

**PROTOTIPO DE UN ROBOT TIPO PUMA DE SEIS GRADOS DE  
LIBERTAD**

**ALFONSO GORKY PEÑA PARDO  
JUAN GUILLERMO PÉREZ SARMIENTO  
MARCO FIDEL SUÁREZ SAAVEDRA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA  
2005**

**PROTOTIPO DE UN ROBOT TIPO PUMA DE SEIS GRADOS DE  
LIBERTAD**

**ALFONSO GORKY PEÑA PARDO  
JUAN GUILLERMO PÉREZ SARMIENTO  
MARCO FIDEL SUÁREZ SAAVEDRA**

**Proyecto para optar al título de  
Ingenieros Electrónicos.**

**DIRECTOR  
ROBERTO MARTÍNEZ ÁNGEL  
Doctor Techn UTV**

**CODIRECTOR  
RICARDO JAIMES ROLON  
Ingeniero Especialista**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA  
2005**

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme dado sabiduría y paciencia.  
A mis Padres por el apoyo que siempre me han brindado.  
A mis Abuelos que desde el cielo siempre me guiaron.  
A mis sobrinos Edgar Andrés, Juan Sebastián, José Daniel, José Luis,  
Julián Ramiro y Edgar Felipe.  
A mis compañeros más cercanos  
Y a todos los que creyeron y no creyeron en este proyecto.

*MARCO FIDEL SUÁREZ SAAVEDRA*

En su momento la vida me dio y me dará la oportunidad de dar a cada persona el reconocimiento respectivo...

*ALFONSO GORKY PEÑA PARDO*

A Dios agradezco el haberme permitido ganar la sabiduría para realizar este proyecto y la paciencia necesaria para llevarlo a cabo.  
A mis padres por el esfuerzo, la paciencia y el apoyo para hacer de esta meta una realidad.  
A mi tía Elsa quien siempre confió en el éxito de este proyecto.  
A mi novia Cristina quien siempre fue un pilar de apoyo en los momentos difíciles.  
A los Hermanos Chipagra y a Javier Montañez por su colaboración durante el desarrollo del proyecto.  
A mi director de proyecto y a todos los profesores que estuvieron acompañándome en mi desarrollo profesional.  
Y a todos mis amigos...

*JUAN GUILLERMO PÉREZ SARMIENTO*

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. ROBÓTICA	4
1.1 DEFINICIÓN ROBOT	4
1.2 CLASIFICACIÓN GENERAL	5
1.3 DEFINICIÓN MANIPULADOR	7
1.3.1 CONFIGURACIONES	7
1.3.1.1 Configuración Cartesiana	8
1.3.1.2 Configuración Cilíndrica	8
1.3.1.3 Configuración Polar	9
1.3.1.4 Configuración Angular	9
1.3.1.5 Otras	10
1.4 VOLUMEN DE TRABAJO	11
1.5 REPETIBILIDAD	11
1.6 EXACTITUD	12
1.7 RESOLUCIÓN	12
1.8 ROBOT TIPO PUMA	12
1.9 CINEMÁTICA DEL ROBOT	13
1.9.1 Cinemática directa e inversa	13
1.9.2 Representación de la posición y orientación de objetos	15
1.9.3 Representación De Denavit-Hartenberg	20
2 MICROCONTROLADOR MC68HC908GP32	23
2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL	23
2.1.1 Características	23
2.1.2 Estructura interna	24
2.1.3 Descripción de pines	26

2.2	MAPA DE MEMORIA	28
2.3	PUERTOS DE ENTRADA Y SALIDA	30
2.4	CONVERSOR ANALOGO – DIGITAL (ADC)	30
2.5	MODULO DE INTERFAZ DEL TEMPORIZADOR (TIM)	31
2.5.1	Modulación por ancho de pulso (PWM)	32
2.5.1.1	Señal PWM sin buffer	33
2.5.1.2	Señal PWM con buffer	33
2.6	MODULO DE INTERFAZ DE COMUNICACIÓN SERIAL (SCI)	34
3	ESTRUCTURA MECANICA	35
3.1	BASE	35
3.2	BRAZO	37
3.3	ANTEBRAZO	38
3.4	MUÑECA	39
3.5	EFECTOR FINAL	39
4	ACTUADORES	41
4.1	MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA	41
4.1.1	Control	42
4.2	SERVOMOTORES	48
4.2.1	Control de Servomotores	49
4.3	ÉMBOLO PINZA	50
5	COMUNICACIÓN SERIAL ENTRE PC Y MICROCONTROLADOR	52
6	PROGRAMA DE CONTROL	61
6.1	RUTINA DE CONFIGURACION	61
6.2	INICIALIZACION DEL CONVERSOR ANALOGO DIGITAL	64
6.3	INICIALIZACION PWM	64
6.4	RUTINA POSICIONAR ARTICULACIONES 1, 2 Y 3	65
6.5	RUTINA POSICIONAR ARTICULACIONES 4, 5 Y 6	67
7	PRUEBAS Y ANALISIS DE RESULTADOS	69
7.1.	REPRESENTACIÓN DE DENAVIT-HARTENBERG	69

7.2. PROCESO DE CALIBRACIÓN DEL ROBOT PUMA	70
7.3. PRUEBAS REALIZADAS	72
7.3.1 Prueba de precisión	72
7.3.2 Prueba de repetibilidad	72
7.4 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MANIPULADOR	73
8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
9. BIBLIOGRAFÍA	75
ANEXO A: MANUAL DEL USUARIO INTERFAZ GRAFICA	77
ANEXO B: PLANOS DEL BRAZO	80
HOJAS DE DATOS CIRCUITOS ELECTRONICOS	99

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Robot y su interacción con el entorno.	4
Figura 2. Tipos de Articulaciones.	7
Figura 3. Configuración Cartesiana.	8
Figura 4. Configuración Cilíndrica.	9
Figura 5. Configuración Polar.	9
Figura 6. Configuración Angular.	10
Figura 7. Configuración Scara.	10
Figura 8. Volumen de trabajo de un manipulador.	11
Figura 9. Robot PUMA.	12
Figura 10. Diagrama de relación entre cinemática directa e inversa.	14
Figura 11. Sistemas de coordenadas planares.	15
Figura 12. Sistemas de coordenadas espaciales.	16
Figura 13. Orientación de un sistema OUV respecto a otro OXY en un plano.	17
Figura 14. Sistema OUVW rotado con respecto a los ejes OX, OY, OZ con su respectiva representación matricial.	18
Figura 15. Estructura interna y diagrama de bloques funcionales del microcontrolador MC68HC908GP32.	25
Figura 16. Descripción de pines.	26
Figura 17. Mapa de memoria.	29
Figura 18. Estructura mecánica.	35
Figura 19. Vista explosionada de la base.	36
Figura 20. Vista explosionada del brazo.	37
Figura 21. Vista explosionada del antebrazo.	38

Figura 22. Vista explosionada de la muñeca.	39
Figura 23. Efecto final o <i>gripper</i> .	40
Figura 24. Motor D.C. desarrollado por Globe Motors <sup>®</sup> .	42
Figura 25. Diagrama de bloques de las etapas de Sensado y Acondicionamiento de Señal.	45
Figura 26. Diagrama de bloques de la etapa de control.	47
Figura 27. Diagrama interno del servomotor.	48
Figura 28. Posiciones de un servomotor para diferentes anchos de pulso.	50
Figura 29. Diagrama de bloques control del efecto final.	51
Figura 30. Diagrama de conexiones MAX232.	54
Figura 31. Muestreo de datos del receptor.	57
Figura 32. Configuración <i>Bean</i> comunicación serial.	59
Figura 33. Diagrama de flujo general del robot.	62
Figura 34. Diagrama de flujo rutina Posicionar Articulación 1, 2 Y 3	66
Figura 35. Diagrama de flujo rutina Posicionar Articulación 4, 5 Y 6	68
Figura 36. Representación de Denavit-Hartenberg para el prototipo.	69

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Preescalador del <i>baud rate</i> del módulo SCI.	55
Tabla 2. Selección del <i>baud rate</i> del modulo SCI.	56
Tabla 3. Función y configuración de puertos.	63
Tabla 4. Selección canal de salida demultiplexor.	65
Tabla 5. Valores lógicos de entradas para control bidireccional de los motores D.C.	67
Tabla 6. Parámetros de Denavit-Hartenberg del manipulador.	70
Tabla 7. Relación análoga digital de las posiciones angulares del manipulador.	71

## RESUMEN

### **TITULO.**

*PROTOTIPO DE UN ROBOT TIPO PUMA DE SEIS GRADOS DE LIBERTAD \**

### **AUTORES.**

*PEÑA PARDO, Alfonso Gorky, PÉREZ SARMIENTO, Juan Guillermo y SUÁREZ SAAVEDRA, Marco Fidel. \*\**

### **PALABRAS CLAVES**

*Robot, Precisión, Repetibilidad, Cinemática.*

### **DESCRIPCIÓN**

El presente trabajo forma parte del desarrollo de una Celda de Manufactura conformada por un brazo mecánico de seis grados de libertad sobre una plataforma móvil.

El proyecto tiene por objeto la elaboración y montaje de los componentes mecánicos, la selección y adaptación del sistema de accionamiento con su correspondiente sistema de alimentación eléctrica, así como el diseño e implementación de una tarjeta de control con la cual se busca posicionar cada articulación del robot tipo PUMA.

Inicialmente se hizo una revisión de la teoría básica de robótica, posteriormente se elaboraron los modelos digitales y su los respectivos planos de las piezas mecánicas que conforman el robot, gracias a la ayuda que brinda el software Solid-Edge V12 con licencia académica.

Una vez construidas las piezas mecánicas se implemento el control monoarticular secuencial del manipulador, teniendo en cuenta que la tres primeras articulaciones del robot utilizan motores de corriente continua como actuadores, las ultimas servomotores y un émbolo en el efector final. Las diferentes rutinas de control se implementaron en el microcontrolador MC68HC908GP32 de la familia motorola.

Como resultado de las pruebas realizadas al robot se obtuvo un error de precisión de aproximadamente 2 cm, una repetibilidad de 5 mm y un volumen de trabajo de 0.19 m<sup>3</sup>.

---

\* Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ciencias Físico – Mecánicas. Ingeniería Electrónica e Ingeniería Eléctrica.

Director Dr. Techn. Roberto Martínez Ángel

## SUMMARY

### TITLE

SIX DEGREES OF FREEDOM PUMA ROBOT PROTOTYPE\*

### AUTHORS

PEÑA PARDO, Alfonso Gorky, PÉREZ SARMIENTO, Juan Guillermo y SUÁREZ SAAVEDRA, Marco Fidel\*\*.

### KEY WORDS

Robot, Precision, Repeatability, Kinematics.

### DESCRIPTION

This work is a part of the development of a manufacturing cell conformed by a six degrees of freedom mechanical arm mounted on a mobile platform.

The project's objective is the mechanical components building and mounting, working system selection and adaptation including electric adaptation supplying system, as so as a control card design and implementation in order to positioning each robot puma's articulations.

Initially a basic Robotics theory revision was made, after that the digital models were built and so the robot's mechanical pieces blue prints, using the software Solid Edge V12 with academic license.

Once the mechanical parts were built, the manipulator's monoarticular sequential control was implemented, considering the three first actuators are dc motors, the last three are servo-motors and a pneumatic piston as final effector. The different control routines were implemented on the Motorola's microcontroller MC68HC908GP32.

The Robot test results yield a precision error about 2cm., repeatability about 5mm. and a workspace volume about 0.19 m<sup>3</sup>.

---

\* Graduation Project

\*\* Faculty of Engineering Physical-mechanics. Engineering Electronic. Roberto Martínez  
Ánge

## **INTRODUCCIÓN**

El desarrollo tecnológico de un país se mide actualmente por el grado de automatización de los procesos industriales donde los robots han entrado a jugar un papel cada vez más importante. Su presencia se evidencia desde los robots tipo mascota hasta las versiones más sofisticadas que se utilizan en la exploración planetaria, siendo los robots industriales la aplicación que ha alcanzado el más alto grado de estandarización por ser uno de los robots más versátiles y de aplicación más extendida en la automatización industrial.

El diverso uso que se les puede dar a los robots en la industria los hace una alternativa positiva para esta, debido a su capacidad de operar las veinticuatro horas del día sin bajar su rendimiento realizando tareas repetitivas, sin necesidad de realizar control de calidad a cada elemento de la línea de producción. Tal es el caso de la industria automotriz donde son utilizados en el ensamble de los vehículos y en el proceso de aplicación de soldadura y pintura; igualmente en una fábrica de carrocerías para autobuses se utilizan para el doblado de lámina y soldadura de punto sobre las mismas. Los robots también son usados en celdas de manufactura con control numérico computarizado, en maquinado y ensamble de piezas, en llenado de sacos de café y yeso la cual es una tarea de alto riesgo para los seres humanos por la contaminación que se puede presentar en el ambiente de trabajo.

El grupo CEMOS ha venido trabajando en el desarrollo de prototipos de robots cuya complejidad se ha ido incrementando con la experiencia ganada. En la actualidad se esta desarrollando el primer prototipo de robot industrial que involucra un proyecto de maestría y

varios proyectos de pregrado de ingeniería, dentro de los cuales se incluye el presente proyecto que tiene por objeto la elaboración y montaje de los componentes mecánicos, la selección y adaptación del sistema de accionamiento con su correspondiente sistema de alimentación eléctrica, así como el diseño e implementación de una tarjeta de control con la cual se busca posicionar cada articulación del robot tipo PUMA.

Otro aspecto a resaltar, es el hecho de poder aportar en el campo de desarrollo de la robótica, no solo en la universidad como ente creador de propuestas para el mejoramiento de la calidad de vida de los colombianos, sino en la industria, ya que con este prototipo nos estamos alejando de los robots meramente didácticos acercándonos a la vez a los robots para aplicaciones industriales, tomando en cuenta las mejoras económicas inherentes.

En el presente informe se abordan los siguientes ítems: en el capítulo 1 se presentan los conceptos fundamentales de robótica, tales como definición de un robot, los tipos de configuraciones, volumen de trabajo, cinemática directa e inversa y la representación de Denavit-Hartenberg.

El capítulo 2 se incluye información acerca del microcontrolador MC68HC908GP32 de la familia motorola, con el objetivo de presentar su arquitectura interna y determinados parámetros para configurar algunos de sus módulos a utilizar en el presente proyecto. La tarjeta de control está basada en este microcontrolador.

La estructura mecánica se aborda en el capítulo 3, donde se presenta una descripción detallada de las partes mecánicas que conforman el robot, como brazo, antebrazo, muñeca y pinza.

Los actuadores, generadores del movimiento del robot y la estrategia de control utilizada para cada uno de ellos se presentan en el capítulo 4. El robot basado en el modelo tipo PUMA de seis grados de libertad es accionado por medio de motores de corriente continua (D.C.) para su posicionamiento, servomotores para la orientación del efector final y el émbolo interno de la pinza para su apertura o cierre.

El capítulo 5 trata acerca del establecimiento de la comunicación serial bidireccional entre el PC y el microcontrolador, donde los datos son transmitidos y recepcionados a una velocidad de 9600 baudios con niveles RS232.

El software de control del brazo robot se presenta en el capítulo 6. En él se realiza una descripción de las rutinas de control utilizadas.

Finalmente en los anexos se presentan los planos de las componentes mecánicas del manipulador, un manual de usuario para la interfaz gráfica y algunas hojas de datos de los componentes electrónicos utilizados en el desarrollo de este proyecto.



Los actuadores son los elementos encargados de proporcionar el movimiento al sistema robot. Dependiendo de las necesidades de potencia requeridas para el manipulador, los actuadores pueden ser de tipo hidráulico, neumático o de tipo eléctrico.

Los sensores son como los sentidos del robot, encargados de la interacción del sistema robot con el medio, entregando información de la cinemática del sistema mecánico (posición, velocidad), de la dinámica (fuerzas generadas y aplicadas) y del estado del espacio de trabajo que puede o no ser cambiante. Se distinguen sensores de tipo óptico, electrónico, mecánico y electromecánico entre otros.

El sistema de control se encarga de hacer que el robot realice las tareas para las cuales fue diseñado, activando los actuadores y tomando en cuenta las señales recibidas del entorno por medio de los sensores. Es de gran importancia ya que de él depende que el sistema robot ejecute de forma eficiente y segura la tarea para la cual fue diseñado.

## **1.2 CLASIFICACIÓN GENERAL**

Dependiendo del tipo de control, existen sistemas robot teleoperados, de funcionamiento repetitivo y autónomos o inteligentes<sup>1</sup>. En el robot teleoperado el lazo de realimentación es realizado por un operario que analiza la información recibida del entorno por medio de cámaras, sensores de presión, fuerza, etc.

Los robots de funcionamiento repetitivo tienen su mayor aplicación en las cadenas de producción industrial realizando tareas predecibles y que requieren de poca flexibilidad y alta repetibilidad; el lazo de

---

<sup>1</sup> OLLERO BATURONE, Aníbal. Robótica: Manipuladores y robots móviles. Barcelona : Marcombo, 2001, p.11.

realimentación es realizado por sensores que no requieren mayor complejidad debido a que el ambiente de trabajo es poco o nada cambiante.

Los robots autónomos se caracterizan por el alto volumen de procesamiento de información necesario para actuar con una mínima intervención humana dentro de ambientes dinámicos para lo cual es necesario implementar sistemas de sensado de gran complejidad como por ejemplo cámaras de video o sistemas de ultrasonido. Para el diseño de este tipo de robot es necesario lograr un compromiso entre la flexibilidad y la eficiencia.

Otra clasificación divide los robots en móviles y manipuladores. Se puede decir que los robots móviles se crearon con el fin de ampliar el volumen de trabajo de un manipulador. Los tipos de locomoción más utilizados son<sup>2</sup>:

- Vehículos con ruedas:
  - Configuración Ackerman.
  - Triciclo clásico.
  - Dirección diferencial.
  - Skid Steer
  - Pistas de deslizamiento
  - Ruedas síncronas
- Locomoción con patas
- Configuraciones articuladas
- Robots submarinos y aéreos.

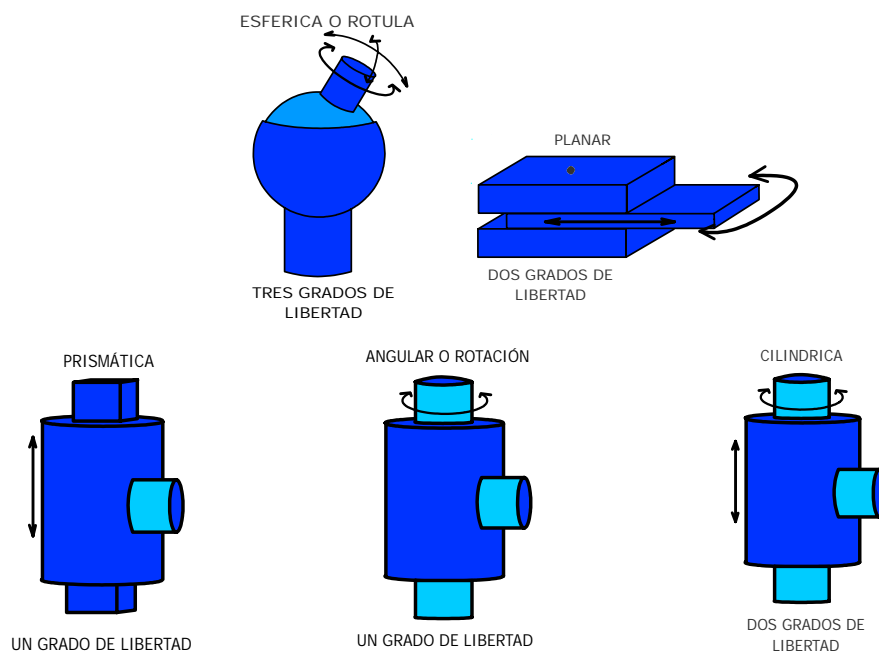
---

<sup>2</sup> OLLERO BATURONE, Op. cit., p.28.

### 1.3 DEFINICIÓN MANIPULADOR

La Asociación Francesa de Normalización (AFNOR), define manipulador como “un mecanismo formado generalmente por elementos en serie, articulados entre sí, destinado al agarre y desplazamiento de objetos”. Es multifuncional y puede ser gobernado directamente por un operador humano o mediante un dispositivo lógico, es decir, un manipulador es una cadena cinemática abierta formada por eslabones unidos mediante articulaciones que permiten a los eslabones moverse de cierta forma dependiendo del tipo de articulación. En la Figura 2 se muestran los distintos tipos de articulación para robots.

Figura 2. Tipos de Articulaciones



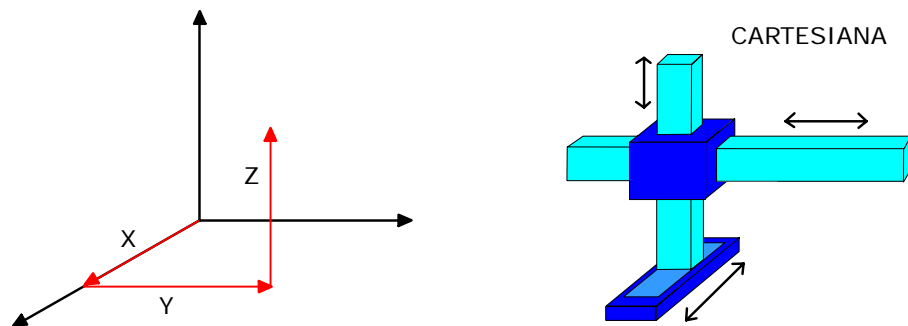
**1.3.1 Configuraciones.** Las configuraciones más comunes de los manipuladores industriales son:

- Configuración Cartesiana
- Configuración Cilíndrica

- Configuración Polar
- Configuración Angular
- Otras
  - Scara

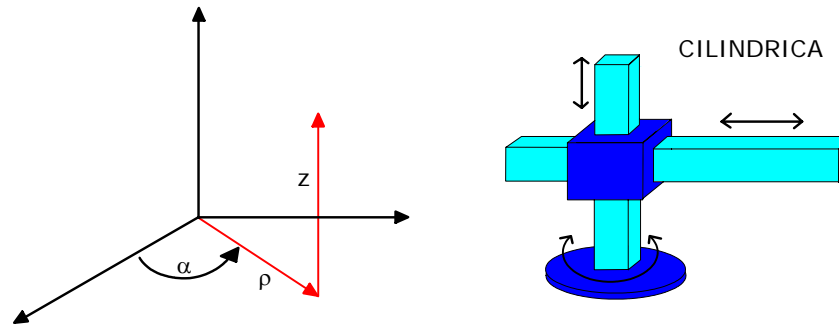
**1.3.1.1 Configuración Cartesiana.** Está conformado por tres articulaciones prismáticas que le dan tres grados de libertad, la ubicación se realiza mediante coordenadas cartesianas (x, y, z) y tiene un volumen de trabajo de  $L^3$  suponiendo que cada eslabón tenga una longitud de L. Es una de las configuraciones más usadas en la industria.

Figura 3. Configuración Cartesiana.



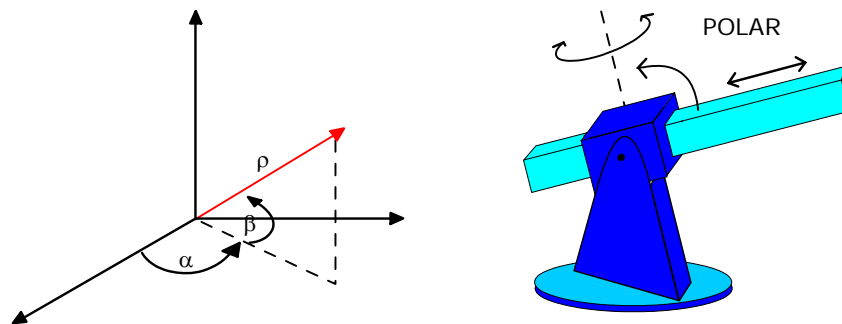
**1.3.1.2 Configuración Cilíndrica.** Posee una articulación de rotación (generalmente la primera) y dos prismáticas, la ubicación se realiza normalmente en coordenadas cilíndricas y suponiendo que la articulación de rotación puede hacerlo  $360^\circ$  y que las prismáticas tienen una longitud L se logrará un volumen de trabajo de  $3\pi L^3$ . Se usa en células de trabajo en las que el manipulador se encuentra en el centro de un círculo imaginario sobre el cual se encuentran ubicadas diversas máquinas.

Figura 4. Configuración Cilíndrica



**1.3.1.3 Configuración Polar.** Se caracteriza por tener dos articulaciones de rotación y una prismática, para expresar la ubicación del tercer eslabón se utilizan las coordenadas polares; tiene un volumen de trabajo de  $(28/3)\pi L^3$  considerando un ángulo de giro de  $360^\circ$  y un rango de desplazamiento de  $L$ .

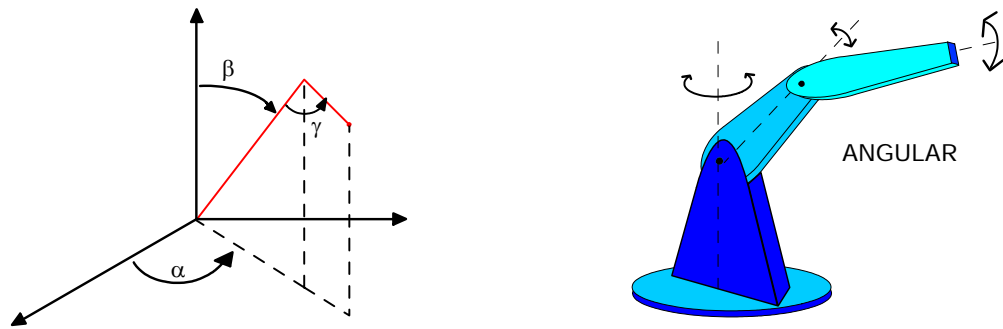
Figura 5. Configuración Polar.



**1.3.1.4 Configuración Angular.** Está conformado por tres articulaciones de rotación, el volumen de trabajo es de  $(32/3)\pi L^3$ , siempre que el ángulo de giro sea de  $360^\circ$  y la longitud de los eslabones sea de  $L$ . Este tipo de manipulador requiere grados de libertad adicionales para ubicar correctamente el efector final, los cuales se dan con la adición de una muñeca. La muñeca es otra cadena cinemática constituida por tres articulaciones de rotación que garantizan la orientación del actuador final y que complete los grados de libertad necesarios para obtener cualquier orientación en el

espacio. Es muy utilizado en tareas de manipulación que requieran cierta complejidad tales como tareas educativas, de investigación y desarrollo.

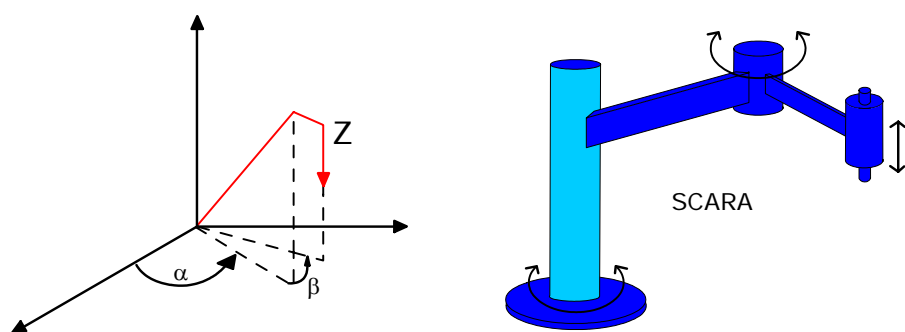
Figura 6. Configuración Angular.



### 1.3.1.5 Otras.

- o **Scara.** Posee dos articulaciones de rotación sobre dos ejes paralelos y una de desplazamiento. Tiene un volumen de trabajo de  $4\pi L^3$ . Su uso específico es el montaje de piezas sobre un plano.

Figura 7. Configuración Scara



## 1.4 VOLUMEN DE TRABAJO

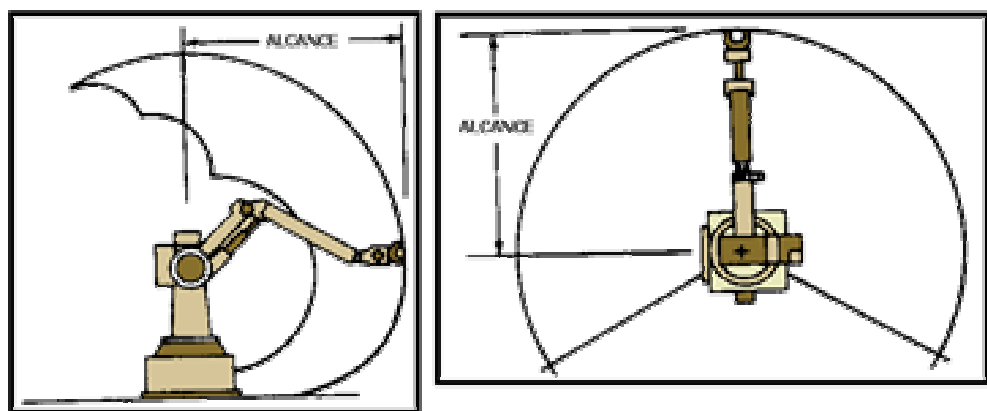
Para encontrar el volumen de trabajo o campo de acción de un robot, es importante tener en cuenta el tamaño, forma y tipo de los eslabones que lo integran y al mismo tiempo conocer su limitante en posición angular y la distancia de cada articulación, figura 8.

Dentro del cálculo del área de trabajo no se tiene en cuenta el efector final; solo se llega hasta la muñeca, ya que si se tiene en cuenta, cada vez que se realice un cambio de éste, se deberá hacer nuevamente el cálculo del volumen de trabajo.

## 1.5 REPETIBILIDAD

Es la capacidad que tiene el robot de regresar a un mismo punto, bajo igualdad de condiciones (carga, temperatura, etc.). Esta repetibilidad se ve afectada debido a problemas mecánicos de transmisión como rozamiento, histéresis, etc.

Figura 8. Volumen de trabajo de un manipulador.



REHG JAMES A. "Introduction to robotics in CIM Systems".

## **1.6 EXACTITUD**

La exactitud viene dada por la distancia entre la posición del punto deseado y la posición final a la cual ha llegado el efector. La imprecisión se debe a errores en la calibración del robot, a deformaciones térmicas en las piezas y a errores de control.

## **1.7 RESOLUCIÓN**

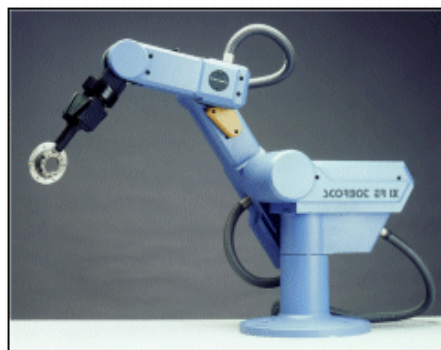
Es la variación mínima entre el punto deseado con respecto al área circundante donde está ubicado el punto real. Se determina por los bits de resolución en los sensores de posición, en actuadores y en los conversores A/D y D/A.

## **1.8 ROBOT TIPO PUMA**

En el año de 1.978 se da a conocer una clase muy importante de robot para aplicaciones industriales: el robot tipo PUMA (Programmable Universal Machine for Assembly).

Este manipulador corresponde a la configuración angular y puede ser de 5 o más grados de libertad. Normalmente se usan de 5 o 6 grados de libertad.

Figura 9. Robot PUMA.



Algunas de sus aplicaciones son:

- Carga y descarga de máquinas
- Paletizado y transporte
- Embalado
- Mecanizado (Taladrado, pulido, desbarbado....)
- Pintura
- Soldadura (Por puntos, continua)
- Sellado y encolado

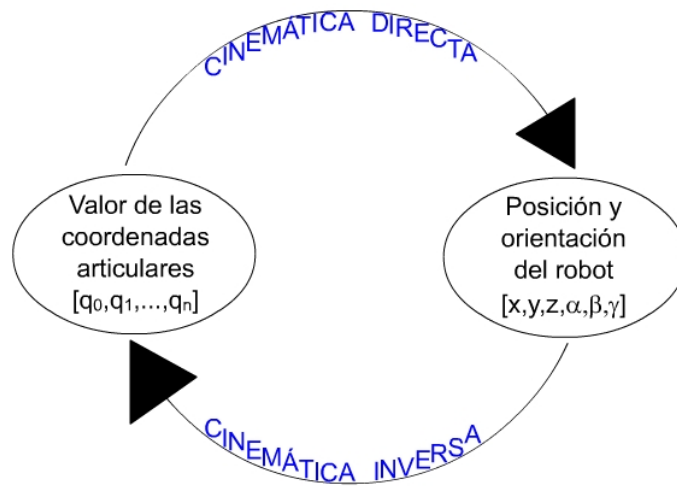
## **1.9 CINEMÁTICA DEL ROBOT**

**1.9.1 Cinemática directa e inversa.** La cinemática estudia el movimiento del robot respecto de un sistema de referencia, en función del tiempo. Analizando principalmente la ubicación y orientación del efector final con respecto al origen de coordenadas de la base. También se encarga de analizar las velocidades del efector final con respecto a la de las articulaciones.

El problema cinemático se divide en cinemático directo e inverso. El primero se encarga de averiguar la ubicación y orientación del efector final conociendo los valores de las articulaciones (distancias o ángulos) y los parámetros geométricos de los eslabones que conforman el manipulador.

El problema cinemático inverso se encarga de averiguar los valores de las articulaciones necesarios para lograr una posición y orientación del efector final.

Figura 10. Diagrama de relación entre cinemática directa e inversa.



Como el principal problema sigue siendo conocer la posición y orientación del efector con respecto a la base, se puede decir que el problema se reduce a encontrar la matriz de transformación homogénea que relacione el sistema de coordenadas de la base con el sistema de coordenadas solidario con el efector y que estará en función de las coordenadas articulares.

Dado que la cinemática del robot va a depender de los parámetros físicos del mismo, las matrices de transformación homogénea también. En robots de pocos grados de libertad un análisis geométrico simple será suficiente para hallar estas matrices, pero para robots con más grados de libertad se hace indispensable utilizar el método Denavit-Hartenberg, que asegura que escogiendo adecuadamente los sistemas coordenados asociados a cada eslabón, "será posible pasar de uno al siguiente mediante cuatro

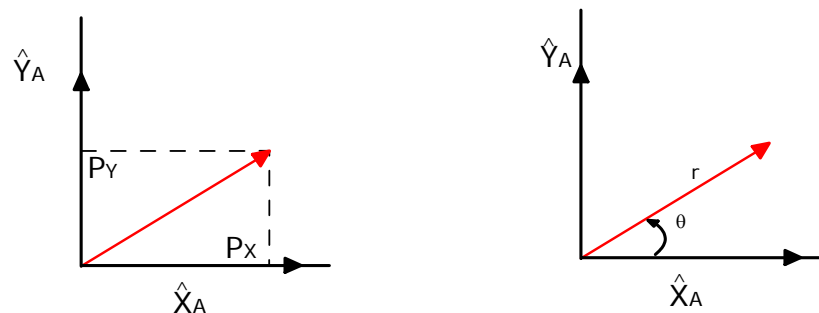
transformaciones básicas que dependen exclusivamente de las características geométricas del eslabón”<sup>3</sup>.

### 1.9.2 Representación de la posición y orientación de objetos.

El principal aspecto de interés es conocer la posición y orientación del efector final de cualquiera de las configuraciones de manipuladores descritas anteriormente, se hablara brevemente de como se acostumbra a representar estos dos parámetros de forma sencilla y suficiente.

Cuando se habla de la localización de un objeto en dos dimensiones será necesario conocer dos componentes vectoriales del punto en el que se encuentra el objeto de interés. Estas componentes vectoriales dependen del tipo de coordenadas empleadas (cartesianas o polares, figura 11) sin ser excluyentes ya que es posible desde un sistema coordinado hallar las componentes vectoriales en el otro y viceversa.

Figura 11. Sistemas de coordenadas planares.

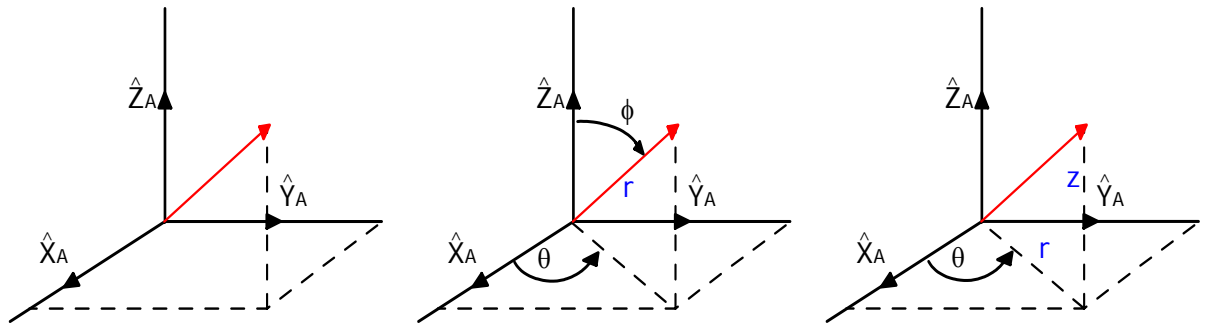


Cuando se trata de la localización de un punto en el espacio el análisis es el mismo, complicando un poco las expresiones con la adición de la otra dimensión. Para la representación de la localización de un punto o un objeto se necesita tres componentes vectoriales que varían según el sistema de coordenadas (cartesiano, cilíndrico o

<sup>3</sup> BARRIENTOS, Antonio et al. "Fundamentos de robótica". Madrid : McGraw-Hill. P.96

esférico), con los respectivos métodos de transformación de un sistema a otro.

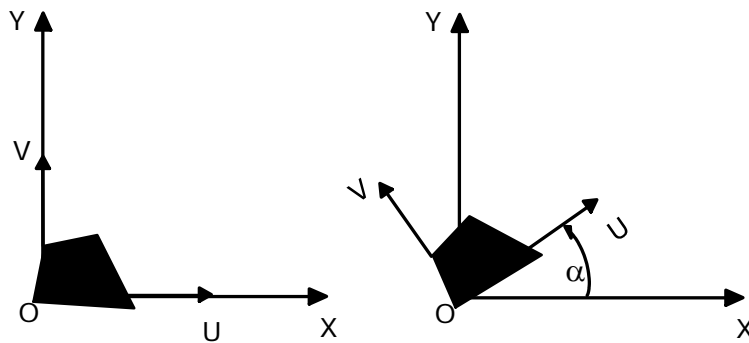
Figura 12. Sistemas de coordenadas espaciales.



Como se mencionó anteriormente la ubicación de un punto (puede ser el origen de otro sistema de coordenadas), ya sea en el plano o en el espacio se hace completamente con las coordenadas del mismo. Cuando nos referimos a sólidos se hace necesario conocer también su orientación respecto a un sistema de referencia. Esta orientación se define asignando un sistema coordenado al sólido y analizando los vectores unitarios del mismo respecto al sistema de referencia base. Supóngase que se tiene el sistema de coordenadas base OXYZ y un sistema coordenado OUVW solidario a un sólido<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> BARRIENTOS, Op. cit., p.52

Figura 13. Orientación de un sistema OUV respecto a otro OXY en un plano.



BARRIENTOS Antonio et al. "Fundamentos de robótica".

Sabiendo además que los vectores que representan un punto en el espacio son:

$$p_{uvw} = [p_u, p_v, p_w]T = p_u i_u + p_v j_v + p_w k_w \quad (\text{OUVW})$$

$$p_{xyz} = [p_x, p_y, p_z]T = p_x i_x + p_y j_y + p_z k_z \quad (\text{OXYZ})$$

se puede decir que si el objeto rota, los vectores directores solidarios a el quedan representados respecto al sistema de coordenadas base como:

$$\begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} p_u \\ p_v \\ p_w \end{bmatrix}$$

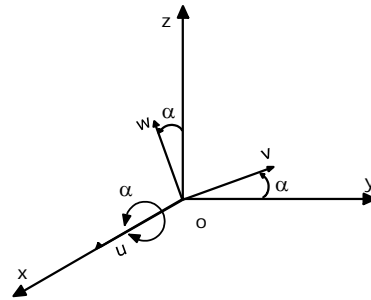
donde R es la matriz de rotación:

$$R = \begin{bmatrix} i_x i_u & i_x j_v & i_x k_w \\ j_y i_u & j_y j_v & j_y k_w \\ k_z i_u & k_z j_v & k_z k_w \end{bmatrix}$$

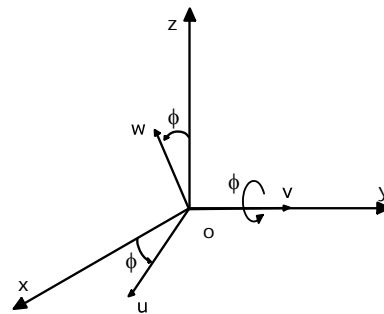
Esta matriz, dependiendo de cual sea el eje respecto del cuál se rota puede tomar los valores que se muestran en la figura 14.

Figura 14. Sistema OUVW rotado con respecto a los ejes OX, OY, OZ con su respectiva representación matricial

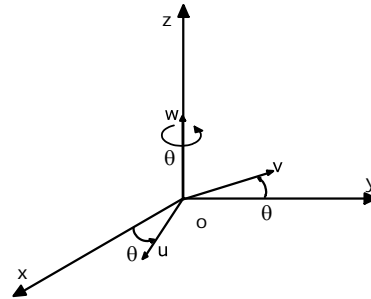
$$R(x, \alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\operatorname{sen} \alpha \\ 0 & \operatorname{sen} \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$$



$$R(y, \phi) = \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & -\operatorname{sen} \phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\operatorname{sen} \phi & 0 & \cos \phi \end{bmatrix}$$



$$R(z, \theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\operatorname{sen} \theta & 0 \\ \operatorname{sen} \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



Para realizar rotaciones respecto de todos los ejes simplemente se tiene que multiplicar las matrices de rotación básicas, teniendo en cuenta que el producto de matrices no es conmutativo, lo que implica que el orden en que se haga la rotación es muy importante.

Si se desea representar la traslación y rotación simultáneamente de un objeto, es necesario usar sistemas de coordenadas homogéneas. Los sistemas de coordenadas homogéneas se usan para representar la localización de sólidos en un espacio n-dimensional usando n+1 dimensiones. Así un vector  $p(x,y,z)$  se representará por  $p(wx,wy,wz,w)$  en coordenadas homogéneas, donde w es un factor de escala arbitrario. Usando este sistema coordenado se integran la matriz de rotación, el vector de traslación, el vector de perspectiva y un factor de escala global en una matriz de transformación homogénea.

Una matriz de transformación homogénea tiene dimensión 4X4, y representa la transformación de un vector de coordenadas homogéneas de un sistema de coordenadas a otro<sup>5</sup>.

$$T = \begin{bmatrix} R_{3 \times 3} & P_{3 \times 1} \\ f_{1 \times 3} & W_{1 \times 1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Rotación} & \text{Traslación} \\ \text{Perspectiva} & \text{Escalado} \end{bmatrix}$$

Dado que en robótica interesan más la rotación y la traslación, la matriz de transformación homogénea quedará:

$$T = \begin{bmatrix} R_{3 \times 3} & P_{3 \times 1} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Rotación} & \text{Traslación} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Estas matrices se usan para:

1. Representar la posición y orientación de un sistema girado y trasladado O'UVW con respecto a un sistema fijo de referencia OXYZ que es lo mismo que representar una

---

<sup>5</sup> BARRIENTOS, Op. cit., p.62

rotación y traslación realizada sobre un sistema de referencia.

2. Transformar un vector expresado en coordenadas con respecto a un sistema  $O'UVW$ , a su expresión en coordenadas del sistema de referencia  $OUVW$ .
3. Rotar y trasladar un vector con respecto a un sistema de referencia fijo  $OXYZ$ <sup>6</sup>.

### 1.9.3 Representación De Denavit-Hartenberg

El método de Denavit-Hartenberg es ampliamente descrito en BARRIENTOS, OLLERO, FU por lo que aquí solo se presentarán los pasos necesarios para su implementación.

Los parámetros de D-H dependen de la geometría de los eslabones:

$\theta_i$ : Es el ángulo de la articulación del eje  $\mathbf{X}_{i-1}$  al eje  $\mathbf{X}_i$  respecto del eje  $\mathbf{Z}_{i-1}$  (utilizando la regla de la mano derecha).

$d_i$ : Es la distancia desde el origen del sistema de coordenadas (i-1)-ésimo hasta la intersección del eje  $\mathbf{Z}_{i-1}$  con el eje  $\mathbf{X}_i$  a lo largo del eje  $\mathbf{Z}_{i-1}$ .

$a_i$ : Es la distancia de separación desde la intersección del eje  $\mathbf{Z}_{i-1}$  con el eje  $\mathbf{X}_i$  hasta el origen del sistema i-ésimo a lo largo del eje  $\mathbf{X}_i$  (o la distancia más corta entre los ejes  $\mathbf{Z}_{i-1}$  y  $\mathbf{Z}_i$ ).

$\alpha_i$ : Es el ángulo de separación del eje  $\mathbf{Z}_{i-1}$  al eje  $\mathbf{Z}_i$  respecto del eje  $\mathbf{X}_i$  (utilizando la regla de la mano derecha).

Alternativamente es posible visualizar estos parámetros como si se realizara una rotación, dos traslaciones y luego otra rotación con el

---

<sup>6</sup> BARRIENTOS, Antonio et al. "Fundamentos de robótica". Madrid. McGraw-Hill. P.64

fin de hacer coincidir el sistema coordenado de la articulación  $i$ -ésima con el de la articulación  $(i-1)$ -ésima.

A continuación se muestra un algoritmo para establecer un sistema de coordenadas ortonormal *consistente* para un robot:

Dado un robot con  $n$  grados de libertad, este algoritmo asigna a cada elemento del brazo un sistema de coordenadas ortonormal. El etiquetado del sistema de coordenadas comienza desde la base soporte hasta el efector final del brazo. Las relaciones entre los elementos adyacentes se pueden representar mediante una matriz de transformación homogénea  $4 \times 4$ . Esta asignación es importante porque ayuda al desarrollo de un procedimiento consistente para derivar la solución de la articulación.

- D1. *Establecer el sistema de coordenadas de la base.*  
Establecer un sistema de coordenadas ortonormal dextrógiro  $(\mathbf{x}_0, \mathbf{y}_0, \mathbf{z}_0)$ , en la base soporte con el eje  $\mathbf{z}_0$  estando a lo largo del eje de movimiento de la articulación 1 y apuntando hacia fuera del hombro del brazo del robot. Los ejes  $\mathbf{x}_0$  e  $\mathbf{y}_0$  se pueden establecer convenientemente y son normales al eje  $\mathbf{z}_0$ .
- D2. *Inicializar y repetir.* Para  $i, i=1, \dots, n-1$ , realizar los pasos D3 a D6.
- D3. *Establecer los ejes de la articulación.* Alinear el  $\mathbf{z}_i$  con el eje de movimiento (giratorio o deslizante) de la articulación  $i+1$ . Para robots que tengan configuraciones de brazo levógiros, los ejes  $\mathbf{z}_1$  y  $\mathbf{z}_2$  están apuntando hacia fuera del hombro y el "tronco" del brazo del robot.
- D4. *Establecer el origen del sistema de coordenadas  $i$ -ésimo.* Localizar el origen del sistema de coordenadas  $i$ -ésimo en la intersección de los ejes  $\mathbf{z}_i$  y  $\mathbf{z}_{i-1}$  o en la intersección de las normales comunes entre los ejes  $\mathbf{z}_i$  y  $\mathbf{z}_{i-1}$  y el eje  $\mathbf{z}_i$ .
- D5. *Establecer el eje  $\mathbf{x}_i$ .* Establecer  $\mathbf{x}_i$  como el vector unitario en dirección  $\pm(\mathbf{z}_{i-1} \times \mathbf{z}_i)$  o a lo largo de la normal común entre los ejes  $\mathbf{z}_{i-1}$  y  $\mathbf{z}_i$ . Cuando son paralelos

- D6. *Establecer el eje  $Y_i$ . Establecer  $Y_i$  como el vector unitario en dirección  $+(Z_i \times X_i)$  para completar el sistema de coordenadas dextrógiro.*
- D7. *Establecer el sistema de coordenadas de la mano. Normalmente la articulación n-ésima es de tipo giratorio. Establecer  $Z_n$  a lo largo de la dirección del eje  $Z_{n-1}$  y apuntando hacia fuera del robot. Establecer  $X_n$  tal que sea normal a ambos ejes  $Z_{n-1}$  y  $Z_n$ . Asignar  $Y_n$  para completar el sistema de coordenadas dextrógiro.*
- D8. *Encontrar los parámetros de la articulación y del elemento. Para  $i, i = 1, \dots, n$ , realizar los pasos D9 a D12.*
- D9. *Encontrar  $d_i$ : Es la distancia desde el origen del sistema de coordenadas (i-1)-ésimo a la intersección del eje  $Z_{i-1}$  con el eje  $X_i$  a lo largo del eje  $Z_{i-1}$ . Es la variable de la articulación si  $i$  es prismática.*
- D10. *Encontrar  $a_i$ : Es la distancia de la intersección del eje  $Z_{i-1}$  con el eje  $X_i$  hasta el origen del sistema i-ésimo a lo largo del eje  $X_i$ .*
- D11. *Encontrar  $\theta_i$ : Es el ángulo de rotación desde el eje  $X_{i-1}$  hasta el eje  $X_i$  respecto del eje  $Z_{i-1}$ . Es la variable de articulación si  $i$  es giratoria.*
- D12. *Encontrar  $\alpha_i$ : Es el ángulo de rotación desde el eje  $Z_{i-1}$  hasta el eje  $Z_i$  respecto del eje  $X_i$  ".<sup>7</sup>*

---

<sup>7</sup> SIERRA BUENO, Daniel. Planeación de trayectorias de un robot en una celda de manufactura. Bucaramanga. 2001. p. 18. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander.

## 2. MICROCONTROLADOR MC68HC908GP32

### 2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

El microcontrolador MC68HC908GP32 de 8 bits pertenece a la familia Motorola, siendo éste, el HC08, una evolución en el modelo CPU de la familia HC05. Es un microcontrolador de bajo costo, alto rendimiento, con variedad de módulos, tipos y tamaños de memoria, los cuales son aprovechados por la CPU.

Entre las características más importantes podemos encontrar un alto rendimiento en la arquitectura optimizado para compilar en lenguaje C.

El código objeto es totalmente compatible entre las familias HC05 y HC08. Solamente algunos modos de direccionamiento son diferentes y afectan un pequeño porcentaje del código, pero las operaciones, los estados de máquina, los algoritmos de control de flujo y las matemáticas son transparentes para el código. Otra diferencia que cabe anotar es la rapidez con la cual el HC08 puede ejecutar el código, ya que éste lo ejecuta hasta 5 veces más rápido que el HC05, lo que conlleva a una actualización del tiempo de bucle implementado en el software del HC05.

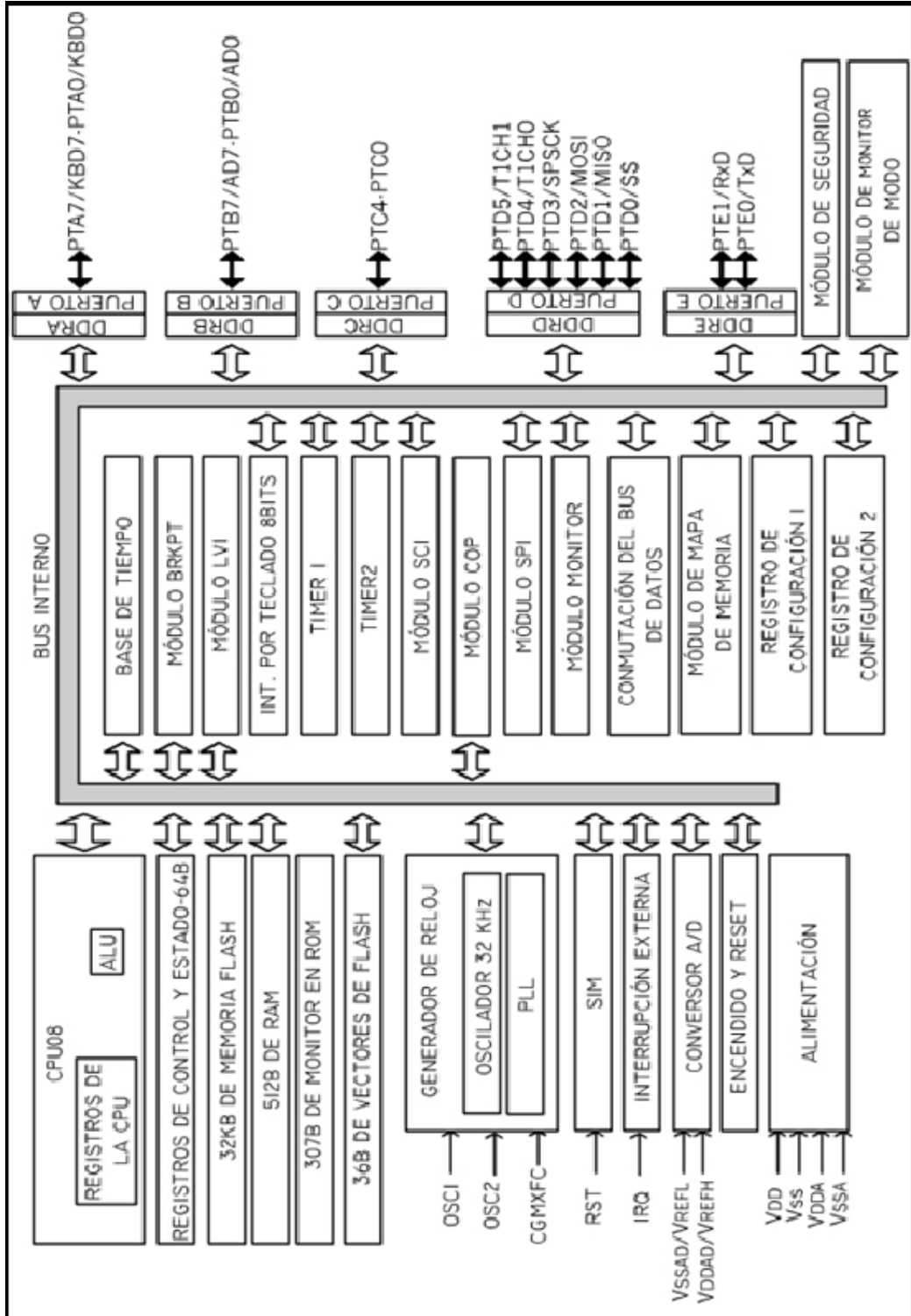
**2.1.1 Características.** Entre sus características más importantes tenemos:

- 32 Kbytes de memoria Flash con capacidad de programación de esta memoria dentro del circuito.
- Frecuencia de bus interno de 8 MHz. 512 bytes de memoria RAM (random-access memory).

- Modos de bajo consumo de potencia WAIT y STOP.
- Módulo de interfaz de comunicación serial (SCI).
- Modulo de interfaz del temporizador (TIM), de 1 canal (TIM1) con opción de seleccionar funciones de captura de entrada, comparación de salida y generación de modulación por ancho de pulso (PWM) en el canal.
- Conversor análogo - digital (ADC) interno de 8bits, de 8 canales análogos, usando el método de aproximaciones sucesivas.
- 29 pines de entradas/salidas de propósito general.
- Modulo de generación de reloj para un oscilador externo o para un PLL basado en un cristal de 32 kHz.
- 5 mA de Corriente máxima de entrada en cada uno de los pines de los puertos como protección de entrada.
- Permite programación en lenguaje C.

**2.1.2 Estructura interna.** La figura 15, muestra el diagrama de bloques funcionales del MC68HC908GP32.

Figura 15. Estructura interna y diagrama de bloques funcionales del microcontrolador MC68HC908GP32. (Adaptado de M68HC08 microcontrollers Technical Data. Motorola, 2002.)



**2.1.3 Descripción de pines.** El esquema general de los pines del MC68HC908GP32 se muestra en la figura 16.

Figura 16. Descripción de pines. (Adaptado de M68HC08 microcontrollers Technical Data. Motorola, 2002.)

1	V <sub>DDA</sub> (PLL)	PTA7/ $\overline{\text{KBD7}}$	40
2	V <sub>SSA</sub> (PLL)	PTA6/ $\overline{\text{KBD6}}$	39
3	CGMXFC (PLL)	PTA5/ $\overline{\text{KBD5}}$	38
4	OSC2	PTA4/ $\overline{\text{KBD4}}$	37
5	OSC1	PTA3/ $\overline{\text{KBD3}}$	36
6	$\overline{\text{RST}}$	PTA2/ $\overline{\text{KBD2}}$	35
7	PTC0	PTA1/ $\overline{\text{KBD1}}$	34
8	PTC1	PTA0/ $\overline{\text{KBD0}}$	33
9	PTC2	V <sub>SSAD</sub> / V <sub>REFL</sub> (ADC)	32
10	PTC3	V <sub>DDAD</sub> / V <sub>REFH</sub> (ADC)	31
11	PTC4	PTB7/ AD7	30
12	PTE0/ TxD	PTB6/ AD6	29
13	PTE1/ RxD	PTB5/ AD5	28
14	$\overline{\text{IRQ}}$	PTB4/ AD4	27
15	PTD0/ $\overline{\text{SS}}$	PTB3/ AD3	26
16	PTD1/ MISO	PTB2/ AD2	25
17	PTD2/ MOSI	PTB1/ AD1	24
18	PTD3/ SPCK	PTB0/ AD0	23
19	V <sub>ss</sub>	PTD5/ T1CH1	22
20	V <sub>DD</sub>	PTD4/ T1CH0	21

A continuación se hace una breve descripción de los pines más importantes:

***Pines de fuente de alimentación (V<sub>DD</sub> y V<sub>SS</sub>):*** La operación del microcontrolador se realiza con alimentación sencilla, donde V<sub>DD</sub> va desde +2.5V hasta +5.5V y V<sub>SS</sub> es conectado a tierra.

***Pines de Oscilador (OSC1 y OSC2):*** En estos pines se realiza la conexión del circuito generador de reloj.

***Reset (RST):*** Es usado para inicializar el microcontrolador cuando se encuentra en un cero lógico.

***Pin de filtro de capacitor externo (CGMXFC):*** En este pin se conecta un filtro de capacitor externo para el módulo generador de reloj.

***Pines de referencia y alimentación para el ADC ( $V_{DDAD}/V_{REFH}$  y  $V_{SSAD}/V_{REFL}$ ):***  $V_{DDAD}$  se debe conectar al mismo potencial de voltaje que el pin  $V_{DD}$  y  $V_{SSAD}$  al mismo potencial de voltaje de  $V_{SS}$ . Los voltajes de referencia alto y bajo del ADC,  $V_{REFH}$  y  $V_{REFL}$  respectivamente, están conectados internamente con  $V_{DDAD}$  y  $V_{SSAD}$ .

***Puertos de entrada/salida:*** El MC68HC908GP32 cuenta con 5 puertos, 29 pines bidireccionales que pueden ser configurados como entrada o salida. A los puertos A, D, C se les puede conectar a sus pines una resistencia pull-up configurable por software cuando estén habilitados como bits de entrada; si están como bits de salida la resistencia se deshabilitará automáticamente.

***Puerto A (PTA7–PTA0):*** Está conformado por ocho pines, compartidos con el modulo de interrupciones de teclado (KBI).

***Puerto B (PTB7–PTB0):*** Está conformado por ocho pines, compartidos con el Conversor Analógico- Digital (ADC).

***AD7-AD0:*** Son pines usados para los canales de entrada del ADC. La selección del canal se hace mediante la configuración del ADC status y registro de control, donde también se define cual pin del puerto B será utilizado para la conversión.

**Puerto C (PTC6–PTC0):** Está conformado por siete pines, bidireccionales de propósito general.

**Puerto D (PTD7–PTD0):** Está conformado por ocho pines, compartiendo cuatro de ellos con el modulo de interfaz serie con periféricos (SPI) y los otros cuatro con el módulo de interfaz del temporizador (TIM).

**T1CH1–T1CH0:** Los pines PTD5/T1CH1 – PTD4/T1CH0 definen el temporizador 1 (TIM1) donde se encuentran los pines correspondientes a la captura de entrada o comparación de salida respectivamente. El bit de selección de flanco ELSxB y ELSxA determina si los pines del TIM1 son canales de entrada al temporizador o pines de E/S de propósito general.

**Puerto E (PTE1–PTE0):** Está conformado por dos pines compartidos con el módulo de interfaz de comunicación serie (SCI).

**RxD:** El pin PTE1/RxD define la recepción de datos del módulo SCI.

**TxD:** El pin PTE0/TxD define la transmisión de datos del módulo SCI.

## **2.2 MAPA DE MEMORIA**

La figura 17 muestra el mapa de memoria del MC68HC908GP32. Este mapa de memoria empieza con los registros de los periféricos con 64 bytes. Seguido esta el espacio para la RAM. La ROM o FLASH ocupa la parte superior de la memoria que precede a \$FE00, donde están los vectores, el programa monitor y los registros de control. Entre la RAM y la ROM/FLASH existen unos espacios de memoria no utilizable por el usuario los cuales realizan la verificación de las direcciones de memoria ilegales.

En todas las MCU de la familia MC68HC08, se utiliza este modelo de mapa de memoria, aunque algunas de ellas tienen una dirección de

inicio y final para las áreas específicas del monitor ROM o los registros de control.

Figura 17. Mapa de memoria

\$0000	Registros de E/S 64 Bytes
\$003F	
\$0040	RAM 512 Bytes
\$023F	
\$0240	No implementada 32192 Bytes
\$7FFF	
\$8000	Memoria FLASH 32256 Bytes
\$FDFF	
\$FE00	Registro de estado de Break del módulo integrado de sistema (SIM)
\$FE01	Registro de estado de reset del SIM
\$FE02	Reservado
\$FE03	Registro de control del SIM
\$FE04	Registro 1 de estado de interrupción
\$FE05	Registro 2 de estado de interrupción
\$FE06	Registro 3 de estado de interrupción
\$FE07	Reservado
\$FE08	Registro de control de la FLASH
\$FE09	Dirección alta del registro de break
\$FE0A	Dirección baja del registro de break
\$FE0B	Registro de control y estado de break
\$FE0C	Registro de estado del LVI
\$FE0D	No implementada 19 bytes
\$FE1F	
\$FE20	Monitor en rom 307 bytes
\$FF52	
\$FF53	No implementada 43 bytes
\$FF7D	
\$FF7E	Registro de protección de FLASH
\$FF7F	Implementado 93 bytes
\$FFDB	
\$FFDC	Vectores de FLASH 36 bytes
\$FFFF	

## **2.3 PUERTOS DE ENTRADA Y SALIDA**

Como se mencionó anteriormente el MC68HC908GP32 cuenta con 5 puertos bidireccionales, que pueden ser configurados como entrada o salida dependiendo de la configuración en la dirección de registro (DDRx). Por lo tanto para configurar cada pin del puerto PTx como entrada se pone un cero lógico en el DDRx correspondiente, de igual forma para que este pin sea una salida se necesita colocar un uno lógico en su respectivo DDRx.

## **2.4 CONVERTOR ANÁLOGO – DIGITAL (ADC)**

Este microcontrolador posee un convertor análogo – digital de 8 bits de resolución y ocho canales con entradas multiplexadas. Su funcionamiento se basa en aproximaciones lineales sucesivas. El modo de conversión se puede configurar para dos diferentes formas: simple o continua. Además ofrece una bandera para determinar el estado de conversión completa, o simplemente para examinar este estado se genera una señal de interrupción configurando el ADC. El reloj del ADC es seleccionable, es decir, se puede usar un reloj externo o el reloj del bus interno. La conversión de voltaje la realiza entre + 5v y 0v.

Los pines del puerto B están compartidos con el ADC, de tal forma es posible seleccionar cualquier pin de estos como canal de la señal de entrada para el convertor. El resto de pines se pueden utilizar como de propósito general (E/S).

Una conversión puede tardar entre 16 y 17 ciclos de reloj del ADC. Por lo tanto para una frecuencia de 1MHz del ADC el tiempo de conversión será de 16 o 17  $\mu$ segundos.

Para realizar la conversión en modo continuo, el registro de datos del ADC se actualiza cada vez que va llegando un dato después de cada conversión, sin importar si el dato ha sido leído o no. La conversión continuará hasta que el bit ADC0 sea cero. El bit COCO se pone en alto después de la primera conversión y permanecerá así hasta que se escriba un nuevo dato en el registro de estado y control (ADSCR) o se lea el siguiente dato en el registro de datos del conversor.

En el modo de conversión simple, la conversión inicia con una escritura al ADSCR y solo ocurre una conversión entre escritura del registro de estado y control.

En el registro de estado y control (ADSCR), se tiene en cuenta un campo de cinco bits para la selección del cualquier canal de entrada del conversor.

## **2.5 MODULO DE INTERFAZ DEL TEMPORIZADOR (TIM)**

El TIM es un temporizador de dos canales el cual suministra un tiempo de referencia a la captura de entrada, la comparación de salida y a las funciones de modulación de ancho de pulso (PWM). Para este microcontrolador existe un módulo al que se le llamará TIM1.

Su funcionamiento se basa en un contador de 16 bits, el cual es su componente central, que puede operar como contador libre o contador ascendente. El contador del temporizador provee el tiempo de referencia para realizar las funciones de comparación y captura. Existe un registro de modulo del contador, TMODH:TMODL, quien controla el valor de módulo del contador.

Los dos canales del temporizador los puede programar el usuario independientemente, según la aplicación, ya sea como canal de captura o de comparación. Si se selecciona como canal de captura debe estar habilitada la resistencia Pull-Up para el canal.

Algunas características del módulo TIM son:

- Dos canales: Uno para comparación y otro para captura
  - Disparo del capturador en flanco de subida, bajada o en ambos sentidos
  - Acción comparador de salida en alto, bajo o alternada.
- Reloj de entrada programable con 7 frecuencias del reloj del bus interno seleccionando el preescalador.
- Generación de señales PWM con buffer y sin buffer.
- Contador del TIM con bit de stop y reset.

### **2.5.1 Modulación por ancho de pulso (PWM)**

Este tipo de modulación consiste en tener un tren de pulsos con periodo fijo y ancho de pulso variable. Para generar una señal PWM se debe tener en cuenta un procedimiento de inicialización, para garantizar su correcto funcionamiento; primero se debe detener y resetear el contador del TIM colocando un uno lógico en el bit TSOP y TRST del registro de estado y control (TSC). El periodo de la señal PWM se define en los registros del modulo del contador (TMODH:TMODL), y el ancho de pulso deseado se escribe en los registros del canal x, TCHxH:TCHxL. En el registro de estado y control se escoge la señal PWM, ya sea con buffer o sin buffer mediante los bits de selección de modo MSxB y MSxA, el bit TOVx se pone en alto y se configura la salida del comparador en los bits de selección de

flanco ELSxB:ELSxA. Por último se debe poner en bajo el bit TSTOP para iniciar nuevamente el contador.

**2.5.1.1 Señal PWM sin buffer.** Cualquier canal comparador puede generar pulsos PWM sin buffer. Estos pulsos se deben al cambio en el ancho de pulso deseado escribiendo o actualizando el valor del ancho de pulso en el registro de canal. Se debe tener en cuenta la sincronización entre la actualización del registro del canal y el cambio del ancho de pulso, ya que puede generar errores en el periodo de la señal PWM.

Para sincronizar estos cambios se debe tener en cuenta el siguiente método:

Cuando cambia a bajo el ancho de pulso, se habilita la interrupción de comparación del canal x y se escribe el nuevo valor en la rutina de interrupción de comparación de salida. Esta rutina se ejecuta al final del pulso actual y va hasta el final del periodo de la señal PWM para escribir un nuevo valor.

Cuando cambia a alto el ancho de pulso, se habilita la interrupción de overflow del canal x y se escribe el nuevo valor en la rutina de interrupción de overflow. Esta rutina se ejecuta al final del pulso actual.

**2.5.1.2 Señal PWM con buffer.** Cualquier canal (canal 0 o canal 1), puede generar pulsos PWM con buffer y sus salidas están en el pin PTB4/T1CH0. El registro del canal esta asociado en pareja con el control del ancho de pulso de la salida, es decir, se actualizan simultáneamente.

El registro del canal 0, controla inicialmente el ancho de pulso en el pin PTB4/T1CH0. Si se escribe en el registro del canal 1 habilitará los registros del canal 1 sincrónicamente con el control del ancho del pulso y con el comienzo del próximo periodo de la señal PWM. Con cada subsiguiente overflow, el registro del canal que controla el ancho de pulso escribirá altos en los bits más significativos. El registro TSC0 controla y monitorea el correcto funcionamiento de la señal PWM con buffer.

## **2.7 MODULO DE INTERFAZ DE COMUNICACIÓN SERIAL (SCI)**

Este módulo proporciona comunicación con dispositivos periféricos u otras MCUs, en modo full-duplex y asíncrono. El SCI usa un formato estándar de no retorno a cero (NRZ) e incluye un generador de velocidad de transmisión interno. Este generador de velocidad no requiere del temporizador (TIMER) del sistema pero deriva una de las 32 frecuencias normales de este generador, directamente del oscilador de la MCU.

El módulo SCI usa dos pines de entrada/salida. El pin RxD es el pin de entrada para recibir datos y el pin TxD es una salida para transmitir datos. Cuando se desactiva el módulo SCI, estos pines se pueden usar como pines de propósito general.

Si la aplicación requiere niveles RS-232 o RS-422, se necesita poner circuitos integrados para cambiar a los niveles lógicos requeridos, de 0V a 3V o de 5V a niveles +/- 12V.

## **ESTRUCTURA MECÁNICA**

Uno de los aspectos más importantes del presente proyecto consiste en la construcción de un brazo manipulador tipo angular, de seis grados de libertad, cuya estructura mecánica consta de cinco partes principales: base, brazo, antebrazo, muñeca y gripper.

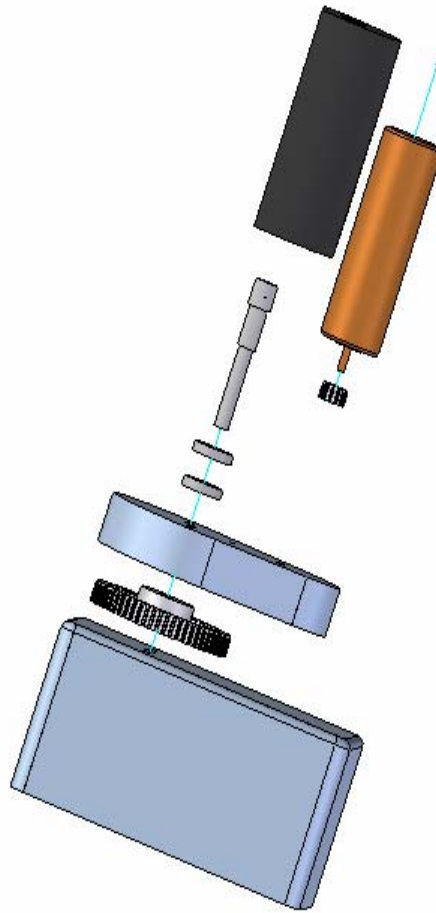
Figura 18. Estructura mecánica.



### **3.1 BASE**

La base que soporta toda la estructura del brazo está construida en lámina de hierro HR de 1/8". Sobre ella se encuentra la primera articulación, la cual emula el movimiento de la cintura.

Figura 19. Vista explosionada de la base.



Esta articulación esta asociada a un sistema de transmisión mecánica, que consta de dos piñones, los cuales se encuentran dentro de una pieza hecha en aluminio, el primero de los cuales gira sobre el eje del motor de corriente continua y el segundo sobre el eje del sensor de posición y están acoplados, por medio de una correa dentada; esto tiene por objeto aumentar el torque de salida del actuador.

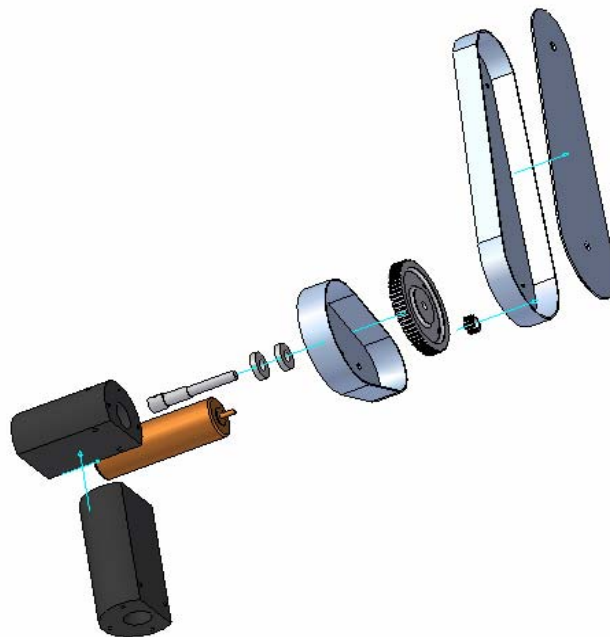
El movimiento que realiza esta articulación es giratorio, y se hace respecto del eje acoplado al sensor de posición. Su desplazamiento angular tiene un rango de 220°.

### 3.2 BRAZO

Lo conforma una pieza en aluminio de 227 mm de longitud entre ejes, que une las articulaciones del hombro y el codo. El hombro consta de una pieza de aluminio de forma ovoide, en la cual se encuentra la transmisión conformada por dos piñones y una correa dentada, iguales a los elementos que constituyen la cintura. La pieza ovoide se encuentra apoyada estructuralmente sobre dos bases semicilíndricas, una horizontal y una vertical, la primera de las cuales sirve también de soporte para el hombro. Estas bases alojan en su interior los sensores de posición acoplados a sendos ejes de revolución. Su movimiento es de  $220^\circ$ .

En el extremo superior se encuentra acoplado mecánicamente el eje de revolución del antebrazo, formando la articulación del codo.

Figura 20. Vista explosionada del brazo.

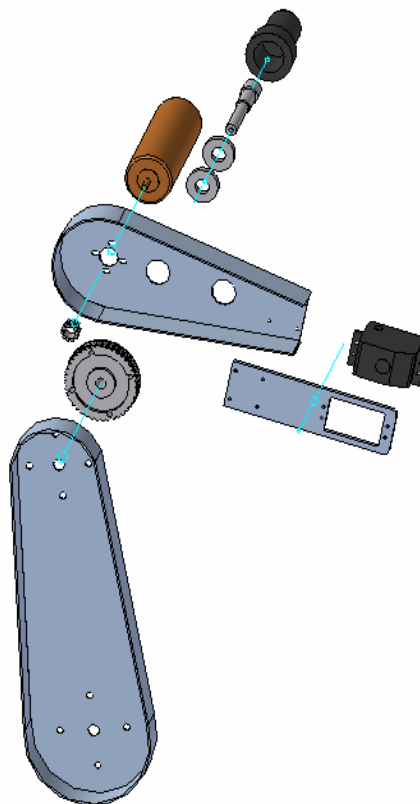


### 3.3 ANTEBRAZO

El antebrazo esta constituido por una pieza de 224 mm de longitud y una lámina rectangular en aluminio de 150 mm de longitud, atornillada a la anterior y el conjunto va desde la articulación del codo hasta la muñeca.

El sistema de transmisión mecánico de la articulación del codo es similar a los dos sistemas descritos anteriormente, con la diferencia en tamaño, número y forma de los dientes de los piñones que lo conforman. Su movimiento, como los dos anteriores, es el mismo, de 220°.

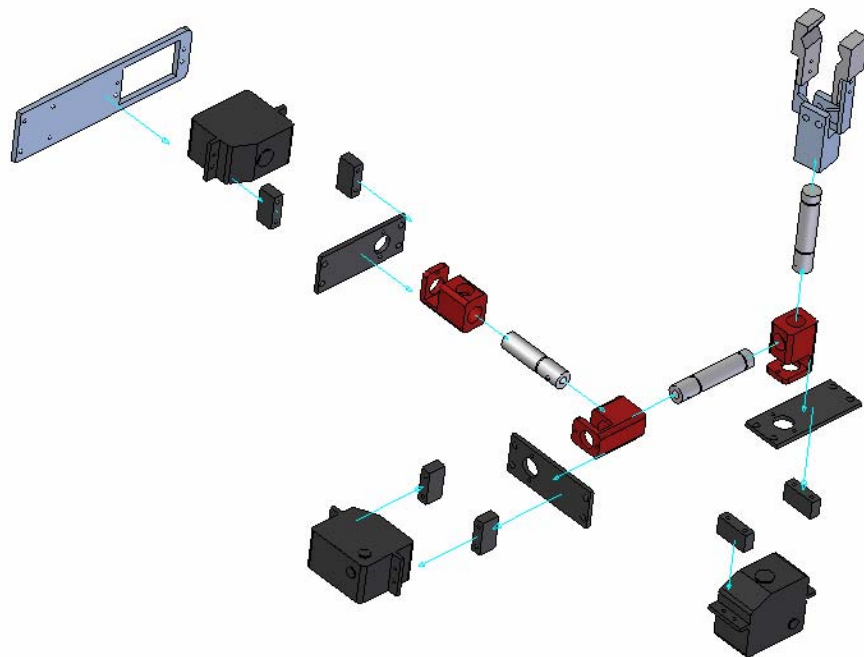
Figura 21. Vista explosionada del antebrazo.



### 3.4 MUÑECA

Esta formada por un conjunto de tres servomotores, los cuales se acoplan entre sí por medio de ejes que están unidos al soporte del servomotor subsiguiente. Este conjunto proporciona tres grados de libertad adicionales, donde todos los movimientos son giratorios y tienen como función, la orientación del efector final.

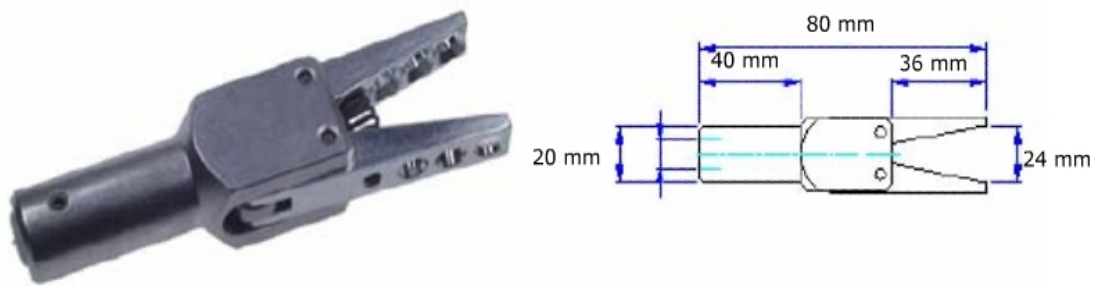
Figura 22. Vista explosionada de la muñeca.



### 3.5 EFECTOR FINAL

El efector final o "*Gripper*" es una pinza de accionamiento neumático, fabricada por *SAS Automation*, cuya presión límite de operación es de 87 psi. Esta pinza se encuentra acoplada al eje del último servomotor.

Figura 23. Efecto final o *gripper*.



## **4. ACTUADORES**

Los actuadores son los elementos encargados de conferir el movimiento al sistema mecánico del robot; pueden ser eléctricos, hidráulicos o neumáticos. En la realización del presente prototipo se utilizan como actuadores: motores de corriente continua para el posicionamiento de las articulaciones, motores servocontrolados cuyo objetivo es la orientación del efector final y un émbolo neumático encargado de abrir o cerrar la pinza.

### **4.1 MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA**

Uno de los actuadores eléctricos usado para el robot, es el motor de corriente continua. El motor utilizado en el presente proyecto presenta las siguientes características:

- Excitación de imán permanente controlado por armadura. El rango de control se extiende de 6 a 12 voltios.
- Posee un freno eléctrico que se desactiva al ser alimentado con un voltaje de 24 voltios.
- El motor sin carga alimentado a 12 voltios consume una corriente de 130 mA con una velocidad de rotación de 25 R.P.M., logrando un torque de 400 onzas/pulgada.
- Este motor con la misma tensión de alimentación puede consumir hasta 1.5 A. a una velocidad de 17 R.P.M. produciendo un torque de 1350 onzas/pulgada.

- Tiene un tamaño reducido, con 5.15" de largo por 1.52" de diámetro y el eje exterior de 0.9" de largo por 0.25" de diámetro, ideal para usarlo como actuador en un robot.

Figura 24. Motor D.C. desarrollado por Globe Motors®



Para el brazo robot se utilizaron tres de estos motores, que son los encargados de proporcionar el movimiento a las tres primeras articulaciones las cuales emulan la rotación de la cintura, el hombro y el codo.

**4.1.1 Control.** El control del movimiento del sistema es del tipo monoarticular, es decir, el movimiento se realiza secuencialmente, articulación por articulación. Para el control de la posición de las articulaciones de la cintura, hombro y codo, se implementó un esquema Proporcional-Integral-Derivativo (PID) cuya expresión estándar es:

$$u(t) = K_p \left( e(t) + \int_0^t \frac{1}{\tau_i} e(\tau) d\tau + \tau_D \frac{de(t)}{dt} \right)$$

La señal de control se expresa por la función de error  $e(t)$ , entre la posición deseada y la posición actual de la articulación.  $K_p$ ,  $\tau_i$  y  $\tau_d$  corresponden a las constantes proporcional, integral y derivativa del control. Por tanto, la función de transferencia es:

$$K(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s \right)$$

Realizando una implementación discreta de este control se obtiene el algoritmo digital PID:

$$\begin{aligned} e[k] &= r[k] - y[k] \\ i[k] &= C_1(e[k] + e[k-1]) + i[k-1] \\ d[k] &= C_2(e[k] - e[k-1]) + d[k-1] \\ u[k] &= K(e[k] + i[k] + d[k]) \end{aligned}$$

donde,  $r[k]$  y  $y[k]$  hacen referencia a la posición deseada y a la posición actual respectivamente.

Las constantes  $C_1$ ,  $C_2$  y  $K$  presentes en el algoritmo se ajustaron utilizando el método de respuesta al escalón de Ziegler-Nichols, los valores del ajuste son diferentes para cada articulación del brazo robot porque los torques exigidos a los motores son desiguales. El valor de  $K$  se eligió teniendo en cuenta que el desplazamiento angular es diferente para cada articulación.

Para implementar en el microcontrolador el algoritmo planteado anteriormente, se realizan los siguientes pasos con el fin de garantizar el posicionamiento adecuado de cada articulación:

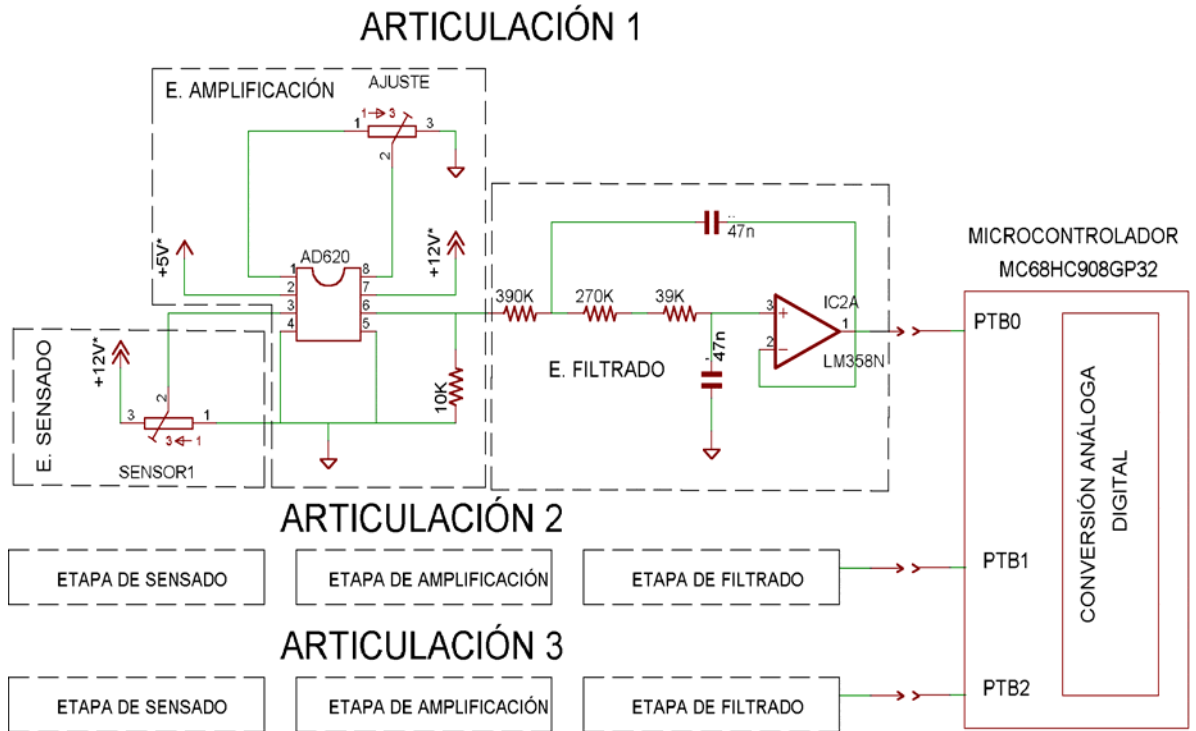
- Etapa de sensado.
- Etapa de acondicionamiento de la señal.
- Etapa de digitalización y control.

En la **etapa de sensado** se lleva a cabo una valoración de la actual posición de cada articulación (cintura, hombro o codo) usando como sensor potenciómetros lineales. Este sensor es acoplado al reductor de cada articulación a través de un eje rígido que no permite que existan cabeceos considerables entre el eslabón de interés y el potenciómetro. En esta etapa se convierte la variable posición de la articulación en una señal de voltaje a una razón aproximada de 2 [mV/°] y se envía a la etapa de acondicionamiento.

La **etapa de acondicionamiento** recibe los valores de voltaje que corresponden a los grados de movimiento de cada articulación del brazo robot, y los aplica en forma diferencial a un amplificador de instrumentación, el cual convierte la diferencia en una señal de voltaje de 0 a 5 Volts. Esta señal se hace pasar a través de un filtro activo Sallen-Key de 2° orden con frecuencia de corte en 8 Hz, con el fin de remover componentes de alta frecuencia de la señal a la entrada del conversor. En la figura 25 se muestra el diagrama de bloques de las etapas de sensado y acondicionamiento.

Una vez se ha amplificado y filtrado la señal de voltaje, ésta se digitaliza por medio del conversor análogo-digital interno de 8 bits que posee el microcontrolador MC68HC08GP32. La posición digitalizada es almacenada en memoria y comparada con el dato de posición deseado que ha sido enviado desde el computador hacia el microcontrolador de forma serial.

Figura 25. Diagrama de bloques de las etapas de Sensado y Acondicionamiento de Señal.



Dependiendo de la articulación y la diferencia entre la posición sensada y la deseada se escogen las constantes involucradas en el algoritmo del control PID. Este controla el ancho de pulso de la señal PWM que es creada utilizando una función del microcontrolador, para lo cual solo es necesario especificar el periodo y el ciclo de trabajo inicial de la misma. Cuando la posición de la articulación se acerca a la deseada, el ancho de pulso de la señal PWM va disminuyendo, lo cual ocasiona que la velocidad del actuador se reduzca hasta hacerse cero en la posición angular esperada.

La señal PWM es entonces enviada al demultiplexor en el cual dependiendo de la configuración enviada desde el microcontrolador,

traspasa la señal al *driver*<sup>8</sup> L298 correspondiente, que provee la potencia necesaria a la articulación que se desea posicionar. En la figura 26 se puede observar el diagrama de bloques correspondiente a la etapa de control.

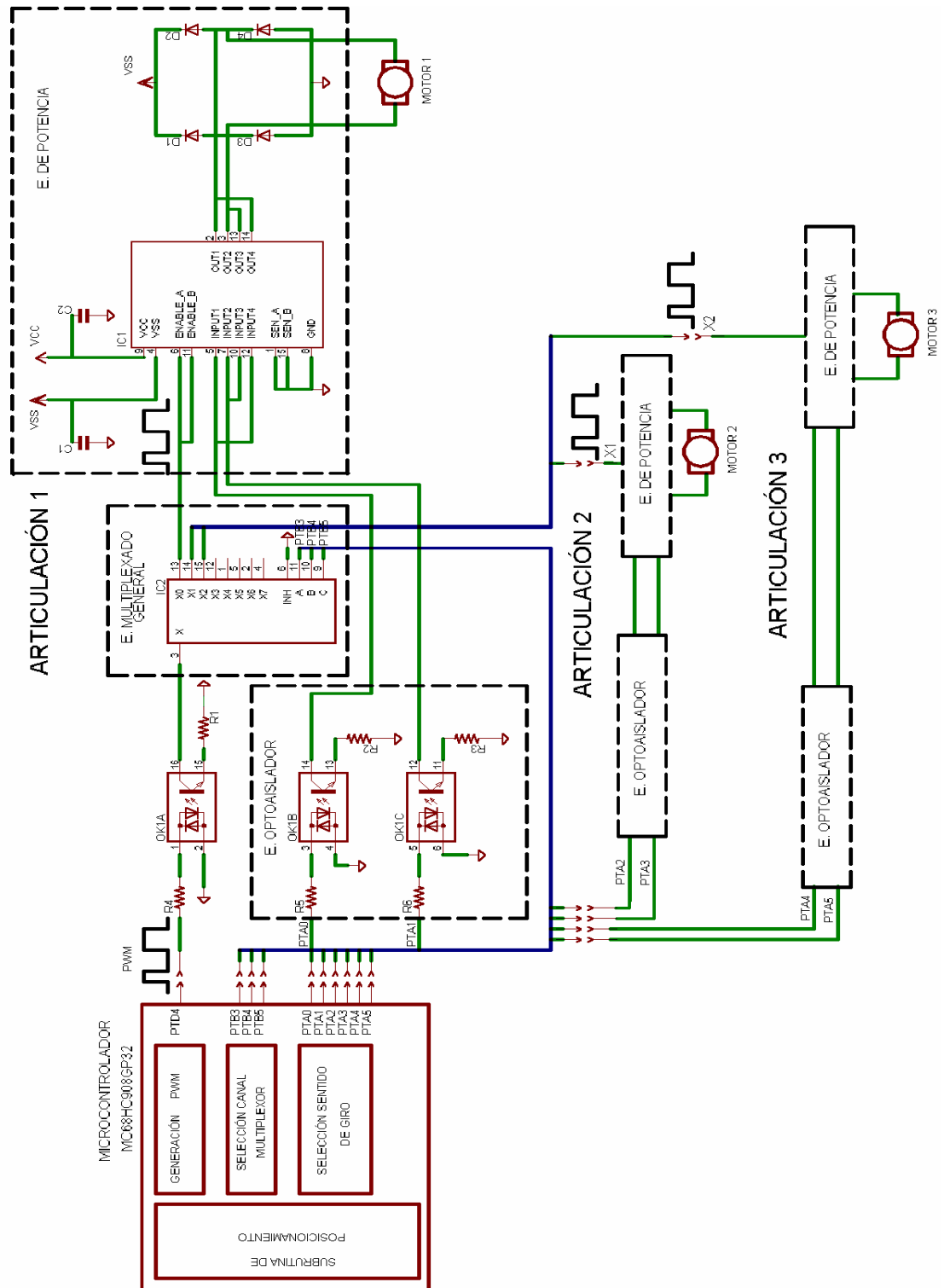
El control de posicionamiento monoarticular usado se realiza a partir de los datos correspondientes a la posición actual de la articulación y a la posición que se desea alcanzar, guardados en las variables *VPosAr* y *PosAr*<sup>9</sup>. La diferencia entre estos dos datos produce la señal de error. Esta a su vez determina el sentido de giro de la articulación, controlado por el driver L298 que permite un control bidireccional del motor por medio de entradas lógicas que son enviadas desde el microcontrolador, dependiendo de la ubicación de la articulación.

---

<sup>8</sup> Circuito encargado de proporcionar potencia, algunas veces puede desempeñar otras funciones.

<sup>9</sup> Variables introducidas en el código de programación del microcontrolador.

Figura 26. Diagrama de bloques de la etapa de control.

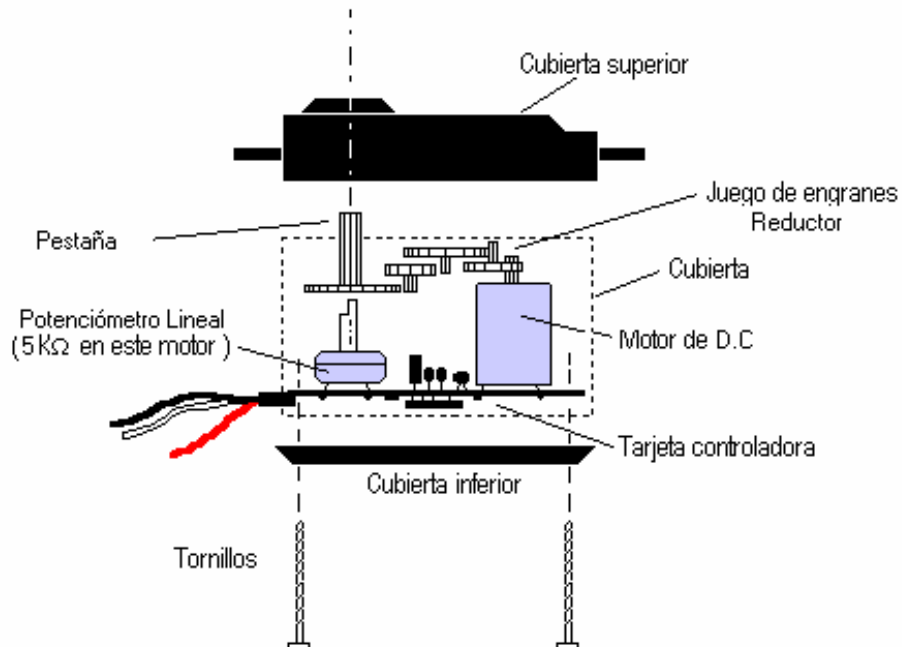


## 4.2 SERVOMOTORES

La articulación de la muñeca del robot es controlada por tres servomotores similares a los utilizados en el área de modelismo de aviones y autos a control remoto; estos servomotores dan una gran ventaja en cuanto a su poco peso comparado con los motores D.C. de las otras articulaciones y proporcionan un torque de 343 onzas/pulgada con un tiempo de giro de 0.19 segundos para una alimentación de voltaje de aproximadamente 5 voltios.

El servomotor está compuesto por un motor eléctrico (D.C.), un potenciómetro lineal, un reductor y una tarjeta de control interna, una línea de control y dos líneas de alimentación (+5v y tierra) como se muestra en la figura 27.

Figura 27. Diagrama interno del servomotor.



El rango de giro se encuentra entre 0° y 180° determinados por el valor del potenciómetro que posee internamente. Para ajustar su

desplazamiento angular basta con adicionar una resistencia en serie al potenciómetro y así disminuir su rango de giro. Por otra parte, si se quiere girar más de  $180^\circ$  es necesario retirar la pestaña o flecha que limita mecánicamente el movimiento.

**4.2.1 Control Servomotores.** Mediante una señal de control que se ha generado desde el microcontrolador MC68HC08GP32 se puede hacer girar el motor hasta una posición angular específica; cada vez que la señal de control cambie, la posición angular del servomotor cambiara con ella. Esta señal digital tiene un periodo de 20 ms y el ancho de los pulsos varía de  $760 \mu\text{s}$  a 2.3 ms. El ancho del pulso se calcula de acuerdo con los grados que se quiera mover cada servomotor; el valor en grados del posicionamiento se introduce de la misma forma utilizada para las tres articulaciones mencionadas anteriormente. El posicionamiento angular del servomotor es proporcional al ancho del pulso de la señal que llega por la línea de control. Por ejemplo si el ancho del pulso de la señal es de  $760\mu\text{s}$  el servomotor se posiciona en el extremo izquierdo; de forma contraria si tiene un ancho de pulso de 2.3 ms se posiciona en el otro extremo, como se observa en la figura 28.

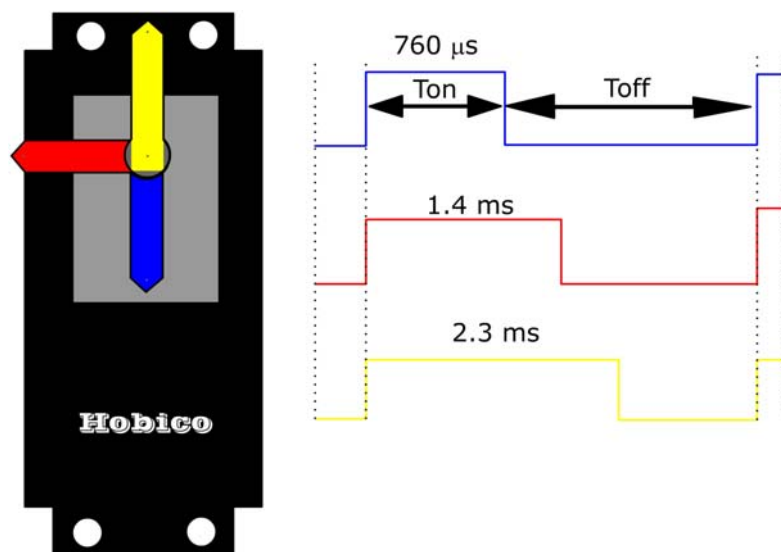
La tarjeta de control interna del servomotor realiza una comparación entre el ancho del pulso de la señal que se está generando desde el microcontrolador y el ancho del pulso producido por el *timer*<sup>10</sup> interno del servomotor. Este *timer* es controlado por la posición del potenciómetro lineal acoplado al eje de giro del servomotor. Como señal de error se utiliza la diferencia entre el ancho de pulso de la señal generada y el ancho de pulso de la señal interna. El control será el encargado de establecer la dirección en la cual el motor ha de girar

---

<sup>10</sup> Temporizador

para que el error sea lo más cercano a cero. El giro del motor modifica el valor de la tensión en el potenciómetro y con él, el ancho del pulso del timer interno del servomotor.

Figura 28. Posiciones de un servomotor para diferentes anchos de pulso



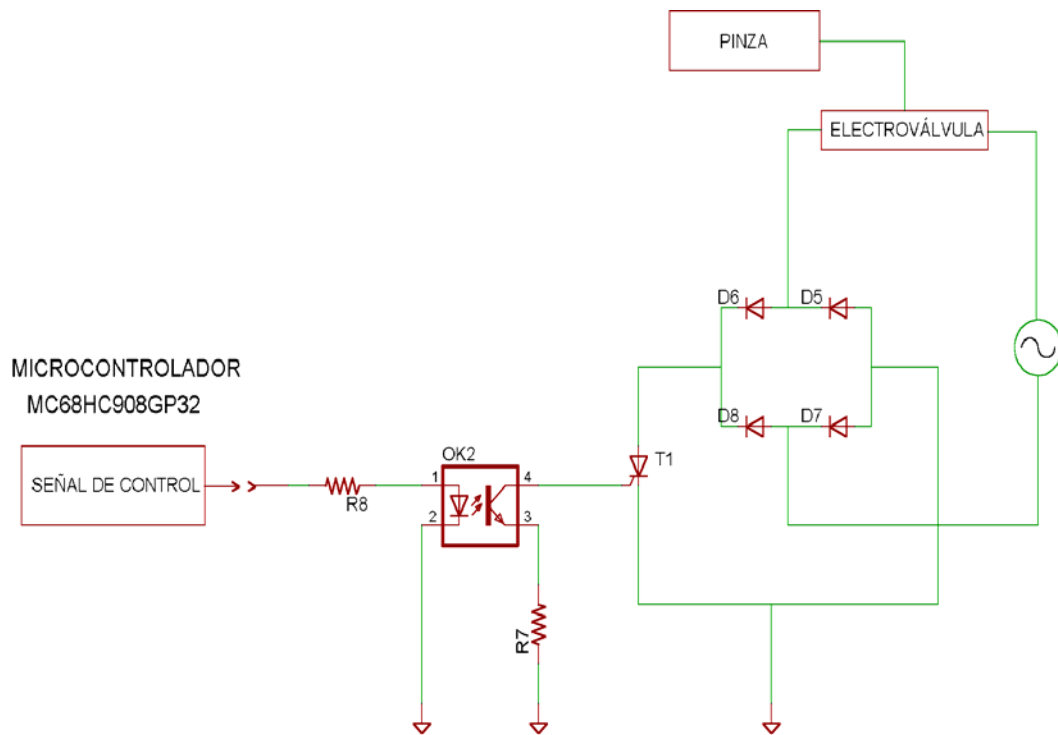
La comparación del ancho del pulso se realiza continuamente verificando la posición del eje y efectuando las correcciones necesarias para llegar a la posición deseada.

### 4.3. ÉMBOLO PINZA.

Como efector final se utiliza una pinza angular la cual cuenta con un émbolo encargado de transformar la energía del aire en un movimiento lineal. Cuando la presión aplicada es de 0 psi la pinza se encuentra en su estado normal abierto, si la presión aplicada está entre 70 y 87 psi la pinza se cierra debido al efecto de empuje que ejerce el émbolo sobre los dedos de la tenaza.

La entrada de aire a la pinza es controlada por una electroválvula FESTO® cuyo estado normal es cerrada. Esta es accionada por medio de un solenoide, que en este caso se energiza con 110 V/60 Hz, y tiene un rango de trabajo de 22 a 116 PSI. Las conexiones para la entrada y salida de aire son del tipo G1/8". Para activar la electroválvula se envía una señal en nivel lógico alto (paso de aire) o bajo proveniente del microcontrolador a una etapa de potencia, conformada por un SCR y un puente rectificador.

Figura 29. Diagrama de bloques control del efector final.



## 5. COMUNICACIÓN SERIAL ENTRE EL MICROCONTROLADOR Y PC

El microcontrolador cuenta con un módulo de comunicación serial (SCI) el cual permite altas velocidades de comunicación asíncrona con dispositivos periféricos y otros microcontroladores.

El modulo SCI cuenta con las siguientes características:

- Operación de transmisión y recepción (full – duplex).
- Formato estándar de no retorno a cero (NRZ).
- 32 frecuencias de *baud rates*<sup>11</sup> programables.
- Habilitación separada del transmisor y receptor.
- Longitud del carácter programable de 8 o 9 bits.
- Petición de interrupciones separadas para transmisor y receptor.
- Polaridad de salida del receptor programable.
- Dos métodos para despertar o activar el receptor:
  - por línea ocupada
  - por dirección "marca"
- Operación de interrupciones manejadas por ocho indicadores o banderas y peticiones de interrupción:
  - Transmisor vacío
  - Transmisión completa
  - Receptor lleno
  - Entrada del receptor inactiva
  - Receptor desbordado

---

<sup>11</sup> Tasa de baudios: velocidad de comunicación en baudios

- Error por ruido
- Error de paridad
- Error por empaquetamiento
- Detección de error en el receptor por empaquetamiento
- Comprobación de paridad por Hardware
- Configuración del bit de registro SCIBDSRC para autorizar la selección de la fuente de reloj utilizada en el *baud rate*.

En el microcontrolador los pines de transmisión y recepción se encuentran ubicados en el puerto E; en el pin 12 PTE0/TxD y en el pin 13 PTE1/RxD.

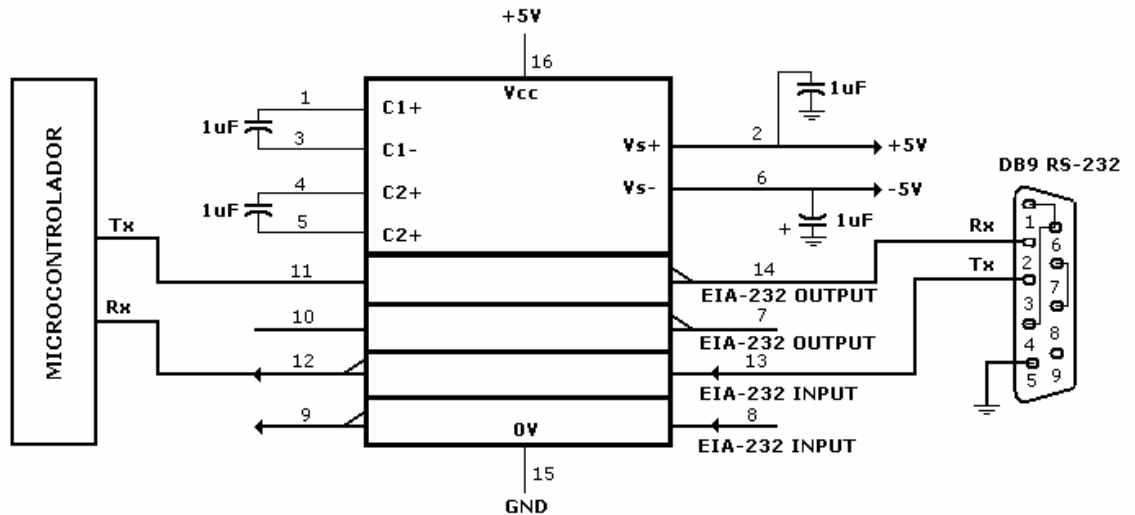
Los niveles de voltaje utilizados por el modulo SCI son 0V y 5V, para el nivel bajo y alto respectivamente, siendo necesario usar un circuito integrado conectado a los pines del puerto E del microcontrolador para que convierta estos voltajes a niveles de -12V y +12V; tensiones permitidas por el puerto RS232 de comunicación serial del P.C.

Para realizar la conversión de estos niveles de voltaje, se usa el circuito integrado MAX 232, el cual cambia los niveles TTL a los del estándar RS232 cuando se hace una transmisión, y cambia los niveles RS232 a TTL cuando se tiene una recepción. El MAX232 necesita solamente ser alimentado con una fuente de +5V para su operación ya que un elevador de voltaje interno convierte el voltaje de +5V a un voltaje dual de +/- 12V.

En la figura 30 se muestra el diagrama de conexiones del MAX232 con sus respectivas relaciones de los terminales de entrada y salida que van conectados al microcontrolador y al terminal RS232 del P.C. El valor de los condensadores

recomendado por el fabricante para su correcto funcionamiento es de  $1\mu\text{F}$ .

Figura 30. Diagrama de conexiones MAX232.



Como se mencionó anteriormente en el módulo SCI el receptor y el transmisor operan independientemente, aunque pueden usar el mismo generador de *baud rate*. Durante el funcionamiento normal, el microcontrolador monitorea el estado del SCI, procesa los datos recibidos y escribe en el registro SCDR los datos que han de ser transmitidos.

Si se recurre a una fuente de reloj de bus interno para el *baud rate*, se debe configurar el bit SCIBDSRC, del registro CONFIG2 para su selección. En este proyecto se utilizó una fuente de reloj de bus interno de 8,192 MHz.

Para realizar el cálculo de la velocidad de transmisión, se deben configurar el preescalador y el divisor de *baud rate*, que pertenecen al registro (SCBR) del módulo SCI.

Asumiendo una fuente de reloj de bus interno con una frecuencia de 8.192 MHz, se usa la siguiente formula para obtener la velocidad de transmisión en baudios,

$$Baud\ rate = \frac{Fuente\ de\ reloj\ del\ SCI}{64 \times PD \times BD}$$

Donde: Fuente de reloj del SCI = 8,192 MHz

PD= Divisor preescalador

BD= Divisor de *baud rate*

Entonces para obtener una velocidad de 9600 baudios se deben seleccionar los bits correspondientes a un divisor preescalador en 13 y un divisor de *baud rate* en 1, como se muestra en la tabla 1 para PD y en la tabla 2 para BD.

Tabla 1. Preescalador del *baud rate* del módulo SCI.

SCP1- SCP0	Divisor Preescalador (PD)
00	1
01	3
10	4
11	13

Tabla 2. Selección del *baud rate* del modulo SCI.

SCR2,SCR1,SCR0	Divisor de <i>baud rate</i> (BD)
000	1
001	2
010	4
011	8
100	16
101	32
110	64
111	128

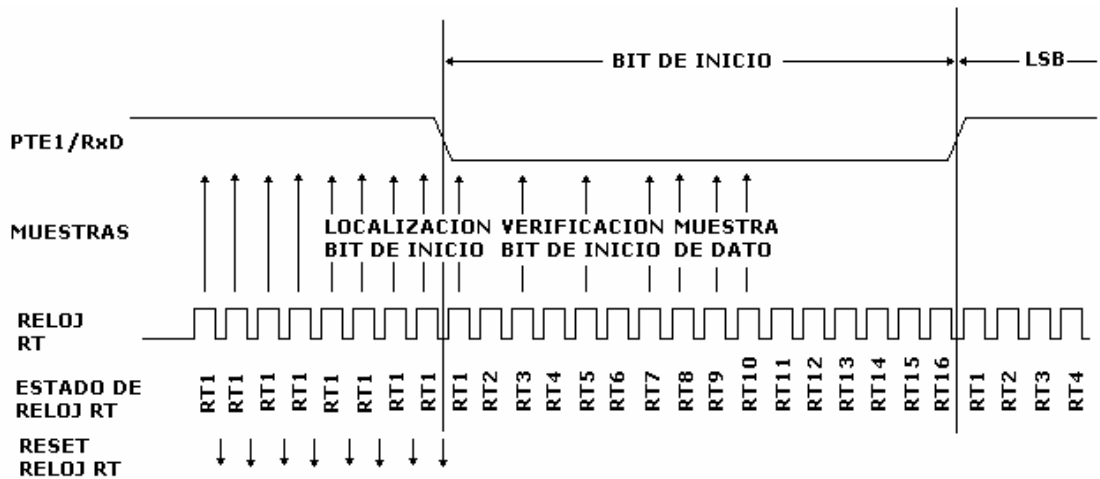
Escogiendo los valores para PD y BD, en 13 y 1 respectivamente, se obtiene una velocidad de transmisión aproximada de 9846 baudios, con lo que se observa que va a estar funcionando a una velocidad por encima del *baud rate* del receptor es decir, no existe sincronización en la comunicación ya que las velocidades de transmisión y recepción no son iguales, por tanto el transmisor va a estar saturando al receptor con paquetes de datos.

Se debe tener en cuenta que cualquier dispositivo de transmisión debe estar en capacidad de operar a una velocidad por encima y por debajo de la velocidad del receptor. Esto se conoce como tolerancia al *baud rate*.

Para asegurar la recepción fiable de datos, el receptor SCI cuenta con un sistema de recuperación de datos que los prueba y los verifica.

El sistema de recuperación de datos realiza muestreos al flujo de bits del receptor, a una velocidad fija de reloj denominada RT, que es 16 veces la velocidad de transmisión. Este reloj RT, se sincroniza nuevamente después de cada bit de inicio y después de detectar cambios en el nivel lógico de alto a bajo en cualquier bit de datos. Esta sincronización se realiza para compensar las diferencias entre las velocidades de transmisión y recepción y hace que el módulo SCI sea menos sensible a estas diferencias.

Figura 31. Muestreo de datos del receptor.



Para localizar el bit de inicio, el receptor hardware del módulo SCI ejecuta continuamente una búsqueda asíncrona para un nivel lógico 0 precedido de tres niveles lógicos uno. Cuando esto ocurre se reconoce un posible bit de inicio y el reloj RT empieza a contar hasta RT16, como se observa en la figura 31.

Para verificar el bit de inicio y detectar ruido, se realizan pruebas lógicas a RT3, RT5 y RT7, mientras se ejecutan los 16 muestreos, y si dos de estas tres muestras presentan un nivel

lógico uno las pruebas fallan. Si esto ocurre, el reloj RT se restablece y genera una nueva búsqueda.

Para detectar el valor de un bit de datos y detectar ruido, se toman muestras a RT8, RT9 y RT10. Este procedimiento se realiza de la misma manera en el receptor para verificar el bit de parada esperado.

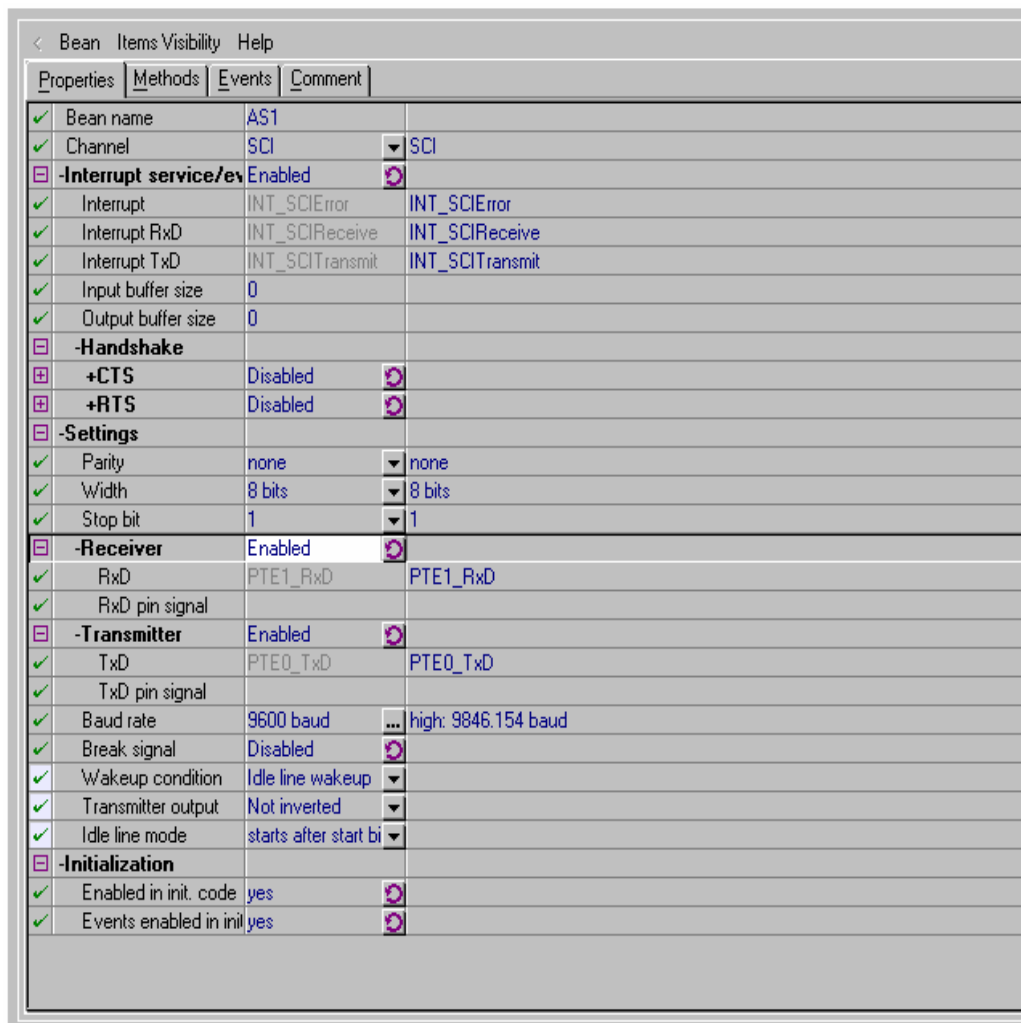
Cuando existe diferencia entre las velocidades de transmisión y recepción, se puede generar un cambio en el periodo de un bit, ocasionado por acumulación de tiempo, afectando el muestreo y causando errores por ruido o por empaquetamiento. Si existe un cambio en el nivel lógico después de RT10, se puede dar por aceptado el bit que ya ha sido confirmado en el módulo de comunicación, y esto es lo que permite la tolerancia del *baud rate* mencionada anteriormente.

Para realizar la comunicación serial entre el microcontrolador y el computador, se hace uso de los *Bean*<sup>12</sup> dispuestos por la interfaz de programación *CodeWarrior*. Este *Bean* (*Bean Asynchroserial*) seleccionado configura la activación de la comunicación serial usando el módulo SCI, es decir se habilita la transmisión y recepción, la velocidad de transmisión y se activan las interrupciones necesarias para realizar la comunicación. La configuración total se muestra en la figura 32.

---

<sup>12</sup>Menú de configuración de módulos del microcontrolador.

Figura 32. Configuración *Bean* comunicación serial.



Para evitar errores en la recepción de datos se inicia la cadena transmitida por el computador con dos caracteres "AA", el siguiente dato es el valor de la posición en grados que debe tomar la articulación 1, el dato consecutivo es para la articulación 2 y así sucesivamente hasta ubicar el efector final.

Cada vez que se lee un carácter, se genera el evento *AS1\_OnRxChar*, activado por la interrupción del módulo de comunicación SCI. En el código de este evento se procesan los

datos que son transmitidos desde el P.C. y se asigna el valor a cada una de las variables que manejan las articulaciones *PosAr1*, *PosAr2*, *PosAr3*, *Servo1*, *Servo2*, *Servo3*, *Pinza* y llama la función *motor()* que a su vez llama las funciones, *posicionar\_1()*, *posicionar\_2()*, *posicionar\_3()*, *posicionar\_4()*, *posicionar\_5()*, *posicionar\_6()* y *pinza()*, las cuales se encargan de posicionar cada una de las articulaciones. Una vez posicionado el brazo robot éste envía el carácter "A" al computador por medio del evento *AS1\_SendChar()*.

## **6. PROGRAMA DE CONTROL**

En este capítulo se describe el programa de control utilizado para realizar el posicionamiento de las articulaciones del prototipo, así como la inicialización de los diferentes módulos del microcontrolador MC68HC908GP32 a utilizar.

El programa permite manejar la lectura del conversor análogo digital, la generación de la señal PWM y el control de la etapa de potencia. El diagrama de flujo general del robot manipulador que se muestra en la figura 33 permite observar la composición del cuerpo del programa. Allí se ve que está constituido por diversos bloques funcionales tales como: configuración, inicialización conversión análogo digital, inicialización PWM y rutinas para el posicionamiento de las articulaciones.

### **6.1 RUTINA DE CONFIGURACION**

El primer bloque es el encargado de la configuración del sistema. En él se definen las variables que se van a utilizar y se establecen sus valores iniciales; también se configuran los puertos del microcontrolador ya sea como entradas para el conversor análogo digital o como salidas para los diferentes circuitos a controlar. La tabla 3 muestra los puertos activos en el microcontrolador, la función que realizan y si están siendo utilizados como entradas o salidas.

Figura 33. Diagrama de flujo general del robot.

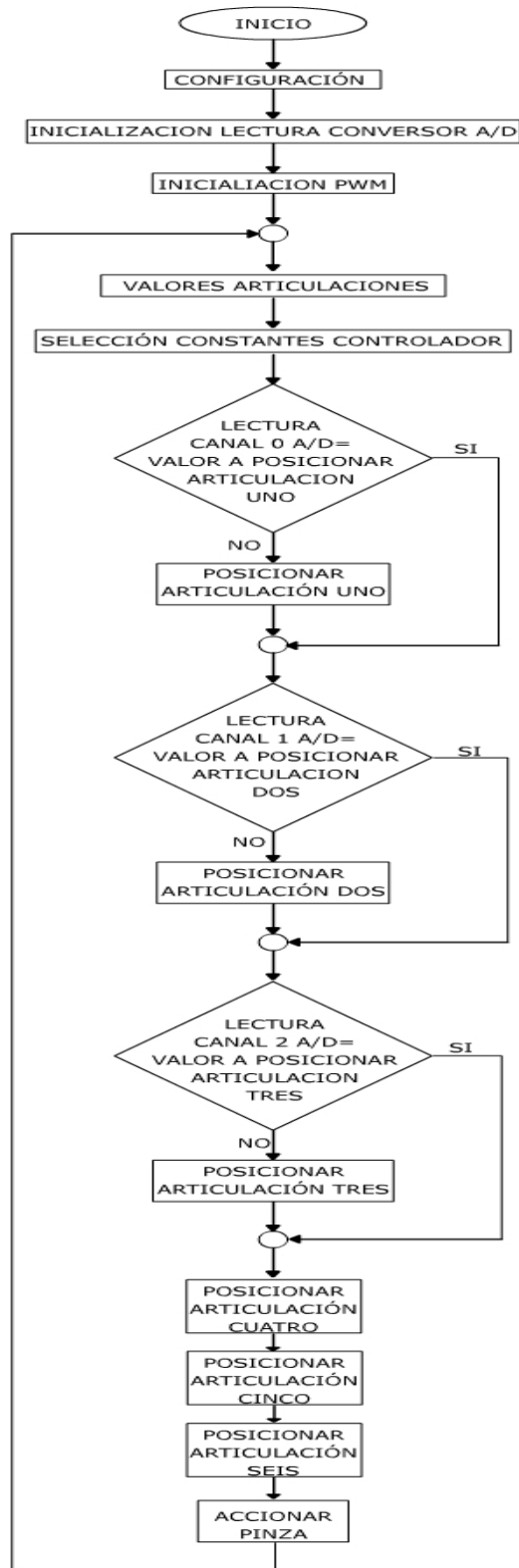


Tabla 3. Función y configuración de puertos.

<b>PUERTO</b>	<b>CONFIGURACION</b>	<b>FUNCION</b>
PTA0	SALIDA	Control giro articulación 1
PTA1	SALIDA	Control giro articulación 1
PTA2	SALIDA	Control giro articulación 2
PTA3	SALIDA	Control giro articulación 2
PTA4	SALIDA	Control giro articulación 3
PTA5	SALIDA	Control giro articulación 3
PTB0	ENTRADA	Digitalización sensor de posición 1
PTB1	ENTRADA	Digitalización sensor de posición 2
PTB2	ENTRADA	Digitalización sensor de posición 3
PTB3	SALIDA	Selección canal demultiplexor
PTB4	SALIDA	Selección canal demultiplexor
PTB5	SALIDA	Selección canal demultiplexor
PTC0	SALIDA	Generación señal control articulación 4
PTC1	SALIDA	Generación señal control articulación 5
PTC2	SALIDA	Generación señal control articulación 6
PTA6	SALIDA	Control freno articulación 1
PTA7	SALIDA	Control freno articulación 2
PTC3	SALIDA	Control freno articulación 3
PTC4	SALIDA	Accionamiento pinza
PTD4	SALIDA	Señal PWM para motores
PTE0	SALIDA	Transmisión de datos
PTE1	ENTRADA	Recepción de datos

## **6.2 INICIALIZACION DEL CONVERTOR ANALOGO DIGITAL**

El conversor análogo digital permite digitalizar la señal que proviene del sensor de posición de cada articulación. El microcontrolador MC68HC908GP32 posee un conversor de 8 bits de resolución y ocho canales de entrada del cual solo se utilizan tres canales, uno por cada articulación de posición. Los puertos PTB0, PTB1 y PTB2 han sido configurados como entradas y corresponden a los sensores de las articulaciones 1, 2 y 3 respectivamente.

Cada canal del conversor se lee independientemente y de forma simple, así en el registro ADSCR se escribirá 0, 1 o 2 para seleccionar su respectivo canal. El dato de la conversión se guardará posteriormente en una variable llamada "valoraleer\_x" donde x corresponde al número de la articulación que se ha leído.

## **6.3 INICIALIZACION PWM**

Para garantizar el correcto funcionamiento de la señal PWM, se debe tener en cuenta un procedimiento de inicialización en el cual el primer paso a seguir es detener el contador TIM1 escribiendo en el bit TSTOP un uno lógico. Posteriormente este se reinicia poniendo el bit TRST a uno; luego se define un periodo de 8.2 ms escribiendo en los registros del modulo contador TMODH: 0xFD y TMODL: 0xE8; y el ancho del pulso inicial es el 100% de la señal; por ultimo se pone en cero el bit TSTOP para poder comenzar.

## 6.4 RUTINA POSICIONAR ARTICULACIONES 1, 2 Y 3

Esta rutina corresponde al proceso de posicionamiento de la articulación de interés (para las tres primeras articulaciones) en el valor deseado. En la figura 34 se ilustra el correspondiente diagrama de flujo. Inicialmente se desactiva el freno de la articulación seleccionada enviando un uno lógico a través de los puertos PTA6, PTA7 o PTC3 descritos en la tabla 3. Luego se selecciona el canal del demultiplexor por el cual se enviará la señal PWM hacia la etapa de potencia. En la tabla 4 se muestra la combinación de bits para la selección del canal de salida. En seguida se lee el valor en grados de la posición a la cual se desea llegar y este dato se guarda en la variable "*PosArX*" donde X corresponde al número de la articulación que se vaya a mover; posteriormente se procede a leer la posición actual de la articulación, guardada en la variable "*VPosArX*". Con estos datos se obtiene una señal de error de posición que hará parte del algoritmo de control digital PID.

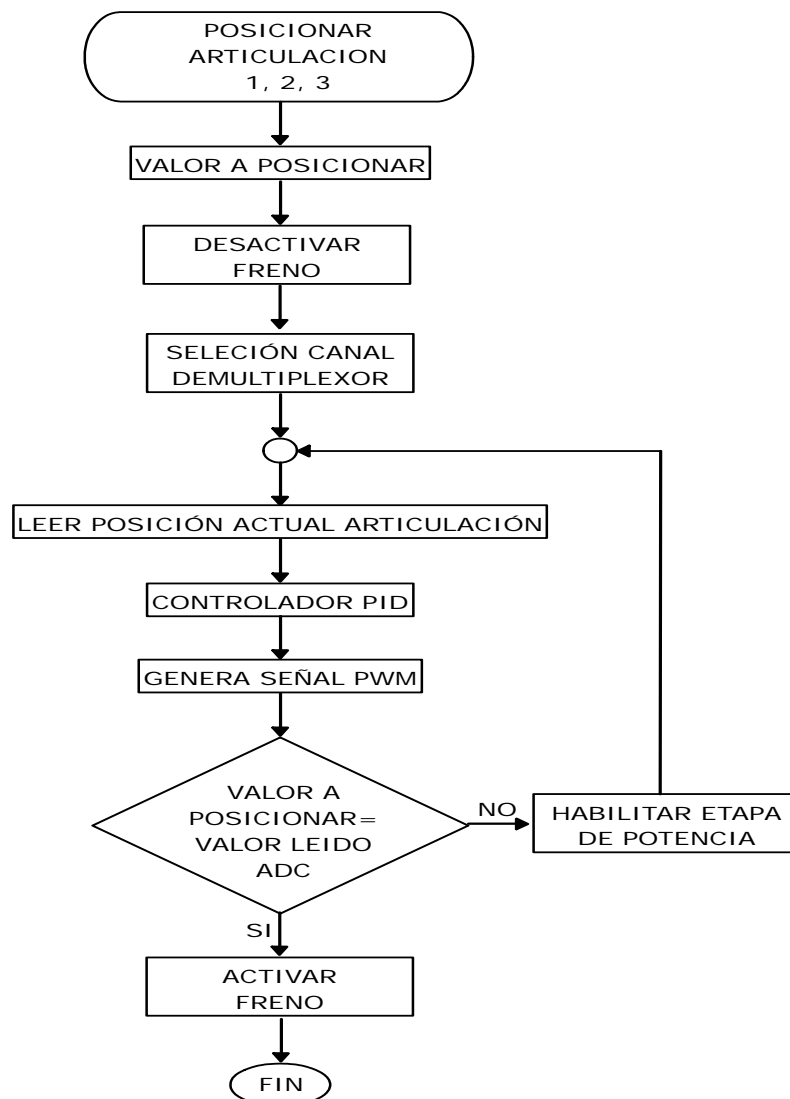
Tabla 4. Selección canal de salida demultiplexor.

CANAL / ARTICULACIÓN	PTB3	PTB4	PTB5
1	0	0	0
2	0	0	1
3	0	1	0

Con el dato obtenido a la salida del controlador, se puede comenzar a generar la señal PWM de control para los motores de corriente continua que efectúan el movimiento de las articulaciones. Este dato

es guardado en los registros T1CH0H y T1CH0L<sup>13</sup>, los cuales determinan el ancho de pulso de la señal. Esta señal se envía a la entrada habilitadora de la etapa de potencia a través del canal del demultiplexor previamente seleccionado. Por ultimo, se pregunta si el valor a posicionar es igual a la posición actual, esto con el fin de deshabilitar la etapa de potencia o de dar la orden de giro según corresponda.

Figura 34. Diagrama de flujo rutina Posicionar Articulación 1, 2 y 3



Si la articulación alcanzó la posición deseada se deshabilita la etapa de potencia y su correspondiente freno es activado. En la tabla 5 se

<sup>13</sup> Registros pertenecientes al módulo de interfaz del temporizador (TIM) del microcontrolador MC68HC908GP32.

registran los valores de las entradas que controlan el giro de la articulación.

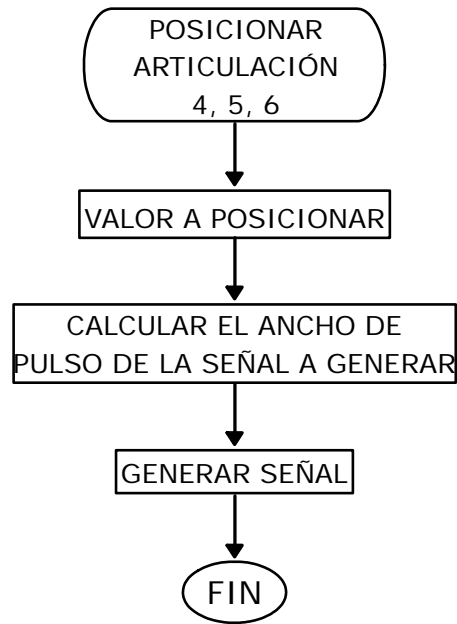
Tabla 5. Valores lógicos de entradas para control bidireccional de los motores D.C.

ENTRADAS		FUNCION
PTA0,PTA2,PTA4	PTA1,PTA3,PTA5	
1	0	Adelante
0	1	Atrás
0	0	Reposo

### **6.5 RUTINA POSICIONAR ARTICULACIONES 4, 5 Y 6**

Esta rutina tiene como función generar el ancho de pulso correspondiente para el valor en grados de cada servomotor, teniendo en cuenta que el periodo de la señal debe estar entre 10 ms y 30 ms. Además esta señal debe generarse continuamente para garantizar que no se pierda la posición alcanzada por el servomotor. El ancho de pulso es generado por medio de retardos que dependen de los grados a moverse. En la figura 35 se muestra el diagrama de flujo de la rutina.

Figura 35. Diagrama de flujo rutina Posicionar Articulación 4, 5 y 6



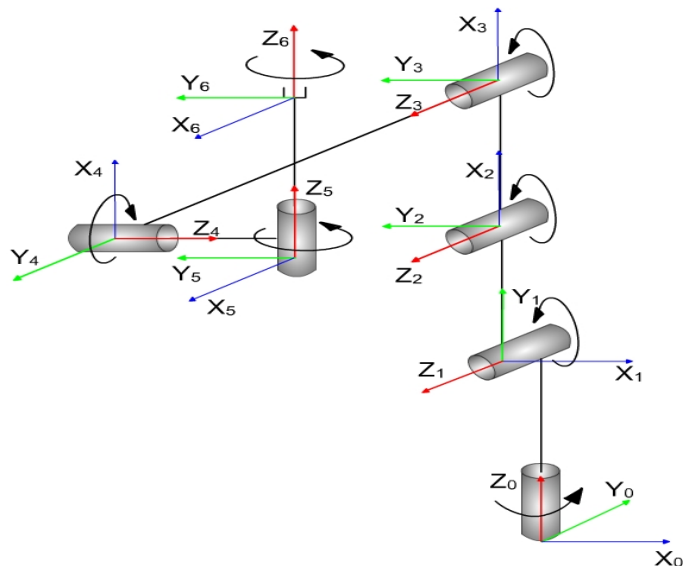
## 7. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para encontrar las características técnicas del robot fue necesario realizar pruebas de precisión y repetibilidad. Inicialmente se obtuvo el modelo de Denavit-Hartenberg, luego se procedió a la calibración de cada una de las articulaciones del robot PUMA con el objetivo de asegurar que los parámetros técnicos encontrados, estén dentro de rangos aceptables.

### 7.1 REPRESENTACIÓN DE DENAVIT-HARTENBERG

Siguiendo el algoritmo de Denavit-Hartenberg se asignaron los siguientes sistemas coordenados a cada articulación, figura 36:

Figura 36. Representación de Denavit-Hartenberg para el prototipo.



Los parámetros obtenidos se presentan en la tabla 6.

Tabla 6. Parámetros de Denavit-Hartenberg del manipulador\*.

<b>Ai</b>	<b><math>\theta_i</math></b>	<b>di</b>	<b>ai</b>	<b><math>\alpha_i</math></b>	<b>Rango</b>	<b>Descripción</b>
1	0°	30.4	5.5	-90°	-110°, 110°	Giro base
2	-90°	0	22.4	0°	-110°, 110°	Elevación brazo
3	0°	0	22	0°	-110°, 110°	Elevación antebrazo
4	0°	5.5	0	90°	-65°, 65°	Elevación muñeca
5	90°	4.5	0	90°	-20°, 20°	Desviación muñeca
6	0°	12.7	0	0°	0°, 90°	Giro muñeca

\*Longitudes en centímetros.

## 7.2 PROCESO DE CALIBRACIÓN DEL ROBOT PUMA

El primer paso en el proceso de calibración fue ajustar las ganancias del amplificador de instrumentación correspondiente a cada una de las tres primeras articulaciones, esto con el fin de garantizar en un rango de 220° un voltaje de 0,3 a 4,6 volts; este ajuste se hizo variando el *trimmer* de ganancia de cada articulación y para garantizar los 220° se utilizó un goniómetro<sup>14</sup>.

Cada ángulo de la articulación que se desea ajustar se relaciona con un dato binario en el programa de control ya que a un rango de giro de 220° corresponde un rango binario de 220 posibles posiciones. No fue posible hacer coincidir en las tres articulaciones los datos binarios con las mismas posiciones angulares. La tabla 7 muestra la correspondencia para las seis articulaciones.

<sup>14</sup> Instrumento utilizado en fisioterapia para medir los ángulos de las articulaciones.

Tabla 7. Relación análoga digital de las posiciones angulares del manipulador.

<b>ARTICULACION</b>	<b>ANGULO</b>	<b>CONFIGURACION BINARIA</b>
1. CADERA	0°	128
1. CADERA	90°	218
2. HOMBRO	0°	123
2. HOMBRO	90°	213
3. CODO	0°	132
3. CODO	90°	42
4. ELEVACIÓN	0°	90
4. ELEVACIÓN	65°	25
5. DESVIACIÓN	0°	68
5. DESVIACIÓN	20°	88
6. GIRO	0°	178
6. GIRO	90°	88

La expresión que relaciona el ángulo con el correspondiente dato binario:

$$DB_i = a_i * A_i + DB_{i0}$$

Para  $i=1,2,3,4,5,6$ .

Donde:

- $DB_i$ : dato binario de la articulación  $i$ .
- $a_i$ : constante para ajustar el sentido de giro de cada articulación.
- $A_i$ : valor angular de la articulación  $i$ .
- $DB_{i0}$ : dato binario de la articulación  $i$ , en el ángulo cero.

## 7.3 PRUEBAS REALIZADAS

**7.3.1 Prueba de precisión:** Para establecer la precisión se programaron diferentes posiciones para cada articulación y por medio del goniómetro se halló el valor angular experimental de cada articulación y se comparó con el programado. Tomando en cuenta la resolución brindada por el instrumento de medición angular empleado se encontró que existe una variación con respecto al ángulo programado de  $\pm 3^\circ$ .

Otra prueba de precisión se hizo dando posiciones angulares a cada articulación y por medio de la *toolbox*<sup>15</sup> Hemero de Matlab® y los parámetros de Denavit-Hartenberg, se calculó el valor teórico de la posición del efector final. Experimentalmente se midieron las componentes vectoriales de la posición del mismo tomando como referencia una cuadrícula milimétrica que representa el plano XY. La componente vectorial faltante Z, se midió directamente desde el efector final hasta el punto localizado sobre la cuadrícula con las coordenadas halladas previamente, todo esto con la ayuda de una plomada para garantizar la perpendicularidad de la componente sobre el eje z. A partir de los valores tomados experimentalmente se encontró que la diferencia entre los puntos medidos y el punto teórico fue de  $\pm 2\text{cm}$ . Esta precisión se debe principalmente a errores introducidos durante el proceso de calibración por las herramientas empleadas para tal fin.

**7.3.2 Prueba de repetibilidad:** Con el fin de establecer la repetibilidad del brazo robot, se programaron dos puntos diferentes y se halló la desviación estándar para cada punto. Haciendo que el

---

<sup>15</sup> Grupo de secuencias programadas, tienen una finalidad común.

manipulador se ubicara veinte veces en cada punto, de forma consecutiva, se encontró un error de repetibilidad de +/- 5 mm.

#### **7.4 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MANIPULADOR**

En la tabla 8 se muestran las principales características del prototipo construido.

Tabla 8. Características técnicas del manipulador

<b>Giro Base</b>	<b>220°</b>
<b>Elevación Brazo</b>	<b>220°</b>
<b>Elevación Antebrazo</b>	<b>220°</b>
<b>Elevación Muñeca</b>	<b>130°</b>
<b>Desviación Muñeca</b>	<b>40°</b>
<b>Giro Muñeca</b>	<b>90°</b>
<b>Repetibilidad</b>	<b>5 mm</b>
<b>Alcance (Desde El Hombro)</b>	<b>480 mm</b>
<b>Volumen de trabajo</b>	<b>0.199 m<sup>3</sup></b>

## **8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

El presente proyecto buscó dar una pequeña contribución al desarrollo de la robótica en nuestro medio tanto en el ámbito académico como en el industrial. En el primero se generó una herramienta física real para el estudio de la robótica a partir del cual se puedan buscar aplicaciones que permitan resolver problemas de la industria regional.

Por tratarse de una herramienta relativamente sofisticada se recomienda que los estudiantes que quieran trabajar con ella posean conocimientos básicos de la robótica para sacar así un mayor provecho de sus características y aporten ideas para desarrollos ulteriores.

Con el fin de digitalizar las piezas mecánicas del prototipo se trabajó con una potente herramienta de software: Solid Edge V.12, con licencia académica. Gracias a la flexibilidad que posee, la construcción de los modelos digitales de las piezas y la posterior elaboración de los planos fue una tarea que los autores pudieron realizar sin ser profesionales o poseer conocimientos avanzados de la mecánica.

Este software permitió además realizar de forma sencilla la modificación de las piezas que así lo requirieron durante la etapa de elaboración de la estructura mecánica del prototipo. El desarrollo de esta fase del proyecto fue una experiencia enriquecedora para los autores del mismo.

Después de probar conversores con diferente número de bits de resolución para determinar la posición angular de las articulaciones, se llegó a la conclusión que el conversor interno del microcontrolador era el más apropiado, debido a su mayor velocidad de conversión y a que su resolución es la que mejor se ajusta a la del potenciómetro utilizado como transductor.

A la salida del microcontrolador se incluyó una etapa de desacople de tierras por medio de aisladores, para garantizar que los actuadores no demanden del microcontrolador una potencia mayor a la que este puede suministrar. La señal de salida de los aisladores se lleva a una etapa de potencia que alimenta de forma segura a los actuadores.

Con el fin de mejorar el prototipo, objeto de este proyecto se propone que se realicen los siguientes cambios:

Para realizar el control instantáneo de todas las articulaciones los autores recomiendan la construcción e implementación de una fuente de poder capaz de generar una corriente mínima de 8 A a 12 V y 5V, y una fuente de poder de 24 V a 2 A. La primera con el fin de alimentar los tres motores y los tres servomotores, la segunda para energizar el sistema de frenado eléctrico de los motores DC. Además se debe implementar el uso de microcontroladores esclavo y maestro, o algún circuito integrado programable capaz de ejecutar de forma paralela funciones como la conversión análoga digital.

Con el fin de mejorar la exactitud en el posicionamiento se recomienda buscar sensores que brinden mayor resolución y combinarlos con conversores análogo digital, capaces de representar digitalmente la mayor información proveniente del sensor.

Se recomienda buscar e implementar actuadores de menor tamaño y de ser posible mayor torque para ser usados en la orientación de la muñeca. El menor tamaño de estos permitiría disminuir la carga a las articulaciones precedentes, conjuntamente con la disminución de limitaciones en el movimiento de la muñeca; y el mayor torque tolerará el manejo de efectores finales más complejos que agreguen, de ser posible y necesario, más grados de libertad al sistema robot.

Sería conveniente, profundizar en el estudio de la dinámica del sistema robot, con el fin de diseñar un control que sea más sensible a las variaciones de carga relativas a las posiciones y a los movimientos del sistema robot.

Por otro lado, debido a que la construcción de un sistema robot es un proceso interdisciplinario, se vio la necesidad de interactuar con profesionales de otras áreas como mecánica industrial, pintura y ventas. Como resultado de esta interacción se formó la cultura de aprender a escuchar las diferentes opiniones ofrecidas, desde el punto de vista de la experiencia de cada profesional en su área. Opiniones que evaluadas de forma crítica, aportaron constructivamente a la toma de mejores decisiones en el desarrollo de las actividades involucradas en la elaboración del manipulador.

Por último, los autores consideran que el trabajo en grupo fue fundamental, en el desarrollo del presente proyecto, ya que además de brindar valiosas enseñanzas acerca del respeto y la tolerancia hacia las diferentes ideas y opiniones, condujo a la solución de los distintos problemas encontrados en la elaboración del proyecto.

## **9. BIBLIOGRAFÍA**

FU, K. S.; GONZÁLEZ, R. C.; LEE, C. S. G. Robótica: Control, Detección, Visión e Inteligencia. Madrid : McGraw Hill, 1988.

BARRIENTOS, Antonio et al. Fundamentos de Robótica. Madrid : McGraw Hill, 1997.

OLLERO BATURONE, Aníbal. Robótica: Manipuladores y Robots móviles. Barcelona : Marcombo, 2001.

SIERRA BUENO Daniel A. Planeación de trayectorias para un robot en una celda de manufactura. Bucaramanga. 2001. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander.

CASTELLANOS O., Edison Augusto y CÁCERES C., Raúl. Robot móvil didáctico tipo articulado. Bucaramanga. 2001. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander.

SEDRA Adel, SMITH Kenneth. Circuitos Microelectrónicos. Cuarta edición. México: Oxford University Press, 1998.

REHG JAMES A. "Introduction to robotics in CIM Systems". Prentice Hall. 1997.

M68HC08 microcontrollers Technical Data. Motorola, 2002.

<http://motorola.com/semiconductors>.

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

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

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

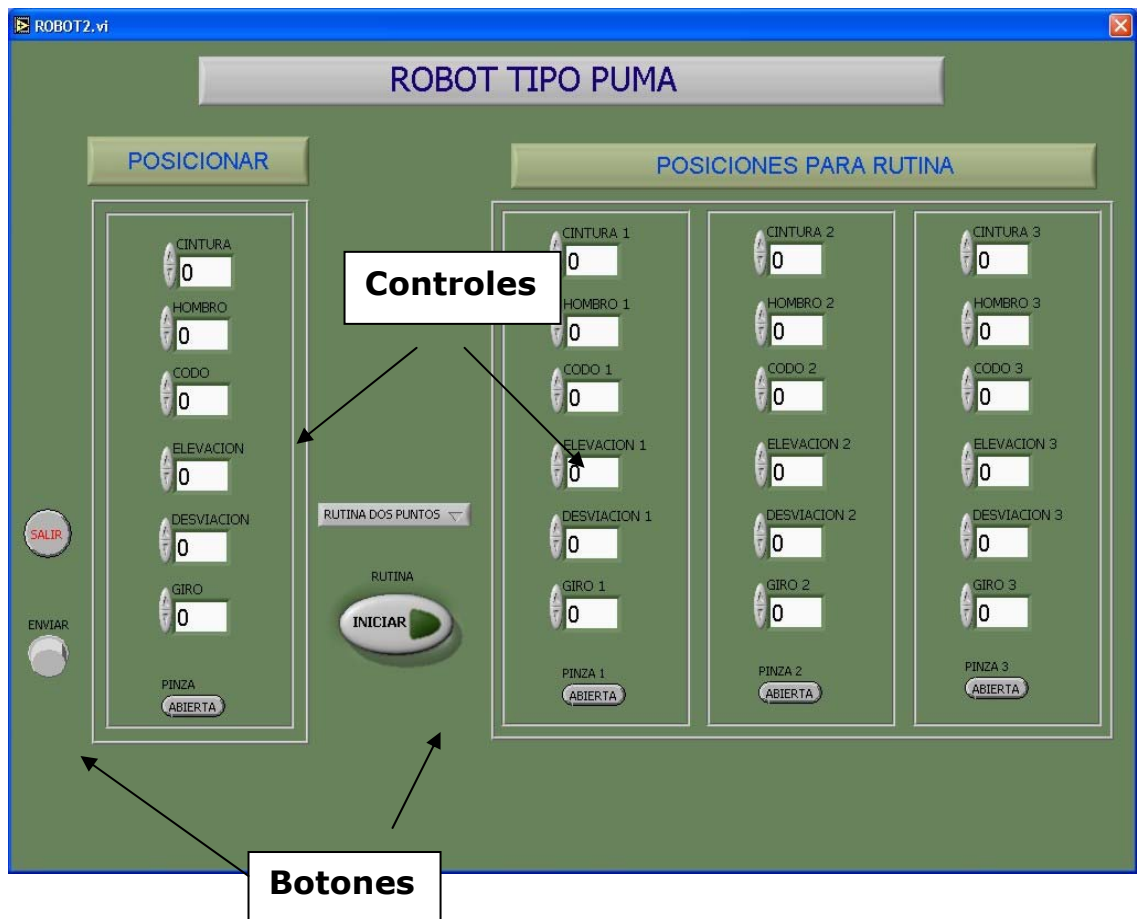
[www.alldatasheet.com](http://www.alldatasheet.com)

[www.ass-maschinenbau.de](http://www.ass-maschinenbau.de)

## ANEXO A: MANUAL DEL USUARIO

En este anexo se brinda soporte al usuario acerca de la utilización de la interfaz grafica con la cual se manejaran los grados en los cuales debe posicionarse cada articulación del robot manipulador. No se han colocado referencia explicita a las funciones elementales que realizan el proceso.

### Interfaz grafica del robot manipulador



La interfaz grafica del robot manipulador muestra los controles para introducir las coordenadas de cada articulación y botones para enviar una posición o para realizar una rutina.

### **Controles de coordenadas de articulación**

Este grupo de controles permite el ingreso de las coordenadas de cada articulación, las unidades utilizadas para estas coordenadas son grados; también decide si la pinza del manipulador debe ir abierta o cerrada según la aplicación. Los controles que están en la columna Posicionar son para realizar un único movimiento hacia ese punto; mientras los que están en la tabla Posiciones para rutina son para realizar una rutina entre los datos de la primera y la segunda columna o entre las tres columnas de datos.

### **Sector botones**

#### **Botón Enviar**

Este botón inicia el movimiento del robot manipulador, este movimiento es monoarticular, es decir, el movimiento comenzara con la primera articulación y finalizara con el accionamiento de la pinza. Solo ejecuta un movimiento hacia la posición indicada.

#### **Botón Selección Rutina**

Este botón permite seleccionar una rutina que se encuentre entre dos o tres posiciones.

#### **Botón Rutina**

El botón Rutina es utilizado para iniciar la rutina a realizar, habiendo seleccionado previamente los puntos dentro de los cuales se va a llevar a cabo. Para dar por terminada la rutina sera necesario volver a oprimir este botón.

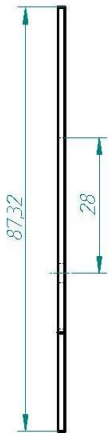
**Botón Salir**

Este botón permite salirnos de la interfaz, para oprimirlo debe haber terminado la rutina o de lo contrario seguirá ejecutándose la misma.

**ANEXO B**  
**PLANOS DEL BRAZO**

Revisiones

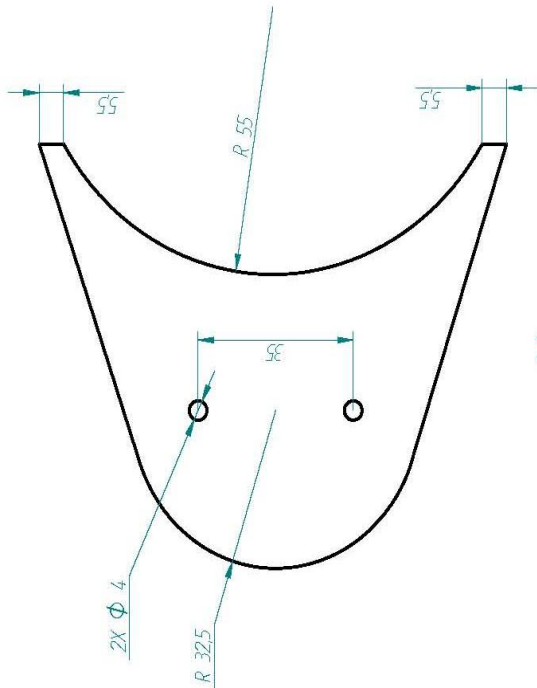
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



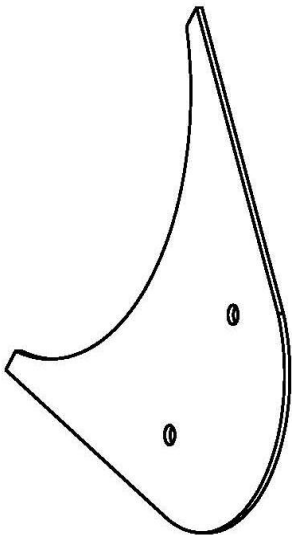
1:1



1:1



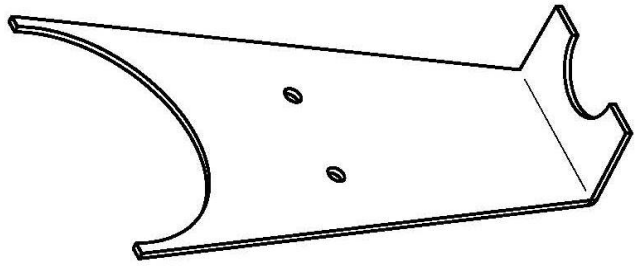
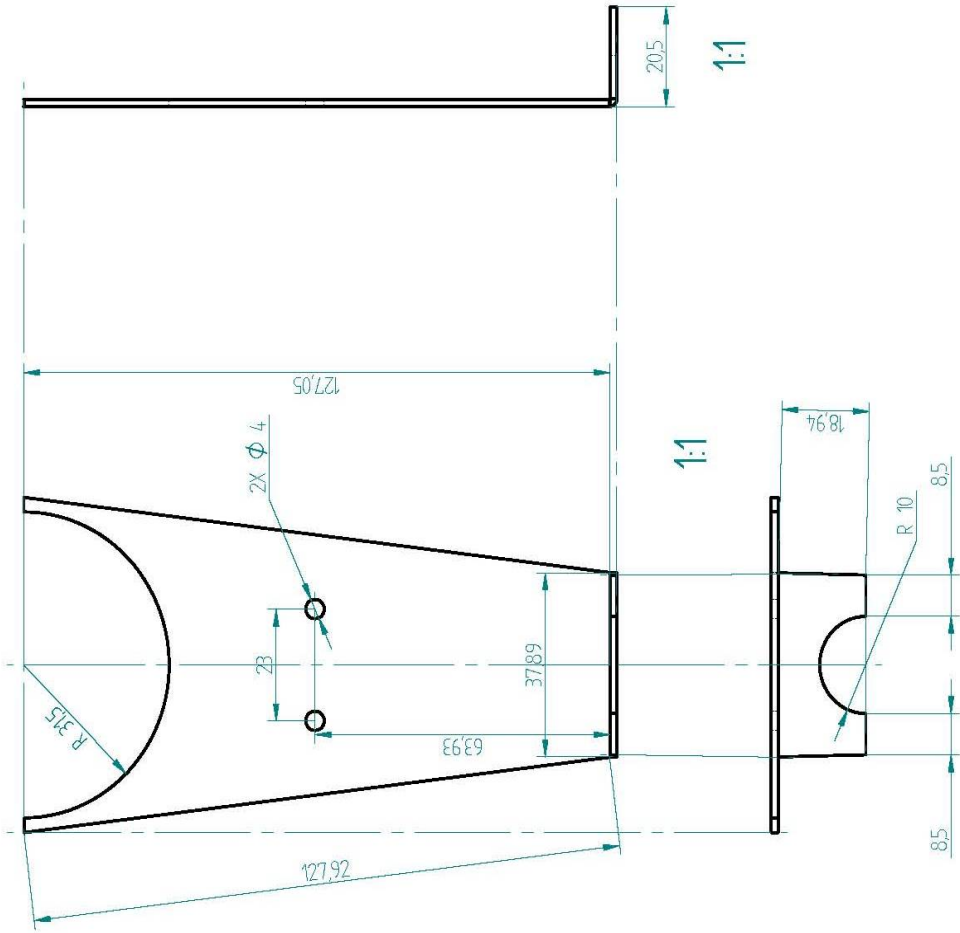
1:1



1:1

Dibujado	Nombre	Fecha	<b>SOLID EDGE</b> EDS-PLM SOLUTIONS
Comprobado	EDM	27/06/05	
Aprobado 1	Título		TAPA HOMBRO Y CINTURA
Aprobado 2	Plano		A3
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±º			Archivo: TAPA_HOMBRO_CINTURA.dwg Escala:      Peso:      Hoja: 1 de 1

Revisiónes		
Rev	Descripción	Aprobado

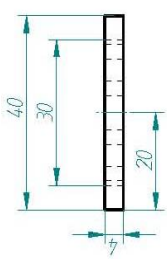


1:1

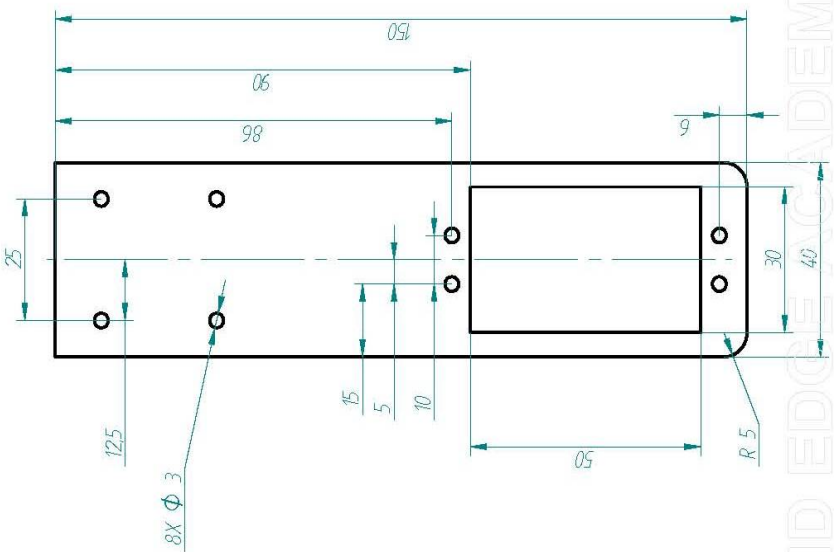
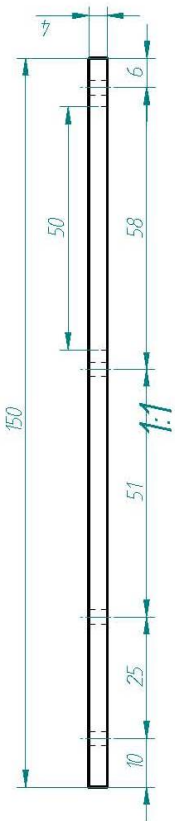
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Dibujado	Nombre	Fecha	<b>SOLID EDGE</b> EDS-PLM SOLUTIONS
Comprobado	58M	27/06/05	
Aprobado 1			Título
Aprobado 2			TAPA CODO 2
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±º			Plano
			A3
			Rev
			Archivo: TAPA_CODO_2.dft
			Escala
			Peso
			Hoja 1 de 1

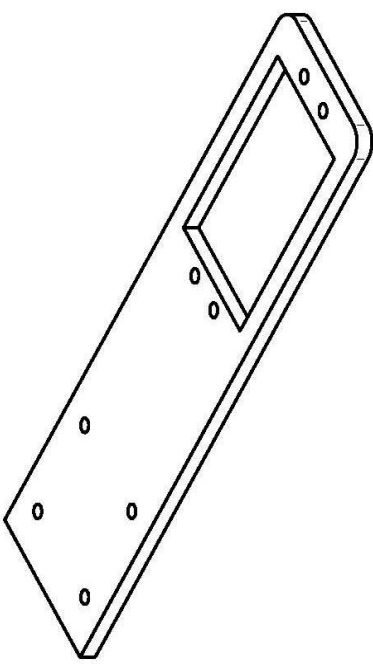
Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado



1:1



1:1



1:1

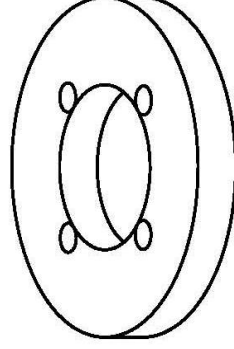
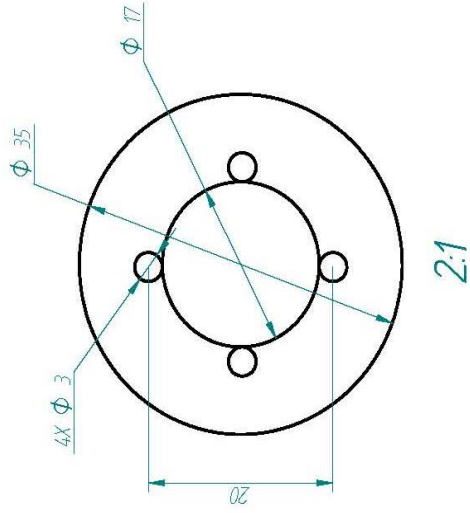
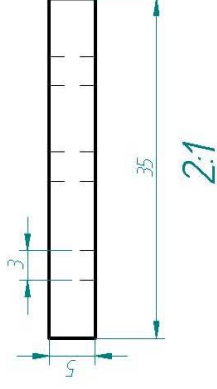
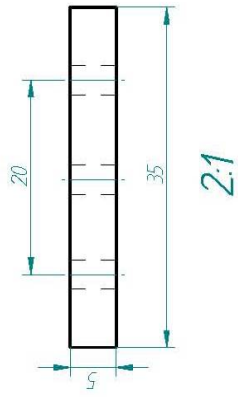
Dibujado	Nombre	Fecha	Título
Comprobado	ESM	27/06/05	
Aprobado 1			
Aprobado 2			ACCESORIO000
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±º			Plano
			A3
			Rev
Archivo: ACCESORIO_0000.dft			Escala
			Peso
			Hoja 1 de 1

**SOLID EDGE**  
EDS-PLM SOLUTIONS

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Revisiones

Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



2:1

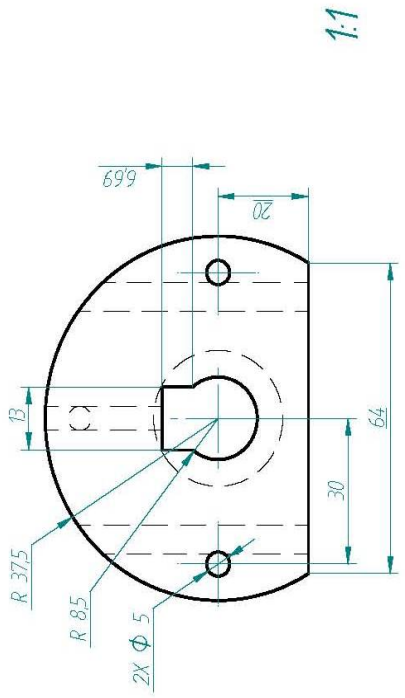
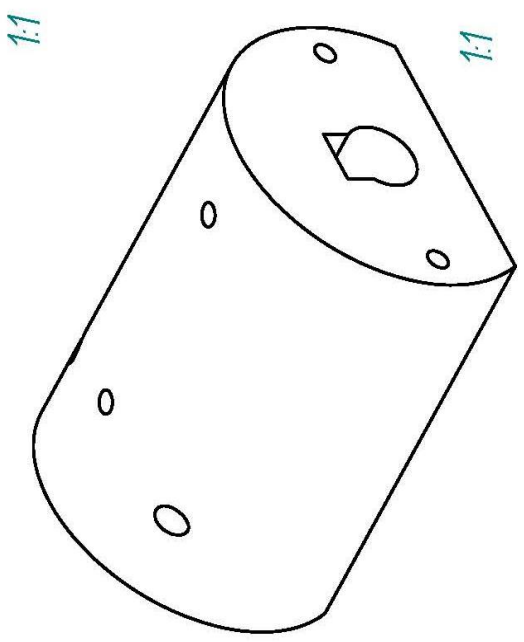
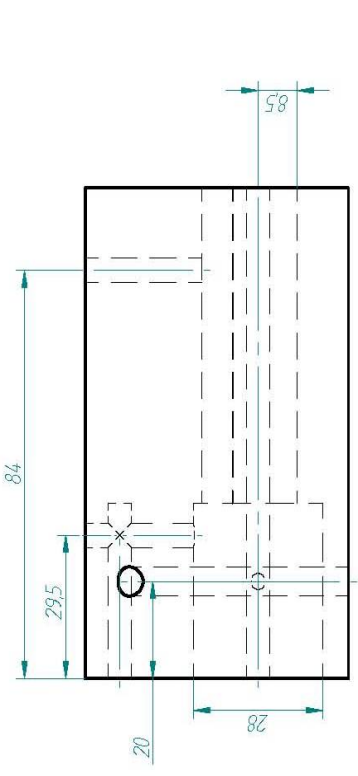
2:1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

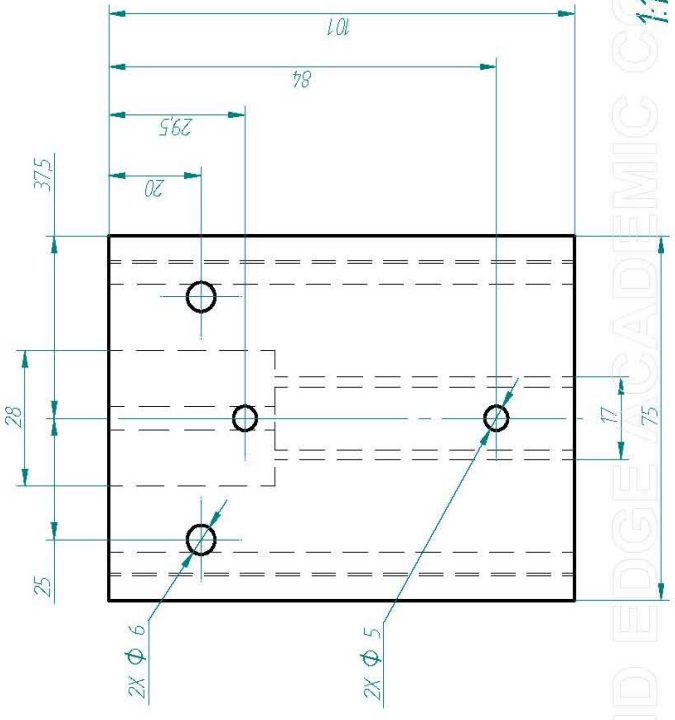
Dibujado	Nombre	Fecha	<b>SOLID EDGE</b> EDS-PLM SOLUTIONS ANILLO MOTORES
Comprobado	ESM	27/06/05	
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0.5$ y $\pm 1^\circ$			Título
			A3
			Plano
			Rev
			Archivo: ANILLOS_MOTORES.cuft
			Escala
			Peso
			Hoja 1 de 1



Revisión		Aprobado	
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



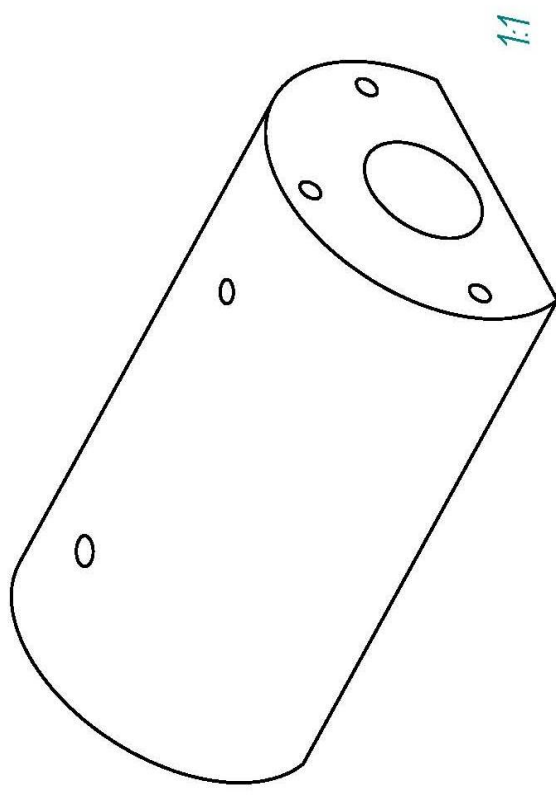
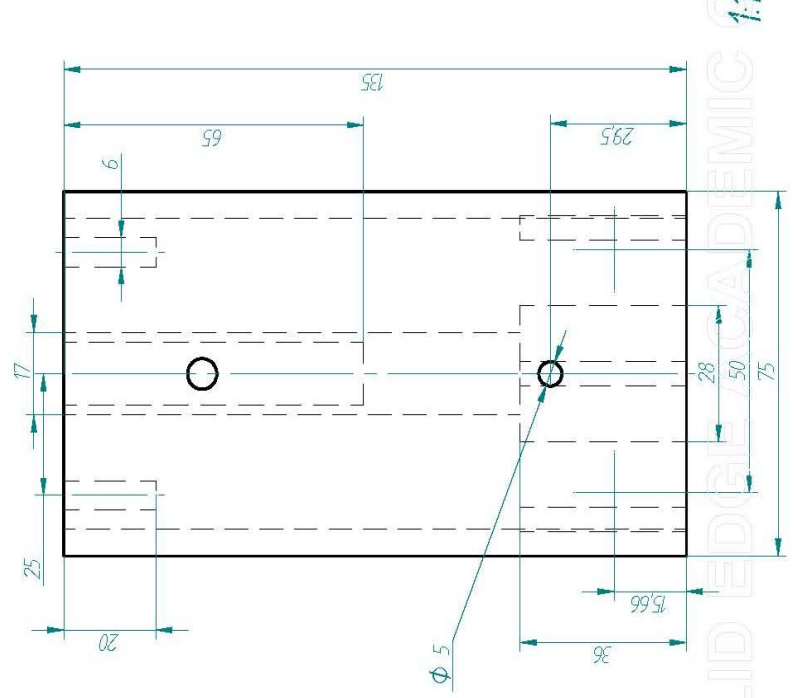
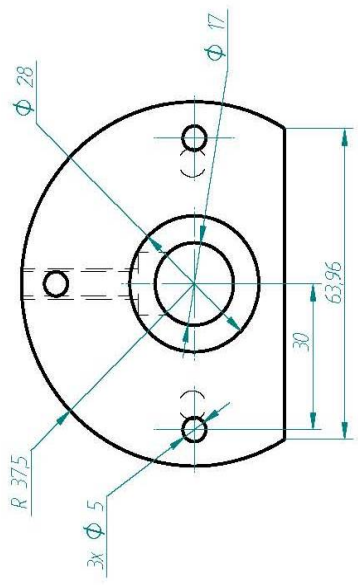
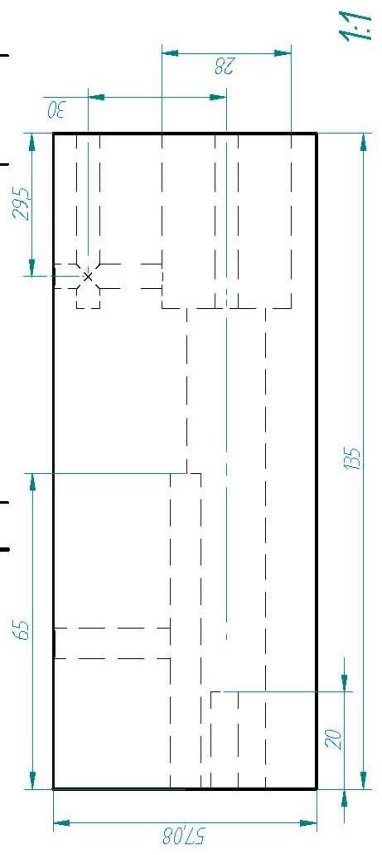
1:1



SOLID EDGE/ACADEMIC COPY 1:1

Nombre	Fecha	<b>SOLID EDGE</b> EDS-PLM SOLUTIONS APOYO ESTRUCTURA 12
Dibujado	27/06/05	
Comprobado		
Aprobado 1		
Aprobado 2		Título
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±1º		A3 Plano Archivo: APOYO ESTRUCTURA_12.dft
		Rev
		Escala
		Peso
		Hoja 1 de 1

Revisión		Fecha	Aprobado
Rev	Descripción		

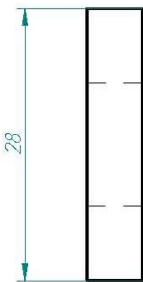


Dibujado	Nombre	Fecha	<b>SOLID EDGE</b> EDS-PLM SOLUTIONS APOYO ESTRUCTURA 2
Comprobado	58M	27/06/05	
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±º			Título A3 Plano Archivo: APOYO ESTRUCTURA-21.dft
Escala			Peso
Hoja			1 de 1

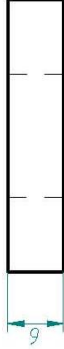
SOLID EDGE PLM SOLUTIONS DEMIC 1:1



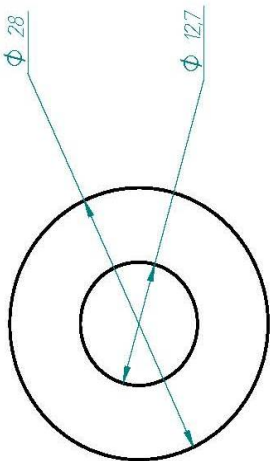
Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado



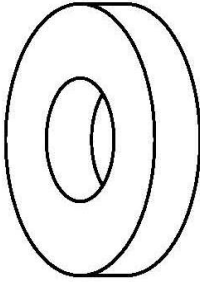
2:1



2:1



2:1

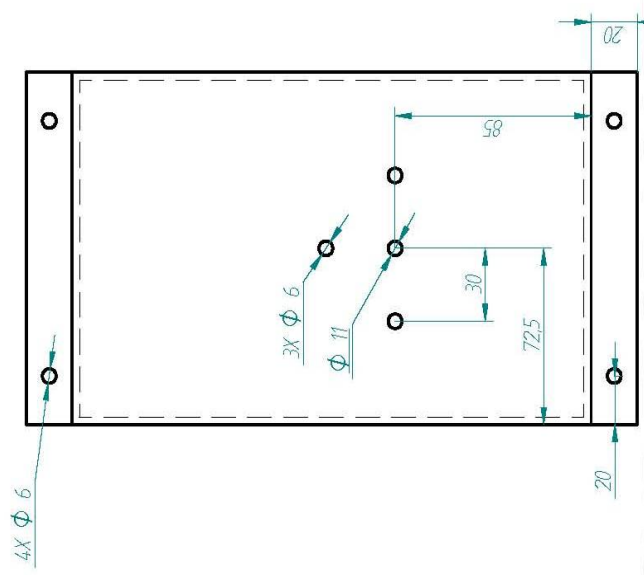
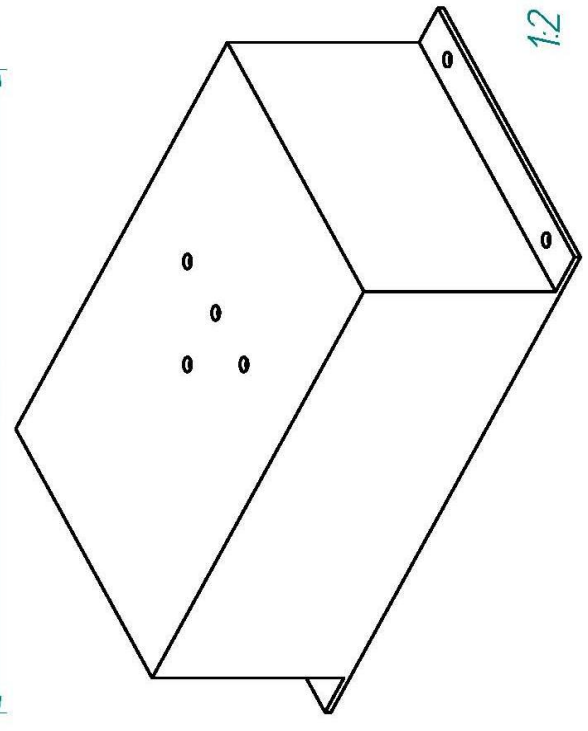
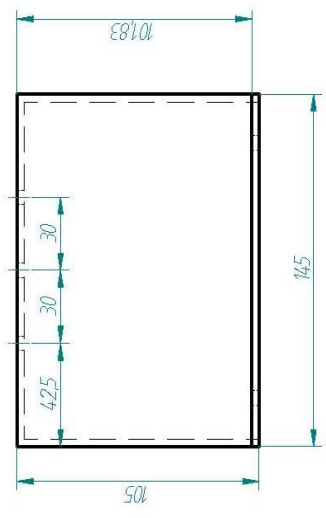
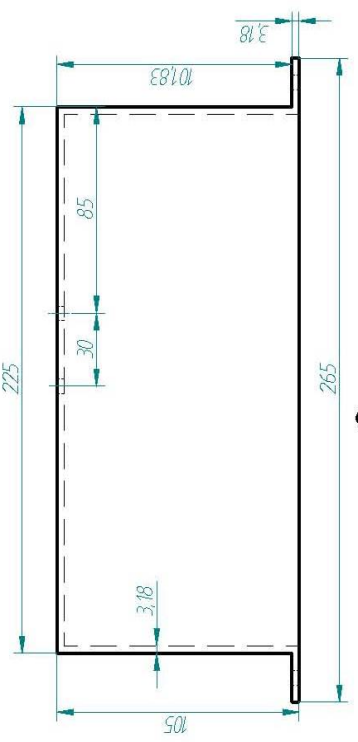


2:1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Dibujado	Nombre	Fecha	<b>SOLID EDGE</b> EDS-PLM SOLUTIONS  Título <b>BALINERAS</b>
Comprobado	58M	27/06/05	
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0.5$ y $\pm 1^\circ$			A3 Plano Archivo: BALINERAS.dft Escala Peso Hoja 1 de 1

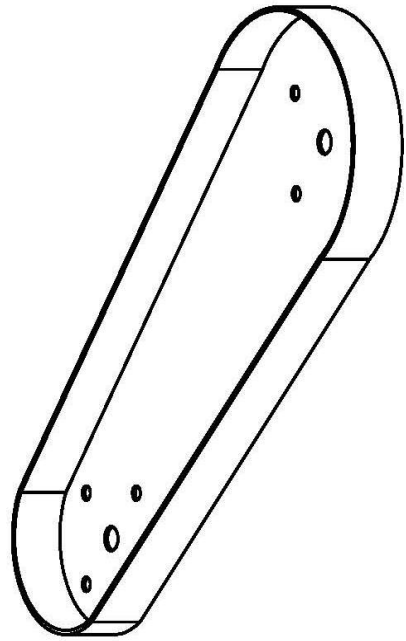
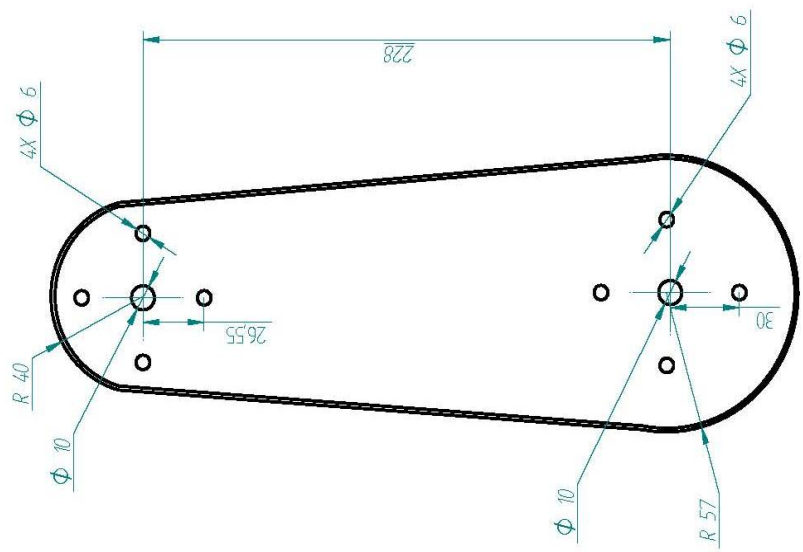
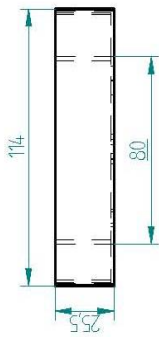
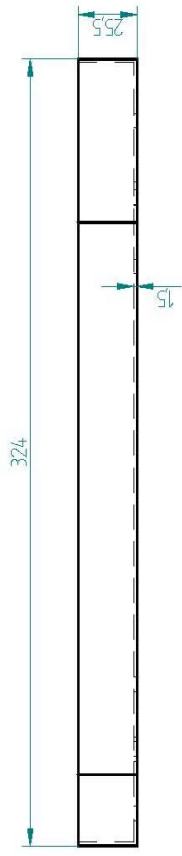
Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado



Nombre		Fecha	
E&M		27/06/05	
Dibujado			
Comprobado			
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±º			
Título		BASE	
Escala			
Plano		A3	
Archivo: BASE.dwg			
Peso			
Hoja		1 de 1	
Rev			

SOLID EDGE 1:2 FACADEMIC COPY

Revisiones		
Rev	Descripción	Fecha

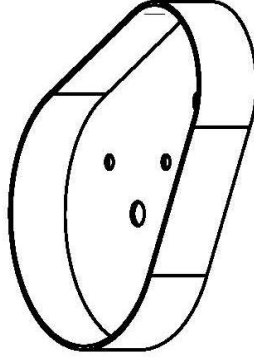
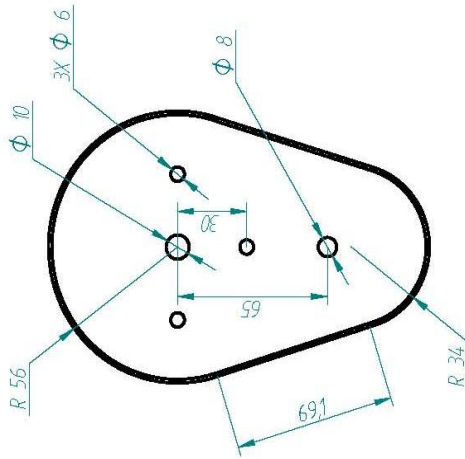
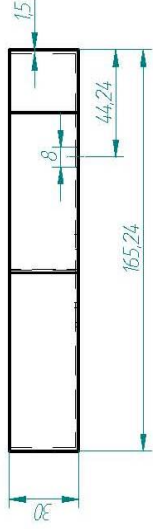
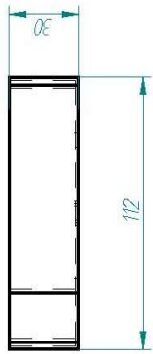



Nombre		Fecha	
58M		27/06/05	
Dibujado			
Comprobado			
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±º			
Título		BRAZO	
Escala			
Plano			
Rev			
Archivo: BRAZ0.rvt			
Peso			
Hoja		1 de 1	

**SOLID EDGE**  
EDS-PLM SOLUTIONS

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Revisiónes		
Rev	Descripción	Aprobado

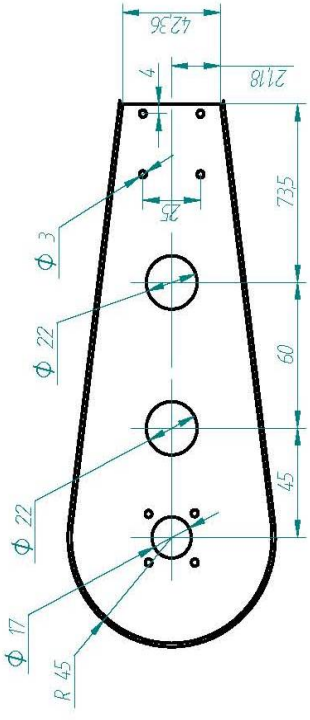


Nombre		Fecha	
E&M		27/06/05	
Dibujado			
Comprobado			
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±º			
Título		CINTURA	
Escala			
Rev			
Archivo: CINTURA.dwg			
Peso			
Hoja 1 de 1			

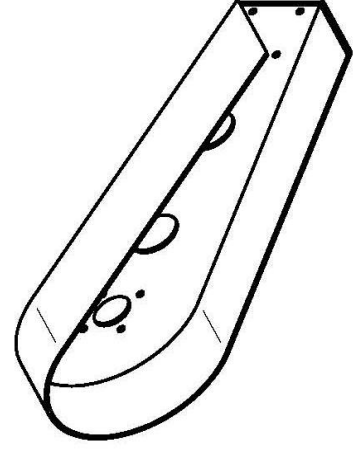
**SOLID EDGE**  
EDS-PLM SOLUTIONS

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

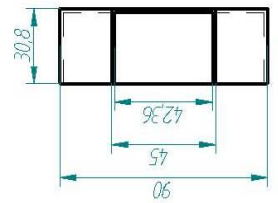
Revisión		Revisión	Fecha	Aprobado
Rev				
Descripción				



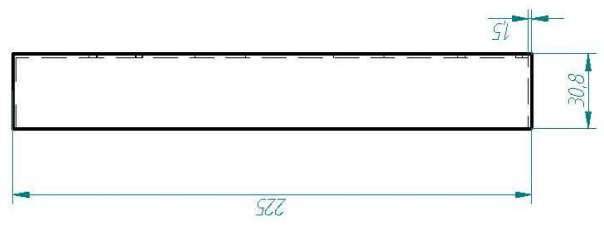
1:2



1:2



1:2



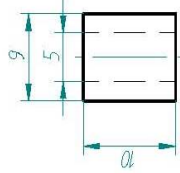
1:2

Nombre		Fecha
Dibujado		27/06/05
Comprobado		
Aprobado 1		
Aprobado 2		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0.5$ y $\pm 1^\circ$		
Título		Rev
SOLID EDGE EDS-PLM SOLUTIONS		
C000		
Plano		
Archivo: C000.dwg		
Escala		
Peso		
Hoja 1 de 1		

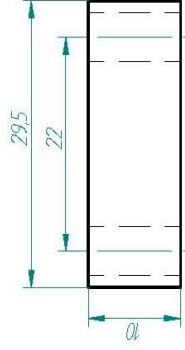
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Revisiones

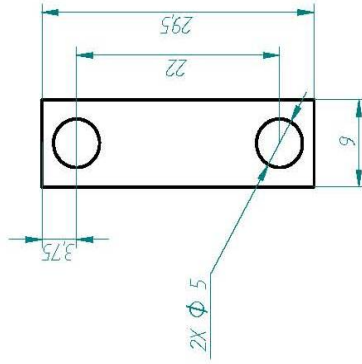
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



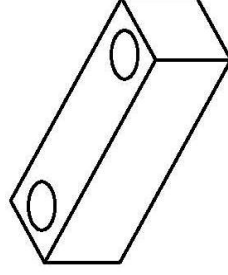
2:1



2:1



2:1



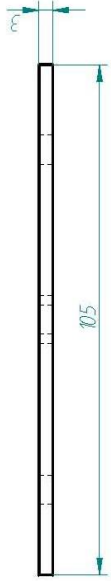
2:1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

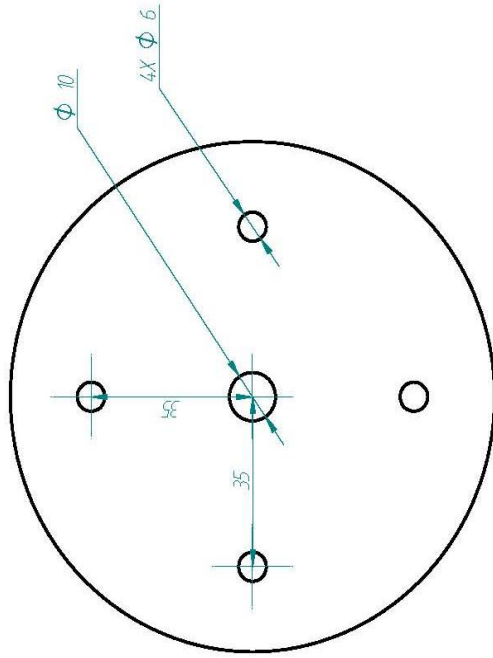
Dibujado	Nombre	Fecha	<b>SOLID EDGE</b> EDS-PLM SOLUTIONS  CUNAS SERVOMOTORES
Comprobado	ESM	27/06/05	
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±º			Título
			A3
			Plano
			Rev
			Archivo: CUNAS_SERVOMOTORES.dwg
			Escala
			Peso
			Hoja 1 de 1

Revisiones

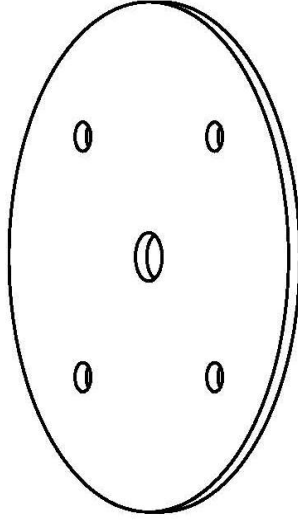
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



1:1



1:1



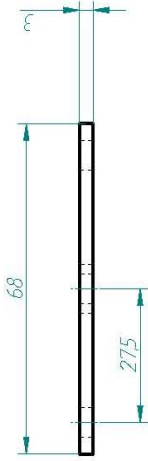
1:1

Dibujado	Nombre	Fecha	<b>SOLID EDGE</b> EDS-PLM SOLUTIONS  DISCOS GRANDES
Comprobado	ESM	27/06/05	
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0.5$ y $\pm 1^\circ$			Título A3 Plano Archivo: DISCOS_GRANDES.suff Escala Peso Hoja 1 de 1

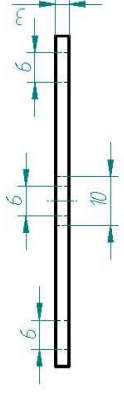
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Revisiones

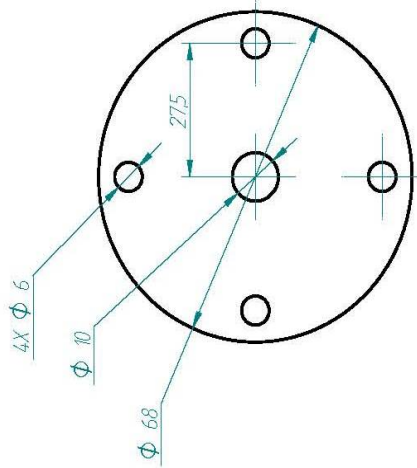
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



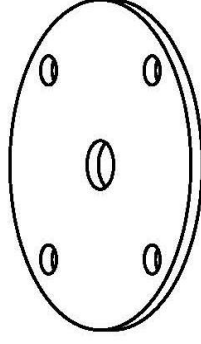
1:1



1:1



1:1

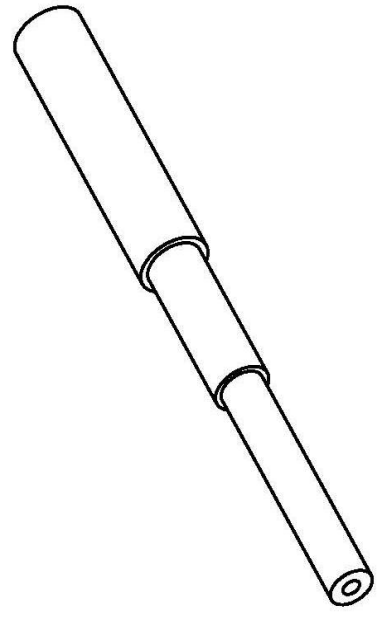
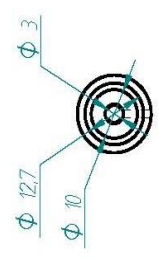
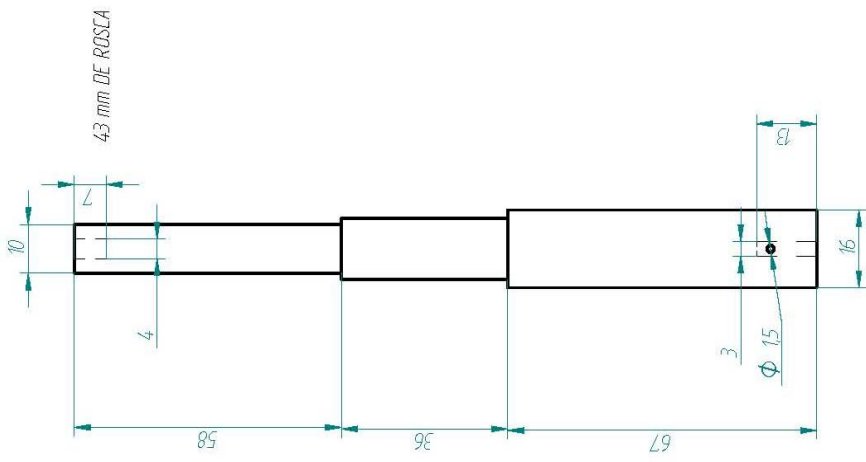


1:1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Dibujado	Nombre	Fecha	<b>SOLID EDGE</b> EDS-PLM SOLUTIONS DISCOS PEQUEÑOS
Comprobado	58M	27/06/05	
Aprobado 1			
Aprobado 2			Título
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±º			Plano
			A3
			Rev
			Archivo: DISCOS_PEQUEÑOS.CAT
			Escala
			Peso
			Hoja 1 de 1

Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado



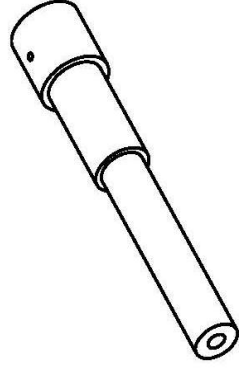
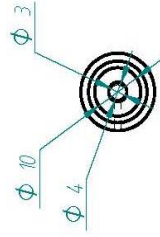
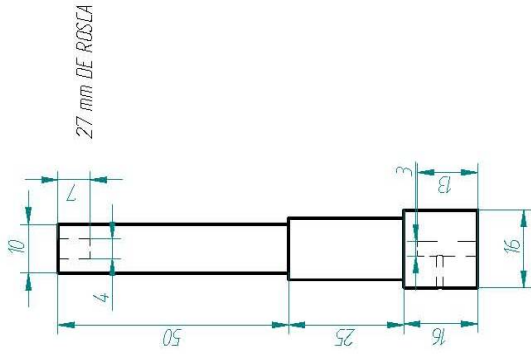
1:1

Dibujado	Nombre	Fecha	<b>SOLID EDGE</b> EDS-PLM SOLUTIONS Título <b>EJE CINTURA</b>
Comprobado	ESM	27/06/05	
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0.5$ y $\pm 1^\circ$			A3 Plano Archivo: EB_CINTURA.dft Escala Peso Hoja 1 de 1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Revisiones

Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



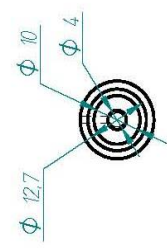
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Dibujado	Nombre	Fecha	<b>SOLID EDGE</b> EDS-PLM SOLUTIONS Título <b>EJE C000</b>
Comprobado	ESM	27/06/05	
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±1º			Plano <b>A3</b>
			Archivo: EB_C000.dft Escala
			Rev Hoja 1 de 1

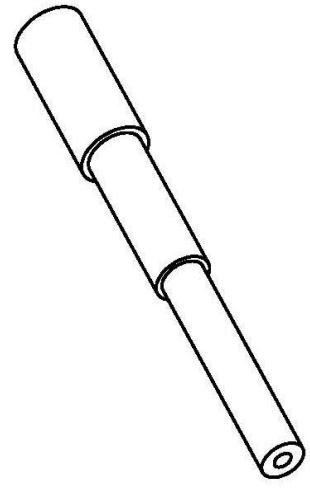
Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado



1:1



1:1



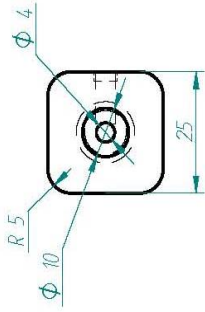
1:1

Dibujado	Nombre	Fecha	<b>SOLID EDGE</b> EDS-PLM SOLUTIONS  <b>EJE HOMBRO</b>
Comprobado	ESM	27/06/05	
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±º			Título  A3 Plano Archivo: EB_HOMBRUOFFI Escala Peso Hoja 1 de 1

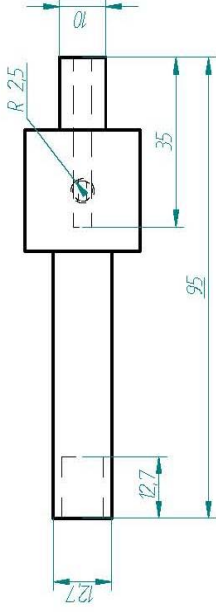
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Revisiónes

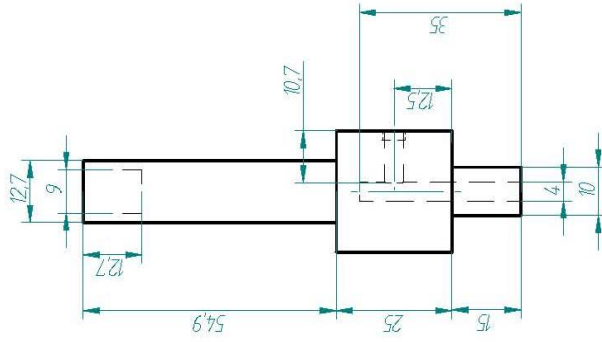
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



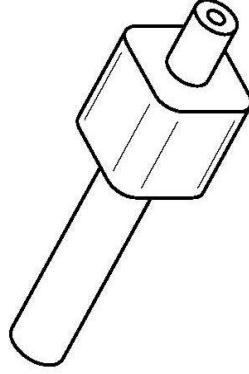
1:1



1:1



1:1

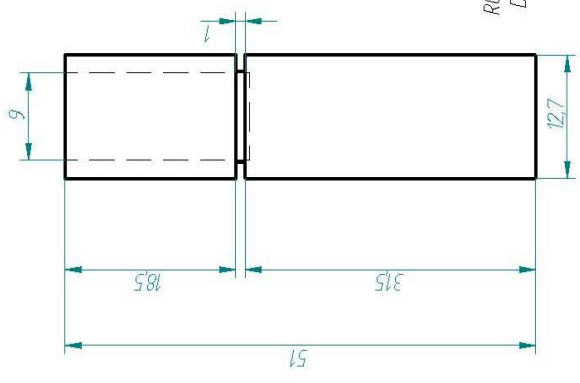


1:1

Dibujado	Nombre	Fecha	<b>SOLID EDGE</b> EDS-PLM SOLUTIONS Título <b>EJE PINZA</b>
Comprobado	5&M	27/06/05	
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0.5$ y $\pm 1^\circ$			Plano A3
Archivo: EB_PINZA.dxf			Escala Rev
Escala			Peso Hoja 1 de 1

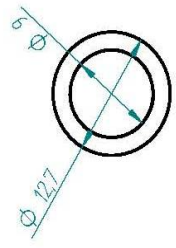
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado

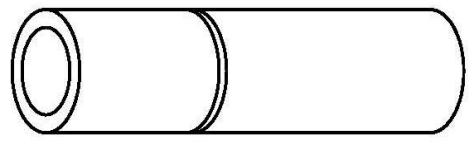


ROSCA DE 7 mm X 12 mm  
DE DIAMETRO

2:1



2:1

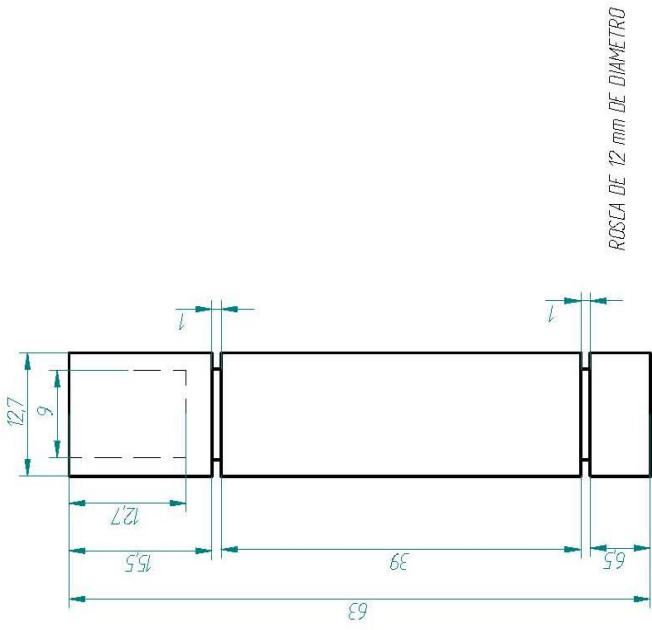


2:1

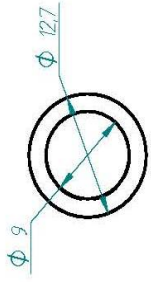
Dibujado	Nombre	Fecha	<b>SOLID EDGE</b> EDS-PLM SOLUTIONS
Comprobado	ESM	27/06/05	
Aprobado 1			Título
Aprobado 2			EJE SERVOMOTOR 1
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0.5$ y $\pm 1^\circ$			Plano
			A3
			Rev
			Archivo: EB_SERV_1.dwg
			Escala
			Peso
			Hoja 1 de 1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Revisiones		
Rev	Descripción	Fecha



2:1



2:1

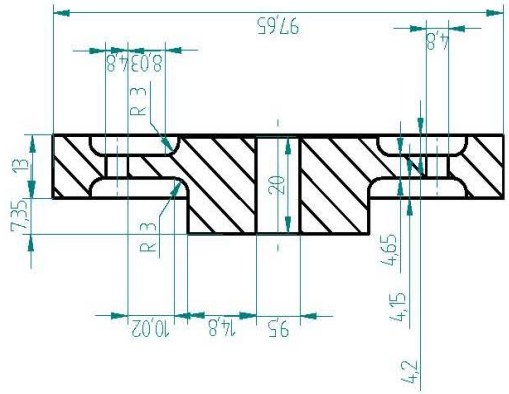


2:1

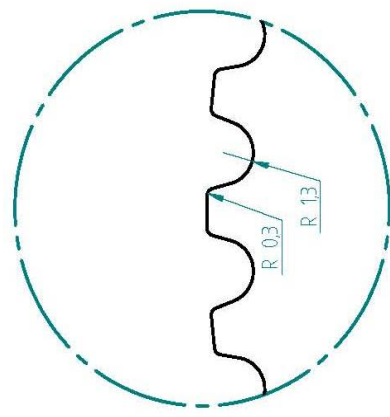
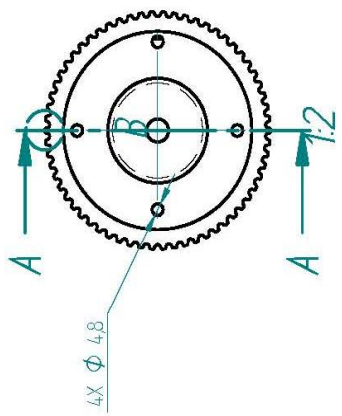
Dibujado	Nombre	Fecha	<b>SOLID EDGE</b> EDS-PLM SOLUTIONS
Comprobado	ESM	27/06/05	
Aprobado 1			Título
Aprobado 2			EJE SERVOMOTOR 2
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0.5$ y $\pm 1^\circ$			Plano
			A3
			Rev
		Archivo: EB_SERV_2.dft	
		Escala	Peso
			Hoja 1 de 1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

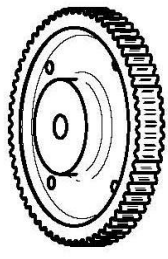
Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado



CORTE A-A  
1:1



DETALLE B

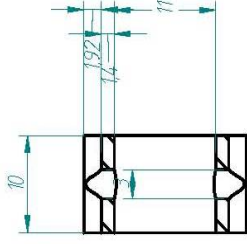
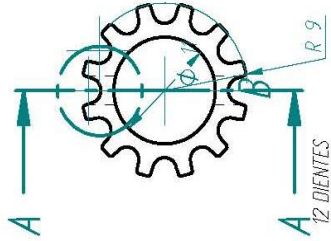


Dibujado	Nombre	Fecha	<b>SOLID EDGE</b> EDS-PLM SOLUTIONS
Comprobado	58M	27/06/05	
Aprobado 1			Título
Aprobado 2			ENGRANE GRANDE ALUMINIO
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±1°			Plano
			A3
			Rev
			Archivo: ENGRANE_GRANDE_ALUMINIO.dft
			Escala
			Peso
			Hoja 1 de 1

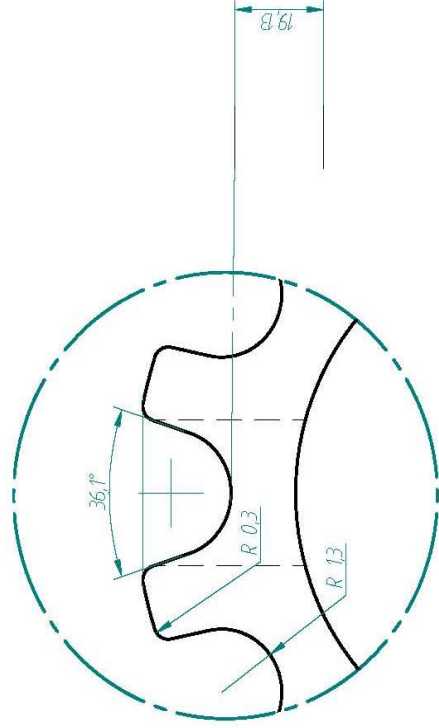
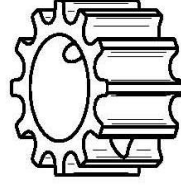
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Revisiónes

Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



CORTE A-A

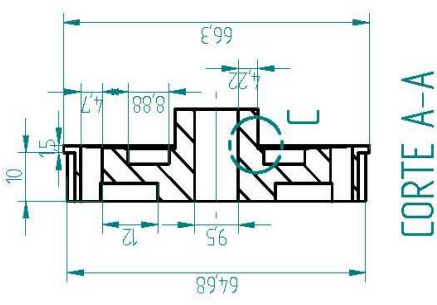
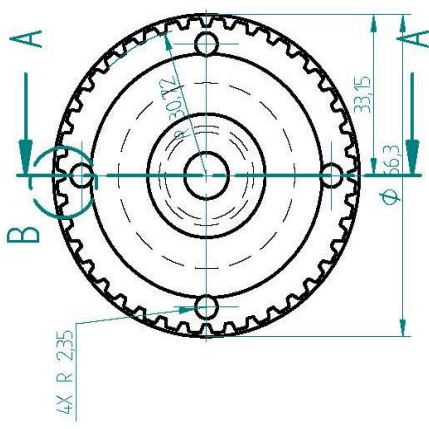


DETALLE B

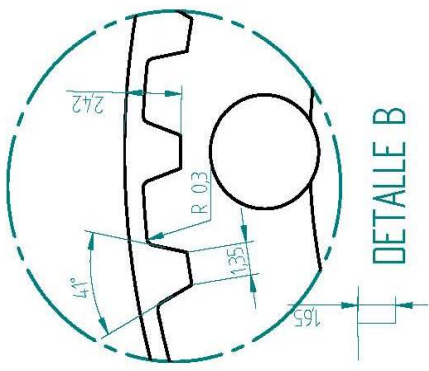
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Dibujado	Nombre	Fecha	<b>SOLID EDGE</b> EDS-PLM SOLUTIONS
Comprobado	58M	27/06/05	
Aprobado 1			Título
Aprobado 2			ENGRANE GRANDE MOTOR
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0.5$ y $\pm 1^\circ$			Plano
			A3
			Rev
			Archivo: ENGRANE_GRANDE_MOTOR.dft
			Escala
			Peso
			Hoja 1 de 1

Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado

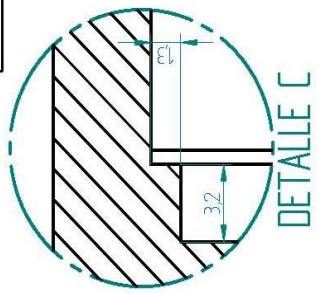


CORTE A-A



DETALLE B

# DIENTES : 40

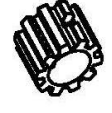
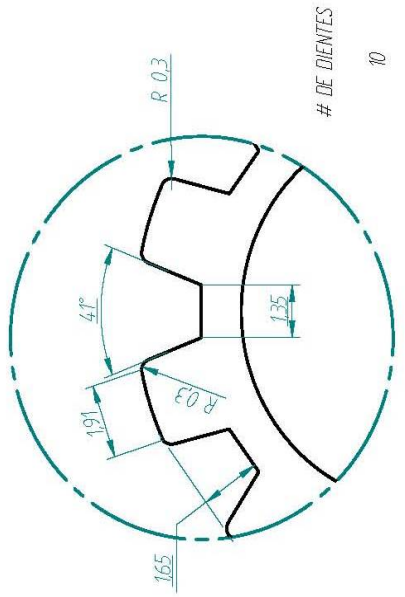
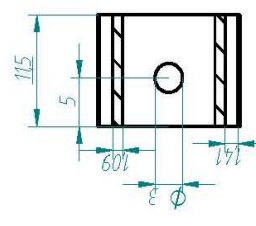
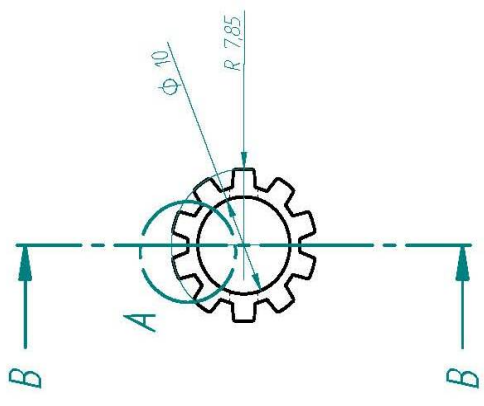


DETALLE C

Nombre	Fecha	<b>SOLID EDGE</b> EDS-PLM SOLUTIONS ENGRANE PEQUEÑO ALUMINIO
Dibujado	27/06/05	
Comprobado		
Aprobado 1		
Aprobado 2		Título
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±1º		A3
		Plano
		Rev
		Archivo: ENGRANE_PEQUEÑO_ALUMINIO.dft
		Escala
		Peso
		Hoja 1 de 1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado

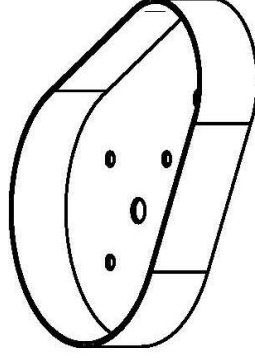
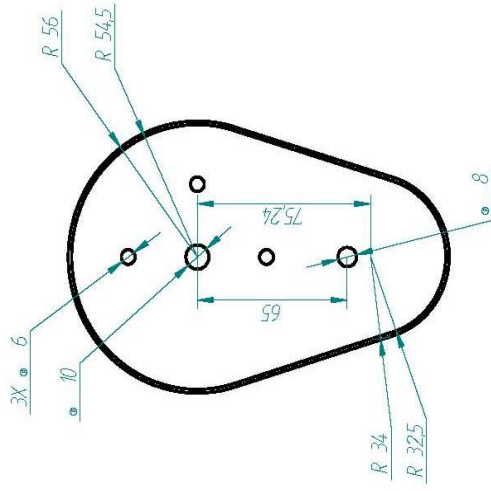
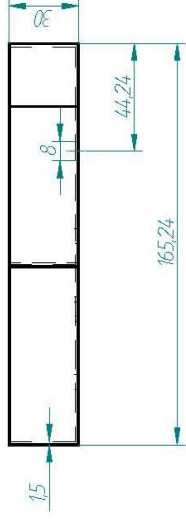
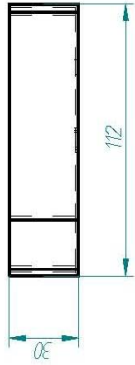


Dibujado	Nombre	Fecha	<b>SOLID EDGE</b> EDS-PLM SOLUTIONS <b>ENGRANE PEQUEÑO MOTOR</b>
Comprobado	5&M	27/06/05	
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0.5$ y $\pm 1^\circ$			Título <b>ENGRANE PEQUEÑO MOTOR</b>
Escala <b>A3</b>			Plano <b>ENGRANE PEQUEÑO MOTOR</b>
Archivo: ENGRANE_PEQUEÑO_MOTOR.dft			Rev <b>1</b>
Escala <b>1</b>			Peso <b>Hoja 1 de 1</b>

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Revisiones

Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



1:2

1:2

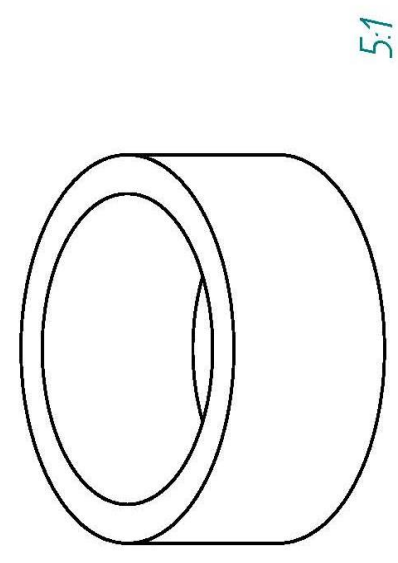
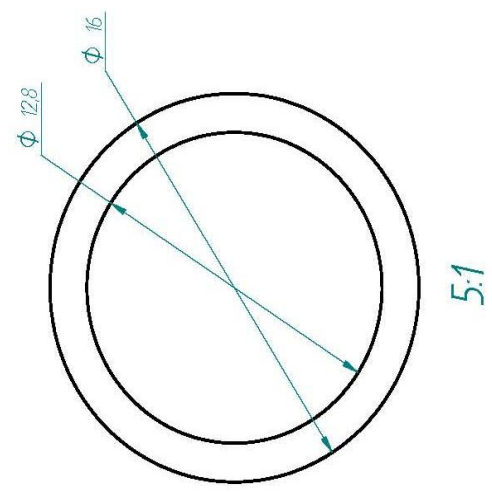
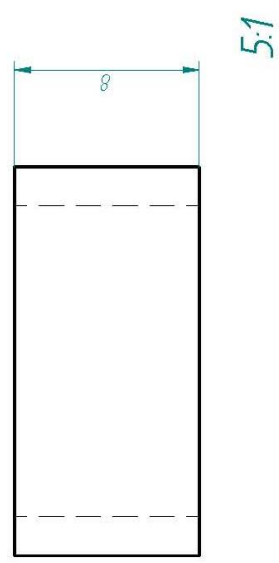
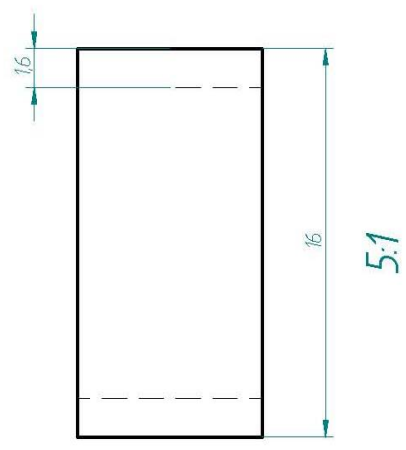
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Dibujado	Nombre	Fecha	Título
Comprobado	EDM	27/06/05	
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0.5$ y $\pm 1^\circ$			
A3		Plano	Rev
Escala		Archivo: HOMBRU.dft	
		Peso	Hoja 1 de 1

SOLID EDGE  
EDS-PLM SOLUTIONS

HOMBRU

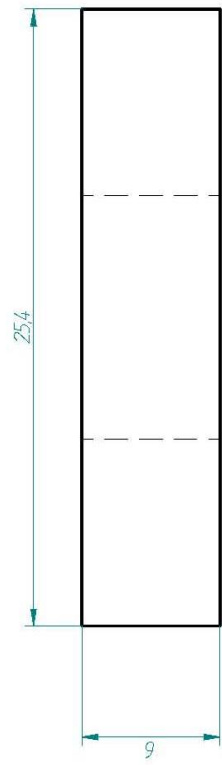
Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado



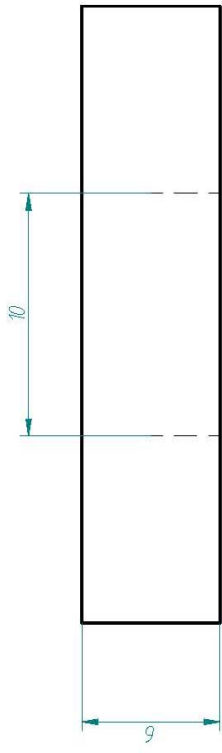
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Dibujado	Nombre	Fecha	<b>SOLID EDGE</b> EDS-PLM SOLUTIONS SEPARADOR BALINERAS
Comprobado	58M	27/06/05	
Aprobado 1			
Aprobado 2			Título A3 Plano Archivo: SEPARADOR_BALINERAS.DJT
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0.5$ y $\pm 1^\circ$			Escala Peso Hoja 1 de 1

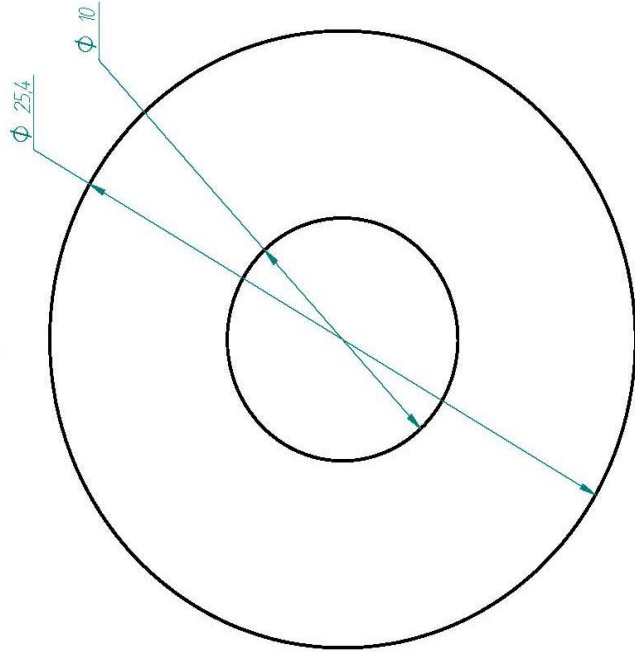
Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado



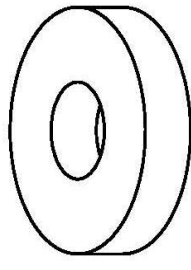
5:1



5:1



5:1

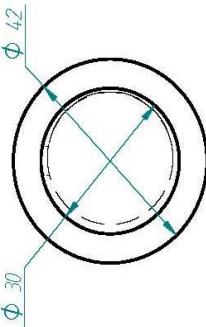


2:1

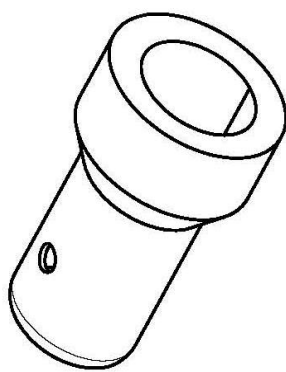
Dibujado	Nombre	Fecha	<b>SOLID EDGE</b> EDS-PLM SOLUTIONS SOPORTES BRAZO
Comprobado	5&M	27/06/05	
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±º			Título
			Plano
			Rev
			Escala
			Peso
			Hoja 1 de 1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

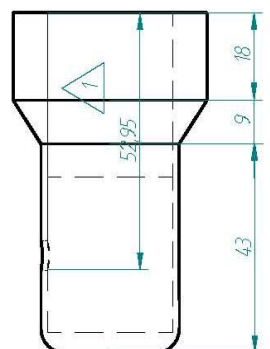
Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado



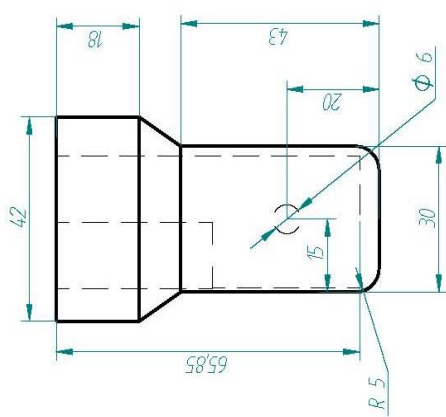
1:1



1:1



1:1

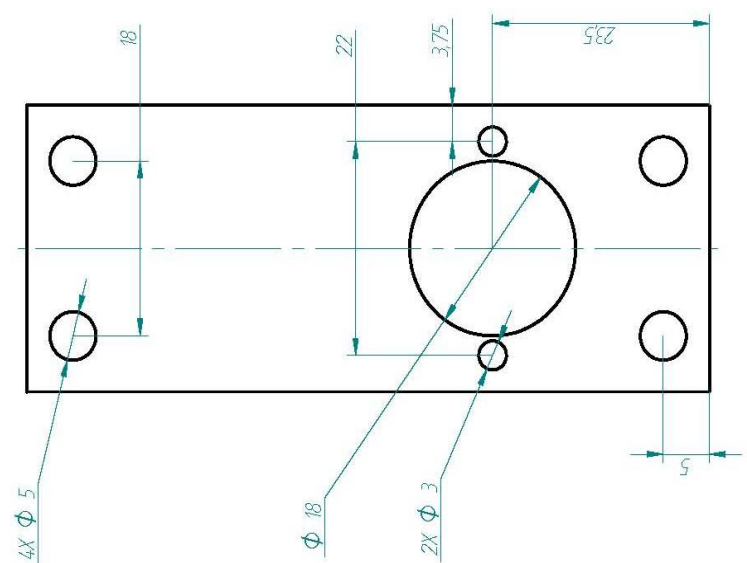
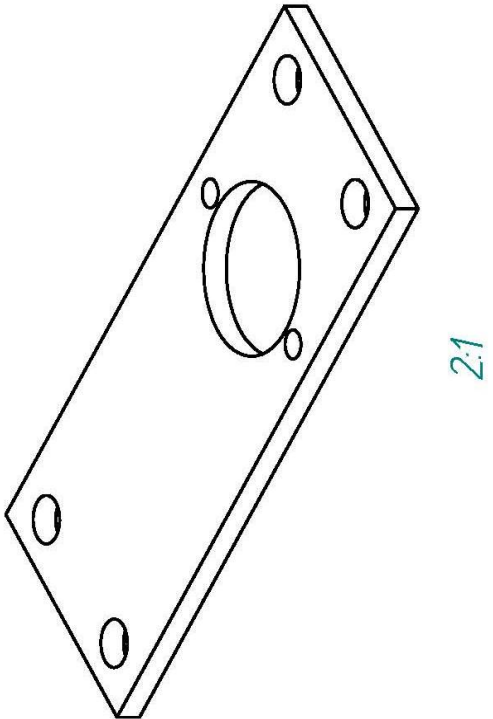
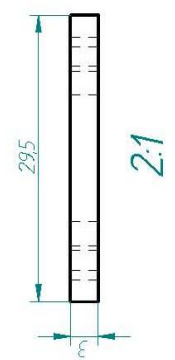
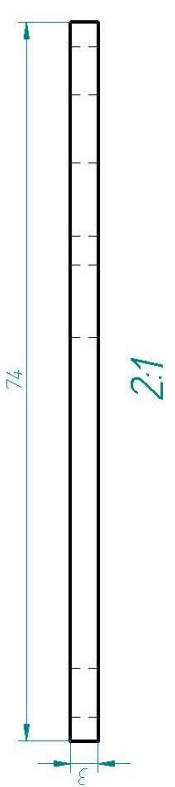


1:1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Dibujado	Nombre	Fecha	<b>SOLID EDGE</b> EDS-PLM SOLUTIONS
Comprobado	58M	27/06/05	
Aprobado 1			Título
Aprobado 2			SOPORTE SENSOR
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0.5$ y $\pm 1^\circ$			Plano
			A3
			Rev
			Archivo: SOPORTE_SENSOR.dft
			Escala
			Peso
			Hoja 1 de 1

Revisiones		
Rev	Descripción	Fecha

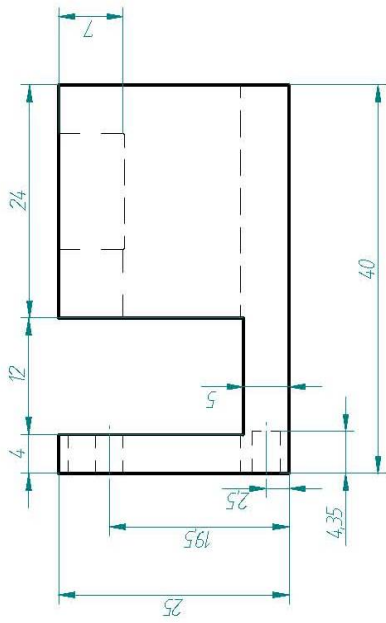



SOLID EDGE 2:1 ACADEMIC COPY

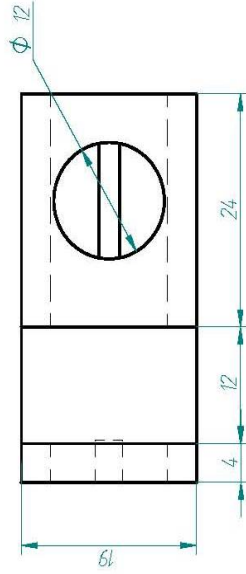
Dibujado	Nombre	Fecha	<b>SOLID EDGE</b> EDS-PLM SOLUTIONS SOPORTE SERVOMOTOR
Comprobado	ESM	27/06/05	
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0.5$ y $\pm 1^\circ$			Título A3 Plano Archivo: SOPORTE_SERVOMOTOR.dwg Escala Peso Hoja 1 de 1

Revisiónes

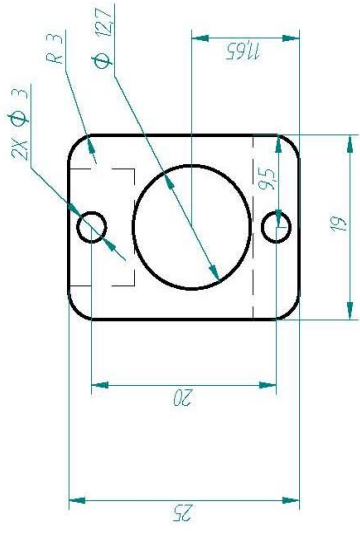
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



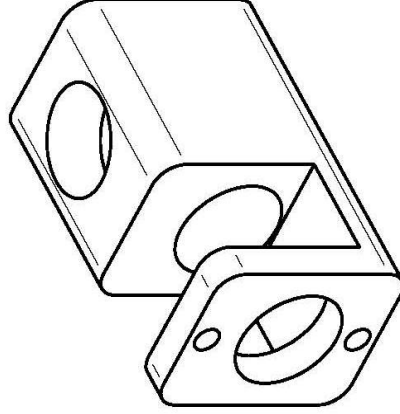
2:1



2:1



2:1



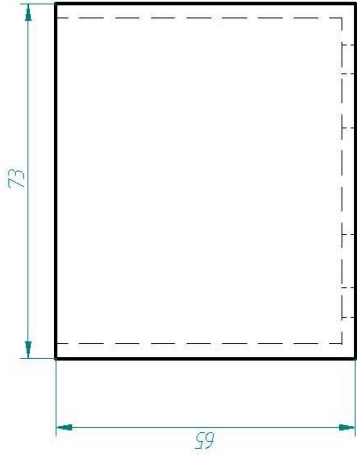
2:1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

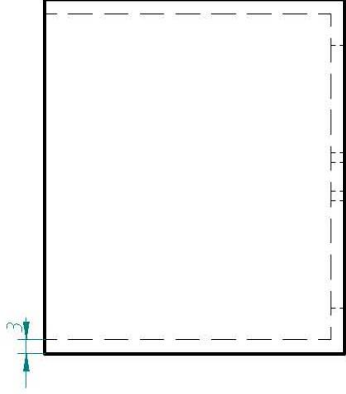
Dibujado	Nombre	Fecha	<b>SOLID EDGE</b> EDS-PLM SOLUTIONS
Comprobado	5&M	27/06/05	
Aprobado 1	Título		SOPORTE EJES SERVOMOTORES
Aprobado 2	A3		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±º			Plano Rev
Escala			Peso
Hoja 1 de 1			

Revisiones

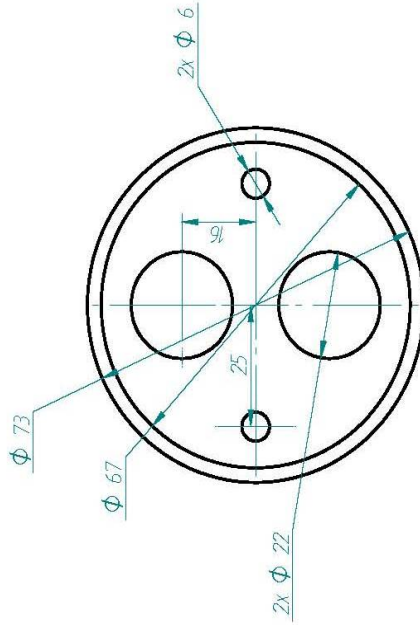
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



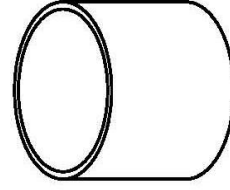
1:1



1:1



1:1



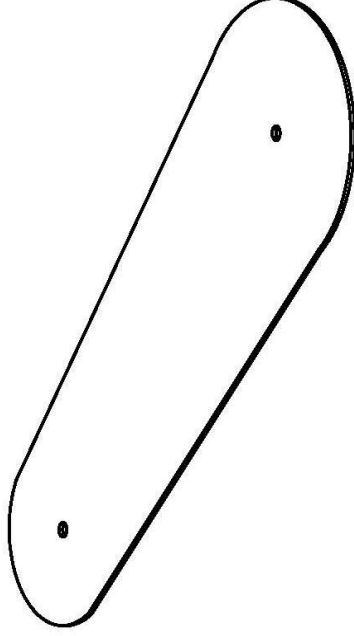
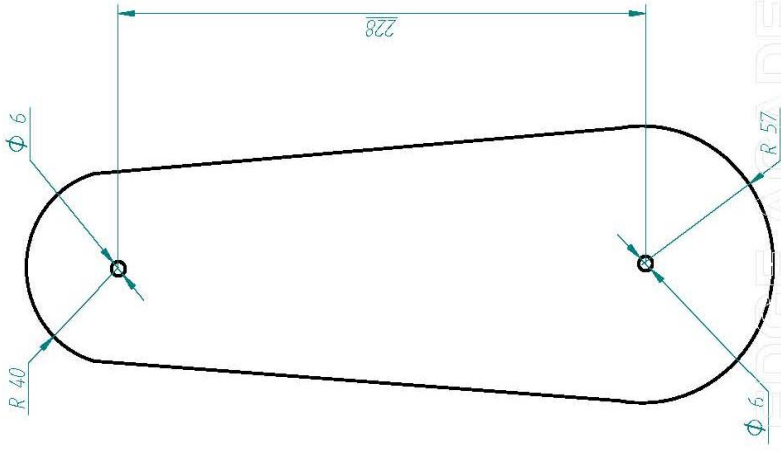
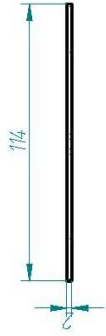
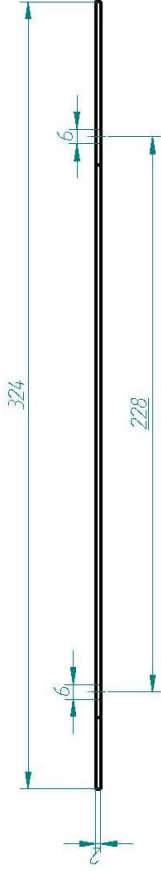
1:2

Dibujado	Nombre	Fecha	<b>SOLID EDGE</b> EDS-PLM SOLUTIONS  TAPA APOYO ESTRUCTURA 1
Comprobado	ESM	27/06/05	
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0.5$ y $\pm 1^\circ$			Título
			A3
			Plano
			Rev
			Archivo: TAPA_APOYO_ESTRUCTURA_1.dft
			Escala
			Peso
			Hoja 1 de 1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Revisiones

Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

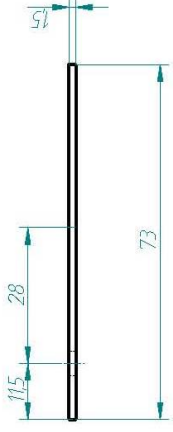


Dibujado	Nombre	Fecha	<b>SOLID EDGE</b> EDS-PLM SOLUTIONS TAPA BRAZO
Comprobado	58M	27/06/05	
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0.5$ y $\pm 1^\circ$			Título
			A3
			Plano
			Rev
			Archivo: TAPA_BRAZO.dft
			Escala
			Peso
			Hoja 1 de 1

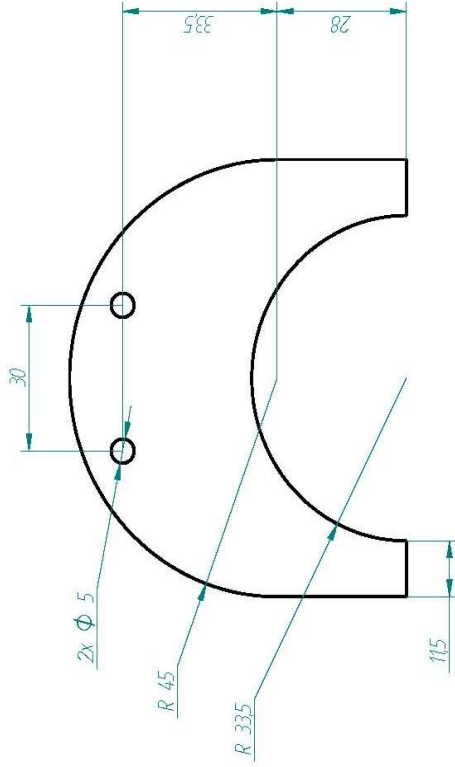
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Revisión

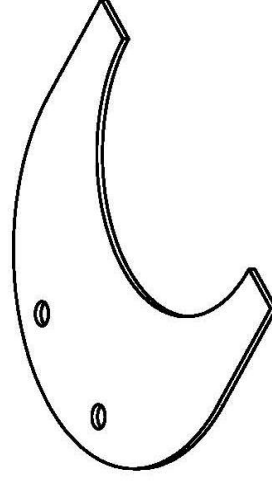
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



1:1



1:1



1:1

Dibujado	Nombre	Fecha	TAPA CODO
Comprobado	EDM	27/06/05	
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±º			Título
			Plano
			Rev
			Archivo: TAPA_CODO.dxf
			Escala
			Peso
			Hoja 1 de 1

SOLID EDGE  
EDS-PLM SOLUTIONS

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

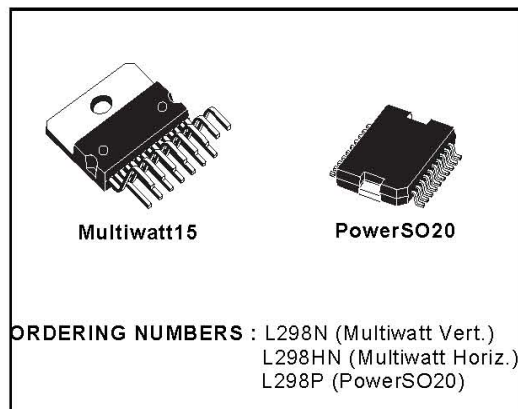
**ANEXO C**  
**HOJAS DE DATOS CIRCUITOS ELECTRÓNICOS**

## DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

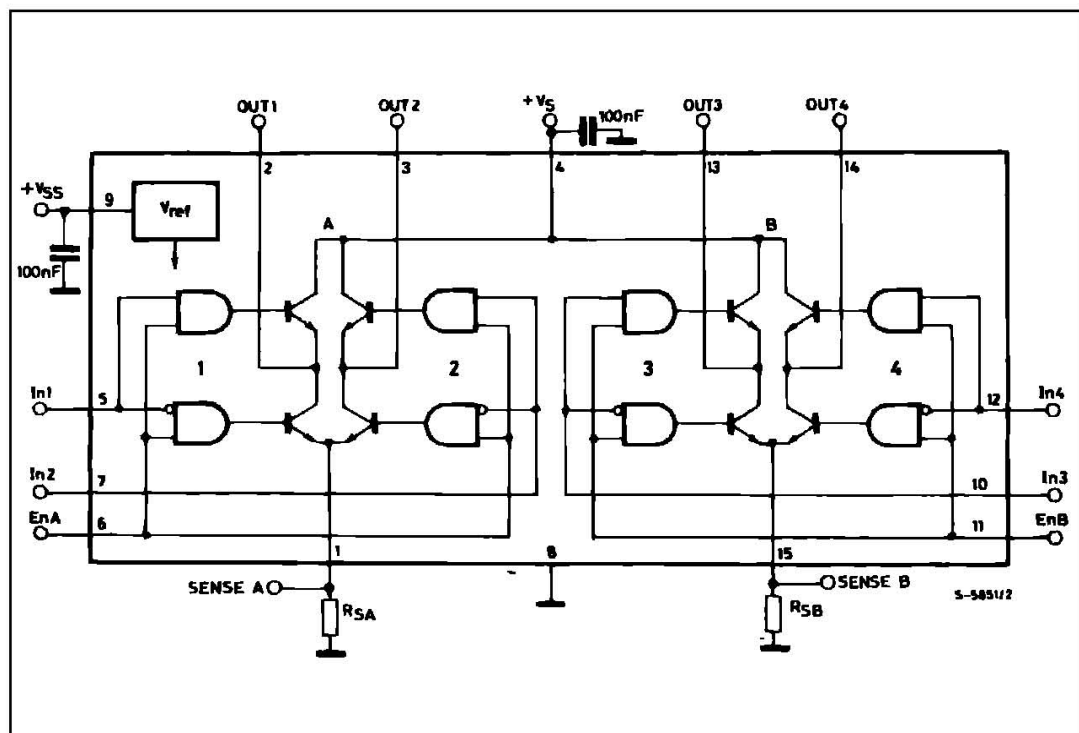
### DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the con-



nection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

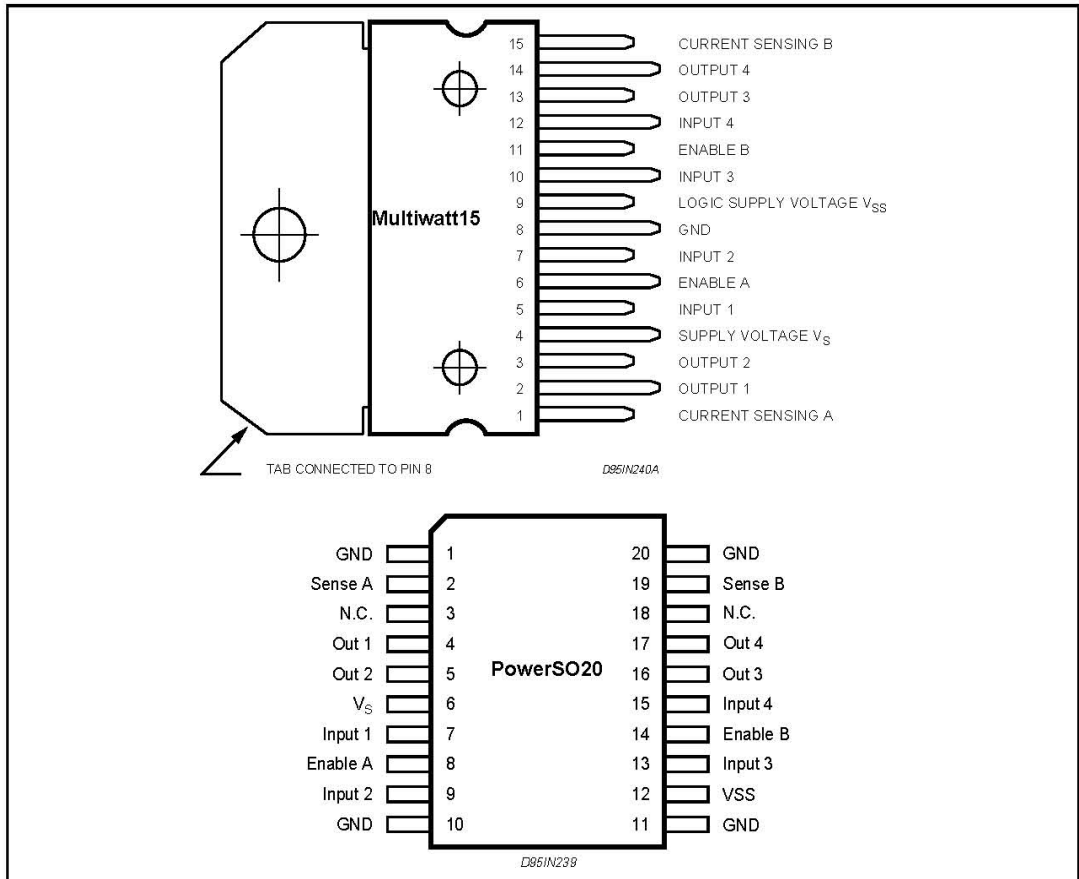
### BLOCK DIAGRAM



**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_S$	Power Supply	50	V
$V_{SS}$	Logic Supply Voltage	7	V
$V_i, V_{en}$	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
$I_o$	Peak Output Current (each Channel)		
	- Non Repetitive (t = 100 $\mu$ s)	3	A
	- Repetitive (80% on -20% off; t <sub>on</sub> = 10ms)	2.5	A
	-DC Operation	2	A
$V_{sens}$	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
$P_{tot}$	Total Power Dissipation (T <sub>case</sub> = 75°C)	25	W
$T_{op}$	Junction Operating Temperature	-25 to 130	°C
$T_{stg}, T_j$	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	°C

**PIN CONNECTIONS (top view)**



**THERMAL DATA**

Symbol	Parameter	PowerSO20	Multiwatt15	Unit
$R_{th\ j-case}$	Thermal Resistance Junction-case	Max.	3	°C/W
$R_{th\ j-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max.	13 (*)	°C/W

(\*) Mounted on aluminum substrate

Figure 5 : Sink Current Delay Times vs. Input 0 V Enable Switching.

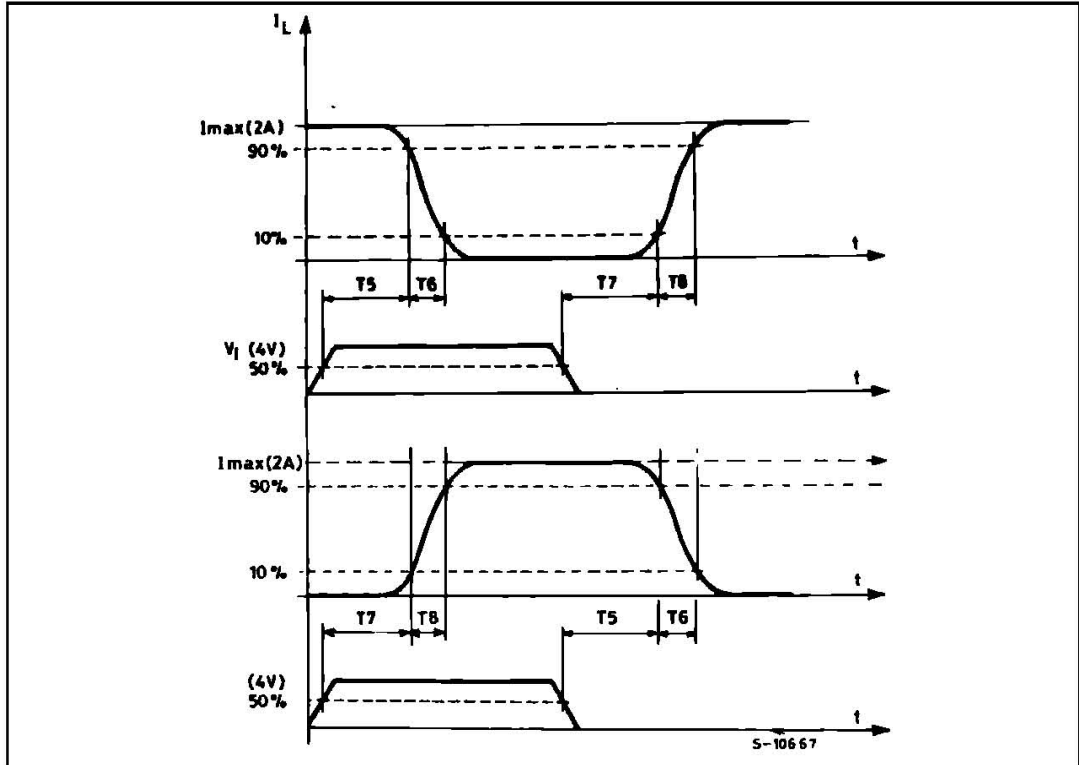
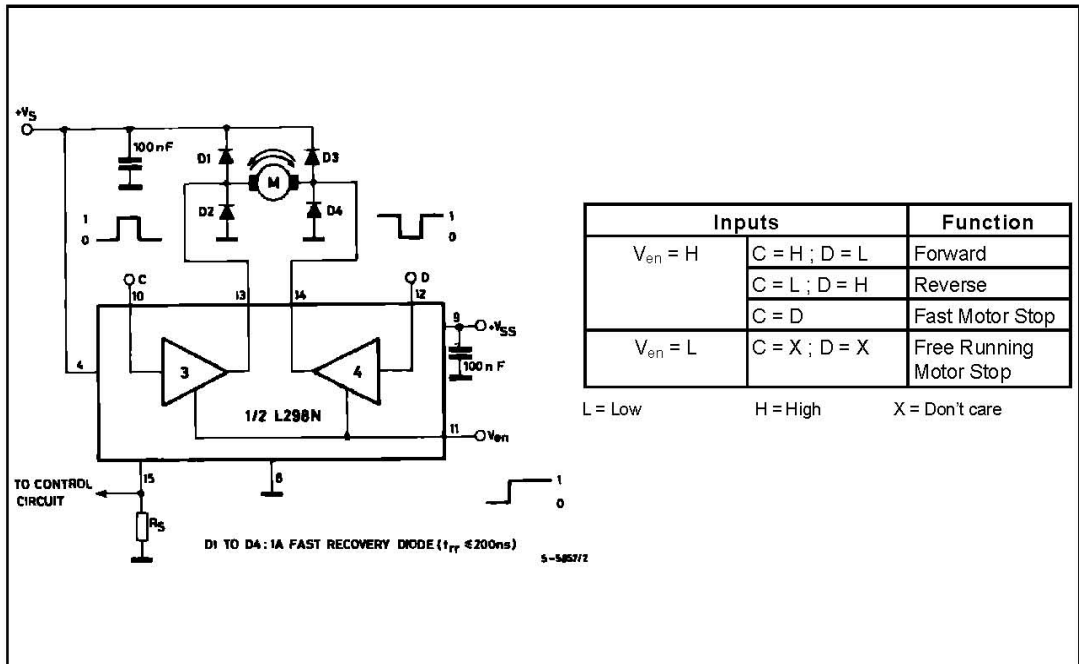
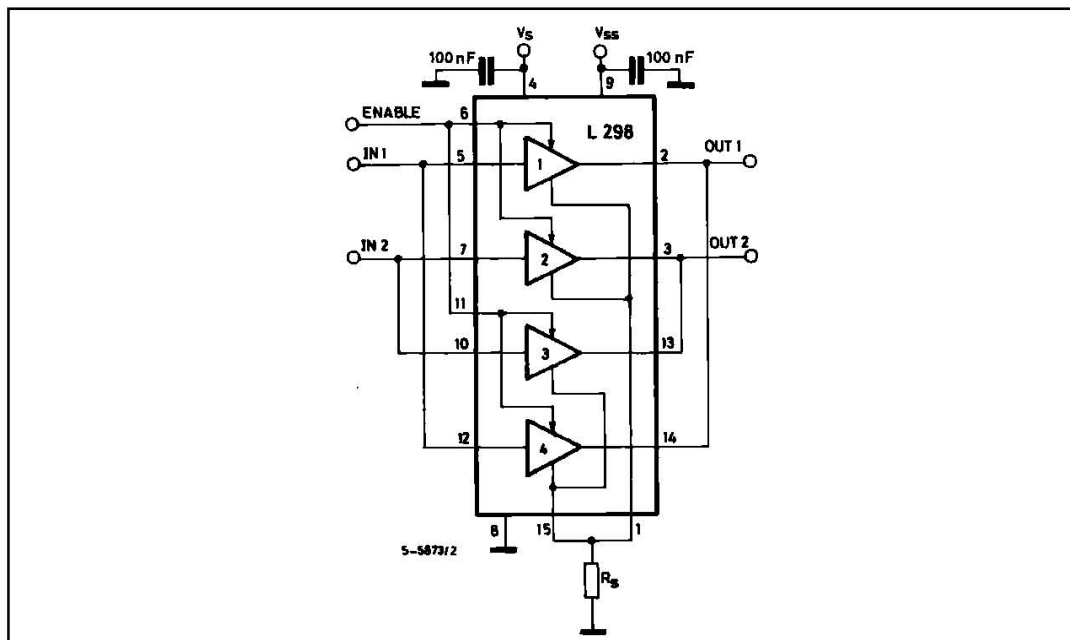


Figure 6 : Bidirectional DC Motor Control.



**Figure 7 :** For higher currents, outputs can be paralleled. Take care to parallel channel 1 with channel 4 and channel 2 with channel 3.



## APPLICATION INFORMATION (Refer to the block diagram)

### 1.1. POWER OUTPUT STAGE

The L298 integrates two power output stages (A ; B). The power output stage is a bridge configuration and its outputs can drive an inductive load in common or differential mode, depending on the state of the inputs. The current that flows through the load comes out from the bridge at the sense output : an external resistor ( $R_{SA}$  ;  $R_{SB}$ .) allows to detect the intensity of this current.

### 1.2. INPUT STAGE

Each bridge is driven by means of four gates the input of which are In1 ; In2 ; EnA and In3 ; In4 ; EnB. The In inputs set the bridge state when The En input is high ; a low state of the En input inhibits the bridge. All the inputs are TTL compatible.

## 2. SUGGESTIONS

A non inductive capacitor, usually of 100 nF, must be foreseen between both  $V_s$  and  $V_{ss}$ , to ground, as near as possible to GND pin. When the large capacitor of the power supply is too far from the IC, a second smaller one must be foreseen near the L298.

The sense resistor, not of a wire wound type, must be grounded near the negative pole of  $V_s$  that must be near the GND pin of the I.C.

Each input must be connected to the source of the driving signals by means of a very short path.

Turn-On and Turn-Off : Before to Turn-ON the Supply Voltage and before to Turn it OFF, the Enable input must be driven to the Low state.

## 3. APPLICATIONS

Fig 6 shows a bidirectional DC motor control Schematic Diagram for which only one bridge is needed. The external bridge of diodes D1 to D4 is made by four fast recovery elements ( $t_{rr} \leq 200$  nsec) that must be chosen of a  $V_F$  as low as possible at the worst case of the load current.

The sense output voltage can be used to control the current amplitude by chopping the inputs, or to provide overcurrent protection by switching low the enable input.

The brake function (Fast motor stop) requires that the Absolute Maximum Rating of 2 Amps must never be overcome.

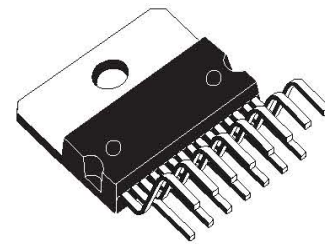
When the repetitive peak current needed from the load is higher than 2 Amps, a paralleled configuration can be chosen (See Fig.7).

An external bridge of diodes are required when inductive loads are driven and when the inputs of the IC are chopped ; Schottky diodes would be preferred.

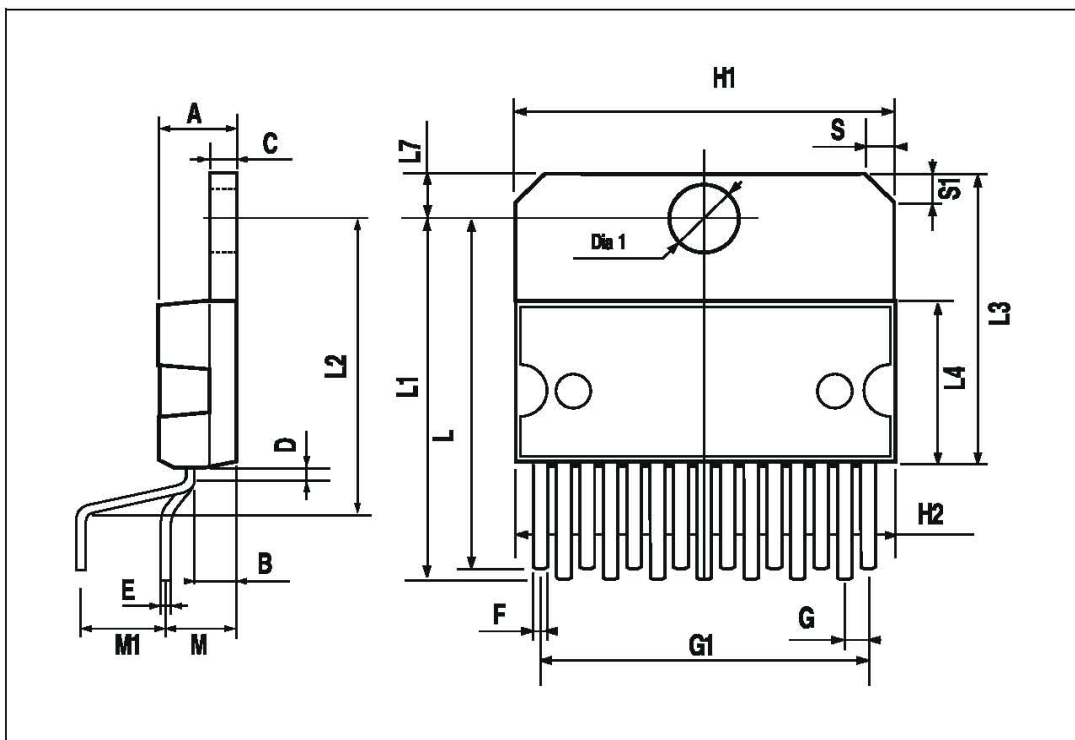
## L298

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
D		1			0.039	
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.02	1.27	1.52	0.040	0.050	0.060
G1	17.53	17.78	18.03	0.690	0.700	0.710
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L	21.9	22.2	22.5	0.862	0.874	0.886
L1	21.7	22.1	22.5	0.854	0.870	0.886
L2	17.65		18.1	0.695		0.713
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
M	4.25	4.55	4.85	0.167	0.179	0.191
M1	4.63	5.08	5.53	0.182	0.200	0.218
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dia1	3.65		3.85	0.144		0.152

### OUTLINE AND MECHANICAL DATA



### Multiwatt15 V





## +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

**MAX220-MAX249**

### General Description

The MAX220-MAX249 family of line drivers/receivers is intended for all EIA/TIA-232E and V.28/V.24 communications interfaces, particularly applications where  $\pm 12V$  is not available.

These parts are especially useful in battery-powered systems, since their low-power shutdown mode reduces power dissipation to less than  $5\mu W$ . The MAX225, MAX233, MAX235, and MAX245/MAX246/MAX247 use no external components and are recommended for applications where printed circuit board space is critical.

### Applications

Portable Computers  
 Low-Power Modems  
 Interface Translation  
 Battery-Powered RS-232 Systems  
 Multidrop RS-232 Networks

### Features

#### Superior to Bipolar

- ◆ Operate from Single +5V Power Supply (+5V and +12V—MAX231/MAX239)
- ◆ Low-Power Receive Mode in Shutdown (MAX223/MAX242)
- ◆ Meet All EIA/TIA-232E and V.28 Specifications
- ◆ Multiple Drivers and Receivers
- ◆ 3-State Driver and Receiver Outputs
- ◆ Open-Line Detection (MAX243)

### Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAX220CPE	0°C to +70°C	16 Plastic DIP
MAX220CSE	0°C to +70°C	16 Narrow SO
MAX220CWE	0°C to +70°C	16 Wide SO
MAX220C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX220EPE	-40°C to +85°C	16 Plastic DIP
MAX220ESE	-40°C to +85°C	16 Narrow SO
MAX220EWE	-40°C to +85°C	16 Wide SO
MAX220EJE	-40°C to +85°C	16 CERDIP
MAX220MJE	-55°C to +125°C	16 CERDIP

Ordering information continued at end of data sheet.

\*Contact factory for dice specifications.

### Selection Table

Part Number	Power Supply (V)	No. of RS-232 Drivers/Rx	No. of Ext. Caps	Nominal Cap. Value ( $\mu F$ )	SHDN & Three-State	Rx Active in SHDN	Data Rate (kbps)	Features
MAX220	+5	2/2	4	0.1	No	—	120	Ultra-low-power, industry-standard pinout
MAX222	+5	2/2	4	0.1	Yes	—	200	Low-power shutdown
MAX223 (MAX213)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes	✓	120	MAX241 and receivers active in shutdown
MAX225	+5	5/5	0	—	Yes	✓	120	Available in SO
MAX230 (MAX200)	+5	5/0	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	5 drivers with shutdown
MAX231 (MAX201)	+5 and +7.5 to +13.2	2/2	2	1.0 (0.1)	No	—	120	Standard +5/+12V or battery supplies; same functions as MAX232
MAX232 (MAX202)	+5	2/2	4	1.0 (0.1)	No	—	120 (64)	Industry standard
MAX232A	+5	2/2	4	0.1	No	—	200	Higher slew rate, small caps
MAX233 (MAX203)	+5	2/2	0	—	No	—	120	No external caps
MAX233A	+5	2/2	0	—	No	—	200	No external caps, high slew rate
MAX234 (MAX204)	+5	4/0	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Replaces 1488
MAX235 (MAX205)	+5	5/5	0	—	Yes	—	120	No external caps
MAX236 (MAX206)	+5	4/3	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	Shutdown, three state
MAX237 (MAX207)	+5	5/3	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Complements IBM PC serial port
MAX238 (MAX208)	+5	4/4	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Replaces 1488 and 1489
MAX239 (MAX209)	+5 and +7.5 to +13.2	3/5	2	1.0 (0.1)	No	—	120	Standard +5/+12V or battery supplies; single-package solution for IBM PC serial port
MAX240	+5	5/5	4	1.0	Yes	—	120	DIP or flatpack package
MAX241 (MAX211)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	Complete IBM PC serial port
MAX242	+5	2/2	4	0.1	Yes	✓	200	Separate shutdown and enable
MAX243	+5	2/2	4	0.1	No	—	200	Open-line detection simplifies cabling
MAX244	+5	8/10	4	1.0	No	—	120	High slew rate
MAX245	+5	8/10	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, two shutdown modes
MAX246	+5	8/10	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, three shutdown modes
MAX247	+5	8/9	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, nine operating modes
MAX248	+5	8/8	4	1.0	Yes	✓	120	High slew rate, selective half-chip enables
MAX249	+5	6/10	4	1.0	Yes	✓	120	Available in quad flatpack package



Maxim Integrated Products 1

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim/Dallas Direct! at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at [www.maxim-ic.com](http://www.maxim-ic.com).

## **+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers**

### **ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS—MAX220/222/232A/233A/242/243**

Supply Voltage (V <sub>CC</sub> ).....	-0.3V to +6V	20-Pin Plastic DIP (derate 8.00mW/°C above +70°C) ..	440mW
Input Voltages		16-Pin Narrow SO (derate 8.70mW/°C above +70°C) ...	696mW
T <sub>IN</sub> .....	-0.3V to (V <sub>CC</sub> - 0.3V)	16-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C).....	762mW
R <sub>IN</sub> (Except MAX220) .....	±30V	18-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C).....	762mW
R <sub>IN</sub> (MAX220).....	±25V	20-Pin Wide SO (derate 10.00mW/°C above +70°C)....	800mW
T <sub>OUT</sub> (Except MAX220) (Note 1) .....	±15V	20-Pin SSOP (derate 8.00mW/°C above +70°C) .....	640mW
T <sub>OUT</sub> (MAX220).....	±13.2V	16-Pin CERDIP (derate 10.00mW/°C above +70°C)....	800mW
Output Voltages		18-Pin CERDIP (derate 10.53mW/°C above +70°C)....	842mW
T <sub>OUT</sub> .....	±15V	Operating Temperature Ranges	
R <sub>OUT</sub> .....	-0.3V to (V <sub>CC</sub> + 0.3V)	MAX2__AC__, MAX2__C__ .....	0°C to +70°C
Driver/Receiver Output Short Circuited to GND.....	Continuous	MAX2__AE__, MAX2__E__ .....	-40°C to +85°C
Continuous Power Dissipation (T <sub>A</sub> = +70°C)		MAX2__AM__, MAX2__M__ .....	-55°C to +125°C
16-Pin Plastic DIP (derate 10.53mW/°C above +70°C)....		Storage Temperature Range .....	-65°C to +160°C
18-Pin Plastic DIP (derate 11.11mW/°C above +70°C)....		Lead Temperature (soldering, 10s) .....	+300°C

**Note 1:** Input voltage measured with T<sub>OUT</sub> in high-impedance state,  $\overline{\text{SHDN}}$  or V<sub>CC</sub> = 0V.

**Note 2:** For the MAX220, V<sub>+</sub> and V<sub>-</sub> can have a maximum magnitude of 7V, but their absolute difference cannot exceed 13V.

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

### **ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX220/222/232A/233A/242/243**

(V<sub>CC</sub> = +5V ±10%, C1–C4 = 0.1µF, MAX220, C1 = 0.047µF, C2–C4 = 0.33µF, T<sub>A</sub> = T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub>, unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>RS-232 TRANSMITTERS</b>						
Output Voltage Swing	All transmitter outputs loaded with 3kΩ to GND		±5	±8		V
Input Logic Threshold Low				1.4	0.8	V
Input Logic Threshold High	All devices except MAX220		2	1.4		V
	MAX220: V <sub>CC</sub> = 5.0V		2.4			
Logic Pull-Up/Input Current	All except MAX220, normal operation			5	40	µA
	$\overline{\text{SHDN}}$ = 0V, MAX222/242, shutdown, MAX220			±0.01	±1	
Output Leakage Current	V <sub>CC</sub> = 5.5V, $\overline{\text{SHDN}}$ = 0V, V <sub>OUT</sub> = ±15V, MAX222/242			±0.01	±10	µA
	V <sub>CC</sub> = $\overline{\text{SHDN}}$ = 0V, V <sub>OUT</sub> = ±15V			±0.01	±10	
Data Rate				200	116	kbps
Transmitter Output Resistance	V <sub>CC</sub> = V <sub>+</sub> = V <sub>-</sub> = 0V, V <sub>OUT</sub> = ±2V		300	10M		Ω
Output Short-Circuit Current	V <sub>OUT</sub> = 0V		±7	±22		mA
<b>RS-232 RECEIVERS</b>						
RS-232 Input Voltage Operating Range					±30	V
RS-232 Input Threshold Low	V <sub>CC</sub> = 5V	All except MAX243 R <sub>2IN</sub>	0.8	1.3		V
		MAX243 R <sub>2IN</sub> (Note 2)	-3			
RS-232 Input Threshold High	V <sub>CC</sub> = 5V	All except MAX243 R <sub>2IN</sub>		1.8	2.4	V
		MAX243 R <sub>2IN</sub> (Note 2)		-0.5	-0.1	
RS-232 Input Hysteresis	All except MAX243, V <sub>CC</sub> = 5V, no hysteresis in shdn.		0.2	0.5	1	V
	MAX243			1		
RS-232 Input Resistance			3	5	7	kΩ
TTL/CMOS Output Voltage Low	I <sub>OUT</sub> = 3.2mA			0.2	0.4	V
TTL/CMOS Output Voltage High	I <sub>OUT</sub> = -1.0mA		3.5	V <sub>CC</sub> - 0.2		V
TTL/CMOS Output Short-Circuit Current	Sourcing V <sub>OUT</sub> = GND		-2	-10		mA
	Sinking V <sub>OUT</sub> = V <sub>CC</sub>		10	30		

## +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

**MAX220-MAX249**

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX220/222/232A/233A/242/243 (continued)

( $V_{CC} = +5V \pm 10\%$ ,  $C_1-C_4 = 0.1\mu F$ , MAX220,  $C_1 = 0.047\mu F$ ,  $C_2-C_4 = 0.33\mu F$ ,  $T_A = T_{MIN}$  to  $T_{MAX}$ , unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
TTL/CMOS Output Leakage Current	$\overline{SHDN} = V_{CC}$ or $\overline{EN} = V_{CC}$ ( $\overline{SHDN} = 0V$ for MAX222), $0V \leq V_{OUT} \leq V_{CC}$			$\pm 0.05$	$\pm 10$	$\mu A$
$\overline{EN}$ Input Threshold Low	MAX242			1.4	0.8	V
$\overline{EN}$ Input Threshold High	MAX242		2.0	1.4		V
Operating Supply Voltage			4.5		5.5	V
$V_{CC}$ Supply Current ( $\overline{SHDN} = V_{CC}$ ), Figures 5, 6, 11, 19	No load	MAX220		0.5	2	mA
		MAX222/232A/233A/242/243		4	10	
	3k $\Omega$ load both inputs	MAX220		12		
		MAX222/232A/233A/242/243		15		
Shutdown Supply Current	MAX222/242	$T_A = +25^\circ C$		0.1	10	$\mu A$
		$T_A = 0^\circ C$ to $+70^\circ C$		2	50	
		$T_A = -40^\circ C$ to $+85^\circ C$		2	50	
		$T_A = -55^\circ C$ to $+125^\circ C$		35	100	
$\overline{SHDN}$ Input Leakage Current	MAX222/242				$\pm 1$	$\mu A$
$\overline{SHDN}$ Threshold Low	MAX222/242			1.4	0.8	V
$\overline{SHDN}$ Threshold High	MAX222/242		2.0	1.4		V
Transition Slew Rate	$C_L = 50pF$ to $2500pF$ , $R_L = 3k\Omega$ to $7k\Omega$ , $V_{CC} = 5V$ , $T_A = +25^\circ C$ , measured from $+3V$ to $-3V$ or $-3V$ to $+3V$	MAX222/232A/233A/242/243	6	12	30	V/ $\mu s$
		MAX220	1.5	3	30	
Transmitter Propagation Delay TLL to RS-232 (Normal Operation), Figure 1	tPHLT	MAX222/232A/233A/242/243		1.3	3.5	$\mu s$
		MAX220		4	10	
	tPLHT	MAX222/232A/233A/242/243		1.5	3.5	
		MAX220		5	10	
Receiver Propagation Delay RS-232 to TLL (Normal Operation), Figure 2	tPHLR	MAX222/232A/233A/242/243		0.5	1	$\mu s$
		MAX220		0.6	3	
	tPLHR	MAX222/232A/233A/242/243		0.6	1	
		MAX220		0.8	3	
Receiver Propagation Delay RS-232 to TLL (Shutdown), Figure 2	tPHLS	MAX242		0.5	10	$\mu s$
	tPLHS	MAX242		2.5	10	
Receiver-Output Enable Time, Figure 3	tER	MAX242		125	500	ns
Receiver-Output Disable Time, Figure 3	tDR	MAX242		160	500	ns
Transmitter-Output Enable Time ( $\overline{SHDN}$ Goes High), Figure 4	tET	MAX222/242, 0.1 $\mu F$ caps (includes charge-pump start-up)		250		$\mu s$
Transmitter-Output Disable Time ( $\overline{SHDN}$ Goes Low), Figure 4	tDT	MAX222/242, 0.1 $\mu F$ caps		600		ns
Transmitter + to - Propagation Delay Difference (Normal Operation)	tPHLT - tPLHT	MAX222/232A/233A/242/243		300		ns
		MAX220		2000		
Receiver + to - Propagation Delay Difference (Normal Operation)	tPHLR - tPLHR	MAX222/232A/233A/242/243		100		ns
		MAX220		225		

**Note 3:** MAX243 R2OUT is guaranteed to be low when R2IN is  $\geq 0V$  or is floating.

# +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

**MAX220-MAX249**

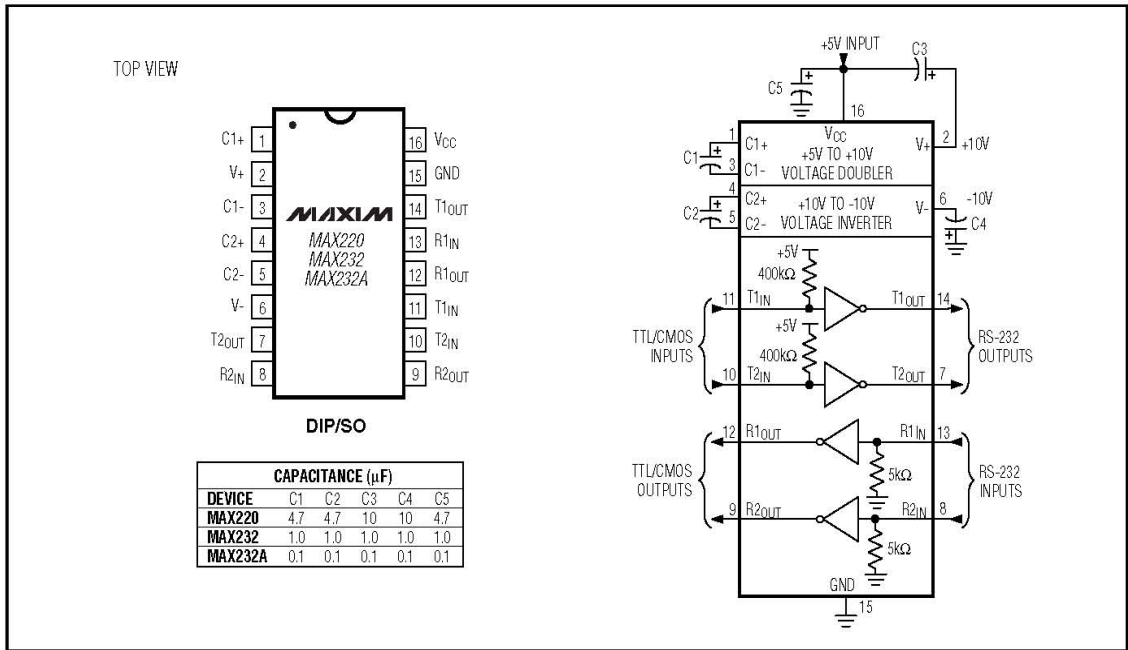


Figure 5. MAX220/MAX232/MAX232A Pin Configuration and Typical Operating Circuit

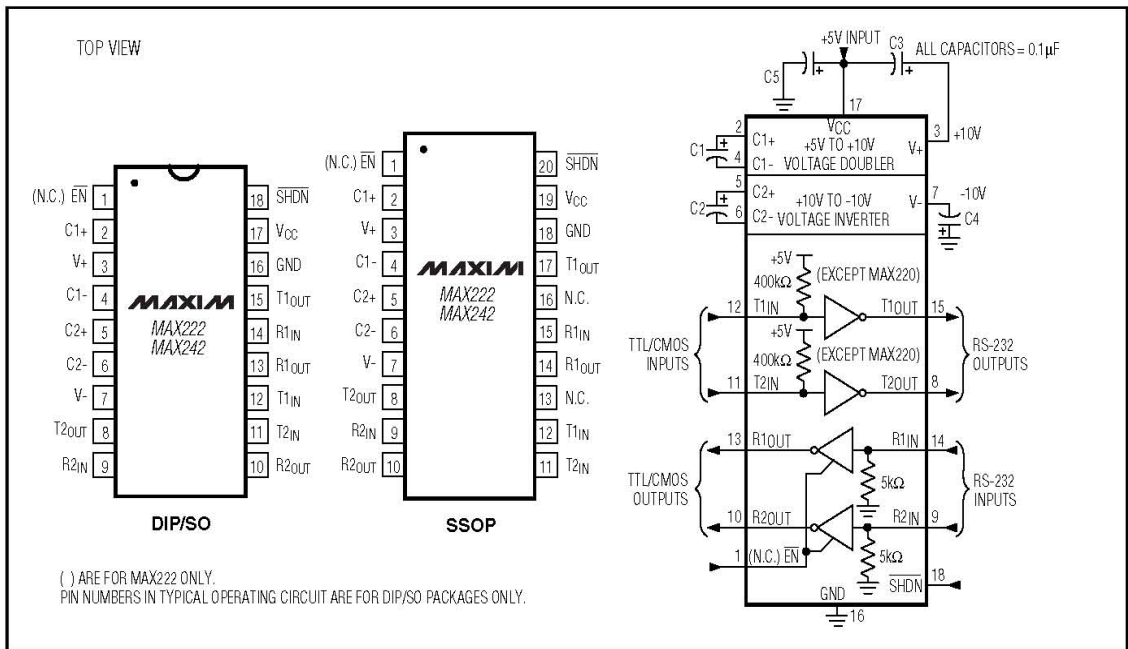


Figure 6. MAX222/MAX242 Pin Configurations and Typical Operating Circuit



# Single Supply, Rail-to-Rail, Low Cost Instrumentation Amplifier

## AD623

### FEATURES

- Easy to Use
- Higher Performance than Discrete Design
- Single and Dual Supply Operation
- Rail-to-Rail Output Swing
- Input Voltage Range Extends 150 mV Below Ground (Single Supply)
- Low Power, 575  $\mu$ A Max Supply Current
- Gain Set with One External Resistor
- Gain Range 1 (No Resistor) to 1,000

### HIGH ACCURACY DC PERFORMANCE

- 0.1% Gain Accuracy ( $G = 1$ )
- 0.35% Gain Accuracy ( $G > 1$ )
- 25 ppm Gain Drift ( $G = 1$ )
- 200  $\mu$ V Max Input Offset Voltage (AD623A)
- 2  $\mu$ V/ $^{\circ}$ C Max Input Offset Drift (AD623A)
- 100  $\mu$ V Max Input Offset Voltage (AD623B)
- 1  $\mu$ V/ $^{\circ}$ C Max Input Offset Drift (AD623B)
- 25 nA Max Input Bias Current

### NOISE

- 35 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$  RTI Noise @ 1 kHz ( $G = 1$ )

### EXCELLENT AC SPECIFICATIONS

- 90 dB Min CMRR ( $G = 10$ ); 84 dB Min CMRR ( $G = 5$ ) (@ 60 Hz, 1K Source Imbalance)
- 800 kHz Bandwidth ( $G = 1$ )
- 20  $\mu$ s Settling Time to 0.01% ( $G = 10$ )

### APPLICATIONS

- Low Power Medical Instrumentation
- Transducer Interface
- Thermocouple Amplifier
- Industrial Process Controls
- Difference Amplifier
- Low Power Data Acquisition

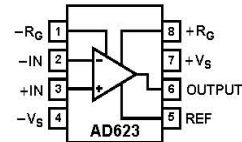
### PRODUCT DESCRIPTION

The AD623 is an integrated single supply instrumentation amplifier that delivers rail-to-rail output swing on a single supply (+3 V to +12 V supplies). The AD623 offers superior user flexibility by allowing single gain set resistor programming, and conforming to the 8-lead industry standard pinout configuration. With no external resistor, the AD623 is configured for unity gain ( $G = 1$ ) and with an external resistor, the AD623 can be programmed for gains up to 1,000.

The AD623 holds errors to a minimum by providing superior AC CMRR that increases with increasing gain. Line noise, as well as line harmonics, will be rejected since the CMRR remains constant up to 200 Hz. The AD623 has a wide input

### CONNECTION DIAGRAM

8-Lead Plastic DIP (N),  
SOIC (R) and  $\mu$ SOIC (RM) Packages



common-mode range and can amplify signals that have a common-mode voltage 150 mV below ground. Although the design of the AD623 has been optimized to operate from a single supply, the AD623 still provides superior performance when operated from a dual voltage supply ( $\pm 2.5$  V to  $\pm 6.0$  V).

Low power consumption (1.5 mW at 3 V), wide supply voltage range, and rail-to-rail output swing make the AD623 ideal for battery powered applications. The rail-to-rail output stage maximizes the dynamic range when operating from low supply voltages. The AD623 replaces discrete instrumentation amplifier designs and offers superior linearity, temperature stability and reliability in a minimum of space. Until the AD623, this level of instrumentation amplifier performance has not been achieved.

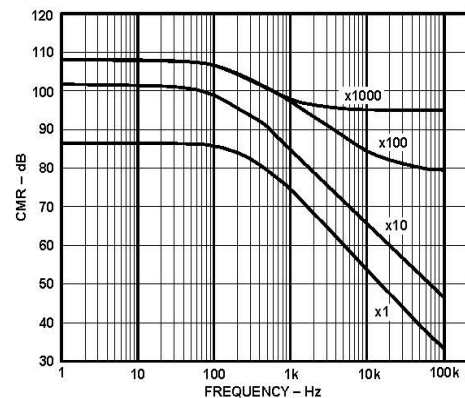


Figure 1. CMRR vs. Frequency, +5  $V_S$ , 0  $V_S$

### REV. C

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.  
Tel: 781/329-4700 World Wide Web Site: <http://www.analog.com>  
Fax: 781/326-8703 © Analog Devices, Inc., 1999

# AD623—SPECIFICATIONS

**SINGLE SUPPLY** (typical @ +25°C Single Supply,  $V_S = +5\text{ V}$ , and  $R_L = 10\text{ k}\Omega$ , unless otherwise noted)

Model Specification	Conditions	AD623A			AD623ARM			AD623B			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
<b>GAIN</b>	$G = 1 + (100\text{ k}/R_G)$	1		1000	1		1000	1		1000	
Gain Range	$G \geq 1$ $V_{OUT} = 0.05\text{ V to } 3.5\text{ V}$										
Gain Error <sup>1</sup>	$G > 1$ $V_{OUT} = 0.05\text{ V to } 4.5\text{ V}$										
G = 1			0.03	0.10		0.03	0.10		0.03	0.05	%
G = 10			0.10	0.35		0.10	0.35		0.10	0.35	%
G = 100			0.10	0.35		0.10	0.35		0.10	0.35	%
G = 1000			0.10	0.35		0.10	0.35		0.10	0.35	%
Nonlinearity,	$G \geq 1$ $V_{OUT} = 0.05\text{ V to } 3.5\text{ V}$										
	$G > 1$ $V_{OUT} = 0.05\text{ V to } 4.5\text{ V}$										
G = 1–1000			50			50			50		ppm
Gain vs. Temperature											
G = 1			5	10		5	10		5	10	ppm/°C
G > 1 <sup>1</sup>			50			50			50		ppm/°C
<b>VOLTAGE OFFSET</b>	Total RTI Error = $V_{OSI} + V_{OSO}/G$										
Input Offset, $V_{OSI}$			25	200		200	500		25	100	$\mu\text{V}$
Over Temperature				350			650			160	$\mu\text{V}$
Average TC			0.1	2		0.1	2		0.1	1	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Output Offset, $V_{OSO}$			200	1000		500	2000		200	500	$\mu\text{V}$
Over Temperature				1500			2600			1100	$\mu\text{V}$
Average TC			2.5	10		2.5	10		2.5	10	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Offset Referred to the Input vs. Supply (PSR)											
G = 1		80	100		80	100		80	100		dB
G = 10		100	120		100	120		100	120		dB
G = 100		120	140		120	140		120	140		dB
G = 1000		120	140		120	140		120	140		dB
<b>INPUT CURRENT</b>											
Input Bias Current			17	25		17	25		17	25	nA
Over Temperature				27.5			27.5			27.5	nA
Average TC			25			25			25		pA/°C
Input Offset Current			0.25	2		0.25	2		0.25	2	nA
Over Temperature				2.5			2.5			2.5	nA
Average TC			5			5			5		pA/°C
<b>INPUT</b>											
Input Impedance											
Differential			2  2			2  2			2  2		G $\Omega$ pF
Common-Mode			2  2			2  2			2  2		G $\Omega$ pF
Input Voltage Range <sup>2</sup>	$V_S = +3\text{ V to } +12\text{ V}$	$(-V_S) - 0.15$		$(+V_S) - 1.5$	$(-V_S) - 0.15$		$(+V_S) - 1.5$	$(-V_S) - 0.15$		$(+V_S) - 1.5$	V
Common-Mode Rejection at 60 Hz with 1 k $\Omega$ Source											
Imbalance											
G = 1	$V_{CM} = 0\text{ V to } 3\text{ V}$	70	80		70	80		77	86		dB
G = 10	$V_{CM} = 0\text{ V to } 3\text{ V}$	90	100		90	100		94	100		dB
G = 100	$V_{CM} = 0\text{ V to } 3\text{ V}$	105	110		105	110		105	110		dB
G = 1000	$V_{CM} = 0\text{ V to } 3\text{ V}$	105	110		105	110		105	110		dB
<b>OUTPUT</b>											
Output Swing	$R_L = 10\text{ k}\Omega$	+0.01		$(+V_S) - 0.5$	+0.01		$(+V_S) - 0.5$	+0.01		$(+V_S) - 0.5$	V
	$R_L = 100\text{ k}\Omega$	+0.01		$(+V_S) - 0.15$	+0.01		$(+V_S) - 0.15$	+0.01		$(+V_S) - 0.15$	V
<b>DYNAMIC RESPONSE</b>											
Small Signal -3 dB Bandwidth											
G = 1			800			800			800		kHz
G = 10			100			100			100		kHz
G = 100			10			10			10		kHz
G = 1000			2			2			2		kHz
Slew Rate			0.3			0.3			0.3		V/ $\mu\text{s}$
Settling Time to 0.01%	$V_S = +5\text{ V}$										
G = 1	Step Size: 3.5 V		30			30			30		$\mu\text{s}$
G = 10	Step Size: 4 V, $V_{CM} = 1.8\text{ V}$		20			20			20		$\mu\text{s}$

# AD623

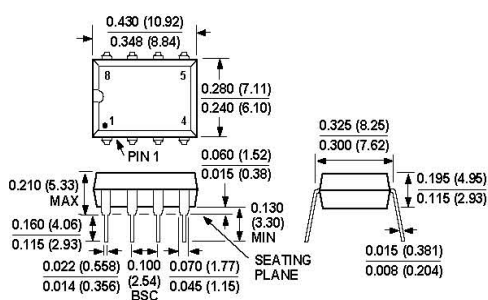
Table IV. Maximum Attainable Gain and Resulting Output Swing for Different Input Conditions

V <sub>CM</sub>	V <sub>DIFF</sub>	REF Pin	Supply Voltages	Max Gain	Closest 1% Gain Resistor, Ω	Resulting Gain	Output Swing
0 V	±10 mV	2.5 V	+5 V	118	866	116	±1.2 V
0 V	±100 mV	2.5 V	+5 V	11.8	9.31 k	11.7	±1.1 V
0 V	±10 mV	0 V	±5 V	490	205	488	±4.8 V
0 V	±100 mV	0 V	±5 V	49	2.1 k	48.61	±4.8 V
0 V	±1 V	0 V	±5 V	4.9	26.1 k	4.83	±4.8 V
2.5 V	±10 mV	2.5 V	+5 V	242	422	238	±2.3 V
2.5 V	±100 mV	2.5 V	+5 V	24.2	4.32 k	24.1	±2.4 V
2.5 V	±1 V	2.5 V	+5 V	2.42	71.5 k	2.4	±2.4 V
1.5 V	±10 mV	1.5 V	+3 V	142	715	141	±1.4 V
1.5 V	±100 mV	1.5 V	+3 V	14.2	7.68 k	14	±1.4 V
0 V	±10 mV	1.5 V	+3 V	118	866	116	±1.1 V
0 V	±100 mV	1.5 V	+3 V	11.8	9.31 k	11.74	±1.1 V

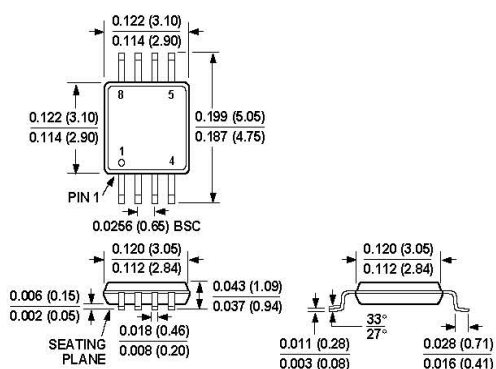
## OUTLINE DIMENSIONS

Dimensions shown in inches and (mm).

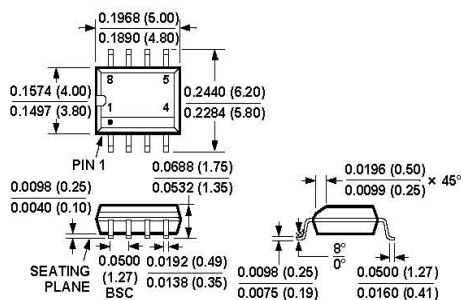
8-Lead Plastic DIP (N-8)



8-Lead μSOIC (RM-8)



8-Lead SOIC (SO-8)



C3202c-0-9/99

PRINTED IN U.S.A.

### FEATURES

#### Low power operation

##### 5 V operation

- 1.0 mA per channel max @ 0 Mbps to 2 Mbps
- 3.5 mA per channel max @ 10 Mbps
- 31 mA per channel max @ 90 Mbps

##### 3 V operation

- 0.7 mA per channel max @ 0 Mbps to 2 Mbps
- 2.1 mA per channel max @ 10 Mbps
- 20 mA per channel max @ 90 Mbps

#### Bidirectional communication

##### 3 V/5 V level translation

##### High temperature operation: 105°C

##### High data rate: dc to 90 Mbps (NRZ)

##### Precise timing characteristics

- 2 ns max pulse-width distortion
- 2 ns max channel-to-channel matching

##### High common-mode transient immunity: >25 kV/μs

##### Output enable function

##### Wide body 16-lead SOIC package, Pb-free models available

##### Safety and regulatory approvals

##### UL recognition: 2500 V rms for 1 minute per UL 1577

##### CSA component acceptance notice #5A

##### VDE certificate of conformity

##### DIN EN 60747-5-2 (VDE 0884 Part 2): 2003-01

##### DIN EN 60950 (VDE 0805): 2001-12; EN 60950: 2000

##### V<sub>IORM</sub> = 560 V peak

### APPLICATIONS

#### General-purpose multichannel isolation

#### SPI® interface/data converter isolation

#### RS-232/RS-422/RS-485 transceiver

#### Industrial field bus isolation

### GENERAL DESCRIPTION

The ADuM140x are 4-channel digital isolators based on Analog Devices' *iCoupler*® technology. Combining high speed CMOS and monolithic air core transformer technology, these isolation components provide outstanding performance characteristics superior to alternatives such as optocoupler devices.

By avoiding the use of LEDs and photodiodes, *iCoupler* devices remove the design difficulties commonly associated with optocouplers. The typical optocoupler concerns regarding uncertain current transfer ratios, nonlinear transfer functions, and temperature and lifetime effects are eliminated with the simple *iCoupler* digital interfaces and stable performance characteristics. The need for external drivers and other discretes is eliminated with these *iCoupler* products. Furthermore, *iCoupler* devices consumes one-tenth to one-sixth the power of optocouplers at comparable signal data rates.

The ADuM140x isolators provide four independent isolation channels in a variety of channel configurations and data rates (see the Ordering Guide). All models operate with the supply voltage on either side ranging from 2.7 V to 5.5 V, providing compatibility with lower voltage systems as well as enabling a voltage translation functionality across the isolation barrier. In addition, the ADuM140x provides low pulse-width distortion (<2 ns for CRW grade) and tight channel-to-channel matching (<2 ns for CRW grade). Unlike other optocoupler alternatives, the ADuM140x isolators have a patented refresh feature that ensures dc correctness in the absence of input logic transitions and during power-up/power-down conditions.

### FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAMS

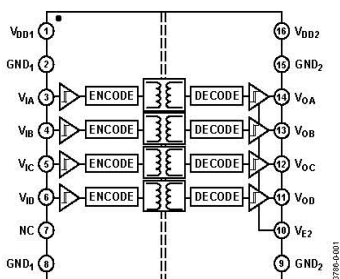


Figure 1. ADuM1400 Functional Block Diagram

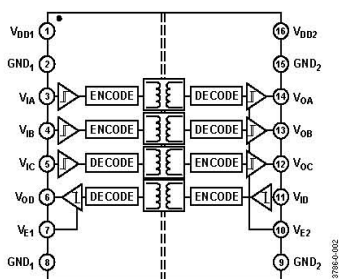


Figure 2. ADuM1401 Functional Block Diagram

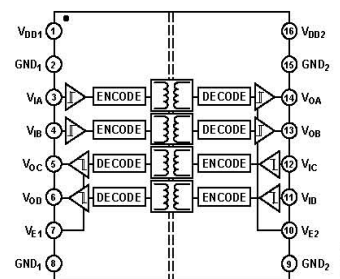


Figure 3. ADuM1402 Functional Block Diagram

#### Rev. B

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.  
Tel: 781.329.4700 [www.analog.com](http://www.analog.com)  
Fax: 781.326.8703 © 2004 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

## SPECIFICATIONS

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS—5 V OPERATION<sup>1</sup>

4.5 V ≤ V<sub>DD1</sub> ≤ 5.5 V, 4.5 V ≤ V<sub>DD2</sub> ≤ 5.5 V; all min/max specifications apply over the entire recommended operation range, unless otherwise noted; all typical specifications are at T<sub>A</sub> = 25°C, V<sub>DD1</sub> = V<sub>DD2</sub> = 5 V.

Table 1.

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	Test Conditions
DC SPECIFICATIONS						
Input Supply Current, per Channel, Quiescent	I <sub>DD1(Q)</sub>		0.50	0.53	mA	
Output Supply Current, per Channel, Quiescent	I <sub>DD0(Q)</sub>		0.19	0.21	mA	
ADuM1400, Total Supply Current, Four Channels <sup>2</sup>						
DC to 2 Mbps						
V <sub>DD1</sub> Supply Current	I <sub>DD1(Q)</sub>		2.2	2.8	mA	DC to 1 MHz logic signal freq.
V <sub>DD2</sub> Supply Current	I <sub>DD2(Q)</sub>		0.9	1.4	mA	DC to 1 MHz logic signal freq.
10 Mbps (BRW and CRW Grades Only)						
V <sub>DD1</sub> Supply Current	I <sub>DD1(10)</sub>		8.6	10.6	mA	5 MHz logic signal freq.
V <sub>DD2</sub> Supply Current	I <sub>DD2(10)</sub>		2.6	3.5	mA	5 MHz logic signal freq.
90 Mbps (CRW Grade Only)						
V <sub>DD1</sub> Supply Current	I <sub>DD1(90)</sub>		76	100	mA	45 MHz logic signal freq.
V <sub>DD2</sub> Supply Current	I <sub>DD2(90)</sub>		21	25	mA	45 MHz logic signal freq.
ADuM1401, Total Supply Current, Four Channels <sup>2</sup>						
DC to 2 Mbps						
V <sub>DD1</sub> Supply Current	I <sub>DD1(Q)</sub>		1.8	2.4	mA	DC to 1 MHz logic signal freq.
V <sub>DD2</sub> Supply Current	I <sub>DD2(Q)</sub>		1.2	1.8	mA	DC to 1 MHz logic signal freq.
10 Mbps (BRW and CRW Grades Only)						
V <sub>DD1</sub> Supply Current	I <sub>DD1(10)</sub>		7.1	9.0	mA	5 MHz logic signal freq.
V <sub>DD2</sub> Supply Current	I <sub>DD2(10)</sub>		4.1	5.0	mA	5 MHz logic signal freq.
90 Mbps (CRW Grade Only)						
V <sub>DD1</sub> Supply Current	I <sub>DD1(90)</sub>		62	82	mA	45 MHz logic signal freq.
V <sub>DD2</sub> Supply Current	I <sub>DD2(90)</sub>		35	43	mA	45 MHz logic signal freq.
ADuM1402, Total Supply Current, Four Channels <sup>2</sup>						
DC to 2 Mbps						
V <sub>DD1</sub> or V <sub>DD2</sub> Supply Current	I <sub>DD1(Q), I<sub>DD2(Q)</sub></sub>		1.5	2.1	mA	DC to 1 MHz logic signal freq.
10 Mbps (BRW and CRW Grades Only)						
V <sub>DD1</sub> or V <sub>DD2</sub> Supply Current	I <sub>DD1(10), I<sub>DD2(10)</sub></sub>		5.6	7.0	mA	5 MHz logic signal freq.
90 Mbps (CRW Grade Only)						
V <sub>DD1</sub> or V <sub>DD2</sub> Supply Current	I <sub>DD1(90), I<sub>DD2(90)</sub></sub>		49	62	mA	45 MHz logic signal freq.
For All Models						
Input Currents	I <sub>A</sub> , I <sub>B</sub> , I <sub>C</sub> , I <sub>D</sub> , I <sub>E1</sub> , I <sub>E2</sub>	-10	+0.01	+10	μA	0 ≤ V <sub>A</sub> , V <sub>B</sub> , V <sub>C</sub> , V <sub>D</sub> ≤ V <sub>DD1</sub> or V <sub>DD2</sub> , 0 ≤ V <sub>E1</sub> , V <sub>E2</sub> ≤ V <sub>DD1</sub> or V <sub>DD2</sub>
Logic High Input Threshold	V <sub>IH</sub> , V <sub>EH</sub>	2.0			V	
Logic Low Input Threshold	V <sub>IL</sub> , V <sub>EL</sub>			0.8	V	
Logic High Output Voltages	V <sub>OAH</sub> , V <sub>OBH</sub> , V <sub>OCH</sub> , V <sub>ODH</sub>	V <sub>DD1</sub> , V <sub>DD2</sub> - 0.1	5.0		V	I <sub>Ox</sub> = -20 μA, V <sub>Ix</sub> = V <sub>IxH</sub>
		V <sub>DD1</sub> , V <sub>DD2</sub> - 0.4	4.8		V	I <sub>Ox</sub> = -4 mA, V <sub>Ix</sub> = V <sub>IxH</sub>
Logic Low Output Voltages	V <sub>OAL</sub> , V <sub>OBL</sub> , V <sub>OCL</sub> , V <sub>ODL</sub>		0.0	0.1	V	I <sub>Ox</sub> = 20 μA, V <sub>Ix</sub> = V <sub>IxL</sub>
			0.04	0.1	V	I <sub>Ox</sub> = 400 μA, V <sub>Ix</sub> = V <sub>IxL</sub>
			0.2	0.4	V	I <sub>Ox</sub> = 4 mA, V <sub>Ix</sub> = V <sub>IxL</sub>

## ADuM1400/ADuM1401/ADuM1402

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	Test Conditions
<b>SWITCHING SPECIFICATIONS</b>						
<b>ADuM140xARW</b>						
Minimum Pulse Width <sup>3</sup>	PW			1000	ns	C <sub>L</sub> = 15 pF, CMOS signal levels
Maximum Data Rate <sup>4</sup>		1			Mbps	C <sub>L</sub> = 15 pF, CMOS signal levels
Propagation Delay <sup>5</sup>	t <sub>PHL</sub> , t <sub>PLH</sub>	50	65	100	ns	C <sub>L</sub> = 15 pF, CMOS signal levels
Pulse-Width Distortion,  t <sub>PLH</sub> - t <sub>PHL</sub>    <sup>5</sup>	PWD			40	ns	C <sub>L</sub> = 15 pF, CMOS signal levels
Propagation Delay Skew <sup>6</sup>	t <sub>PSK</sub>			50	ns	C <sub>L</sub> = 15 pF, CMOS signal levels
Channel-to-Channel Matching <sup>7</sup>	t <sub>PSKCD/OD</sub>			50	ns	C <sub>L</sub> = 15 pF, CMOS signal levels
<b>ADuM140xBRW</b>						
Minimum Pulse Width <sup>3</sup>	PW			100	ns	C <sub>L</sub> = 15 pF, CMOS signal levels
Maximum Data Rate <sup>4</sup>		10			Mbps	C <sub>L</sub> = 15 pF, CMOS signal levels
Propagation Delay <sup>5</sup>	t <sub>PHL</sub> , t <sub>PLH</sub>	20	32	50	ns	C <sub>L</sub> = 15 pF, CMOS signal levels
Pulse-Width Distortion,  t <sub>PLH</sub> - t <sub>PHL</sub>    <sup>5</sup>	PWD			3	ns	C <sub>L</sub> = 15 pF, CMOS signal levels
Change vs. Temperature			5		ps/°C	C <sub>L</sub> = 15 pF, CMOS signal levels
Propagation Delay Skew <sup>6</sup>	t <sub>PSK</sub>			15	ns	C <sub>L</sub> = 15 pF, CMOS signal levels
Channel-to-Channel Matching, Codirectional Channels <sup>7</sup>	t <sub>PSKCD</sub>			3	ns	C <sub>L</sub> = 15 pF, CMOS signal levels
Channel-to-Channel Matching, Opposing-Directional Channels <sup>7</sup>	t <sub>PSKOD</sub>			6	ns	C <sub>L</sub> = 15 pF, CMOS signal levels
<b>ADuM140xCRW</b>						
Minimum Pulse Width <sup>3</sup>	PW		8.3	11.1	ns	C <sub>L</sub> = 15 pF, CMOS signal levels
Maximum Data Rate <sup>4</sup>		90	120		Mbps	C <sub>L</sub> = 15 pF, CMOS signal levels
Propagation Delay <sup>5</sup>	t <sub>PHL</sub> , t <sub>PLH</sub>	18	27	32	ns	C <sub>L</sub> = 15 pF, CMOS signal levels
Pulse-Width Distortion,  t <sub>PLH</sub> - t <sub>PHL</sub>    <sup>5</sup>	PWD		0.5	2	ns	C <sub>L</sub> = 15 pF, CMOS signal levels
Change vs. Temperature			3		ps/°C	C <sub>L</sub> = 15 pF, CMOS signal levels
Propagation Delay Skew <sup>6</sup>	t <sub>PSK</sub>			10	ns	C <sub>L</sub> = 15 pF, CMOS signal levels
Channel-to-Channel Matching, Codirectional Channels <sup>7</sup>	t <sub>PSKCD</sub>			2	ns	C <sub>L</sub> = 15 pF, CMOS signal levels
Channel-to-Channel Matching, Opposing-Directional Channels <sup>7</sup>	t <sub>PSKOD</sub>			5	ns	C <sub>L</sub> = 15 pF, CMOS signal levels
<b>For All Models</b>						
Output Disable Propagation Delay (High/Low-to-High Impedance)	t <sub>PHZ</sub> , t <sub>PLH</sub>		6	8	ns	C <sub>L</sub> = 15 pF, CMOS signal levels
Output Enable Propagation Delay (High Impedance to High/Low)	t <sub>PZH</sub> , t <sub>PZL</sub>		6	8	ns	C <sub>L</sub> = 15 pF, CMOS signal levels
Output Rise/Fall Time (10% to 90%)	t <sub>r</sub> /t <sub>f</sub>		2.5		ns	C <sub>L</sub> = 15 pF, CMOS signal levels
Common-Mode Transient Immunity at Logic High Output <sup>8</sup>	CM <sub>H</sub>	25	35		kV/μs	V <sub>IK</sub> = V <sub>DD1</sub> /V <sub>DD2</sub> , V <sub>CM</sub> = 1000 V, transient magnitude = 800 V
Common-Mode Transient Immunity at Logic Low Output <sup>8</sup>	CM <sub>L</sub>	25	35		kV/μs	V <sub>IK</sub> = 0 V, V <sub>CM</sub> = 1000 V, transient magnitude = 800 V
Refresh Rate	f <sub>r</sub>		1.2		Mbps	
Input Dynamic Supply Current, per Channel <sup>9</sup>	I <sub>DDI(D)</sub>		0.19		mA/Mbps	
Output Dynamic Supply Current, per Channel <sup>9</sup>	I <sub>DDO(D)</sub>		0.05		mA/Mbps	

See Notes on next page.

<sup>1</sup> All voltages are relative to their respective ground.

<sup>2</sup> The supply current values for all four channels are combined when running at identical data rates. Output supply current values are specified with no output load present. The supply current associated with an individual channel operating at a given data rate may be calculated as described in the Power Consumption section on Page 20. See Figure 8 through Figure 10 for information on per-channel supply current as a function of data rate for unloaded and loaded conditions. See Figure 11 through Figure 14 for total  $I_{DD1}$  and  $I_{DD2}$  supply currents as a function of data rate for ADuM1400/ADuM1401/ADuM1402 channel configurations.

<sup>3</sup> The minimum pulse width is the shortest pulse width at which the specified pulse-width distortion is guaranteed.

<sup>4</sup> The maximum data rate is the fastest data rate at which the specified pulse-width distortion is guaranteed.

<sup>5</sup>  $t_{FHL}$  propagation delay is measured from the 50% level of the falling edge of the  $V_{IN}$  signal to the 50% level of the falling edge of the  $V_{OX}$  signal.  $t_{PLH}$  propagation delay is measured from the 50% level of the rising edge of the  $V_{IN}$  signal to the 50% level of the rising edge of the  $V_{OX}$  signal.

<sup>6</sup>  $t_{PSK}$  is the magnitude of the worst-case difference in  $t_{FHL}$  or  $t_{PLH}$  that is measured between units at the same operating temperature, supply voltages, and output load within the recommended operating conditions.

<sup>7</sup> Codirectional channel-to-channel matching is the absolute value of the difference in propagation delays between any two channels with inputs on the same side of the isolation barrier. Opposing-directional channel-to-channel matching is the absolute value of the difference in propagation delays between any two channels with inputs on opposing sides of the isolation barrier.

<sup>8</sup>  $CM_{HI}$  is the maximum common-mode voltage slew rate that can be sustained while maintaining  $V_O > 0.8 V_{DD2}$ .  $CM_L$  is the maximum common-mode voltage slew rate that can be sustained while maintaining  $V_O < 0.8 V$ . The common-mode voltage slew rates apply to both rising and falling common-mode voltage edges. The transient magnitude is the range over which the common mode is slewed.

<sup>9</sup> Dynamic supply current is the incremental amount of supply current required for a 1 Mbps increase in signal data rate. See Figure 8 through Figure 10 for information on per-channel supply current for unloaded and loaded conditions. See the Power Consumption section on Page 20 for guidance on calculating the per-channel supply current for a given data rate.

# ADuM1400/ADuM1401/ADuM1402

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Ambient temperature = 25°C, unless otherwise noted.

Table 9.

Parameter	Symbol	Min	Max	Unit
Storage Temperature	T <sub>ST</sub>	-65	+150	°C
Ambient Operating Temperature	T <sub>A</sub>	-40	+105	°C
Supply Voltages <sup>1</sup>	V <sub>DD1</sub> , V <sub>DD2</sub>	-0.5	+7.0	V
Input Voltage <sup>1,2</sup>	V <sub>IA</sub> , V <sub>IB</sub> , V <sub>IC</sub> , V <sub>ID</sub> , V <sub>E1</sub> , V <sub>E2</sub>	-0.5	V <sub>DD1</sub> + 0.5	V
Output Voltage <sup>1,2</sup>	V <sub>OA</sub> , V <sub>OB</sub> , V <sub>OC</sub> , V <sub>OD</sub>	-0.5	V <sub>DD0</sub> + 0.5	V
Average Output Current, Per Pin <sup>3</sup>				
Side 1	I <sub>O1</sub>	-18	+18	mA
Side 2	I <sub>O2</sub>	-22	+22	mA
Common-Mode Transients <sup>4</sup>		-100	+100	kV/μs

<sup>1</sup> All voltages are relative to their respective ground.

<sup>2</sup> V<sub>DD1</sub> and V<sub>DD0</sub> refer to the supply voltages on the input and output sides of a given channel, respectively. See the PC Board Layout section.

<sup>3</sup> See Figure 4 for maximum rated current values for various temperatures.

<sup>4</sup> Refers to common-mode transients across the insulation barrier. Common-mode transients exceeding the Absolute Maximum Rating may cause latch-up or permanent damage.

Stresses above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only; functional operation of the device at these or any other conditions above those listed in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions may affect device reliability.

### ESD CAUTION

ESD (electrostatic discharge) sensitive device. Electrostatic charges as high as 4000 V readily accumulate on the human body and test equipment and can discharge without detection. Although this product features proprietary ESD protection circuitry, permanent damage may occur on devices subjected to high energy electrostatic discharges. Therefore, proper ESD precautions are recommended to avoid performance degradation or loss of functionality.



Table 10. Truth Table (Positive Logic)

V <sub>IX</sub> Input <sup>1</sup>	V <sub>EX</sub> Input <sup>2</sup>	V <sub>DD1</sub> State <sup>1</sup>	V <sub>DD0</sub> State <sup>1</sup>	V <sub>OX</sub> Output <sup>1</sup>	Notes
H	H or NC	Powered	Powered	H	
L	H or NC	Powered	Powered	L	
X	L	Powered	Powered	Z	
X	H or NC	Unpowered	Powered	H	Outputs return to the input state within 1 μs of V <sub>DD1</sub> power restoration.
X	L	Unpowered	Powered	Z	
X	X	Powered	Unpowered	Indeterminate	Outputs return to the input state within 1 μs of V <sub>DD0</sub> power restoration if V <sub>EX</sub> state is H or NC. Outputs returns to high impedance state within 8 ns of V <sub>DD0</sub> power restoration if V <sub>EX</sub> state is L.

<sup>1</sup> V<sub>IX</sub> and V<sub>OX</sub> refer to the input and output signals of a given channel (A, B, C, or D). V<sub>EX</sub> refers to the output enable signal on the same side as the V<sub>OX</sub> outputs. V<sub>DD1</sub> and

V<sub>DD0</sub> refer to the supply voltages on the input and output sides of the given channel, respectively.

<sup>2</sup> In noisy environments, connecting V<sub>EX</sub> to an external logic high or low is recommended.

## PIN CONFIGURATIONS AND PIN FUNCTION DESCRIPTIONS

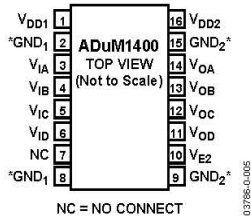


Figure 5. ADuM1400 Pin Configuration

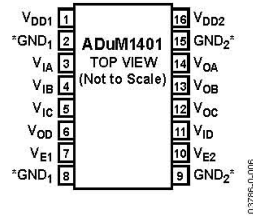


Figure 6. ADuM1401 Pin Configuration

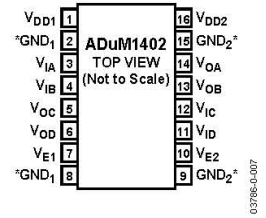


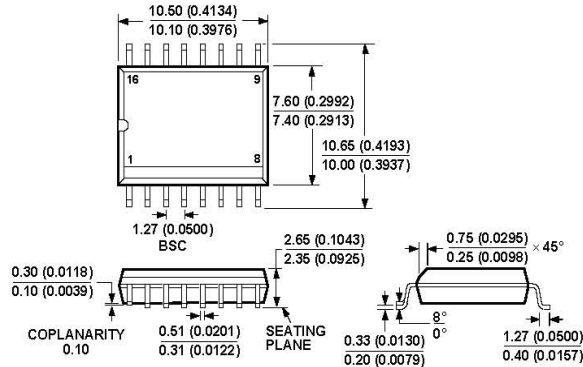
Figure 7. ADuM1402 Pin Configuration

\*Pins 2 and 8 are internally connected. Connecting both to GND<sub>1</sub> is recommended. Pins 9 and 15 are internally connected. Connecting both to GND<sub>2</sub> is recommended. Output enable Pin 10 on the ADuM1400 may be left disconnected if outputs are to be always enabled. Output enable Pins 7 and 10 on the ADuM1401/ADuM1402 may be left disconnected if outputs are to be always enabled. In noisy environments, connecting Pin 7 (for ADuM1401 and ADuM1402) and Pin 10 (for all models) to an external logic high or low is recommended.

Table 11. ADuM1400 Pin Function Descriptions

Pin No.	Mnemonic	Function
1	V <sub>DD1</sub>	Supply Voltage for Isolator Side 1, 2.7 V to 5.5 V.
2	GND <sub>1</sub>	Ground 1. Ground reference for isolator Side 1.
3	V <sub>IA</sub>	Logic Input A.
4	V <sub>IB</sub>	Logic Input B.
5	V <sub>IC</sub>	Logic Input C.
6	V <sub>ID</sub>	Logic Input D.
7	NC	No Connect.
8	GND <sub>1</sub>	Ground 1. Ground reference for isolator Side 1.
9	GND <sub>2</sub>	Ground 2. Ground reference for isolator Side 2.
10	V <sub>E2</sub>	Output Enable 2. Active high logic input. V <sub>OA</sub> , V <sub>OB</sub> , V <sub>OC</sub> , and V <sub>OD</sub> outputs are enabled when V <sub>E2</sub> is high or disconnected. V <sub>OA</sub> , V <sub>OB</sub> , V <sub>OC</sub> , and V <sub>OD</sub> outputs are disabled when V <sub>E2</sub> is low. In noisy environments, connecting V <sub>E2</sub> to an external logic high or low is recommended.
11	V <sub>OD</sub>	Logic Output D.
12	V <sub>OC</sub>	Logic Output C.
13	V <sub>OB</sub>	Logic Output B.
14	V <sub>OA</sub>	Logic Output A.
15	GND <sub>2</sub>	Ground 2. Ground reference for isolator Side 2.
16	V <sub>DD2</sub>	Supply Voltage for Isolator Side 2, 2.7 V to 5.5 V.

OUTLINE DIMENSIONS



COMPLIANT TO JEDEC STANDARDS MS-013AA  
 CONTROLLING DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS; INCH DIMENSIONS  
 (IN PARENTHESES) ARE ROUNDED-OFF MILLIMETER EQUIVALENTS FOR  
 REFERENCE ONLY AND ARE NOT APPROPRIATE FOR USE IN DESIGN

Figure 21. 16-Lead Standard Small Outline Package [SOIC]  
 Wide Body (RW-16)  
 Dimension shown in millimeters (inches)

ORDERING GUIDE

Model	Number of Inputs, V <sub>DD1</sub> Side	Number of Inputs, V <sub>DD2</sub> Side	Maximum Data Rate (Mbps)	Maximum Propagation Delay, 5 V (ns)	Maximum Pulse-Width Distortion (ns)	Temperature Range (°C)	Package Option <sup>1</sup>
ADuM1400ARW <sup>2</sup>	4	0	1	100	40	-40 to +105	RW-16
ADuM1400BRW <sup>2</sup>	4	0	10	50	3	-40 to +105	RW-16
ADuM1400CRW <sup>2</sup>	4	0	90	32	2	-40 to +105	RW-16
ADuM1400ARWZ <sup>2,3</sup>	4	0	1	100	40	-40 to +105	RW-16
ADuM1400BRWZ <sup>2,3</sup>	4	0	10	50	3	-40 to +105	RW-16
ADuM1400CRWZ <sup>2,3</sup>	4	0	90	32	2	-40 to +105	RW-16
ADuM1401ARW <sup>2</sup>	3	1	1	100	40	-40 to +105	RW-16
ADuM1401BRW <sup>2</sup>	3	1	10	50	3	-40 to +105	RW-16
ADuM1401CRW <sup>2</sup>	3	1	90	32	2	-40 to +105	RW-16
ADuM1401ARWZ <sup>2,3</sup>	3	1	1	100	40	-40 to +105	RW-16
ADuM1401BRWZ <sup>2,3</sup>	3	1	10	50	3	-40 to +105	RW-16
ADuM1401CRWZ <sup>2,3</sup>	3	1	90	32	2	-40 to +105	RW-16
ADuM1402ARW <sup>2</sup>	2	2	1	100	40	-40 to +105	RW-16
ADuM1402BRW <sup>2</sup>	2	2	10	50	3	-40 to +105	RW-16
ADuM1402CRW <sup>2</sup>	2	2	90	32	2	-40 to +105	RW-16
ADuM1402ARWZ <sup>2,3</sup>	2	2	1	100	40	-40 to +105	RW-16
ADuM1402BRWZ <sup>2,3</sup>	2	2	10	50	3	-40 to +105	RW-16
ADuM1402CRWZ <sup>2,3</sup>	2	2	90	32	2	-40 to +105	RW-16

<sup>1</sup> RW-16 = 16-lead wide body SOIC.

<sup>2</sup> Tape and reel are available. The addition of an "-RL" suffix designates a 13" (1,000 units) tape and reel option.

<sup>3</sup> Z = Pb-free part.

8-channel analogue multiplexer/demultiplexer

HEF4051B  
MSI

DESCRIPTION

The HEF4051B is an 8-channel analogue multiplexer/demultiplexer with three address inputs ( $A_0$  to  $A_2$ ), an active LOW enable input ( $\bar{E}$ ), eight independent inputs/outputs ( $Y_0$  to  $Y_7$ ) and a common input/output ( $Z$ ).

The device contains eight bidirectional analogue switches, each with one side connected to an independent input/output ( $Y_0$  to  $Y_7$ )

and the other side connected to a common input/output ( $Z$ ).

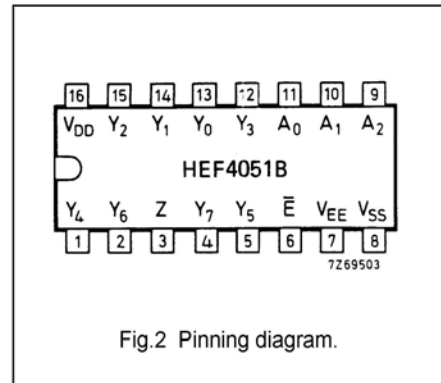
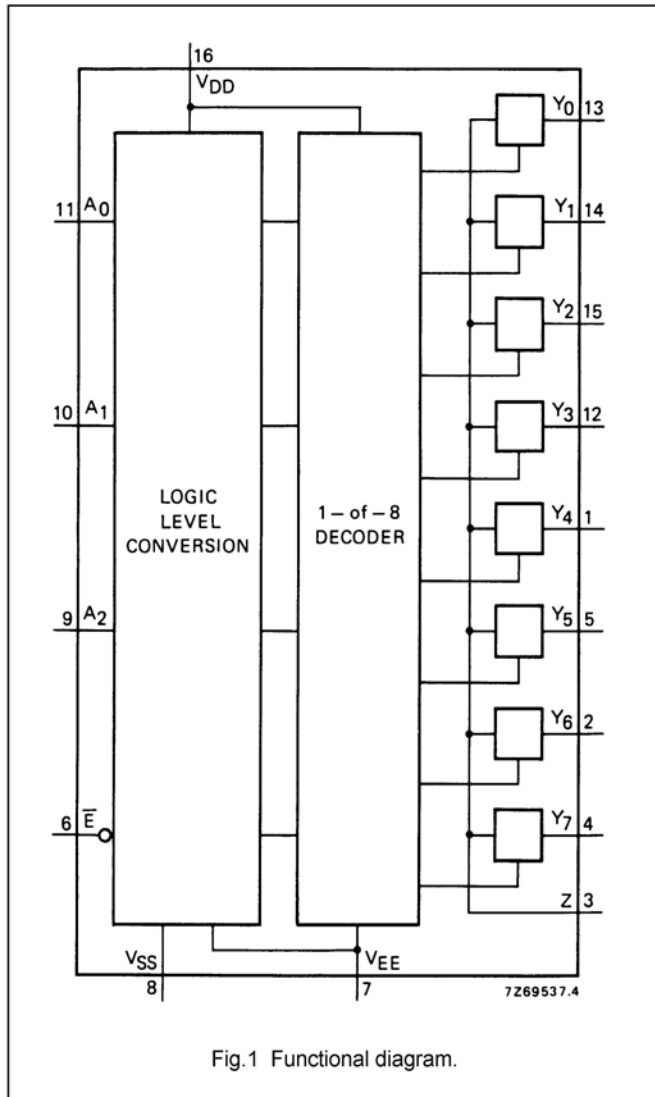
With  $\bar{E}$  LOW, one of the eight switches is selected (low impedance ON-state) by  $A_0$  to  $A_2$ . With  $\bar{E}$  HIGH, all switches are in the high impedance OFF-state, independent of  $A_0$  to  $A_2$ .

$V_{DD}$  and  $V_{SS}$  are the supply voltage connections for the digital control inputs ( $A_0$  to  $A_2$ , and  $\bar{E}$ ).

The  $V_{DD}$  to  $V_{SS}$  range is 3 to 15 V.

The analogue inputs/outputs ( $Y_0$  to  $Y_7$ , and  $Z$ ) can swing between  $V_{DD}$  as a positive limit and  $V_{EE}$  as a negative limit.  $V_{DD}-V_{EE}$  may not exceed 15 V.

For operation as a digital multiplexer/demultiplexer,  $V_{EE}$  is connected to  $V_{SS}$  (typically ground).



- HEF4051BP(N): 16-lead DIL; plastic (SOT38-1)
- HEF4051BD(F): 16-lead DIL; ceramic (cerdip) (SOT74)
- HEF4051BT(D): 16-lead SO; plastic (SOT109-1)
- ( ): Package Designator North America

PINNING

- $Y_0$  to  $Y_7$  independent inputs/outputs
- $A_0$  to  $A_2$  address inputs
- $\bar{E}$  enable input (active LOW)
- $Z$  common input/output

FAMILY DATA,  $I_{DD}$  LIMITS category MSI

See Family Specifications.

8-channel analogue multiplexer/demultiplexer

HEF4051B  
MSI

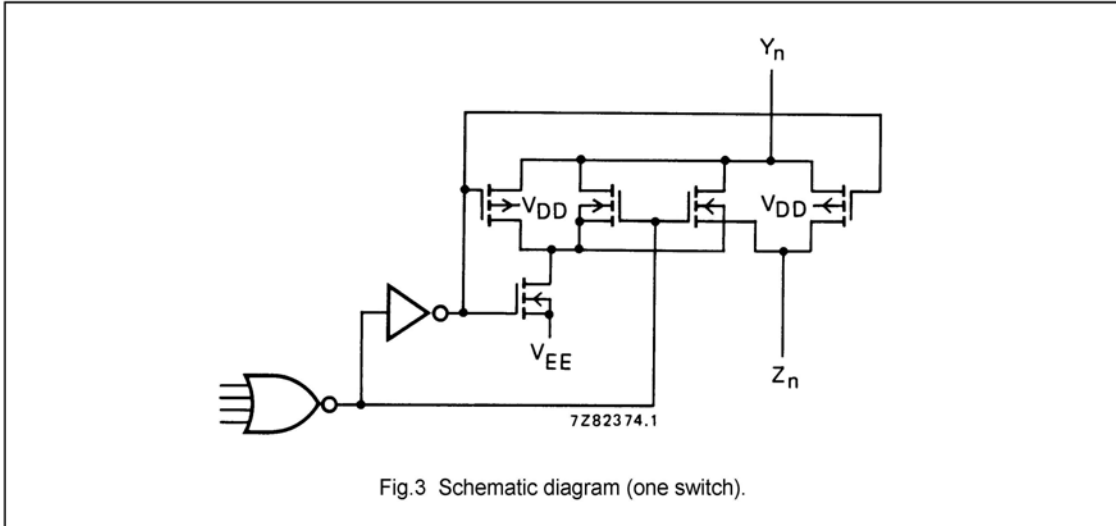


Fig.3 Schematic diagram (one switch).

FUNCTION TABLE

INPUTS				CHANNEL ON
$\bar{E}$	$A_2$	$A_1$	$A_0$	
L	L	L	L	$Y_0-Z$
L	L	L	H	$Y_1-Z$
L	L	H	L	$Y_2-Z$
L	L	H	H	$Y_3-Z$
L	H	L	L	$Y_4-Z$
L	H	L	H	$Y_5-Z$
L	H	H	L	$Y_6-Z$
L	H	H	H	$Y_7-Z$
H	X	X	X	none

Notes

- H = HIGH state (the more positive voltage)  
L = LOW state (the less positive voltage)  
X = state is immaterial

RATINGS

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134)

Supply voltage (with reference to  $V_{DD}$ )  $V_{EE}$  -18 to + 0,5 V

Note

- To avoid drawing  $V_{DD}$  current out of terminal Z, when switch current flows into terminals Y, the voltage drop across the bidirectional switch must not exceed 0,4 V. If the switch current flows into terminal Z, no  $V_{DD}$  current will flow out of terminals Y, in this case there is no limit for the voltage drop across the switch, but the voltages at Y and Z may not exceed  $V_{DD}$  or  $V_{EE}$ .

8-channel analogue multiplexer/demultiplexer

HEF4051B  
MSI

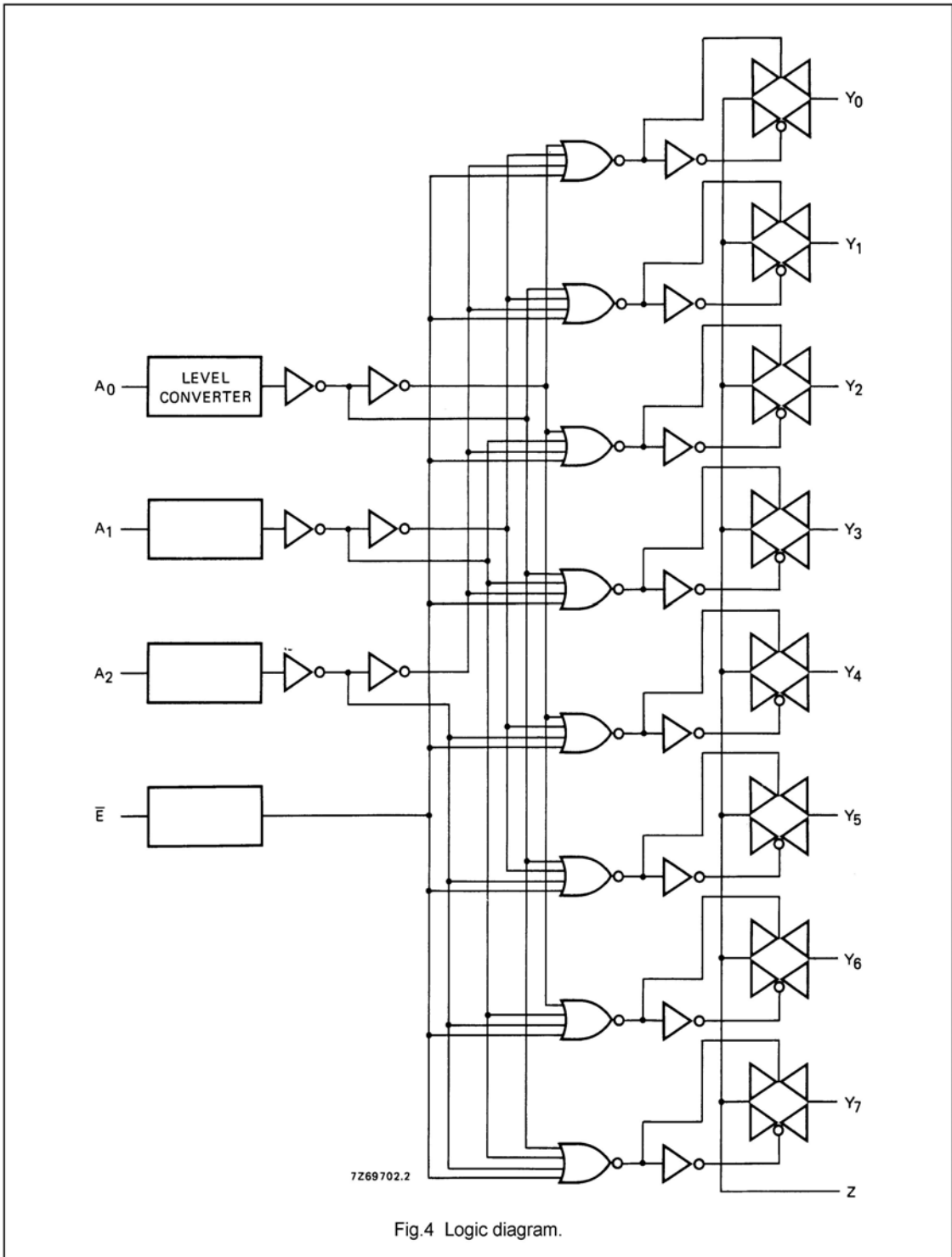


Fig.4 Logic diagram.

## LM158/LM258/LM358/LM2904 Low Power Dual Operational Amplifiers

### General Description

The LM158 series consists of two independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, dc gain blocks and all the conventional op amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM158 series can be directly operated off of the standard +5V power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional  $\pm 15V$  power supplies.

The LM358 and LM2904 are available in a chip sized package (8-Bump micro SMD) using National's micro SMD package technology.

### Unique Characteristics

- In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage.
- The unity gain cross frequency is temperature compensated.
- The input bias current is also temperature compensated.

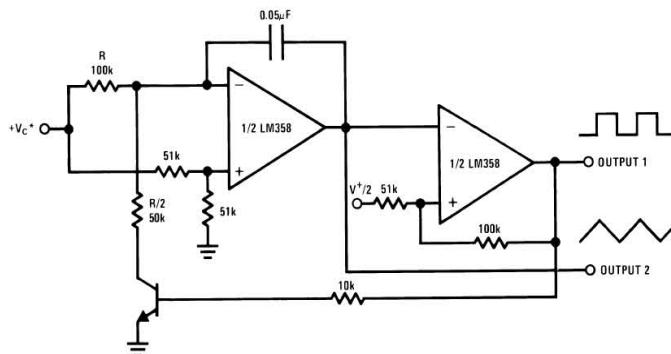
### Advantages

- Two internally compensated op amps
- Eliminates need for dual supplies
- Allows direct sensing near GND and  $V_{OUT}$  also goes to GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation

### Features

- Available in 8-Bump micro SMD chip sized package, (See AN-1112)
- Internally frequency compensated for unity gain
- Large dc voltage gain: 100 dB
- Wide bandwidth (unity gain): 1 MHz (temperature compensated)
- Wide power supply range:
  - Single supply: 3V to 32V
  - or dual supplies:  $\pm 1.5V$  to  $\pm 16V$
- Very low supply current drain (500  $\mu A$ )—essentially independent of supply voltage
- Low input offset voltage: 2 mV
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage swing

### Voltage Controlled Oscillator (VCO)



00778723

**Absolute Maximum Ratings** (Note 9)

If Military/Aerospace specified devices are required,  
please contact the National Semiconductor Sales Office/

Distributors for availability and specifications.

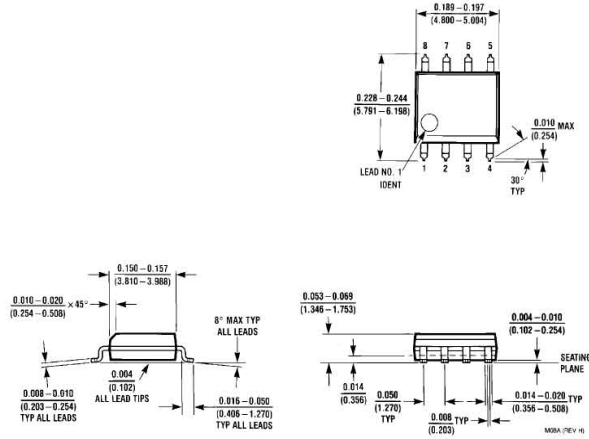
	LM158/LM258/LM358 LM158A/LM258A/LM358A	LM2904
Supply Voltage, $V^+$	32V	26V
Differential Input Voltage	32V	26V
Input Voltage	-0.3V to +32V	-0.3V to +26V
Power Dissipation (Note 1)		
Molded DIP	830 mW	830 mW
Metal Can	550 mW	
Small Outline Package (M)	530 mW	530 mW
micro SMD	435mW	
Output Short-Circuit to GND (One Amplifier) (Note 2) $V^+ \leq 15V$ and $T_A = 25^\circ C$	Continuous	Continuous
Input Current ( $V_{IN} < -0.3V$ ) (Note 3)	50 mA	50 mA
Operating Temperature Range		
LM358	0°C to +70°C	-40°C to +85°C
LM258	-25°C to +85°C	
LM158	-55°C to +125°C	
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Lead Temperature, DIP (Soldering, 10 seconds)	260°C	260°C
Lead Temperature, Metal Can (Soldering, 10 seconds)	300°C	300°C
Soldering Information		
Dual-In-Line Package		
Soldering (10 seconds)	260°C	260°C
Small Outline Package		
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C	220°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.		
ESD Tolerance (Note 10)	250V	250V

**Electrical Characteristics**

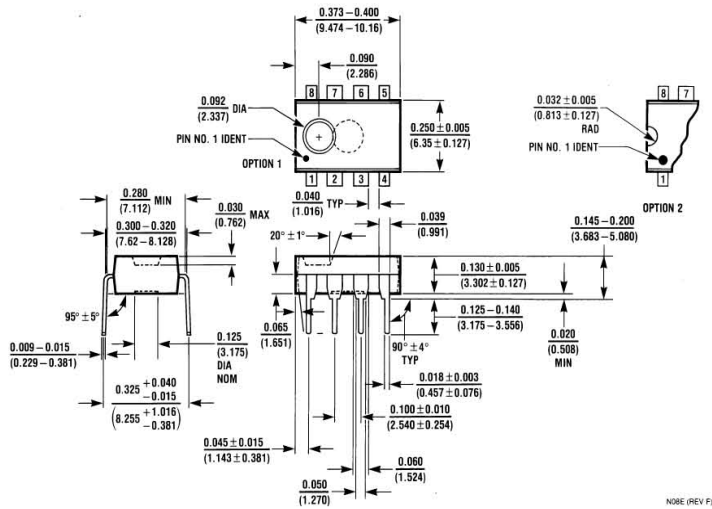
$V^+ = +5.0V$ , unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM158A			LM358A			LM158/LM258			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 5), $T_A = 25^\circ C$	1	2		2	3		2	5		mV
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$ , $T_A = 25^\circ C$ , $V_{CM} = 0V$ , (Note 6)	20	50		45	100		45	150		nA
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$ , $V_{CM} = 0V$ , $T_A = 25^\circ C$	2	10		5	30		3	30		nA
Input Common-Mode Voltage Range	$V^+ = 30V$ , (Note 7) (LM2904, $V^+ = 26V$ ), $T_A = 25^\circ C$	0	$V^+ - 1.5$		0	$V^+ - 1.5$		0	$V^+ - 1.5$		V
Supply Current	Over Full Temperature Range $R_L = \infty$ on All Op Amps $V^+ = 30V$ (LM2904 $V^+ = 26V$ ) $V^+ = 5V$	1	2		1	2		1	2		mA
		0.5	1.2		0.5	1.2		0.5	1.2		mA

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



**SOIC Package (M)**  
NS Package Number M08A



**Molded Dip Package (N)**  
NS Package Number N08E