

MODELAMIENTO, SIMULACIÓN, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBA DE  
SERVOMECANISMO PARA POSICIONAMIENTO LINEAL DE PLATAFORMA  
BASE DE UN ROBOT SERIAL

ELKIN YESID GRIMALDOS JAIMES  
JUAN CARLOS LEON SALOM

Tesis de Grado para obtener titulo de Ingeniería Mecatrónica

Director  
Ing. CARLOS IVAN PATIÑO GONZALES

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERIA MECATRONICA  
CIENCIAS NATURALES E INGENIERIA  
BUCARAMANGA

2006

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

-----  
Presidente del jurado

-----  
Jurado

-----  
Jurado

Bucaramanga, Mayo 15 de 2006

## DEDICATORIA

De manera muy cariñosa le queremos ofrecer a Dios como primera medida, por darnos la salud y la licencia de vivir, para poder realizarnos como seres humanos. En segunda instancia a nuestras familias, que luchan cada día mas para proporcionarnos bienestar y las posibilidades de estudiar y de ser profesionales para servir al país. A nuestros amigos, que con sus bromas y sus actos hicieron más fácil el camino. A nuestros maestros, que con su trabajo siempre propenden por formarnos integralmente con muchas aptitudes para la vida laboral. En general a todos quienes de una u otra forma sirvieron de fuente de inspiración para la realización de este trabajo.

Con mucho esfuerzo y dedicación de nuestra parte, hemos podido alcanzar las metas propuestas cuando comenzamos nuestra vida estudiantil en la universidad, y hoy día de manera muy especial, brindamos un saludo de cordialidad y agradecimiento a todos aquellos que hicieron parte de este duro pero fructífero trasegar.

Es muy gratificante saber, que nuestro trabajo de grado, contribuirá al desarrollo y la expansión del concepto de la Ingeniería Mecatrónica dentro de la Universidad Autónoma de Bucaramanga y por supuesto dentro del ámbito industrial a nivel local y nacional. Esperamos que la obra sea de su total agrado y que llene sus expectativas con respecto a todos los aspectos que se suscitan dentro de la misma.

## **AGRADECIMIENTOS**

A DIOS, quien siempre nos ha acompañado en los momentos más difíciles y en quien hemos hallado apoyo y paz interior para culminar este trabajo.

A nuestros padres, quienes siempre nos han apoyado para seguir adelante y ver cumplido este sueño.

Queremos muy cordialmente agradecer a la Universidad Autónoma de Bucaramanga por brindarnos el apoyo económico y académico importante para la realización del proyecto.

A los jurados quienes con sus conocimientos dieron viabilidad a la ejecución de este trabajo.

A todos nuestros amigos y todas las personas que nos conocen, hemos terminado una etapa de nuestras vidas, gracias por creer en nosotros.

Al "Ingeniero de la vida" Mauricio Suárez, quien con su esfuerzo proporcionó un soporte indispensable en la consecución de las metas trazadas en el plan de trabajo del proyecto.

<b>1. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>1</b>
1.1 SERVOMECANISMOS DE POSICIONAMIENTO LINEAL.....	1
1.1.1 Configuraciones comunes para mesas de posicionamiento lineal .....	1
1.1.1.1 Unidad Lineal con husillo de rosca trapezoidal.....	3
1.1.1.2 Unidad lineal sin tracción.....	3
1.1.1.3 Unidad lineal con correa dentada .....	4
1.1.1.4 Unidad con cremallera.....	4
1.1.1.5 Unidad lineal de rodamientos perfilados.....	5
1.1.2 Aplicaciones de las Unidades Lineales .....	5
1.2 ELEMENTOS IMPULSORES .....	6
1.2.1 Transmisión.....	6
1.2.2 Sistemas de transmisión .....	6
1.2.3 Diferencias entre sistemas de transmisión.....	8
1.2.3.1 Mecanismos de engranajes.....	8
1.2.3.2 Mecanismos de correas dentadas.....	9
1.2.3.3 Transmisión por piñón y cadena.....	10
1.2.3.4 Mecanismo de tornillo de potencia (Husillo roscado).....	12
1.2.3.5 Diseño y selección del tornillo de potencia o Husillo roscado.....	13
1.3 RODAMIENTOS .....	15
1.4 MATERIALES .....	16
1.4.1 Características de diversos Materiales.....	17
1.4.1.1 Características del Hierro .....	17
1.4.1.2 Características del cobre .....	17
1.4.1.3 Características del aluminio.....	18
1.4.2 Motores y actuadores.....	19
1.4.3 Detección de señales del servomecanismo (Sensores).....	20
1.4.3.1 Codificadores ópticos o <i>encoder</i> .....	21
<b>2. METODOLOGIA DISEÑO MECATRÓNICO DEL SERVOMECANISMO ..</b>	<b>23</b>
<b>3. COMPONENTES MECÁNICOS DEL SERVOMECANISMO .....</b>	<b>26</b>
3.1 Criterio de diseño de transmisión seleccionada .....	26
3.2 Criterio de diseño para selección material del tornillo de potencia.....	26
3.3 Criterio de diseño para selección material de la tuerca.....	30

3.4	MATERIAL SELECCIONADO PARA MONTAJE DE PLACAS BASE .....	32
3.4.1	Criterio de diseño para selección de aluminio centrifugado .....	32
3.4.2	Detalles del montaje .....	33
3.4.2.1	Soportes para placas de aluminio.....	34
3.5	TIPOS DE RODAMIENTOS UTILIZADOS .....	35
3.5.1	Rodamientos perfilados.....	35
3.5.2	Rodamientos de bolas rígidos.....	36
3.6	COMPOSICIÓN DEL CARRO.....	38
3.7	ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL SERVOMECANISMO.....	40
<b>4.</b>	<b>COMPONENTES ELECTRÓNICOS DEL SERVOMECANISMO .....</b>	<b>48</b>
4.1	PLANTA MOTRIZ.....	48
4.1.1	Procedimiento para calcular el motor .....	48
4.2	INTERFAZ DE ADQUISICIÓN DE DATOS DEL SERVOMECANISMO .....	56
4.2.1	Diagrama de bloques .....	56
4.3	DESARROLLO DEL SOFTWARE DE CONTROL DEL SERVOMECANISMO.....	59
4.3.1	Descripción detallada del programa .....	61
4.3.1.1	Variables del programa.....	62
4.4	ESTRATEGIA DE CONTROL .....	72
4.4.1	Criterio de selección del Control On-Off.....	72
4.4.2	Descripción del control implementado.....	73
4.5.1	Introducción.....	74
4.5.2	Cálculos detallados para elementos del puente H .....	75
4.5.3	Optoisoladores .....	77
4.5.4	Transistores NPN y PNP Darlington.....	77
4.5	Explicación del circuito inversor de giro del motor.....	78
4.6	DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL SERVOMECANISMO.....	81
4.7.1	Esquema de funcionamiento del servomecanismo .....	83
<b>5.</b>	<b>ETAPA DE PRUEBAS DEL SERVOMECANISMO .....</b>	<b>86</b>
5.1	Etapa toma de datos.....	86
5.2	Comportamiento del motor .....	89
5.3	Conclusiones de las pruebas.....	90

<b>6. PROPUESTAS PARA TRABAJOS FUTUROS .....</b>	<b>91</b>
6.1 SERVOMECANISMO ENSAMBLADO CON BRAZO ROBOT CON INTERFAZ DE COMUNICACIÓN INTEGRADA DE AMBAS PLATAFORMAS.....	91
6.2 SERVOMECANISMO DE POSICIONAMIENTO LINEAL GUIADO POR RODAMIENTOS LINEALES DE PRECISIÓN .....	92
6.3 INTEGRACIÓN DE LOS FINALES DE CARRERA CON DAQ USB 6009 .....	94
6.4 ESTRATEGIA DE CONTROL PID PARA POSICIÓN.....	94
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>95</b>
CONCLUSIONES.....	95
RECOMENDACIONES .....	97
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>119</b>

## LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 1 FMC DE LA UNICAMP, SP, BRASIL .....	2
FIGURA 2. SISTEMAS MODERNOS DE CÉLULAS FLEXIBLES DE MANUFACTURA .....	2
FIGURA 3. UNIDAD LINEAL CON HUSILLO DE ROSCA TRAPEZOIDAL .....	3
FIGURA 4. UNIDAD LINEAL SIN TRACCIÓN .....	4
FIGURA 5. UNIDAD LINEAL CON CORREA DENTADA.....	4
FIGURA 6. UNIDAD LINEAL CON CREMALLERA .....	5
FIGURA 7. UNIDAD LINEAL DE RODAMIENTOS PERFILADOS.....	5
FIGURA 8. APLICACIONES DE LAS UNIDADES LINEALES .....	6
FIGURA 9. ENGRANAJE DE DIENTES RECTOS .....	9
FIGURA 10. MECANISMO DE TRANSMISIÓN CON CORREA .....	10
FIGURA 11. HUSILLO ROSCADO .....	12
FIGURA 12. NOMENCLATURA DEL TORNILLO DE POTENCIA.....	13
FIGURA 13. TIPOS DE ROSCAS .....	14
FIGURA 14. CODIFICADORES ÓPTICOS ROTACIONALES Y LINEALES. ....	22
FIGURA 15. DISPOSICIÓN DE UN ENCODER ROTACIONAL.....	22
FIGURA 16. ALGORITMO DE DISEÑO MECATRÓNICO .....	23
FIGURA 17. METODOLOGÍA DEL DISEÑO MECATRÓNICO.....	24
FIGURA 18. DIAGRAMA DE FLUJO METODOLOGÍA DE SELECCIÓN DE LA TRANSMISIÓN.....	26
FIGURA 19. CRITERIO DE SELECCIÓN DE LA TRANSMISIÓN.....	27
FIGURA 20. TORNILLO DE POTENCIA O HUSILLO ROSCADO .....	30
FIGURA 21. TUERCA PARA TORNILLO DE AVANCE/ PROCESO DE MAQUINADO.....	31
FIGURA 22. CRITERIO DE SELECCIÓN DEL MATERIAL DE LAS PLACAS .....	32
FIGURA 23. PLACAS DE ALUMINIO CENTRIFUGADO PERFILADAS.....	33
FIGURA 24. SOPORTES DE LAS PLACAS DE ALUMINIO .....	34
FIGURA 25 CRITERIO DE SELECCIÓN DE LOS RODAMIENTOS PERFILADOS .....	35
FIGURA 26. RODAMIENTO PERFILADO A 45° .....	35
FIGURA 27. ALOJAMIENTO DE RODAMIENTOS .....	36
FIGURA 28. RODAMIENTOS DE BOLAS .....	37
FIGURA 29. ENSAMBLE EN PLACA DE TORNILLO DE POTENCIA CON CHUMACERAS.....	38
FIGURA 30. ENSAMBLE DEL CARRO SENCILLO / CON RODAMIENTOS PERFILADOS .....	39
FIGURA 31. VISTA FRONTAL DEL CARRO .....	39
FIGURA 32. DEFORMACIÓN TOTAL DEL SERVOMECANISMO .....	45
FIGURA 33. ESFUERZO EQUIVALENTE (VON MISES) .....	46
FIGURA 34. FACTOR DE SEGURIDAD .....	47
FIGURA 35. DCL RODAMIENTOS EN CONTACTO CON PLACA .....	48
FIGURA 36 TIEMPO DE ACELERACIÓN DEL SISTEMA .....	49
FIGURA 37. DCL SERVOMECANISMO .....	50
FIGURA 38. MOTOR DC TOSHIBA DE IMÁN PERMANENTE CON ESCOBILLAS Y ETAPA DE REDUCCIÓN .....	55
FIGURA 39. SEÑAL DE SALIDA DEL ENCODER DEL MOTOR Y SU CORRECCIÓN .....	56
FIGURA 40. DIAGRAMA DE BLOQUES – METODOLOGÍA DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS .....	56
FIGURA 41. ACONDICIONADOR DE SEÑALES DEL SERVOMECANISMO Y ALIMENTACIÓN DE CIRCUITOS INTERNOS.....	58
FIGURA 42. INTERFAZ DE USUARIO .....	60
FIGURA 43. ALGORITMO SIMPLIFICADO PARA EL CONTROL DE GIRO Y UBICACIÓN. ....	61
FIGURA 44. PROTECCIÓN PARA LOS PUERTOS .....	67
FIGURA 45. CONVERSIÓN DE DISTANCIA EN PULSOS Y HABILITACIÓN DE LA VARIABLE DELE.....	68
FIGURA 46. RETARDO, ACTUALIZACIÓN DE LA VARIABLE ULT_DIST Y DETENCIÓN DEL WHILE.....	69
FIGURA 47. MODO SECUENCIA, LECTURA DEL VECTOR J Y COMPARACIÓN .....	69
FIGURA 48. CONVERSIÓN DE DISTANCIA A PULSOS, INCREMENTO DE J Y HABILITACIÓN DE DELE .....	71
FIGURA 49 DIAGRAMA DE BLOQUE DEL CONTROL ON OFF .....	72

FIGURA 50. BRECHA DIFERENCIAL.....	73
FIGURA 51 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SERVOMECANISMO.....	73
FIGURA 52. ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL FUNCIONAMIENTO DEL PUENTE H .....	78
FIGURA 53 CIRCUITO CONTROL DE GIRO (PUENTE H) .....	79
FIGURA 54 MALLAS DE LOS CÁLCULOS DE LAS RESISTENCIAS DE BASE. ....	80
FIGURA 55. ENSAMBLE FÍSICO DEL SERVOMECANISMO .....	82
FIGURA 56. FUENTE ALIMENTACIÓN Y CIRCUITO DE CONTROL DE GIRO EN CAJA DE ACRÍLICO .....	83
FIGURA 57. ALGORITMO DE FUNCIONAMIENTO DEL SERVOMECANISMO.....	83
FIGURA 58 GRÁFICAS DEL COMPORTAMIENTO DEL MOTOR.....	89
FIGURA 59. TUBOS MACIZOS CON RODAMIENTOS LINEALES DE PRECISIÓN LARGOS Y CORTOS .....	92
FIGURA 60. CONFIGURACIÓN DE SERVOMECANISMO DE POSICIONAMIENTO LINEAL GUIADO POR RODAMIENTOS DE PRECISIÓN .....	93
FIGURA 61. SOPORTE LARGO PARA RODAMIENTO LINEAL DE PRECISIÓN .....	93
FIGURA 62. CONFIGURACIÓN DEL SERVOMECANISMO Y PERFIL SOPORTE DE LOS TUBOS .....	94

## LISTADO DE TABLAS

TABLA 1. SISTEMAS DE TRANSMISIÓN.....	7
TABLA 2. SENSORES COMÚNMENTE EMPLEADOS PARA DETECCIÓN DE SEÑALES .....	21
TABLA 3. PROPIEDADES TÍPICAS DEL ACERO ESTRUCTURAL 1020.....	28
TABLA 4. RECOMENDACIONES DE MATERIALES.....	29
TABLA 5. ESPECIFICACIONES DEL FABRICANTE PARA RODAMIENTOS CON SOPORTE .....	37
TABLA 6. LISTADO E PIEZAS SOMETIDAS AL ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS.....	41
TABLA 7. CARGAS ESTRUCTURALES Y APOYOS ESTRUCTURALES .....	43
TABLA 8. COEFICIENTES DE FRICCIÓN DE DIFERENTES MECANISMOS TORNILLO-TUERCA.....	52
TABLA 9. DATOS DE PRUEBAS DEL SERVOMECANISMO .....	87

## LISTADO DE ANEXOS

ANEXO 1.....	100
ANEXO 2.....	103
ANEXO 3.....	105
ANEXO 4.....	110
ANEXO 5.....	111

# **1. MARCO TEÓRICO**

## **1.1 SERVOMECANISMOS DE POSICIONAMIENTO LINEAL**

En este capítulo, se hace un resumen sobre los sistemas de posicionamiento lineal comúnmente usados. Se enumeran y describen las otras configuraciones, con el fin de que el lector pueda conocer las diferencias entre ellas y comprarlas con el sistema desarrollado.

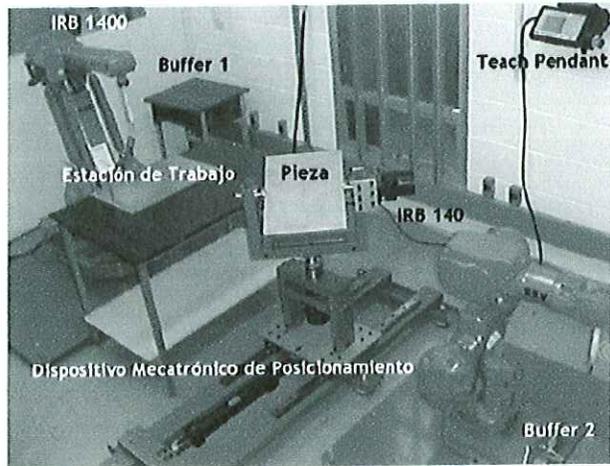
Como componente de la célula flexible de manufactura FMC, el servomecanismo a desarrollar es un dispositivo mecatrónico que posiciona longitudinalmente un brazo robot para aumentar su flexibilidad de operación.

### **1.1.1 Configuraciones comunes para mesas de posicionamiento lineal**

Los sistemas productivos actuales deben condicionarse para ser competitivos dentro de un mercado con crecientes exigencias en diversificación, selección y adquisición de bienes de consumo. Con esta finalidad se presentan los sistemas de posicionamiento lineal, cuyas configuraciones usuales, sirven en muchas aplicaciones dentro de los sistemas productivos. Se pueden instalar de diversas formas, aumentando la rapidez de un proceso repetitivo o una labor reprogramable.

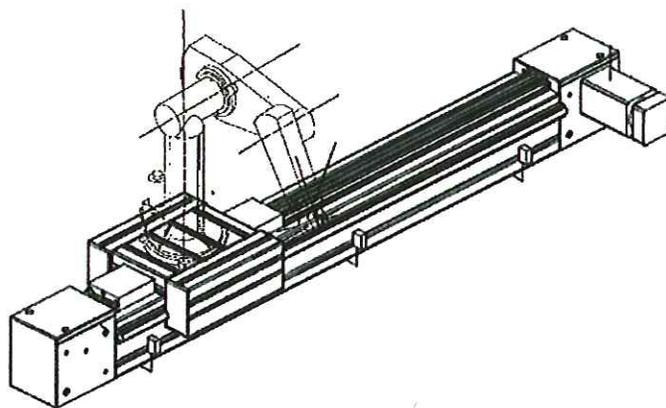
De esta forma, el lector podrá establecer un cuadro comparativo entre las configuraciones presentadas como estado del arte en la materia y la desarrollada durante el proyecto de grado.

Figura 1 FMC DE LA UNICAMP, SP, BRASIL



Sistemas como el mostrado en la figura 1, se toma como referencia para establecer un punto de comparación. Esta célula flexible de manufactura se encuentra instalada en la Universidad Estatal de Campinas UNICAMP, en el Estado de San Pablo, Brasil. Dentro de este laboratorio se pueden realizar prácticas con los brazos robots, mientras que la mesa de posicionamiento lineal sirve como transportador de piezas de un lado a otro.

Figura 2. Sistemas modernos de células flexibles de manufactura



Los servomecanismos de posicionamiento lineal existen muchas configuraciones mecánicas adecuados, estableciéndose diferencias solo en la tarea que deban

ejecutar. Teniendo en cuenta la sincronización entre los componentes mecánicos y electrónicos, se puede llegar a acoplar un buen servomecanismo que sea apto en diversas aplicaciones. Dentro de las configuraciones más conocidas se describen las siguientes.

#### 1.1.1.1 Unidad Lineal con husillo de rosca trapezoidal<sup>1</sup>

El cuerpo de la unidad consiste en un perfil de aluminio con unas ranuras por donde circulan guías de fricción. Las guías son regulables y no tienen holgura respecto al perfil. La rotación del husillo se transforma en el movimiento lineal del carro. La construcción permite regular la posición del carro respecto a la tuerca, la cual proporciona una perfecta sincronización para sistemas compuestos.

Figura 3. Unidad Lineal con husillo de rosca trapezoidal

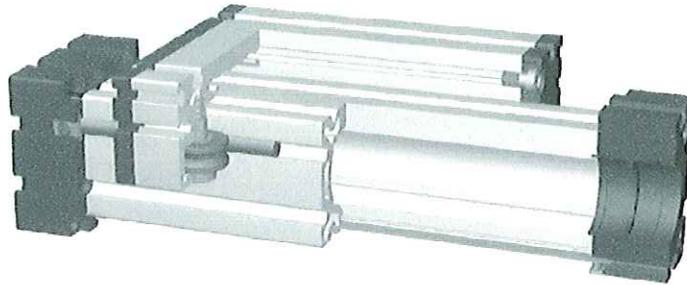


#### 1.1.1.2 Unidad lineal sin tracción

El cuerpo de la unidad consiste en un perfil de aluminio con unas barras calibradas de acero. El carro incorpora los rodamientos perfilados que estas precargados y no tienen holgura respecto al perfil. De esta manera se forma un conjunto para el soporte y el desplazamiento de varias cargas con cualquier tipo de accionamiento.

<sup>1</sup> [http://www.bahr-modultechnik.de/ES/PDF/egt\\_egk.pdf](http://www.bahr-modultechnik.de/ES/PDF/egt_egk.pdf)

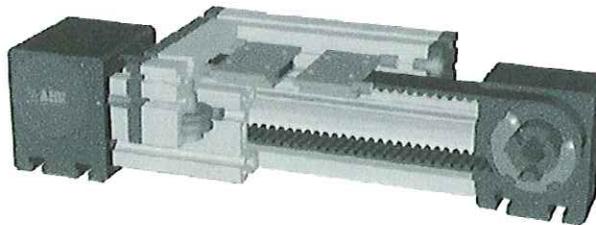
Figura 4. Unidad Lineal sin tracción



### 1.1.1.3 Unidad lineal con correa dentada

El cuerpo de la unidad consiste en un perfil de aluminio con unas barras calibradas de acero. El carro incorpora los rodamientos perfilados que están precargados y no tienen holgura respecto al perfil. La rotación de las poleas se transforma en el movimiento lineal del carro. La construcción permite regular la posición del carro, lo cual proporciona una perfecta sincronización para sistemas compuestos y un ajuste rápido de la correa.

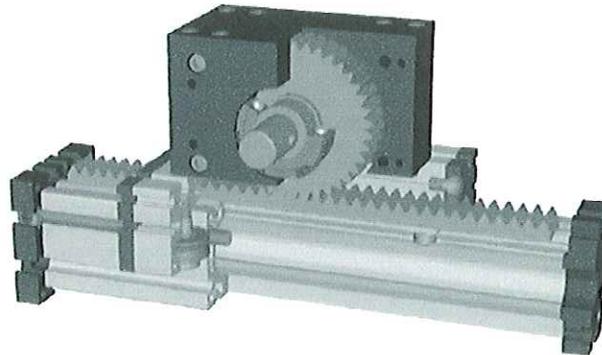
Figura 5. Unidad lineal con correa dentada



### 1.1.1.4 Unidad con cremallera

El cuerpo de la unidad consiste en un perfil de aluminio con unas barras calibradas de acero. El carro incorpora los rodamientos perfilados que están precargados y no tienen holgura respecto al perfil. La rotación del piñón sobre la cremallera se convierte en el movimiento lineal del carro.

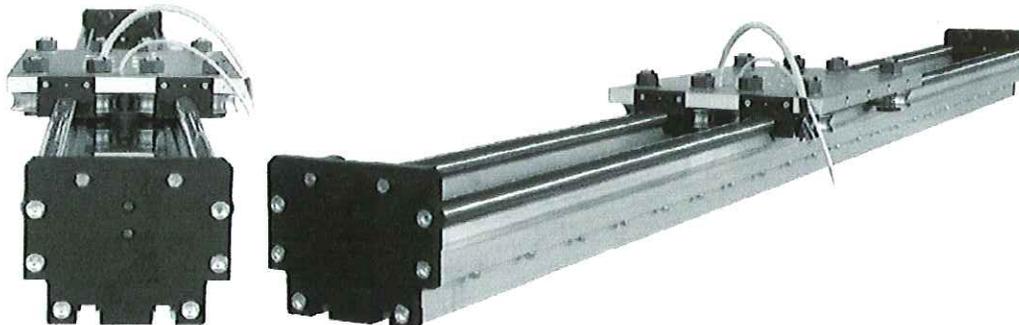
Figura 6. Unidad lineal con cremallera



#### 1.1.1.5 Unidad lineal de rodamientos perfilados

Este tipo de unidad se apoya en una placa con unas barras calibradas de acero. El carro tiene unos rodamientos perfilados precargados guiados sobre las barras de acero, lo cual lo hace desplazarse linealmente sobre toda la placa.

Figura 7. Unidad lineal de rodamientos perfilados

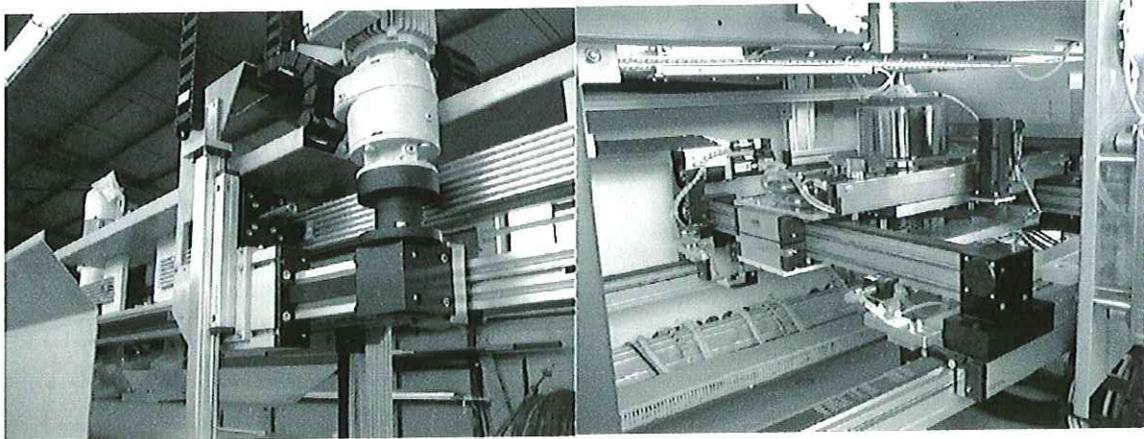


#### 1.1.2 Aplicaciones de las Unidades Lineales

Como se puede observar, en las grandes fabricas e industrias se pueden instalar guías lineales de diferentes configuraciones para realizar diversas tareas. En la figura 7 se detalla un montaje de estas unidades. Existen unidades sencillas o compuestas como las de la figura 8, las cuales aumentan los espacios de trabajo y

las prestaciones de estos sistemas. Su fuente de energía puede ser eléctrica, neumática o hidráulica.

Figura 8. Aplicaciones de las Unidades Lineales



## 1.2 ELEMENTOS IMPULSORES <sup>2</sup>

### 1.2.1 Transmisión

En esta sección se describirán las distintas configuraciones mecánicas existentes para transmitir de la manera más adecuada los movimientos que se requieren en el servomecanismo. Se presentan las principales ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

### 1.2.2 Sistemas de transmisión

Las transmisiones son los elementos encargados de transferir el movimiento. Dado que un servomecanismo se mueve con velocidades constantes y sin cambios bruscos en la aceleración, es de gran importancia reducir al máximo su

---

<sup>2</sup> Ollero, A, Robótica: Manipuladores y robots móviles

momento de inercia para hacer mas preciso el sistema. Del mismo modo, los pares estáticos que debe vencer el actuador dependen directamente de la distancia de las masas al actuador. Por estos motivos se procura que los actuadores, por lo general pesados, no perturben la funcionalidad del sistema ubicándolos en sitios estratégicos dentro de la estructura. Esta circunstancia obliga a utilizar sistemas de transmisión que trasladen el movimiento desde la planta motriz hasta el lugar de desplazamiento. Así mismo, las transmisiones pueden ser utilizadas para convertir movimiento circular en lineal o viceversa, lo que en ocasiones puede ser necesario.

Un buen sistema de transmisión debe cumplir una serie de características básicas: debe tener un tamaño y peso reducido, se ha de evitar que presente juegos, holguras o tolerancias considerables, y se deben buscar transmisiones con un gran rendimiento y prestancia.

Aunque no existe un sistema de transmisión específico para servomecanismos lineales, sí existen algunos usados con mayor frecuencia y que se recogen clasificados en la Tabla 1. La clasificación se ha realizado con base al tipo de movimiento posible en la entrada y la salida: lineal o circular.

Tabla 1. Sistemas de transmisión.

<b>Entrada - Salida</b>	<b>Denominación</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Inconvenientes</b>
Circular - Circular	Engranaje	Pares Altos	Holguras
	Correa Dentada	Distancia Grande	-
	Cadena	Distancia Grande	Ruido
	Paralelogramo	-	Giro Limitado
	Cable	-	Deformabilidad
Circular – Lineal	Tornillo Sin Fin	Poca Holgura	Rozamiento
	Cremallera	Holgura Media	Rozamiento
Lineal – Circular	Panel Articulado	-	Control Dificil
	Cremallera	Holgura Media	Rozamiento

Las transmisiones más habituales son aquellas que cuentan con movimiento circular tanto en la entrada como a la salida. Incluidas en éstas se hallan los engranajes, las correas dentadas, las cadenas, los husillos roscados, entre otras.

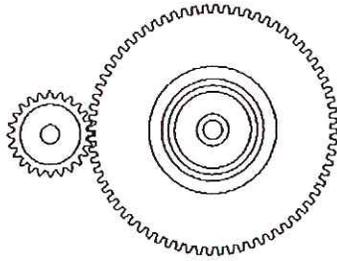
### **1.2.3 Diferencias entre sistemas de transmisión**

En esta sección, presentamos una comparación entre los diferentes mecanismos de transmisión. Su explicación parte desde el punto de vista de que existe un eje conductor que es el que transmite el movimiento al eje conducido. Se diseñan de tal manera que las velocidades angulares y los momentos de torsión sean los deseados; esto lo da la relación de transmisión. Otros aspectos importantes son los materiales, condiciones ambientales, vida útil, costos, accesibilidad, prestancia y facilidad de utilización.

#### **1.2.3.1 Mecanismos de engranajes**

Los engranajes son ruedas dentadas empleadas para transmitir movimiento giratorio o alternativo entre dos ejes separados, su limitación es la distancia de separación de los ejes. Uno de sus usos más significativos es reducir o multiplicar la velocidad en un eje, esto se realiza mediante el acople de varios engranajes, conocidos también como reductores o amplificadores respectivamente. Un conjunto de dos o más engranajes que transmite el movimiento de un eje a otro se denomina tren de engranajes. Los engranajes se utilizan sobre todo para transmitir movimiento giratorio, pero usando engranajes apropiados y piezas dentadas planas pueden transformar movimiento alternativo en giratorio y viceversa.

Figura 9. Engranaje de dientes rectos



Del Autor

### 1.2.3.2 Mecanismos de correas dentadas

Entre los medios de transmisión convencionales, las correas constituyen un sistema de transmisión flexible y simple que lo hacen recomendable y ventajosa en muchas aplicaciones industriales. Su funcionamiento es parecido a los mecanismos de cadenas excepto por el elemento de acople de los ejes, para acoplar los ejes se utiliza una correa que normalmente es de un material flexible, y se utilizan poleas como elementos de acople de las correas. Este mecanismo permite que los ejes se enfrenten a diferentes ángulos debido a la flexibilidad de la correa.

Sus principales ventajas son:

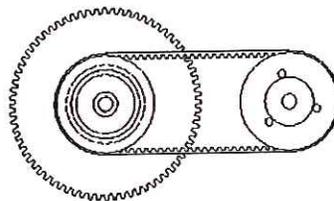
- Funcionamiento silencioso.
- Absorber debidamente los efectos vibratorios y pulsatorios generados por el funcionamiento irregular bien sea de la máquina motriz o de la receptora.
- No requiere lubricación, por tanto su mantenimiento es mínimo.
- Se puede transmitir movimiento a ejes paralelos, a ejes que se cruzan y a ejes que se interceptan.
- Se puede transmitir desde potencias muy pequeñas hasta potencias de gran consideración.

- Facilidad de adoptar distancias entre ejes dentro de cierto rango.
- La eficiencia puede considerarse de un 96% a un 98% si la selección de la correa y el montaje son adecuados.

Sus principales inconvenientes son:

- Implica mayores desventajas constructivas.
- Puede producir resbalamiento, siendo mas pronunciado este problema en correas planas.
- Con el trabajo realizado sufren alargamiento, que de no ser tensionadas, la potencia descenderá considerablemente.
- Las correas sufren variaciones por efectos de la temperatura y humedad.
- El coeficiente de fricción se altera con el uso, la suciedad, la humedad y otros factores.

Figura 10. Mecanismo de transmisión con correa



Del Autor

### 1.2.3.3 Transmisión por piñón y cadena

Las cadenas constituyen un sistema de transmisión flexible que en muchas situaciones resulta una solución ventajosa. Las cadenas en general se clasifican en:

- Cadenas para elevación
- Cadenas transportadoras
- Cadenas de transmisión

Una de las cadenas más comunes son las de transmisión y se dividen de la siguiente forma:

- Cadenas de rodillos y de manguitos
- Cadenas de dientes invertidos o cadenas silenciosas

Sus principales ventajas son:

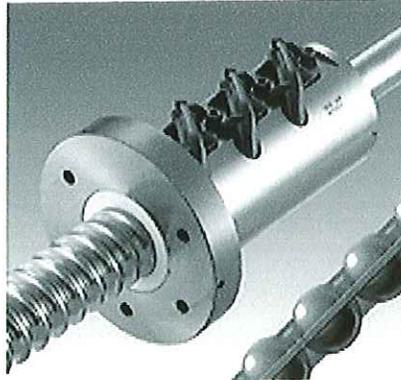
- Se emplean para transmitir potencia entre árboles paralelos, en la misma o en opuesta dirección de giro.
- Puede accionar varios árboles por medio de una sola cadena a condición, de que todas las ruedas, estén en un mismo plano y los ejes estén colocados paralelamente.
- Su eficiencia se estima entre el 97% y 98%.
- No presenta deslizamiento.

Sus principales inconvenientes son:

- Su costo es mayor al de las correas pero inferior al de los engranajes.
- La transmisión es ruidosa (la de rodillos y la de manguito).
- Exige lubricación para su correcto funcionamiento.
- La vida es limitada.
- Con el uso se desgasta alterando el paso.

#### 1.2.3.4 Mecanismo de tornillo de potencia (Husillo roscado)<sup>3</sup>

Figura 11. Husillo roscado



Este sistema de transmisión se emplea generalmente para convertir movimiento circular en movimiento lineal. Sus características se resumen así:

- Transmiten potencia entre ejes paralelos.
- Requieren poco espacio para obtener relaciones de velocidad altas.
- Su funcionamiento es relativamente silencioso.
- A mayor relación de velocidad hay menor eficiencia.
- Como los filetes del tornillo se deslizan sobre los filetes de la tuerca su roce puede causar calentamiento que puede ser alto.
- Se obtiene una ventaja mecánica mayor con el objeto, por ej. De levantar pesos (Ej.: gatos del tipo de tornillo de los automóviles)
- Ejerce fuerzas de gran magnitud; como en los casos de los compactadores o prensas.
- Sirve para obtener un posicionamiento preciso de un movimiento axial, como en el tornillo de un micrómetro o en el tornillo de avance de un torno.

<sup>3</sup> <http://www.thk.de/pdf/HBN-E.pdf>

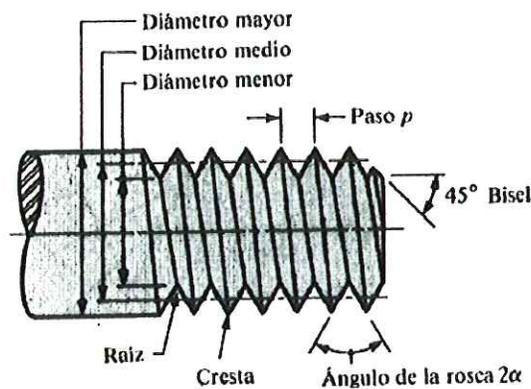
### 1.2.3.5 Diseño y selección del tornillo de potencia o Husillo roscado<sup>4</sup>

Para el diseño y la selección de los tornillos de potencia es importante tener en cuenta la siguiente terminología:

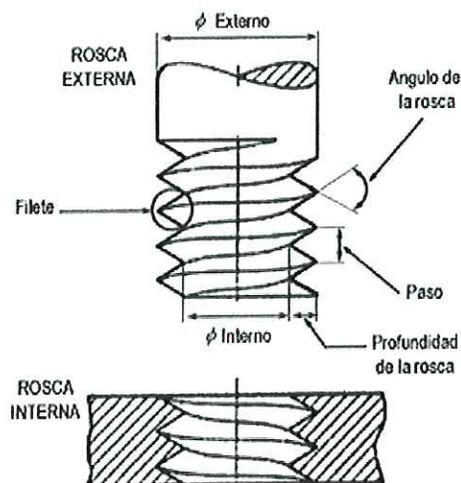
- $p$ , *paso*: distancia entre dos hilos adyacentes
- $l$ , *avance*: distancia que avanza una tuerca cuando se le da una vuelta. Hay roscas dobles y triples, con las cuales se avanza dos o tres veces el paso respectivamente.

En la figura 12 se muestra en detalle la nomenclatura de las partes que conforman un tornillo de potencia.

Figura 12. Nomenclatura del tornillo de potencia

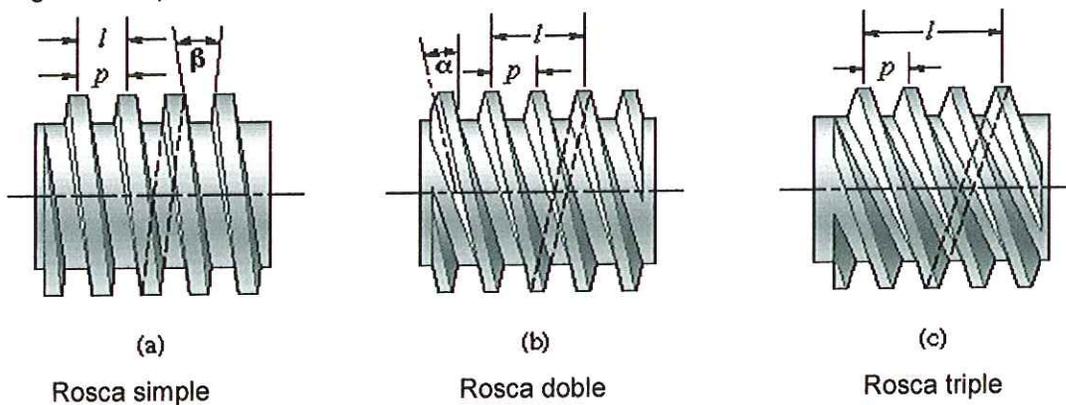


<sup>4</sup> [www.fing.edu.uy/iimpi/dptos/disenio/cursos/dm04/Tornillos%20de%20Potencia.pdf](http://www.fing.edu.uy/iimpi/dptos/disenio/cursos/dm04/Tornillos%20de%20Potencia.pdf)



Debido a que se les diseña para ejercer fuerza con ventaja mecánica, las roscas son algo diferentes de las que se emplean en los tornillos de sujeción. Se pueden tener tornillos de varias roscas a la vez, esto para cumplir con la necesidad de tener un avance más rápido.

Figura 13. Tipos de roscas



a) *Rosca cuadrada (Sellers)*: Es el tipo de tornillo más eficiente en cuanto a fricción por deslizamiento pero tiene ventaja mecánica baja, es difícil y cara de máquinas.

b) *Rosca ACME*: Primer tipo de roscas utilizadas en general para máquinas herramientas. Clases de ajustes: 2G, 3G y 4G.

c) *Rosca trapezoidal*: Diseñada para resistir cargas en una sola dirección y es más resistente que las demás porque el espesor de raíz es mayor. Eficiencia similar a la de la rosca Sellers, fácil de cortar y fabricar a costos razonables.

d) *Rosca cuadrada modificada*: Más fácil de maquinarse y posee la misma eficiencia que la Sellers.

e) *ACME truncada*: aplicaciones donde, debido al tratamiento térmico se necesita paso grande con rosca poco profunda. Ajuste 2G para propósitos generales.

### 1.3 RODAMIENTOS <sup>5</sup>

Los rodamientos son unos elementos de maquinaria, relativamente robustos y de larga duración, especialmente si están montados correctamente y se cuidan bien. La importancia del lubricante y las obturaciones no se debe subestimar. Para que un rodamiento pueda funcionar a rendimiento pleno, debe estar lubricado adecuadamente y protegido contra la corrosión y la entrada de contaminantes. La limpieza tiene una gran influencia sobre la vida útil de un rodamiento.

Para diseñar una disposición de rodamientos es necesario seleccionar un tipo de rodamiento adecuado y determinar un tamaño de rodamiento adecuado.

Pero eso no es todo. Se deben tener en cuenta otros aspectos, como:

- Que la forma y el diseño de los demás componentes de la disposición sean adecuados
- Que los ajustes y el juego interno o la precarga del rodamiento sean apropiados

---

<sup>5</sup> <http://www.bwc.com/html/dualvee.html>

- Los mecanismos de fijación
- Las obturaciones apropiadas
- El tipo y la cantidad de lubricante
- Los métodos de montajes y de desmontajes utilizados, etc.

Cada decisión individual influye sobre el rendimiento, la fiabilidad y el coste de la disposición de rodamientos. En este proyecto se utilizaron dos tipos de rodamientos.

Los rodamientos rígidos de bolas, y unos rodamientos perfilados de fabricación propia, adecuados para la necesidad del servomecanismo. Al respecto se estará tratando en la sección que corresponde a la descripción técnica del sistema.

#### **1.4 MATERIALES <sup>6</sup>**

Los materiales son sustancias de las que cualquier cosa está compuesta o hecha. Podemos encontrar materiales en cualquier lugar de nuestro entorno ya que cualquier cosa está hecha a partir de ellos. Para nuestro interés nos referiremos a los materiales metálicos, los cuales le dan robustez y vitalidad al servomecanismo.

Los materiales metálicos son sustancias inorgánicas que están formadas por uno o más elementos metálicos y pueden contener materiales no metálicos. Ejemplos de materiales metálicos son: Hierro, cobre y aluminio.

A continuación se presentará un paralelo entre las propiedades de cada uno de estos materiales, los cuales son de fácil consecución en el mercado local y aunque representan buena cantidad de las opciones disponibles, su aplicabilidad se encuentra restringida por muchos factores.

---

<sup>6</sup> Smith F. William. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales.

## **1.4.1 Características de diversos Materiales**

### **1.4.1.1 Características del Hierro**

El Hierro, debido a su abundancia y a sus propiedades químicas, se ha convertido en uno de los metales más usados en la civilización actual. También, el hierro se puede combinar con otros metales para formar nuevos compuestos con diferentes propiedades, denominados aleaciones.

El hierro comercial contiene invariablemente pequeñas cantidades de carbono y otras impurezas que alteran sus propiedades físicas, pero éstas pueden mejorarse considerablemente añadiendo más carbono y otros elementos de aleación. La mayor parte del hierro se utiliza en formas sometidas a un tratamiento especial, como el hierro forjado, el hierro colado y el acero. Comercialmente, el hierro puro se utiliza para obtener láminas metálicas galvanizadas y electroimanes.

### **1.4.1.2 Características del cobre**

Elemento pesado de color rojo pardo, brillante, maleable y dúctil. Más pesado que el níquel y mas duro que el oro y la plata. Los usos del cobre, tanto industriales como domésticos, están condicionados por algunas de sus propiedades.

- Su elevada conductividad eléctrica permite su empleo en aplicaciones eléctricas: cables, hilos, piezas varias de aparatos eléctricos, etc.
- Su elevada conductividad térmica, siendo el segundo mejor, después de la plata, conduciendo el calor y la electricidad, permite su utilización en utensilios domésticos (cacerolas, calderos), en la industria de la alimentación y química (alambiques) y en las aplicaciones de equipos térmicos (intercambiadores, depósitos, refrigeradores, radiadores).

- La facilidad con que se trabaja lo hace muy buscado, tanto para embutición como para la unión por auto soldadura o por soldadura con estaño.
- Su resistencia a la corrosión atmosférica normal, debida a la formación de una capa protectora impermeable a base de carbonato básico de cobre (cardenillo) hace que se utilice para recubrimientos de techumbres o en canalizaciones de agua.

#### 1.4.1.3 Características del aluminio<sup>7</sup>

Las propiedades mecánicas o propiedades de resistencia mecánica sirven en la mayoría de los casos como base para dictaminar sobre un material metálico, con vistas a un fin de aplicación concreto. A continuación se da un resumen de las propiedades mecánicas más importantes del aluminio no sólo sometido a esfuerzo continuo sino también, oscilante y por golpe.

- **Dureza:** la mayoría de las veces se da en los materiales de aluminio la dureza Brinell, a causa de la sencillez de su determinación. los valores de la dureza Brinell se extienden desde HB=15 para aluminio purísimo blando hasta casi HB=110 para AlZnMgCu 1,5 endurecido térmicamente, es decir, aleación 7075. Los valores de la dureza determinados por otros métodos, como el Vickers o el de Knoop, apenas tienen significado práctico en este metal. De vez en cuando se utiliza la microdureza, una variante del método Vickers, para determinar la dureza de capas anodizadas.
- **Resistencia en el ensayo de tracción:** los importantísimos valores característicos que se obtienen en el ensayo de tracción para juzgar las propiedades resistentes de los materiales metálicos en general, son aplicables a los materiales de aluminio. Generalmente estos valores son el límite elástico

---

<sup>7</sup> [html.rincondelvago.com/aluminio.html](http://html.rincondelvago.com/aluminio.html)

0,2%, la resistencia máxima a la tracción, el alargamiento a la rotura, así como la estricción de ruptura.

En general, la resistencia aumenta con el aumento en elementos de aleación. Los dominios de la resistencia en cada aleación surgen, ante todo, como consecuencia de los aumentos de resistencia que se consiguen por deformación en frío o endurecimiento por tratamiento térmico. Los distintos elementos de aleación actúan de modo muy diferente en cuanto al aumento de resistencia.

- **Resistencia a la compresión, a la flexión, al corte y a la torsión:** en los materiales aluminicos se puede admitir que el valor del límite de aplastamiento 0,2% (parámetro de la resistencia a la compresión) es igual al valor del límite elástico 0,2% de tracción. La resistencia a la compresión o el límite de aplastamiento 0,2% tienen importancia principalmente en las piezas sometidas a compresión tales como cojinetes de fricción.

La resistencia al cizallamiento es importante para el cálculo de la fuerza necesaria para el corte y para determinadas construcciones. No existen valores normalizados. Generalmente está entre el 55 y 80 % de la resistencia a la tracción. Casi nunca se determina la resistencia a la torsión, si se considera una distribución lineal de tensiones, puede considerársela igual a la resistencia al cizallamiento.

#### **1.4.2 Motores y actuadores<sup>8</sup>**

Los motores generan las fuerzas o pares necesarios para animar la estructura mecánica. Los actuadores pueden emplear energía neumática, hidráulica o eléctrica. En la actualidad se ha extendido el uso de motores eléctricos, y en especial de motores de corriente continua servo controlados, empleándose en

---

<sup>8</sup> Ollero, A, Robótica: Manipuladores y robots móviles

algunos casos motores paso a paso y otros actuadores electromecánicos sin escobillas.

Cada uno de estos sistemas presenta características diferentes, siendo preciso evaluarlas a la hora de seleccionar el tipo de actuador más conveniente. Las características a considerar son entre otras:

- Potencia
- Facilidad de Control
- Torque
- Peso y volumen
- Precisión
- Velocidad
- Mantenimiento

Las características de control, sencillez y precisión de los accionamientos eléctricos hacen de estos los más usados. Para este proyecto, sólo se usa un motor de DC de imán permanente con escobillas, debido a que todos los movimientos requeridos son de naturaleza angular para transmitirlos al mecanismo de husillo roscado con tuerca.

#### **1.4.3 Detección de señales del servomecanismo (Sensores)<sup>9</sup>**

La detección de señales del sistema se convierte en uno de los aspectos más importantes debido a que por medio de esta vía, se puede recoger de manera electrónica y en tiempo real, todas las señales que describen el comportamiento del servomecanismo, pudiéndose así predecir el funcionamiento del mismo. Para cumplir con este propósito se cuenta con sensores, los cuales son dispositivos de entrada al servomecanismo que permiten tener conocimiento de su estado (sensores internos) y del estado de su entorno (sensores externos). Esta

---

<sup>9</sup> Ollero, A, Robótica: Manipuladores y robots móviles

información es evaluada por el controlador, cuya función es generar una acción de control sobre el actuador.

En la tabla 2 se resumen los sensores comúnmente empleados, para obtener información de posición de los sistemas de posicionamiento lineal.

Tabla 2. Sensores comúnmente empleados para detección de señales

<b>Posición</b>	<b>Analógicos</b>	Potenciómetros
		Resolver
		Sincro
		LVDT
	<b>Digitales</b>	Encoder Absolutos
		Encoder Incrementales
		Regla Óptica

#### 1.4.3.1 Codificadores ópticos o *encoder*<sup>10</sup>

El encoder o codificadores ópticos incrementales, convierten un desplazamiento rotacional en una señal digital sin necesidad de un convertidor analógico - digital. La medida del desplazamiento se realiza contando las interrupciones del haz de luz que es interferido por un disco perforado.

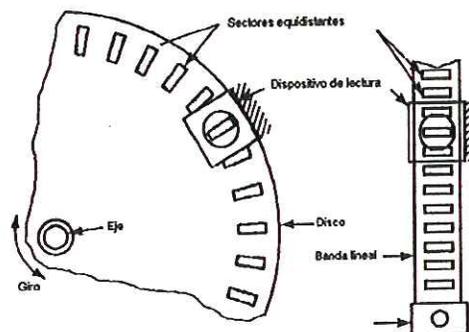
Los codificadores ópticos constan, en su forma más simple, de un disco transparente con una serie de marcas opacas colocadas radialmente y equidistantes y entre sí; de un sistema de iluminación en el que la luz es colimada de forma correcta, y de un elemento fotorreceptor. El eje cuya posición se quiere medir va acoplado al disco transparente. Con esta disposición, a medida que el eje gire se van generando pulsos en el receptor cada vez que la luz atraviese cada

<sup>10</sup>Barrientos Antonio. Fundamentos de Robótica

marca, y llevando una cuenta de estos pulsos es posible conocer la posición del sistema.

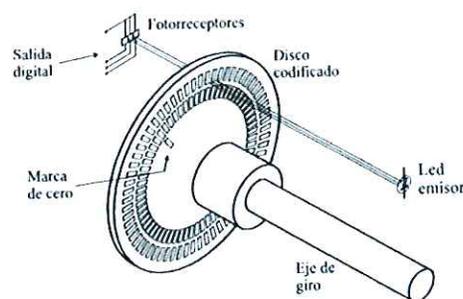
En los encoders, existe sin embargo el problema de no saber si en un momento dado se está realizando giro en un sentido o en otro, con el peligro que supone no estar contando adecuadamente. Una solución a este problema consiste en disponer de otra franja de marcas, desplazada de la anterior de manera que el tren de pulsos que con ella se genere esté desplazado 90° eléctricos con respecto al generado por la primera franja. De esta manera, con un circuito relativamente sencillo es posible obtener una señal adicional que indique cuál es el sentido de giro, y que actúe sobre el contador correspondiente indicando el incremento o decremento de la cuenta que se esté realizando.

Figura 14. Codificadores ópticos rotacionales y lineales.



Ollero, A, Robótica: Manipuladores y robots móviles

Figura 15. Disposición de un encoder rotacional

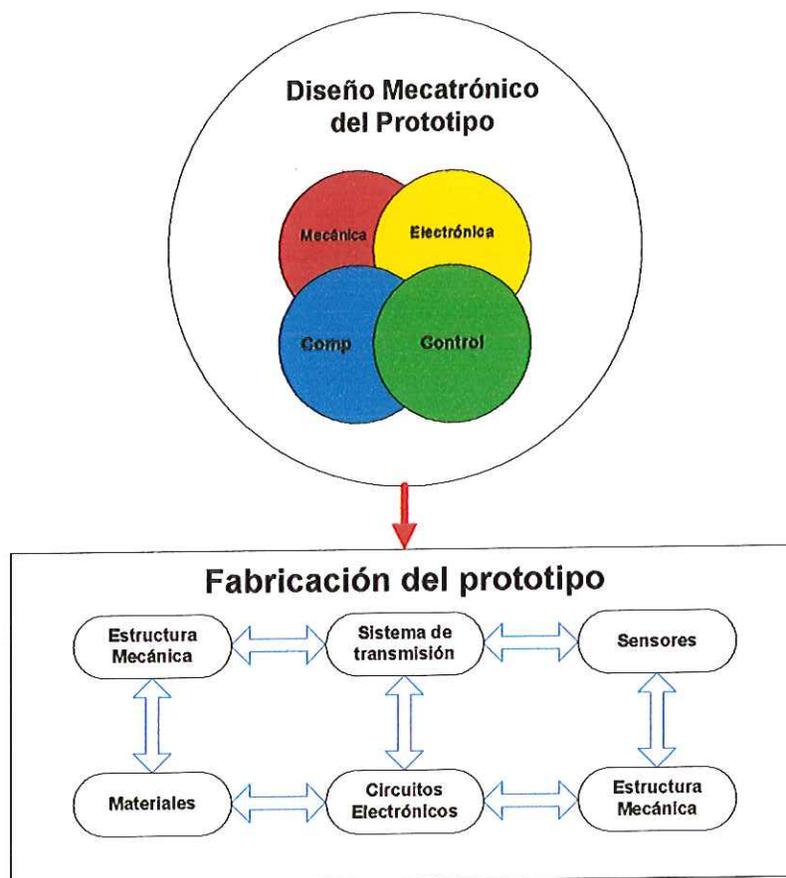


Barrientos Antonio. Fundamentos de Robótica

## 2. METODOLOGIA DISEÑO MECATRÓNICO DEL SERVOMECANISMO

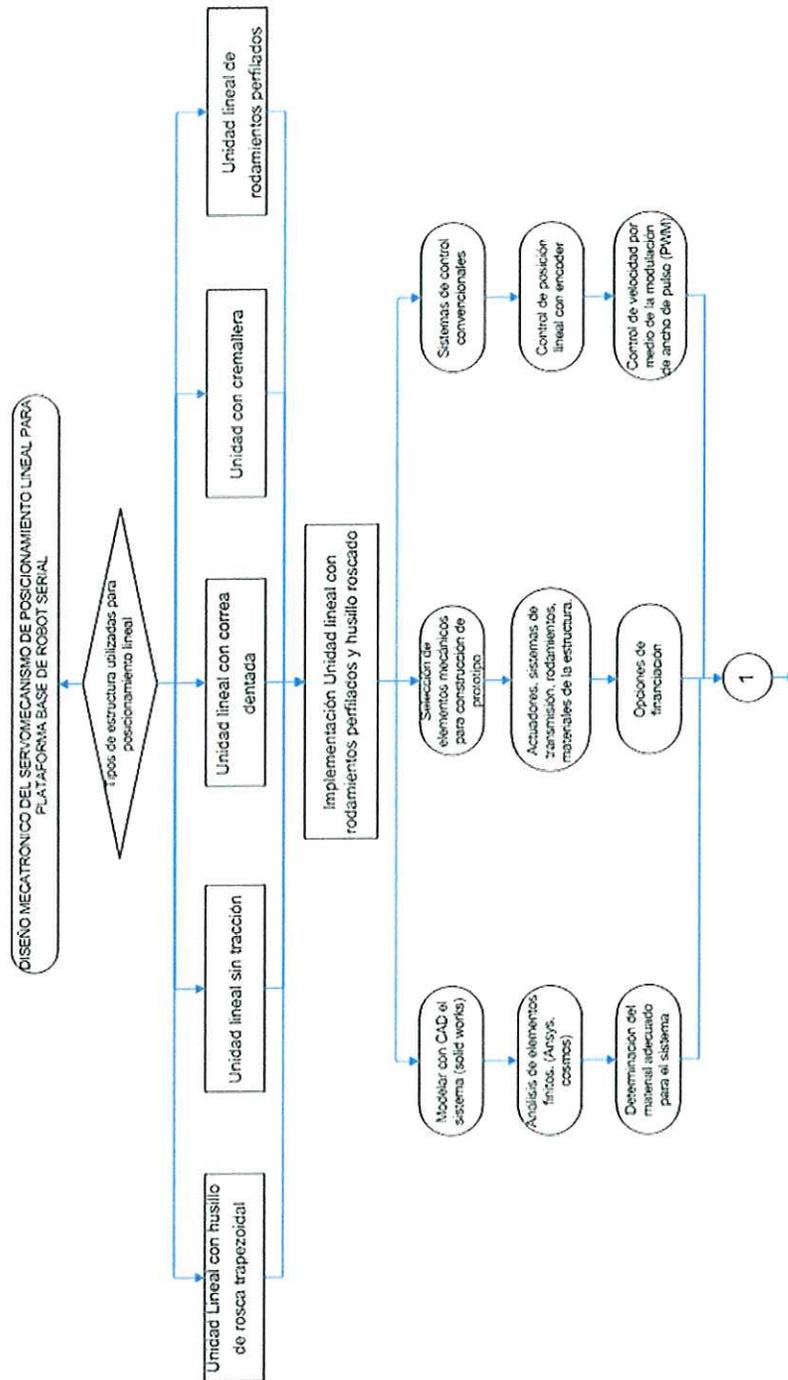
Para realizar el servomecanismo, se siguió el algoritmo mostrado en la figura 16 y que esta fundamentado en la metodología de diseño Mecatrónico. Se describe en detalle las etapas que sirvieron para el desarrollo del proyecto de grado.

Figura 16. Algoritmo de Diseño Mecatrónico

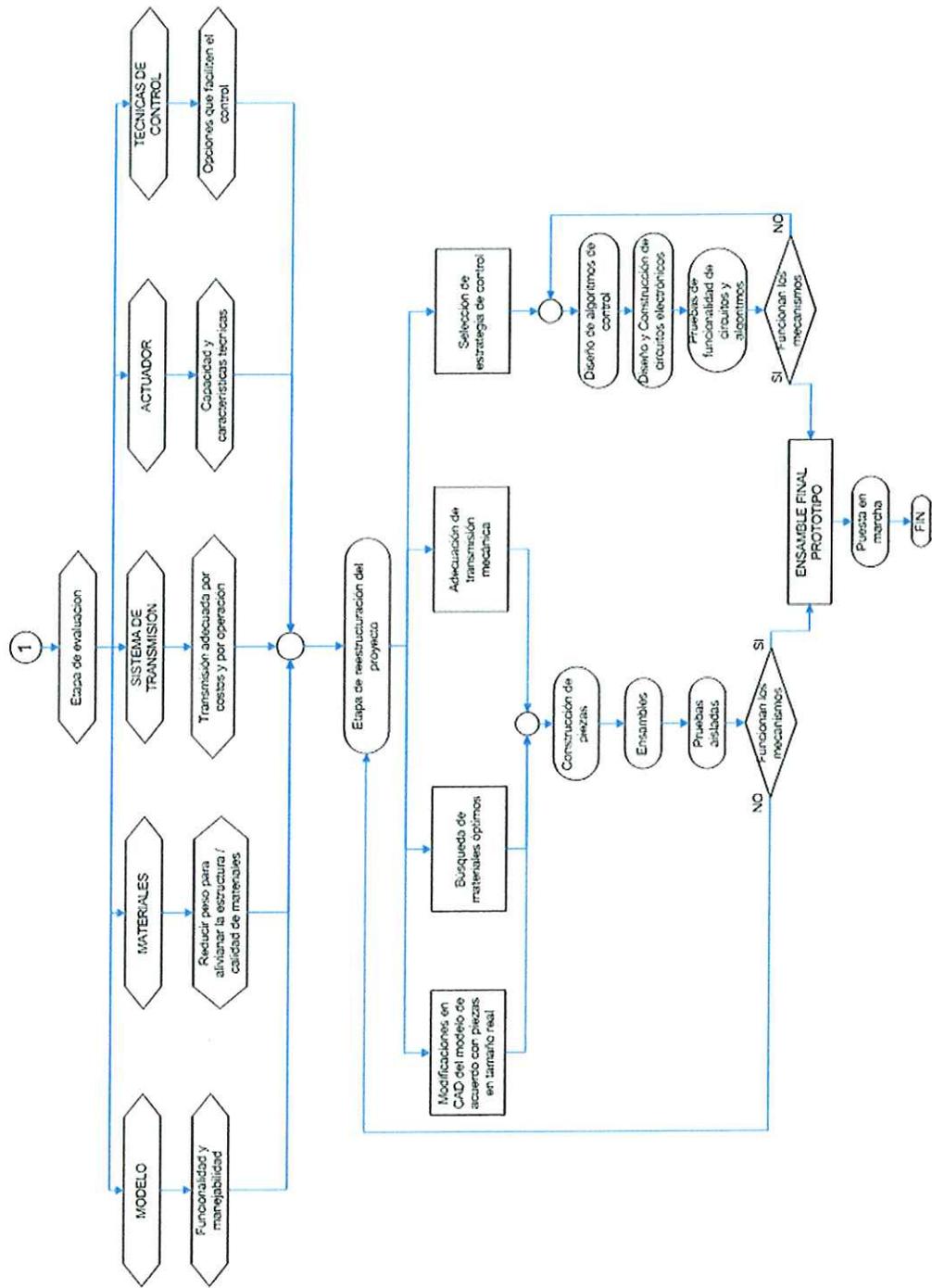


En los esquemas que se presentan seguidamente, se desglosa la metodología de trabajo utilizada para conseguir los objetivos planteados para el proyecto.

Figura 17. Metodología del diseño mecatrónico.



Del autor



Del autor

### 3. COMPONENTES MECÁNICOS DEL SERVOMECANISMO

En este capítulo se enumeran y describen las diferentes piezas mecánicas que se emplearon en el desarrollo del proyecto. Se hace un desglose expresando sus ventajas y desventajas. De esta forma se sustenta la decisión de incluirlos en el proyecto.

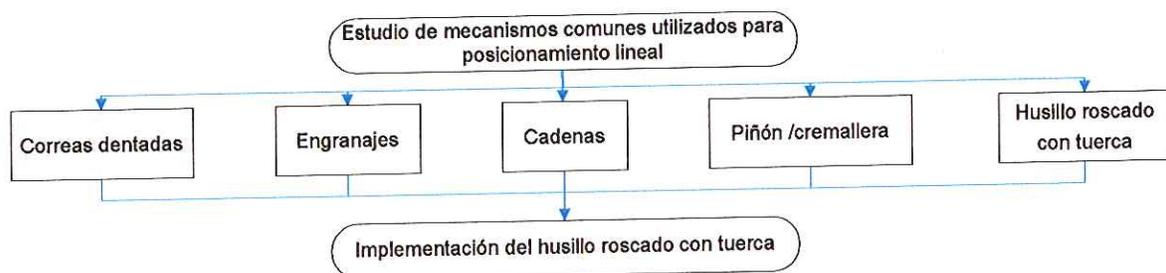
#### 3.1 Criterio de diseño de transmisión seleccionada

En casi todas las máquinas hay transmisión de movimiento de rotación de un eje a otro. Por eso es necesario que la potencia de la planta motora se transmita de manera eficiente, de tal manera que al acoplar cualquier tipo de transmisión mecánica, la pérdida de potencia sea mínima.

Dentro de las opciones de transmisión descritas en este documento, se tomó la decisión de implementar la del tornillo de potencia o husillo roscado. Algunos de los factores que intervinieron en esta decisión son el costo de fabricación, accesibilidad, congruencias con el propósito del proyecto y facilidad de acople con los otros componentes del servomecanismo. A continuación se presenta una completa descripción del proceso de cálculo para la selección del tornillo.

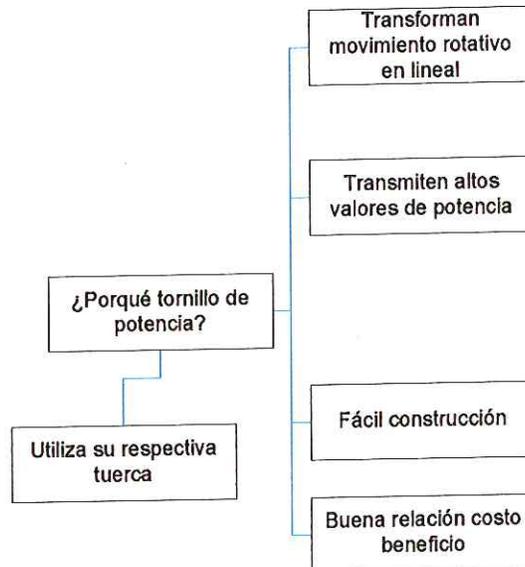
#### 3.2 Criterio de diseño para selección material del tornillo de potencia

Figura 18. Diagrama de Flujo metodología de selección de la transmisión



Este tipo de tornillos se utilizan para transformar un movimiento angular en lineal, transmitiendo fuerza (prensas, gatos, husillos de avance de tornos, etc.). Por medio de un ejemplo se va a hacer la descripción del proceso de cálculo para este mecanismo.

Figura 19. Criterio de selección de la transmisión



Tomando como referencia un sistema empotrado en ambos extremos y una carga en el centro, se realizan unos cálculos de mecánica de materiales para determinar si el diámetro del tornillo de potencia es el adecuado para la construcción del servomecanismo. Sabiendo que el peso de la estructura a adecuarse sobre el tornillo es de 60 Kg. Se realizan los siguientes cálculos:

$$F = m \cdot g$$

$$F = 60\text{kg} * 9.8\text{m} / \text{s}^2$$

$$F = 588\text{N}$$

Por concepto de esfuerzo sabemos que:

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

$$P = F$$

De la tabla 3 de propiedades del material acero estructural, se saca el valor de Esfuerzo admisible.  $\sigma_{adm} = 250 \text{ Mpa}$ .

Tabla 3. Propiedades típicas del acero estructural 1020<sup>11</sup>

Material	Densidad Kg/m <sup>3</sup>	Resistencia última	Fluencia		Módulo de elasticidad GPa	Módulo de rigidez GPa
		Tensión MPa	Tensión MPa	Cortante MPa		
Acero Estructural 1020	7860	400	250	145	200	77

$$\sigma_{adm} = \frac{P}{A}$$

Se desea confirmar el diámetro mínimo que se necesitaría para construir el tornillo de potencia por lo cual tenemos:

$$A = \frac{P}{\sigma_{adm}}$$

$$A = \frac{588N}{250 * 10^6 Pa} = 2.4 * 10^{-6} m^2$$

Y Sabiendo que:

$$A = \pi \cdot r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{2.4 * 10^{-6} m^2}{\pi}} = 0.87 mm$$

Y por último:

<sup>11</sup> Tomado de Beer P. Ferdinand., Johnston JR Russel E. Mecánica de materials 2 ed.

$$d = 2r$$

$$d = 2(0.87mm)$$

$$d_{\min} = 1.75mm$$

En la tabla 4 se presentan las diferentes combinaciones de material para fabricar el tornillo con la tuerca según sea el servicio a prestar: Nótese que el área seleccionada hace referencia al propósito del proyecto.

Tabla 4. Recomendaciones de materiales

Tipo servicio	Materiales	
	Tornillo - Tuerca	
Prensa manual	Acero	Bronce
Tornillo de gato	Acero	Fundición
Tornillo de gato	Acero	Bronce
Tornillo de elev.	Acero	Fundición
Tornillo de elev.	Acero	Bronce
<b>Tornillo avance</b>	<b>Acero</b>	<b>Bronce</b>

Tomando como referencia lo descrito en la tabla 4, para fabricar el tornillo de potencia se emplea un acero estructural 1020, cuyo diámetro de de 31.75mm o de 1<sup>1/4</sup> de pulgada.

El acero 1020 es uno de los aceros al carbono más comúnmente usados. Tiene un contenido nominal de carbono de 0.20% y aproximadamente 0.5% de manganeso. Tiene una buena combinación de resistencia y ductilidad y puede ser endurecido o carburizado. Este material es un acero blando de bajo carbono ideal para piezas de maquinaria, pernos, pasadores de baja resistencia. La maquinabilidad es buena, un 65% comparada con el acero al carbono 1112 que es la referencia de 100% de maquinabilidad. Además en un primer diseño propuesto para la ejecución del proyecto su función era diferente, por lo cual se hubo que realizar una reingeniería para poder aprovecharlo.

Además las especificaciones del roscado del tornillo son:

Paso:  $\frac{1}{4}$ "

Rosca Cuadrada

Entradas: 1

Se tomaron estos valores debido a que al principio del proyecto se planteó un tiempo estimado del recorrido aproximado a 1 min. (Ver capítulo de pruebas).

Ahora bien, con respecto al diámetro del tornillo, tenemos un factor de seguridad aproximadamente de 18 bastante alto, por lo cual se garantiza una buena especificación de diseño.

Figura 20. Tornillo de potencia o husillo roscado



Del autor

### 3.3 Criterio de diseño para selección material de la tuerca

Basados también en la tabla 4., para la tuerca se utilizó bronce maquinado con las especificaciones del roscado del tornillo.

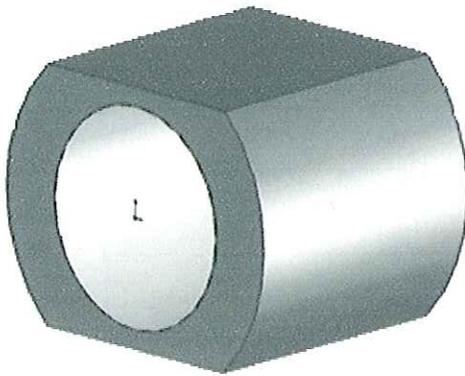
El sistema de transmisión está diseñado para cumplir con las siguientes especificaciones de diseño:

$$\text{Carga a desplazar} = (\text{masa de la carga}) + (\text{masa del carro})$$

Lo cual quiere decir que el tornillo debe tener la capacidad de hacer avanzar dicha carga sin presentar inconvenientes.

La tuerca, que hace la tarea de desplazar al carro sobre las placas, se construyó en bronce para obtener un buen acople con el acero tal como lo especifica la tabla 4. Esta pieza, se tuvo que aplanar en la parte inferior para evitar que hiciera contacto con la placa. Además se maquinó en la parte superior para darle un poco de altura al carro sobre la placa.

Figura 21. Tuerca para tornillo de avance/ Proceso de Maquinado

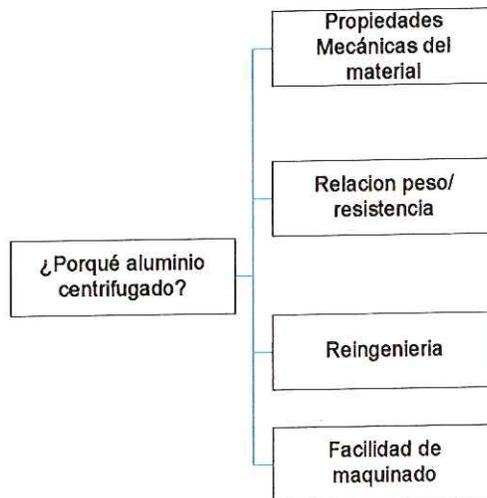


Del autor

### 3.4 MATERIAL SELECCIONADO PARA MONTAJE DE PLACAS BASE

#### 3.4.1 Criterio de diseño para selección de aluminio centrifugado

Figura 22. Criterio de selección del material de las placas



Se escogió este material entre otras cosas debido a sus características sobresalientes; por su ventajosa relación de resistencia/peso, además de su resistencia a la corrosión. Es un metal de color blanco plateado, siendo su principal característica su ligereza que lo hace muy útil en muchas aplicaciones. Es dúctil y maleable, su resistencia a la tracción es baja. El aluminio se puede forjar, laminar incluso a finas láminas, estirar, *mecanizar con arranque de viruta*, fundir y soldar con diversos procedimientos.

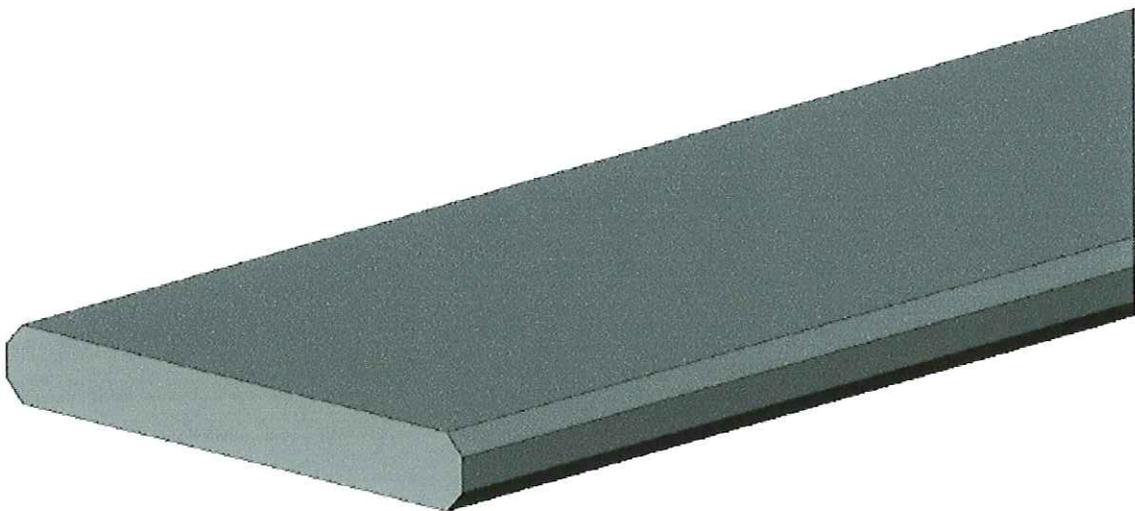
Debido a su composición, nos brinda la facilidad de disminuir peso en la estructura y además permite la vistosidad por su color. Cabe hacer la aclaración de que no toda la estructura está hecha en este material.

### 3.4.2 Detalles del montaje

Dentro del proceso de construcción del servomecanismo, hay que decir que el aluminio centrifugado fue suministrado en placas cuyas dimensiones se le especificaron al distribuidor. Dichas placas, se debieron maquinar para poder hacer los acoples respectivos.

En el caso de las placas, su maquinado consistió en pasar una fresa escareadora por sus caras externas; esto con el fin de dar uniformidad a todo lo largo de la placa. Además con la misma broca escareadora, se desbastó una de las puntas de cada placa hasta la mitad de su espesor para poder hacerles agujeros y de esta forma ensamblarlas. La sujeción de las placas se realizó con tornillos de cabeza avellanada para llave allen, los cuales por su cabeza no sobresalen de las placas y las sujetan de forma adecuada. Otro proceso de maquinado efectuado a las placas fue el de pasar una fresa por las caras externas de la placa, cuya forma nos permite conseguir el perfil a 45°.

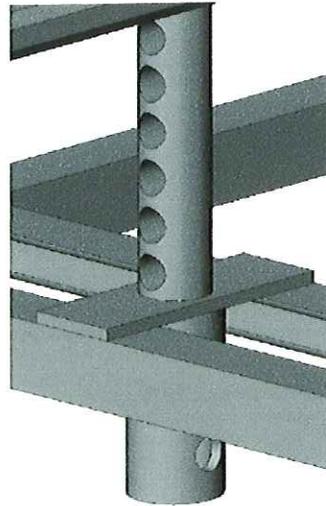
Figura 23. Placas de aluminio centrifugado perfiladas



Del autor

### 3.4.2.1 Soportes para placas de aluminio

Figura 24. Soportes de las placas de aluminio



Del autor

El servomecanismo dispone de un sistema de nivelación o graduación de altura compuesto de tres (3) tubos cilíndricos macizos con agujeros, hecho en con barras macizas acero 1020. Los agujeros se hicieron de tal forma que se pueda graduar hasta 20 cm. la altura.

Este material se escogió debido a su rigidez y la facilidad para maquinarlo. Los soportes están distribuidos a lo largo de la placa, lo cual proporciona a la estructura equilibrio y estabilidad en cualquiera de las alturas a la cual se le gradúe. Para mantener la posición a la cual se desea graduar, se utilizaron pasadores, fabricados en el mismo material de las barras (acero 1020).

Los soportes a su vez se encuentran ensamblados con unas platinas, cuyo material es acero cold roll. Dichas platinas están dispuestas de tal forma que dan un adecuado equilibrio a las placas para evitar movimientos bruscos y alteraciones en el rendimiento del servomecanismo.

Cabe decir que este material se escogió sencillamente por facilidad de consecución en el mercado local y no obedece a ninguna regla de diseño específica.

### 3.5 TIPOS DE RODAMIENTOS UTILIZADOS

#### 3.5.1 Rodamientos perfilados

Figura 25 Criterio de selección de los rodamientos perfilados



Los rodamientos perfilados se construyeron de tal manera que tuvieran un buen ajuste entre el carro y las placas además de proporcionar un correcto deslizamiento entre los mismos. Cada unidad consta de dos rodamientos de bolas rígidos inmersos en la parte superior e inferior del rodamiento perfilado.

Figura 26. Rodamiento perfilado a 45°



Del autor

Los rodamientos se sostienen en el carro por medio de platinas sujetadas a las placas laterales por tornillos de cabeza avellanada para llave allen. Los rodamientos se deslizan sobre la placa asegurados a las platinas por pasadores metálicos.

Este sistema de rodamientos tiene la opción de graduación lateral, el cual consta de unos tornillos en las placas laterales. Los tornillos se pueden apretar o aflojar según sea el caso de la abertura que tengan los rodamientos con respecto a la placa.

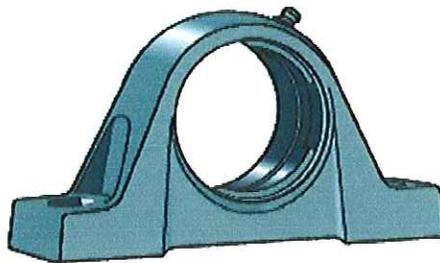
### 3.5.2 Rodamientos de bolas rígidos

Los rodamientos de bolas rígidos se utilizaron para los rodamientos perfilados y para alinear el mecanismo de transmisión.

Para alinear el mecanismo de transmisión la unidad de rodamiento consta de los siguientes elementos:

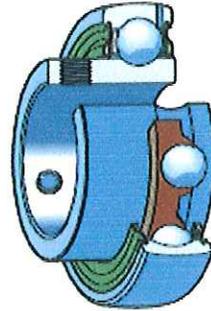
- Un soporte para el rodamiento con un agujero esférico pero cóncavo.

Figura 27. Alojamiento de rodamientos



- Un rodamiento rígido de una hilera de bolas con un diámetro exterior esférico convexo.

Figura 28. Rodamientos de bolas

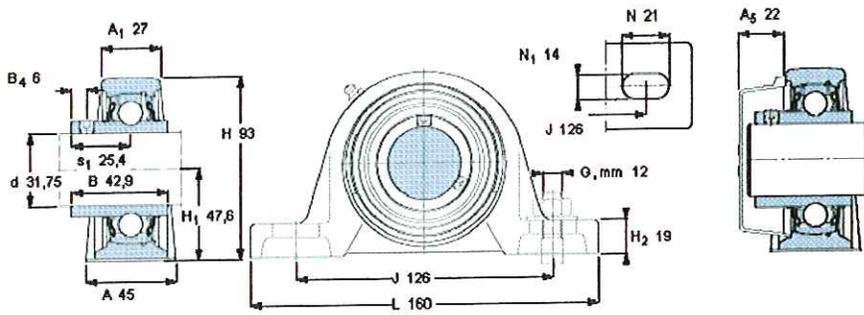


Para nuestro caso los rodamientos van montados sobre chumaceras. En esta sección explicamos los factores que se tuvieron en cuenta para la escogencia del rodamiento y el soporte apropiado para el servomecanismo.

Además de las cargas que pueden soportar los rodamientos inmersos en chumaceras según la tabla 5 del fabricante, se tuvo en cuenta el diámetro del husillo roscado. Con esto, se determinó escoger el rodamiento con las siguientes características:

Tabla 5. Especificaciones del fabricante para rodamientos con soporte

Dimensiones principales			Capacidades de carga		Carga límite de fatiga	Velocidades		Masa
d	D	B	C	C <sub>0</sub>	P <sub>v</sub>	Velocidad de referencia	Velocidad límite	
mm			kN		kN	rpm		kg
31,75	69,85	17,462	22,5	13,2	0,55	20000	14000	0,3

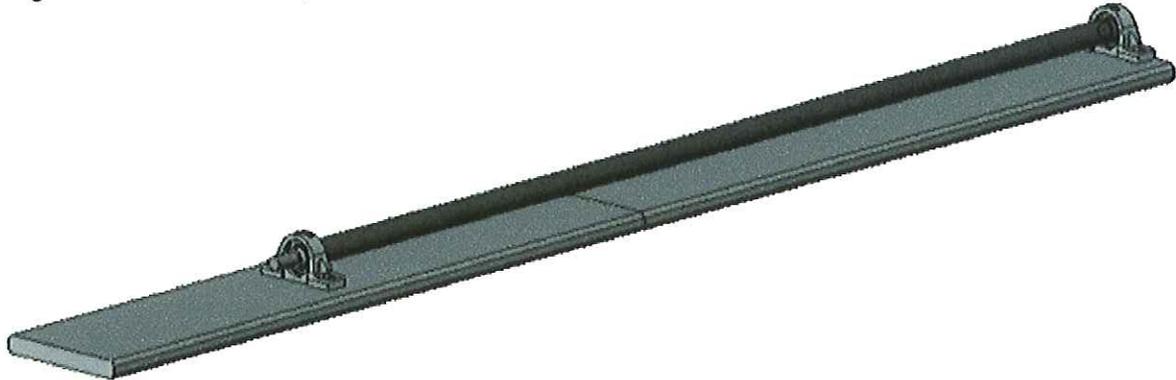


End cover  
 Recommended tightening torque, Nm  
 Hexagonal key size, mm

EGY 207  
 4  
 3,96875

De esta manera se obtiene un perfecto acople entre el sistema de transmisión y los rodamientos de bolas. En la figura 29 se observa la forma como se ensamblaron todas estas piezas.

Figura 29. Ensamble en placa de tornillo de potencia con chumaceras



Del autor

Las puntas que sobresalen del eje en ambas chumaceras, están sujetas a éstas últimas con un tornillo prisionero. Al apretarlo se impide cualquier deslizamiento que pueda tener el eje con respecto al rodamiento. Así es como se logra que la potencia del motor se transmita al mecanismo sin que haya pérdidas de potencia de consideración.

### 3.6 COMPOSICIÓN DEL CARRO

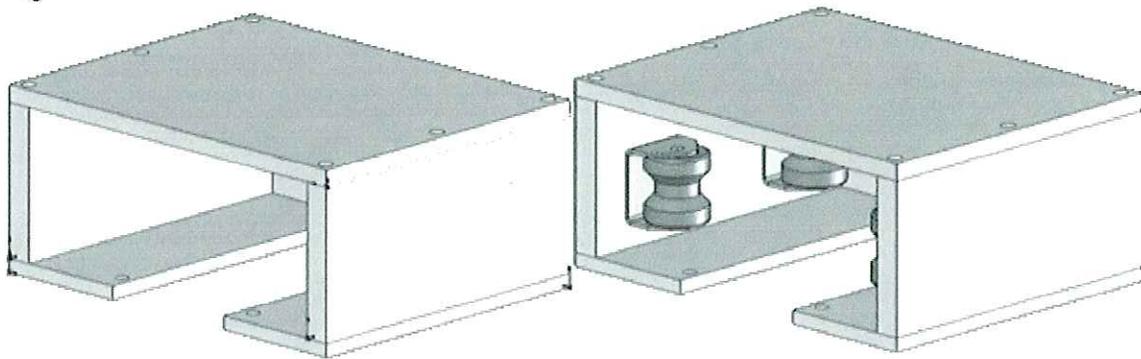
La mesa o el carro, está conformado por placas de aluminio centrifugado, ensambladas de tal manera que no existen entre ellas juegos ni tolerancias pronunciadas, con el fin de dar buena estabilidad y precisión al servomecanismo.

Para su elaboración también fue necesario maquinar debidamente las placas. La mesa presenta dentro de sus ventajas, la robustez necesaria para soportar la carga a instalar sobre la misma. Además por su material, el peso es bastante liviano, por lo que se logra un buen balance de cargas para el servomecanismo.

Su ensamblaje se realizo con tornillos de cabeza avellanada para llave allen con el fin de que éstos últimos, no sobresalgan de las placas.

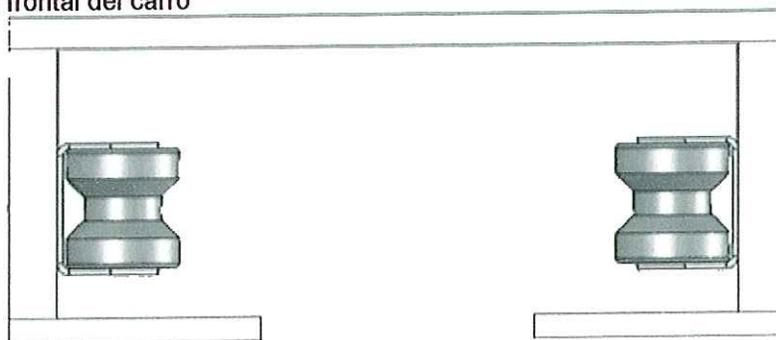
Los rodamientos perfilados están situados en las caras laterales del carro con unas platinas en forma de C. Por medio de este sistema se logra sostener los cuatro rodamientos de manera uniforme, permitiendo así que ellos hagan contacto con el perfil de la placa. En medio de los rodamientos se encuentran unos pasadores, los cuales se encargan de mantenerlos dentro de la platinas en forma de C.

Figura 30. Ensamble del carro sencillo / con rodamientos perfilados



Del autor

Figura 31. Vista frontal del carro



Del autor

### 3.7 ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL SERVOMECANISMO

Ya conocidas las dimensiones de diseño y la morfología de las piezas, se entrará a evaluar las deformaciones que pueden sufrir los materiales utilizados en la construcción. Dicho material debe ser lo suficientemente resistente como para soportar cargas normales de hasta 60 kgf (el carro pesa casi 3 Kg. y con carga aumenta hasta 60 Kgf), aún en los puntos donde se concentra el esfuerzo, que son los cambios de geometría y las secciones estrechas.

Para la comprobación del material se realizaron simulaciones computacionales con el software ANSYS 9.0 el cual es una herramienta para simulación por elementos finitos que permite simular cargas y esfuerzos en estructuras modeladas en CAD. Las pruebas en el software se realizaron considerando los siguientes aspectos: Contacto cuerpo con cuerpo, cargas estructurales y apoyos estructurales. Se calcularon los factores de seguridad basados en los parámetros del máximo esfuerzo equivalente a lo largo de toda la estructura.

Luego de aplicar las fuerzas se especifica el material de cada componente y posteriormente se realiza el enmallado de la estructura. Dependiendo de la resolución de dicho enmallado se puede obtener un análisis mucho mas preciso o en caso contrario mas superficial; pero requiere de mayores o menores recursos computacionales respectivamente.

En la tabla 6, se listan todos y cada uno de los componentes que conforman el servomecanismo, especificando su material y sus medidas físicas. El software proporciona información de masa y volumen para cada pieza. Cabe decir también, que la simulación se realiza tal cual funciona el servomecanismo en la realidad, es decir las piezas que hacen contacto esta relacionada de tal manera.

Tabla 6. Listado e piezas sometidas al análisis de elementos finitos

Bodies						
Name	Material	Bounding Box(m)	Mass (kg)	Volume (m <sup>3</sup> )	Nodes	Elements
"placa de 150x50.5x6.4-1"	"Structural Steel"	5.08×10 <sup>-2</sup> , 6.4×10 <sup>-3</sup> , 0.15	0.33	4.15×10 <sup>-5</sup>	300	30
"buje guia-3"	"Structural Steel"	5.08×10 <sup>-2</sup> , 0.1, 5.07×10 <sup>-2</sup>	0.64	8.13×10 <sup>-5</sup>	1110	486
"buje guia-2"	"Structural Steel"	5.08×10 <sup>-2</sup> , 0.1, 5.07×10 <sup>-2</sup>	0.64	8.13×10 <sup>-5</sup>	1110	486
"buje guia-1"	"Structural Steel"	5.08×10 <sup>-2</sup> , 0.1, 5.07×10 <sup>-2</sup>	0.64	8.13×10 <sup>-5</sup>	1110	486
"placa de 150x50.5x6.4-3"	"Structural Steel"	5.08×10 <sup>-2</sup> , 6.4×10 <sup>-3</sup> , 0.15	0.33	4.15×10 <sup>-5</sup>	300	30
"placa de 150x50.5x6.4-2"	"Structural Steel"	5.08×10 <sup>-2</sup> , 6.4×10 <sup>-3</sup> , 0.15	0.33	4.15×10 <sup>-5</sup>	300	30
"guia-3"	"Structural Steel"	3.71×10 <sup>-2</sup> , 0.25, 3.81×10 <sup>-2</sup>	1.5	1.9×10 <sup>-4</sup>	2316	1088
"guia-2"	"Structural Steel"	3.71×10 <sup>-2</sup> , 0.25, 3.81×10 <sup>-2</sup>	1.5	1.9×10 <sup>-4</sup>	2316	1088
"guia-1"	"Structural Steel"	3.71×10 <sup>-2</sup> , 0.25, 3.81×10 <sup>-2</sup>	1.5	1.9×10 <sup>-4</sup>	2316	1088
"chasis cambios-1@soporte angulo de 423.80-4"	"Structural Steel"	0.42, 3.81×10 <sup>-2</sup> , 3.81×10 <sup>-2</sup>	1.12	1.42×10 <sup>-4</sup>	672	120
"chasis cambios-1@soporte angulo de 423.80-3"	"Structural Steel"	0.42, 3.81×10 <sup>-2</sup> , 3.81×10 <sup>-2</sup>	1.12	1.42×10 <sup>-4</sup>	672	120
"chasis cambios-1@soporte angulo de 423.80-2"	"Structural Steel"	0.42, 3.81×10 <sup>-2</sup> , 3.81×10 <sup>-2</sup>	1.12	1.42×10 <sup>-4</sup>	672	120
"chasis cambios-1@soporte angulo de 423.80-1"	"Structural Steel"	0.42, 3.81×10 <sup>-2</sup> , 3.81×10 <sup>-2</sup>	1.12	1.42×10 <sup>-4</sup>	672	120
"chasis cambios-1@base cambios-1"	"Structural Steel"	0.5, 0.85, 1.35	45.81	5.84×10 <sup>-3</sup>	39225	22358
"roulette_up5bp150-28l-2@roulette_up5bp150-28l_02-1"	"Structural Steel"	8.78×10 <sup>-2</sup> , 0.19, 0.24	3.8	4.84×10 <sup>-4</sup>	13042	7002
"roulette_up5bp150-28l-2@roulette_up5bp150-28l_01-1"	"Structural Steel"	0.11, 1.13×10 <sup>-2</sup> , 0.14	0.5	6.37×10 <sup>-5</sup>	13477	7355
"roulette_up5bp150-28l-1@roulette_up5bp150-28l_02-1"	"Structural Steel"	8.78×10 <sup>-2</sup> , 0.19, 0.24	3.8	4.84×10 <sup>-4</sup>	13042	7002
"roulette_up5bp150-28l-1@roulette_up5bp150-28l_01-1"	"Structural Steel"	0.11, 1.13×10 <sup>-2</sup> , 0.14	0.5	6.37×10 <sup>-5</sup>	13477	7355
"placa de 150x50.5x6.4-6"	"Structural Steel"	0.15, 6.4×10 <sup>-3</sup> , 5.08×10 <sup>-2</sup>	0.33	4.15×10 <sup>-5</sup>	300	30
"placa de 150x50.5x6.4-5"	"Structural Steel"	0.15, 6.4×10 <sup>-3</sup>	0.33	4.15×10 <sup>-5</sup>	300	30

	"Steel"	5.08×10 <sup>-2</sup>				
"placa de 150x50.5x6.4-4"	"Structural Steel"	0.15, 6.4×10 <sup>-3</sup> , 5.08×10 <sup>-2</sup>	0.33	4.15×10 <sup>-5</sup>	300	30
"roulette_up5bp150-28l-4@roulette_up5bp150-28l_02-1"	"Structural Steel"	8.78×10 <sup>-2</sup> , 0.19, 0.24	3.8	4.84×10 <sup>-4</sup>	13042	7002
"roulette_up5bp150-28l-4@roulette_up5bp150-28l_01-1"	"Structural Steel"	0.11, 1.13×10 <sup>-2</sup> , 0.14	0.5	6.37×10 <sup>-5</sup>	13477	7355
"roulette_up5bp150-28l-3@roulette_up5bp150-28l_02-1"	"Structural Steel"	8.78×10 <sup>-2</sup> , 0.19, 0.24	3.8	4.84×10 <sup>-4</sup>	13042	7002
"roulette_up5bp150-28l-3@roulette_up5bp150-28l_01-1"	"Structural Steel"	0.11, 1.13×10 <sup>-2</sup> , 0.14	0.5	6.37×10 <sup>-5</sup>	13477	7355
"eje 31.75-1"	"Structural Steel"	3.2×10 <sup>-2</sup> , 3.2×10 <sup>-2</sup> , 1.6	9.56	1.22×10 <sup>-3</sup>	6972	3772
"SY_3_4_TF-1@SY_3_4_TF_PART2-1"	"Structural Steel"	4.7×10 <sup>-2</sup> , 4.69×10 <sup>-2</sup> , 3.1×10 <sup>-2</sup>	0.14	1.83×10 <sup>-5</sup>	29752	16409
"SY_3_4_TF-1@SY_3_4_TF_PART1-1"	"Structural Steel"	0.13, 6.59×10 <sup>-2</sup> , 3.2×10 <sup>-2</sup>	0.6	7.68×10 <sup>-5</sup>	11236	6435
"Placa-1"	"Aluminum Alloy"	0.2, 2.54×10 <sup>-2</sup> , 1.0	13.8	4.98×10 <sup>-3</sup>	1183	192
"Carro-4@base rodamiento plegada-4"	"Structural Steel"	4.27×10 <sup>-2</sup> , 0.06, 5.0×10 <sup>-2</sup>	0.11	1.41×10 <sup>-5</sup>	1234	565
"Carro-4@base rodamiento plegada-3"	"Structural Steel"	4.27×10 <sup>-2</sup> , 0.06, 5.0×10 <sup>-2</sup>	0.11	1.41×10 <sup>-5</sup>	1234	565
"Carro-4@SKF - 7200 BE - 8,SI,NC,8_68-V1-1"	"Structural Steel"	3.03×10 <sup>-2</sup> , 9.0×10 <sup>-3</sup> , 3.03×10 <sup>-2</sup>	3.56×10 <sup>-2</sup>	4.53×10 <sup>-6</sup>	3560	1830
"Carro-4@rodamiento-1"	"Aluminum Alloy 2"	6.79×10 <sup>-2</sup> , 5.0×10 <sup>-2</sup> , 6.79×10 <sup>-2</sup>	0.16	5.78×10 <sup>-5</sup>	1742	918
"Carro-4@SKF - 7200 BE - 8,SI,NC,8_68-V1-4"	"Structural Steel"	3.03×10 <sup>-2</sup> , 9.0×10 <sup>-3</sup> , 3.03×10 <sup>-2</sup>	3.56×10 <sup>-2</sup>	4.53×10 <sup>-6</sup>	3560	1830
"Carro-4@SKF - 7200 BE - 8,SI,NC,8_68-V1-3"	"Structural Steel"	3.03×10 <sup>-2</sup> , 9.0×10 <sup>-3</sup> , 3.03×10 <sup>-2</sup>	3.56×10 <sup>-2</sup>	4.53×10 <sup>-6</sup>	3560	1830
"Carro-4@rodamiento-2"	"Aluminum Alloy 3"	6.79×10 <sup>-2</sup> , 5.0×10 <sup>-2</sup> , 6.79×10 <sup>-2</sup>	0.16	5.78×10 <sup>-5</sup>	1742	918
"Carro-4@SKF - 7200 BE - 8,SI,NC,8_68-V1-2"	"Structural Steel"	3.03×10 <sup>-2</sup> , 9.0×10 <sup>-3</sup> , 3.03×10 <sup>-2</sup>	3.56×10 <sup>-2</sup>	4.53×10 <sup>-6</sup>	3560	1830
"Carro-4@SKF - 7200 BE - 8,SI,NC,8_68-V1-8"	"Structural Steel"	3.03×10 <sup>-2</sup> , 9.0×10 <sup>-3</sup> , 3.03×10 <sup>-2</sup>	3.56×10 <sup>-2</sup>	4.53×10 <sup>-6</sup>	3560	1830
"Carro-4@SKF - 7200 BE - 8,SI,NC,8_68-V1-7"	"Structural Steel"	3.03×10 <sup>-2</sup> , 9.0×10 <sup>-3</sup> , 3.03×10 <sup>-2</sup>	3.56×10 <sup>-2</sup>	4.53×10 <sup>-6</sup>	3560	1830
"Carro-4@SKF - 7200 BE - 8,SI,NC,8_68-V1-6"	"Structural Steel"	3.03×10 <sup>-2</sup> , 9.0×10 <sup>-3</sup> , 3.03×10 <sup>-2</sup>	3.56×10 <sup>-2</sup>	4.53×10 <sup>-6</sup>	3560	1830
"Carro-4@SKF - 7200 BE - 8,SI,NC,8_68-V1-5"	"Structural Steel"	3.03×10 <sup>-2</sup> , 9.0×10 <sup>-3</sup> , 3.03×10 <sup>-2</sup>	3.56×10 <sup>-2</sup>	4.53×10 <sup>-6</sup>	3560	1830
"Carro-4@rodamiento-4"	"Aluminum Alloy 4"	6.79×10 <sup>-2</sup> , 5.0×10 <sup>-2</sup> , 6.79×10 <sup>-2</sup>	0.16	5.78×10 <sup>-5</sup>	1742	918
"Carro-4@rodamiento-3"	"Aluminum Alloy 5"	6.79×10 <sup>-2</sup> , 5.0×10 <sup>-2</sup> , 6.79×10 <sup>-2</sup>	0.16	5.78×10 <sup>-5</sup>	1742	918

"Carro-4@base rodamiento plegada-1"	"Structural Steel"	$4.27 \times 10^{-2}$ , $5.51 \times 10^{-2}$ , $5.0 \times 10^{-2}$	0.11	$1.41 \times 10^{-5}$	1234	565
"Carro-4@Inferior-2"	"Aluminum Alloy 6"	0.11, $10.0 \times 10^{-3}$ , 0.25	0.73	$2.62 \times 10^{-4}$	1978	950
"Carro-4@Lateral-2"	"Aluminum Alloy 7"	$2.0 \times 10^{-2}$ , 0.11, 0.25	1.56	$5.63 \times 10^{-4}$	3050	1695
"Carro-4@Superior-1"	"Aluminum Alloy 8"	0.33, $1.27 \times 10^{-2}$ , 0.25	2.86	$1.03 \times 10^{-3}$	3931	2046
"Carro-4@Lateral-1"	"Aluminum Alloy 9"	$2.0 \times 10^{-2}$ , 0.11, 0.25	1.56	$5.63 \times 10^{-4}$	3050	1695
"Carro-4@Inferior-1"	"Aluminum Alloy 10"	0.11, $10.0 \times 10^{-3}$ , 0.25	0.73	$2.62 \times 10^{-4}$	1978	950
"Carro-4@base rodamiento plegada-2"	"Structural Steel"	$4.27 \times 10^{-2}$ , $5.51 \times 10^{-2}$ , $5.0 \times 10^{-2}$	0.11	$1.41 \times 10^{-5}$	1234	565
"Tuerca-1"	"Structural Steel"	$5.08 \times 10^{-2}$ , $3.71 \times 10^{-2}$ , $4.0 \times 10^{-2}$	0.28	$3.62 \times 10^{-5}$	867	407
"Placa-2"	"Aluminum Alloy 11"	0.2, $2.54 \times 10^{-2}$ , 1.0	13.8	$4.98 \times 10^{-3}$	1183	192
"SY_3_4_TF-2@SY_3_4_TF_PART2-1"	"Structural Steel"	$4.7 \times 10^{-2}$ , $4.69 \times 10^{-2}$ , $3.1 \times 10^{-2}$	0.14	$1.83 \times 10^{-5}$	29752	16409
"SY_3_4_TF-2@SY_3_4_TF_PART1-1"	"Structural Steel"	0.13, $6.59 \times 10^{-2}$ , $3.2 \times 10^{-2}$	0.6	$7.68 \times 10^{-5}$	11236	6435

En la siguiente tabla se especifican el valor de fuerza al que fue sometida toda la estructura. Cabe decir que son 600 N los cuales se refieren al peso que tiene el carro con la carga a trasladar.

Tabla 7. Cargas estructurales y apoyos estructurales

Structural Loads								
Name	Type	Magnitude	Vector	Reaction Force	Reaction Force Vector	Reaction Moment	Reaction Moment Vector	Associated Bodies
"Force"	Surface Force	600.0 N	[0.0 N x, -600.0 N y, 0.0 N z]	N/A	N/A	N/A	N/A	"Carro-4@Superior-1"

Structural Supports						
Name	Type	Reaction Force	Reaction Force Vector	Reaction Moment	Reaction Moment Vector	Associated Bodies
"Fixed Support"	Fixed Surface	600.0 N	$[2.99 \times 10^{-6}$ N x, 600.0 N y, $1.67 \times 10^{-6}$ N z]	54.36 N·m	[-54.36 N·m x, 0.14 N·m y, 0.44 N·m z]	"roulette_up5bp150-28l-4@roulette_up5bp150-28l_02-1", "roulette_up5bp150-28l-3@roulette_up5bp150-28l_02-1", "roulette_up5bp150-28l-1@roulette_up5bp150-28l_02-1" and

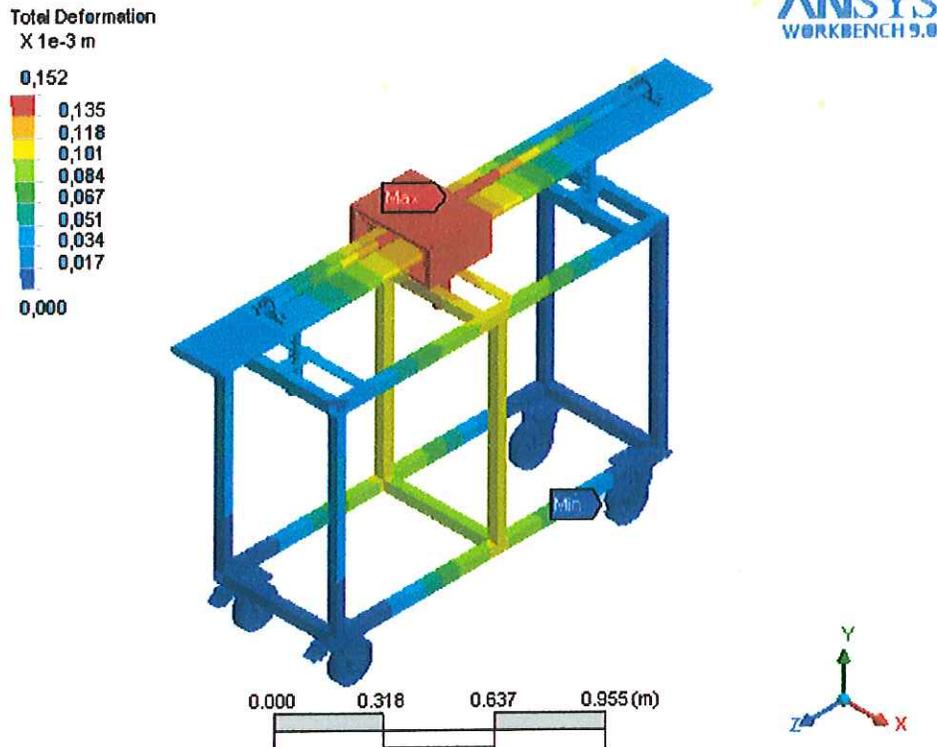
						"roulette_up5bp150-28l-2@roulette_up5bp150-28l_02-1"
--	--	--	--	--	--	--

Habiendo especificado todos los datos de la simulación del sistema se generan las siguientes figuras en las que se observan tres fenómenos que ocurren dentro del servomecanismo.

La deformación total figura 32 en la cual se observan detalladamente los puntos donde se puede presentar una ruptura del material por las condiciones de carga a las que está sometida la estructura. Prestando especial atención en el gráfico podemos concluir que el punto máximo de deformación se da en la parte central del servomecanismo. Esto resulta cierto en la medida en que se entiende, que cuando se está más lejos de los apoyos fijos, aumenta el riesgo de deformación. En la escala que se muestra en la parte superior izquierda de la figura, se puntualiza el valor numérico al que asciende la deformación total.

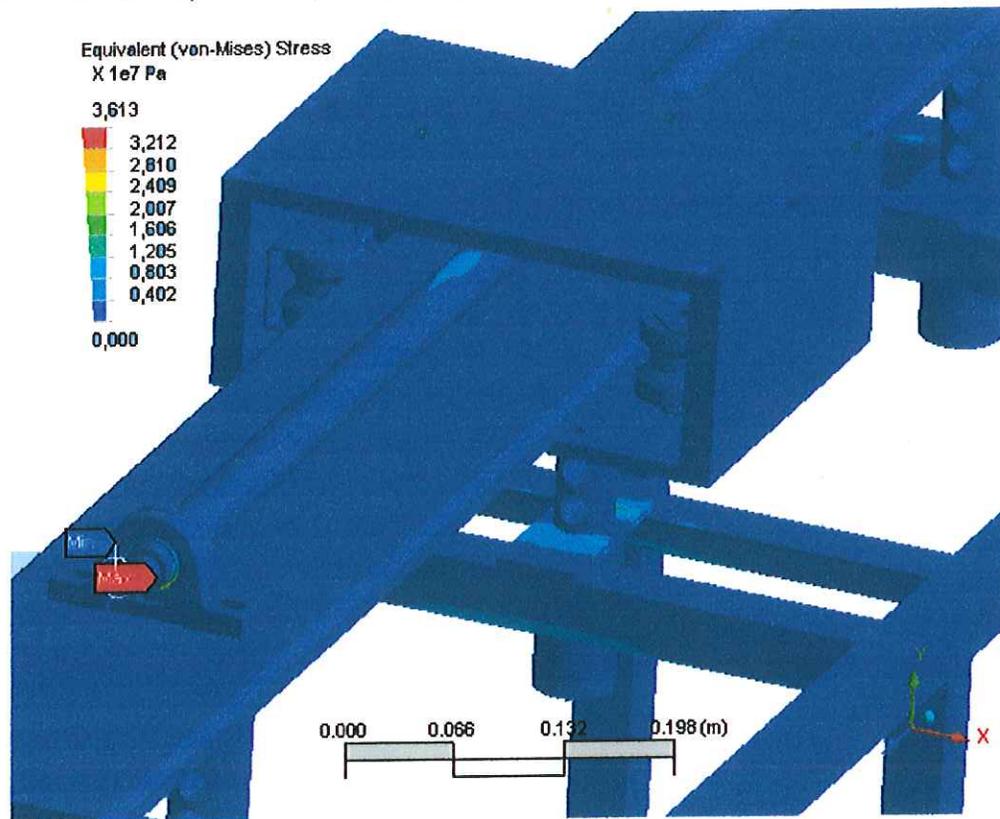
Siendo más puntuales y precisos, la indicación roja con una etiqueta en la figura permite tener una idea del punto donde mayor deformación tiene el servomecanismo. La etiqueta azul determina el punto donde es menor la deformación.

Figura 32. Deformación total del servomecanismo



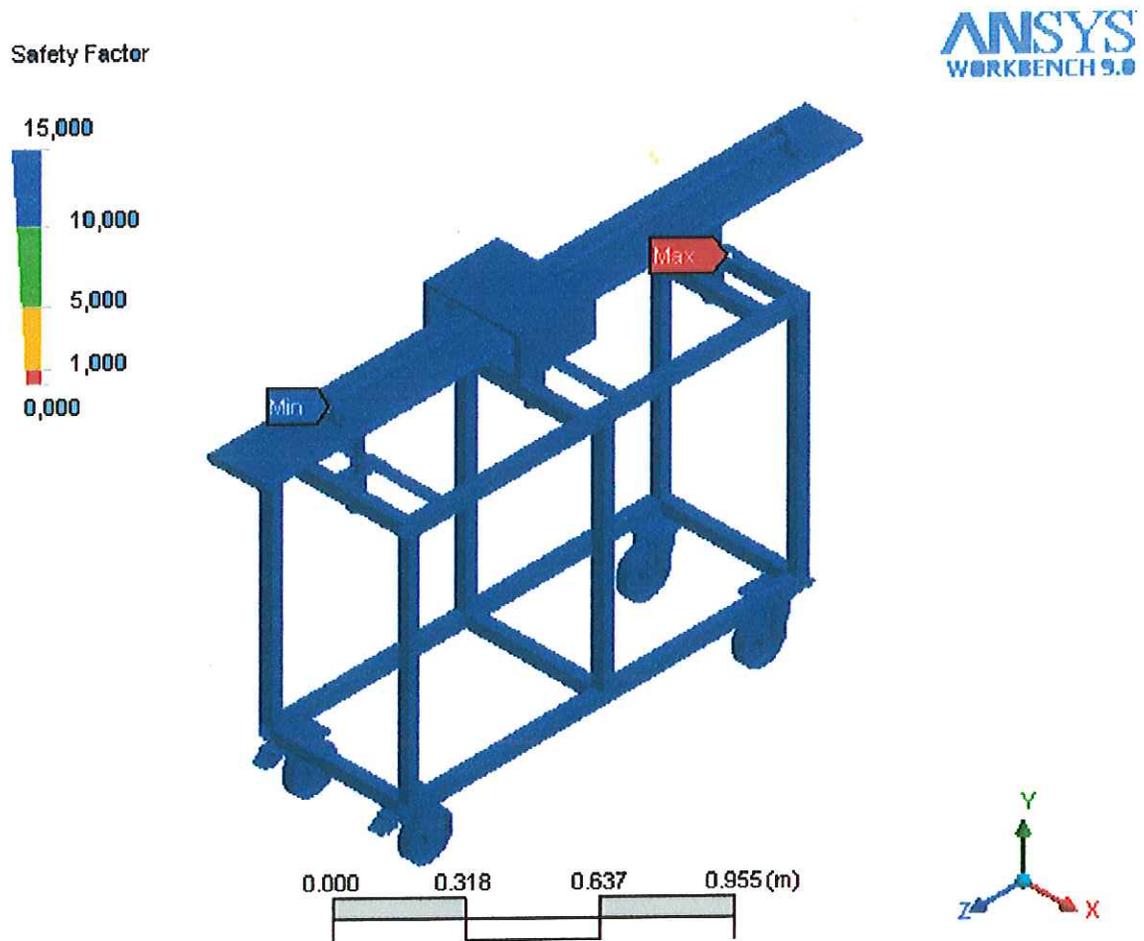
El esfuerzo equivalente de Von Mises es una técnica de cálculo en el análisis de deformación, en la que se estima el valor máximo de esfuerzo al que está sometida la estructura. En la escala que se muestra en la parte superior izquierda de la figura 33, se puntualiza el valor numérico al que asciende el esfuerzo equivalente de Von Mises. También con la etiqueta roja se puntualiza el sitio donde se presentan el máximo esfuerzo equivalente y con la etiqueta azul el mínimo esfuerzo equivalente.

Figura 33. Esfuerzo equivalente (Von Mises)



Por último, se muestra una imagen en la que se observa el valor del factor de seguridad máximo (etiqueta azul) y mínimo (etiqueta roja). El factor de seguridad, se entiende como el valor sobre el cual se debe basar cualquier diseño, para establecer sus puntos de referencia con respecto a posibles fallas que se puedan presentar. Un valor de factor de seguridad alto, brinda confianza, mientras que un valor de factor de seguridad bajo, pone en duda la confiabilidad y la funcionalidad. Para el caso concreto el valor del factor de seguridad máximo se presenta en uno de los extremos, mientras que el valor mínimo está sobre una de las piezas de soporte de las placas.

Figura 34. Factor de seguridad



En este análisis se observa que los materiales seleccionados para el montaje presentan un comportamiento óptimo y validan la decisión de incluirlos dentro del proyecto.

## 4. COMPONENTES ELECTRÓNICOS DEL SERVOMECANISMO

En este capítulo se enumeran y describen los diferentes componentes electrónicos integrados que se emplearon en el desarrollo del proyecto. Se hace una descripción de los dispositivos dando soporte a la decisión de incluirlos dentro del proyecto. Además, en esta sección se incluye la descripción del motor escogido para la ejecución del trabajo.

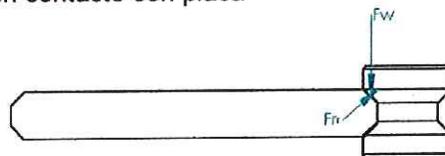
### 4.1 PLANTA MOTRIZ

La planta motora de cualquier sistema se encarga de dar vida a la estructura mecánica y en general a todos sus componentes. Para las condiciones específicas del servomecanismo, fue necesario implementar un proceso de cálculo para determinar que características de funcionamiento del sistema con el motor conseguido. Por medio de esta vía, se comprueba que las prestaciones del motor permiten su adecuada correspondencia con el servomecanismo.

#### 4.1.1 Procedimiento para calcular el motor

Para calcular la potencia que necesita el motor para poder mover el servomecanismo, se realiza un DCL de un rodamiento en contacto con la placa. La fuerza de rozamiento de los 4 rodamientos se convierte en la fuerza a vencer para poner en funcionamiento el carro.

Figura 35. DCL rodamientos en contacto con placa



Planteando la sumatoria de fuerzas y tomando como 150 N la fuerza que realiza cada rodamiento, se tiene:

$$F_w = 150N$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F_r \cos 45 - F_w = 0$$

$$F_r = \frac{F_w}{\cos 45}$$

$$F_r = 214.3N$$

El total de las fuerzas sería multiplicar este último valor por los 4 rodamientos que están en contacto; es decir:

$$F_T = F_r \cdot 4$$

$$F_T = 857.14N$$

Este valor de fuerza, es el que debe vencer el tornillo para poner en movimiento el sistema. Al comenzar el movimiento se presenta una aceleración que hay que hallar. Se plantea la siguiente expresión para poderla determinar:

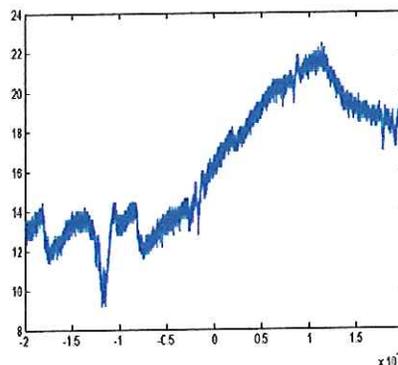
$$a = \frac{V_f - V_o}{t}$$

Donde  $V_o$ : Velocidad inicial del servomecanismo

$V_f$ : Velocidad final que presenta el servomecanismo

$t$ : Tiempo observado en la figura 36.

Figura 36 Tiempo de aceleración del sistema



La velocidad final se calcula por medio de la formula de velocidad tangencial, la cual analógicamente es la velocidad lineal de desplazamiento del carro. Realizando esto tenemos:

$$V_T = \omega \cdot r$$

$$V_T = V_L$$

$$V_T = 28.17 \text{ rad/s} \cdot 0.01524 \text{ m}$$

$$V_T = 0.42 \text{ m/s}$$

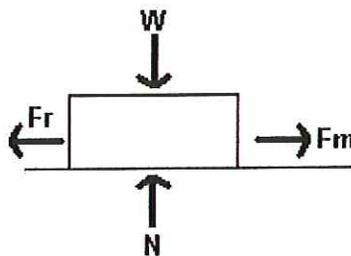
Retomando el cálculo de la aceleración se tiene:

$$a = \frac{0.42 \text{ m/s} - 0}{2 \text{ s}}$$

$$a = 0.21 \text{ m/s}^2$$

Al tener el valor de la aceleración podemos plantear la ley de newton para el siguiente sistema así:

Figura 37. DCL servomecanismo



$$\sum F_x = m \cdot a$$

$$F_m - F_r = m \cdot a$$

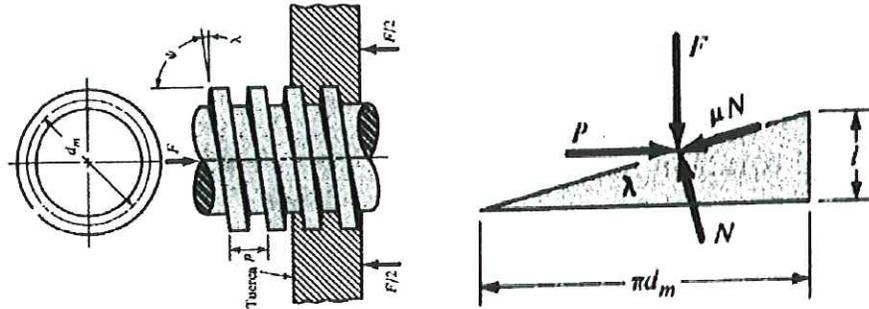
$$F_m = m \cdot a + F_r$$

$$F_m = 60 \text{ Kg} \cdot \left(0.21 \text{ m/s}^2\right) + 857.14 \text{ N}$$

$$F_m = 12.88 \text{ N} + 857.14 \text{ N}$$

$$F_m = 870 \text{ N}$$

Como el filete de la rosca del tornillo se desarrolla sobre un plano una longitud equivalente a una vuelta. Se hace un análisis de las fuerzas actuantes sobre el tornillo como sigue



Planteando el equilibrio,  $\Sigma F_x=0$  y  $\Sigma F_y=0$ :

$$P = \frac{F(\text{sen}\lambda + \mu \cos\lambda)}{\cos\lambda - \mu \text{sen}\lambda}$$

Donde

$d_m$  = diámetro medio.

$p$  = paso.

$\lambda$  = ángulo de hélice, o de avance. =  $(14.5^\circ)$

$$P = \frac{870N(\text{sen}(14.5) + \mu \cdot \cos(14.5))}{\cos(14.5) - \mu \cdot \text{sen}(14.5)}$$

$\mu$ ; Se toma de la siguiente tabla en la que se hace referencia de los coeficientes de rozamiento entre el bronce y el acero. Se toma el coeficiente de fricción estático señalado en el recuadro.

Tabla 8. Coeficientes de fricción de diferentes mecanismos tornillo-tuerca

Steel screw and bronze or cast-iron nut			Thrust-collar friction		
Conditions	Average coefficient of friction, $\mu$		Materials	Average coefficient of friction, $\mu_c$	
	Starting	Running		Starting	Running
High-grade materials and workmanship and best running conditions . . .	0.14	0.10	Soft steel on cast iron . . . . .	0.17	0.12
Average quality of materials and workmanship and average running conditions . . . . .	0.18	0.13	Hardened steel on cast iron . . . . .	0.15	0.09
Poor workmanship or very slow and infrequent motion with indifferent lubrication or newly machined surfaces . . . . .	0.21	0.15	Soft steel on bronze	0.10	0.08
			Hardened steel on bronze . . . . .	0.08	0.06

\* After C. W. Ham and D. G. Ryan, An Experimental Investigation of the Friction of Screw Threads, *Univ. Illinois Eng. Expt. Sta. Bull.* 247, 1932.

$$P = \frac{870N(\text{sen}(14.5) + 0.21 \cdot \cos(14.5))}{\cos(14.5) - 0.21 \cdot \text{sen}(14.5)}$$

$$P = \frac{394.38N}{0.9154}$$

$$P = 430.8N$$

Para hallar el valor de torque necesario se utiliza la siguiente expresión:

$$T = P \cdot \frac{d_m}{2}$$

Se toma como  $d_m$  un valor de  $0.6 \text{ in}^2$ . Realizando la conversión al sistema internacional tenemos que  $d_m=0.01524\text{m}$

Reemplazando estos datos en la formula tenemos:

$$T = P \cdot \frac{d_m}{2}$$

$$T = 430.8N \left( \frac{0.01524m}{2} \right)$$

$$T = 3.3Nm$$

Conociendo que el avance del tornillo es de  $\frac{1}{4}$ ", hacemos la conversión al sistema internacional de unidades y tenemos 0.635cm. Podemos establecer una regla de tres en la que se establece que la distancia efectiva de trabajo es de 125cm. Si en una vuelta del motor se recorre 0.635cm, para recorrer los 125 cm cuantas necesitaría.

1 vuelta	0.635cm
X	125cm

$$X = 125cm \cdot 1vuelta / 0.635cm$$

$$X = 197 \text{ vueltas}$$

En 197 vueltas se alcanzaría el total del recorrido en un sentido. Para determinar la velocidad angular del motor suponemos que este recorrido lo ha de realizar en un minuto. Podemos utilizar este dato para hallar la frecuencia de operación que debería tener el motor así:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$f = 197 \text{ rad}/\text{min}$$

$$f = 197 \text{ rad}/60s$$

$$f = 3.3 \text{ Hz}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 3.3 \text{ Hz}$$

$$\omega = 20.614 \text{ rad}/s$$

La potencia necesaria del motor sería:

$$P = T \cdot \omega$$

$$P = 3.3Nm \cdot 20.614 \frac{rad}{s}$$

$$P = 67.67watts$$

El motor dispuesto para el proyecto tiene las siguientes características según la placa del fabricante:

Motor DC Toshiba de imán permanente con escobillas y etapa de reducción

*Voltaje alimentación=20V*

*Velocidad angular=278rpm*

*Corriente=4A*

Ahora bien de acuerdo a las especificaciones de la placa del motor se puede determinar la potencia eléctrica del mismo:

$$P_e = V \cdot I$$

$$P_e = 20V \cdot 4A$$

$$P_e = 80watts$$

Para hacer la analogía con la potencia mecánica se necesita colocar una eficiencia que está entre 0.7 y 0.95. Tomamos como valor una eficiencia del motor aproximada de 0.9 con lo que se tiene:

$$P_m = P_e \cdot \eta$$

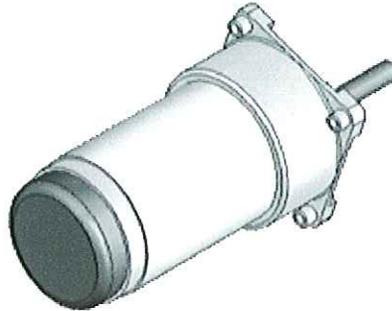
$$P_m = 80watts \cdot 0.9$$

$$P_m = 76watts$$

Lo cual quiere decir que el motor estaría sobre dimensionado con un factor de seguridad aproximado de 1.2, asegurando que el sistema funcionará

correctamente con él. Este es un esquema en Solid Works del motor conseguido para el proyecto.

Figura 38. Motor DC Toshiba de imán permanente con escobillas y etapa de reducción



Del autor

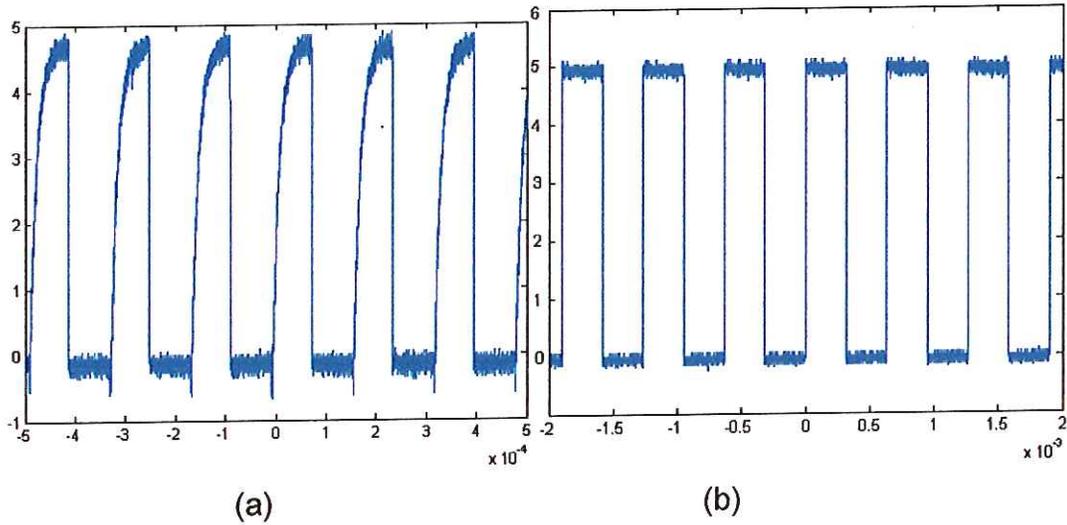
#### 4.1.2 Encoder del motor

El motor dispuesto para el proyecto, posee un encoder incremental, el cual se encarga de dar la información del movimiento del eje por cantidad de pulsos. Como se explicaba anteriormente el encoder convierte un desplazamiento rotacional en una señal digital sin necesidad de un convertidor analógico - digital.

La señal digital de salida del encoder se puede utilizar para determinar por medio de la cantidad de pulsos, cuántas vueltas ha girado el motor y por ende, hacer una interpolación y determinar a que distancia lineal de desplazamiento corresponden dichos pulsos. Es decir si en una vuelta el encoder proporciona 100 pulsos, entonces con pruebas físicas del mecanismo, se determina cuanta distancia lineal recorre el carro. Cabe decir que la señal de salida del encoder del motor es compatible con tecnología CMOS, TTL, MOS, DTL.

En la figura 39a se puede observar la salida del encoder mostrada en el osciloscopio. Nótese que la señal del encoder es un pulso con una leve curvatura en su flanco ascendente, para corregir esto se realizo un acondicionador de señal el cual se explica mas adelante, y su resultado se puede ver en la figura 39b.

Figura 39. Señal de salida del encoder del motor y su corrección

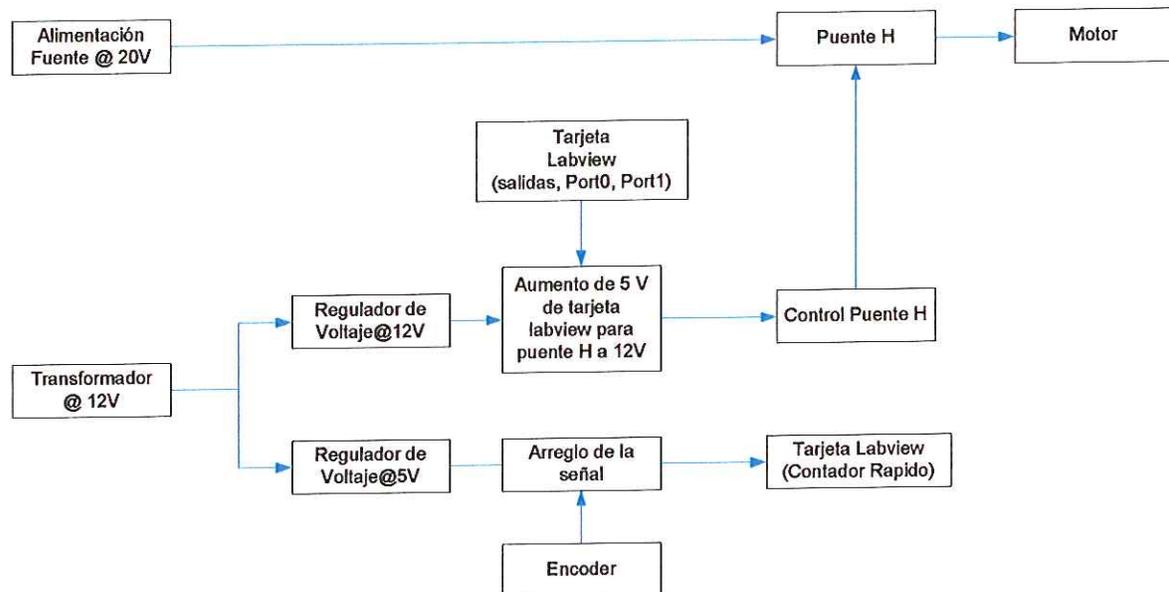


Del autor

## 4.2 INTERFAZ DE ADQUISICIÓN DE DATOS DEL SERVOMECANISMO

### 4.2.1 Diagrama de bloques

Figura 40. Diagrama de bloques – Metodología de componentes electrónicos



Para ejecutar la labor de capturar la información del servomecanismo, se cuenta con una tarjeta portátil de adquisición de datos con comunicación USB al PC, cuya referencia es USB-6009 de National Instruments. Dentro de sus características funcionales podemos encontrar:

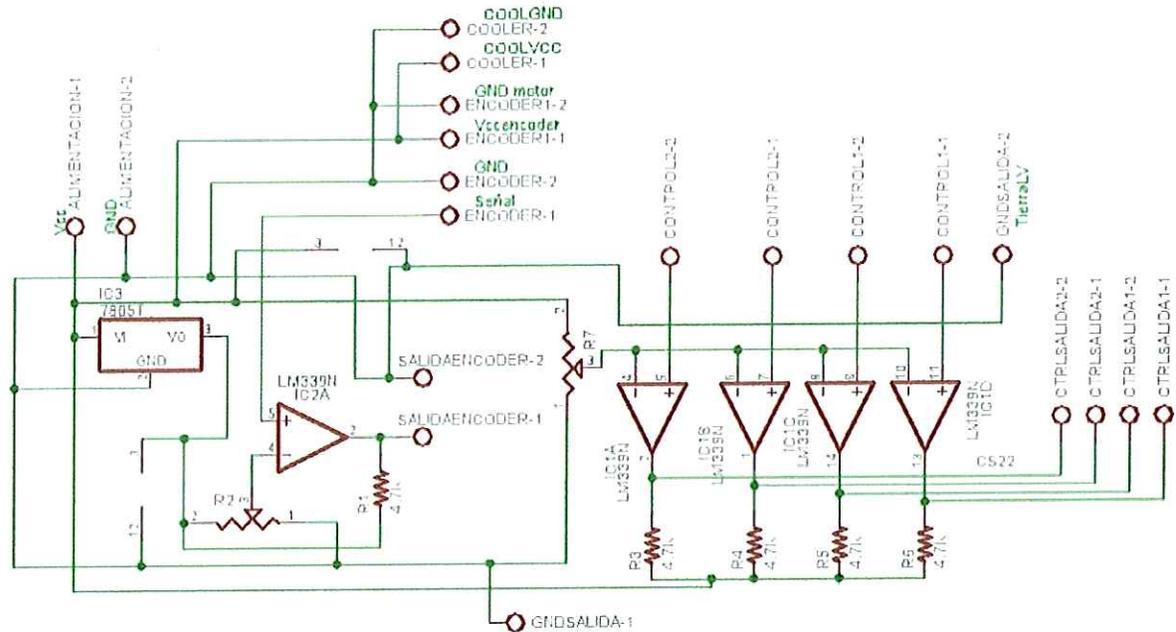
- Un módulo contador de eventos cuya resolución es de 32 bits y con una frecuencia máxima de 32 MHz.
- Interfase para comunicación USB 2.0 a la cual brinda la máxima velocidad de comunicación. La velocidad del bus USB es de 12 Mb/s.

Ahora bien, realizando pruebas al encoder se determina una frecuencia de salida de 6 KHz. para los pulsos, por lo cual con el módulo contador de eventos podríamos capturarlos sin ningún tipo de inconvenientes.

Para la captura de los pulsos del sistema se necesita configurar la tarjeta USB 6009, en la patilla 29 como entrada contadora de eventos. Esta configuración se realiza por medio de la plataforma de programación (Labview), la cual detecta la tarjeta de adquisición de datos y pide al usuario los datos específicos de la configuración. Uno de los datos de la configuración hace referencia a qué tipo de eventos se van a contar; es ahí donde se especifica que los eventos son pulsos.

Con respecto a la velocidad de adquisición y transmisión de datos, cabe decir, que la característica de la tarjeta permite alta velocidad (ver anexo 5), por lo cual se garantiza la respuesta del sistema casi en tiempo real. A continuación se explica la tarjeta cuya función es acondicionar las señales del sistema y además complementar las funciones de la tarjeta de adquisición de datos.

Figura 41. Acondicionador de señales del servomecanismo y alimentación de circuitos internos.



La tarjeta consta de 2 etapas de comparadores digitales LM 339, los cuales funcionan así:

El primer LM-339, adecua la señal que sale del encoder del motor, dejándola perfectamente cuadrada y libre de ruidos que introduzcan error en los datos adquiridos. Con esto se garantiza una adquisición de pulsos buena con alta confiabilidad. Esto se consigue realizando una comparación de voltaje con una señal de referencia de 5V. Al comparar ambas señales tanto la del encoder como la señal de referencia, se obtiene una señal completamente cuadrada correspondiente a pulsos de 5V como se mostró en la figura 39b.

El segundo LM-339, compara valores entre 0V y 5V que vienen de la tarjeta de adquisición de datos. Cuando el valor detectado es 0V no envía ninguna señal a los optoisoladores; pero cuando el voltaje que recibe de la tarjeta es igual a 5V entonces envía 12V para activar los optoisoladores del puente H, quienes como se explico anteriormente, se encargan de activar el disparo y funcionamiento de los transistores de potencia.

Otra de las funciones conseguidas con este pequeño circuito es unir la tierra de todos los componentes; es decir, la tierra del motor, la tierra del encoder y la tierra de la fuente de alimentación. Además se logra suministrar el voltaje de funcionamiento del encoder del motor.

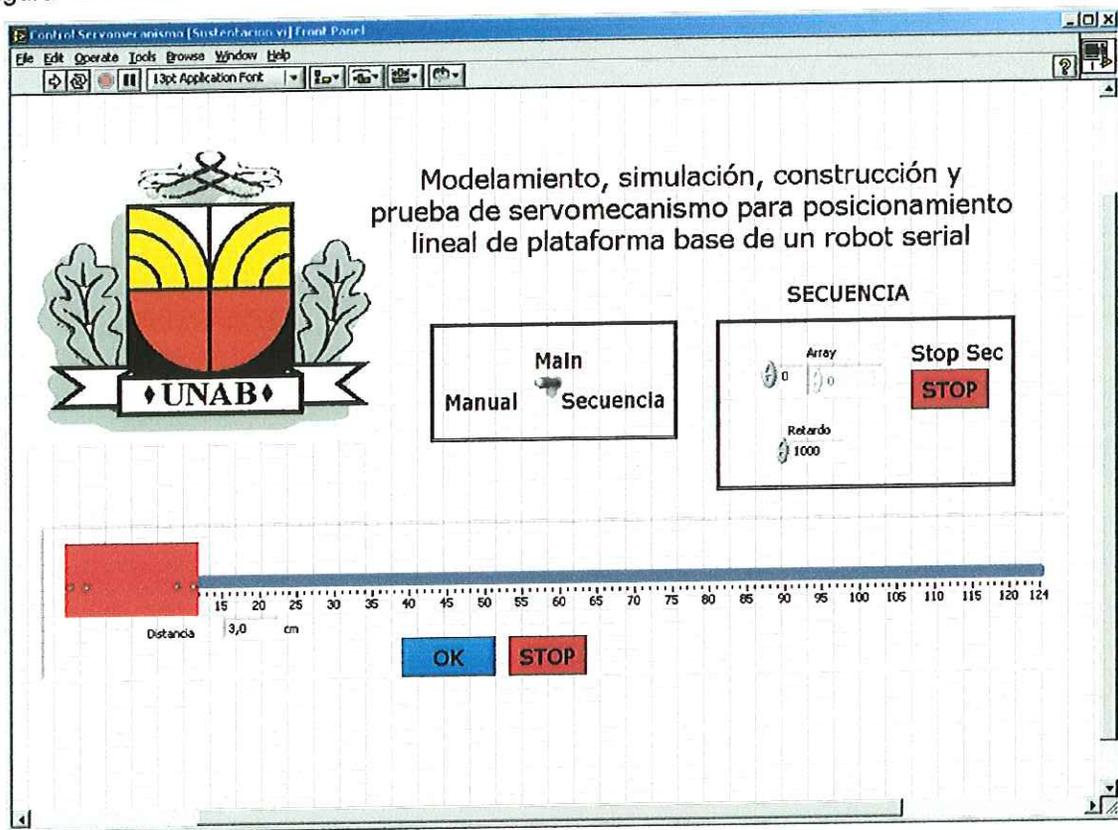
#### **4.3 DESARROLLO DEL SOFTWARE DE CONTROL DEL SERVOMECANISMO**

La interfaz de programación fue desarrollada por medio de LABVIEW. La pantalla de usuario, consta de una barra con el esquema del carro de posicionamiento. La barra a su vez está demarcada de tal manera que se tenga referencia de la distancia sobre la cual esta moviéndose el servomecanismo.

También se cuenta con un panel de control que presenta dos opciones predeterminadas por el autor; Estas opciones son manual/secuencia y habilitan el funcionamiento del servomecanismo de las dos formas; es decir, en manual, el usuario tiene la posibilidad de introducir un valor de distancia a la cual desea llevar el carro, mientras que en la opción secuencias, se pueden introducir varias distancias a la cual se desea llevar el carro. Esto se consigue por medio de barra incremental en la cual se cargan los valores de distancias en el vector.

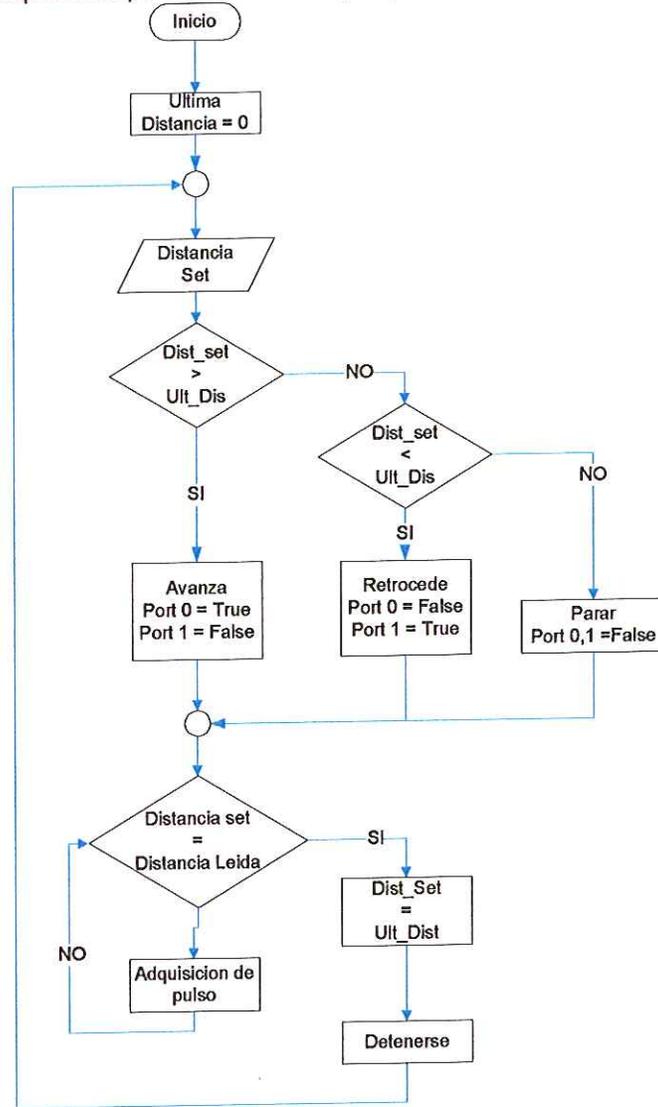
Para poder iniciar el funcionamiento del programa, se selecciona en modo manual o secuencia y se autoriza por medio del botón OK. Si se desea parar el funcionamiento del servomecanismo en cualquier momento se puede realizar por medio del botón stop. Además el fondo de la interfaz de usuario, hace referencia al lugar donde se encuentra ubicado el servomecanismo en la realidad, para recrear un poco esta situación. En la figura 42 se describe detalladamente lo anterior.

Figura 42. Interfaz de usuario



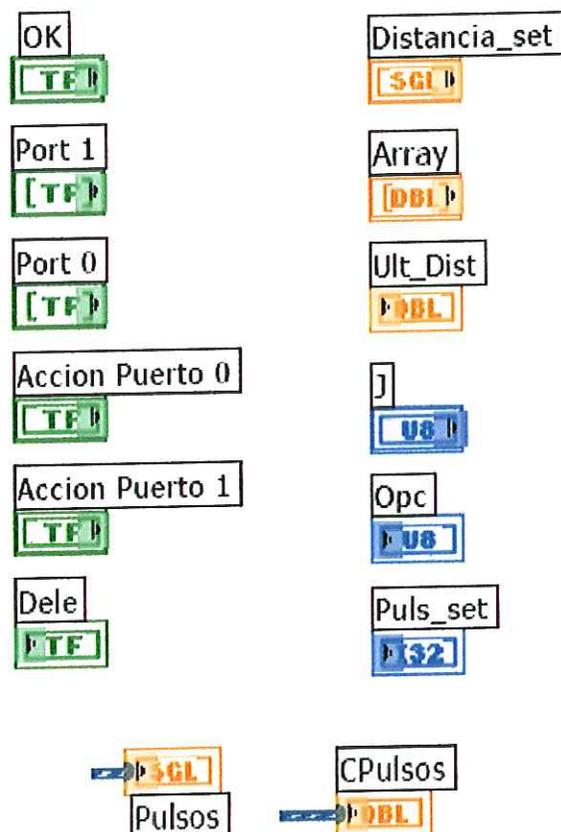
### 4.3.1 Descripción detallada del programa

Figura 43. Algoritmo simplificado para el control de giro y ubicación.



En esta sección se describe paso por paso como esta programado el esquema de control, explicando las variables usadas en el programa, la lógica desarrollada y la interacción usuario-máquina.

#### 4.3.1.1 Variables del programa



- **Variables tipo Booleanos**

**Botón OK:** Habilita el movimiento después de haber situado el carro en la posición deseada en modo manual/secuencia.

**Port 1:** Variable de tipo booleano que escribe en el puerto 0 línea 1 un uno lógico o un cero lógico, que a su vez es usada en el DAQ Assistant.

**Port 0:** Variable de tipo booleano que escribe en el puerto 0 línea 0 un uno lógico o un cero lógico, que a su vez es usada en el DAQ Assistant.

**Accion Puerto 0:** Variable de tipo booleano que controla la escritura en la variable Port 0.

**Accion Puerto 1:** Variable de tipo booleano que controla la escritura en la variable Port 1.

**Dele:** Variable que se usa como habilitador en la comparación entre los pulsos seteados y los pulsos que se reciben del encoder del motor.

- **Variables tipo Long**

**Distancia\_set:** Se usa para almacenar la posición deseada.

**Array:** Vector en el cual se almacena la secuencia deseada.

**Pulsos:** Variable donde se almacena los pulsos entregados por el encoder en modo manual.

**CPulsos:** Variable donde se almacena los pulsos entregados por el encoder en modo secuencia.

- **Variables tipo Entero**

**J:** Se encarga de recorrer todas las posiciones del vector donde están almacenadas las distancias en el modo de secuencia.

**OPC:** Variable que determina si avanza, retrocede o se detiene.

**Puls\_Set:** Variable de tipo entero en donde se almacena la conversión de la distancia seteada en pulsos.

#### 4.3.2 Explicación de la lógica del programa

El programa inicia con la opción predeterminada de manual, si se pretende usar la parte de secuencia se debe activar el switch a secuencia pero antes se debe programarla indexando los datos en el array.

En el modo manual se *case structures* para realizar las comparaciones en el sentido de giro y para la salida de datos en los puertos. Como se ve en la figura 44 se realiza una protección para que los puertos no estén accionados al mismo tiempo, pues esto ocasionaría un corto en el puente H.

Las comparaciones que se realizan para determinar el sentido de giro se hacen de la siguiente forma:

- ❖ Si la distancia seteada es mayor que la última distancia guardada el carro avanzara y la opción (OPC) será igual a 1.
- ❖ Si la distancia seteada es menor que la última distancia guardada el carro retrocederá y la opción (OPC) será igual a 2.
- ❖ Si la distancia seteada es igual que la última distancia guardada el carro se detendrá y la opción (OPC) será igual a 3 esta opción esta por defecto.

Siguiente paso es determinar cuantos pulsos debo recorrer eso se calcula mediante el valor absoluto de la resta entre la distancia actual y la ultima distancia este valor se le realiza el cambio a pulsos por medio de una regla de 3.

$$Y1 = (X1 * 191990) / 126$$

Donde X1: es el valor de la distancia y Y1 es el resultado que se almacena en Puls\_set.

Después de esto en un *case structure* según la opción dada se activan los puertos para avanzar o retroceder. En tiempo real se va realizando la resta entre los pulsos seteados y los pulsos que recibe el encoder hasta que la diferencia entre estos sea la predeterminada en el programa que es de 4000 para lograr que el carro se detenga en la posición deseada esto con el fin de disminuir el efecto de la inercia, mientras exista esta diferencia se activa la variable DELE, cuando se alcanza el valor deseado se desactiva DELE. Todo esto se muestra en la figura 45

Por último se hace un pequeño retardo de 50 ms, con el fin de actualizar el valor de Ult\_dist con la distancia seteada y cuando esto se hace se inicializa nuevamente el contador.

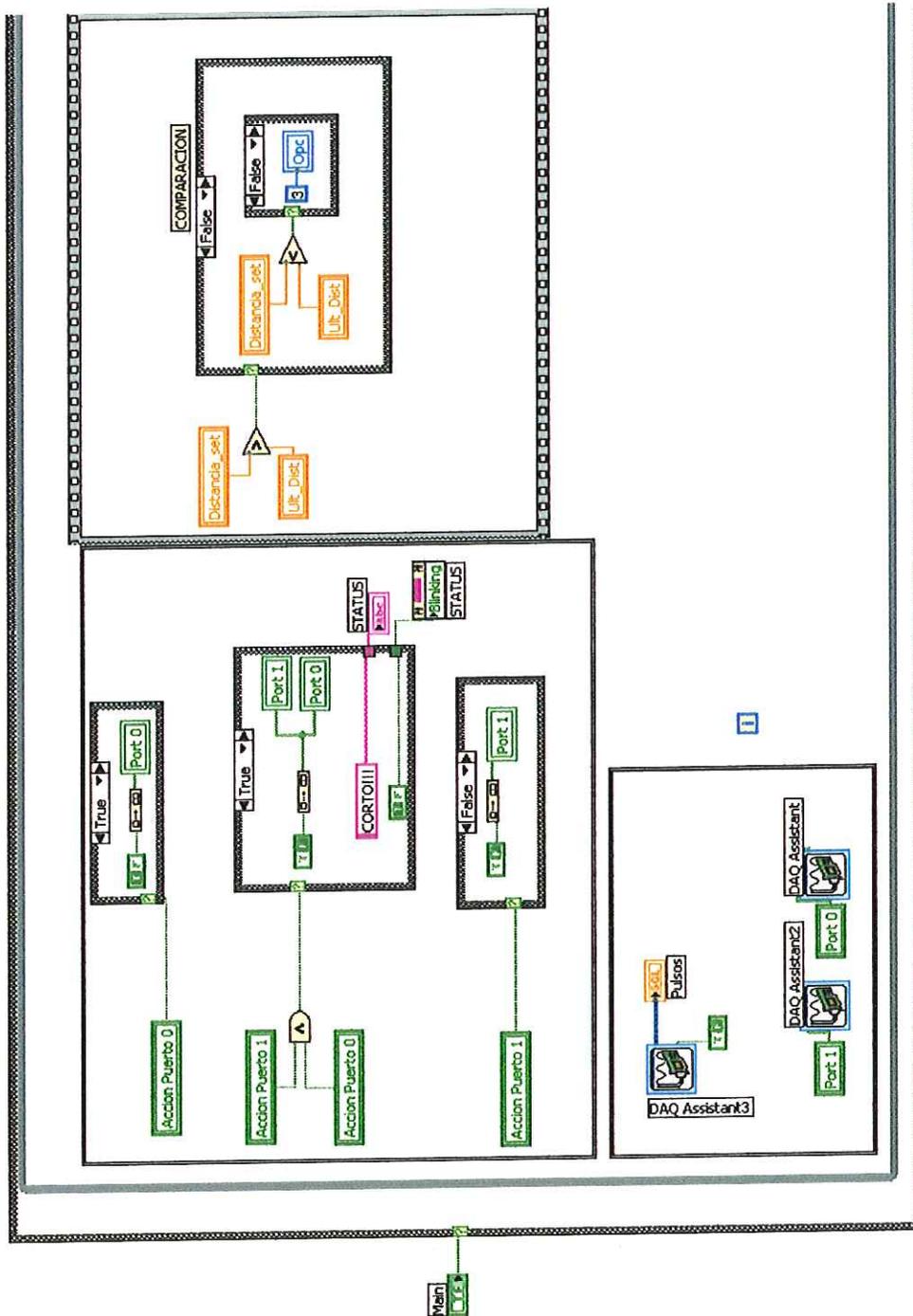
En el modo secuencia básicamente se realizan las mismas comparaciones pero con la diferencia que las distancias seteadas son almacenadas en un array y estas se recorren por medio de una variable que se llama J que aumenta cada vez que el carro llega a una posición final. En la figura 46 se observa lo descrito anteriormente.

Como se ve en la figura 47 primero se revisa la distancia seteada indexando la posición 0 del vector de distancias. Seguido a esto se realizan las comparaciones de avance o retroceso y se almacena en OPC. Luego se convierten la diferencia entre las distancias a pulsos, de acuerdo a la opción (OPC) se activa puerto 1 o puerto 0 para el avance y el retroceso.

Luego se revisa en tiempo real la diferencia entre los pulsos seteados y el los pulsos que entrega el encoder y mientras exista la deferencia, se activa DELE, cuando DELE es falso es por que ya se llevo a la posición deseada y se prosigue a esperar unos segundos y a aguardar la distancia seteada como la ultima. Cuando J alcanza el valor del tamaño del array se termina el programa y se sitúa en manual y se desactiva secuencia. Esta operación se muestra en la figura 48.

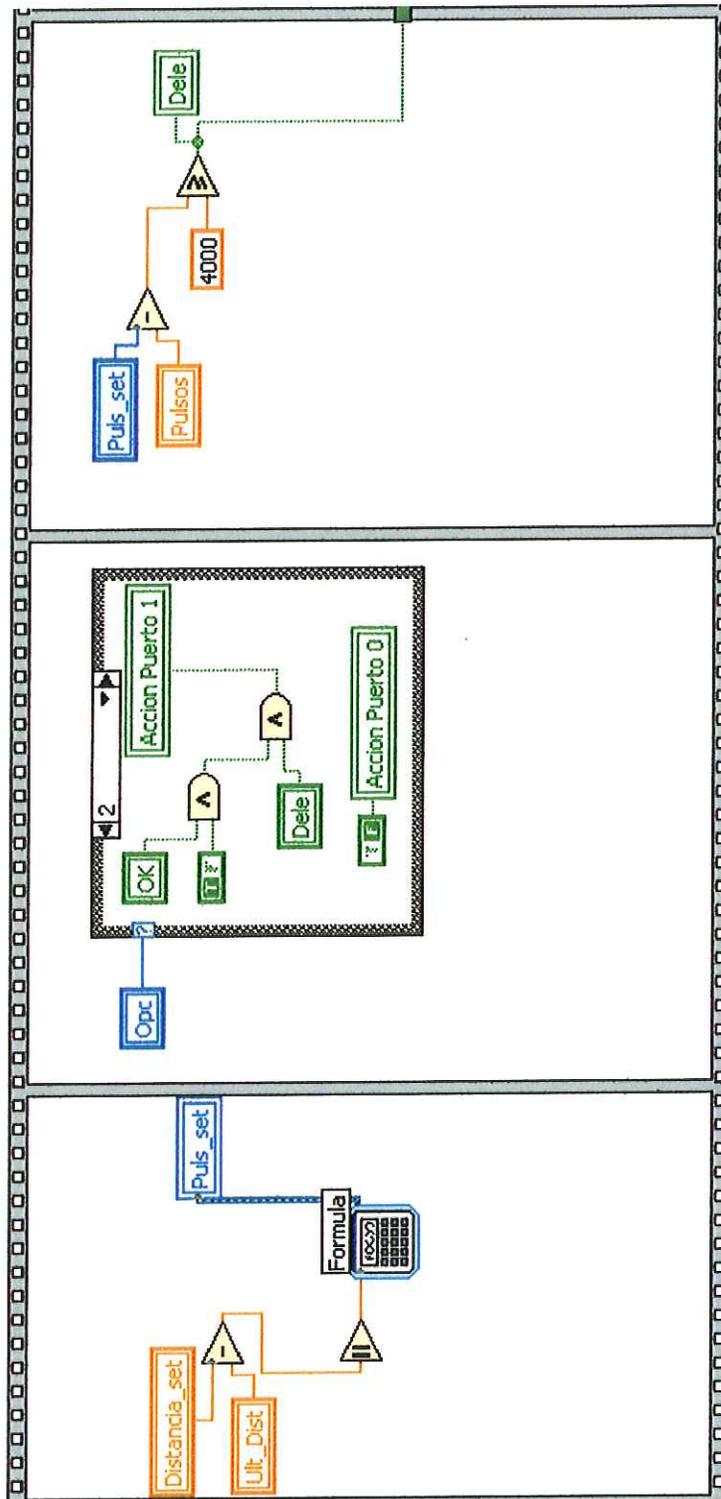
**Nota:** Ante todo el servomecanismo nunca toca los extremos pues esto se tiene programado por software ya que no se cuenta con los finales de carrera.

Figura 44. Protección para los puertos



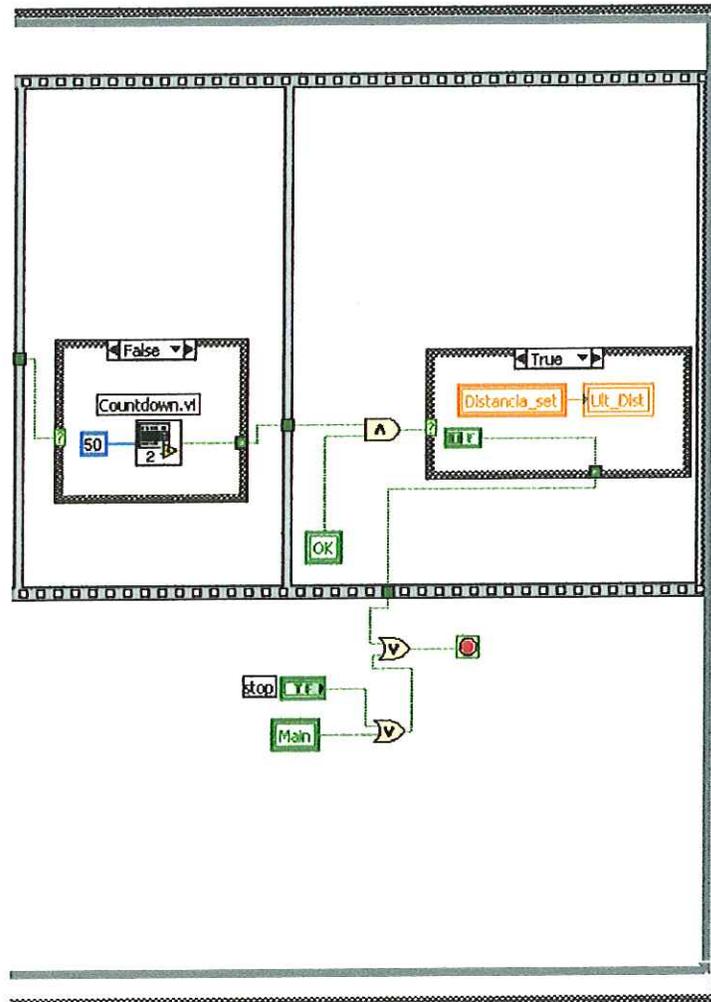
Programa en Labview

Figura 45. Conversión de distancia en pulsos y habilitación de la variable dele



Continuación programación en labview

Figura 46. Retardo, Actualización de la variable Ult\_dist y detención del while



Programación en labview

Figura 47. Modo secuencia, lectura del vector J y comparación

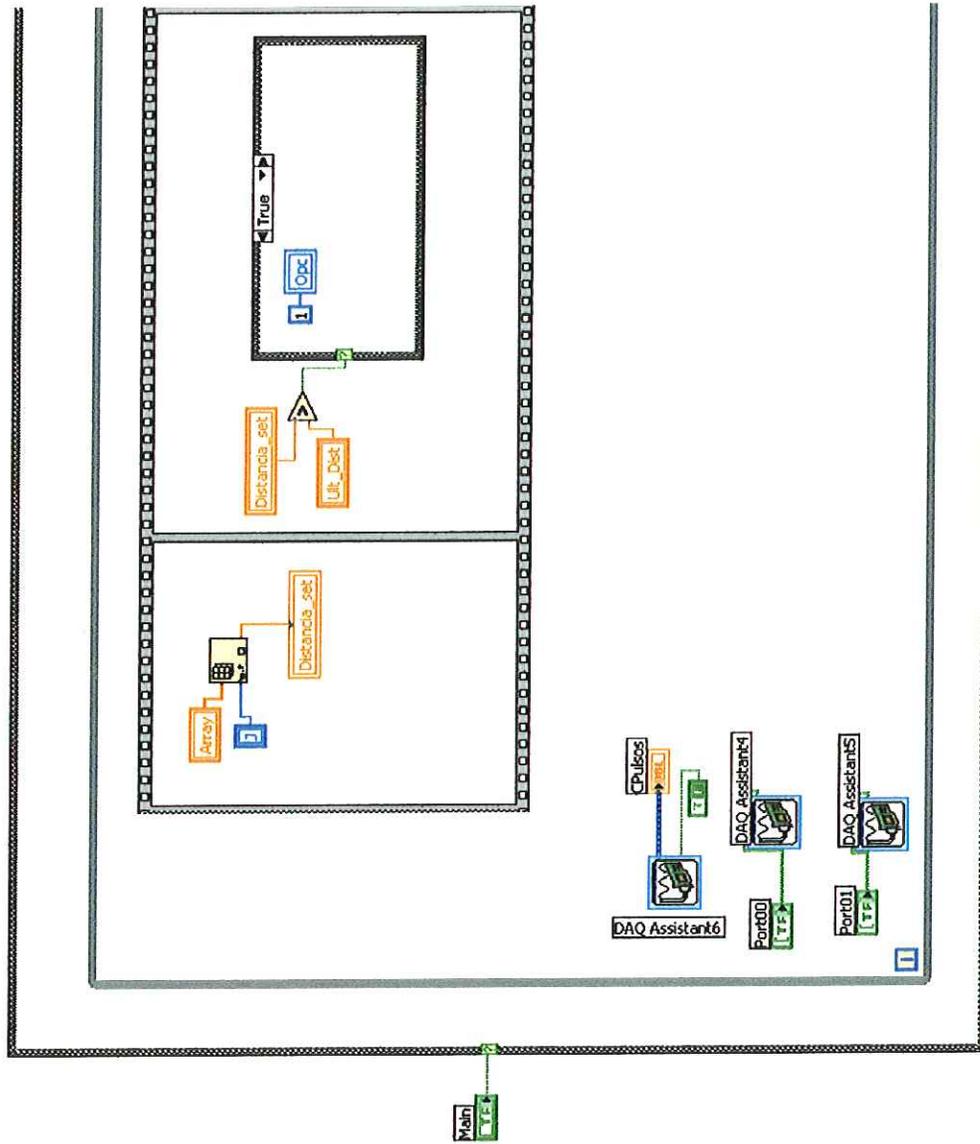
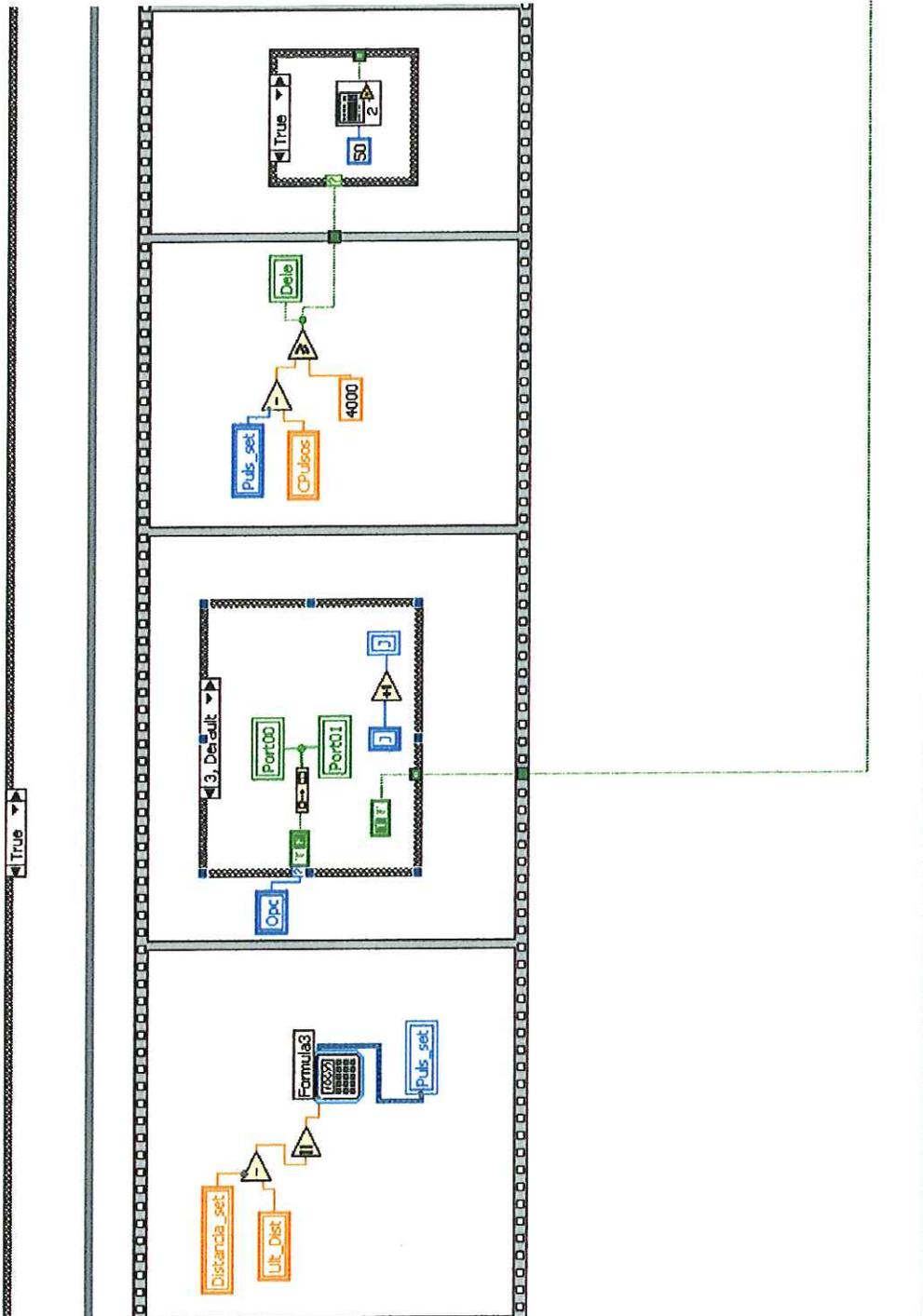


Figura 48. Conversión de distancia a pulsos, incremento de J y habilitación de dele



## 4.4 ESTRATEGIA DE CONTROL

### 4.4.1 Criterio de selección del Control On-Off<sup>§§§</sup>

Los controladores de éste tipo tienen dos posiciones estables, conmutando entre uno y otro según el valor de  $E(s)$ . Para evitar que el control conmute en forma **descontrolada**, la variable de control  $m(s)$  cambiará de valor sólo cuando  $E(s)$  presente valores fuera de un cierto intervalo, de esta manera se define como zona muerta ó **brecha diferencial** al intervalo dentro del cual el controlador no conmuta.

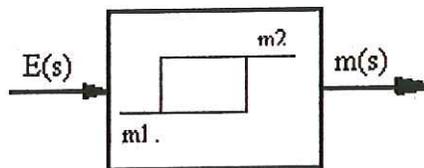
La brecha diferencial permite que el controlador no conmute indiscriminadamente ante pequeñas variaciones de  $E(s)$ , (en general debido a **ruidos**).

Lo anterior se puede expresar con un diagrama de un bloque (ver figura 49), donde las variables son:

La de entrada: el error (diferencia entre el valor deseado y el realmente existente):

La de salida: variable de control sin embargo este tipo de controles no puede tener un tratamiento como bloque de un sistema lineal pues el control on off no lo es.

Figura 49 Diagrama de bloque del control on off

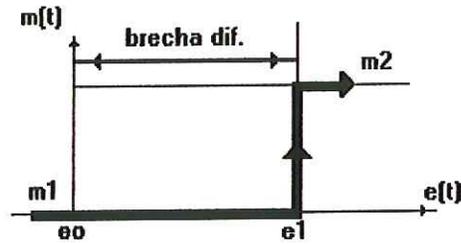


<sup>§§§</sup> [http://csd.newcastle.edu.au/SpanishPages/clase\\_slides\\_download/on\\_off.pdf](http://csd.newcastle.edu.au/SpanishPages/clase_slides_download/on_off.pdf)  
<http://www.fi.uba.ar/materias/6722/acciones%20basicas%20PID.pdf>

En la excursión ascendente del error la señal de control pasa a estado alto cuando  $e > e_1$  y en la excursión descendente de  $e$  la señal de control pasa a estado bajo cuando  $e < e_0$  la entonces como dijimos el intervalo  $[e_0, e_1]$  se denomina brecha diferencial.

Representado en el dominio del tiempo se ve así:

Figura 50. Brecha diferencial.



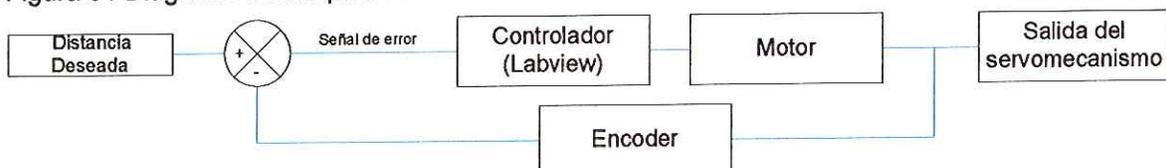
Basados en esta información los criterios de selección fueron:

1. El control On-Off es la forma más simple de controlar.
2. Es comúnmente utilizado en la industria
3. Muestra muchos de los compromisos fundamentales inherentes a *todas* las soluciones de control.

#### 4.4.2 Descripción del control implementado

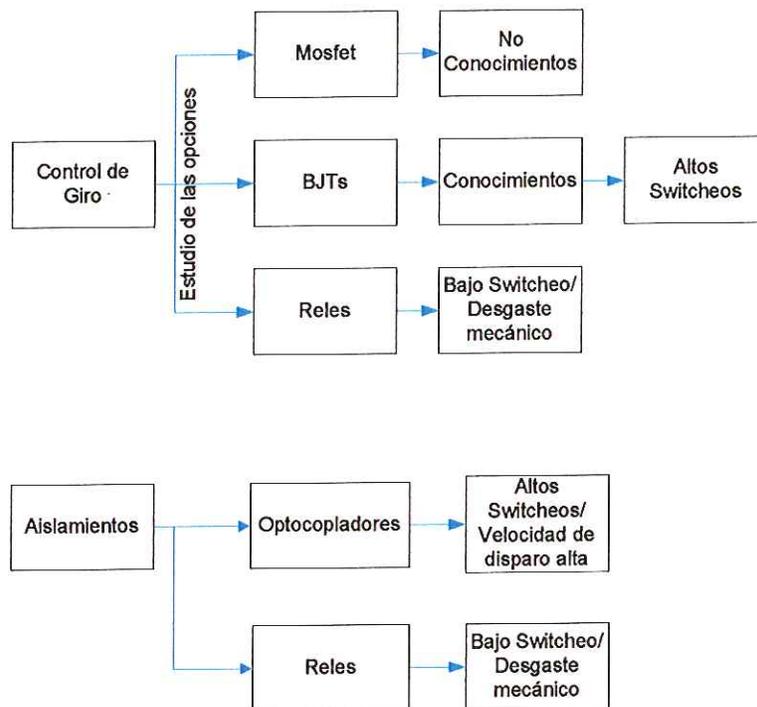
El control del servomecanismo se realizó por medio de un lazo cerrado con realimentación desde el encoder del motor. El diagrama de bloques se muestra a continuación:

Figura 51 Diagrama de bloques del servomecanismo



El sistema de control implementado se basa en un valor de distancia a la cual se quiere llevar el servomecanismo. Este valor entra al controlador, que en nuestro caso es la plataforma de programación en Labview, evaluándose e introduciendo la orden para poner a girar al motor en el sentido correcto. Por medio de los pulsos que genera el motor se realimenta al controlador permitiendo tener información de la posición del servomecanismo en tiempo real. La salida del sistema es que el carro llegue a la posición deseada.

### CIRCUITO PARA INVERSIÓN DE GIRO DEL MOTOR (PUENTE H)



#### 4.5.1 Introducción

El motor debe girar en ambos sentidos para desplazar así mismo la estructura. Debido a las características de corriente que demanda el motor, es necesario implementar un circuito electrónico robusto, para poder soportar las exigencias del

mismo. A continuación se describen los elementos más relevantes que conforman este circuito, explicando su función y operabilidad.

#### 4.5.2 Cálculos detallados para elementos del puente H

Los componentes eléctricos como los transistores se escogieron de acuerdo a la corriente de arranque del motor.

*Cálculos de resistencia de base:*

Factor de sobrestimación (saturar transistor):

$$F = \frac{I_B}{I_{BS}}$$

Donde  $F = 1.5$  (factor de seguridad para asegurar la saturación del transistor)

$$I_{BS} = \frac{I_{CMAX}}{\beta} = \frac{6A}{500} = 0.012A$$

$$I_B = 1.5 \cdot 0.012A = 0.018A$$

Malla (1) (ver figura 54):

$$V_{CC} = V_{BE\ SAT\ Q1} + I_1 \cdot R_1 + V_{CE\ SAT\ OP1}$$

$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_{BE\ SAT\ Q1} - V_{CE\ SAT\ OP1}}{I_1}$$

$$R_1 = \frac{20V - 3.5V - 0.3V}{0.018A} = 900\Omega$$

Malla (2) (ver figura 54):

$$V_{CC} = I_2 \cdot R_2 + V_{CE\ SAT\ OP2} + V_{BE\ SAT\ Q2}$$

$$R_2 = \frac{V_{CC} - V_{BE\ SAT\ Q2} - V_{CE\ SAT\ OP2}}{I_2}$$

$$R_1 = \frac{20V - 3.5V - 0.3V}{0.018A} = 900\Omega$$

De acuerdo a la resistencia de base se escogieron los optosiladores para una corriente de: 0.018 A

La capacidad de los diodos se escogió en base a la corriente pico del motor dividido en 2:  $4A/2 = 2A$ .

**Datos del motor:**

Corriente nominal: 2 A

Corriente Pico:  $2 \times 2 = 4$  A

Voltaje: 20 V

RPM: 260

**Datos del encoder:**

Señal: Amarillo

Tierra: Azul

Vcc: Café

Voltaje de alimentación (10 V) para que la señal de salida sea 5 V

### **4.5.3 Optoisoladores**

Para este proyecto, optamos por el optoisolador NTE 3041 (MOC) el cual posee características de conmutación afines a los sistemas electrónicos y de control necesarios para el desarrollo del modelo, (ver anexo1). Estas son:

- Alta proporción de transferencia de corriente.
- Garantía en la velocidad de switcheo o conmutación.

Algunas de sus principales aplicaciones son:

- Circuitos de switcheo de propósito general.
- Sirve como interfaz y acople entre circuitos que presentan diferencias de potencial e impedancias.
- Reguladores en circuitos de realimentación.

### **4.5.4 Transistores NPN y PNP Darlington**

Se utilizaron 2 transistores NPN y dos transistores PNP para el circuito. Una de las principales características por la cual se seleccionaron, es debido a su ganancia de corriente, lo cual asegura una constante alimentación de las bobinas del motor, aun cuando la demanda de corriente sea alta.

La demanda de corriente en el motor depende del torque que deba hacer para poder mover la transmisión. Como los torques varían de acuerdo a los estados de funcionamiento, es posible que en ciertas partes del recorrido, se haga mas notoria la demanda de corriente por parte del motor, por lo cual los transistores deben asegurar que la corriente este siempre dentro de los niveles deseados y no dejarle caer. Una de las condiciones mas criticas de diseño es cuando el sistema arranca desde cero, teniéndose en este punto el valor pico más alto de corriente.

Es allí donde más funcionan los transistores como quiera que sea, que en este punto es donde deben entregar los valores necesarios de corriente para que el sistema arranque y se establezca en una velocidad nominal. Por eso se necesitaron de transistores tan robustos y con alta ganancia de corriente.

#### 4.5 Explicación del circuito inversor de giro del motor

Las entradas del circuito de la figura 53 llamadas control 1.1 (Q1), control 1.2 (Q2), control 2.1 (Q3), control 2.2 (Q4), son las que ponen el funcionamiento el circuito, activando los transistores de acuerdo a la secuencia Q1-Q4, Q2-Q3 respectivamente.

Para que la corriente circule por la carga se llevan a conducción dos transistores (Q1 y Q4). De esta forma la corriente circula en un sentido (de izquierda a derecha), y para que lo haga en sentido contrario se activan (Q2 y Q3). Mientras tanto, los otros dos transistores se mantienen desactivados. Todo esto se controla por medio de la activación secuencial de los optoisoladores como ya se dijo.

Los diodos, sirven de protección y evitan que se destruya el puente cuando se está realizando la conmutación de los transistores. Así, la corriente siempre tiene un camino de salida a través de los diodos.

Figura 52. Esquema simplificado del funcionamiento del puente H

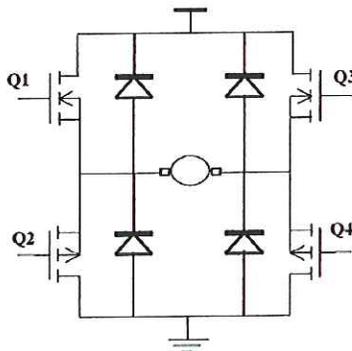
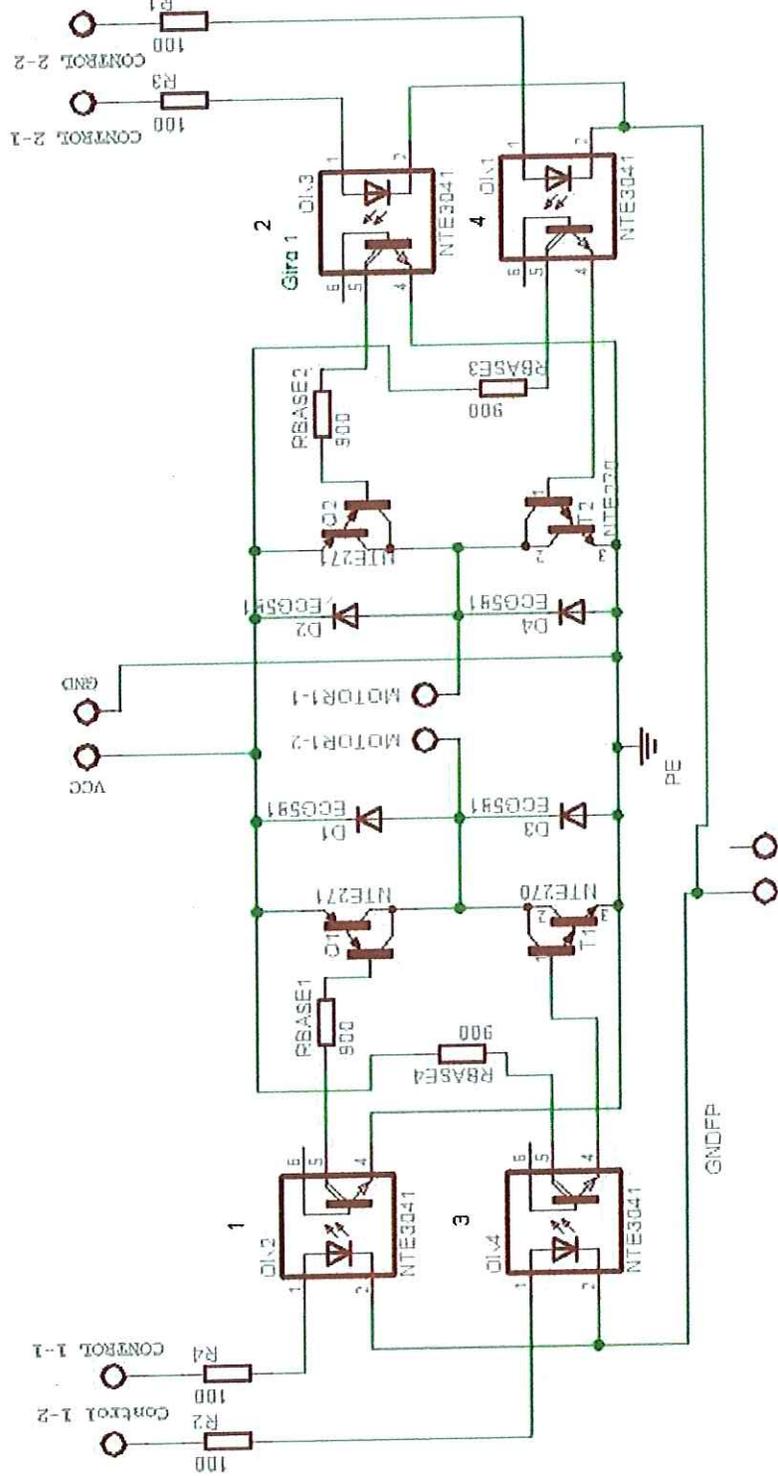
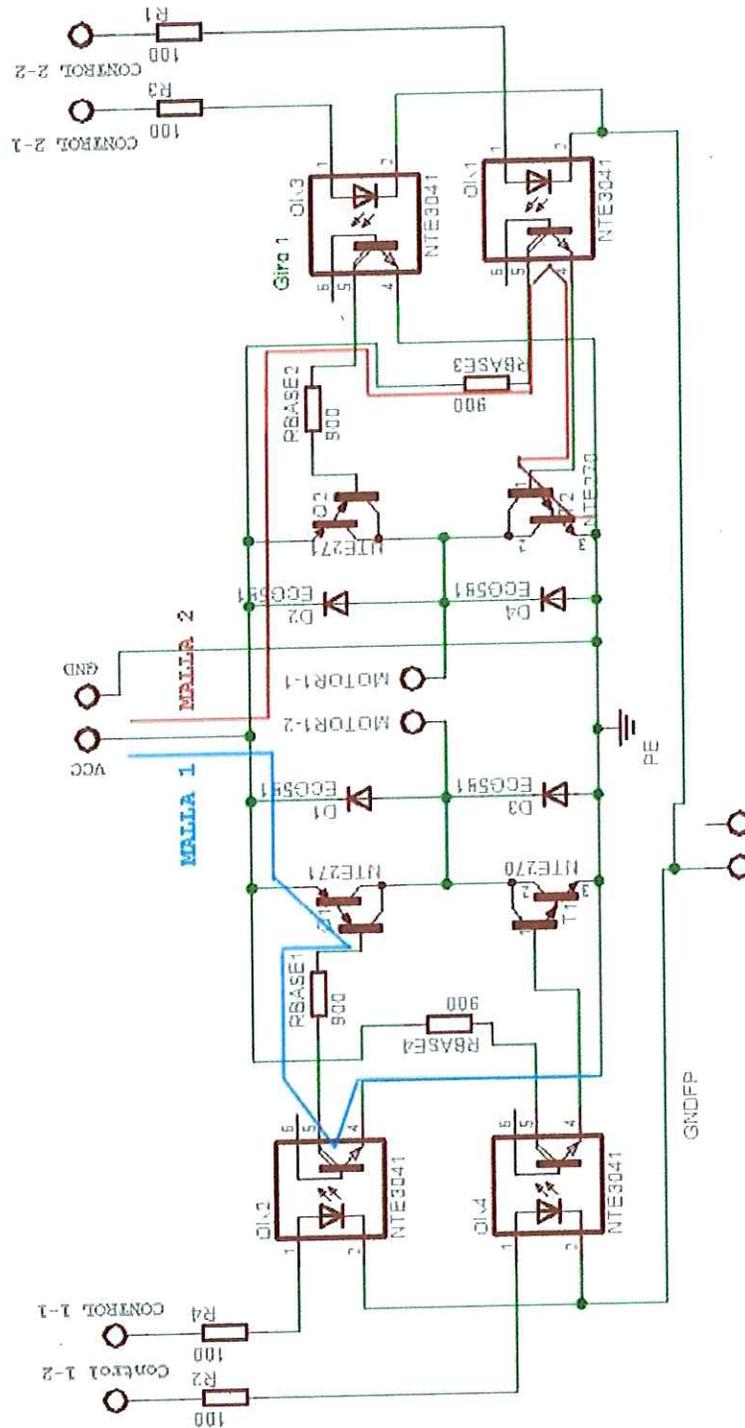


Figura 53 Circuito control de giro (Puente H)



Del autor

Figura 54 Mallas de los cálculos de las resistencias de base.



Del autor

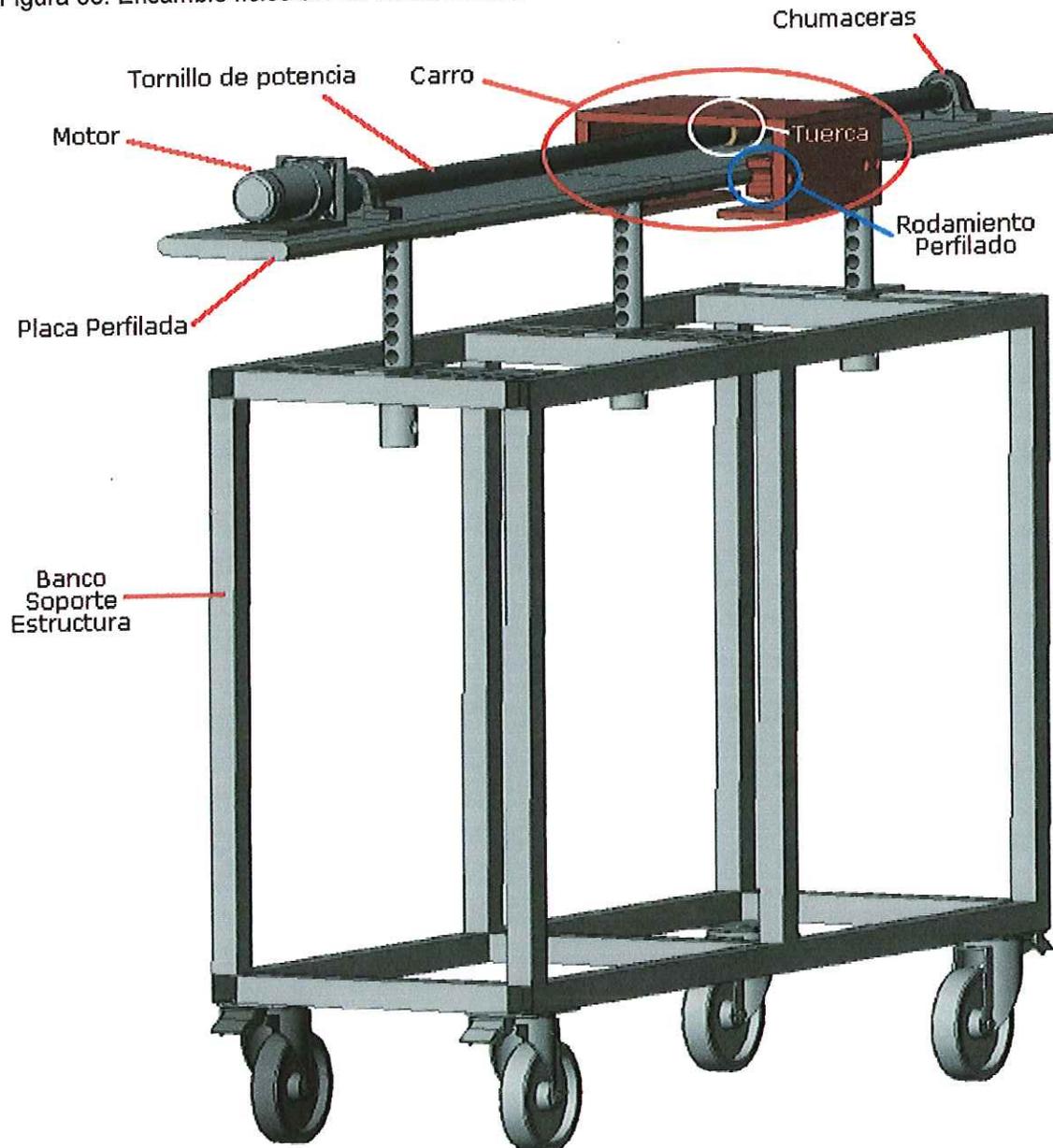
#### 4.6 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL SERVOMECANISMO

El servomecanismo desarrollado en este documento, esta conformado por los siguientes elementos:

- Placas de aluminio centrifugado perfiladas, las cuales brindan soporte a la estructura. Dichas placas se adecuaron en sus caras laterales para que hagan contacto con los cuatro rodamientos perfilados fabricados y así brindar un buen ajuste para el deslizamiento del carro.
- Un carro o mesa, sobre la cual se situará la carga a desplazar. Dicho carro está constituido también de placas en aluminio centrifugado. El carro presenta cuatro rodamientos perfilados acondicionados de tal manera que sus caras hacen contacto con la placa, consiguiendo que el carro no presente movimientos bruscos laterales indeseados.
- Una tuerca maquinada con las especificaciones de rosca del husillo, para que el giro del husillo convierta en el desplazamiento lineal que necesita el carro. La tuerca se ensambló en la placa superior del carro para cumplir con lo anteriormente dicho.
- Un sistema de alineamiento para el tornillo de potencia, hecho por soportes para rodamientos de bolas rígidos (chumaceras), los cuales se acoplan al diámetro del eje del husillo. Con esto se logra que el tornillo de potencia gire libremente sin tener ningún movimiento brusco en alguna dirección.
- Un motor con especificaciones técnicas acordes al propósito del proyecto, el cual presenta un encoder incremental que brinda la información del movimiento del eje del motor. Por medio del encoder se estima la posición del

servomecanismo de acuerdo al número de pulsos por revolución que éste brinda.

Figura 55. Ensamble físico del servomecanismo



Del autor

- Fuente de alimentación DC propia regulable hasta 22V (ver figura 56).

- Sistema de control de giro del motor efectuado por el método puente H, con el cual se garantiza que el servomecanismo se desplaza hacia ambos lados sin tener contratiempos. Ambos circuitos se encuentran instalados dentro de una misma caja en acrílico.

Figura 56. Fuente alimentación y circuito de control de giro en caja de acrílico

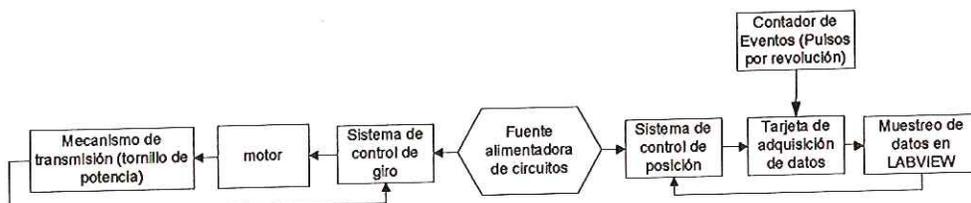


Del autor

#### 4.7.1 Esquema de funcionamiento del servomecanismo

El algoritmo mostrado en la figura 57, ilustra el modo de funcionamiento del servomecanismo, haciendo mención a los sistemas electrónicos de control y sistemas mecánicos que lo conforman, así como sus tareas y el orden secuencial en el que son desarrolladas.

Figura 57. Algoritmo de funcionamiento del servomecanismo



Al encender la fuente de alimentación dispuesta para el servomecanismo, se encienden todos los circuitos que realizan tanto la etapa de potencia como la etapa del control. El sistema de control de giro consiste en el giro del tornillo de potencia o husillo roscado, sobre la tuerca por medio del accionamiento controlado del motor. Para esto se pone en marcha el circuito puente H, el cual se encarga de controlar el sentido de giro del motor en ambas direcciones, tal como se explicó en la sección 3.3.2. El movimiento giratorio lo da el motor, (cuyo ajuste al tornillo de potencia se hizo por medio de un acople tipo araña). De esta forma se asegura una correcta transmisión de potencia a todo el sistema.

Ahora bien, el sistema de control de posición consiste, en una tarjeta de adquisición de datos USB, la cual se encarga de tomar la información suministrada por el encoder del motor y almacenarla de tal manera que se compare con datos interpolados de distancia lineal recorrida; es decir, cierta cantidad de ppr (pulsos por revolución) equivalen al desplazamiento lineal de la mesa. Al llevar registro de los ppr, se interpolan los datos y se verifican con cuantos pulsos proporcionados por el encoder del motor se alcanza a realizar el recorrido en un solo sentido. Se supone que para el otro sentido deben ser los mismos pulsos.

Por medio de la plataforma de programación LABVIEW, se visualiza el recorrido del servomecanismo en tiempo real, haciendo uso de los ppr obtenidos del encoder. La tarjeta de adquisición de datos USB 6009 de National Instruments, se encarga de transferir la información al computador y este a su vez acciona las salidas pertinentes, para accionar el circuito de control de giro del motor (Puente H). La realimentación del sistema en esta etapa la ejecutan los finales de carrera y el encoder del motor. Cuando el carro llega a un extremo, se debe también haber completado el número de ppr necesarios para completar el recorrido. Para ciclos intermedios de recorrido, se cumple el mismo principio con la diferencia de que cuando llega a la posición deseada no hay ningún final de carrera que detenga el giro del motor. La acción de detención se logra por la cantidad de ppr que deben

haberse recogido por la tarjeta para cumplir con esta función. Si por ejemplo se desea desplazar 20 cm. de derecha a izquierda, esto tomará cierta cantidad de ppr suministrados por el encoder. Al llegar a completar los ppr necesarios, se envía una señal de paro al circuito controlador del motor y se inicializará nuevamente el valor de ppr en la tarjeta de adquisición de datos.

## **5. ETAPA DE PRUEBAS DEL SERVOMECANISMO**

### **5.1 Etapa toma de datos**

El objetivo fundamental de este proyecto de grado, es diseñar y construir un servomecanismo de posicionamiento lineal capaz de transportar una carga de una posición a otra. Para lograrlo, fue necesario seleccionar un sistema de transmisión capaz generar trayectorias eficientes.

El mecanismo adoptado, es el sistema de transmisión por husillo roscado o tornillo de potencia con su respectiva tuerca. Este está constituido por un eje sólido con rosca cuadrada e igualmente la tuerca presenta el roscado del tornillo para su ajuste. El giro del eje sobre la tuerca se convierte en el desplazamiento lineal del carro.

El diseño de este sistema de transmisión se fundamenta en la necesidad de transportar una carga alta. La etapa mecánica del servomecanismo juega un papel importante debido a que si se llegan a presentar tolerancias demasiado pronunciadas entre las piezas ensambladas, se incurrirá en el error que lleva a la ineficiencia del sistema. Es por eso que necesita comprobarse la Precisión y Repetibilidad que presenta el sistema para asegurar un buen desempeño en las etapas posteriores.

Las pruebas consisten en acoplar el motor al tornillo y colocar a desplazar el carro de un lado a otro observando el tiempo promedio de desplazamiento que maneja; Otro ítem importante es verificar que el sistema presente uniformidad durante todo el recorrido.

La metodología a seguir en la etapa de pruebas del mecanismo de transmisión se adapta a lo siguiente: Se crea un formato, donde se realizan pruebas de tiempo y

velocidad angular para verificar el desempeño. En cada casilla se coloca los tiempos y las velocidades tomadas par hacer un promedio estimado de estos datos. Este procedimiento toma relevancia en la medida en que se entiende, que no hay un punto de comparación o un estándar con el cual confrontar información.

Se tomaron una serie de datos con los cuales se realiza un promedio para estimar el comportamiento del servomecanismo. Los datos se presentan a continuación:

Tabla 9. Datos de pruebas del servomecanismo

Sentido del recorrido	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo 3	Promedio
2 – 124 cm.	49.8 s	45.5 s	46.8 s	47.36 s
124 – 2 cm.	59 s	58 s	57 s	58 s

Sentido del recorrido	RPMs 1	RPMs 2	RPMs 3	Promedio
2 – 124 cm.	306	298	321	308.3
124 – 2 cm.	266	260	276	268.6

Se observa que en un sentido del recorrido emplea más tiempo para completarlo. Esto se le atribuye a un defecto que presenta el motor en su construcción interna, como las bobinas y el mecanismo de reducción.

Al realizar las pruebas de recorrido, el carro se envía a una distancia a la cual debe llegar. Este punto nos sirve como referencia para tomar el porcentaje error que tiene el servomecanismo. La prueba consiste en enviar al carro desde el

origen; Se marca en la placa aproximadamente donde se cumple la distancia requerida y se toma como punto de comparación con la cual alcanza el carro. Realizando varias pruebas se obtuvo un error aproximado de 1.25 cm. a 1.5cm., lo cual si se tiene en cuenta que la distancia efectiva de funcionamiento del servomecanismo es de 125 cm., se puede considerar relativamente bajo.

Se podría establecer una relación que nos de el porcentaje de error.

125 cm.	100 %
1.5 cm.	X

$$X = 1.25 \text{ cm.} \cdot 100 / 125 \text{ cm.} = 1\% \text{ Porcentaje de error}$$

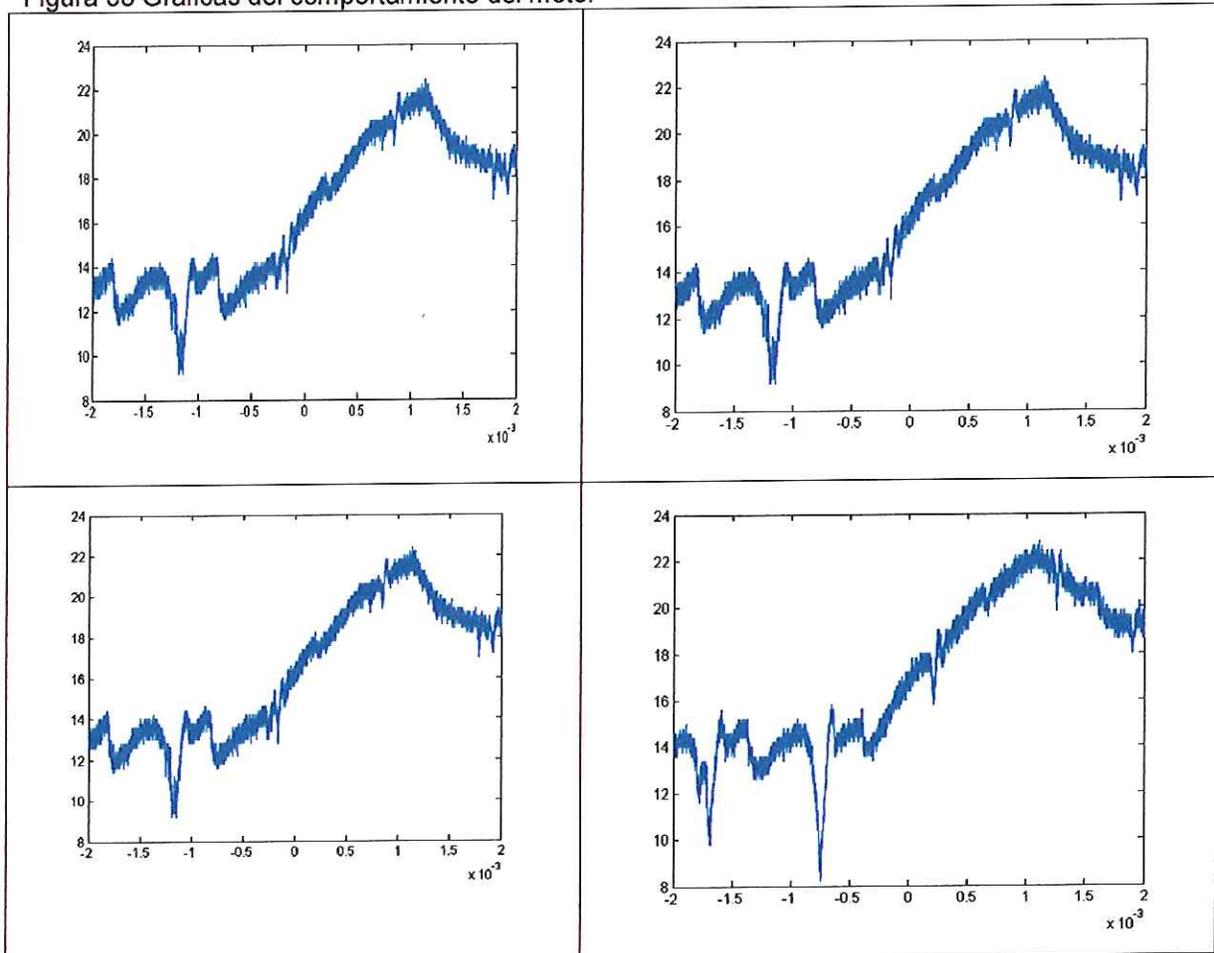
125 cm.	100%
1.5 cm.	x

$$X = 1.5 \text{ cm.} \cdot 100 / 125 \text{ cm.} = 1.2\% \text{ Porcentaje de error}$$

Como se puede observar el porcentaje de error obtenido es bajo basándonos en la escala operativa del servomecanismo.

## 5.2 Comportamiento del motor

Figura 58 Gráficas del comportamiento del motor



Como se observa en las gráficas el motor tiende a romper la inercia aproximadamente en un 1 a 1.2 segundos, nótese también que el valor al cual el motor rompe la inercia es a 14 volts, llegando a un pico aproximado de 22 volts y luego a estabilizar su comportamiento a 20 volts que es su voltaje nominal durante el resto del recorrido.

### 5.3 Conclusiones de las pruebas

Dentro de la programación se abordan varios problemas con respecto a las señales de error que se introducen en las diferentes etapas. El primer indicio de error lo introduce la conversión que realiza el programa para detectar la cantidad de pulsos que se necesitan para llevar el carro a la posición deseada. Como el encoder del motor entrega cantidad de pulsos enteros, no se puede realizar una correcta conversión de la distancia, la cual es un valor en punto flotante.

Otro de los problemas que introducen error, es la inercia que presenta la configuración mecánica. Al enviar el carro a cualquier distancia se debe calcular a ensayo y error con cuantos pulsos de antelación debo detener el carro para que llegue al punto indicado, aquí nuevamente entra el error anteriormente mencionado de los pulsos que entrega el encoder.

Un inconveniente que se encontró ya puesto en funcionamiento el servomecanismo, es que el motor en un sentido de giro funciona mas rápido que en el otro, es decir en un sentido de giro presenta mayor velocidad y en el otro disminuye la velocidad (ver tabla 9 de pruebas,). Entonces debido a esto, se presenta errores entre la posición a la cual deseo llegar y a la que realmente llega.

## **6. PROPUESTAS PARA TRABAJOS FUTUROS**

Con base en el marco teórico y las propuestas de diseño planteados en este proyecto de grado, es posible proponer proyectos, los cuales pueden tomar como punto de partida las tecnologías expuestas en este trabajo.

Los proyectos propuestos son:

### **6.1 SERVOMECANISMO ENSAMBLADO CON BRAZO ROBOT CON INTERFAZ DE COMUNICACIÓN INTEGRADA DE AMBAS PLATAFORMAS.**

Para desarrollar un servomecanismo de posicionamiento lineal, es necesario diseñar, construir, adaptar e integrar los circuitos electrónicos y sistemas mecánicos nombrados a continuación

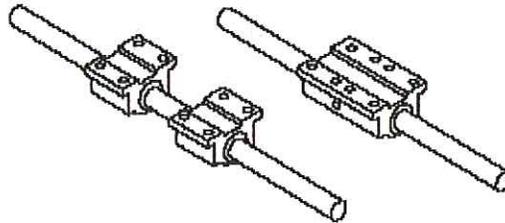
- Mecanismo de transmisión, con sistema de alineamiento lateral graduable en varias posiciones. Para aumentar el avance del carro, se debe aumentar el número de entradas del tornillo de potencia, lo cual disminuye el tiempo de operación de la plataforma. Es decir, se traslada de un lado al otro de manera más rápida.
- Sistema de control integrado entre el brazo robot y el carro, con lo cual se logra la interacción de ambas estructuras mecánicas en tiempo real. Este sistema se puede realizar por medio de una interfaz de adquisición de datos que envíe señales del comportamiento del servomecanismo y del brazo robot. Al tener información detallada de la operación del sistema se pueden programar secuencias de recorridos estandarizadas.

- Un sistema de graduación de la altura del sistema, por medio del mecanismo que utilizan los gatos mecánicos; es decir, un tornillo de potencia acoplado al centro de la placa base y a un soporte firme en tierra. El giro del tornillo se encarga de dar la altura requerida por el sistema dependiendo de la aplicación.
- Simulación en tiempo real de las plataformas ensambladas. Desarrollar una aplicación usando la herramienta MATLAB, para generar trayectorias lineales y poder sincronizar el sistema con la interfaz de adquisición de datos. Con la simulación grafica se podría predecir el comportamiento intuitivamente del sistema.

## 6.2 SERVOMECANISMO DE POSICIONAMIENTO LINEAL GUIADO POR RODAMIENTOS LINEALES DE PRECISIÓN

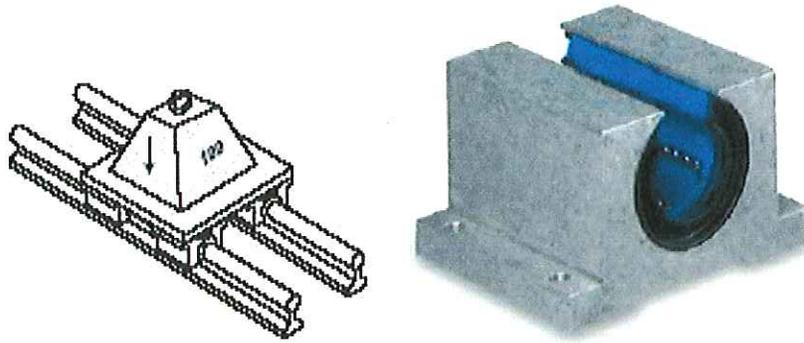
- Esta plataforma, varía su diseño en la forma que utiliza para guiarse sobre la placa base. La idea consiste en colocar tubos macizos de acero soportados a lo largo de su extensión, los cuales hacen contacto con un juego de rodamientos lineales de precisión.

Figura 59. Tubos macizos con rodamientos lineales de precisión largos y cortos



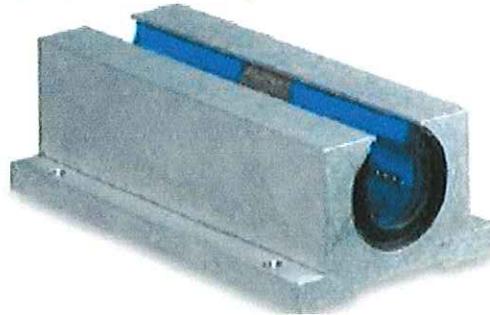
- Los rodamientos están alojados en unos bloques hechos en fundición de aluminio, cuya forma es adecuada para sostenerlos de manera tal que no se muevan.

Figura 60. Configuración de servomecanismo de posicionamiento lineal guiado por rodamientos de precisión



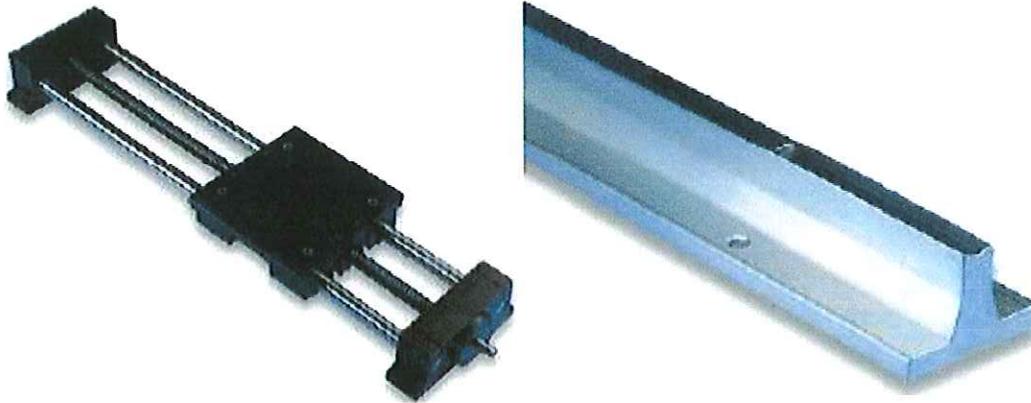
- Dependiendo del tamaño del carro, es recomendable soportar en las cuatro esquinas con rodamientos sencillos como el mostrado en la figura 60, o simplemente con un par de soportes largos como el mostrado en la figura.

Figura 61. Soporte largo para rodamiento lineal de precisión



- Idealmente el sistema de transmisión sería el mismo que el utilizado en este trabajo de grado, también ubicado en medio de los soportes de los rodamientos. Nótese en la figura 62. que en la mitad de los tubos que sirven de guía, se encuentra el tornillo de potencia. En uno de los extremos queda la facilidad de acoplar el eje de un motor. Una de las recomendaciones es que los tubos estén soportados a lo largo de su extensión debido a la flexión que se puede presentar debida a la carga que se le ubique.

Figura 62. Configuración del servomecanismo y perfil soporte de los tubos



### **6.3 INTEGRACIÓN DE LOS FINALES DE CARRERA CON DAQ USB 6009**

Como trabajo complementario al sistema se propone una práctica sencilla la cual consiste en cablear 2 finales de carrera ubicados a los extremos del servomecanismo. La función de esto es proporcionar seguridad al término del recorrido del carro la cual en estos momentos se hace por software.

### **6.4 ESTRATEGIA DE CONTROL PID PARA POSICIÓN.**

Esta propuesta consiste en reemplazar el control on off que actualmente tiene el servomecanismo por un control PID el cual es mas robusto a la hora de posicionar el mecanismo. Un control PID serviría para disminuir el porcentaje de error en el posicionamiento. Esta práctica es para un nivel más avanzado de programación en Labview y la idea es que la desarrollen como practicas de laboratorio en control, robótica y sistemas SCADA.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

Con el desarrollo de este proyecto de grado, se ha logrado hacer un aporte significativo al estado del arte de la robótica móvil al diseñar, construir y documentar un sistema de posicionamiento lineal, que servirá de precursor para futuros trabajos e investigaciones.

El sistema de posicionamiento lineal implementado es el más sencillo de ensamblar en comparación a las otras configuraciones clásicas de estos sistemas. Sin embargo, su proceso de construcción es complicado y requiere de piezas mecánicas de precisión y que son muy complejas como para ser maquinadas con relativa simplicidad. Mediante este proyecto de grado se implementó un sistema de transmisión mecánica, el cual requiere de mucho cuidado tanto en su mecanizado como en su instalación y posterior puesta en funcionamiento, debido a la tarea precisa de posicionar. Para ello se contó con mano de obra calificada y experimentada en el tema que con sus valiosos aportes hicieron posible el desarrollo de esta aplicación.

Se comprobó, que algunas configuraciones no son del todo compatibles entre sí y esto ocasionó interferencias en el rápido desarrollo del proyecto. Se pudo también comprobar que materiales de diferente composición en contacto, generaron rendimientos poco deseados en la estructura mecánica. Este tipo de problemas, es muy difícil notarlo con las herramientas de software con las que se cuentan actualmente y es prácticamente imposible implementar un sistema con buen performance en el que se prevean todo este tipo de inconvenientes.

Con base en las pruebas realizadas y la literatura sobre sistemas de posicionamiento lineal, se puede concluir que el diseño, construcción y puesta en marcha de uno de estos sistemas, puede complicarse hasta el punto de probar con varios arreglos para intentar encontrar el de mejor desempeño por un bajo costo. Este diseño no requeriría de mecanismos complicados ni sistemas electrónicos complejos, y se perfila como una alternativa sencilla para implementarlos.

El sistema de guía por rodamientos perfilados implementado en este proyecto de grado, se convirtió en uno de los aspectos fundamentales en la precisión que brinda el sistema, ya que con éstos, se consiguió un buen ajuste entre la placa y el carro, permitiendo cumplir con uno de los parámetros más delicados de conseguir en este tipo de configuraciones.

Las estrategias de control que se pueden aplicar son muchas y por medio de éstas se puede conseguir una precisión tal que el servomecanismo funcione de forma más óptima. Para nuestro caso con el lazo cerrado con realimentación planteado en el algoritmo de diseño mecatrónico y en la ejecución de la programación, se consiguió un movimiento muy sincronizado y con una tolerancia de error bastante aceptable si se tiene en cuenta que no existen los medios suficientes para desarrollar algo más preciso. Este problema se intentó disminuir por la programación en LabVIEW atacando las varias fuentes de error que se presentan y que se pueden identificar de manera sencilla.

La metodología de diseño Mecatrónico aplicada a este trabajo de grado, permitió la integración entre el diseño electrónico, mecánico, computacional y de control en un dispositivo móvil diseñado integralmente.

En el desarrollo de un proyecto de ingeniería se adquiere conocimiento y con él también se adquiere experiencia. Este conocimiento debe aprovecharse, y una

buena manera es aplicarlo a la solución de problemas para promover el desarrollo científico y tecnológico.

## **RECOMENDACIONES**

Respecto a los rodamientos perfilados, es necesario aclarar que son propensos a desgaste y por este motivo puede comenzar a existir juegos o tolerancias no deseadas, lo cual generaría error en la matriz de transferencia de un sistema compacto con el brazo robot. Además, si no se usa una grasa lubricante adecuada para el mecanismo de transmisión, es posible que comiencen a presentarse rozamientos entre ambos materiales, lo cual no es bueno en el desempeño de la estructura. El ítem de la grasa en el tornillo de potencia, es fundamental para evitar que la corrosión oxide y desmejore las propiedades del material debido al ambiente húmedo en el que se encontrará desempeñando su función el servomecanismo,

Otro aspecto de cuidado, es el grado de cohesión que pueda tener el tornillo con las chumaceras; es necesario observar que su ajuste sea el adecuado para no incurrir en pérdidas de potencia en la transmisión del movimiento. En el acople entre el motor y el tornillo de potencia, también hay que prestar especial atención por que es allí donde principian los problemas de perdidas de potencia transmitida al servomecanismo; sugerimos una buena alineación entre ambos ejes y un buen ajuste a los tornillos prisioneros del acople.

Por la experiencia adquirida en este trabajo, los autores recomiendan esta aplicación, pero advierten que es necesario que se tenga un tornillo de potencia con 2 o más entradas para tener mayor avance y más velocidad; aunque el maquinado de un tornillo de estas características sea mucho más costoso.

Para este proyecto se diseñaron y construyeron los rodamientos perfilados, el tornillo de potencia y las placas de soporte. Para este propósito se contó con la

ayuda de personal altamente conocedor de las técnicas de maquinado. De allí parte el éxito y el buen desempeño de todo el proyecto.

# **ANEXOS**

**ANEXO 1**  
**DATA SHEET NTE3041 OPTOISOLATOR NPN TRANSISTOR OUTPUT**



**ELECTRONICS, INC.**  
 44 FARRAND STREET  
 BLOOMFIELD, NJ 07003  
 (973) 748-5089

**NTE3041**  
**Optoisolator**  
**NPN Transistor Output**

**Description:**

The NTE3041 is an optoisolator in a 6-Lead DIP type package consisting of a gallium arsenide infrared emitting diode optically coupled to a monolithic silicon phototransistor detector.

**Features:**

- High Current Transfer Ratio: 100% Min @ Spec Conditions
- Guaranteed Switching Speeds

**Applications:**

- General Purpose Switching Circuits
- Interfacing and Coupling Systems of Different Potentials and Impedances
- Regulation Feedback Circuits
- Monitor & Detection Circuits
- Solid State Relays

**Absolute Maximum Ratings:** ( $T_A = +25^\circ\text{C}$  unless otherwise specified)

**Input LED**

Reverse Voltage, $V_R$ .....	6V
Continuous Forward Current, $I_F$ .....	60mA
LED Power Dissipation (With Negligible Power in Output Detector), $P_D$ .....	120mW
Derate Above $25^\circ\text{C}$ .....	1.41mW/ $^\circ\text{C}$

**Output Transistor**

Collector-Emitter Voltage, $V_{CEO}$ .....	30V
Emitter-Base Voltage, $V_{EBO}$ .....	7V
Collector-Base Voltage, $V_{CBO}$ .....	70V
Continuous Collector Current, $I_C$ .....	150mA
Detector Power Dissipation (With Negligible Power in Output Detector), $P_D$ .....	150mW
Derate Above $25^\circ\text{C}$ .....	1.76mW/ $^\circ\text{C}$

**Total Device**

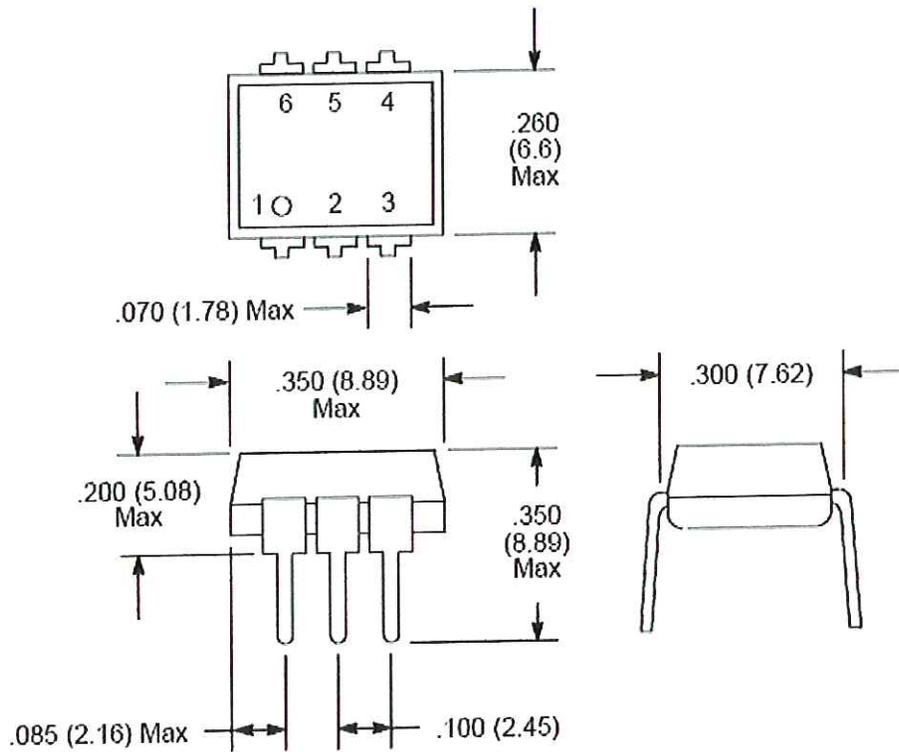
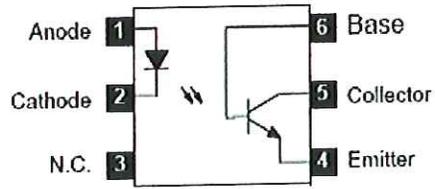
Isolation Source Voltage (Peak AC Voltage, 60Hz, 1sec Duration, Note 1), $V_{ISO}$ .....	7500V
Total Device Power Dissipation, $P_D$ .....	250mW
Derate Above $25^\circ\text{C}$ .....	2.94mW/ $^\circ\text{C}$
Operating Ambient Temperature Range, $T_A$ .....	$-55^\circ$ to $+100^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range, $T_{stg}$ .....	$-55^\circ$ to $+150^\circ\text{C}$
Lead Temperature (During Soldering, 1/16" from case, 10sec), $T_L$ .....	$+260^\circ\text{C}$

Note 1. Isolation Surge Voltage is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pin1 and Pin2 are common, and Pin4, Pin5, and Pin6 are common.

**Electrical Characteristics:** ( $T_A = +25^\circ\text{C}$  unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
<b>Input LED</b>						
Forward Voltage	$V_F$	$I_F = 10\text{mA}$	0.8	1.15	1.5	V
		$I_F = 10\text{mA}, T_A = -55^\circ\text{C}$	0.9	1.3	1.7	V
		$I_F = 10\text{mA}, T_A = +100^\circ\text{C}$	0.7	1.05	1.4	V
Reverse Leakage Current	$I_R$	$V_R = 6\text{V}$	-	-	10	$\mu\text{A}$
Capacitance	$C_J$	$V = 0, f = 1\text{MHz}$	-	18	-	pF
<b>Output Transistor</b>						
Collector-Emitter Dark Current	$I_{CEO}$	$V_{CE} = 10\text{V}$	-	1	50	nA
		$V_{CE} = 30\text{V}, T_A = +100^\circ\text{C}$	-	-	500	$\mu\text{A}$
Collector-Base Dark Current	$I_{CBO}$	$V_{CB} = 10\text{V}$	-	0.2	20	nA
		$V_{CB} = 10\text{V}, T_A = +100^\circ\text{C}$	-	100	-	nA
Collector-Emitter Breakdown Voltage	$V_{(BR)CEO}$	$I_C = 1\text{mA}$	30	45	-	V
Collector-Base Breakdown Voltage	$V_{(BR)CBO}$	$I_C = 100\mu\text{A}$	70	100	-	V
Emitter-Base Breakdown Voltage	$V_{(BR)EBO}$	$I_E = 100\mu\text{A}$	7.0	7.8	-	V
DC Current Gain	$h_{FE}$	$I_C = 2\text{mA}, V_{CE} = 5\text{V}$	-	400	-	
Collector-Emitter Capacitance	$C_{CE}$	$V_{CE} = 5\text{V}, f = 1\text{MHz}$	-	7	-	pF
Collector-Base Capacitance	$C_{CB}$	$V_{CB} = 0, f = 1\text{MHz}$	-	19	-	pF
Emitter-Base Capacitance	$C_{EB}$	$V_{EB} = 0, f = 1\text{MHz}$	-	9	-	pF
<b>Coupled</b>						
Output Collector Current	$I_C$	$I_F = 10\text{mA}, V_{CE} = 10\text{V}$	10	30	-	mA
		$I_F = 10\text{mA}, V_{CE} = 10\text{V}, T_A = -55^\circ\text{C}$	4	-	-	mA
		$I_F = 10\text{mA}, V_{CE} = 10\text{V}, T_A = +100^\circ\text{C}$	4	-	-	mA
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_C = 0.5\text{mA}, I_F = 10\text{mA}$	-	0.14	0.3	V
Turn-On Time	$t_{on}$	$I_C = 2\text{mA}, V_{CC} = 10\text{V}, R_L = 100\Omega$	-	7.5	10	$\mu\text{s}$
Turn-Off Time	$t_{off}$		-	5.7	10	$\mu\text{s}$
Rise Time	$t_r$		-	3.2	-	$\mu\text{s}$
Fall Time	$t_f$		-	4.7	-	$\mu\text{s}$
Isolation Voltage	$V_{ISO}$		$f = 60\text{Hz}, t = 1\text{sec}$	7500	-	-
Isolation Current	$I_{ISO}$	$V_{I-O} = 3550\text{V}_{pk}$	-	-	100	$\mu\text{A}$
Isolation Resistance	$R_{ISO}$	$V = 500\text{V}$	$10^{11}$	-	-	$\Omega$
Isolation Capacitance	$C_{ISO}$	$V = 0, f = 1\text{MHz}$	-	0.2	2.0	pF

Pin Connection Diagram



**ANEXO 2**  
**DATA SHEET NTE270 (NPN) & NTE271 (PNP) SILICON COMPLEMENTARY**  
**TRANSISTORS DARLINGTON**



**NTE270 (NPN) & NTE271 (PNP)**  
**Silicon Complementary Transistors**  
**Darlington Power Amp, Switch**

**Description:**

The NTE270 (NPN) and NTE271 (PNP) are silicon Darlington complementary power transistors in a TO218 type package designed for general purpose amplifier and low frequency switching applications.

**Features:**

- High DC Current Gain:  $h_{FE} = 1000$  Min @  $I_C = 5A, V_{CE} = 4V$
- Collector-Emitter Sustaining Voltage:  $V_{CEO(sus)} = 100V$  Min @ 30mA
- Monolithic Construction with Built-In Base-Emitter Shunt Resistor

**Absolute Maximum Ratings:**

Collector-Emitter Voltage, $V_{CEO}$ .....	100V
Collector-Base Voltage, $V_{CB}$ .....	100V
Emitter-Base Voltage, $V_{EB}$ .....	5V
Collector Current, $I_C$ .....	10A
Continuous .....	10A
Peak (Note 1) .....	15A
Continuous Base Current, $I_B$ .....	500mA
Total Device Dissipation ( $T_C = +25^\circ C$ ), $P_D$ .....	125W
Operating Junction Temperature Range, $T_J$ .....	$-65^\circ$ to $+150^\circ C$
Storage Temperature Range, $T_{stg}$ .....	$-65^\circ$ to $+150^\circ C$
Thermal Resistance, Junction-to-Case, $R_{thJC}$ .....	1.0°C/W
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient, $R_{thJA}$ .....	35.7°C/W

Note 1. Pulse Width = 5ms, Duty Cycle  $\leq 10\%$ .

**Electrical Characteristics:** ( $T_C = +25^\circ C$  unless otherwise specified)

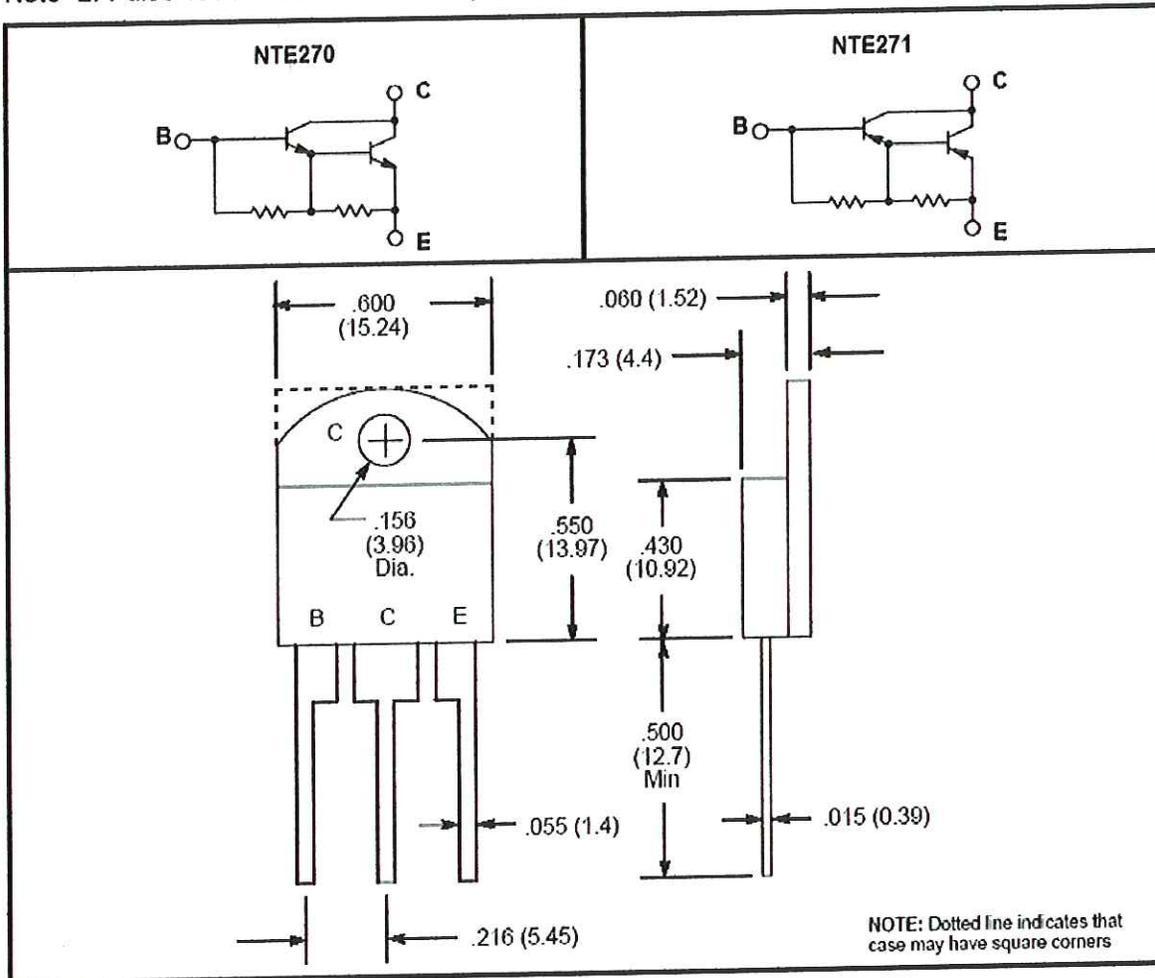
Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
<b>OFF Characteristics</b>						
Collector-Emitter Sustaining Voltage	$V_{CEO(sus)}$	$I_C = 30mA, I_B = 0$ , Note 2	100	-	-	V
Collector Cutoff Current	$I_{CEO}$	$V_{CE} = 50V, I_B = 0$	-	-	2.0	mA
	$I_{CBO}$	$V_{CB} = 100V, I_E = 0$	-	-	1.0	mA
Emitter Cutoff Current	$I_{EBO}$	$V_{BE} = 5V$	-	-	2.0	mA

Note 2. Pulse Test: Pulse Width = 300 $\mu$ s, Duty Cycle  $\leq 2\%$ .

**Electrical Characteristics (Cont'd):** ( $T_C = +25^\circ\text{C}$  unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
<b>ON Characteristics (Note 2)</b>						
DC Current Gain	$h_{FE}$	$I_C = 5A, V_{CE} = 4V$	1000	-	-	
		$I_C = 10A, V_{CE} = 4V$	500	-	-	
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_C = 5A, I_B = 10mA$	-	-	2.0	V
		$I_C = 10A, I_B = 40mA$	-	-	3.0	V
Base-Emitter Saturation Voltage	$V_{BE(sat)}$	$I_C = 10A, I_B = 40mA$	-	-	3.5	V
<b>Switching Characteristics (Resistive Load)</b>						
Delay Time	$t_d$	$V_{CC} = 30V, I_C = 5A,$ $I_B = 20mA, \text{Duty Cycle} \leq 2\%,$ $I_{B1} = I_{B2}, R_C \text{ \& } R_B \text{ Varied},$ $T_J = +25^\circ\text{C}$	-	0.15	-	$\mu\text{s}$
Rise Time	$t_r$		-	0.55	-	$\mu\text{s}$
Storage Time	$t_s$		-	2.5	-	$\mu\text{s}$
Fall Time	$t_f$		-	2.5	-	$\mu\text{s}$

Note 2. Pulse Test: Pulse Width =  $300\mu\text{s}$ , Duty Cycle  $\leq 2\%$ .



# ANEXO 3 REGULADOR DE VOLTAJE LM 7808

August 2005



## LM341/LM78MXX Series 3-Terminal Positive Voltage Regulators

### General Description

The LM341 and LM78MXX series of three-terminal positive voltage regulators employ built-in current limiting, thermal shutdown, and safe-operating area protection which makes them virtually immune to damage from output overloads.

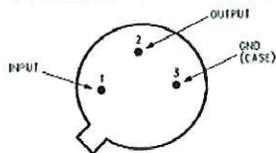
With adequate heatsinking, they can deliver in excess of 0.5A output current. Typical applications would include local (on-card) regulators which can eliminate the noise and degraded performance associated with single-point regulation.

### Features

- Output current in excess of 0.5A
- No external components
- Internal thermal overload protection
- Internal short circuit current-limiting
- Output transistor safe-area compensation
- Available in TO-220, TO-39, and TO-252 D-PAK packages
- Output voltages of 5V, 12V, and 15V

### Connection Diagrams

TO-39 Metal Can Package (H)

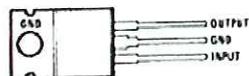


01048805

Bottom View

Order Number LM78M05CH, LM78M12CH or LM78M15CH  
See NS Package Number H03A

TO-220 Power Package (T)

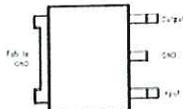


01048405

Top View

Order Number LM341T-5.0, LM341T-12, LM341T-15, LM78M05CT, LM78M12CT or LM78M15CT  
See NS Package Number T03B

TO-252



01048419

Top View

Order Number LM78M05CDT  
See NS Package Number TD03B

LM341/LM78MXX Series 3-Terminal Positive Voltage Regulators

**Absolute Maximum Ratings** (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	
TO-39 Package (H)	300°C
TO-220 Package (T)	260°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

Operating Junction Temperature Range

-40°C to +125°C

Power Dissipation (Note 2)

Internally Limited

Input Voltage

$5V \leq V_O \leq 15V$

35V

ESD Susceptibility

TBD

**Electrical Characteristics**

Limits in standard typeface are for  $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and limits in **boldface type** apply over the  $-40^\circ\text{C}$  to  $+125^\circ\text{C}$  operating temperature range. Limits are guaranteed by production testing or correlation techniques using standard Statistical Quality Control (SQC) methods.

**LM341-5.0, LM78M05C**

Unless otherwise specified:  $V_{IN} = 10V$ ,  $C_{IN} = 0.33 \mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1 \mu\text{F}$

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$V_O$	Output Voltage	$I_L = 500 \text{ mA}$	4.8	5.0	5.2	V
		$5 \text{ mA} \leq I_L \leq 500 \text{ mA}$ $P_D \leq 7.5W, 7.5V \leq V_{IN} \leq 20V$	4.75	5.0	5.25	
$V_{R \text{ LINE}}$	Line Regulation	$7.2V \leq V_{IN} \leq 25V$ $I_L = 100 \text{ mA}$ $I_L = 500 \text{ mA}$			50	mV
					100	
$V_{R \text{ LOAD}}$	Load Regulation	$5 \text{ mA} \leq I_L \leq 500 \text{ mA}$			100	mA
$I_Q$	Quiescent Current	$I_L = 500 \text{ mA}$		4	10.0	
$\Delta I_Q$	Quiescent Current Change	$5 \text{ mA} \leq I_L \leq 500 \text{ mA}$			0.5	
		$7.5V \leq V_{IN} \leq 25V, I_L = 500 \text{ mA}$			1.0	
$V_n$	Output Noise Voltage	$f = 10 \text{ Hz to } 100 \text{ kHz}$		40		$\mu\text{V}$
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_O}$	Ripple Rejection	$f = 120 \text{ Hz}, I_L = 500 \text{ mA}$		78		dB
$V_{IN}$	Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	$I_L = 500 \text{ mA}$	7.2			V
$\Delta V_O$	Long Term Stability	$I_L = 500 \text{ mA}$			20	mV/dhrs

## Electrical Characteristics

Limits in standard typeface are for  $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and limits in boldface type apply over the  $-40^\circ\text{C}$  to  $+125^\circ\text{C}$  operating temperature range. Limits are guaranteed by production testing or correlation techniques using standard Statistical Quality Control (SQC) methods. (Continued)

### LM341-12, LM78M12C

Unless otherwise specified:  $V_{IN} = 19\text{V}$ ,  $C_{IN} = 0.33\ \mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\ \mu\text{F}$

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$V_O$	Output Voltage	$I_L = 500\ \text{mA}$	11.5	12	12.5	V
		$5\ \text{mA} \leq I_L \leq 500\ \text{mA}$	11.4	12	12.6	
		$P_D \leq 7.6\text{W}$ , $14.8\text{V} \leq V_{IN} \leq 27\text{V}$				
$V_{R\ \text{LINE}}$	Line Regulation	$14.6\text{V} \leq V_{IN} \leq 30\text{V}$			120	mV
		$I_L = 100\ \text{mA}$ $I_L = 500\ \text{mA}$			240	
$V_{R\ \text{LOAD}}$	Load Regulation	$5\ \text{mA} \leq I_L \leq 500\ \text{mA}$			240	
$I_Q$	Quiescent Current	$I_L = 500\ \text{mA}$		4	10.0	mA
$\Delta I_Q$	Quiescent Current Change	$5\ \text{mA} \leq I_L \leq 500\ \text{mA}$			0.5	
		$14.8\text{V} \leq V_{IN} \leq 30\text{V}$ , $I_L = 500\ \text{mA}$			1.0	
$V_n$	Output Noise Voltage	$f = 10\ \text{Hz}$ to $100\ \text{kHz}$		75		$\mu\text{V}$
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_O}$	Ripple Rejection	$f = 120\ \text{Hz}$ , $I_L = 500\ \text{mA}$		71		dB
$V_{IN}$	Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	$I_L = 500\ \text{mA}$	14.5			V
$\Delta V_O$	Long Term Stability	$I_L = 500\ \text{mA}$			48	mV/khrs

### LM341-15, LM78M15C

Unless otherwise specified:  $V_{IN} = 23\text{V}$ ,  $C_{IN} = 0.33\ \mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\ \mu\text{F}$

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$V_O$	Output Voltage	$I_L = 500\ \text{mA}$	14.4	15	15.6	V
		$5\ \text{mA} \leq I_L \leq 500\ \text{mA}$	14.25	15	15.75	
		$P_D \leq 7.6\text{W}$ , $18\text{V} \leq V_{IN} \leq 30\text{V}$				
$V_{R\ \text{LINE}}$	Line Regulation	$17.6\text{V} \leq V_{IN} \leq 30\text{V}$			150	mV
		$I_L = 100\ \text{mA}$ $I_L = 500\ \text{mA}$			300	
$V_{R\ \text{LOAD}}$	Load Regulation	$5\ \text{mA} \leq I_L \leq 500\ \text{mA}$			300	
$I_Q$	Quiescent Current	$I_L = 500\ \text{mA}$		4	10.0	mA
$\Delta I_Q$	Quiescent Current Change	$5\ \text{mA} \leq I_L \leq 500\ \text{mA}$			0.5	
		$18\text{V} \leq V_{IN} \leq 30\text{V}$ , $I_L = 500\ \text{mA}$			1.0	
$V_n$	Output Noise Voltage	$f = 10\ \text{Hz}$ to $100\ \text{kHz}$		90		$\mu\text{V}$
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_O}$	Ripple Rejection	$f = 120\ \text{Hz}$ , $I_L = 500\ \text{mA}$		69		dB
$V_{IN}$	Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	$I_L = 500\ \text{mA}$	17.6			V
$\Delta V_O$	Long Term Stability	$I_L = 500\ \text{mA}$			60	mV/khrs

Note 1: Absolute maximum ratings indicate limits beyond which damage to the component may occur. Electrical specifications do not apply when operating the device outside of its rated operating conditions.

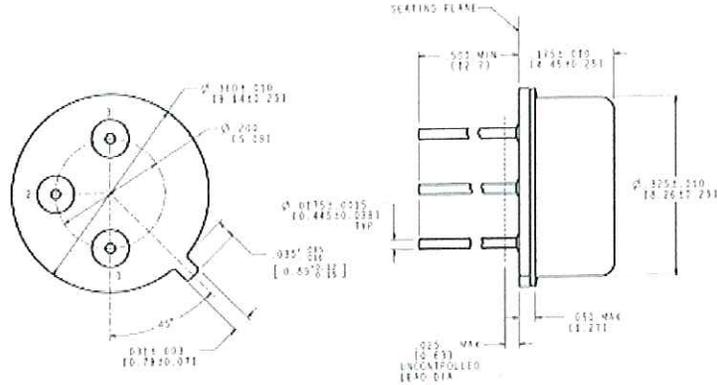
Note 2: The typical thermal resistance of the three package types is:

T (TO-220) package:  $\theta_{JA} = 60^\circ\text{C/W}$ ,  $\theta_{JC} = 5^\circ\text{C/W}$

H (TO-39) package:  $\theta_{JA} = 120^\circ\text{C/W}$ ,  $\theta_{JC} = 18^\circ\text{C/W}$

DT (TO-252) package:  $\theta_{JA} = 92^\circ\text{C/W}$ ,  $\theta_{JC} = 10^\circ\text{C/W}$

**Physical Dimensions** inches (millimeters) unless otherwise noted

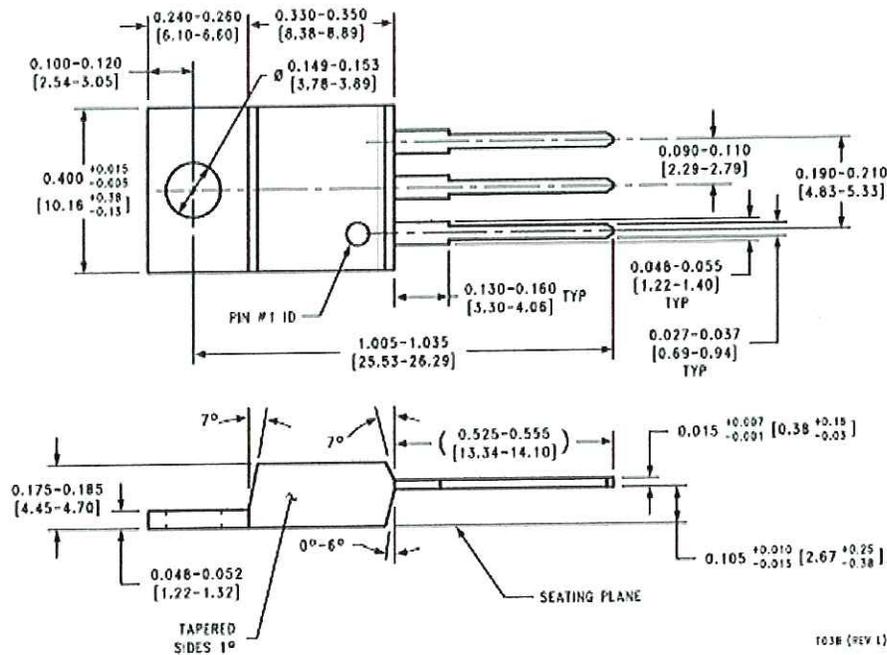


CONTROLLING DIMENSION IS INCH  
VALUES IN [ ] ARE MILLIMETERS

ML PWP 30535  
CONSTRUCTION CONTROL

H03A (Rev. D)

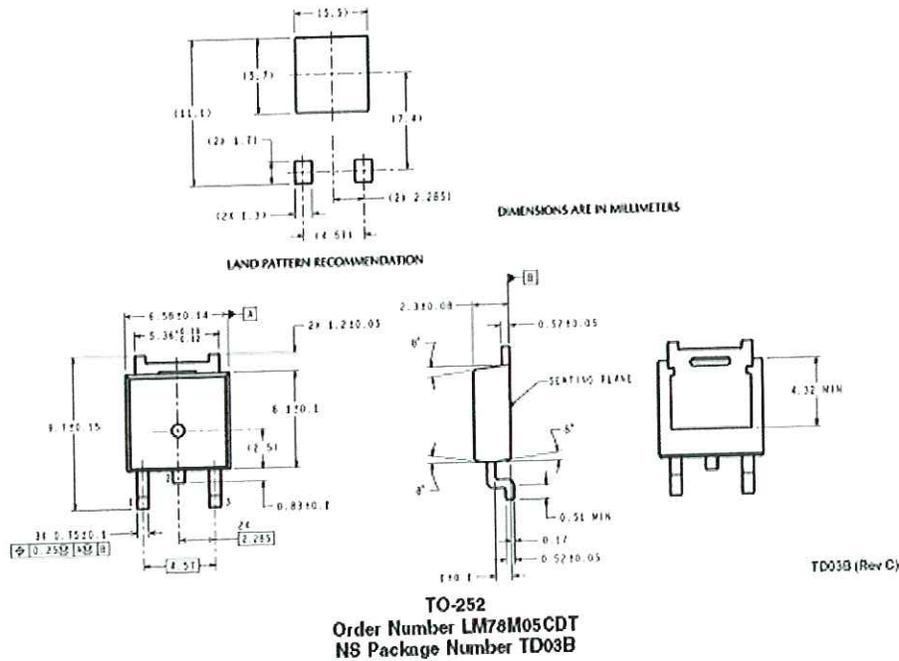
**TO-39 Metal Can Package (H)**  
Order Number LM78M05CH, LM78M12CH or LM78M15CH  
NS Package Number H03A



T03B (REV. I)

**TO-220 Power Package (T)**  
Order Number LM341T-5.0, LM341T-12, LM341T-15, LM78M05CT, LM78M12CT or LM78M15CT  
NS Package Number T03B

**Physical Dimensions** inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.  
For the most current product information visit us at [www.national.com](http://www.national.com).

**LIFE SUPPORT POLICY**

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

**BANNED SUBSTANCE COMPLIANCE**

National Semiconductor manufactures products and uses packing materials that meet the provisions of the Customer Products Stewardship Specification (CSP-9-111C2) and the Banned Substances and Materials of Interest Specification (CSP-9-111S2) and contain no "Banned Substances" as defined in CSP-9-111S2.  
Leadfree products are RoHS compliant.

 National Semiconductor  
Americas Customer Support Center  
Email: [nw.feedback@nsc.com](mailto:nw.feedback@nsc.com)  
Tel: 1-800-272-9959

[www.national.com](http://www.national.com)

National Semiconductor  
Europe Customer Support Center  
Fax: +49 (0) 180-690 66 05  
Email: [europa.support@nsc.com](mailto:europa.support@nsc.com)  
Deutsch Tel: +49 (0) 69 6508 6208  
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171  
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8760

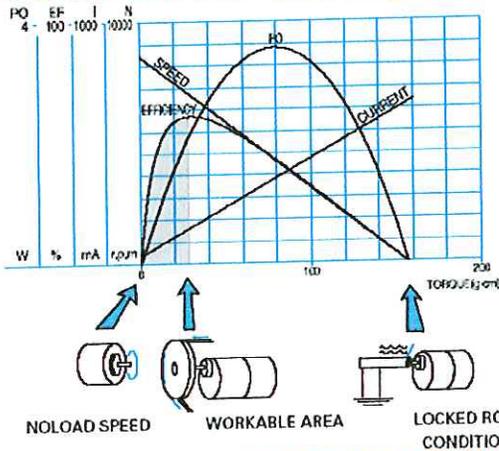
National Semiconductor  
Asia Pacific Customer Support Center  
Email: [ap.support@nsc.com](mailto:ap.support@nsc.com)

National Semiconductor  
Japan Customer Support Center  
Fax: 81-3-6639-7507  
Email: [jp.feedback@nsc.com](mailto:jp.feedback@nsc.com)  
Tel: 81-3-6639-7560

## ANEXO 4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MOTOR

# DC MOTOR SPECIFICATIONS

### ● SPEED AND LOAD CHARACTERISTICS



The relationship between torque vs speed and current is linear as shown left; as the load on a motor increases, Speed will decrease. The graph pictured here represents the characteristics of a typical motor.

As long as the motor is used in the area of high efficiency (as represented by the shaded area) long life and good performance can be expected. However, using the motor outside this range will result in high temperature rises and deterioration of motor parts.

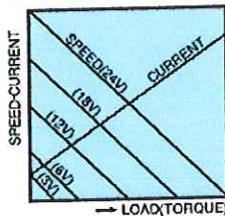
If voltage is continuously applied to a motor in a locked rotor condition, the motor will heat up and fail in a relatively short time. Therefore it is important that there is some form of protection against high temperature rises.

A motor's basic rating point is slightly lower than its maximum efficiency point.

Load torque can be determined by measuring the current drawn when the motor is attached to a machine whose actual load value is known.

We will select the most suitable motor for your application after receiving your information.

### ● AS APPLIED VOLTAGE WILL BE CHANGED

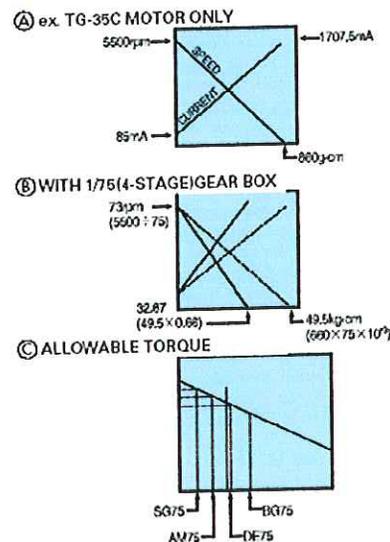


As shown left, if the applied voltage is changed, no load speed and starting torque also change in proportion to the voltage.

Speed characteristics at a given voltage are parallel to these at other voltages.

Thus, a DC motor can be used at a voltage lower than the rated voltage. But, below 1000 rpm, the speed becomes unstable, and the motor will not run smoothly.

### ● CHARACTERISTICS AND RATED PERFORMANCE OF A GEARED MOTOR



Speed reduction by means of a gear box results in increased torque. The reduction/increase is determined by the gear ratio and efficiency of the gear box.

Over-all efficiency depends on the number of reduction stages : one average is 90% per stage. Therefore: a two stage reduction gives  $90 \times 90 = 80\%$ ; 3 stages will be 72.9% and a 4-stage reduction 66%.

The above mechanical loss effects the stall torque as shown left.

Stall torque of a geared motor can be calculated using the following formula:

$$\text{---Motor stall torque} \times \text{gear ratio} \times \text{efficiency.}$$

The output loading on a gear box must never exceed the manufactures "specified rated torque" as this will cause premature gear failure.

It is particularly important to observe this at slow output speeds when the calculated output torque exceeds the specified rated torque.

ANEXO 5  
DATA SHEET DE TARJETA USB PARA ADQUISICIÓN DE DATOS (USB-6009)

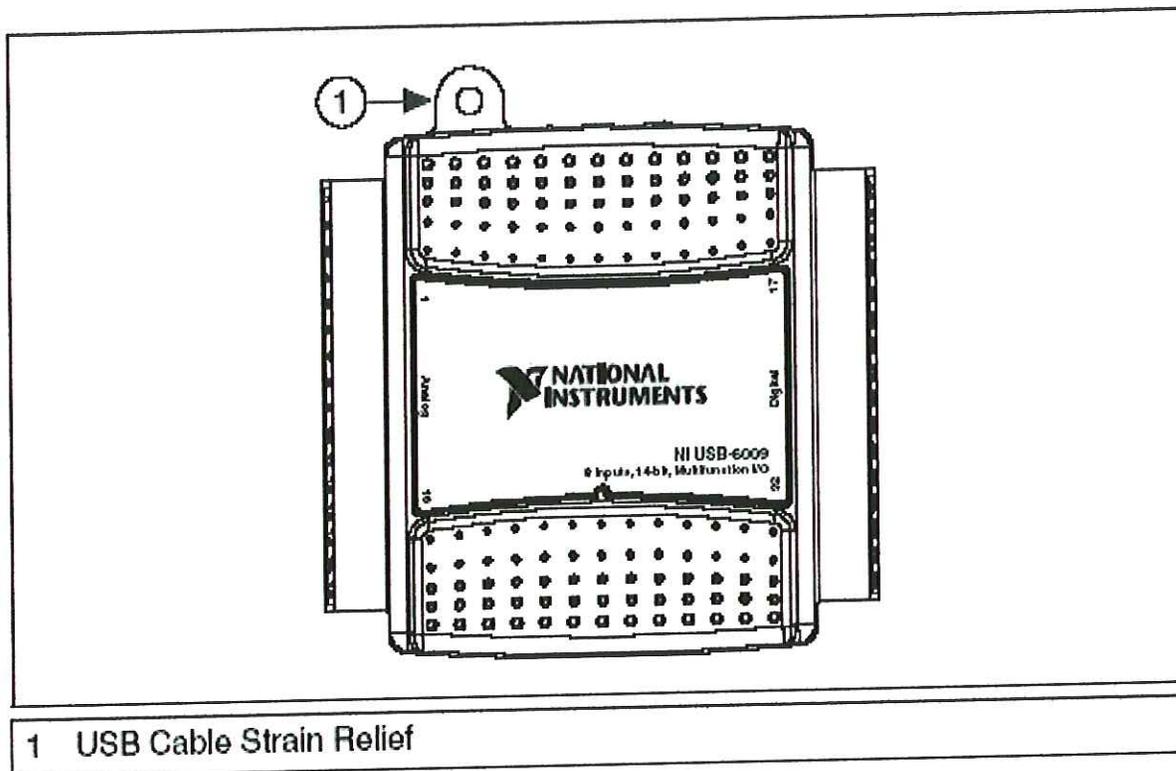


Figure 2. USB-6008/6009

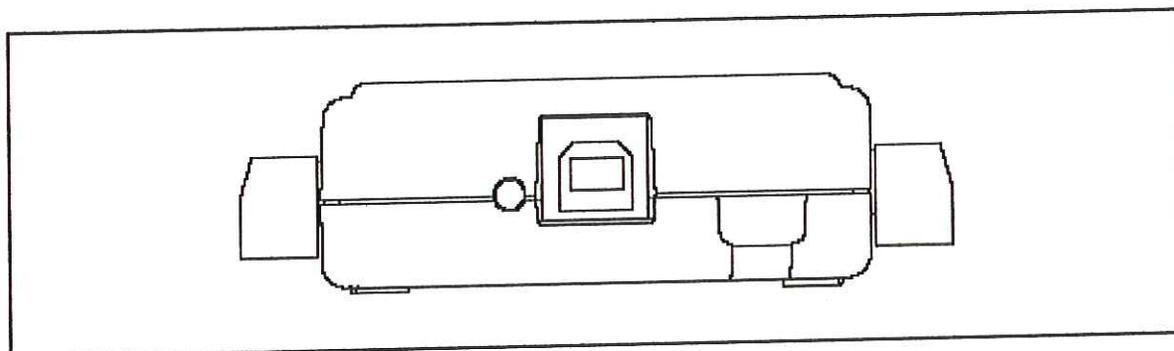
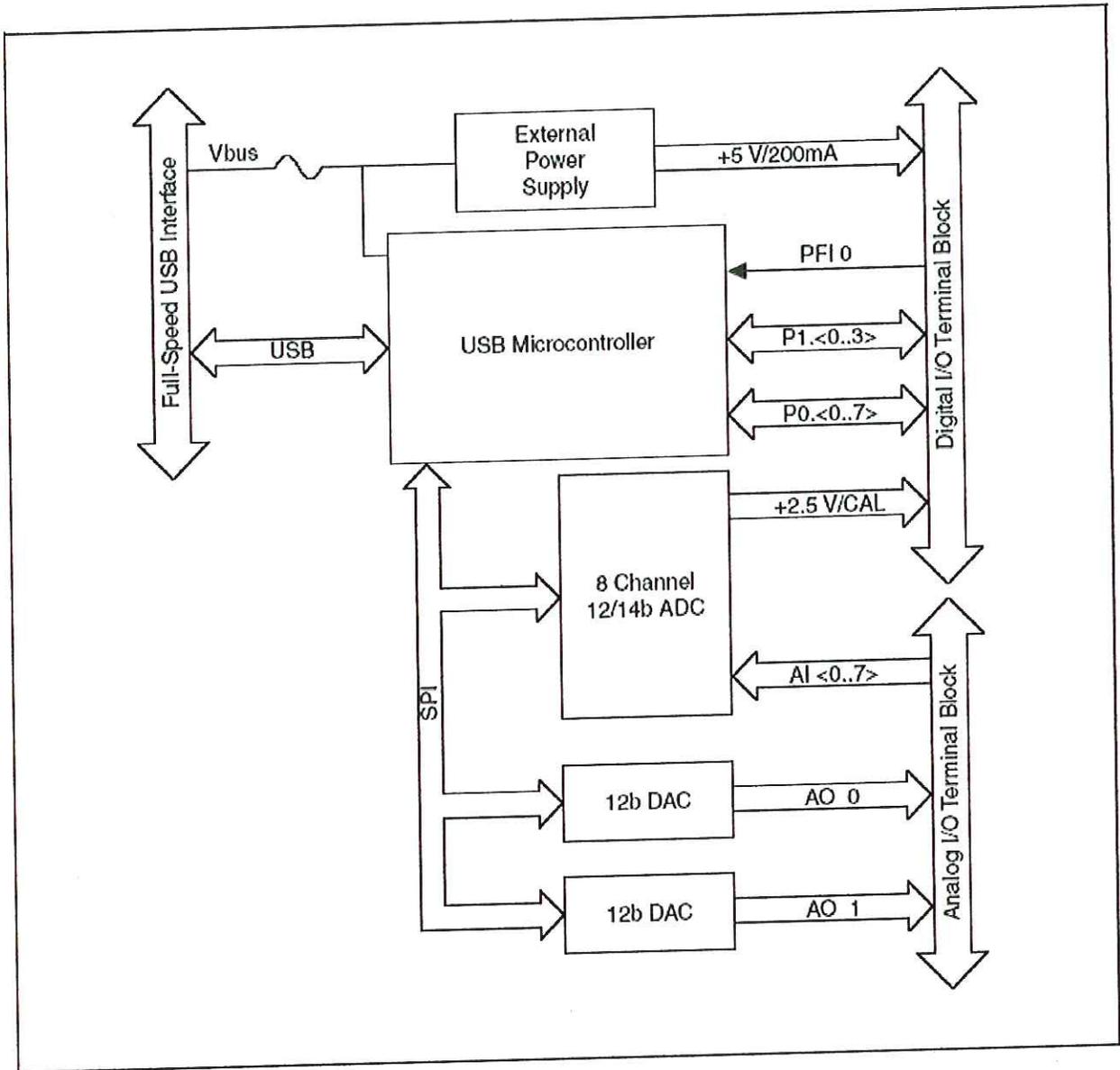


Figure 3. USB-6008/6009 Back View



**Figure 4. Device Block Diagram**

# Setting Up Hardware

Complete the following steps to set up the hardware:

1. Install combicon screw terminal blocks by inserting them into the combicon jacks.



**Note** The USB-6008/6009 kit ships with signal labels. You can apply the signal labels to the screw terminal blocks for easy signal identification.

2. Refer to Table 1 and Figure 5 for label orientation and affix the provided signal labels to the screw terminal blocks. Until the signal labels are applied, you can insert the screw terminal blocks into either of the combicon jacks. Refer to Figure 5 for more information about signal label orientation.

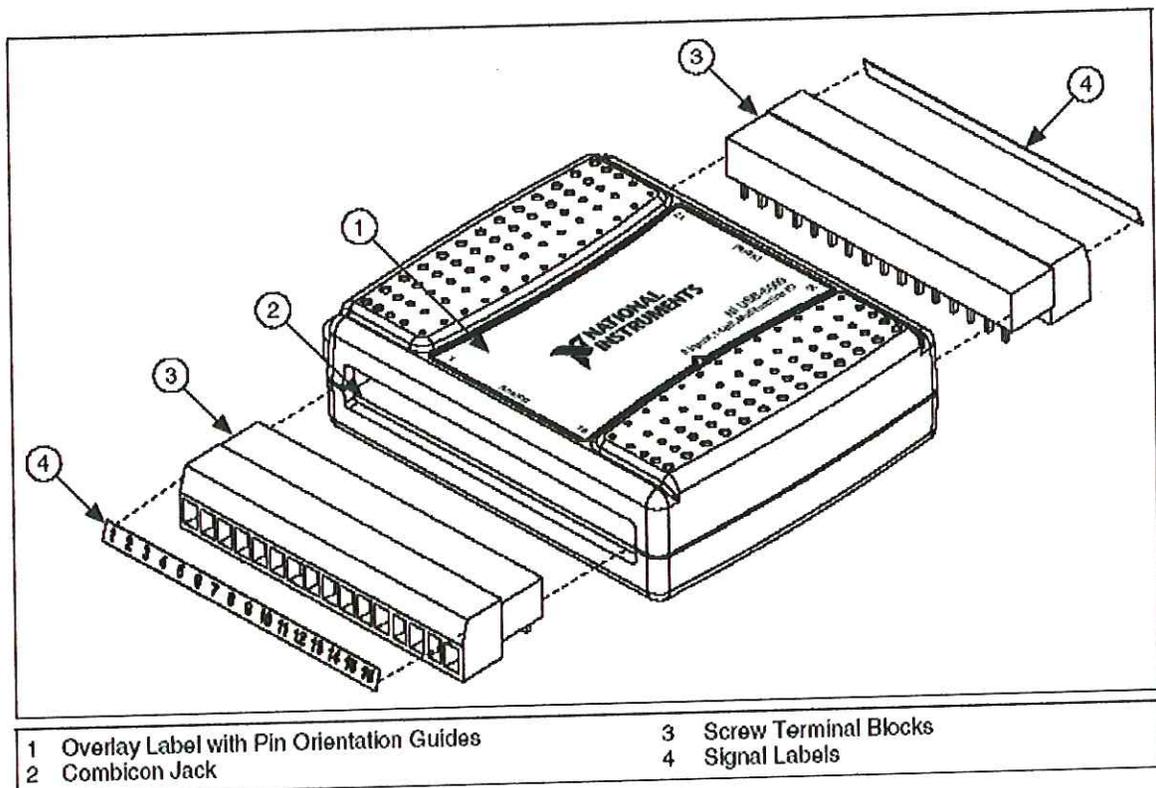


Figure 5. Signal Label Application Diagram



**Note** Once you label the screw terminal blocks, you must only insert them into the matching combicon jack, as indicated by the overlay label on the USB-6008/6009 device.

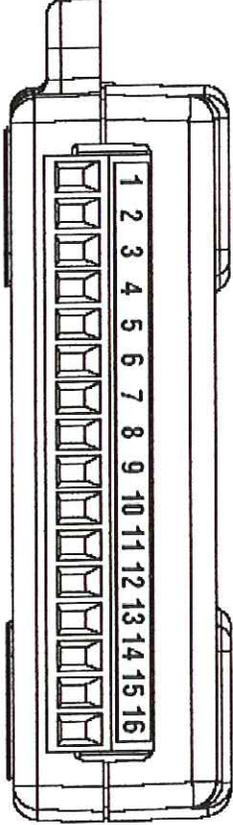
3. Connect the wiring to the appropriate screw terminals.

# I/O Connector

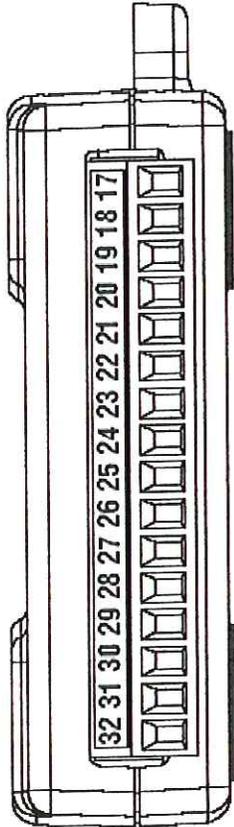
The USB-6008/6009 ships with one detachable screw terminal block for analog signals and one detachable screw terminal block for digital signals. These terminal blocks provide 16 connections that use 16 AWG to 28 AWG wire.

Table 1 lists the analog terminal assignments, and Table 2 lists the digital terminal assignments.

**Table 1. Analog Terminal Assignments**

Module	Terminal	Signal, Single-Ended Mode	Signal, Differential Mode
	1	GND	GND
	2	AI 0	AI 0+
	3	AI 4	AI 0-
	4	GND	GND
	5	AI 1	AI 1+
	6	AI 5	AI 1-
	7	GND	GND
	8	AI 2	AI 2+
	9	AI 6	AI 2-
	10	GND	GND
	11	AI 3	AI 3+
	12	AI 7	AI 3-
	13	GND	GND
	14	AO 0	AO 0
	15	AO 1	AO 1
	16	GND	GND

**Table 2. Digital Terminal Assignments**

Module	Terminal	Signal
	17	P0.0
	18	P0.1
	19	P0.2
	20	P0.3
	21	P0.4
	22	P0.5
	23	P0.6
	24	P0.7
	25	P1.0
	26	P1.1
	27	P1.2
	28	P1.3
	29	PFI 0
	30	+2.5 V
	31	+5 V
	32	GND

# Signal Descriptions

Table 3 describes the signals available on the I/O connectors.

**Table 3. Signal Descriptions**

Signal Name	Reference	Direction	Description
GND	—	—	<b>Ground</b> —The reference point for the single-ended AI measurements, bias current return point for differential mode measurements, AO voltages, digital signals at the I/O connector, +5 VDC supply, and the +2.5 VDC reference.
AI <0..7>	Varies	Input	<b>Analog Input Channels 0 to 7</b> —For single-ended measurements, each signal is an analog input voltage channel. For differential measurements, AI 0 and AI 4 are the positive and negative inputs of differential analog input channel 0. The following signal pairs also form differential input channels: <AI 1, AI 5>, <AI 2, AI 6>, and <AI 3, AI 7>.
AO 0	GND	Output	<b>Analog Channel 0 Output</b> —Supplies the voltage output of AO channel 0.
AO 1	GND	Output	<b>Analog Channel 1 Output</b> —Supplies the voltage output of AO channel 1.
P1.<0..3> P0.<0..7>	GND	Input or Output	<b>Digital I/O Signals</b> —You can individually configure each signal as an input or output.
+2.5 V	GND	Output	<b>+2.5 V External Reference</b> —Provides a reference for wrap-back testing.
+5 V	GND	Output	<b>+5 V Power Source</b> —Provides +5 V power up to 200 mA.
PFI 0	GND	Input	<b>PFI 0</b> —This pin is configurable as either a digital trigger or an event counter input.

# Specifications

The following specifications are typical at 25 °C, unless otherwise noted.

## Digital I/O

### Digital I/O

PO.<0..7>..... 8 lines

PI.<0..3> ..... 4 lines

Direction control ..... Each channel individually programmable as input or output

### Output driver type

USB-6008 ..... Open-drain

USB-6009 ..... Each channel individually programmable as push-pull or open-drain

Compatibility ..... TTL, LVTTTL, CMOS

Absolute maximum voltage range ..... -0.5 to 5.8 V with respect to GND

Pull-up resistor ..... 4.7 kΩ to 5 V

Power-on state..... Input (high impedance)

### Digital logic levels

Level	Min	Max	Units
Input low voltage	-0.3	0.8	V
Input high voltage	2.0	5.8	V
Input leakage current	—	50	μA
Output low voltage (I = 8.5 mA)	—	0.8	V
Output high voltage			
Push-pull, I = -8.5mA	2.0	3.5	V
Open-drain, I = -0.6mA, nominal	2.0	5.0	V
Open-drain, I = -8.5mA, with external pull-up resistor	2.0	—	V

## External Voltage

+5 V output (200 mA maximum) ..... +5 V typical, +4.85 V minimum

+2.5 V output (1 mA maximum) ..... +2.5 V typical

+2.5 V accuracy .....0.25% max  
 Reference temperature drift .....50 ppm/°C max

## Counter

Number of counters ..... 1  
 Resolution .....32 bits  
 Counter measurements .....Edge counting (falling-edge)  
 Pull-up resistor.....4.7 kΩ to 5 V  
 Maximum input frequency .....5 MHz  
 Minimum high pulse width..... 100 ns  
 Minimum low pulse width..... 100 ns  
 Input high voltage .....2.0 V  
 Input low voltage .....0.8 V

## Bus Interface

USB specification .....USB 2.0 full-speed  
 USB bus speed..... 12 Mb/s

## Power Requirements

USB  
 4.10 to 5.25 VDC.....80 mA typical, 500 mA max  
 USB suspend .....300 μA typical, 500 μA max

## Physical Characteristics

If you need to clean the module, wipe it with a dry towel.

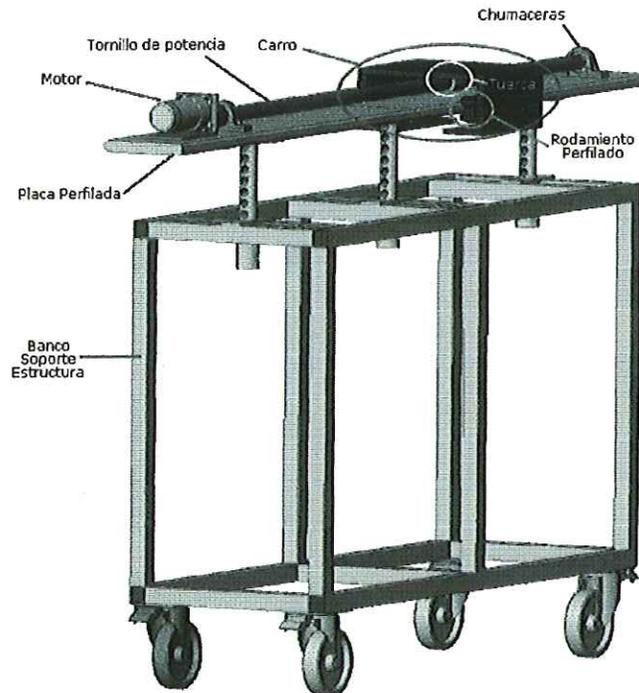
### Dimensions

Without connectors.....6.35 cm × 8.51 cm × 2.31 cm  
 (2.50 in. × 3.35 in. × 0.91 in.)  
 With connectors.....8.18 cm × 8.51 cm × 2.31 cm  
 (3.22 in. × 3.35 in. × 0.91 in.)

## MANUAL DE USUARIO SERVOMECANISMO PARA POSICIONAMIENTO LINEAL

### 1. Componentes del Servomecanismo

Ilustración 1. Componentes del servomecanismo



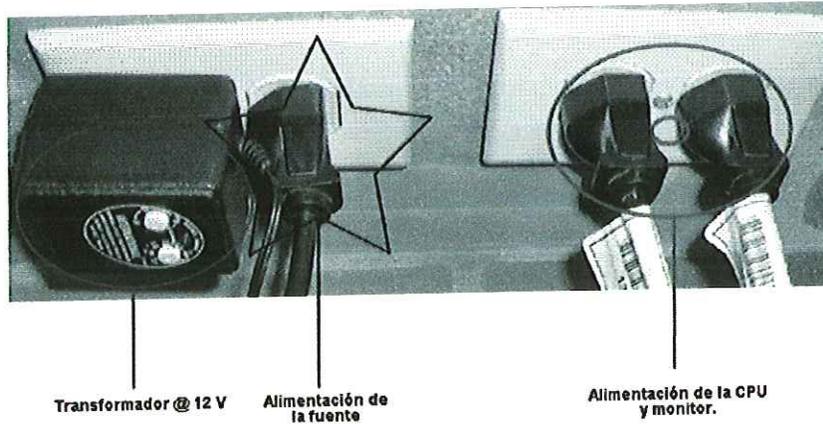
### 2. Recomendaciones Generales

- ❖ Gradúe aumentando o disminuyendo la altura del sistema, por medio de los pasadores para asegurar la posición deseada.
- ❖ Ajuste los frenos de las ruedas del banco de soporte, para evitar que se mueva toda la estructura.
- ❖ Lubrique o engrase el tornillo de potencia de ser necesario, para lograr un desempeño más óptimo de las piezas mecánicas.
- ❖ Ajuste los tornillos del acople entre el motor y el tornillo de potencia de ser necesario.
- ❖ Ajustar los rodamientos perfilados con una llave Bristol de 3.5mm para graduar la distancia de separación de los mismos, con respecto a la placa si lo cree conveniente.

### 3. Procedimiento para poner en marcha el sistema

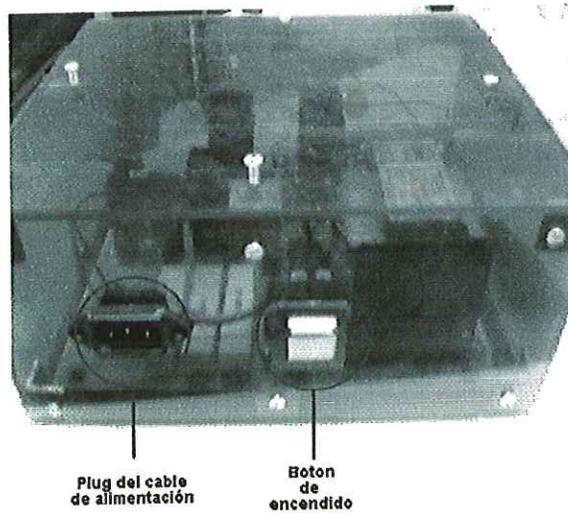
- ❖ Conecte a una toma de 110V el cable de alimentación de la fuente y el adaptador de la fuente.

Ilustración 2. Procedimiento para conectar la fuente de alimentación del servomecanismo



- ❖ Presione el botón para encender la fuente suministrada con el servomecanismo, Se encenderá una luz roja que indica dicho estado.

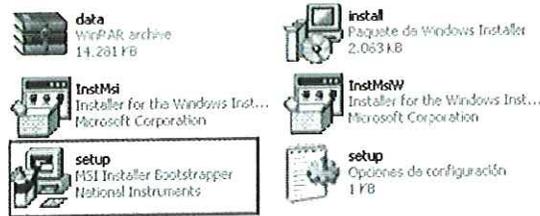
Ilustración 3. Plug de alimentación de la fuente/ Luz de indicación del estado de la fuente



- ❖ Ya está listo para poner a correr al servomecanismo en el sentido que desee.

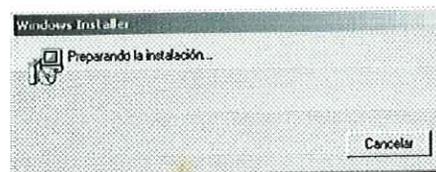
#### 4. Instalando el software

Ilustración 4. Archivo ejecutable para la instalación del programa



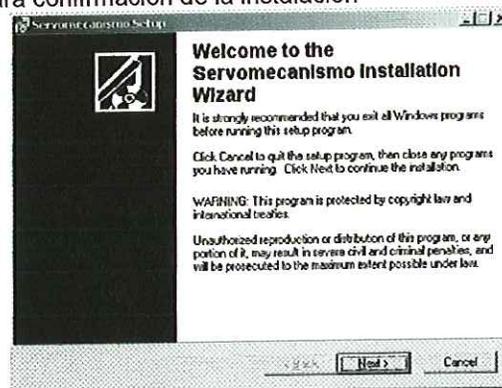
- Dentro del soporte informático del servomecanismo se encuentra la opción de instalar el programa donde el usuario puede interactuar con el servomecanismo.
  - ❖ En la carpeta de instalación ubique el archivo seleccionado en la ilustración 4. Haga 2 veces clic en este archivo para iniciar el proceso de instalación del programa.
  - ❖ Al hacer 2 veces clic en este archivo aparecerá una pantalla como la ilustrada.

Ilustración 5. Pantalla inicial del instalador del programa



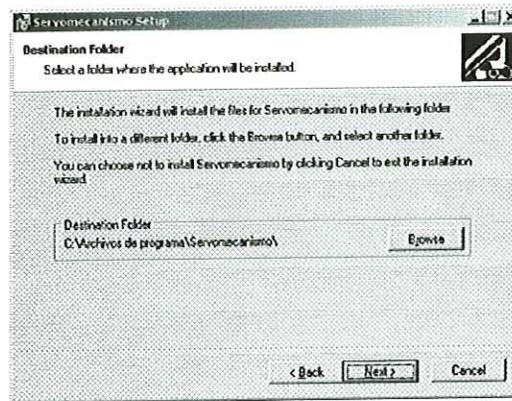
- ❖ En la pantalla de la ilustración 6, haga clic en el botón next para continuar con la instalación o en el botón "cancelar" para terminar y salir del proceso.

Ilustración 6. Pantalla para confirmación de la instalación



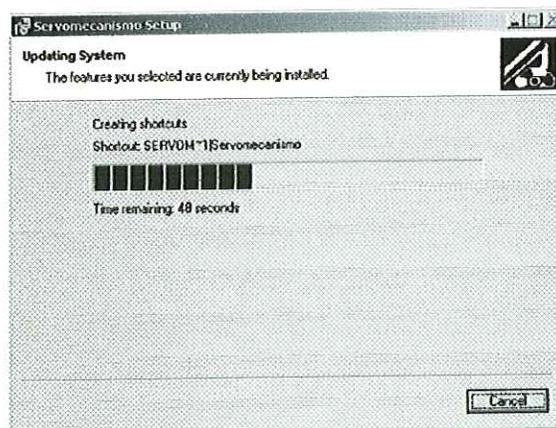
- ❖ Seguidamente, aparecerá la pantalla de la ilustración 7., que le muestra la opción de ubicar el programa en determinada carpeta. Se recomienda instalar el programa en la carpeta que trae por defecto la instalación; si desea cambiar la carpeta destino, haga clic en el botón "Browse" y elija la carpeta en la que desea guardar el programa. A continuación haga clic en el botón "next" para continuar o haga clic en el botón "cancel" para terminar. En esta sección aparece la opción de volver a la página anterior del instalador, con el botón "back".

Ilustración 7. Seleccionar la carpeta de instalación del programa



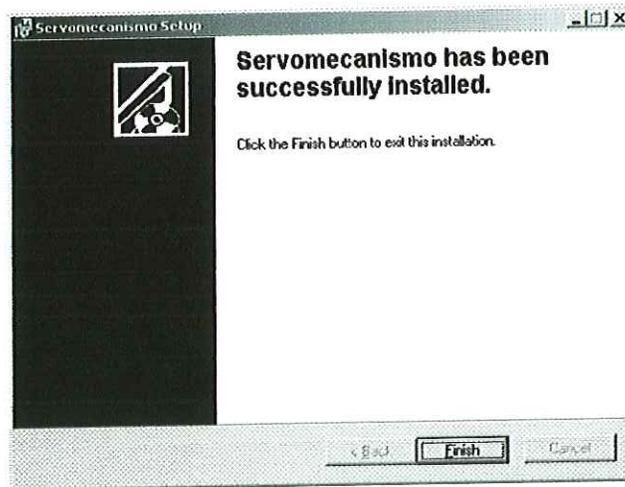
- ❖ La ilustración 8. hace referencia a la pantalla en la que se observa el progreso de la instalación del programa. Puede dar clic en el botón "cancel" para salirse de la instalación.

Ilustración 8. Progreso de la instalación



- ❖ La ilustración 8. hace referencia a la pantalla que aparece cuando finaliza exitosamente el proceso de instalación del programa. Haga clic en el botón "finish", para terminar.

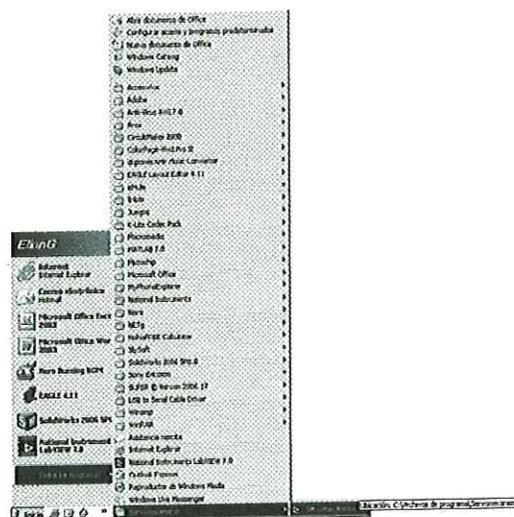
Ilustración 9. Pantalla de finalización de la instalación



## 5. ¿Como comenzar a correr el programa?

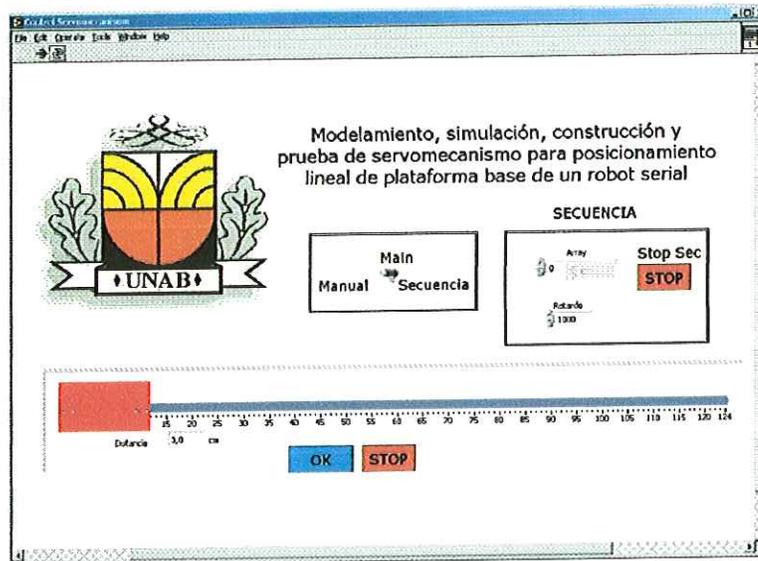
- ❖ Para acceder al programa, haga clic en inicio, todos los programas, servomecanismo. De clic en este último para ingresar al programa. Este procedimiento se muestra en la ilustración 10.

Ilustración 10. Iniciando el programa



- ❖ Aparecerá la pantalla principal del programa, donde el usuario puede interactuar con el servomecanismo colocando la distancia a la cual desea enviar el carro.

Ilustración 11. Pantalla principal del software



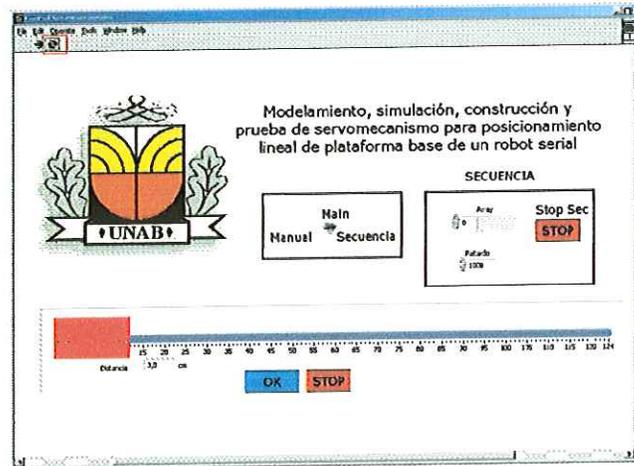
La pantalla de usuario presenta este aspecto donde se identifican entre otros, los siguientes aspectos:

- ❖ Una ventana "main" donde el usuario puede elegir entre ejecutar acciones en modo manual o en modo secuencia.
- ❖ Una ventana "secuencia", donde el usuario puede ejecutar varios recorridos dentro de una misma acción.
- ❖ Un slide que indica el progreso del recorrido del carro.
- ❖ Un esquema similar al carro real, el cual se encarga de moverse por el slide indicando s recorrido.
- ❖ Un botón de OK y un botón de STOP los cuales se encarga de habilitar y deshabilitar respectivamente, el funcionamiento del servomecanismo.

## 6. Explicación operativa del software

- ❖ Para que el programa funcione continuamente, al ejecutar se debe hacer clic en la imagen que se señala en el recuadro de la ilustración 12.

Ilustración 12. Icono para correr programa continuamente



- ❖ Si es elegido el *modo manual*, el usuario puede utilizar el Mouse y posicionarse en el carro, colocándolo hasta la posición donde lo desee llevar. También puede ingresar el valor de distancia en la casilla dispuesta para esto. Para iniciar el proceso el usuario debe validar su acción pulsando el botón "OK".
- ❖ Si es elegido el *modo secuencia*, se podrán ejecutar varios recorridos dentro de la misma acción. Hay una ventana disponible para introducir las distancias a las cuales se desea llevar el carro. Además puede modificar el tiempo de retardo de cada parada. En este modo de operación el usuario también debe validar su acción pulsando el botón "OK".

## 7. Conexiones eléctricas

- ❖ **Conectando la tarjeta labview NI – 6009**

La función de la tarjeta es controlar el puente H para esto se utilizan 2 pares de cables un par compuesto por los colores rojo blanco y un par compuesto por los colores azul verde.

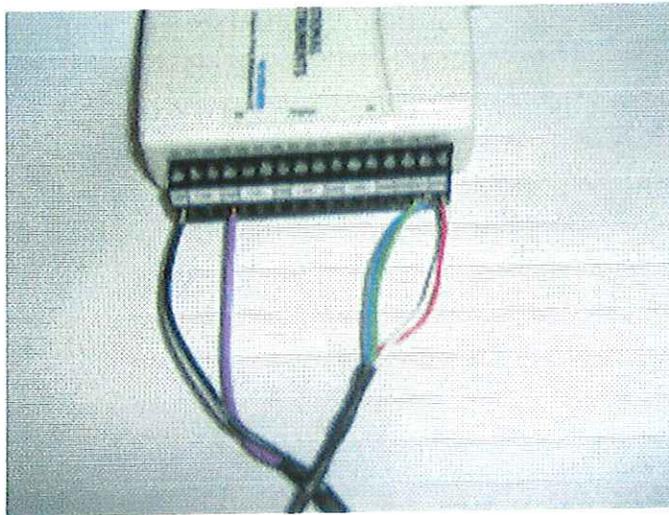
El par rojo-blanco se conecta en el puerto 0 línea 0 (pin 0 de las entradas digitales).

El par azul-verde se conecta en el puerto 0 línea 1 (pin 1 de las entradas digitales).

Los impulsos del encoder se contabilizan por la entrada PF10 de la tarjeta ubicada en el pin 29 también del lado de las entradas digitales por medio del cable de color lila.

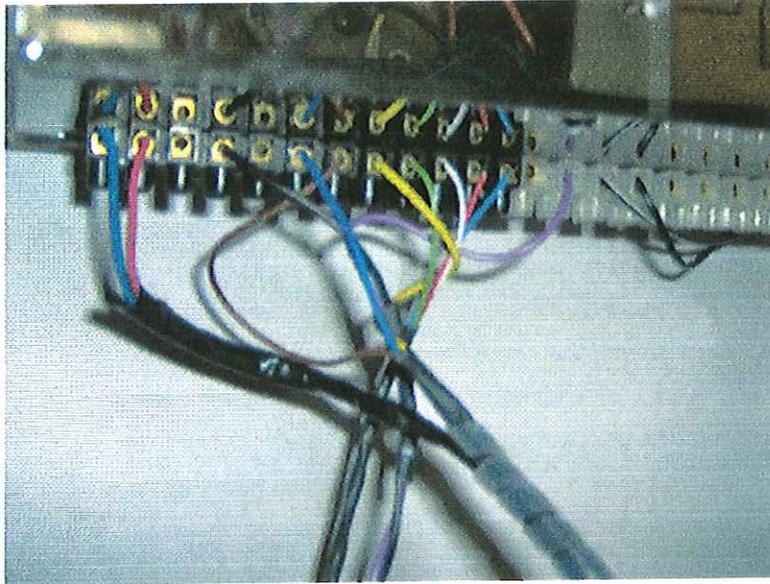
Por último la tierra se conecta en el pin 32.

Ilustración 13. Tarjeta NI USB 6009



## 8. Conectando la fuente y circuitos acondicionares.

Ilustración 14. Fuente eléctrica



De izquierda a derecha. (Ver ilustración 14)

Bornera 1: Cable del motor azul.

Bornera 2: Cable del motor rojo

Bornera 3: Tierra.

Bornera 4: Tierra.

Bornera 5: Tierra.

Bornera 6: Tierra enconder motor (cable azul).

Bornera 7: Vcc encoder (cable café).

Bornera 8: Señal de encoder (cable amarillo).

Bornera 9: Cable Verde de la tarjeta USB.

Bornera 10: Cable Blanco de la tarjeta USB.

Bornera 11: Cable Rojo de la tarjeta USB.

Bornera 12: Cable Azul de la tarjeta USB.

Bornera 14: Cable lila de la tarjeta USB.

Bornera 16: Cable Blanco-Negro del transformador @ 12 V.

Bornera 17: Cable Negro del transformador @ 12 V.

## BIBLIOGRAFÍA

Barrientos, Antonio et all. Fundamentos de robótica. Universidad Politécnica de Madrid. McGraw Hill. 1997, Madrid 1997 .336 p. 84-481-0815-9.

Boylestad, Robert L. Electrónica: Teoría de Circuitos. Naucalpan de Juárez. Prentice Hall. 1996. 949 p.:il.968-880-805-9

Ollero Baturone, Aníbal. Robótica: manipuladores y robots móviles. Barcelona. Marcombo. 2001. 447 p.: il. 84-267-1313-0.

Tocci, Ronald J. Sistemas digitales: principios y aplicaciones. 8 ed. México. Pearson Educación. 2003. xxvi, 884 p.: il. 970-26-0297-1.

Smith F. William. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. 3 ed. Madrid. Mc Graw Hill. 2002. p1. p. 4-5.

Luzzader, Warren J., Duff Jon M. Fundamentos de dibujo en ingeniería 11 ed. Mexico. Pearson Prentice Hall. 1993. p 163. p.183 p. 281

Beer P. Ferdinand., Johnston JR Russel E. Mecánica de materials 2 ed. Mexico. Mc Graw Hill. Apéndice B.

Tocci, Ronald J. Sistemas digitales: principios y aplicaciones. 8 ed. México. Pearson Educación. 2003. xxvi, 884 p.: il. 970-26-0297-1.

[www.fing.edu.uy/iimpi/dptos/disenio/cursos/dm04/Tornillos%20de%20Potencia.pdf](http://www.fing.edu.uy/iimpi/dptos/disenio/cursos/dm04/Tornillos%20de%20Potencia.pdf)

[http://www.bahr-modultechnik.de/ES/PDF/egt\\_egk.pdf](http://www.bahr-modultechnik.de/ES/PDF/egt_egk.pdf)

<http://www.thk.de/pdf/HBN-E.pdf>

<http://www.bwc.com/html/dualvee.html>

[http://csd.newcastle.edu.au/SpanishPages/clase\\_slides\\_download/on\\_off.pdf](http://csd.newcastle.edu.au/SpanishPages/clase_slides_download/on_off.pdf)

<http://www.fi.uba.ar/materias/6722/acciones%20basicas%20PID.pdf>