma_5 \left(\frac{t - t_i}{t_f - t_i} \right)^9 - \gamma_6 \left(\frac{t - t_i}{t_f - t_i} \right)^{10} \right)$$

Si las constantes están definidas como: $\gamma_1 = 252$, $\gamma_2 = 1050$, $\gamma_3 = 1800$, $\gamma_4 = 1575$, $\gamma_5 = 700$, $\gamma_6 = 126$.

Graficar en Simulink, el polinomio de Bezier de décimo orden, para: $t_i = 0$, $t_f = 5$, $x_i = 0$, $x_f = 3$.

$$x_d = x_i + (x_f - x_i) \left(252 \frac{(t - t_i)^5}{(t_f - t_i)^5} - 1050 \frac{(t - t_i)^6}{(t_f - t_i)^6} + 1800 \frac{(t - t_i)^7}{(t_f - t_i)^7} - 1575 \frac{(t - t_i)^8}{(t_f - t_i)^8} + 700 \frac{(t - t_i)^9}{(t_f - t_i)^9} - 126 \frac{(t - t_i)^{10}}{(t_f - t_i)^{10}} \right)$$



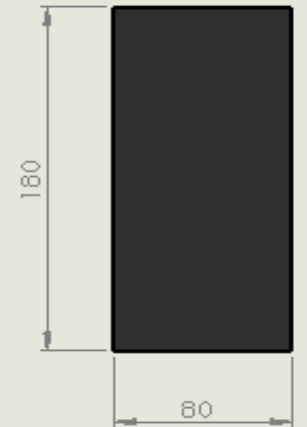
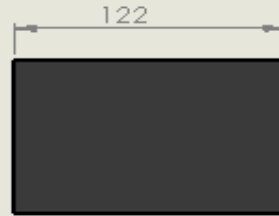
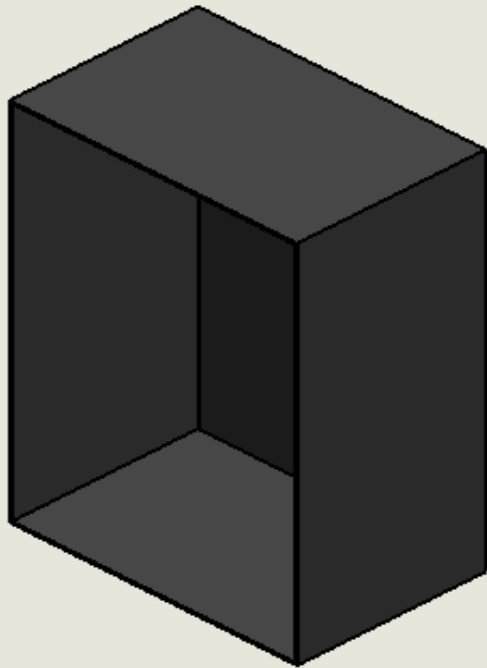
$$(s^2 + 2abs + b^2)(s + c) = b^2s + cb^2 + 2abs^2 + 2acbs + s^3 + cs^2 = s^3 + 9.4s^2 + 44.4s + 36$$

$$a = 0.7$$

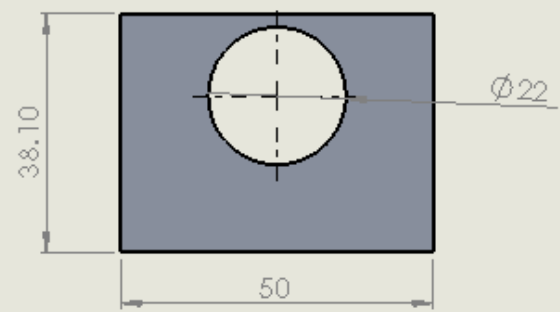
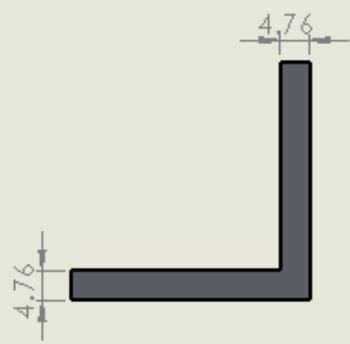
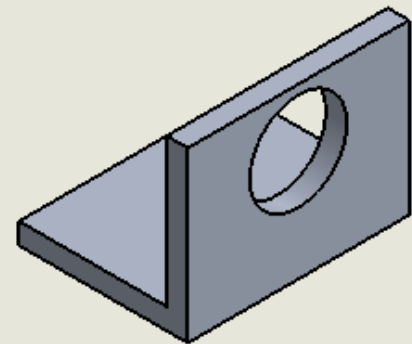
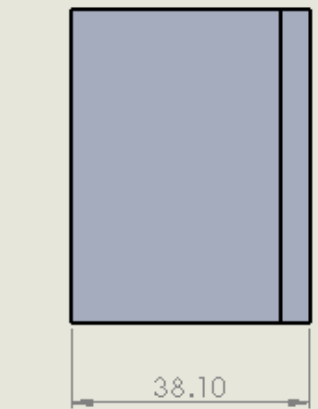
$$b = 6$$

$$c = 1$$

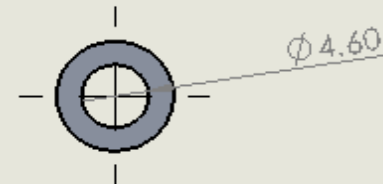
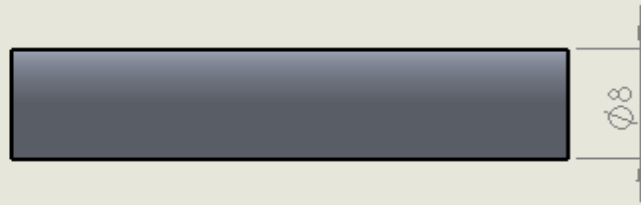
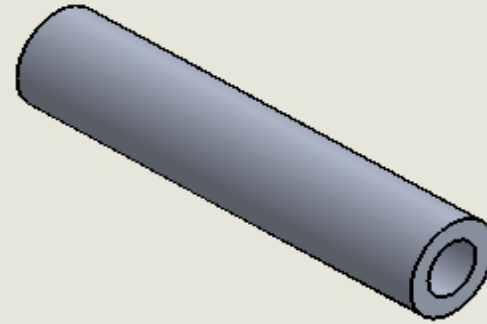
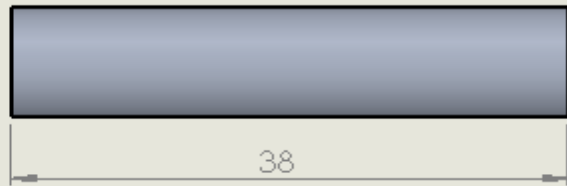
Planos



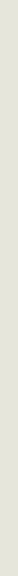
Diseñador: Rodríguez Arce Julian Darío		Nombre de la pieza CABINA	
Empresa: Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico		Masa: 492.46g	N.º de dibujo: 1
<p>SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: POLTRAFACIAS: TIRAS: ANGULAR:</p>	Material: Hierro	Fecha: 01/12/2014	
	Escala: 1:3		
	Tamaño: A4		



Diseñador: Rodríguez Arce Julian Darío		Nombre de la pieza: SOPORTE PARA RODAMIENTO	
Empresa: Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico		Masa: 41.04g	N.º de dibujo: 2
<p>SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADOS SUPERFICIALES: TOLERANCIAS: LINEAS: ANGULOS:</p>	Material: Aluminio	Fecha: 01/12/2014	
	Escala: 1:1	<p>Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico</p>	
	Tamaño: A4		



Diseñador: Rodríguez Arce Julian Darío		Nombre de la pieza: Eje	
Empresa: Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico		Masa: 3.45g	N.º de dibujo: 3
	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAS: ANCHURAS:	Material: Aluminio	Fecha: 01/12/2014
		Escala: 2:1	
		Tamaño: A4	



Diseñador:
Rodríguez Arce Julian Darío

Empresa:
Centro Nacional de Investigación
y Desarrollo Tecnológico



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAS:
 ANCHURAS:

Nombre de la pieza
Guía

Masa: 539.8g

N.º de dibujo: 4

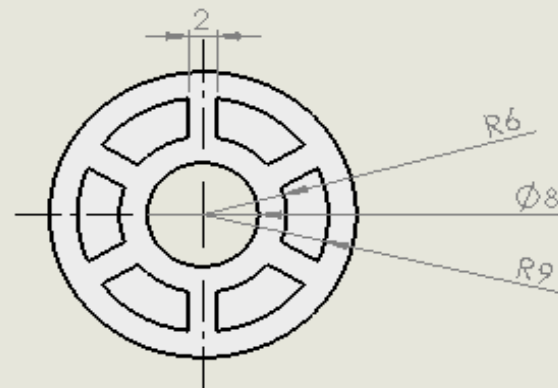
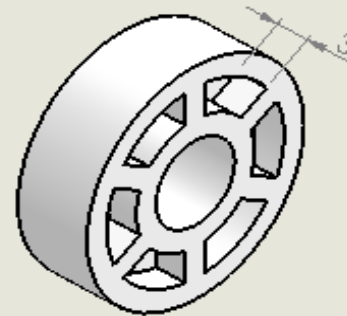
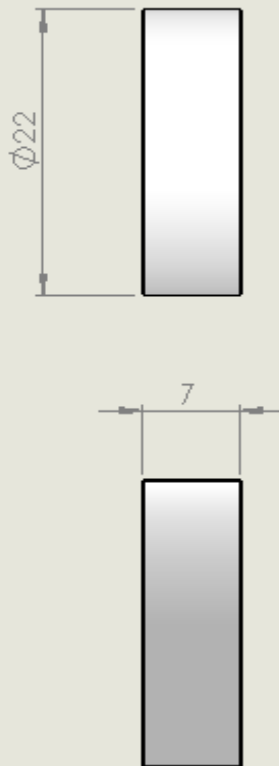
Material: Acero

Fecha: 01/12/2014

Escala: 1:10

Tamaño: A4





Diseñador:
 Rodríguez Arce Julian Darío

Empresa:
 Centro Nacional de Investigación
 y Desarrollo Tecnológico

Nombre de la pieza
 Rodamiento

Masa: 1.71 g

N.º de dibujo: 5



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAS:
 ANCIJAN:

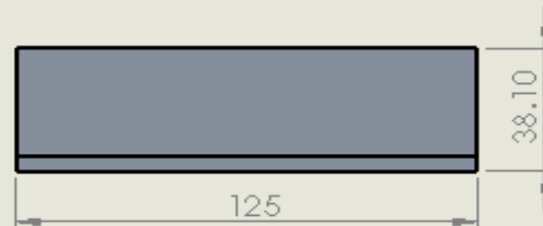
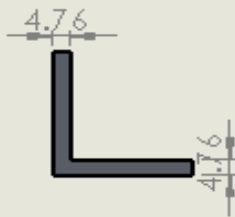
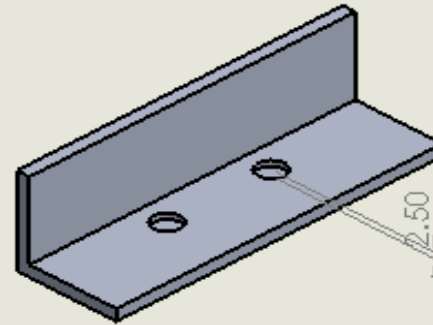
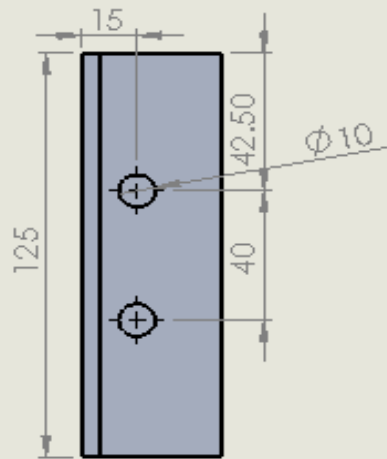
Material: Plastico

Escala: 2:1

Tamaño: A4

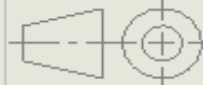
Fecha: 01/12/2014

cenidet
 Centro Nacional de Investigación
 y Desarrollo Tecnológico



Diseñador:
Rodríguez Arce Julian Darío

Empresa:
Centro Nacional de Investigación
y Desarrollo Tecnológico



SIN SEÑALAR CON RAYO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAS:
ANCHURAS:

Nombre de la pieza:
Soporte para Guía

Masa: 113.81g

N.º de dibujo: 6

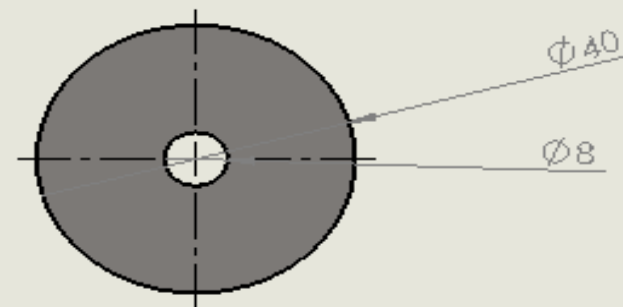
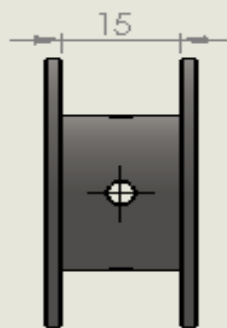
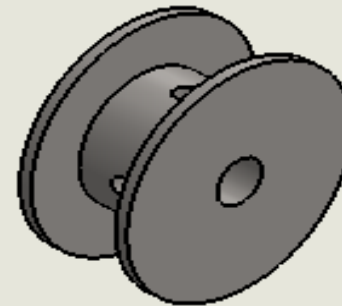
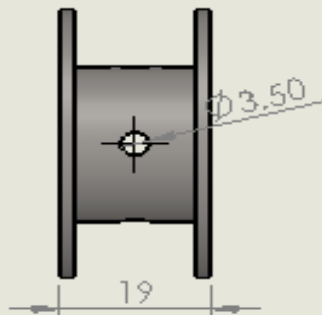
Material: Aluminio



Fecha: 01/12/2014

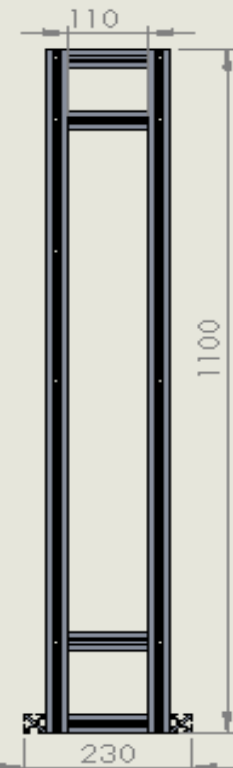
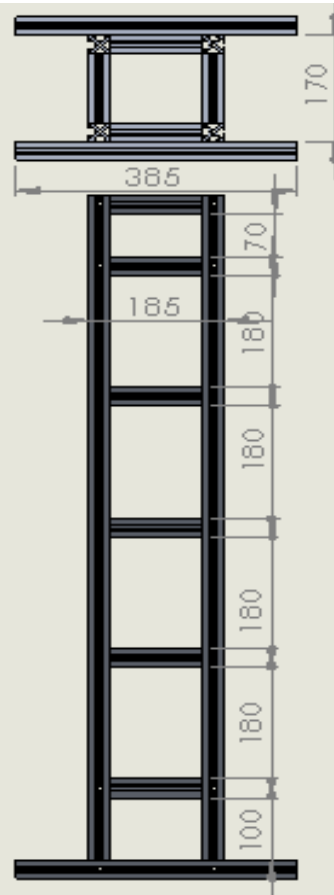
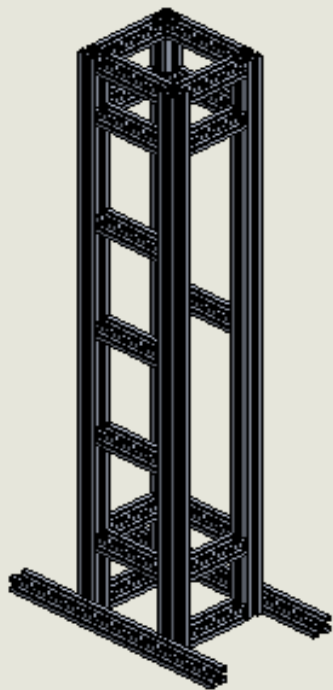
Escala: 1:2

Tamaño: A4

cenidet
Centro Nacional de Investigación
y Desarrollo Tecnológico



Diseñador: Rodríguez Arce Julian Darío		Nombre de la pieza Polea	
Empresa: Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico		Masa: 79.1g	N.º de dibujo: 7
 <p>SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: R0.125Ra0.8 TEXT: ANGULAR:</p>		Material: Acero	Fecha: 01/12/2014
		Escala: 1:1	 <p>cenidet Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico</p>
		Tamaño: A4	



Diseñador:
Rodríguez Arce Julian Darío

Empresa:
Centro Nacional de Investigación
y Desarrollo Tecnológico

Nombre de la pieza
ESTRUCTURA

Masa: 8239.4g

N.º de dibujo: 8



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
A LA BAJO SUPERFICIE
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

Material: Aluminio

Fecha: 01/12/2014

Escala: 1:10

cenidet
Centro Nacional de Investigación
y Desarrollo Tecnológico

Tamaño: A4