

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR**



**DISEÑO DEL CONEXIONADO Y ACONDICIONAMIENTO DEL
ORDENADOR A BORDO DEL ROBOT ASIBOT**

Proyecto Fin de Carrera

**Ingeniería Técnica Industrial:
Electrónica Industrial**

**Autor: Carlos A. Barranco García
Tutor: Alberto Jardón Huete
Julio 2008**

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática

**DISEÑO DEL CONEXIONADO Y ACONDICIONAMIENTO DEL
ORDENADOR A BORDO DEL ROBOT ASIBOT**

PROYECTO FIN DE CARRERA

**INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL:
ELECTRÓNICA INDUSTRIAL**

Autor: Carlos Antonio Barranco García
Tutor: Alberto Jardón Huete

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR**

Agradecimientos

Agradecimientos

En primer lugar quiero dar las gracias a mi familia, y especialmente a mis padres y mi hermano por ayudarme en todo momento, por haber estado a mi lado, por haberme comprendido y escuchado cuando los he necesitado.

También tengo que agradecer a la que ha sido mi compañera en este proyecto y en estos años de la carrera, Eva, la cual ha hecho que todo este tiempo haya sido más ameno con su compañía y su apoyo.

Gracias al tutor Alberto Jardón Huete, a Santiago Martínez de la Casa Díaz y al resto de personas del departamento implicadas en este proyecto, las cuales me han ofrecido su ayuda y tiempo para solucionar los problemas surgidos en este proyecto. También agradecer a la técnica de laboratorio Ángela por haber estado siempre disponible para ayudarnos en lo que hemos necesitado.

Por último, agradecer al resto de profesores y personas que en el pasado han contribuido para poder llegar aquí, también gracias a Andrés y a Juan Carlos por haberme dejado su ordenador para la realización de esta memoria.

Muchas gracias a todos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

<u>Capítulo 1: Introducción</u>	1
1.1.- Descripción del proyecto.....	2
1.2.- Objetivos.....	3
1.3.- Aplicaciones del robot ASIBOT.....	4
1.4.- Estado del arte.....	5
1.4.1.- Humanoide ARMAR.....	5
1.4.2.- Brazo robótico Robotnik.....	10
<u>Capítulo 2: Trabajos previos</u>	14
2.1.- Descripción general.....	15
2.2.- Elementos del robot.....	16
2.2.1.- Estructura mecánica.....	17
2.2.2.- Sistema de accionamiento.....	23
2.2.3.- Sistema sensorial.....	27
2.2.4.- Sistema de transmisión.....	32
2.2.5.- Sistemas de comunicaciones.....	34
2.2.6.- Unidad de control.....	35

<u>Capítulo 3: Descripción de especificaciones</u>	36
3.1.- Reducción de peso y volumen.....	37
3.2.- Actualización de la comunicación entre CPU y los driver.....	38
3.3.- Sistemas de conexión con el PC.....	39
3.4.- Diseño de un sistema robusto.....	40
<u>Capítulo 4: Trabajo realizado</u>	41
4.1.- Descripción del trabajo realizado.....	42
4.1.1.- Fases.....	42
4.1.2.- Arquitectura del sistema.....	43
4.2.- Diseño de la electrónica embebida.....	44
4.2.1.- Unidad de control.....	44
4.2.2.- Sistema de alimentación.....	62
4.2.3.- Sistema de comunicaciones.....	73
4.2.4.- Control de los ejes.....	82
4.2.5.- Sistema de disipación de calor.....	85
4.3.- Diseño de las placas.....	90
4.3.1.- Espacio útil.....	91
4.3.2.- Dimensiones de los sistemas embebidos..	94
4.3.3.- Distribución de componentes.....	97

4.3.4.- Normativa aplicada para diseño en PCB estándar.....	106
4.4.- Montaje.....	114
4.4.1.- Ubicación de la electrónica.....	114
4.4.2.- Cableado.....	115
4.4.3.- Conexionado.....	117
<u>Capítulo 5: Conclusiones y trabajos futuros</u>	122
5.1.- Conclusiones.....	123
5.2.- Trabajos futuros.....	125
<u>Bibliografía</u>	126
B1.- Libros.....	127
B2.- Artículos.....	127
B3.- Páginas Web.....	128
<u>Anexos</u>	129
ANEXO 1.- Esquemas electrónicos.....	130
ANEXO 2.- Layouts de los circuitos.....	136
ANEXO 3.- Hojas de características.....	142

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Robot ARMAR y su modelo cinemático.....	6
Figura 1.2: Arquitectura hardware.....	8
Figura 1.3: Arquitectura software.....	9
Figura 1.4: Brazo modular Robotnik.....	10
Figura 2.1: Momento anterior al anclaje.....	18
Figura 2.2: ASIBOT anclado.....	19
Figura 2.3: Articulación con movimiento de muñeca..	20
Figura 2.4: Eje 3 del robot ASIBOT.....	20
Figura 2.5: Eslabones.....	21
Figura 2.6: Herramientas.....	22
Figura 2.7: Campo de acción de robot antropomórfico	23
Figura 2.8: Torque motor.....	25
Figura 2.9: Encoder del eje 3.....	28
Figura 2.10: Sensor inductivo.....	29
Figura 2.11: Encoder RCML15.....	30
Figura 2.12: Representación canales A, B y Z.....	31
Figura 2.13: Harmonic Drive.....	33
Figura 2.14: Vista de perfil del Harmonic Drive....	34
Figura 4.1: Arquitectura general del sistema.....	43
Figura 4.2: PhyCORE PXA-270 montado en la Carrier Board.....	45
Figura 4.3: PhyCORE PXA270.....	46

Figura 4.4: Conexión directa entre el controlador y el transceiver.....	50
Figura 4.5: Diagrama de bloques del PCA82C251.....	52
Figura 4.6: Circuito de acondicionamiento del CAN..	54
Figura 4.7: Conector RJ45.....	56
Figura 4.8: Circuito de acondicionamiento de Ethernet.....	57
Figura 4.9: Relación de tamaño entre DB-9 y DB-29..	58
Figura 4.10: Circuito de acondicionamiento de JTAG.	61
Figura 4.11: Sistema de contactos en la <i>docking Station</i>	63
Figura 4.12: Sistema de contactos en el extremo del Robot.....	64
Figura 4.13: Conversor Dc/Dc TSI 10N.....	65
Figura 4.14: Dimensiones del conversor TSI10N-0510 (mm).....	68
Figura 4.15: Circuito de acondicionamiento y protección del sistema de alimentación	72
Figura 4.16: Diagrama de bloques de un bus CAN.....	75
Figura 4.17: Estructura modelo OSI.....	78
Figura 4.18: Driver sin carcasa.....	83
Figura 4.19: E/S del ULN 2064B.....	86
Figura 4.20: Puente de MOSFET.....	87
Figura 4.21: Disposición tipo sándwich.....	88
Figura 4.22: Ventilador integrado en el sándwich...	90

Figura 4.23: Dimensiones de los tubos (mm).....	92
Figura 4.24: Dimensiones útiles de los tubos (mm)..	93
Figura 4.25: Dimensiones placas tubo corto.....	95
Figura 4.26: Dimensión placa tubo largo inferior...	95
Figura 4.27: Dimensión placa tubo largo superior...	95
Figura 4.28: Espesor de la PCB y altura de la carcasa de los drivers.....	96
Figura 4.29: Dimensiones plancha de aluminio tubo largo.....	96
Figura 4.30: Dimensiones plancha de aluminio tubo corto.....	97
Figura 4.31: Sándwich del tubo corto.....	98
Figura 4.32: Placa inferior del tubo corto sin driver.....	99
Figura 4.33: Placa tubo corto inferior.....	101
Figura 4.34: Sándwich del tubo largo.....	102
Figura 4.35: Placa superior del tubo largo.....	103
Figura 4.36: Placa inferior del tubo largo.....	104
Figura 4.37: Lista de señales.....	105
Figura 4.38: Ancho de las pistas en función de la corriente según norma UNE 20-621-84/3.	107
Figura 4.39: Relación corriente vs. espesor de pista según el estándar IPC-2221.....	108
Figura 4.40: Consumo de corriente par aun perfil de velocidad triangular.....	109
Figura 4.41: Conector Micro Match hembra.....	116

Figura 4.42: Cables Flexivolt.....	118
Figura 4.43: Cable de las señales de control.....	119
Figura 4.44: Brida de sujeción.....	121

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Características del motor QT-1917.....	26
Tabla 2.2: Conexionado del encoder.....	30
Tabla 4.1: Características de la phyCORE PXA270.....	47
Tabla 4.2: Pines de la CPU empleados en la Alimentación.....	49
Tabla 4.3: Componentes empleados en la alimentación de la phycORE.....	49
Tabla 4.4: Pin Out del transceiver PCA82C251.....	53
Tabla 4.5: Pines de la PXA270 empleados para CAN bus	54
Tabla 4.6: Componentes empleados en CAN.....	54
Tabla 4.7: Pines de la PXA270 empleados en ethernet.	56
Tabla 4.8: Componentes empleados en el ethernet.....	57
Tabla 4.9: Pines de la PXA270 empleados para el RS-232.....	58
Tabla 4.10: Asignación de señales de RS-232 en el DB-9.....	59
Tabla 4.11: Asignación de pines del conector JTAG...	60
Tabla 4.12: Pines de PXA270 empleados en JTAG.....	60
Tabla 4.13: Componentes empleados en JTAG.....	61
Tabla 4.14: Características conversor Traco TSI 10N-2411.....	65
Tabla 4.15: Pin Out del TSI 10N-2411.....	66
Tabla 4.16: Características del conversor TSI 10N-0510.....	67
Tabla 4.17: Características SMCJ24CA.....	70

Tabla 4.18: Características SMBJ5.0A.....	71
Tabla 4.19: Características diodo supresor V3.5MLA0805.....	71
Tabla 4.20: Pines del puerto JTAG.....	81
Tabla 4.21: Características del MCDC 3006C.....	83
Tabla 4.22: Pin Out del driver MCDC3006c.....	84
Tabla 4.23: Características de los ventiladores.....	89
Tabla 4.24: Dimensiones de las placas.....	94
Tabla 4.25: Estimación de consumos por eje.....	110
Tabla 4.26: Consumos máximos de la electrónica de potencia.....	111
Tabla 4.27: Áreas transversales de las pistas.....	112
Tabla 4.28: Anchura de pistas de las señales de potencia.....	112
Tabla 4.29: Características Moles Mini Fit.....	115
Tabla 4.30: Características conector Micro Match....	116
Tabla 4.31: Características de los cables de potencia.....	118
Tabla 4.32: Características de los cables de control	119
Tabla 4.33: Relación de los colores de las señales..	120

CAPÍTULO 1:
INTRODUCCIÓN

1.1.- Descripción del proyecto

Este proyecto consiste en la actualización de la electrónica embebida del robot ASIBOT, para conseguir un mejor funcionamiento de éste.

El robot ASIBOT es un robot asistencial cuyo objetivo es facilitar las condiciones de vida de personas mayores o con movilidad reducida ayudándoles en la realización de actividades cotidianas que sin la ayuda de este no podrían realizar. Puede ayudar en realización de las actividades diarias debido a que tiene la capacidad de poder manipular elementos del entorno gracias a que solo uno de sus extremos tiene que permanecer anclado, quedando así el otro libre.

El robot consta de cinco grados de libertad debido a que consta de cinco articulaciones las cuales pueden realizar un movimiento cada una respecto a la anterior. Otra característica importante de ASIBOT es la simetría de su estructura, la cual consta de una articulación en el centro del robot y otras dos a cada lado.

Éste tiene la capacidad de desplazarse en cualquier dirección. Para ello solo es necesario que haya una *docking station*, lugar en donde se ancla y de donde recibe la alimentación necesaria para su funcionamiento.

Por tanto, las características que definen al robot ASIBOT es que es un robot asistencial, manipulador, simétrico y escalador.

Una descripción más completa sobre la estructura mecánica del robot, su funcionamiento y la electrónica embebida de éste en la versión previa de ASIBOT se describen en el capítulo 2 de esta memoria en que se habla sobre los trabajos previos de este proyecto.

Este proyecto trata de la modificación de los sistemas electrónicos embebidos en el robot y del recableado de éste para conseguir un funcionamiento mejor y más robusto que el que tiene el robot actualmente, añadiéndole nuevas aplicaciones como una entrada de ethernet para comunicarse con el PC directamente para cargar y depurar el código del

robot. En el capítulo 4 de esta memoria se describirá todo los trabajos realizados para la actualización de la electrónica de ASIBOT.

1.2.- Objetivos

Los objetivos generales del proyecto son:

1- Implantación de nuevas tarjetas electrónicas para conseguir mejoras de las comunicaciones del robot tanto a nivel interno en la comunicación de la CPU con los drivers de cada eje como a nivel externo para permitir conexiones de la CPU con el exterior por medio de ethernet o puerto serie.

2- Conseguir un diseño compacto y lo más reducido posible de las placas electrónicas, ya que el robot dispone de poco espacio en su interior para la ubicación de éstas. Además se quiere dejar espacio libre por si es necesaria la integración de algún nuevo componente.

3- Recableado de todas las conexiones del robot para conseguir conexiones más robustas y evitar la rotura del cableado.

El proyecto ha pasado por varias etapas para conseguir los objetivos generales fijados en este, estas etapas son:

- Elección de nuevos componentes electrónicos que cumplan los requisitos necesarios para realizar las funciones que se quiere que tenga el robot.
- Diseño e implantación de los nuevos sistemas electrónicos.
- Integración de las placas en la estructura del robot.

- Recableado y conexionado de las placas con los distintos elementos del robot.
- Montaje y prueba del funcionamiento del robot.

En el capítulo 2 de descripción de especificaciones se da una descripción detallada de los objetivos que se quieren cumplir.

1.3.- Aplicaciones del robot ASIBOT

La principal aplicación para la cual está diseñado el robot como ya se dijo anteriormente está orientada a la asistencia de personas discapacitadas o de la tercera edad, para la realización de tareas cotidianas.

Además de la aplicación anterior, el robot ASIBOT puede utilizarse en diferentes sectores. Un sector en el cual podría ser útil su implantación es el industrial donde cada vez se está implantando más la robótica. La aplicación de la robótica en este sector se usa para la realización de tareas repetitivas, como soldadura en cadenas de montaje, o tareas peligrosas o nocivas para el ser humano, como robots para pintura o de inspección de entornos peligrosos.

Debido a que se trata de un robot portable y ligero puede realizar varias tareas en un entorno de trabajo, lo cual le distingue de la mayoría de los robots permitiendo así tanto ahorro económico como de espacio.

Su aplicación puede extenderse fuera de las fábricas pudiendo realizar tareas en el sector de la medicina o el espacial. Este último es un sector en el que puede tener un alto potencial ya que se trata de un sector en el cual las tareas a realizar tienen cierta peligrosidad, siendo útil la utilización de robots. Además la posibilidad de ser manejado a distancia hace más viable su uso en el ámbito espacial.

A parte de las aplicaciones mencionadas antes, ASIBOT puede ser implantado en otros sectores, la principal

condición que se debe cumplir para su uso es la existencia de un entorno en el cual se puedan instalar un sistema de anclajes para la sujeción y alimentación del robot.

1.4.- Estado del arte

El robot ASIBOT es un robot manipulador de tipo asistencial y escalador, pero en este apartado no se van a mencionar robots de servicio, sino que se van a hablar sobre robots cuya electrónica de a bordo sea similar a la del robot ASIBOT.

En las siguientes secciones de este apartado se describen robots a nivel mecánico pero sobretodo se va a describir como es la electrónica empleada en el control del robot.

1.4.1.- Humanoide ARMAR

1.4.1.1.- Descripción general

El robot humanoide ARMAR consta de 25 grados de libertad mecánicos (GDL). Este consta de una plataforma móvil autónoma, un cuerpo con 4 grados de libertad, dos brazos antropomórficos redundantes de 7 GDL cada uno, dos agarres simples y una cabeza de tres grados de libertad. El peso total de la parte superior del cuerpo del ARMAR es aproximadamente de 45kg. En la figura 1.1 se muestra el robot ARMAR y su modelo cinemático.

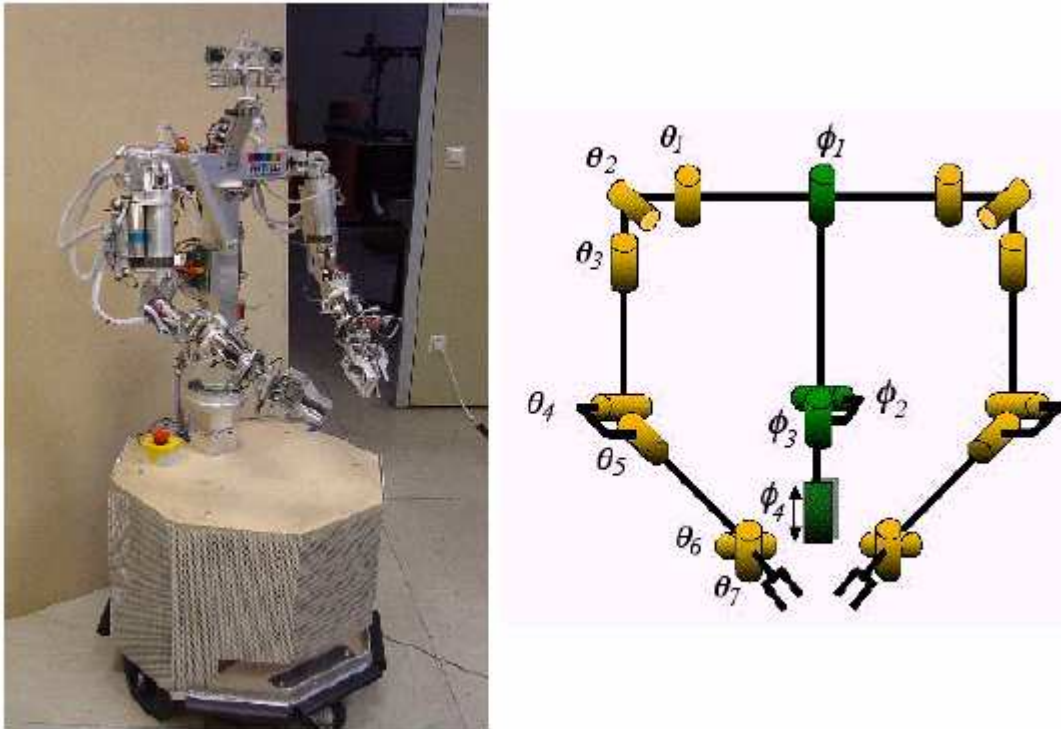


Figura 1.1: Robot ARMAR y su modelo cinemático.

En las siguientes secciones se describe el sistema sensorial y la arquitectura de control del robot.

1.4.1.2.- Sistema sensorial

El sistema sensorial consta de sensores angulares en cada articulación con una resolución de $0,1^\circ$. La corriente y la tensión de cada motor son medidas y determinadas por tarjetas de potencia electrónica especiales.

El sistema de sensor de la plataforma móvil incluye ocho sensores ultrasónicos y un explorador de láser plano. Ambos tipos de sensores son usados para obtener una navegación del robot libre de colisiones.

1.4.1.3.- Arquitectura de control

La arquitectura de control del robot ha sido diseñada de manera modular. Esta jerarquía está organizada y

dividida en dos: arquitectura de control y arquitectura software. La arquitectura de control consta de tres niveles: el nivel de microcontrolador, el nivel PC y el PC-network. Actualmente, el robot es controlado por un dispositivo C-167 microcontrolador y un PC estándar.

Para la realización del más bajo nivel, la unión de los dos niveles se emplean tarjetas fabricadas por la empresa alemana Phytec. Estas tarjetas están equipadas con el microregulador Siemens C-167, los cuales ofrecen una alta cantidad de periféricos interfaces y una velocidad de aproximadamente 10MIPS. Los microcontroladores son agrupados con placas especiales de potencia, la cual controla los cuatro motores. La placa contiene además la electrónica necesaria para la sensorización y las comunicaciones.

Las tareas de los micro-reguladores están divididas en dos áreas principales. El primero es la informática y el control de cada unión que incluye la evaluación de los codificadores del eje, determinación del voltaje o corriente de los motores de corriente continua durante el control, cálculo de las fuerzas del gripper y la generación del parámetro de control para los drivers. Todos los sensores están directamente acoplados con el micro-regulador. Los sensores entregan las señales analógicas, que son convertidas por el convertidor AD interno del C-167 y las señales digitales provenientes de los encoders, son contados por el micro-regulador. La segunda área debe proporcionar servicios a los niveles del brazo que incluyen la dirección de la comunicación que se vincula al ordenador personal.

En las figura 1.2 se muestra las arquitectura de hardware del robot ARMAR.

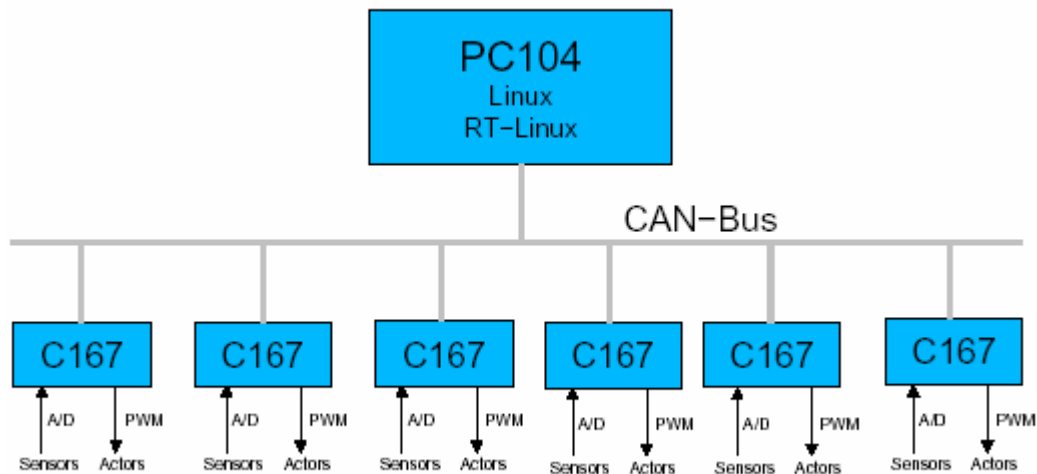


Figura 1.2: Arquitectura hardware.

Para la comunicación se utiliza CAN-bus que tiene un máximo capacidad de 1 MBAUD. Para una conveniente programación de los micro-reguladores, el software está cargado directamente del ordenador personal vía CAN-bus en la RAM y no como siempre en el a bordo EEPROM. El EEPROM sólo contiene una rutina de inicialización para el interfaz CAN.

El siguiente nivel de control es responsable por completo de los movimientos del brazo, la plataforma móvil, cabeza y torso. En el estado presente del trabajo se usa un ordenador personal inmóvil con un Procesador Pentium (400MHz) Equipado con una tarjeta CAN especial. En caso de un el robot de servicio autónomo con dos brazos esta planeado para usar una PC-board (PC-104). En el ordenador personal corren programas como la anulación de colisión, planificación de trayectoria, interpretación del sensor (por ejemplo fuerzas agarrando un objeto), y tarea que planea algoritmos.

Para manejar las exigencias de control en tiempo real consta de una arquitectura de control modular. Es usado como sistema de operaciones Linux así como Linux en tiempo real. En el estándar Linux el núcleo corre con una

prioridad inferior como una tarea del núcleo RT-LINUX. Para la puesta en práctica eficiente de los niveles de control diferentes tiene integrada un módulo MCA, ya que ello permite el desarrollo rápido y el cambio de algoritmos de control en niveles de control diferentes. En la figura 1.3 se muestra la arquitectura de software aplicadas al robot humanoide.

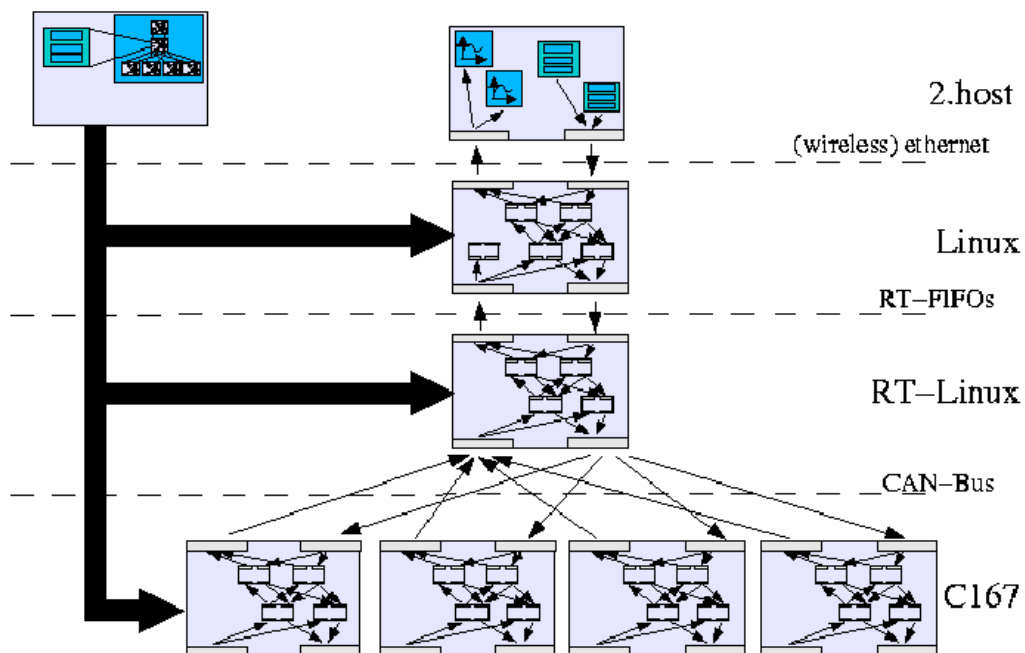


Figura 1.3: Arquitectura software.

1.4.2.- Brazo robótico Robotnik

Este robot es más similar al robot ASIBOT en cuanto a su forma, siendo también bastante similar la electrónica de control de ambos.

Se trata de brazos robóticos de la casa Robotnik Automation que integran servoaccionamientos modulares, se puede ver en la figura 1.4. Estos accionamientos integran motorreductor, etapa de potencia y controlador, de forma que el brazo resultante no requiere de un armario de control externo. La conexión externa del brazo se reduce a 2 hilos de alimentación y 2 hilos CAN bus. Esta estructura guarda gran similitud tanto en el método de alimentación como los dispositivos electrónicos que lo componen.



Figura 1.4: Brazo modular Robotnik.

Los elementos y brazo se ajustan a los requerimientos de cada aplicación. Las características generales de este brazo son las siguientes:

- Hasta 7 grados de libertad (en un mismo bus).
- Alcance de 400 a 1300 mm.
- Capacidad de carga útil en función del diseño (9Kg en la base del efector final con el alcance máximo).
- Peso reducido: aproximadamente 25Kg en una configuración de 6GDL.
- Velocidad máxima de 57 grados/s en la base y 360 grados/s en la muñeca.
- Motores servo de corriente alterna y frenos electromagnéticos.
- Repetitividad posicional de 0.5 mm.
- Electrónica de control mediante tarjeta CAN-PCI desde ordenador personal.

El brazo está formado por elementos modulares con motorreductor y controlador. Este tipo de brazo, integra etapa de potencia y control es el más adecuado para su instalación en unidades móviles (plataformas móviles o androides).

Las ventajas de este brazo son:

- Alimentación a 24VDC (no requiere de cargar con un pesado inversor).
- Control mediante bus CAN: a diferencia de un brazo robot industrial, solo se requiere externamente una tarjeta CAN y un equipo PC, no requiere de armario de control.
- Las dimensiones de los enlaces se hacen de acuerdo con las necesidades del entorno y espacio de trabajo.

Las dos principales ventajas de este robot son características comunes del brazo Robotnik con el robot ASIBOT.

Los módulos trabajan como controladores distribuidos. El controlador superior o maestro (puede ser un PC Windows) se utiliza para generar la secuencia de programa (o referencias) y para realizar el envío de este paso a paso a cada eje del sistema de articulaciones múltiples.

El control de corriente, velocidad de rotación y de posición tiene lugar en cada uno de los módulos, de igual forma que las operaciones de supervisión de temperatura y control de parada. No se requiere que el controlador superior tenga capacidades de tiempo real. Algunas características técnicas de los módulos son:

- Cada eje contiene su propio controlador y servo amplificador.
- Motores sin escobillas (brushless).
- Eje pasante que permite el paso interior de los cables (permite un diseño con protección IP).
- Encoder absoluto para posicionamiento y control de velocidad.
- Monitorización de rango, límites, temperatura y corriente.
- Requerimientos de potencia de 20A y 24VDC (en total 480W para todo el brazo).
- Integración inmediata con cualquier tipo de efector final: pinzas, manos robotizadas, taladros, útiles de soldadura, etc.
- Freno magnético integrado en todos los ejes.
- Arquitectura abierta (control de alto nivel sobre el movimiento de cada eje).

- Construcción en aluminio para minimización de peso.
- Controlador maestro con drivers disponibles para múltiples sistemas operativos MS Windows (9.x, NT, ME, 2000, XP) y Linux. También se suministra una API para Windows

CAPITULO 2:
TRABAJOS PREVIOS

2.1.- Descripción general

El robot ASIBOT es un brazo de aproximadamente 13Kg y 1,30 metros de longitud. A lo largo del robot hay cinco ejes motrices dispuestos de manera simétrica, los cuales dotan al robot cinco grados de libertad.

Una característica del ASIBOT fundamental es que es un robot portable ya que al tener toda la electrónica embebida en el interior de su estructura no requiere un sistema de control externo, tan solo requiere alimentación para su funcionamiento, la cual la recibe del exterior por lo que no debe estar provisto de baterías, las cuales le harían más pesado y voluminoso. Debido a su reducido peso se hace posible que pueda ser transportado con bastante facilidad.

Como ya se dijo antes se trata de un robot escalador por lo que es capaz de desplazarse en cualquier dirección debido a que para funcionar solo tiene que estar anclado uno de sus extremos a una especie de conector llamado *docking station* cuya misión consiste en mantener sujeto al robot y entregarle la alimentación necesaria para su funcionamiento. Los extremos del robot además de servir para alimentar y anclar al robot tienen la capacidad de alojar en su interior unas garras para portar objetos.

El robot ASIBOT durante su funcionamiento puede realizar diferentes tareas, las cuales consisten en desplazar el robot hasta la posición requerida y realizar la función demandada por el usuario. Estas tareas pueden ser realizadas de dos formas:

1) Automática ya que el robot tiene una serie de tareas programadas, y tan solo con una orden el robot puede controlar el robot

2) Manual: este método consiste en una programación por guiado activa en la cual se controla el sistema de accionamiento del robot mediante una PDA o un JoyStick.

2.2.- Elementos del robot

En un robot industrial se pueden distinguir varios elementos importantes, los cuales son:

1) Estructura mecánica. Compuesta por:

- Base: que puede ser fija o móvil.
- Articulaciones: las cuales pueden ser de rotación o translación.
- Eslabón

2) Sistemas de accionamiento. Compuestos por actuadores, que pueden ser:

- Eléctricos
- Hidráulicos
- Neumáticos

3) Sistemas sensoriales. Puede estar compuesto por:

- Sensores internos
- Sensores externos

4) Sistema de transmisión.

5) Unidad de control

Los conjuntos accionadores (ejes motrices) del robot están compuestos por motor, reductor, freno electromagnético y sensores inductivos. Algunos de estos elementos pertenecen al sistema de accionamiento, otros al sensorial y otros al de transmisión.

A continuación se explican los distintos elementos y sistemas por los que está compuesto ASIBOT.

2.2.1.- Estructura mecánica

Mecánicamente, un robot industrial o brazo está formado por una serie de elementos o eslabones unidos mediante articulaciones que permiten un movimiento relativo entre cada dos eslabones consecutivos.

La estructura mecánica de ASIBOT como se mencionó anteriormente está compuesto por cinco articulaciones, las cuales están repartidas a lo largo del robot de tal manera que este es simétrico. Estas articulaciones dotan al robot cinco grados de libertad. Estas articulaciones permiten movimientos simples de rotación respecto de un eje.

Las partes de la estructura mecánica de ASIBOT son las siguientes:

- Base
- Articulaciones
- Eslabones
- Elementos terminales

En los siguientes apartados se da una breve descripción de las partes de la estructura mecánica del robot mencionados anteriormente.

2.2.1.1.- Base

La base del robot es fija, ya que la alimentación se recibe del exterior por lo que debe existir una conexión física entre el robot y el sistema de alimentación. Esta conexión se realiza a través de uno de los extremos del robot (siendo indiferente que extremo se conecte) el cual se ancla a unas estructuras llamadas *docking station*.

Las *docking stations* son estructuras fijas que permiten el anclaje del robot y la conexión eléctrica de éste mediante unos sistemas de contactos especiales que están situados de tal forma que cuando el robot está anclado a la *docking station* este reciba la alimentación a través de ellos.

En las figuras 2.1 y 2.2 se observan el momento anterior a la introducción del extremo del robot en la *docking station* y una vez se ha producido el anclaje de este.



Figura 2.1: Momento anterior al anclaje.

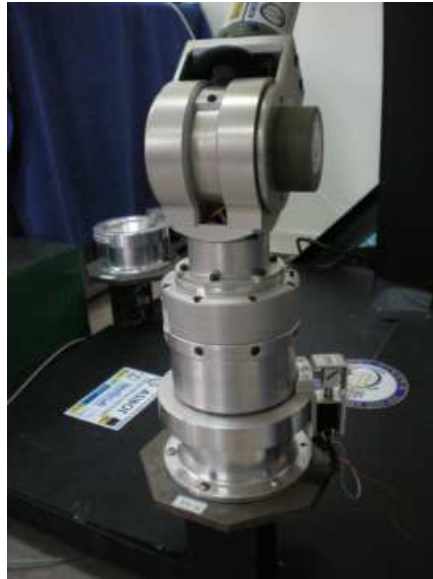


Figura 2.2: ASIBOT anclado.

2.2.1.2.- Articulaciones

Todas las articulaciones de las que consta el robot pueden producir solamente un movimiento, de rotación en todos los casos.

Las articulaciones 1 y 5, denominadas muñecas, son las que se encuentran en los extremos del robot, coincidiendo el eje de rotación de éstas con el eje longitudinal del robot cuando está estirado. Las articulaciones tienen forma cónica para permitir el anclaje del robot en las *docking station*. Además estas articulaciones constan de un sistema de contactos para que sea posible la alimentación del robot a través de las *docking stations*. En la figura 2.3 se puede ver una articulación del extremo del robot.



Figura 2.3: Articulación con movimiento de muñeca.

La articulación 3 es la articulación que se encuentra en la mitad del robot, respecto a ésta el robot es simétrico, se puede ver esta articulación en la figura 2.4.



Figura 2.4: Eje 3 de ASIBOT.

2.2.1.3.- Eslabones

Los eslabones que unen las articulaciones 1 y 2 ó la 4 y 5 son iguales, están hechas del mismo material que las articulaciones (aluminio).

A pesar de ser un robot simétrico las dimensiones de los eslabones que unen las articulaciones dos con la tres y tres con la cuatro no son del mismo tamaño. Estos eslabones son tubos de fibra de carbono en los cuales se encuentra embebida toda la electrónica del robot. A estos tubos se les denominarán tubo corto y tubo largo respectivamente.

En la figura 2.5 se indican los distintos eslabones que componen el robot ASIBOT.

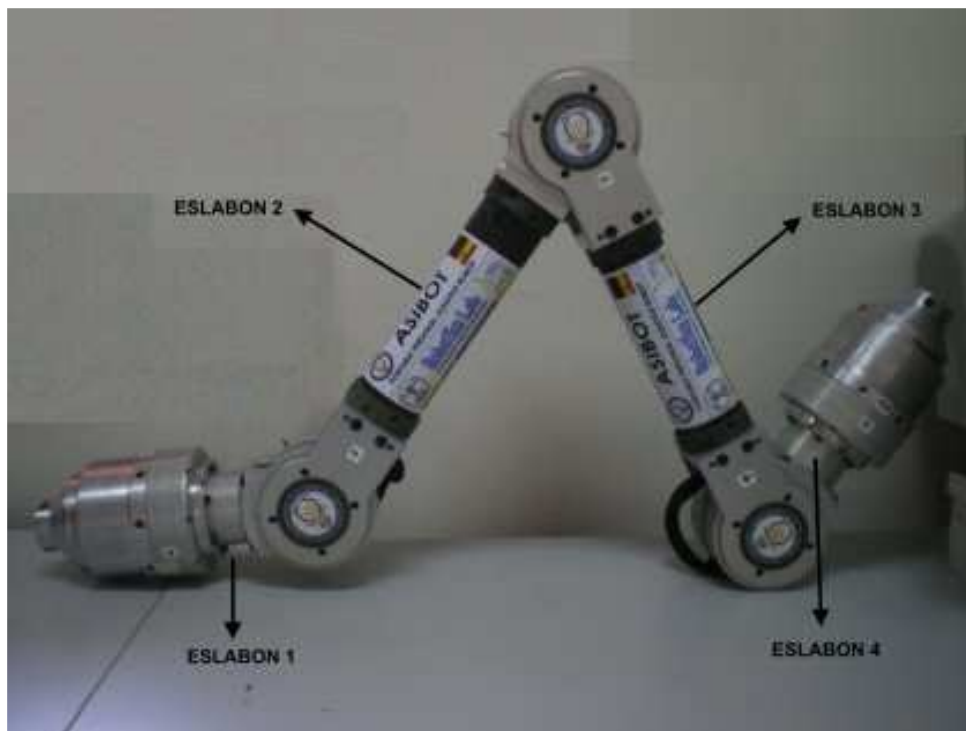


Figura 2.5: Eslabones.

2.2.1.4.- Elementos terminales

Son los elementos encargados de interactuar directamente con el entorno. Hay dos tipos de elementos terminales: los de sujeción y los de herramienta. El robot ASIBOT consta de las siguientes herramientas:

- Elemento de sujeción: consta de unas pinzas compuestas por una especie de garras las cuales sirven para la sujeción de cosas.
- Elementos herramientas como cepillo de dientes, esponja o una botella para beber agua. Estas herramientas están diseñadas de manera que el cono del extremo del robot al introducirlo en la herramienta queda encajado.

Estos elementos tienen forma cónica para permitir la sujeción de éstos al extremo del robot. En la figura 2.6 se observan algunas de las herramientas de las que consta el robot.



Figura 2.6: Herramientas.

Debido a la estructura mecánica del robot su configuración es verticalmente articulado o antropomórfico, por lo que su campo de acción es como el de la figura:

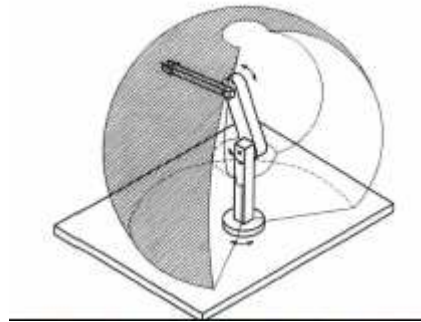


Figura 2.7: Campo de acción de robot antropomórfico.

Además gracias a que el robot puede desplazarse debido a que cualquiera de los extremos puede conectarse a las *docking station* el campo de acción del robot aumenta notablemente. Puede tenerse un campo de acción tan grande como se quiera, tan solo es necesario la ubicación de *docking stations* para que el robot pueda ir conectándose de unas a otras.

2.2.2.- Sistema de accionamiento

Los sistemas de accionamiento son equipos electrónicos de potencia, encargados de suministrar energía a los generadores de movimiento (motores, electroválvulas hidráulicas o neumáticas).

En la actualidad en su mayoría los robots utilizan motores eléctricos de corriente continua. Los motores de corriente alterna (motores AC) comienzan a ser utilizados.

Los actuadores tienen por misión generar el movimiento de los elementos del robot según las órdenes dadas por la unidad de control.

Los actuadores se clasifican en:

- Eléctricos.
- Hidráulicos
- Neumáticos.

Los primeros robots utilizaban accionamientos hidráulicos, pero en la actualidad solo se utilizan cuando se requiere gran cantidad de energía (manipulación de grandes cargas), pero este no es el caso del robot ASIBOT en el cual se usan actuadores eléctricos por sus características de control, precisión y sencillez.

En concreto el robot ASIBOT los actuadores de los que consta son motores de corriente continua (DC), de los cuales a continuación se da una breve descripción.

2.2.2.1.- Motor

El movimiento del robot es generado por una serie de motores de corriente continua con escobillas situados uno en cada eje motriz, por lo que el robot consta de cinco motores. A estos motores se les denomina *torque motors* o motores de par.

Se trata de motores de accionamiento directo (*direct drive*), esto quiere decir que pueden actuar directamente sobre la carga que quiere moverse sin la necesidad de utilizar un reductor.

La posibilidad de no utilizar reductor hace que el motor conste de ciertas ventajas, como el posicionamiento rápido y preciso, pues se evitan los rozamientos y juegos de transmisiones y reductores, pero los motores de accionamiento directo también tienen inconvenientes. El principal inconveniente de este tipo de motores sin la utilización de reductor es la necesidad de proporcionar un alto par a bajas revoluciones manteniendo la máxima rigidez posible. Otro problema que presentan estos motores son las

escobillas, las cuales requieren de mantenimiento para un óptimo funcionamiento de éstos.



Figura 2.8: Torque motor.

En general, los motores de par están diseñados para tres tipos diferentes de funcionamiento:

- 1) Alto par estático ("stand still" operación) para los sistemas de posicionamiento.
- 2) Alto par a bajas velocidades de los sistemas de control de velocidad.
- 3) El par es óptimo a alta velocidad para el posicionamiento.

Los motores de par de acción directa son especialmente adecuados para aplicaciones de servidor del sistema en el que es conveniente reducir al mínimo el tamaño, el peso, el poder y el tiempo de respuesta, y para maximizar la velocidad y precisión de posición.

En concreto el *torque motor* que se utiliza para el movimiento de los ejes es el motor QT-1917 de la casa KOLLMORGEN, del cual alguna de sus características se muestran en la tabla 2.1.

Tensión de alimentación	24Vdc
Par de pico	0,86 Nm
Corriente Máxima (I_{max})	13 A
Corriente de Vacío (I_o)	0,8 A
Constante del Motor	0,05 Nm/w ^{1/2}
Peso	270 g

Tabla 2.1: Características del motor QT-1917.

2.2.2.2.- Freno electromagnético

El robot consta de cinco frenos electromagnéticos, los cuales se encuentran solidarios al eje de los motores, habiendo por tanto un freno en cada eje motriz.

El funcionamiento del freno radica en que cuando el freno se encuentra activado este no está alimentado permitiendo así el mantenimiento de las posiciones estáticas sin necesidad de que los motores consuman energía para generar el par estático necesario y mantener la posición. Por el contrario cuando el freno se encuentra alimentado se produce la liberación de este. Este método reduce de manera notable el consumo de energía del robot y evita el calentamiento de los motores, reduciendo así su mantenimiento y alargando su vida.

Este sistema de funcionamiento es además aporta seguridad al usuario en cuanto al funcionamiento sistema debido a que en el caso de existir una pérdida de la alimentación del robot los ejes de este permanecen fijos.

El freno requiere una alimentación de +24Vdc y la potencia consumida por este es de 11 watios.

2.2.3.- Sistema sensorial

Debido al sistema sensorial un robot tiene conocimiento tanto de su propio estado como del estado del entorno, esto permite que un robot realice su tarea con la precisión, velocidad e inteligencia adecuada.

El sistema sensorial se puede dividir en dos:

- 1) Sensores internos: estos son los relacionados con el estado del propio robot, fundamentalmente con la posición y velocidad de las articulaciones.
- 2) Sensores externos: son los relacionados con su entorno.

También hay sensores de presencia que pueden ser usados tanto como sensores internos o externos.

Los diferentes sensores utilizados en ASIBOT son los siguientes:

- 1) Consta de cinco sensores de posición digitales, en concreto se trata de encoders incrementales, situados cada uno en un eje para controlar la posición de este. En la figura 2.9 se muestra un encoder integrado en la estructura del robot.



Figura 2.9: Encoder del eje 3.

- 2) También se utilizan cinco sensores de presencia inductivos situados cada uno en una articulación como auxiliares de los sensores de posición, para indicar los límites de movimiento de las articulaciones y permitir localizar la posición de referencia de cero de éstos debido a que se trata de sensores incrementales. En la figura 2.10 se observa el sensor inductivo de uno de los ejes del robot.



Figura 2.10: Sensor inductivo.

En los apartados 2.2.3.1 y 2.2.3.2 se da una descripción detallada de los encoders y sensores inductivos que componen el sistema sensorial del robot.

2.2.3.1.- Encoder

Como se dijo anteriormente cada eje consta de un encoder óptico incremental que realimenta la posición y el sentido de giro para poder realizar el control de cada eje.

En concreto los encoders de los que consta cada eje del robot son encoders incrementales ópticos RENCO de la serie RCML15.



Figura 2.11: Encoder RCML15.

El sistema de conexionado del encoder se muestra en la tabla 2.2.

PIN	FUNCIÓN
1	GND
2	Z
3	CH A
4	+5V
5	CH B
6	U
7	V
8	W

Tabla 2.2: Conexionado del encoder.

El encoder proporciona dos formas de onda cuadradas y desfasadas entre sí 90° eléctricos, estas son los canales CHA y CHB. Con la lectura de un solo canal se conoce la velocidad de rotación, mientras que si se realiza la

lectura de ambos es posible conocer también el sentido de giro debido a la secuencia de datos que producen ambas señales.

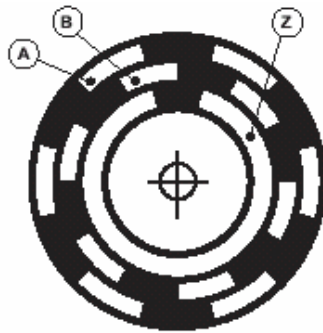


Figura 2.12: Representación canales A, B y Z.

2.2.3.2.- Sensor inductivo

Estos sensores como también se dijo hay uno situado en cada articulación del robot como auxiliares de los sensores de posición, para indicar los límites de movimiento de las articulaciones y permitir localizar la posición de referencia de cero de éstos debido a que se trata de sensores incrementales.

Con el uso de los sensores en el robot se buscan conseguir dos objetivos, los cuales se explican a continuación:

1) En el proceso de sincronización el sensor es utilizado para establecer los límites software que usará el programa de control.

2) En el funcionamiento normal del robot éste indica el límite de giro del eje correspondiente.

Las principales características del sensor inductivo usado son las siguientes:

- Sensor PNP que se activa al detectar un elemento metálico.

- Reducido tamaño con un diámetro de 4mm, lo cual hace que su integración en las diferentes articulaciones sea fácil.
- Alimentación a 24v y consumo de 100mA.

2.2.4.- Sistema de transmisión

Es el encargado de transferir y canalizar el movimiento de los motores hacia los elementos móviles del robot.

Los sistemas de transmisión están constituidos por dos partes:

- Sistemas reductores, los cuales pueden ser:
 - o Planetarios.
 - o Ciclo.
 - o Harmonic Drive
- Sistemas de transmisión

La misión de los sistemas de transmisión consiste en reducir los pares estáticos y reducir los momentos de inercia, fundamentalmente en el extremo del robot.

En el robot ASIBOT el sistema reductor utilizado es un Harmonic Drive (HDUC), este tipo se basa en una corona exterior rígida con dentado interior (*circular spline*) y un vaso flexible (*flexspline*) con dentado exterior que engrana en el *circular spline*.

Interior al *flexpline* gira un rodamiento elipsoidal (*wave generator*) que deforma el vaso, poniendo en contacto la corona exterior con la zona del vaso correspondiente al máximo diámetro de la elipse.

Debido a la diferencia de dientes existentes entre el *circular spline* y el *flexspline* ($Z=N_c-N_f$), tras un vuelta del *wave generator* el *flexpline* tan solo avanza la diferencia de dientes Z .

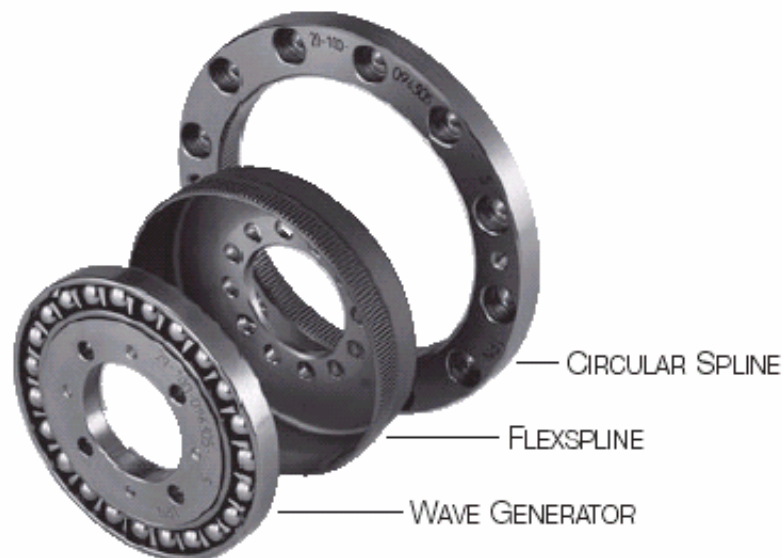


Figura 2.13: Harmonic Drive.

Los Harmonic Drive de los que consta el robot ASIBOT son de la marca HD Systems en concreto el modelo CSD-25, las principales características de las que constan este tipo de reductores son las siguientes:

- Tiene una alta relación de reducción, en concreto este modelo de 160.
- Poseen un bajo momento de inercia, en concreto el momento de inercia del CSD-25 es de $0,000282 \text{ kg.m}^2$ siendo este prácticamente nulo.
- Reducido peso.
- Alto rendimiento mecánico.

Además se trata de un Harmonic Drive ultraplano, esta característica tiene gran importancia ya que gracias a su reducido tamaño la integración en los ejes del robot es posible. En la figura 2.14 se puede apreciar la diferencia de tamaño existente entre el harmonic drive usado y otros harmonic drive existentes en el mercado.



Figura 2.14: Vista de perfil del Harmonic Drive.

2.2.5.- Sistema de comunicaciones

Los sistemas de comunicaciones de que constaba la versión anterior de ASIBOT se citan a continuación:

- Comunicaciones internas

Las comunicaciones internas de las que constaba ASIBOT para la comunicación entre los distintos controladores de los ejes motrices con la CPU de control se basaban en la comunicación serie. Este tipo de comunicación es bastante antiguo por lo que existen otras opciones más modernas y óptimas para realizar la comunicación entre estos sistemas.

- Comunicaciones externas

La comunicación exterior para la depuración de código y la conexión con la PDA se realizaba mediante una conexión inalámbrica a través de una tarjeta *Compact Flash WiFi* integrada en la CPU de control.

2.2.6.- Unidad de control

La unidad de control es la encargada de gestionar el funcionamiento del robot. La unidad de control y el resto de electrónica necesaria para el acondicionamiento de señales se encuentran embebidos en el tubo largo y el tubo corto del robot, es decir en los eslabones 2 y 3.

La sustitución de la unidad de control es en lo que se va a basar principalmente este proyecto. La antigua unidad de control estaba compuesta por un sistema Cerfbord para Windows CE de la marca Intrinsyc basado en un microprocesador Intel StrongArm 1110 de 16bits. Esta CPU controlaba los diferentes ejes a través de una unidad comercial para el control de motores de corriente continua de la marca Faulhaber, modelo MCDC2805.

Este sistema se ha sustituido por una unidad de control compuesta por un sistema Phycore-PXA270 de la marca PHYTEC basado en un microprocesador Intel XScale PXA-270. Esta CPU tiene la posibilidad de utilizar una comunicación por Can-Bus a través de la cual controla las unidades encargadas de controlar los distintos ejes, estas unidades para el control de los motores son de la marca Faulhaber como en la versión anterior pero se trata del modelo MCDC-3006C. Este modelo se diferencia del anterior principalmente en que mientras que el otro estaba preparado para comunicaciones serie, este esta preparado para realizar comunicaciones a través de un bus CAN.

La descripción completa de la nueva unidad de control empleada en la nueva versión del robot ASIBOT se da en el capítulo 4 de esta memoria, en concreto en el apartado 4.2.1.

CAPITULO 3:
DESCRIPCIÓN DE
ESPECIFICACIONES

Para el desarrollo de este proyecto lo primero es conocer las especificaciones que se quieren que cumpla el robot ASIBOT tras la realización de éste.

Las especificaciones que se quieren cumplir son las siguientes:

- 1) Reducción del peso y volumen de la electrónica embebida en el robot.
- 2) Utilización del interfaz de comunicación CAN-BUS.
- 3) Implantación de diferentes sistemas de conexión con el PC para la depuración el software.
- 4) Diseño de un sistema robusto.

A continuación se detallan los motivos de la definición de estas especificaciones.

3.1.- Reducción de peso y volumen

El motivo de la reducción del peso de la electrónica embebida en el robot es el de conseguir un robot más ligero, ya que al tratarse de un robot potable cuanto más ligero más fácil es su transporte.

Se quiere reducir el volumen ocupado por las placas electrónicas en el interior de los tubos para tener espacio destinado a futuras ampliaciones o mejoras de este trabajo, pudiendo utilizar la electrónica existente sin necesidad de tener que rediseñar y reubicar de nuevo toda la electrónica embebida en los tubos.

3.2.- Actualización de la comunicación entre CPU y los driver

El sistema de comunicación del que estaba dotado el robot para la comunicación entre la CPU y los distintos controladores era la comunicación serie RS-232. Este tipo de bus presenta varios problemas por lo que es conveniente su sustitución. Estos problemas se detallan a continuación:

- Se requiere multiplexación en las líneas de comunicación entre la CPU de control y los distintos controladores de los ejes.
- La velocidad de las transmisiones serie en el sistema es de 19200 baudios, esta velocidad es demasiado lenta y representa un cuello de botella en la comunicación, disminuyendo la respuesta global del sistema.
- Incapacidad de la CPU de control para gestionar el puerto de comunicación RS-232 en tiempo real, por lo que se generan retardos en el procesado de los datos y no se asegura un tiempo de respuesta fijo.
- La antigüedad de este tipo de sistema de comunicación, lo que implica que en la actualidad existen sistemas con mejores prestaciones.

Estos inconvenientes que presenta la comunicación RS-232 son el motivo de la elección de otro sistema de comunicaciones. Para la elección del nuevo sistema de comunicaciones se han definido una serie de requisitos que debe cumplir el nuevo sistema de comunicaciones:

- No debe requerir componentes adicionales para realizar la comunicación con el fin de no añadir más complejidad a los sistemas de a bordo.
- Debe ser reconocido y empleado ampliamente en el ámbito industrial. Esto garantizará la existencia de dispositivos que soporten ese sistema de comunicación.

El sistema que se ha elegido para realizar esta función está basado en un bus CAN (*Can Area Network*). Con la sustitución de la comunicación serie RS-232 por una comunicación basada en el protocolo CAN se consigue aumentar la velocidad de transferencia de datos, además se reduce considerablemente el cableado y se eliminan las conexiones punto a punto.

La elección del sistema de comunicaciones va ligada a los dispositivos que realizan la comunicación, es decir, además de la elección del sistema de comunicaciones deben elegirse compatibles los dispositivos que intervienen en la comunicación.

Por tanto, la implantación de este sistema implica la sustitución de la CPU y de los controladores de los ejes motrices por unos que permitan la realización de este tipo de comunicación.

3.3.- Sistemas de conexión con el PC

Para la depuración de código a través del PC se le quiere dotar al robot de varias posibles métodos de comunicación con el exterior. Estos tipos de comunicación son los siguientes:

- 1) Comunicación serie a través de un puerto RS-232
- 2) Comunicación ethernet a través de un puerto RJ-45
- 3) Comunicación JTAG

Esto es un cambio en cuanto con las comunicaciones exteriores de la versión anterior bastante importante, ya que antes las comunicaciones con el exterior como se mencionó en el capítulo anterior se realiza solamente mediante una conexión inalámbrica a través de una tarjeta *Compact Flash Wireless*. Este tipo de comunicación se quiere incorporar al robot ASIBOT en futuras versiones mediante una conexión a través de una tarjeta SD WiFi.

3.4.- Diseño de un sistema robusto

Esta especificación es una de las principales y bajo está debe realizarse el diseño completo del sistema.

El principal problema que existía en el funcionamiento en la versión anterior del robot se debía principalmente a la rotura del cableado.

La rotura de cableado se producía en las mangueras de cables que unían los tubos con los ejes y se producía debido a que en el movimiento de las articulaciones los cables al no soportar el movimiento y la tensión que se producía en estos. Por tanto, para la realización del cableado del robot es necesaria la elección de un cable más flexible.

Otro factor que hay que tener en cuenta es la elección de conectores robustos que no se liberen durante el funcionamiento del robot como motivo de los movimientos de rotación.

CAPITULO 4:
TRABAJO REALIZADO

4.1.- Descripción del trabajo realizado

4.1.1.- Fases

El trabajo realizado como ya se ha explicado en apartados anteriores ha consistido en el diseño, implantación e integración de nuevas tarjetas electrónicas para mejorar el funcionamiento del robot ASIBOT y dotarle de funciones que antes no tenía.

El trabajo realizado se divide en tres etapas principales que son las siguientes:

- 1) Diseño del sistema : esta etapa se divide en dos fases:
 - a. La primera fase consiste en la búsqueda y elección de los componentes necesarios que cumplan los requisitos para poder cumplir los objetivos general fijados en el proyecto.
 - b. Distribución de componentes en las diferentes placas de los tubos del robot y diseño compacto de estas.
- 2) Montaje del robot
 - a. Recableado interior del robot.
 - b. Conexión de las placas e inserción de estas en la estructura del robot.
- 3) Pruebas de funcionamiento.

En los siguientes apartados se describen de manera detallada las etapas mencionadas anteriormente.

4.1.2.- Arquitectura del sistema

La arquitectura general del sistema se muestra en la figura 4.1. En esta se puede ver las relaciones y comunicaciones entre los diferentes componentes o elementos del sistema para el control de un eje motriz, por lo que en la arquitectura general del sistema en realidad debe haber cuatro nodos más conectados a las líneas de CAN que representen el resto de los ejes que componen éste.

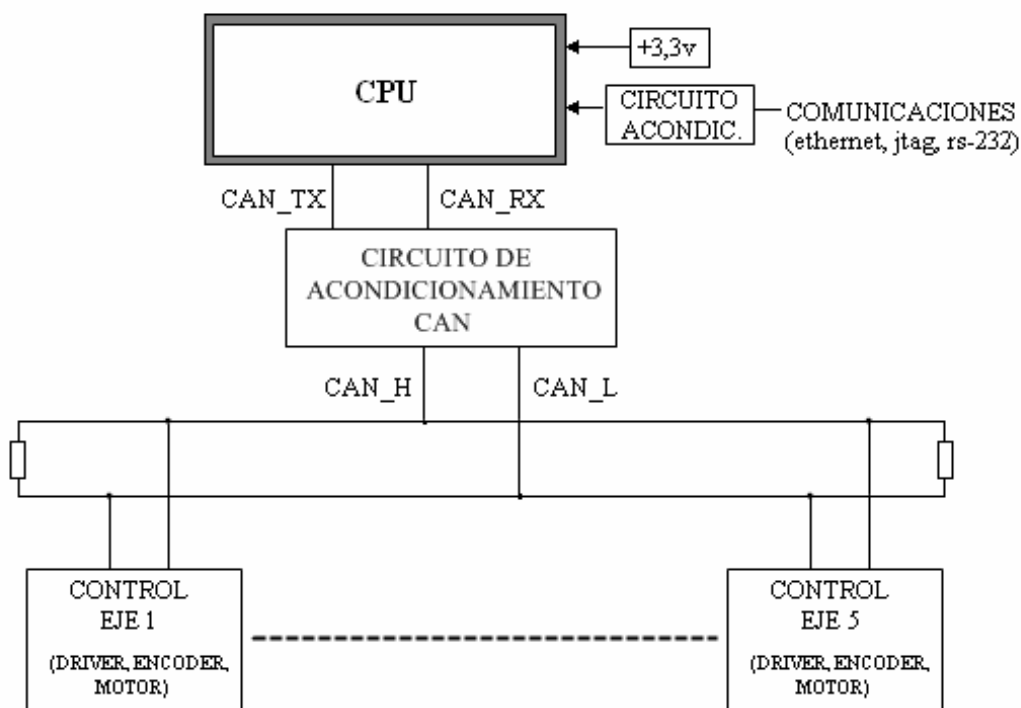


Figura 4.1: Arquitectura general del sistema.

En esta memoria se va a hablar sobretodo sobre el acondicionamiento de la CPU tanto para la alimentación de esta, como para el acondicionamiento de los diferentes sistemas de comunicaciones de la CPU tanto con el exterior para la depuración de código, como con el interior para la comunicación CAN con los diferentes ejes motrices.

En los apartados siguientes se describen los diferentes sistemas que componen el robot (alimentación, comunicaciones, control de eje, etc) de manera más

detallada y los componentes que se han seleccionado para cada uno.

4.2. Diseño de la electrónica embebida

A continuación se da una breve descripción de los elementos empleados en cada uno de los sistemas antes mencionados que componen la electrónica embebida del robot y los circuitos empleados para el acondicionamiento de éstos.

4.2.1.- Unidad de control

4.2.1.1.- Introducción

Como ya se dijo antes la unidad de control del robot ASIBOT se iba a sustituir por la PXA270-phyCORE de la casa PHYTEC. Los principales motivos para la elección de esta CPU es que dispone de la posibilidad de realizar comunicaciones con los distintos controladores del robot a través de un bus CAN, y permite varios tipos de comunicaciones con el exterior para la depuración de código, entre los cuales se distinguen la comunicación serie RS-232, ethernet o JTAG, siendo estas parte de las especificaciones que se requerían que tuviese el nuevo sistema.

El phyCORE-PXA270 Carrier Board es un operador universal para la puesta en marcha y la programación de la phyCORE-PXA270 Single Board Computer, único módulo de alta densidad con dos SMT (160 pines, 0,63 mm) conectores de pines. La Carrier Board está completamente equipada con todos los componentes mecánicos y eléctricos necesarios para la rápida y segura inserción y la posterior programación de la alta densidad phyCORE módulo. Estos componentes incluyen pantalla TFT de conexión, interfaz de pantalla táctil, y conector Ethernet transformador, DB-9, USB y conectores de enchufe. El phyCORE módulo puede ser conectado como un "gran chip" a la Carrier Board de apareamiento mediante conectores Moles de 160 pines.

Una vez programada, la phyCORE módulo puede ser separada de la Carrier Board y ser insertada como un "gran chip" en una tarjeta de hardware aplicación. Dado el carácter compacto de la Carrier Board, es posible utilizar la plataforma completa OEM como un interfaz de las aplicaciones hombre-máquina (HMI).

En el sistema electrónico de ASIBOT tan solo se ha realizado la implantación de la phyCORE PXA270 sin la Carrier Board debido a que esta no cabe en los tubos del robot por el reducido espacio que hay en estos.

En la figura 4.2 se puede ver el conjunto formado por la PXA-270 y la Carrier Board:



Figura 4.2: PhyCORE PXA-270 montado en la Carrier Board.

El módulo phyCORE-PXA270 se basa en la tecnología XScale, que ofrece servicios avanzados de integración de periféricos, multimedia de alto rendimiento de aceleración y el ahorro de energía superior. La MMU on-chip soporta los

principales sistemas operativos, como Linux y Windows Embedded CE.

El phyCORE-PXA270 es una solución ideal para los espacios pequeños y las aplicaciones de baja potencia, por lo que se adapta a las necesidades de espacio y potencia del sistema.

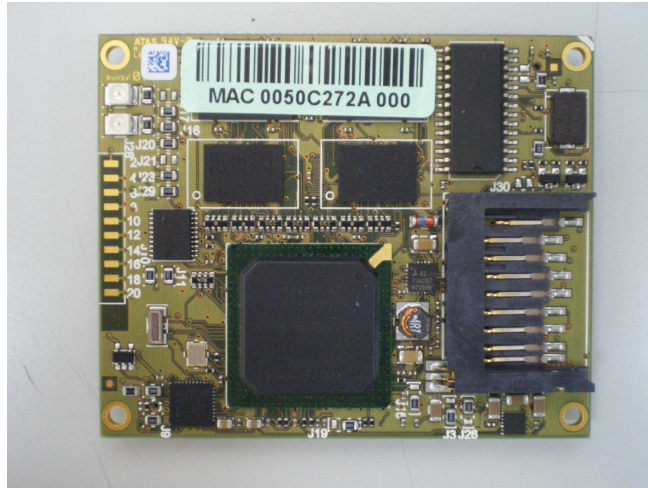


Figura 4.3: PhyCORE PXA270.

La distribución de la phyCORE-PXA270 viene preprogramada con una imagen Windows Embedded CE 6.0. En futuras modificaciones del robot ASIBOT se quiere cambiar este sistema operativo por Linux.

Las principales características de la Phycore PXA270 se muestran en la tabla 4.1.

Procesador	Intel Xscale PXA270 max 520 MHz clock
Memoria	32 - 64 Mbyte Flash-ROM 4 memorias de 64Mbyte 32bit 100MHz SDRAM 4 Kbyte I ² C EEPROM 256 Kbyte SRAM interna
Conectividad	USB Interfaz Host y USB Interfaz Cliente SJA1000 controlador CAN 2.0B 10/100 Mbps Ethernet controlador LAN91C111 3 x UARTS (1 en el RS-232) / IrDA Interfaz JTAG
Tarjetas	2* MMC card resp. SD card y MemoryStick 2*PCMCIA / Compact Flash
Display	Controlador LCD
Tamaño	72 mm x 57 mm
Peso	Aproximadamente 25g con todos los componentes adicionales montados
Rango de temperatura	-25°C a +85°C
Alimentación:	3.3Vdc
Consumo	Máximo 2W 100mW (sueño profundo)
Conexión	2 conectores alta densidad 160pin Molex

Tabla 4.1: Características de la phyCORE PXA270.

4.2.1.2.- Acondicionamiento de los puertos de la PXA270

La función de la CPU es la de controlar el funcionamiento del robot en la realización de las distintas tareas que puede ejecutar este. El software necesario para la realización de estas tareas se carga en la PXA270 desde el ordenador a través de comunicación vía JTAG, ethernet o RS232. Estas comunicaciones se describen en el apartado 4.2.3.2. sobre comunicaciones exteriores empleadas.

Además es necesaria la utilización del CAN-BUS para la comunicación de la CPU con los distintos controladores de los ejes motrices. En el apartado 4.2.3.1. se describe detalladamente este tipo de comunicación.

Para el correcto acondicionamiento de estas señales el circuito de acondicionamiento de cada una de ellas va a consistir en una réplica del circuito de acondicionamiento existente en la Carrier Board de la PXA-270, estos circuitos pueden verse en los anexos de esta memoria.

El acondicionamiento de la CPU consta de dos etapas:

- La primera etapa para el acondicionamiento de la PXA270 consiste en la alimentación de la placa para su correcto funcionamiento.

- La segunda etapa del acondicionamiento de la CPU ha consistido en el acondicionamiento de las señales necesarias para realizar las comunicaciones descritas anteriormente.

4.2.1.2.1.- Alimentación de la PXA270

El primer paso a la hora del acondicionamiento de la CPU es la alimentación ya que para la realización de las pruebas en el acondicionamiento de las comunicaciones es necesario que la phyCORE este funcionando correctamente.

En la tabla 4.2 se muestran los pines de la phyCORE que se han identificado que deben ser conectados a tierra o a +3.3V para conseguir una correcta alimentación de la placa.

CONECTADO A	PIN
Vcc (+3.3V)	1C, 2C, 1D, 2D
GND	2A, 7A, 12A, 17A, 22A, 27A, 32A, 37A, 42A, 47A, 52A, 57A, 62A, 67A, 72A, 77A, 4B, 9B, 14B, 19B, 24B, 29B, 34B, 39B, 44B, 49B, 54B, 59B, 64B, 69B, 74B, 79B, 3C, 7C, 12C, 17C, 22C, 27C, 32C, 37C, 42C, 47C, 52C, 57C, 62C, 67C, 72C, 77C, 3D, 9D, 14D, 19D, 24D, 29D, 34D, 39D, 44D, 49D, 54D, 59D, 64D, 69D, 74D, 79D

Tabla 4.2: Pines de la CPU empleados en la alimentación.

Para realizar un sistema seguro y que en caso de la pérdida de la alimentación no se pierdan los datos de la phyCORE se ha instalado un condensador de 1Faradio (*Gold Cap*) que hace la función de una pila en el caso de la pérdida de la alimentación del sistema. Este condensador se caracteriza por el poco espacio que ocupa, lo cual hace más fácil su integración en el sistema.

Además para proteger a la CPU frente a sobretensiones y sobrecorrientes se han instalado dispositivos en la línea de alimentación de +3,3Vdc, lo cual se explica más adelante en el apartado de protecciones del sistema de alimentación 4.2.2.4 de este capítulo.

Los dispositivos que intervienen en la alimentación de la CPU se detallan en la tabla 4.3, pero la descripción completa del sistema de alimentación de la CPU se da en el apartado 4.2.2.3.

COMPONENTE ELECTRONICO	REFERENCIA DEL COMPONENTE
Resistencias: 1x278k Ω	R23
Condensador: 1x1F	C1
Convertor: 1xTSI 10n-0510	U4
Varistores: 1xVLM35	VLM35

Tabla 4.3: Componentes empleados en la alimentación de la phyCORE.

4.2.1.2.2.- Acondicionamiento del CAN-BUS

El módulo phyCORE PXA270 consta de un controlador de CAN SJA1000 de la marca Philips.

La conexión de un controlador CAN al bus CAN debe hacerse mediante un *transceiver* CAN que responda a la norma ISO11898. Un ejemplo de este tipo de *transceiver* es el chip 82C251 de Philips, siendo este el que se ha elegido para esta función. La conexión entre el controlador CAN y el *transceiver* puede ser indirecta o usando un aislamiento óptico. El uso de este aislamiento es importante para proteger el dispositivo de las sobrecargas eléctricas que se puedan originar en cualquier punto del bus. Además si todos los dispositivos de la red CAN usan aislamiento óptico, el común es prescindible y solo se necesitan dos cables para la comunicación: CAN_H y CAN_L. En este caso se ha decidido no usar el aislamiento óptico debido al poco espacio existente en las placas. En lugar de esto se ha protegido el dispositivo frente a sobrecargas mediante la implantación de una serie de varistores en las líneas de CAN_H, CAN_L, CAN_TXD y CAN_RXD. Los varistores son componentes electrónicos cuya resistencia óhmica disminuye cuando el voltaje que se le aplica aumenta y tienen un tiempo de respuesta rápido. Se utiliza para proteger los componentes más sensibles de los circuitos contra variaciones bruscas de voltaje o picos de corriente que pueden ser originados, entre otros, por relámpagos, conmutaciones y ruido eléctrico.

Una conexión directa entre el controlador CAN y el *transceiver* será como el circuito de la figura 4.4. Las señales TXD y RXD son señales serie que el microcontrolador usa para enviar y recibir información. El *transceiver* convierte estas señales desde y al formato usado en el bus CAN.

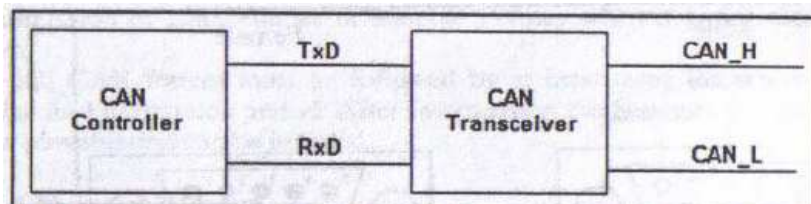


Figura 4.4: Conexión directa entre el controlador y el *transceiver*.

La PCA82C251 es un interfaz entre el controlador del protocolo CAN y el bus físico que convierte las señales TTL del controlador CAN a las de la red y viceversa. Principalmente usado en aplicaciones de hasta 1Mbaud en buses.

A continuación se citan las principales características del *transceiver* PCA82C251:

- Totalmente compatible con el estándar ISO 11894-24v
- Protección térmica.
- Baja corriente en modo stand-by.
- Pueden ser conectados hasta 110 nodos.
- Alta velocidad (hasta 1Mbaud).
- Alta inmunidad contra interferencias electromagnéticas.
- Un nodo no alimentado no provoca disturbios en las líneas del bus.
- A prueba de cortocircuitos en la batería de 24V a tierra.

En la figura 4.5 se puede ver el diagrama de bloques del *transceiver* empleado en el acondicionamiento del bus CAN.

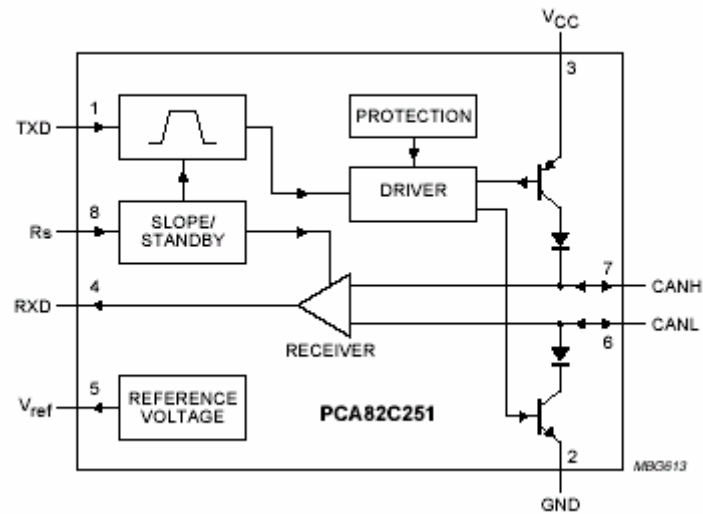


Figura 4.5: Diagrama de bloques de PCA82C251.

Un circuito limitador de corriente protege la etapa de salida del transmisor contra cortocircuito al voltaje de batería positivo y negativo. Aunque la disipación de potencia sea aumentada durante esta condición de defecto, este rasgo previene la destrucción de la etapa de salida de transmisor.

Todas estas características hacen que el circuito de acondicionamiento del CAN se trate de un circuito robusto, ya que está protegido frente a interferencias y cortocircuitos.

En la tabla 4.4 se muestra el *PinOut* del *transceiver* PCA82C251.

PIN	SÍMBOLO	FUNCIÓN
1	TXD	Transmisión de datos de entrada
2	GND	Tierra
3	Vcc	Tensión de alimentación
4	RXD	Recepción de datos de salida
5	Vref	Referencia del voltaje de salida
6	CANL	Nivel bajo de la tensión de entrada/salida de CAN
7	CANH	Nivel alto de la tensión de entrada/salida de CAN
8	Rs	

Tabla 4.4: Pin Out del transceiver PCA82C251.

La alimentación del *transceiver* se realiza a +3.3v como se dijo en el apartado de sistema de alimentación del robot.

Las líneas TxD y RxD se conectan directamente a los pines TXCAN y RXCAN del controlador CAN. La línea RxD refleja el nivel lógico de la red, un nivel lógico bajo en esta línea significa que en la red CAN hay un nivel recesivo, mientras que un nivel lógico alto refleja un nivel dominante de la red CAN. A su vez, la línea TxD impone un estado dominante en la red CAN cuando se pone a un nivel lógico alto.

Por último, la línea Rs del *transceiver* sirve para limitar la velocidad de subida y bajada de las señales de la red CAN. Para funcionar a alta velocidad se ha conectado la línea directamente a masa.

Los pines del módulo PXA270 que se han identificado para el acondicionamiento del ethernet se muestran en la tabla 4.5.

PIN	FUNCIÓN
79C	CAN RXD
80C	CAN TXD

Tabla 4.5: Pines de la PXA270 empleados para CAN bus.

El empleo del interfaz de CAN-bus para las comunicaciones internas del robot en esta versión implica una gran reducción de espacio ocupado por componentes y el rutado de pistas frente a la versión anterior, la cual constaba de comunicación serie.

En la tabla 4.6 se mencionan los componentes que se han empleado en el acondicionamiento del CAN.

COMPONENTE ELECTRONICO	REFERENCIA DEL COMPONENTE
Varistores: 2XV35MLA	RV25, RV26
Transceiver: 1xPCA82C251	82c251

Tabla 4.6: Componentes empleados en CAN.

El circuito empleado para el acondicionamiento del CAN se puede ver en la figura 4.6.

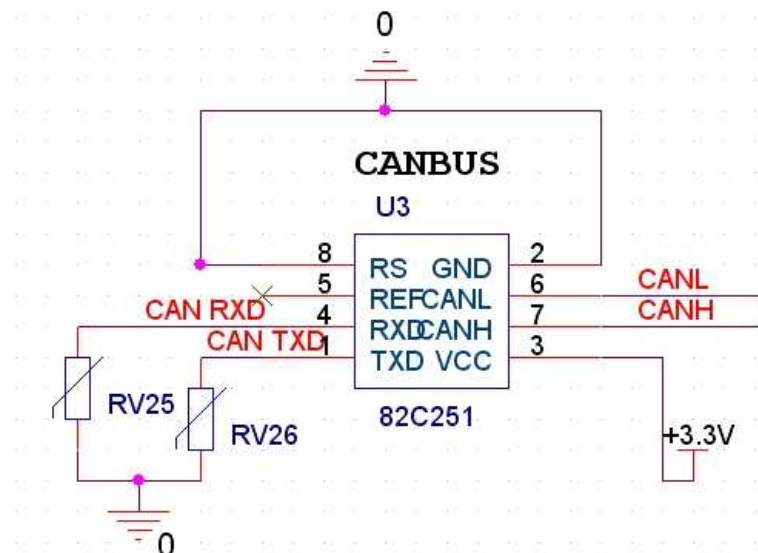


Figura 4.6: Circuito de acondicionamiento del CAN.

4.2.1.2.3.- Acondicionamiento del ethernet

El principal método de comunicación entre el robot y el PC del cual se quiere dotar al robot es el ethernet.

Para el acondicionamiento del circuito de ethernet se parte de la base de que el módulo phyCORE PXA270 consta de un controlador de ethernet LAN91C111 de 10/100Mbps de 32 bits.

El LAN91C111 es una mezcla de señal analógica/digital, dispositivo que implementa parte del protocolo CSMA / CD a 10 y 100 Mbps. Su diseño también reduce al mínimo las limitaciones de los datos utilizando un rendimiento de 32 bits, de 16 bits o de 8 bits de interfaz de bus de *host* en aplicaciones embebidas.

El SMSC LAN91C111 software es compatible con la familia de productos LAN9000.

Las principales características de este controlador se muestran a continuación:

- Dual Speed - 10/100 Mbps.
- Soporta plenamente full duplex switched ethernet.
- El tamaño total del buffer de la memoria interna FIFO es de 8 Kbytes, que es el total de chips de almacenamiento para transmitir y recibir operaciones.
- Totalmente integrado en el estándar IEEE 802.3/802.3u - 10BASE-TX/10BASE-T capa física.

El circuito de acondicionamiento del ethernet, al igual que el del CAN-bus esta basado en el circuito existente en la *Carrier Board* de la phyCORE. Por tanto, lo primero es identificar el circuito ethernet que se usa la *Carrier Board* e identificar los puertos del módulo phyCORE PXA270 usados en el acondicionamiento del ethernet.

Los puertos de la phyCORE que afectan al circuito de ethernet se muestran en la tabla 4.7.

PIN	FUNCIÓN
35C	LAN TPI-
36C	LAN TPO-
35D	LAN TPI+
36D	LAN TPO+

Tabla 4.7: Pines de la PXA270 empleados en ethernet.

El conector empleado para la conexión del circuito de acondicionamiento es un conector RJ-45, en concreto se trata de un PulseJack J0011D21BNL.



Figura 4.7: Conector RJ45.

El diseño del circuito se ha realizado bajo el estándar IEEE 802.3 que define el protocolo CSMA/CD o de contención, de este estándar se habla en el apartado de normativa empleada en el diseño de circuitos impresos. Además se han seguido las indicaciones del fabricante del módulo para el diseño de este circuito, las cuales se enumeran a continuación:

- Rutar en paralelo las líneas TPI+ con TPI- y TPO+ con TPO-.
- Las líneas de transmisión de datos de TPI y TPO deben ser lo más cortas posibles.
- Las resistencias empleadas en el diseño del circuito deben ser de alta precisión.

Para la protección de las líneas de transmisión TPI y TPO, como ya se dijo en el apartado de protecciones se han empleado varistores para proteger a la CPU frente a variaciones bruscas de voltaje o picos de corriente.

En la tabla 4.8 se mencionan todos los componentes que se han empleado en el acondicionamiento del ethernet y en la figura 4.8 se muestra el circuito empleado en el acondicionamiento.

COMPONENTE ELECTRONICO	REFERENCIA DEL COMPONENTE
Resistencias: 2x50 Ω , 4x24.9 Ω	R24, R25, R26, R27, R28, R29
Condensadores: 2x33pF, 3x100nF	C18, C19, C20, C21, C22
Varistores: 4XV35MLA	RV11, RV12, RV13, RV14

Tabla 4.8: Componentes empleados en el ethernet.

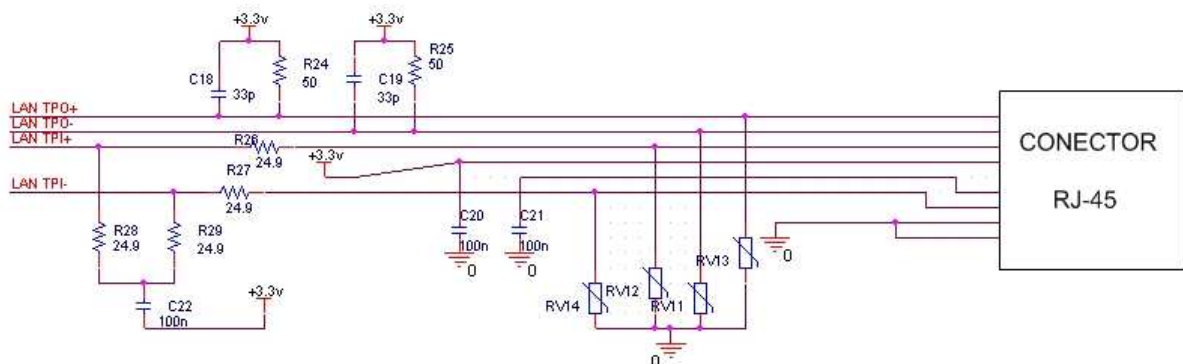


Figura 4.8: Circuito de acondicionamiento de ETHERNET.

4.2.1.2.4.- Acondicionamiento del puerto serie RS-232

Al igual que en el ethernet y el CAN para el diseño del circuito de acondicionamiento del RS-232 el circuito empleado se ha basado en el existente en la *Carrier Board* que realiza esta función.

Los pines que se han identificado en la phyCORE PXA270 se muestran en la tabla 4.9 con la función desempeñada por cada uno.

PIN	FUNCIÓN
22D	RS RXD
23D	RS TXD
25D	RS RTS
26D	RS CTS
27D	RS DSR
28D	RS DTR
30D	RS RI
31D	RS DCD

Tabla 4.9: Pines de la PXA270 empleados para el RS-232.

Al igual que en las líneas de transmisión de ethernet y de CAN, para la protección del circuito de RS-232 se han empleado varistores.

Para la conexión del robot con el exterior a través del puerto serie se ha elegido un conector DB-9 en lugar de un DB-25, al ser el volumen que ocupa menor.

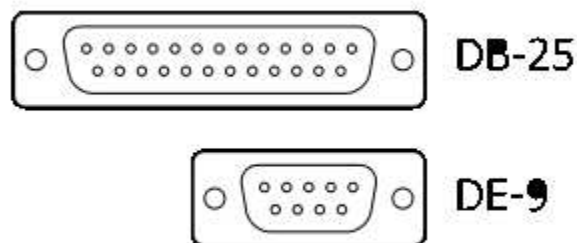


Figura 4.9: Relación de tamaño entre DB-9 y DB-25.

En el acondicionamiento del RS-232 no ha sido necesario el empleo de componentes electrónicos ya que el acondicionamiento de este se encuentra integrado en la PXA270. Por tanto, lo único que se ha hecho a sido unir los pines de la PXA270 con los pines correspondientes del DB-9.

En la tabla 4.10 se muestra la señal que debe conectarse a los pines del DB-9.

PIN	FUNCIÓN
1	RS RCD
2	RS RXD
3	RS TXD
4	RS DTR
5	GND
6	RS DCR
7	RS RTS
8	RS CTS
9	RS RI

Tabla 4.10: Asignación de señales de RS-232 en el DB-9.

4.2.1.2.5.- Acondicionamiento del JTAG

El circuito de acondicionamiento del JTAG que se ha diseñado es una réplica del circuito existente en la *Carrier Board* para el acondicionamiento de la PXA270 con el conector de 20 pines empleado.

En la tabla 4.11 se encuentran descritos la asignación de pines del conector de 20 pines empleado para el interfaz JTAG.

PIN	SEÑAL	PIN	SEÑAL
1	VREF	11	JTAG-RTCK
2	VCC	12	GND
3	/JTAG-RESET	13	JTAG-TDO
4	GND	14	GND
5	JTAG-TDI	15	/RESIN(system)
6	GND	16	GND
7	JTAG-TMS	17	N.C.
8	GND	18	GND
9	JTAG-TCK	19	N.C.
10	GND	20	GND

Tabla 4.11: Asignación de pines del conector JTAG.

Los pines de la phyCORE que se han empleado en el acondicionamiento del circuito de JTAG se muestran en la tabla 4.12.

PIN	SEÑAL
10C	/RESIN
41C	/TRST
40C	TDI
41C	TDO
42C	TMS
43C	TCK

Tabla 4.12: Pines de PXA270 empleados en JTAG.

Este circuito al igual que los anteriores se ha protegido mediante el empleo de varistores en las líneas de transmisión de datos.

En la tabla 4.13 se mencionan los componentes que se han empleado en el acondicionamiento del JTAG y en la figura 4.10 se observa el circuito empleado en este acondicionamiento.

COMPONENTE ELECTRONICO	REFERENCIA DEL COMPONENTE
Resistencias: 1x390Ω	R30
Diodos: 1xBAT42	D1
Varistores: 6XV35MLA	RV27, RV28, RV29, RV30, RV31, RV32

Tabla 4.13: Componentes empleados en JTAG.

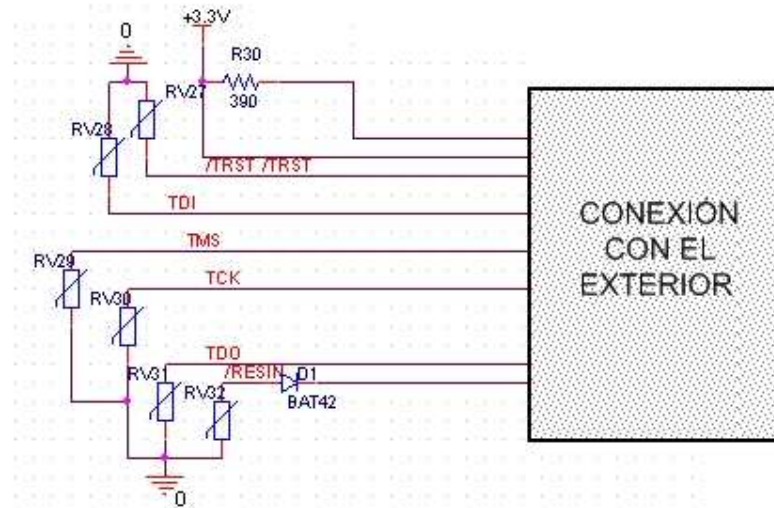


Figura 4.10: Circuito de acondicionamiento de JTAG.

Los circuitos completos del acondicionamiento de estos sistemas se muestran en el Anexo 1 de esta memoria.

4.2.1.2.6.- Protección

La protección de las líneas de datos de la CPU como se ha citado en los apartados anteriores está basada en el uso de varistores. Para ello se han empleado dos tipos de varistores, los cuales se citan a continuación:

- Líneas de comunicación serie

Estas líneas funcionan con una tensión simétrica de $\pm 9V$, por lo que se han empleado varistores V9MLA que fijan la tensión máxima en estos valores.

- Líneas digitales

Las líneas digitales funcionan a una tensión de 3,3V, siendo su valor máximo muy próximo a esta tensión. Por tanto, para la protección de estas líneas se ha seleccionado el varistor V3.5MLA que fija la tensión máxima a 3.5V.

4.2.2.- Sistema de alimentación

El sistema de alimentación se ha dividido en varios subsistemas de alimentación en función de la tensión de alimentación. Estos sistemas se enumeran a continuación:

- Sistema de alimentación de 24Vdc.
- Sistema de alimentación de 5Vdc.
- Sistema de alimentación de 3,3Vdc.

En los siguientes apartados se da una breve descripción de estos subsistemas que componen la alimentación del robot y de el sistema de protección empleado para proteger al resto de componentes.

4.2.2.1.- Sistema de alimentación de +24 Vdc

La alimentación del robot como ya se dijo se recibe del exterior a través de una serie de contactos situados en los extremos del robot y en las *docking station*. Este sistema de contactos está basado en unos tornillos especiales con una bola en su extremo, la cual si se ejerce presión sobre ella se introduce en el interior del tornillo. Los contactos están situados de tal manera que cuando el robot se ancla en una *docking station*, los contactos de ambos coinciden recibiendo así el robot alimentación del exterior.

El las figuras 4.11 y 4.12 se pueden ver los sistemas de contactos en *docking station* y en un extremo del robot respectivamente.

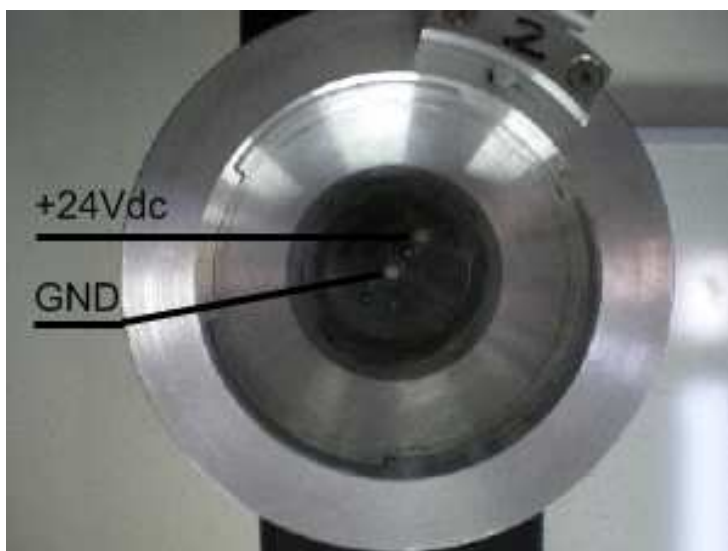


Figura 4.11: Sistema de contactos en la docking station.



Figura 4.12: Sistema de contactos en el extremo del robot.

Debido a que el robot puede estar conectado a las *docking station* tanto por un extremo como por otro, en el interior del robot hay un bus de alimentación que atraviesa el robot de extremo a extremo.

Los componentes que requieren una alimentación de 24Vdc en el robot se citan a continuación:

- Frenos electromagnéticos
- Motores
- Sensores inductivos
- Controladores MCDC 3006C
- Buffer de corriente ULN2064B

4.2.2.2.- Sistema de alimentación de 5Vdc

En el interior del robot hay también un bus de alimentación de 5Vdc que recorre el robot al igual que el de 24Vdc de extremo a extremo del robot.

La necesidad de tener un bus de alimentación de 5Vdc se basa en que la alimentación de los ventiladores utilizados para la refrigeración del robot es a 5Vdc, de los cuales se da una breve explicación en el apartado de sistemas de refrigeración de este trabajo.

Para conseguir esta tensión se han empleado convertidores de corriente continua, en concreto se ha empleado el modelo TSI 10N-2411 de la casa TRACO para obtener 5Vdc a partir de la alimentación de +24Vdc que recibe el robot del exterior. En la figura 4.13 se muestra una imagen del convertidor.



Figura 4.13: Convertidor Dc/Dc TSI 10N.

En la tabla 4.14 se muestran algunas de las características más importantes del convertidor:

Rango Tensión de Entrada	16.0 - 28.0 Vdc
Tensión de Salida	3.0 -5.0 Vdc (ajustable)
Corriente de Salida Máxima	2000mA
Eficiencia	85%
Peso	4 g
Dimensiones (máximas)	20.2 x 24 x 8.3 mm

Tabla 4.14: Características convertidor Traco TSI 10N-2411

En la tabla 4.15 se muestra el *pin-out* del conversor usado.

PIN	FUNCIÓN
1	Remote on/off
2	+V Input (Vcc)
3	-V Input (GND)
4	+V Output
5	V Output adj.

Tabla 4.15: Pin Out del TSI 10N-2411.

El valor de la tensión de salida depende del valor de la resistencia que se ponga entre los pines +Vout (4) y Vado (5). El valor de la resistencia se calcula aplicando la siguiente ecuación, siendo el valor de R1 de 3840Ω:

$$R_x = \frac{R_1 \cdot 1200 \cdot (V_{out} - 1.195)}{R_1 \cdot 1.195 - 1200 \cdot (V_{out} - 1.195)}$$

Para obtener a la salida una tensión de +5Vdc el valor de Rx debe ser de 769.01kΩ

4.2.2.3.- Sistema de alimentación de +3,3Vdc

Este sistema es necesario para la alimentación de los siguientes sistemas:

- CPU de control.
- Transceiver del CAN BUS.
- Alimentación de circuitos de acondicionamiento del ethernet, RS-232 y JTAG.

Al igual que en el sistema de alimentación de +5Vdc se ha empleado un convertor DC/DC TRACO de la serie TSI 10N, en concreto el modelo el TSI 10N-0510, del cual se muestran sus características más importantes en la tabla 4.16.

Rango Tensión de Entrada	4,75 - 13,6 Vdc
Tensión de Salida	+3.3 Vdc
Corriente de Salida Máxima	2000mA
Eficiencia	92%
Peso	4 g

Tabla 4.16: Características del convertor TSI 10N-0510.

Otra característica importante de este convertor es el poco volumen que ocupa, ya que este factor es de gran importancia en el diseño debido al reducido espacio existente en los tubos del robot ASIBOT. En la figura 4.14 se pueden ver las dimensiones del convertor.

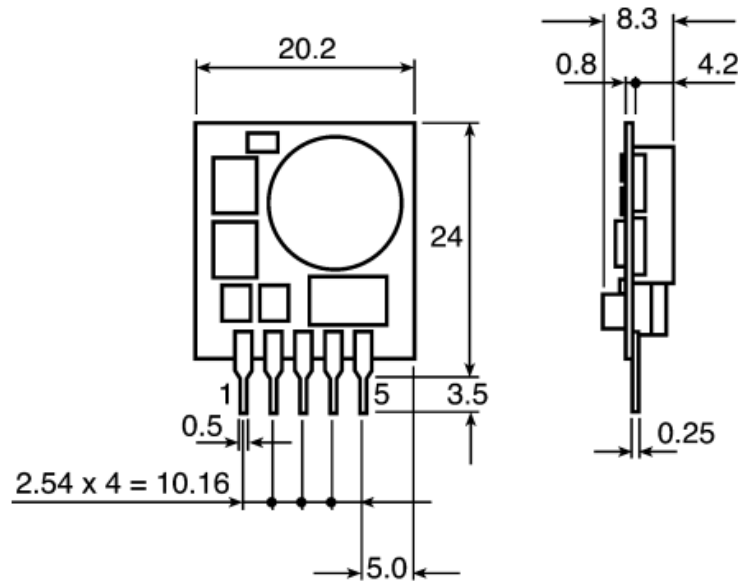


Figura 4.14: Dimensiones en mm del conversor TSI 10N-0510.

Como ya se mencionó anteriormente se ha puesto un condensador de 1Faradio para evitar la pérdida de alimentación de la CPU ante una desconexión parcial del sistema de alimentación al realizarse los anclajes y desanclajes en las *docking station*.

El tiempo que este condensador es capaz de alimentar la CPU se obtiene realizando una caracterización de los sistemas que se alimentan a +3.3V como una carga resistiva. La CPU tiene un consumo máximo de 2W y el *transceiver* de 260mW, siendo el consumo del resto de los sistemas de acondicionamiento despreciable.

La carga resistiva que modela el sistema se calcula a continuación:

$$P = V \times I = \frac{V^2}{R} \Rightarrow R = \frac{V^2}{P} = 4.82\Omega$$

Con este valor se puede calcular la constante de tiempo de la descarga del condensador, la cual es:

$$\tau = R \times C = 4.82s$$

La tensión de la descarga del condensador sigue la siguiente fórmula:

$$V_c = V_o \times e^{-T/\tau}$$

Donde:

V_c es la tensión en el condensador.

V_o es la tensión inicial del condensador.

T es el tiempo transcurrido.

τ es la constante de tiempo.

El valor al cual la CPU deja de funcionar es 2.7V, aplicando la fórmula anterior se obtiene que el condensador es capaz de alimentar a la CPU en el peor de los casos 0.96s.

4.2.2.4.- Protecciones

A los sistemas de alimentación descritos anteriormente se les han añadido protecciones para proteger el sistema y conseguir que este sea robusto, asegurando la integridad de los dispositivos protegiendo las líneas susceptibles de fallo por causas eléctricas.

Las posibles variaciones que pueden darse en las líneas eléctricas son:

1) Sobrecorrientes

Para evitar estas variaciones el robot consta en las *docking station* de unos fusibles de 25A, mayores que la corriente de pico máxima (aproximadamente 22A).

2) Sobretensiones

Los sobrevoltajes se pueden originar por maniobras de conexión o desconexión, descargas atmosféricas y descargas electrostáticas. Los más severos son a causa de las descargas atmosféricas, las cuales pueden dañar el aislamiento de transformadores, motores, capacitores, cables y ocasionar fallas en líneas de transmisión por la ionización del aire.

Las principales sobretensiones que se han considerado que pueden afectar al robot ASIBOT pueden ser de origen electroestático o por interrupciones súbitas en un consumo de corriente eléctrica elevada.

Para solucionar este problema es necesaria la protección de las líneas de alimentación y de las líneas de transmisión que tienen su origen o destino en la CPU de control, ya que es muy sensible a subidas de tensión.

Para la protección de la alimentación se han empleado diodos supresores de transitorios de tensión (TVS de *Transient Voltage Suppressors*). Estos diodos son capaces de conducir una gran corriente y limitar la tensión que cae en el dispositivo a proteger a un valor máximo de tensión correspondiente con el valor al cual el diodo comienza a conducir.

A continuación se citan los diodos supresores que se han empleado en las diferentes líneas de alimentación del sistema.

- Alimentación de +24Vdc

El diodo TVS que se ha elegido es de la casa Vishay el modelo SMCJ24CA. Algunas de las características de este diodo se detallan en la tabla 4.17.

Tipo	Bidireccional
Tensión de stand-off	24 v
Potencia de disipación de pulso máxima	1500 W
Voltaje de interrupción mínimo	26.7 V
Corriente de pico de pulso máxima	38.6 A
Maximun Clamping Voltage	38.9 V
Tiempo de reacción	10/1000µs

Tabla 4.17: Características SMCJ24CA.

Estas protecciones se van a integrar en el bus de +24Vdc de todas las placas del sistema.

- Alimentación de +5Vdc

En este caso el diodo supresor que se ha escogido es el SMBJ5.0A de la marca ST-Microelectronics. En la tabla 4.18 se muestran las principales características de este diodo supresor.

Tipo	Unidireccional
Tensión de stand-off	5V
Potencia de disipación de pulso máxima	600 W
Voltaje de interrupción mínimo	6.4 V
Corriente de pico de pulso máxima	298 A
Maximun Clamping Voltage	13.4 V
Tiempo de reacción	8/20 μ s

Tabla 4.18: Características SMBJ5.0A.

En este caso solo se ha empleado un diodo supresor de tensión para la protección de este bus de alimentación.

- Alimentación de +3.3Vdc

Como se mencionó anteriormente la protección para la alimentación de +3,3Vdc que se ha empleado también es diodo supresor de tensión.

El diodo Zenner que se ha empleado es el V3.5MLA0805 del cual se pueden ver algunas características en la tabla 4.19.

Máxima Tensión Continua	+3.5Vdc	
Máxima no repetitiva surge current (8/20 μ s)	120 ^a	
Máxima no repetitiva surge energy (10/1000 μ s)	0.3J	
Maximun clamping voltaje at 10A (8/20 μ s)	10 at 5A	
Tensión nominal a 1mA DC	$V_{N(DC)Min}$	3.7V
	$V_{N(DC)Max}$	7V

Tabla 4.19: Características diodo supresor V3.5MLA0805.

Todas estas protecciones que se han empleado son de montaje superficial, lo cual facilita el rutado de las placas a doble capa.

Por otro lado, como se dijo antes es necesario proteger las líneas de transmisión, para lo cual se ha recurrido al uso de varistores. Los varistores que se han empleado son los que se citaban en el apartado anterior sobre el acondicionamiento de la CPU 4.2.1.2.6.

En la figura 4.15 se muestra el circuito empleado para el acondicionamiento de los distintos sistemas de alimentación mencionados anteriormente.

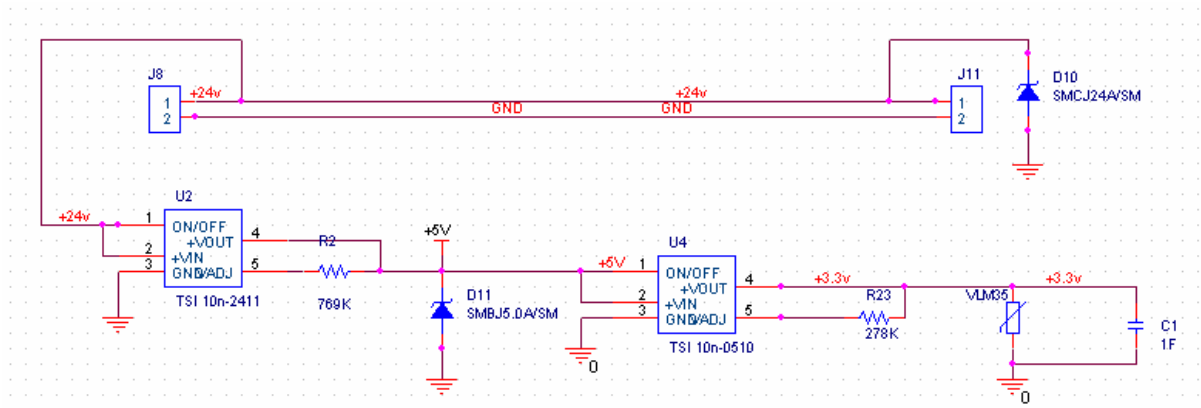


Figura 4.15: Circuito de acondicionamiento y protección del sistema de alimentación.

4.2.3.- Sistema de comunicaciones

Si se clasifica el sistema de comunicaciones del robot ASIBOT mencionados en los apartados anteriores según el rango de acción se obtienen dos tipos de comunicaciones:

- Comunicaciones internas
- Comunicaciones externas

4.2.3.1.- Comunicaciones internas

Las comunicaciones internas del robot son las comunicaciones existentes entre los distintos elementos de los circuitos embebidos en el robot.

La comunicación existente entre los distintos elementos se realiza mediante un protocolo bus CAN (*Controler Area Network*) ya que cumple las especificaciones fijadas en el capítulo 3.

4.2.3.1.1.- ¿Qué es CAN?

CAN es un sistema de bus serie especialmente apropiado para interconectar dispositivos inteligentes. Es un sistema de bus serie con capacidades multi-maestro, es decir, donde varios nodos CAN pueden intentar transmitir datos en cualquier momento. Debido a esto, en CAN, pueden darse intentos de transmisiones simultáneas provenientes de varios nodos. Cada mensaje lleva un identificador que establece un sistema de prioridad: el identificador del nodo de mayor prioridad obtendrá el acceso al bus y el resto de los nodos (con prioridad menor) esperarán. El identificador es un número contenido en un campo particular del mensaje CAN y determina la prioridad del mensaje: a mayor prioridad, más rápido es el acceso al bus.

El bus CAN no necesita direccional los nodos de manera convencional. Los mensajes se envían a todos los nodos CAN y cada uno de ellos decide, en base al identificador recibido, si el mensaje es él y si debe procesarlo.

Algunas de sus principales características se resumen a continuación:

- Prioridad de mensajes.
- Garantía de tiempos de latencia.
- Flexibilidad en la configuración.
- Recepción por multidifusión (*multicast*) con sincronización de tiempos.
- Sistema robusto en cuanto a consistencia de datos.
- Sistema multimaestro.
- Detección y señalización de errores.
- Retransmisión automática de tramas erróneas
- Distinción entre errores temporales y fallas permanentes de los nodos de la red, y desconexión autónoma de nodos defectuosos.

Se trata de un protocolo de comunicaciones serie que soporta un control distribuido en tiempo real con un alto nivel de seguridad y multiplexación.

En las comunicaciones del robot ASIBOT los nodos del CAN-BUS son los diferentes controladores de los ejes motrices, habiendo uno por cada eje, por lo que consta de un total de cinco nodos.

4.2.3.1.2.- Capa física de CAN

El medio físico que se usa normalmente para implementar redes CAN es una línea de bus con dos cables de conducción diferenciados, con retorno. Los cables se llaman CAN_H y CAN_L, de acuerdo con la polaridad de la diferencia del voltaje entre ellos. El bus CAN debe también terminar en ambos extremos con resistencias de un valor recomendado de 124 ohmios.

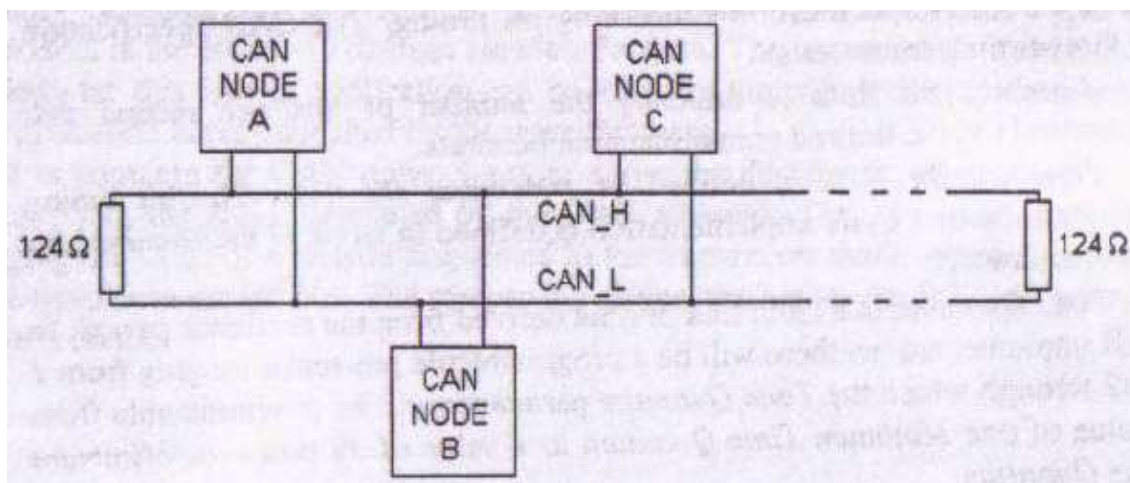


Figura 4.16: Diagrama de bloques de un bus CAN.

La longitud máxima del bus CAN depende de la velocidad a la cual quiera ser usado.

La representación de los bits que se usa para transmitir mensajes es la codificación NRZ (*non-return-to-zero*), que garantiza una eficiencia máxima. Sin embargo, la necesidad de transiciones frecuentes en el bus (para mantener la sincronización), hace necesaria la implementación de un mecanismo de relleno de bits. Dicho mecanismo consiste en enviar bits de relleno intercalados después de cinco bits consecutivos con la misma polaridad (es decir, cinco 1's o cinco 0's). El bit de relleno tiene polaridad opuesta, para forzar una transición en el bus (por ejemplo, cinco 1's irían seguidos por un 0). El receptor elimina los bits de relleno antes de procesar el mensaje. Este mecanismo se usa también para control de errores.

4.2.2.1.2.- Capa de enlace de datos de CAN

La capa de enlace de datos puede dividirse en dos subcapas: control de acceso al medio (MAC) y control de enlace lógico (LLC). El MAC es responsable de determinar a que nodo de la red se le asigna el control del bus para la transmisión de mensajes. El LLC asegura que las capas superiores de la red tengan un interfaz independiente de las capas inferiores. Es decir, esta subcapa debe asegurar que la capa física y la MAC sean transparentes para las superiores. En la práctica, esto significa que LLC es responsable de detectar y corregir errores cuando se intercambian datos a través del bus, es decir, implementa un mecanismo de transmisión de errores y seguridad.

4.2.3.2.- Comunicaciones externas

Al robot ASIBOT se le ha dotado con varias formas o métodos para poder realizar la comunicación con el exterior, en concreto, con el PC a través de el cual se carga y depura el código necesario para la ejecución de las diferentes tareas que se quiere que realice el robot.

4.2.3.2.1.- Ethernet

4.2.3.2.1.1.- ¿Qué es ethernet?

Ethernet es el nombre de una tecnología de redes de computadoras de área local (LANs) basada en tramas de datos. En este proyecto la conexión de ethernet se va a emplear para la depuración de código a través de una serie de herramientas software.

Ethernet se refiere a las redes de área local y dispositivos bajo el estándar IEEE 802.3 que define el protocolo CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection* o detector de colisión). En el método de acceso CSMA/CD, los dispositivos de red que tienen datos para transmitir funcionan en el modo "escuchar antes de transmitir". Esto significa que cuando un nodo desea enviar datos, primero debe determinar si los medios de red están ocupados o no.

Ethernet define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de trama del nivel de enlace de datos del modelo OSI (modelo de referencia de Interconexión de Sistemas Abiertos). Se da una breve definición de estos niveles más adelante en este apartado.

El modelo OSI es un marco de referencia para la definición de arquitecturas de interconexión de sistemas de comunicaciones.



Figura 4.17: Estructura modelo OSI.

En la figura anterior se mostraban los distintos niveles que se definen en el modelo OSI. Como ocurre con otros estándares de red, como se dijo anteriormente la especificación Ethernet se refiere solamente a las dos primeras capas del modelo OSI, de las cuales se da una breve descripción a continuación.

4.2.3.2.1.2.- Capa Física (Capa 1)

La Capa Física del modelo de referencia OSI es la que se encarga de las conexiones físicas de la computadora hacia la red, tanto en lo que se refiere al medio físico (medios guiados como el cable coaxial, cable de par trenzado, fibra óptica y otros tipos de cables, o medios no guiados como radio, infrarrojos y otras redes inalámbricas), características del medio (tipo de cable, calidad del mismo, tipo de conectores normalizados, etc.) y la forma en la que se transmite la información (codificación de señal, niveles de tensión/intensidad de corriente eléctrica, modulación, etc.).

Sus principales funciones se pueden resumir como:

- Definir el medio o medios físicos por los que va a viajar la comunicación: cable de pares trenzados (o no, como en RS232/EIA232), coaxial, guías de onda, aire, fibra óptica.
- Definir las características materiales (componentes y conectores mecánicos) y eléctricas (niveles de tensión) que se van a usar en la transmisión de los datos por los medios físicos.
- Definir las características funcionales de la interfaz (establecimiento, mantenimiento y liberación del enlace físico).
- Transmitir el flujo de bits a través del medio.
- Manejar las señales eléctricas/electromagnéticas.
- Especificar cables, conectores y componentes de interfaz con el medio de transmisión, polos en un enchufe, etc.
- Garantizar la conexión (aunque no la fiabilidad de ésta).

4.2.3.2.1.3.- Capa de enlace de datos (Capa 2)

El objetivo del nivel de enlace es conseguir que la información fluya, libre de errores, entre dos máquinas que estén conectadas directamente (servicio orientado a conexión).

Para lograr este objetivo tiene que montar bloques de información (llamados tramas en este nivel), dotarles de una dirección de nivel de enlace, gestionar la detección o corrección de errores, y ocuparse del control de flujo entre equipos (para evitar que un equipo más rápido desborde a uno más lento).

4.2.3.2.2.- RS-232

El RS-232 es una interfaz que designa una norma para el intercambio serie de datos binarios entre un DTE (Equipo terminal de datos) y un DCE (Equipo de Comunicación de datos), aunque existen otras situaciones en las que también se utiliza la interfaz RS-232.

El RS-232 consiste en un conector tipo DB-25 (de 25 pines), aunque es normal encontrar la versión de 9 pines (DB-9), más barato e incluso más extendido para cierto tipo de periféricos.

La interfaz RS-232 está diseñada para distancias cortas, de unos 15 metros o menos, y para velocidades de comunicación bajas, de no más de 20 Kb, siendo este tipo de interfaz es bastante más lento que el ethernet.

La interfaz puede trabajar en comunicación asíncrona o síncrona y tipos de canal *simplex*, *half duplex* o *full duplex*. En un canal *simplex* los datos siempre viajarán en una dirección, por ejemplo desde DCE a DTE. En un canal *half duplex*, los datos pueden viajar en una u otra dirección, pero sólo durante un determinado periodo de tiempo, luego la línea debe ser conmutada antes que los datos puedan viajar en la otra dirección. En un canal *full duplex*, los datos pueden viajar en ambos sentidos simultáneamente. Las líneas de *handshaking* de la RS-232 se usan para resolver los problemas asociados con este modo de operación, tal como en qué dirección los datos deben viajar en un instante determinado.

Si un dispositivo de los que están conectados a una interfaz RS-232 procesa los datos a una velocidad menor de la que los recibe deben de conectarse las líneas *handshaking* que permiten realizar un control de flujo tal que al dispositivo más lento le de tiempo de procesar la información. Las líneas de "*hand shaking*" que permiten hacer este control de flujo son las líneas RTS y CTS. Los diseñadores del estándar no concibieron estas líneas para que funcionen de este modo, pero dada su utilidad en cada interfaz posterior se incluye este modo de uso.

4.2.3.2.3.- JTAG

Una interfaz JTAG es una interfaz especial de cuatro o cinco pines agregadas a un chip, diseñada de tal manera que varios chips en una tarjeta puedan tener sus líneas JTAG conectadas en *daisy chain* (es una sucesión de enlaces tal que un dispositivo A es conectado a un dispositivo B, el mismo dispositivo B a un dispositivo C, este dispositivo C a un dispositivo D, y así sucesivamente), y una sonda de testeo necesite conectarse solamente a un solo "puerto JTAG" para acceder a todos los chips en un circuito impreso. Los pines del conector y su función se pueden ver en la tabla 4.20.

PIN	FUNCIÓN
TDI	Entrada de Datos de Testeo
TDO	Salida de Datos de Testeo
TCK	Reloj de Testeo
TMS	Selector de Modo de Testeo
TRST	Reset de Testeo (Opcional)

Tabla 4.20: Pines del puerto JTAG.

Ya que posee una sola línea de datos, el protocolo es obviamente en serie. La señal de reloj está en el pin TCK. La configuración del dispositivo se realiza manipulando un bit de estado y al mismo tiempo por el pin TMS. Cada bit de datos entrante/saliente se transfiere en cada pulso de reloj por la línea con pines TDI/TDO, respectivamente. Se pueden cargar diferentes modo de instrucción para leer el chip ID, pines de entrada/salida, manipular funciones del chip, funciones de *bypass* y de *boundary scan*. La frecuencia de trabajo TCK varía en función de cada chip, pero el rango típico es de 10-100 MHz (10-100ns/bit).

El pin TRST es una señal opcional bajo-activa para reseteo o reinicio de la prueba lógica (por lo general asíncrona, pero que a veces está sincronizada con el reloj, dependiendo del chip). Si no se dispone de dicho pin, la

prueba lógica puede reiniciarse mediante una instrucción reset.

4.2.4.- Control de los ejes

En el control de los ejes intervienen los siguientes componentes, los cuales se definen en los apartados 4.2.4.1, 4.2.4.2 y 4.2.4.3.

- Unidad de control
- Controlador
- Buffer de corriente

4.2.4.1.- Unidad de control

Como se dijo en el apartado 4.2.1. la unidad de control es la encargada de controlar la realización de las tareas del robot ASIBOT. La unidad de control se comunica mediante el bus CAN con los distintos controladores de cada eje. En el siguiente apartado se describen brevemente los controladores empleados para el control de los ejes motrices.

4.2.4.2.- Controladores

Para el control de los distintos ejes del robot ASIBOT ha sido necesaria la sustitución de los controladores existentes en el robot. Esto se debe a que dentro de las prestaciones de estos controladores no está incluida la posibilidad de realizar una comunicación con otro dispositivo mediante un bus CAN.

Los controladores que se han elegido son controladores de motores de corriente continua de la casa FAULHABER modelo MCDC-3006C, siendo necesario un controlador por cada eje.

Algunas características de este controlador se muestran en la tabla 4.21.

Tensión de alimentación	12 - 30 Vdc
Frecuencia de PWM	78,12 KHz
Eficiencia (μ)	95%
Corriente máxima continua de salida (a 22°C)	6 A
Máximo pico de corriente	10 A
Corriente que consume	0,06 A
Rango de velocidad	5 - 30.000 rpm
Velocidad de lectura	100 μ s
Resolución del encoder con sensor Hall	≤ 65.535 lineas/rev
Temperatura de funcionamiento	0 - 70°C

Tabla 4.21: Características del MCDC 3006C.

Estos controladores se venden con carcasa pero para poder integrarlos en el interior de los tubos del robot es necesario quitar parte de la carcasa debido al escaso espacio en estos. Además el sistema de conexión que traen los drivers son clemas para realizar la conexión de estos con cables, por lo que para soldar los drivers a las placas es necesario quitar estos conectores y sustituirlos por una serie de patillas que encajen en el espacio destinado en la placa para el driver.



Figura 4.18: Driver sin carcasa.

A su vez estos drivers están controlados por la Phycore PXA-270, la cual se comunica con los distintos drivers mediante CAN-BUS y se encarga de indicar a los diferentes controladores si tiene que estar activo el freno y si tiene que girar el motor o no, el sentido en que debe girar este.

La función de los diferentes pines del driver MCDC 3006c se detallan en la tabla 4.22.

PIN	FUNCIÓN	PIN	FUNCIÓN
1	5. In	9	CAN_H
2	4. In	10	CAN_L
3	Ch A	11	AGND
4	Ch B	12	Fault
5	+5V	13	AnIn
6	SGND	14	+24V
7	Mot +	15	GND
8	Mot -	16	3. In

Tabla 4.22: Pin Out del driver MCDC3006c.

Los pines 3.In, 4. In y 5.In están destinadas para entradas digitales, las cuales tienen una impedancia de entrada de $22k\Omega$. Solo se ha usado la entrada 3. In en la cual se ha conectado la señal de sincronismo del inductivo del eje.

Las señales ChA y ChB son utilizadas para los canales ChA y ChB del encoder incremental del eje correspondiente.

La señal +5V es una salida de tensión continua para uso externo de tensión 5V y corriente máxima de 60mA, esta señal se emplea para la alimentación del encoder.

SGND es la señal de tierra, se ha empleado para la conexión a tierra de la patilla uno del encoder (GND) del eje correspondiente.

La conexión de las señales Mot+ y Mot- se realiza a las señales motor+ y motor- del motor de corriente continua del eje correspondiente.

La comunicación del controlador con la phyCORE se realiza mediante CAN BUS, esta comunicación se realiza por los pines 9 y 10, CAN_H y CAN_L.

La señal AGND y AnIn no se usan ya que no hay ninguna entrada analógica.

La señal de Fault se utiliza como salida digital, la cual está en colector abierto por lo que será necesario poner una resistencia de pull-up en está. Fault se emplea para el control del freno electromagnético. Esta señal tiene una corriente inferior a 30mA por lo que es necesario el empleo de un buffer de corriente que de más corriente de salida para poder desactivar los frenos.

En el apartado siguiente se da una breve explicación sobre el buffer de corriente empleado.

4.2.4.3.- Buffer de corriente

Como se dijo antes la corriente que entrega el controlador por la señal Fault no es suficiente para desactivar el freno. Además la señal de Fault en caso de error (liberar freno) tiene un nivel alto de tensión y en caso contrario está a nivel bajo.

Los frenos electromagnéticos requieren para su liberación una alimentación de 24v entre +Brake y -Brake y una corriente de al menos 380mA, por ello para liberar el freno es necesario además invertir la señal de Fault ya que su nivel es alto en el caso que se quiere liberar el freno y viceversa.

El buffer de corriente que se ha seleccionado para desempeñar esta función es el ULN2064B. Este buffer se alimenta a +24Vdc y está compuesto por cuatro buffer que invierten la señal, por lo que es necesario el empleo de dos buffer para poder controlar todos los frenos. Un buffer se va a encargar de amplificar las corrientes de tres señales de Fault y las otras dos restantes con el otro buffer.

En el caso más desfavorable (cuando tiene tres salidas conduciendo) el buffer de corriente ofrece a su salida aproximadamente 1 A, la cual es suficiente para liberar el freno.

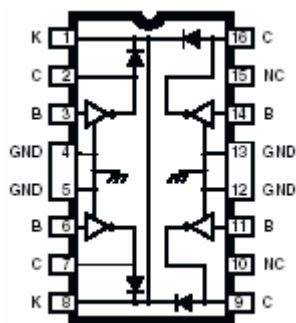


Figura 4.19: E/S del ULN 2064B.

4.2.5.- Sistema de disipación de calor

Para la disipación de calor en el interior de los tubos se han diseñado dos sistemas de disipación de calor. La generación de calor en los tubos se debe a que en su interior se encuentra toda la electrónica embebida del robot.

Durante el funcionamiento del robot y por tanto de todos los componentes electrónicos la temperatura de estos se eleva por lo que aumenta la temperatura interior de los tubos. Para conseguir un correcto funcionamiento de los diferentes componentes electrónicos que componen las placas ubicadas en los tubos es necesario que la temperatura interior de los tubos sea inferior a la temperatura máxima ambiental que soportan estos dispositivos.

Los dos sistemas para la disipación de temperatura que se nombraron antes son los siguientes:

- Sistema de disipación térmica por conducción
- Sistema de ventilación forzada

Estos sistemas son los mismos que se emplearon en la versión anterior del robot ASIBOT, debido a que los

resultados obtenidos de estos sistemas en dicha versión fueron bastante buenos.

4.2.5.1.- Caracterización de la generación de calor

La generación de calor en el interior de los tubos se debe fundamentalmente a los amplificadores, ya que estos constan de una etapa de potencia compuesta por un puente de MOSFET por los cuales circulan corrientes bastante grandes. El resto de componentes que componen el circuito también producen calor, pero es despreciable en comparación con el calor producido por los driver.

En la figura 4.20 se observa el puente de MOSFET de los drivers.

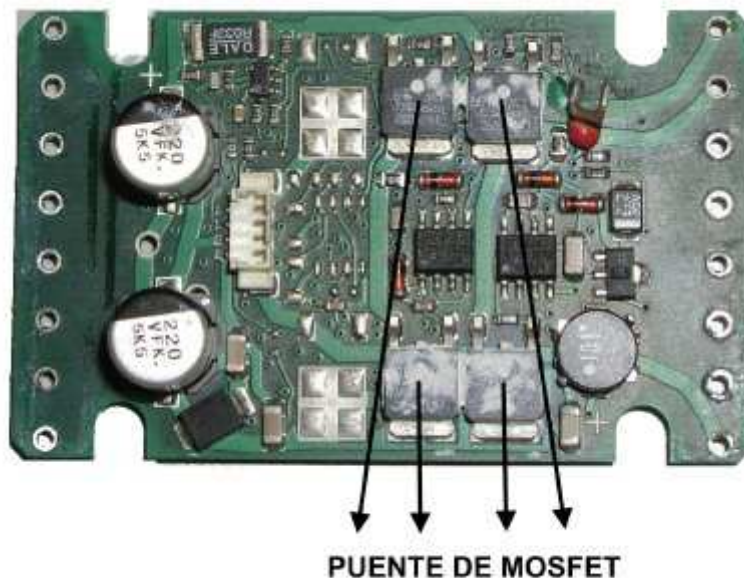


Figura 4.20: Puente de MOSFET.

Como ya se dijo antes se ha dispuesto de dos sistemas para la evacuación del calor. Estos sistemas consisten en:

- Sistema de disipación térmica por conducción. Las placas de cada tubo del robot se han dispuesto con forma de sándwich y entre medias de estas se ha introducido una plancha de aluminio para la disipación del calor.
- Sistema de ventilación forzada. Se ha empleado este sistema como método de refrigeración de los componentes y disipadores de los tubos.

4.2.5.2.- Disipadores

Como se ha dicho antes los disipadores empleados son unas planchas de aluminio que se introducen entre las placas de cada tubo a modo de "sándwich". En la figura 4.21 se puede ver esta disposición a modo sándwich y los elementos que intervienen en la disipación de calor.

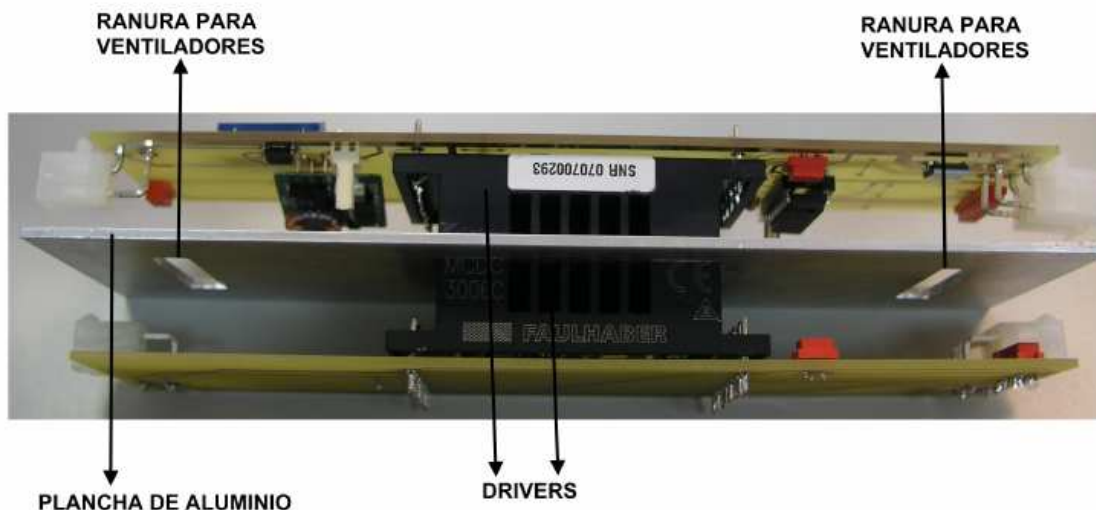


Figura 4.21: Disposición tipo sándwich.

Como se puede ver las carcasas de los drivers están en contacto con las placas de aluminio para la transferencia de calor de estos a las planchas. Estas carcasas han tenido

que cortarse para que el conjunto pudiese entrar en los tubos.

Las ranuras que tienen las planchas de aluminio están destinadas para la inserción de los ventiladores y para la interconexión entre las distintas placas de un mismo tubo.

4.2.5.3.- Ventiladores

Los ventiladores que se han utilizado para la evacuación del calor de los tubos y refrigeración de estos son ventiladores axiales extraplano de la marca SUNSO, en concreto el modelo GM0503PEV1-8.GN.

Las características más destacables de estos ventiladores pueden observarse en la tabla 4.23.

Tamaño(en mm)	30x30x6
Tensión de funcionamiento	5V
Potencia	0,65W
Flujo de aire	8,3m ³ / h
Nivel de ruido	29 dBA
Velocidad de giro	9500 rpm
Corriente de suministro	180 mA

Tabla 4.23: Características de los ventiladores.

La elección de este modelo se debe a su diseño extraplano, siendo esto un aspecto decisivo a la hora de la elección de componentes por el poco espacio existente en el interior de los tubos, y por el gran caudal de aire que puede proporcionar.

En cada tubo se han montado dos ventiladores, uno en cada extremo del "sándwich". La integración de los ventiladores de los tubos se realiza con el objetivo de que un ventilador se encargue de introducir aire en el interior del tubo y el otro realice la función inversa.

En la figura 4.22 se observan un ventilador integrado en el conjunto formado por las placas y la plancha de aluminio.

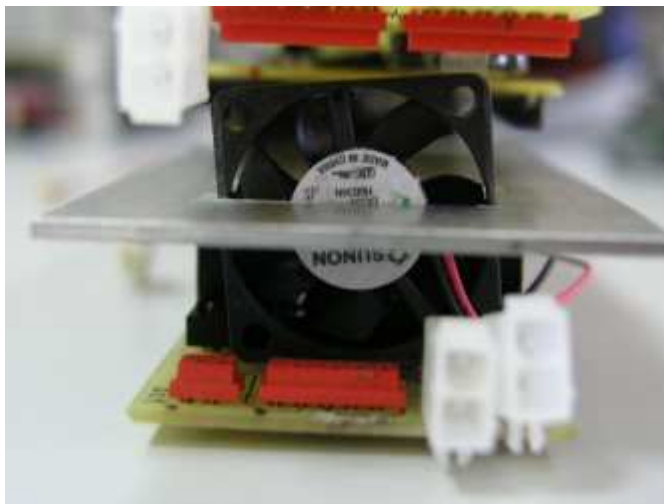


Figura 4.22: Ventilador integrado en el sándwich.

4.3.- Diseño de las placas

Para el diseño de las placas de PCB hay que tener en cuenta una serie de factores, estos factores son:

- Espacio disponible en los tubos para la ubicación de las placas.
- Tamaño de las placas óptimo para el correcto aprovechamiento del espacio disponible.
- Ubicación óptima de los componentes para reducir el cableado y aprovechar adecuadamente el espacio útil.
- Normativa relativa al diseño de circuitos en PCB.

4.3.1.- Espacio útil

Como ya se ha mencionado el diseño de las placas está basado en el diseño de la versión anterior en la cual la disposición de las placas y la plancha de aluminio para la disipación de calor se realizaba formando un "sándwich". En este "sándwich" las capas exteriores son las placas y el interior es la plancha de aluminio.

El volumen interior útil de los tubos es muy inferior al volumen disponible en el interior del tubo. Esto se debe a que al realizarse el montaje de las placas en modo de "sándwich" el volumen útil pasa de ser el del cilindro interior del tubo a ser un prisma interior al tubo.

El volumen interior de los tubos se obtiene según la siguiente fórmula:

$$V = (L_{TUBO} - 2 \times L_{BRIDA}) \times \pi \times \left(\frac{\phi_I}{2}\right)^2$$

Donde:

ϕ_I : es el diámetro interior de los tubos.

L_{TUBO} : es la longitud del tubo.

L_{BRIDA} : es la longitud de la brida.

En la figura 4.23 se muestran las dimensiones de los diferentes tubos.

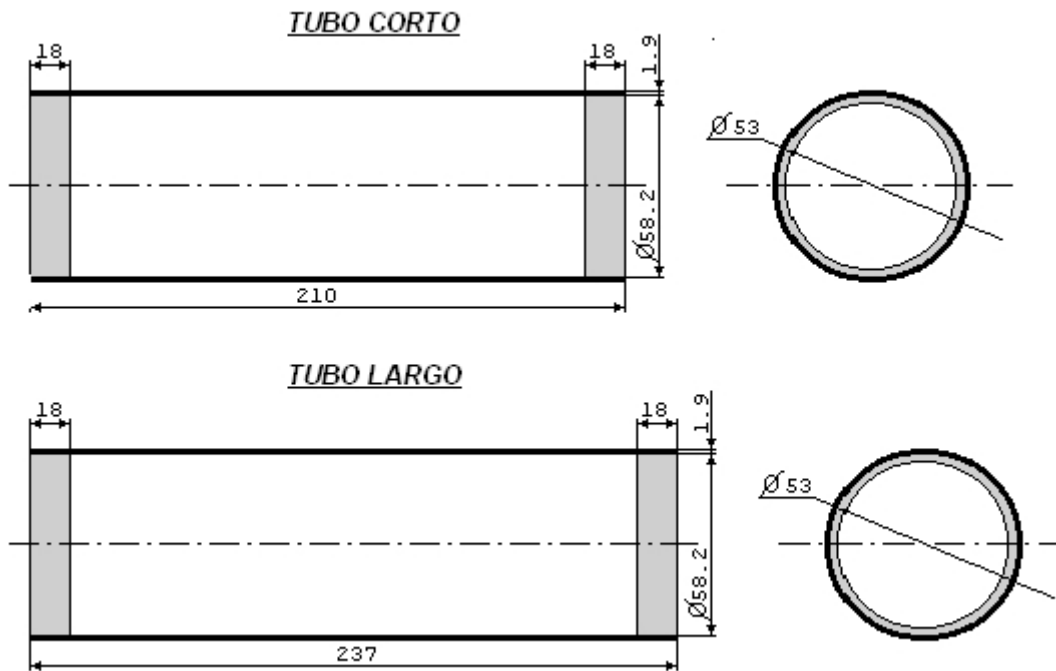


Figura 4.23: Dimensiones de los tubos (en mm).

Por tanto, el volumen interior de los tubos es el siguiente:

$$V_{LARGO} = (237 - 2 \times 18) \times \pi \times \left(\frac{58,2}{2}\right)^2 = 534726,75 \text{ mm}^3 = 534,73 \text{ cm}^3$$

$$V_{CORTO} = (210 - 2 \times 18) \times \pi \times \left(\frac{58,2}{2}\right)^2 = 462897,78 \text{ mm}^3 = 462,9 \text{ cm}^3$$

El espacio útil disponible en el interior de los tubos es igual al espacio útil de la versión anterior. Puede observarse en la figura 4.24.

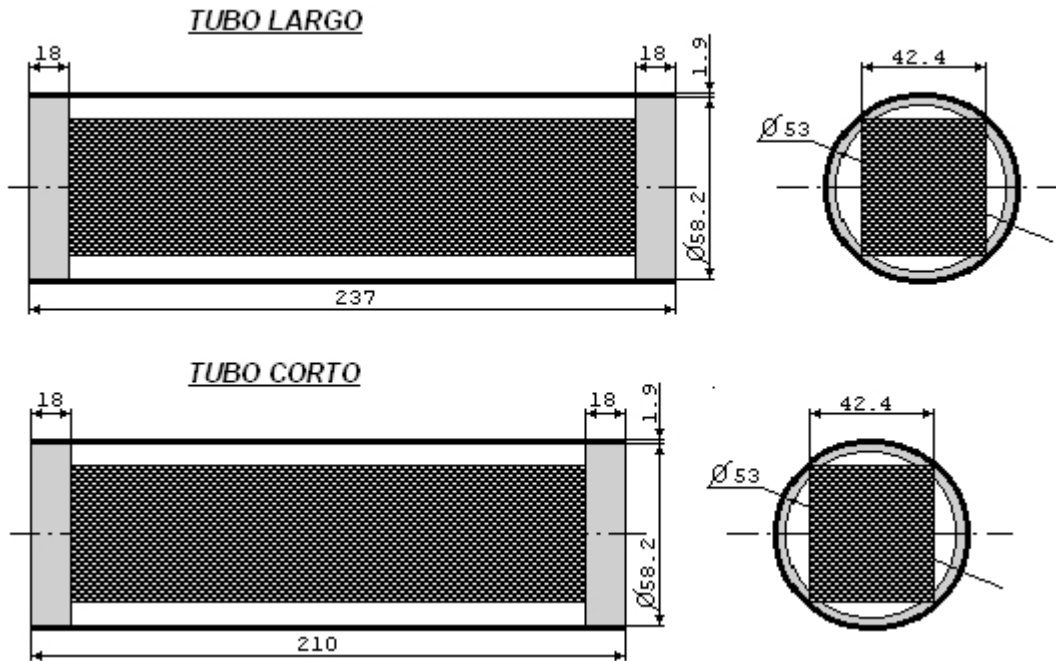


Figura 4.24: Dimensiones útiles de los tubos (en mm).

Los volúmenes útiles en el interior del tubo se calculan con la siguiente fórmula:

$$V_{UTIL} = (L_{TUBO} - 2 \times L_{BRIDA}) \times 42,2^2$$

De esta forma, los volúmenes útiles de ambos tubos son:

$$V_{LARGO} = (237 - 2 \times 18) \times 42,4^2 = 361.35 \text{ cm}^3$$

$$V_{CORTO} = (210 - 2 \times 18) \times 42,4^2 = 312.81 \text{ cm}^3$$

Se puede observar que el volumen útil de los tubos es aproximadamente el 70% del volumen disponible en el interior de estos. Debido a esto el diseño tiene que ser muy compacto.

4.3.2.- Dimensiones de los sistemas embebidos

Las dimensiones de los sistemas embebidos en los tubos están condicionadas por el espacio útil calculado en el apartado 4.3.1.

En el interior de los tubos hay que contar con el espacio que sobresalen los conectores de las placas y el de los conectores de los cables que se enganchan a estos. Por ello el espacio que se ha destinado para la ubicación de las placas es inferior al tamaño disponible en los tubos. Los tamaños de las distintas placas se muestran en la tabla 4.24.

Placas	Dimensión placa		Tamaño del tubo
	Largo	Ancho	
Largas	201	45	237
Cortas	172	45	210
Adaptador CPU	55	60	237

Tabla 4.24: Dimensiones de las placas.

La forma de los tubos obliga a que los componentes que se ubiquen en las placas se encuentren a al menos una distancia de aproximadamente 5mm-10mm de los bordes laterales de la placa.

En las figuras 4.25, 4.26 y 4.27 se muestran las dimensiones de las diferentes placas y las distancias a las que se han colocado los drivers, ya que la ubicación de éstos es fundamental para el correcto aprovechamiento del espacio disponible.

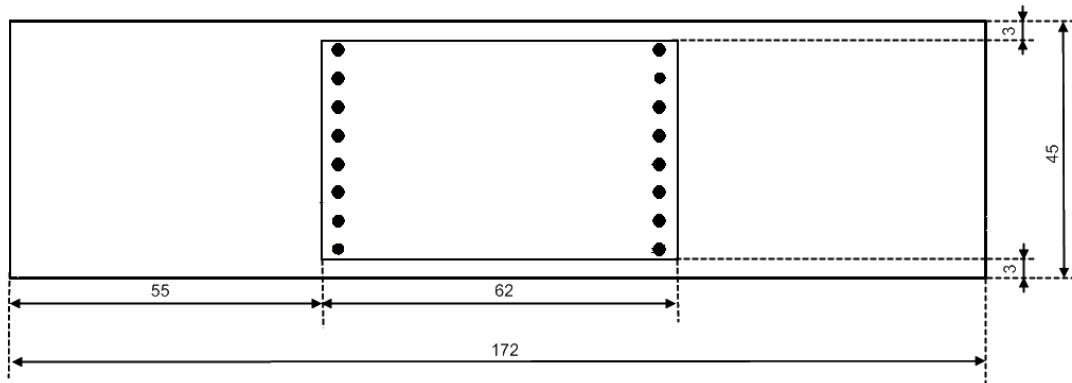


Figura 4.25: Dimensiones placas tubo corto.

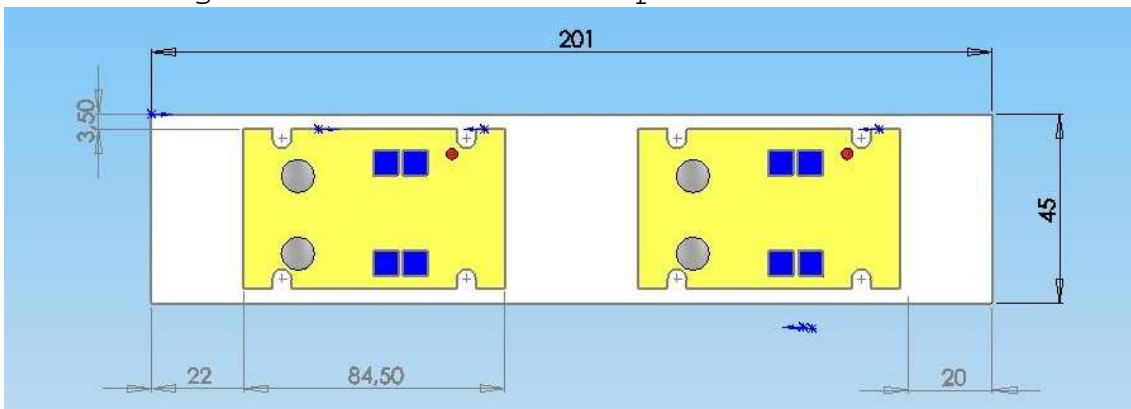


Figura 4.26: Dimensión placa tubo largo inferior.

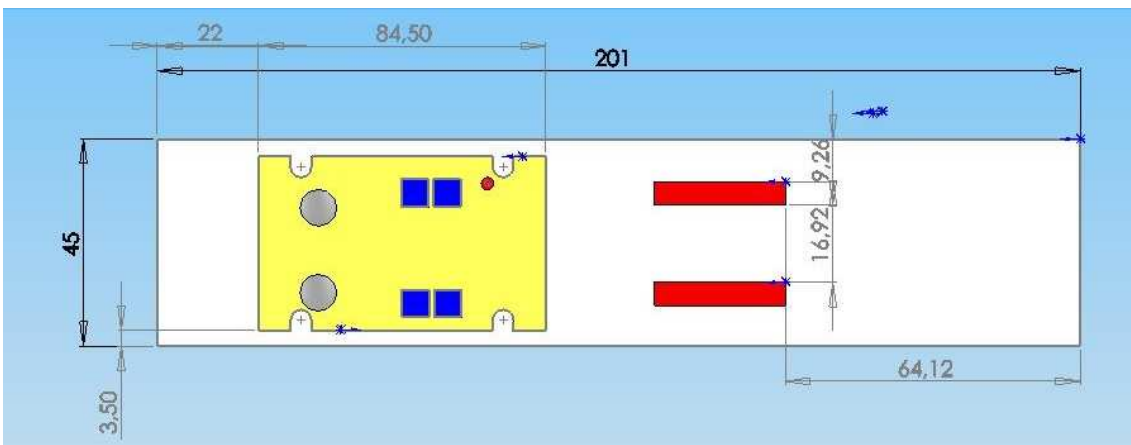


Figura 4.27: Dimensión placa tubo largo superior.

Las dimensiones de las planchas de aluminio que se han empleado para la disipación de calor, las cotas de la ubicación los drivers, los ventiladores y la altura de las carcasa de los drivers se muestran en las figuras 4.28, 4.29 y 4.30.

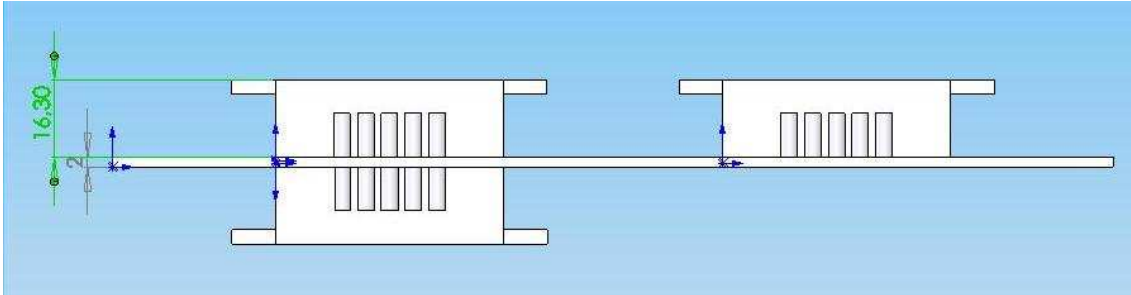


Figura 4.28: Espesor de la PCB y altura de la carcasa de los drivers.

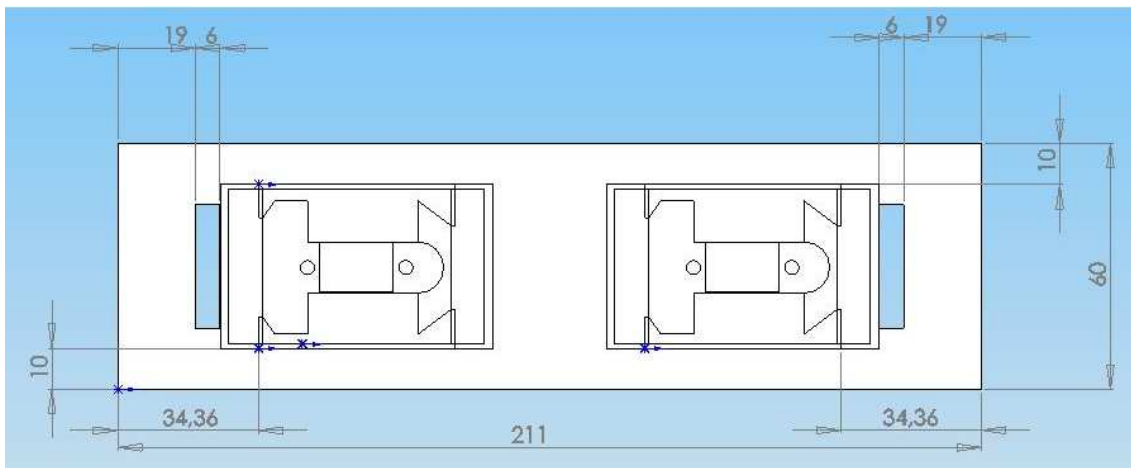


Figura 4.29: Dimensiones plancha de aluminio tubo largo.

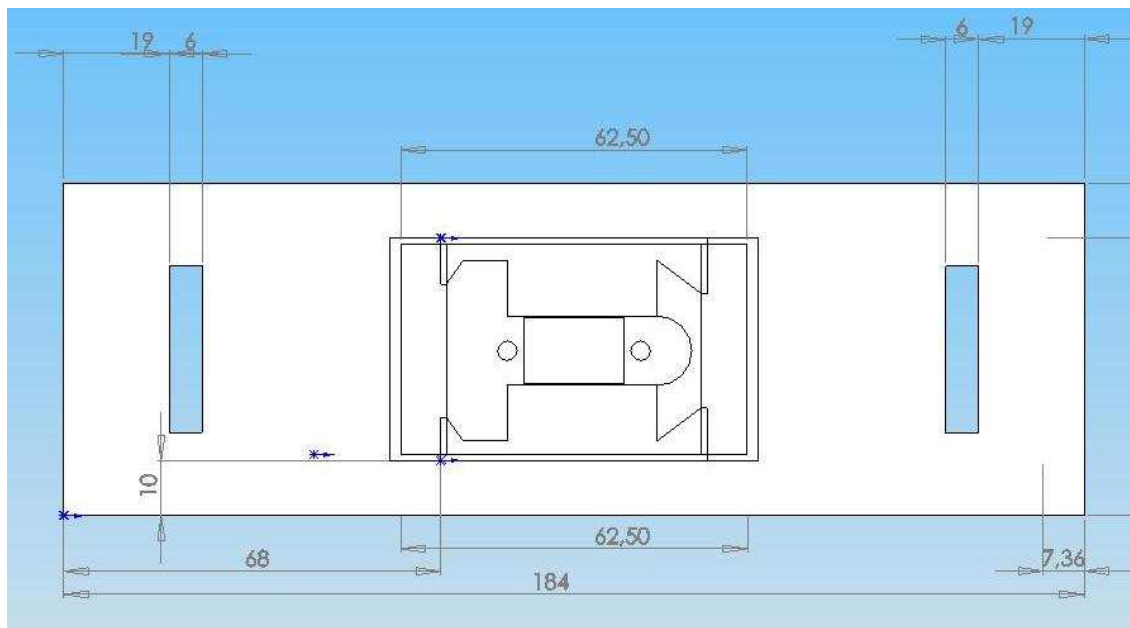


Figura 4.30: Dimensiones plancha de aluminio tubo corto.

4.3.3.- Distribución de componentes

Todos los componentes mencionados anteriormente en el apartado 4.2. deben ser ubicados en las placas de los distintos tubos del robot. Dentro de cada tubo hay dos placas formando el "sándwich" que se mencionó en el apartado anterior.

Las placas del "sándwich" se van a distinguir entre placa superior o inferior del tubo largo o del tubo corto respectivamente. El diseño de todas las placas que se ha realizado es bicapa para facilitar el rutado y ubicación de los componentes.

Las placas de un mismo tubo están conectadas tanto entre si, como con las placas del otro tubo.

La principal razón para la ubicación de los componentes se basa en el eje motriz sobre el que ese componente actúa, colocando los componentes en el tubo más próximo a este para la reducción del cableado del robot y conseguir un sistema más compacto y robusto.

En los siguientes apartados se especifica que componentes componen las placas de los tubos largo y corto del robot.

En el Anexo 1 se pueden apreciar todos los esquemas de los circuitos impresos en su totalidad.

4.3.3.1.- Tubo corto

En las placas del tubo corto se han ubicado los componentes electrónicos necesarios para el control de los ejes cuatro y cinco, siendo estos ejes los más próximos a este tubo.

Además en las placas de este tubo, al igual que en las del tubo largo, constan de un bus de +24Vdc y GND con sus respectivas protecciones.

En este tubo también se encuentra el sistema de conversión de +24Vdc a +5Vdc para la alimentación de los ventiladores y la correspondiente protección de este sistema.

Tanto las placas de este tubo como las del largo tienen un bus de CAN, con las señales CAN_H y CAN_L, para llevar el bus de un extremo a otro del robot.

En la figura 4.31 se muestra el sándwich formado por las placas de este tubo.



Figura 4.31: Sándwich del tubo corto.

La distribución de componentes entre la placa superior e inferior de este tubo se detalla en los apartados 4.3.3.1.1. y 4.3.3.1.2.

4.3.3.1.1.- Placa superior del tubo corto

En esta placa se encuentran la electrónica encargada en el control del eje 5 y el bus del sistema de alimentación de del sistema. Estos componentes son:

- Bus de alimentación de +24Vdc y GND y la protección correspondiente de este bus.
- Conectores para la unión del bus de alimentación tanto con el extremo B del robot como con el otro tubo.
- Driver del eje 5
- Conectores para la conexión de los distintos elementos que componen el eje motriz 5, es decir, encoder, sensor inductivo, freno y motor de este eje.
- Conector para la interconexión con la placa inferior de este tubo, para la conexión al bus CAN y al buffer encargado de dar la señal de -Brake5.

En la figura 4.32 se muestra la placa superior del tubo corto antes de la colocación del driver cinco.

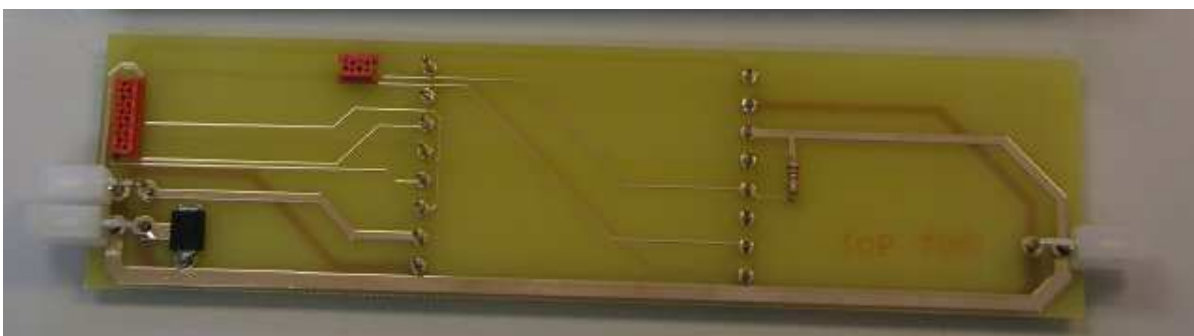


Figura 4.32: Placa inferior del tubo corto sin driver.

4.3.3.1.2.- Placa inferior del tubo corto

En esta placa se han ubicado todos los componentes usados para el control del eje 4, estos son:

- Driver del eje 4
- Conectores para la unión entre el eje 4 (motor, freno, encoder e inductivo) con la placa.
- Buffer de corriente para la obtención de las señales -Brake 4 y -Brake 5.

Además en esta placa también se encuentran los siguientes sistemas y buses.

- Bus de alimentación de +24Vdc y GND con su respectiva protección.
- Conversor de +24Vdc a 5Vdc para la alimentación de los ventiladores de este tubo, y la protección elegida para este sistema.
- Conectores para la alimentación de los ventiladores.
- Conectores para llevar el bus de CAN y el de +5Vdc tanto al extremo B del robot como para la conexión con el otro tubo.

En la figura 4.33 se muestra capa *top* de la placa inferior del tubo corto con todos los componentes colocados.



Figura 4.33: Placa tubo corto inferior.

4.3.3.2.- Tubo largo

En las placas del tubo largo se han ubicado los componentes electrónicos necesarios para el control de los ejes uno, dos y tres, debido a que estos ejes son los más próximos a este tubo. En este tubo también se ubica toda la electrónica necesaria para el acondicionamiento de la CPU de control y los conectores necesarios para su ubicación.

Además, al igual que en las placas del tubo corto se encuentran la parte de los buses de alimentación y de CAN necesaria para que lleguen estos buses de extremo a extremo del robot.

Este tubo tiene una peculiaridad frente al corto y es la ubicación de una placa extra para la conexión de la CPU de control.

La distribución de componentes entre la placa superior, inferior y extra de este tubo se detalla en los apartados 4.3.3.2.1 y 4.3.3.2.2.

En la figura 4.34 se puede ver el sándwich de las placas de este tubo.



Figura 4.34: Sándwich del tubo largo.

4.3.3.2.1.- Placa superior del tubo largo

A continuación se mencionan los sistemas que se encuentran en esta placa.

- Bus de alimentación con sus respectivos conectores para la conexión con el extremo A y las placas del otro tubo.
- Acondicionamiento de la CPU (alimentación, CAN, ethernet, RS-232 y JTAG) con las protecciones empleadas.
- Conversor del continua de +5Vd a +3,3Vdc para la alimentación de la CPU y su correspondiente protección.
- Driver del eje 2 y los conectores necesarios para la conexión con el freno, motor, encoder y sensor inductivo.
- Conector para la interconexión con la placa inferior para la conexión con el bus de CAN, de +5Vdc y para la conexión con el buffer de corriente para la obtención de la señal de freno del driver2.
- Conectores para la conexión de la placa extra en el cual se conecta la CPU de control.

La disposición de los componentes en esta placa puede verse en la figura 4.35.

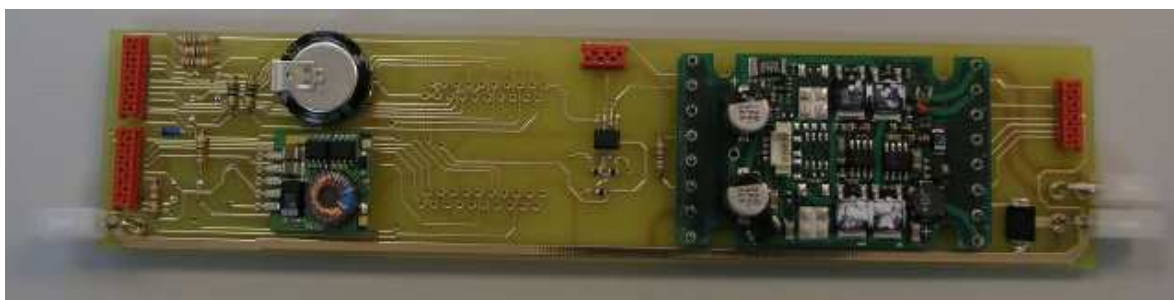


Figura 4.35: Placa superior del tubo largo.

4.3.3.2.2.- Placa inferior del tubo largo

En esta placa está compuesta por:

- Bus de alimentación con sus respectivos conectores para la conexión con el extremo A y las placas del otro tubo
- Drivers de los ejes 1 y 3
- Conectores para la unión entre el eje 4 (motor, freno, encoder e inductivo) con la placa.
- Buffer de corriente para la obtención de las señales de freno de los ejes uno, dos y tres.
- Conectores para la conexión con la placa superior de este tubo y con las placas del tubo corto para la unión del bus de CAN y +5Vdc.

La disposición de los componentes mencionados anteriormente de esta placa puede verse en la figura 4.36.

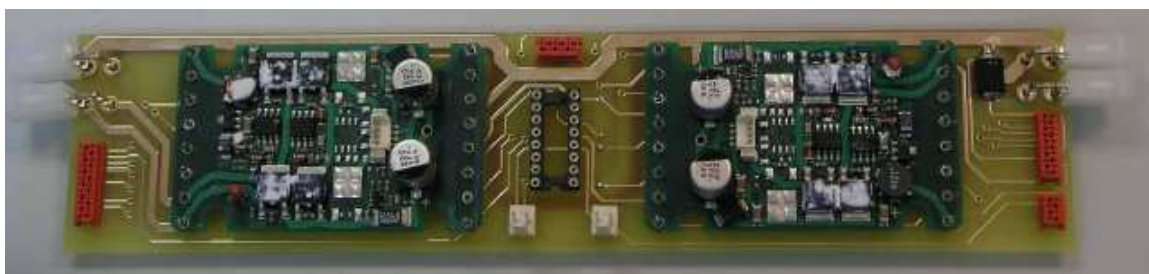


Figura 4.36: Placa inferior del tubo largo.

4.3.3.2.3.- Placa extra del tubo largo

La función de esta placa es de intermediar para la conexión de la CPU de control con la placa superior del tubo largo, ya que la conexión directa a esta es imposible debido a la falta de espacio tanto en la placa como en el interior del tubo a la altura en que quedan las placas del sándwich. Con la colocación de una placa intermedia se consigue que la CPU quede situada aproximadamente en la mitad del tubo donde el espacio es mayor (aproximadamente el diámetro interior de los tubos).

En la figura 4.37 se muestra la lista de señales completa que compone el robot ASIBOT según la distribución de componentes que se ha mencionado en los subapartados anteriores.

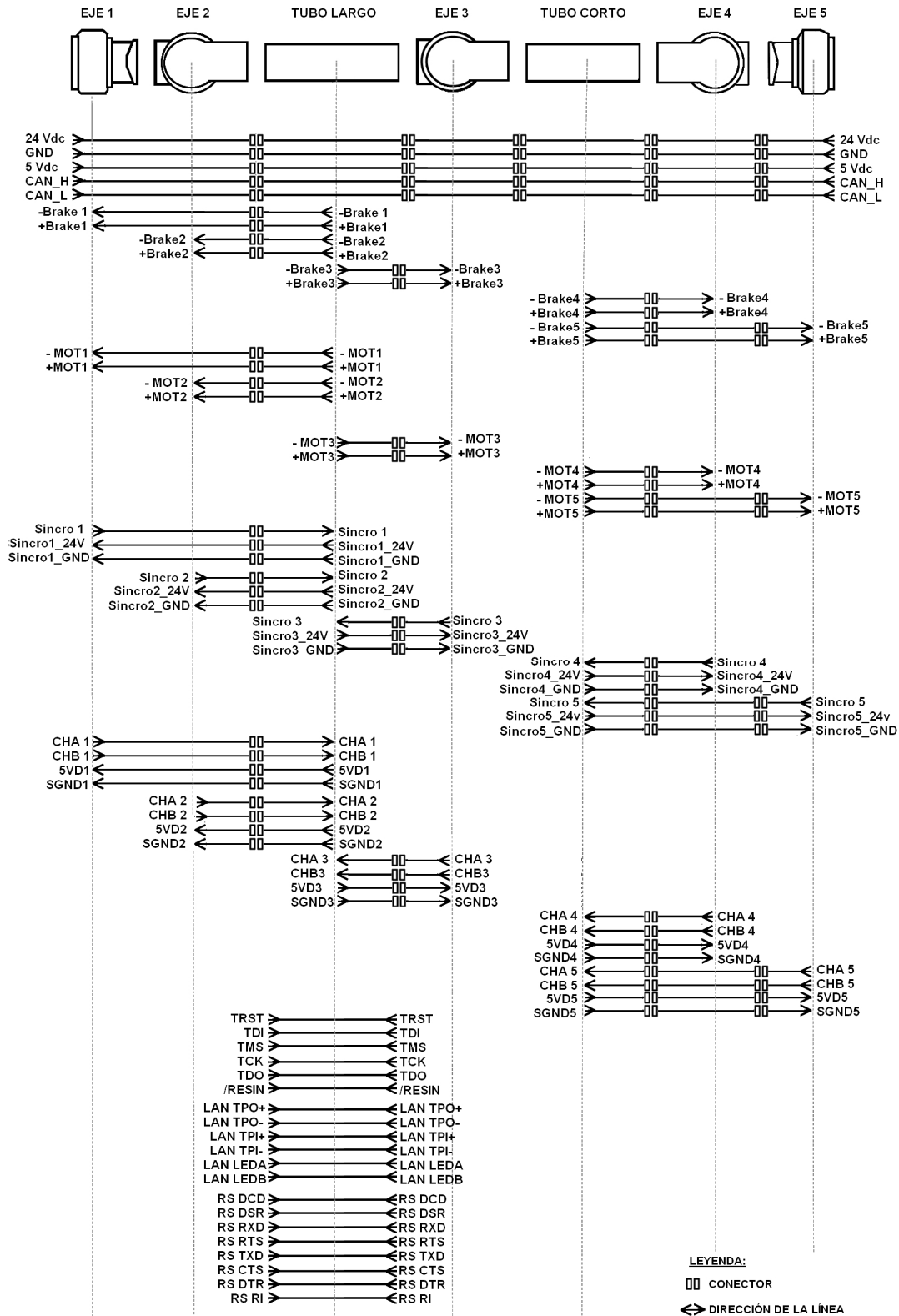


Figura 4.37: Lista de señales

4.3.4.- Normativa aplicada para diseño de PCB estándar

4.3.4.1.- Estándares básicos para el diseño de PCB

Para el diseño de las placas de circuito impreso (PCB) no existen normas de obligado cumplimiento, pero si existen varias estándares o recomendaciones que pueden servir como orientación para el diseño de las placas. Los estándares que se van a emplear para el diseño de las placas de circuito impreso son el estándar IPC-2221 y la norma UNE 20-621-84/3.

De estos el documento principal que cubre el diseño de PCB es el IPC-2221. Este estándar reemplazó los viejos IPC-d-275, el estándar (también Militares Std 275) que ha sido usado para el medio siglo pasado.

Para el diseño de circuitos impresos es necesario tener en cuenta algunos criterios como el grosor de las pistas, de los terminales o el grosor de las perforaciones entre otros. La solución a estos criterios se establece en diferentes normas o estándares para el diseño de circuitos impresos.

- Anchura de las pistas

El ancho de las pistas depende directamente de la corriente que va a circular por las pistas del circuito impreso, temperatura de sobre elevación aceptada, temperatura ambiente de trabajo y del espesor de la capa de cobre. Los espesores estándares de las pistas son de 18 μ m, 35 μ m, 70 μ m o 105 μ m.

En la figura 4.38 se determina el máximo de corriente admisible por ancho y espesor de pista según lo establecido en la norma UNE 20-621-84/3.

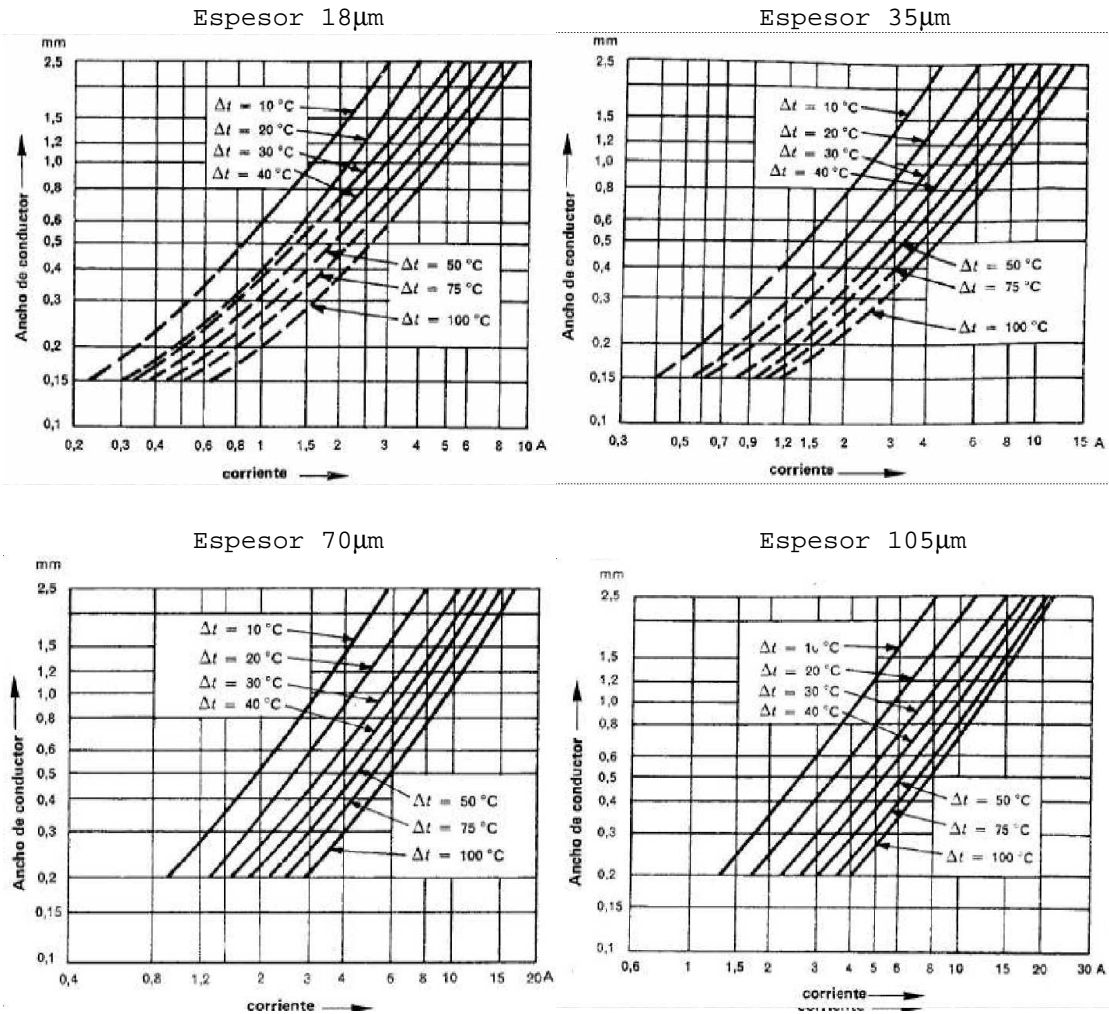


Figura 4.38: Ancho de las pistas en función de la corriente según la norma UNE 20-621-84/3.

El diseño del circuito se ha realizado empleando un espesor de las pistas de 70 µm, luego este factor va a ser fundamental en el cálculo del ancho de las pistas.

El estándar IPC-2221 también establece una regla para la elección de la anchura de las pistas en función de la corriente que debe soportar. Este estándar es más empleado para el diseño de circuitos impresos que el anterior, por lo que se han desarrollado correlaciones y fórmulas basadas en este estándar para el cálculo del ancho de pista necesario. La correlación empleada se muestra en la figura

4.39 y la fórmula asociada a esta correlación es la siguiente:

$$I = 0,065xT^{0,43}xA^{0,68} \quad (1)$$

Siendo:

T: Incremento de temperatura de la pista sobre la temperatura ambiente en °C.

A: Sección transversal de la pista (mils cuadradas)

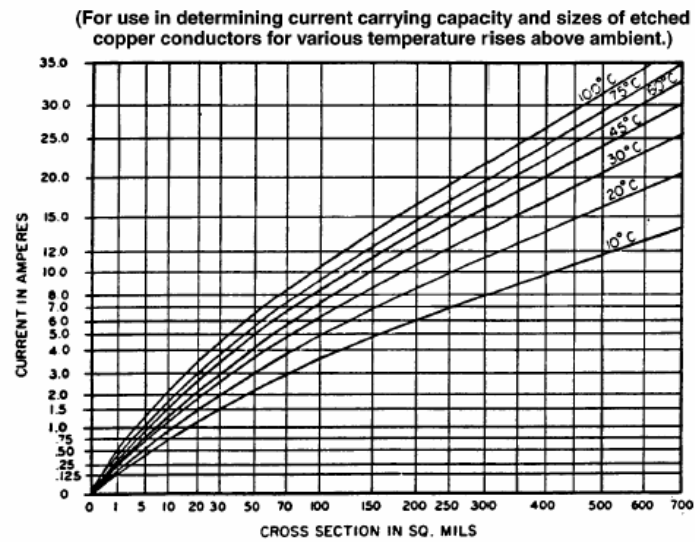


Figure A External Conductors

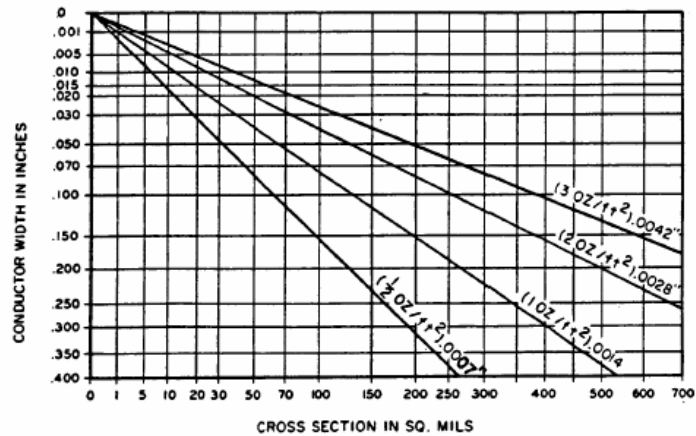


Figura 4.39: Relación corriente vs. espesor de pista según el estándar IPC-2221.

- Cálculo de la anchura de las pistas

El primer factor que hay que conocer para el cálculo de las anchuras de las pistas de la PCB es el valor de corriente máximo que va a soportar esa pista. A continuación se muestran las corrientes máximas de continua y los picos de corriente de las distintas señales que componen el sistema.

La señal que mayor consumo de corriente tiene es el bus de alimentación de +24Vdc que recorre el robot. El consumo mayor que tiene este bus es el producido por los ejes motrices del robot. El consumo mayor de estos al igual que en la versión anterior se produce con un perfil de velocidad triangular. Esto se debe a que, para un mismo recorrido y en las mismas condiciones, la velocidad alcanzada en el perfil triangular es mayor y la aceleración necesaria también es mayor. En la figura 4.40 se puede ver el consumo de corriente para este tipo de perfil.

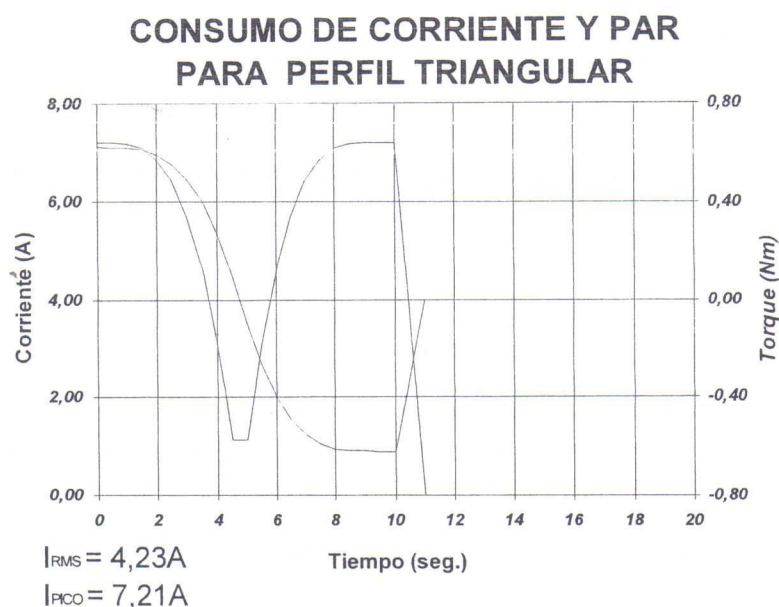


Figura 4.40: Consumo de corriente para un perfil de velocidad triangular.

Las corrientes más elevadas a tener en cuenta, en el caso del motor con mayor sollicitación son:

- $I_{RMS}=4,23A$.
- $I_{PICO}=7,21A$.

A partir de estos valores se calculan los valores de corriente en los motores del resto de ejes. Para ello se considera que el par desarrollado por cada uno es proporcional a la distancia al extremo del robot y a la masa existente desde el eje a la carga, considerando siempre las consideraciones más desfavorables para el eje en cuestión.

En la tabla 4.25 se muestran las proporciones consideradas y los valores de corriente por cada eje motriz:

	EJE 1	EJE 2	EJE 3	EJE 4	EJE 5	Σ
Proporción	100%	100%	40%	12%	12%	
I_{PICO} (A)	7,21	7,21	2,9	0,9	0,9	19,12
I_{RMS} (A)	4,23	4,23	1,7	0,51	0,51	11,2

Tabla 4.25: Estimación de consumos por eje.

El cálculo de los consumos se ha realizado considerando que el robot ASIBOT se encuentra anclado por la articulación 1.

A parte de los consumos descritos anteriormente el sistema de alimentación de +24Vdc se encarga de alimentar otros dispositivos. El resto de dispositivos que afectan al consumo de +24Vdc se detallan a continuación:

- Conversor Dc/Dc de +5dc.
- Driver.
- Buffer de corriente.

- Freno electromagnético.
- Sensor inductivo.

En la tabla 4.26 se muestran los consumos máximos unitarios y totales de los dispositivos electrónicos anteriores.

Dispositivo	Uds.	Consumo Máximo Unitario(mA)	Consumo total (mA)
Convertor Dc/Dc +5V	1	485	485
Driver	5	60	300
Buffer de corriente	2	25	50
Freno electromagnético	5	380	1.900
Sensor inductivo	5	100	500
Total			3.235

Tabla 4.26: Consumos máximos de la electrónica de potencia.

Por tanto, el consumo máximo de las líneas de corriente del sistema de alimentación de +24Vdc es el obtenido del consumo de los motores y de los diferentes dispositivos de potencia son:

- Corriente de pico: $19,12A + 3,23A = 22,35A$.
- Corriente máxima continua: $11,2A + 3,23A = 14,43A$.

El estándar que se ha empleado para el cálculo del espesor de las pistas, es el estándar IPC-2221. La corriente que se ha seleccionado para el cálculo del ancho de las pistas es la corriente máxima continua ya que esta corriente se debe soportar durante un intervalo de tiempo mayor y además las pistas son capaces de soportar una mayor densidad de corriente de manera puntual (picos de corriente).

Para el cálculo de la anchura de las pistas se han tomado varias consideraciones:

- Considerar una corriente mayor de la calculada para prevenir que la pista se destruya ante una subida de la corriente.

- Se ha considerando una temperatura ambiente de 25°C y temperatura límite interior de los tubos de 70°C, por lo que el incremento de temperatura para el cálculo de la anchura de la pista es de 45°C.
- Espesor de las pistas de 70µm.

Las áreas transversales de las pistas para las señales anteriores calculadas según la figura 4.39 para un incremento de temperatura de 45°C se observan en la tabla 4.27:

Señal	Corriente	Áreas transversales
Bus de +24Vdc	15 A	275 mils ²
Motores	5 A	60 mils ²
Frenos	1 A	5 mils ²
Convertor Dc/Dc +5V	1 A	5 mils ²

Tabla 4.27: Áreas transversales de las pistas.

Para estos valores de áreas transversales de estas señales y un espesor de pista de 70µm se obtienen los espesores de pista que se muestran en la tabla 4.28:

Señal	Áreas transversales		Anchura pista	
	En mils ²	En mm ²	En mm	En mils
Bus de +24Vdc	275	0,1774	2,53	99,6
Motores	60	0,0387	0,55	22,9
Frenos	5	0,0032	0,045	1,8
Convertor Dc/Dc +5V	5	0,0032	0,045	1,8

Tabla 4.28: Anchura de pistas de las señales de potencia.

La relación para la conversión de mils a milímetros es: 1mil=0,0254mm.

El ancho de pistas mínimo que se emplea para el diseño del layout es de 12mils, por lo que tanto las señales de los frenos y del convertor deben tener un espesor de 12mils al menos. El ancho de la señal de +24Vdc del bus de alimentación según los cálculos anteriores debe ser de al

menos 100mils y el de la excitación de los motores de al menos 23 mils.

El resto de señales de control del sistema el consumo de corriente que soportan es menor que lo calculados anteriormente por lo que con un ancho de pista de 12mils es suficiente.

4.3.4.2.- Normas aplicadas en el diseño de Ethernet

Ethernet es la tecnología de red de área local más extendida en la actualidad. Fue diseñado originalmente por Digital, Intel y Xerox por lo cual, la especificación original se conoce como Ethernet DIX. Posteriormente en 1.983, fue formalizada por el IEEE como el estándar Ethernet 802.3.

La velocidad de transmisión de datos en Ethernet es de 10Mbits/s en las configuraciones habituales pudiendo llegar a ser de 100Mbits/s en las especificaciones Fast Ethernet.

Al principio, sólo se usaba cable coaxial con una topología en BUS, sin embargo esto ha cambiado y ahora se utilizan nuevas tecnologías como el cable de par trenzado (10 Base-T), fibra óptica (10 Base-FL) y las conexiones a 100 Mbits/s (100 Base-X o Fast Ethernet). La especificación actual se llama IEEE 802.3u.

Ethernet/IEEE 802.3, está diseñado de manera que no se puede transmitir más de una información a la vez. El objetivo es que no se pierda ninguna información, y se controla con un sistema conocido como CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*, Detección de Portadora con Acceso Múltiple y Detección de Colisiones), cuyo principio de funcionamiento consiste en que una estación, para transmitir, debe detectar la presencia de una señal portadora y, si existe, comienza a transmitir. Si dos estaciones empiezan a transmitir al mismo tiempo, se produce una colisión y ambas deben repetir la transmisión, para lo cual esperan un tiempo aleatorio antes de repetir, evitando de este modo una nueva colisión, ya que ambas escogerán un tiempo de espera distinto. Este proceso se

repite hasta que se reciba confirmación de que la información ha llegado a su destino.

Según el tipo de cable, topología y dispositivos utilizados para su implementación podemos distinguir los siguientes tipos de Ethernet:

- 10 Base 2
- 10 Base 5
- 10 Base T
- 10 Base FL

Este estándar recomienda que en el diseño de un circuito para acondicionamiento de Ethernet el tamaño de las pistas de transmisión de datos debe ser lo más reducido posible y aconseja el rutado en paralelo de las señales TPI+ y TPO+ con TPI- y TPO- respectivamente.

4.4.- Montaje

En el montaje del robot se distinguen varios trabajos realizados. Estos trabajos son los siguientes:

- Introducción de toda la electrónica en los tubos.
- Cableado del robot.
- Conexión de los distintos dispositivos que componen el sistema.

4.4.1.- Ubicación de la electrónica

La ubicación de la electrónica tiene dos fases. La primera es realizar el montaje de los sándwich y la segunda consiste en la ubicación de los sándwich en el interior de los tubos.

El montaje de los "sándwich" consiste en la ubicación de las placas en la plancha de aluminio del tubo correspondiente quedando los drivers situados en el interior de sus carcasas, las cuales se encuentran pegadas en la plancha de aluminio.

Para la comunicación entre las diferentes placas de un mismo tubo las planchas de aluminio disponen de un orificio, por el pasarán los cables con las señales necesarias para la correcta conexión de estas placas. El cable y los conectores empleados se citan en los apartados 4.4.2. y 4.4.3. respectivamente.

4.4.2.- Cableado

Para el cableado del robot se han seleccionado varios tipos de cable dependiendo de la corriente que va circular por este y dependiendo de los movimientos de torsión que va a sufrir.

Los cables elegidos se pueden distinguir entre los cables para las señales de control y los cables para las señales de potencia.

- Señales de potencia

Las señales de potencia +24Vdc, GND, +Mot y -Mot son las líneas por las que más corriente circula. Los conectores que se han elegido son conectores machos y hembras de la marca Molex serie Minifit. En la tabla 4.29 se muestran sus características más importantes.

Tipo	Cable-PCB
Orientación	90°
Número de contactos	2
Tensión nominal	600V
Corriente nominal	9A
Temperatura funcionamiento	-40°C a +105°C

Tabla 4.29: Características Moles Mini Fit.

- Señales de control

El resto de las señales del sistema son de control. Los conectores que se han elegido son de la casa Tyco Electronics serie IDC Micro-Match de 4,6, 10 y 12 vías hembras y machos para conexiones entre PCB y cable. En la figura 4.41 se observan los conectores empleados y en la tabla 4.30 sus características más importantes.



Figura 4.41: Conector Micro Match hembra.

Tipo	Cable-PCB
Orientación	Recto
Número de contactos	4, 6, 10 y 12
Tensión nominal	100V
Temperatura funcionamiento	-40°C a +105°C

Tabla 4.30: Características conector Micro Match.

4.4.3.- Conexionado

Los criterios para la elección de los conectores son:

- Corriente que va a circular por los conectores.
- Espacio que ocupan.
- Robustez para evitar desconexiones indeseadas.

Por tanto, al igual que con los cables, los conectores elegidos se pueden distinguir entre los empleados para señales de potencia y de control.

- Cableado de señales de potencia

Las señales del sistema de potencia son las de excitación de los motores y las de alimentación de +24Vdc.

Los cables que se han empleado para estas señales son de tipo Flexivolt, estos van recubiertos de cloruro de polivinilo (PVC) y han sido especialmente diseñados para aplicaciones en electrotécnica, como por ejemplo en el cableado interno de partes móviles sometidas a esfuerzo mecánico medio e instalaciones y fabricación de equipos y automóviles. Este compuesto de PVC presenta unas buenas propiedades mecánicas. Es totalmente flexible a temperaturas de -10°C a 60°C y soporta un uso continuo.

Algunas de las características más importantes de estos cables como sección nominal, tensión de funcionamiento o AWG se muestran en la tabla 4.31. El AWG es una referencia de clasificación de diámetros siendo el alambre de mayor grosor, el de AWG más bajo, el menos susceptible a la interferencia, posee menos resistencia interna y, por lo tanto, soporta mayores corrientes a distancias más grandes.

Atributo \ Señal	Alimentación		Motores	
	+ 24Vdc	GND	+Mot	-Mot
Color	Rojo	Negro	Amarillo	Azul
Sección nominal (mm ²)	0,5		0,25	
AWG	20		23	
Nº de fila x Ø de cada filamento (mm)	129 x 0.07		65x0.07	
Peso cobre (kg/Km)	4.7		2.4	
Grosor del aislante aprox. Mm	0.5		0.5	
Ø ext. aprox (mm)	2.1		1.7	
Tensión funcionamiento (V)	500		500	
Corriente nominal (A)	10		6	

Tabla 4.31: Características de los cables de potencia.

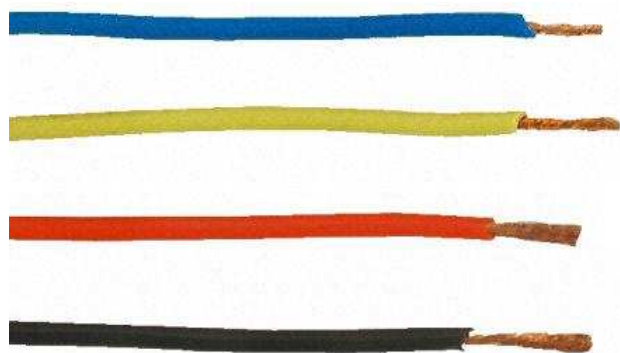


Figura 4.42: Cables Flexivolt.

- Cableado de señales de control

Para las conexiones de las señales de control se han empleado cables planos Speedblock tipo IDC codificado por colores. En la tabla 4.32 se muestran algunas características del cable usado y en la figura 4.43 se ver este cable.

Tensión Nominal	300V
Corriente nominal	1 ^a
Capacitancia	58.8pF/m
AWG	36
Temperatura funcionamiento	-20°C a +105°C

Tabla 4.32: Características de los cables de control.



Figura 4.43: Cable de las señales de control.

Las señales de control del sistema al igual que las de potencia tienen asociada un color, en la tabla 4.33 se muestran los colores asociados a las diferentes señales de control.

Señal	Color A	Color B
5Vdc	Blanco	-
CAN_H	Gris	Amarillo
CAN_L	Morado	Azul
+Brake	Rojo	Verde-Marrón
-Brake	Marrón	Verde-Azul
ChA	Naranja	-
ChB	Amarillo	-
5Vd (encoder)	Verde	-
SGND	Azul	-
Sincro	Negro-Rojo(1)	Negro
Sincro_24	Negro(2)	Marrón
Sincro_gnd	Negro(3)	Azul

Tabla 4.33: Relación de los colores de las señales.

Algunos dispositivos del sistema como el sensor inductivo o el freno disponen de unos cables a través de los cuales se realizará la conexión con el resto del sistema. El color B representa el cable que tiene el dispositivo por defecto y el color A representa el color del cable que se ha empleado para la conexión entre el dispositivo y el sistema. El color B de las señales de CAN representa el color de cable que se ha empleado en los eslabones 1 y 4, para realizar posibles conexiones mediante bus CAN con el exterior a través de una serie de contactos en las *docking station*, iguales que los empleados para la alimentación.

Para evitar la desconexión de los cables de las PCB, debido a los movimientos de rotación del robot, se ha empleado la misma brida que tenía la versión anterior del robot. Además, los cables que salen de la estructura del robot se han introducido en una malla para evitar que los cables se enganchen con algún elemento del entorno.

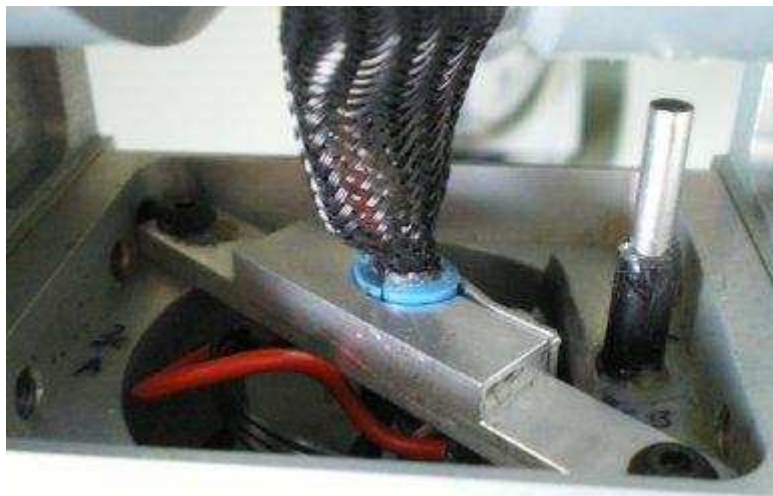


Figura 4.44: Brida de sujeción.

En la figura 4.44 se muestra la brida de sujeción de los cables y la malla de protección de estos en el extremo de uno de los tubos.

CAPITULO 5:
RESULTADOS EXPERIMENTALES

5.1.- Conclusiones

Los objetivos principales de este proyecto se enumeran a continuación, la descripción detallada de estos se da en el capítulo 3 de esta memoria. Estos objetivos son:

- 1) Reducción del peso y volumen de la electrónica embebida en el robot.
- 2) Utilización del interfaz de comunicación CAN-BUS.
- 3) Implantación de diferentes sistemas de conexión con el PC para la depuración el software.
- 4) Diseño de un sistema robusto.

Una vez finalizado el proyecto se puede hacer un análisis crítico de los objetivos se han alcanzado en este proyecto.

El objetivo 1 se puede concluir que se ha conseguido prácticamente en su totalidad. La reducción del volumen ocupado por los sistemas electrónicos embebidos en los tubos respecto al sistema anterior se ha logrado debido al empleo de un menor número de dispositivos en este diseño, ya que en la versión actual se ha ubicado un driver menos y a que la sustitución de la comunicación serie por una comunicación CAN bus reduce considerablemente los dispositivos necesarios para el acondicionamiento de esta comunicación. Otro factor que ha contribuido en la reducción del volumen de la electrónica embebida, es el empleo de componentes de montaje superficial (SMD), lo cual además ha facilitado el rutado de las placas.

Por tanto, se puede afirmar que el volumen ocupado por la electrónica es bastante inferior, pro debido a la redistribución de componentes el tubo largo ha quedado más compacto que en la versión anterior, pero el tubo corto por el contrario dispone de más espacio para futuras ampliaciones.

Por otro lado el peso de la electrónica embebida a penas a variado con respecto a la electrónica del robot ASIBOT v1.0.

El objetivo 2 sobre la implantación de un sistema de comunicación CAN-bus para realizar las comunicaciones entre la CPU y los controladores de los ejes se ha logrado, siendo el funcionamiento de este sistema bastante bueno para el control del robot.

El objetivo 3, sobre la implantación de diferentes sistemas de comunicación para la depuración de código con el PC, ha sido el que más problemas ha supuesto. El problema que se ha tenido con este sistema ha sido el diseño del circuito de ethernet ya que este diseño era muy sensible en cuanto al rutado, por problemas con el rutado, con las impedancias y longitudes de las pistas del circuito de acondicionamiento. El resto de los sistemas no han supuesto ningún problema en la implantación en el robot.

El último objetivo que trata sobre la robustez, hasta el momento se ha comprobado que el robot ASIBOT v1.5 es robusto pero no se puede afirmar que se cumple este objetivo en su totalidad hasta que transcurra un periodo de tiempo mayor.

5.2.- Trabajos futuros

Durante el desarrollo de este proyecto se han descubierto varios problemas, para los cuales se proponen ciertas mejoras. Algunas propuestas para mejorar y aumentar las especificaciones del ASIBOT en trabajos futuros:

- Diseño de una placa, que se ubique en la estructura del robot, que conste de los conectores necesarios para hacer posible la conexión del robot con el PC para la depuración de código mediante RS232, Ethernet o JTAG.
- Diseño de un nuevo sistema para evitar que el cableado del robot que une los distintos eslabones no sufra tanto con los movimientos de rotación del robot, consiguiendo así un sistema más robusto y estable.
- Diseño de un sistema de conectores para las *docking station* que requiera menor mantenimiento para conseguir una conexión más fiable.
- Integración de sensores y cámaras para poder identificar el entorno y evitar así la colisión con algún objeto o personas que se encuentren en el entorno de trabajo del robot.
- Sustitución del sistema operativo actual, Windows CE 5.0 por Linux ya que este sistema es muy estable, robusto y rápido. Además se trata de una distribución libre lo que implica la gratuidad del software y la posibilidad de realizar modificaciones.

BIBLIOGRAFÍA

B1.- Libros

"Fundamentos de la robótica"; Barrientos A., Balaguer C., Peñín L.F. y Aracil R.; McGraw-Hill, 1997.

"Diseño e implementación de los Sistemas Embarcados del Robot MATS"; Martínez de la Casa Díaz S.; P.F.C. Universidad Carlos III, 2005.

"Diseño y ampliación del hardware electrónico del robot KHR-1 para el concurso CEABOT"; Gutiérrez Martínez S.; P.F.C. Universidad Carlos III, 2007.

B2.- Artículos

Balaguer C., Giménez A., Jardón Huete A.; *"MATS: An assistive robotic climbing system for personal care & service applications"*; 1st International Workshop on advances in service robotics. Marzo, 2003.

Giménez A., Jardón Huete A., y otros; *"Service robot applications for elderly people care in home environment"*; 2nd International workshop on advances in service robotics, 2003.

Giménez A., Balaguer C.; *"The MATS robotic system to assist disabled people in their home environments"*; Intl. Conference on Intelligent Robots and Systems IROS 2003.

Asfour T., Berns K., Dillmann R.; *"The Humanoid Robot ARMAR: Design and Control"*; The 2nd International Symposium in Humanoid Robots (HURO'99), Tokyo, Japan, 1999.

Berns K., Asfour T., Dillmann R.; *"Design and Control Architecture of an Anthropomorphic Robot Arm"*; The 3rd International Conference on Advanced Mechatronics ICAM 98, Okayama, Japan, 1998.

B3.- Páginas Web

<http://www.amidata.es>

<http://es.farnell.com>

<http://intrinsyc.com>

<http://roboticslab.uc3m.es/roboticslab/>

<http://www.phytec.com>

<http://es.wikipedia.org>

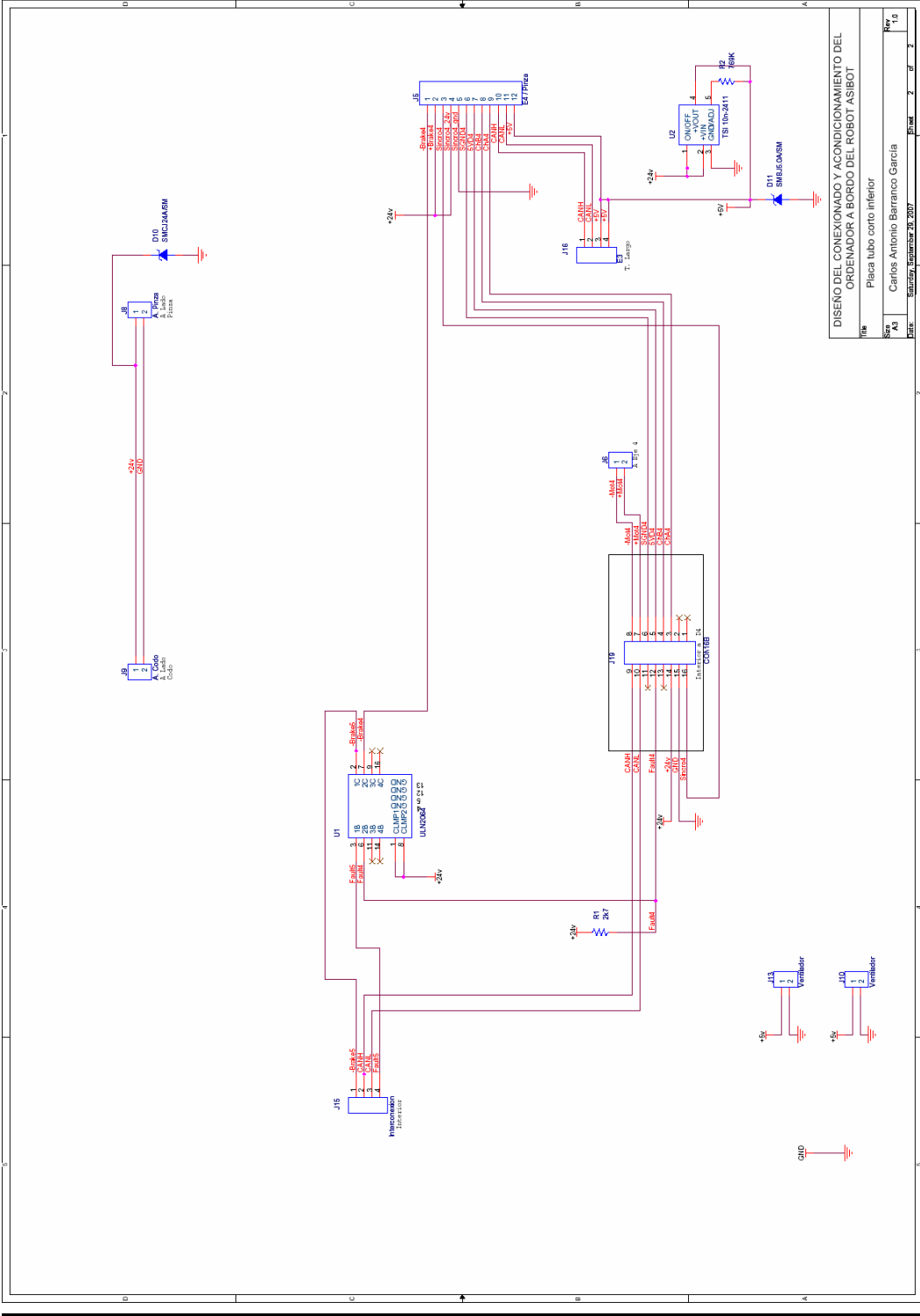
<http://www.robotnik.es>

<http://www.pulseeng.com>

ANEXOS

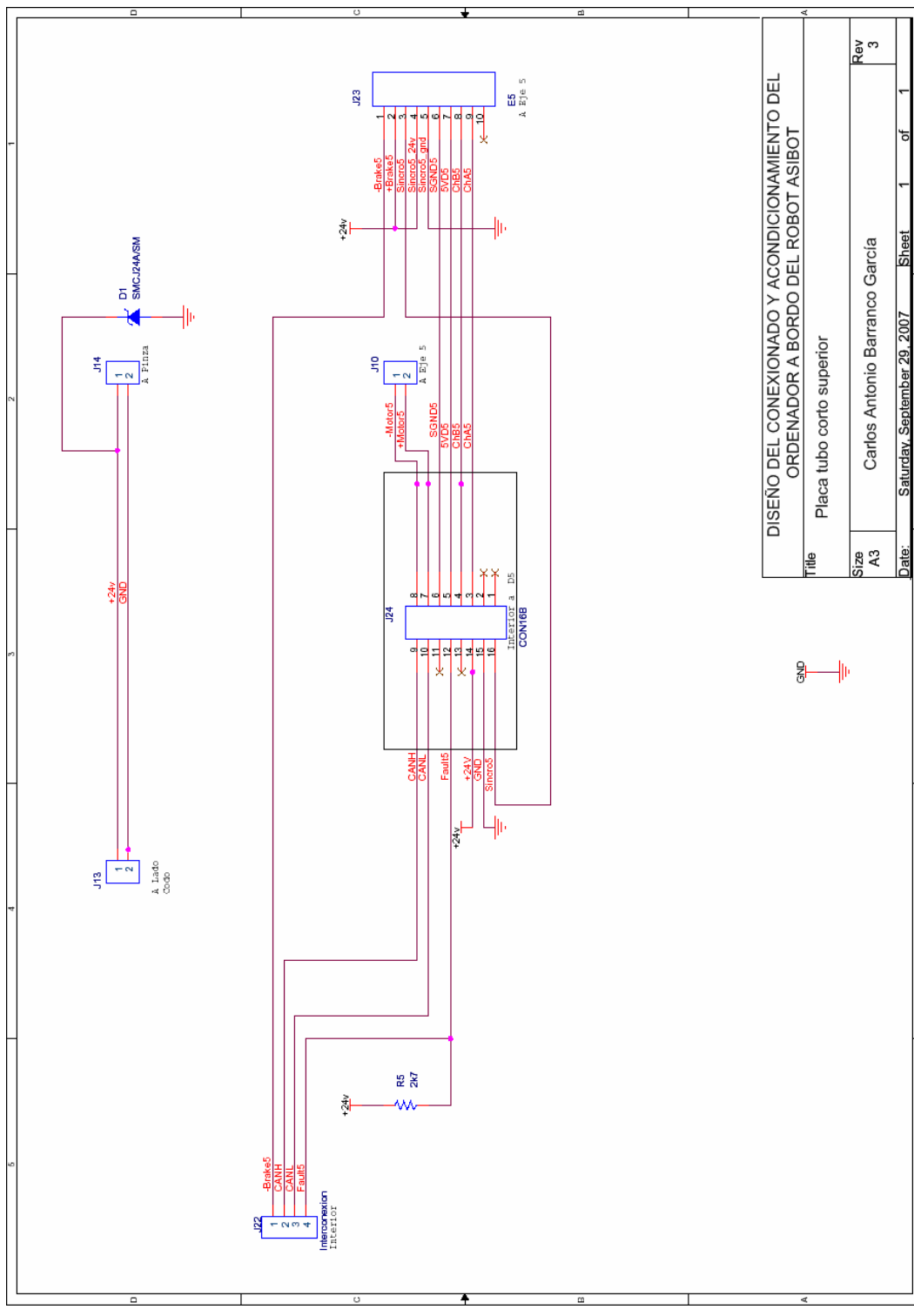
ANEXO 1:
Esquemas electrónicos

Anexos

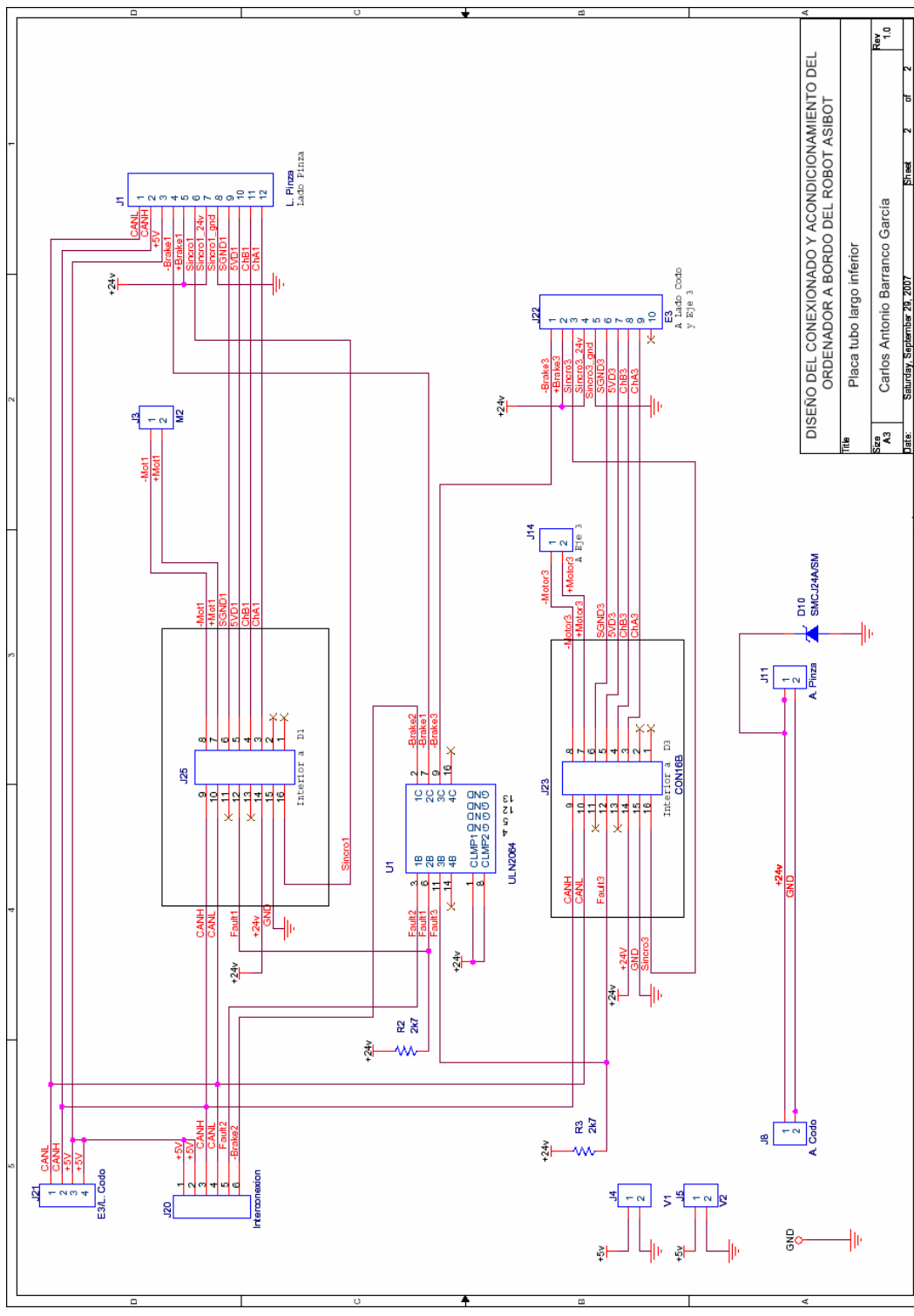


DISEÑO DEL CONEXIONADO Y ACONDICIONAMIENTO DEL ORDENADORA A BORDO DEL ROBOT ASIBOT

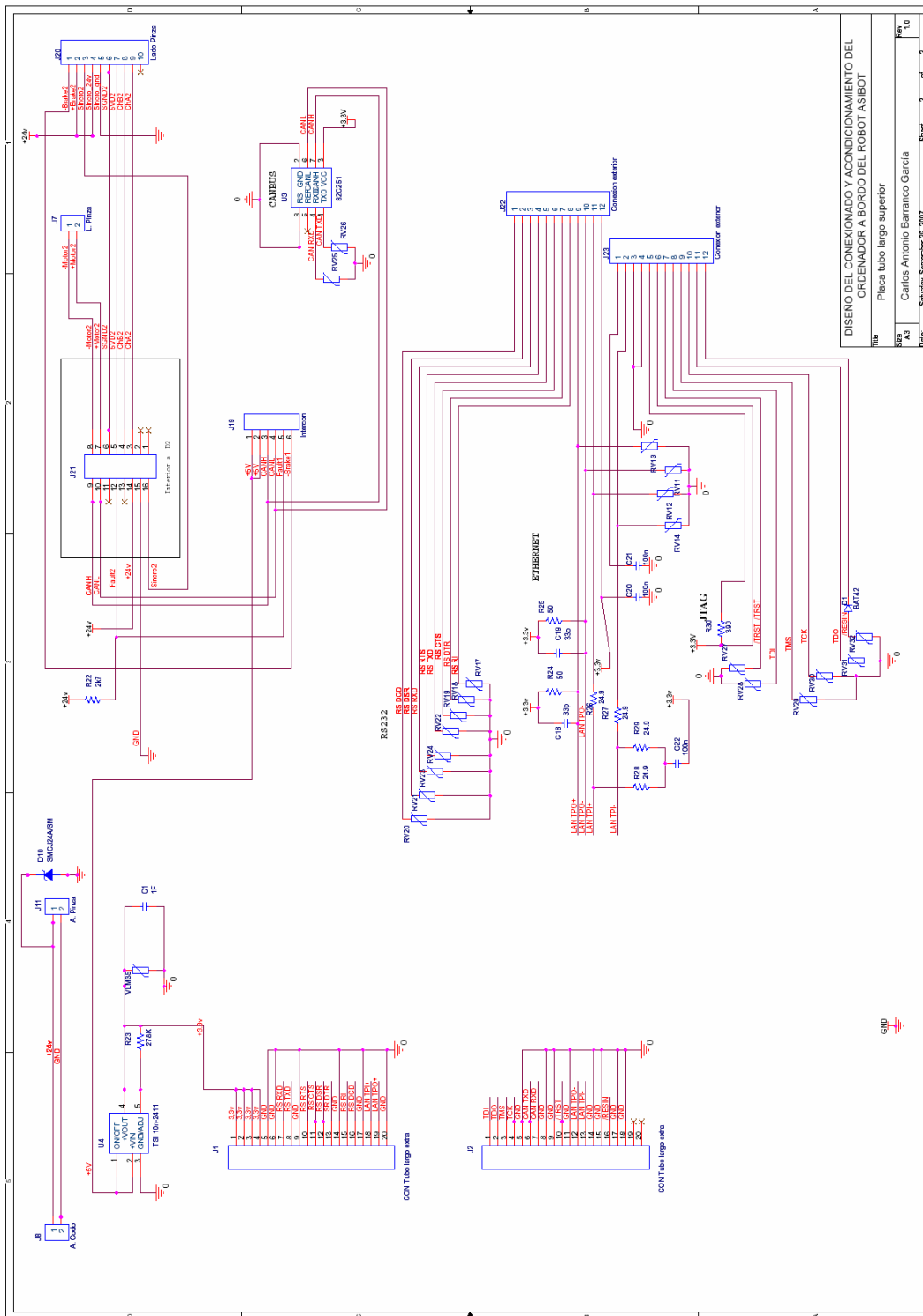
Placa tubo corto inferior	Placa	2	2
Carlos Antonio Barranco Garcia	Placa	2	2
Monday September 29, 2008	Placa	2	2
Rev 1.0	Rev	1	10

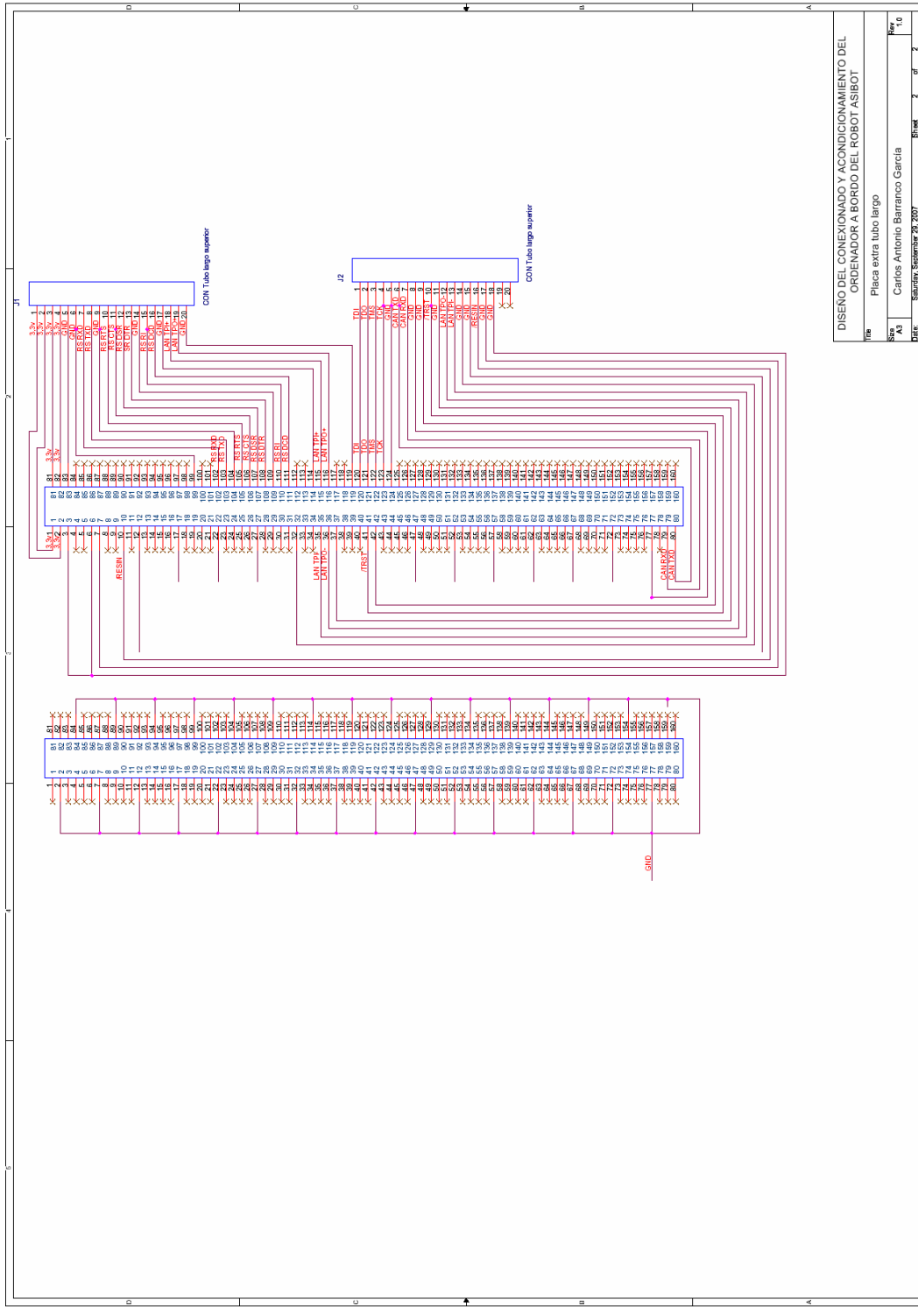


DISEÑO DEL CONEXIONADO Y ACONDICIONAMIENTO DEL ORDENADOR A BORDO DEL ROBOT ASIBOT		
Title	Placa tubo corto superior	
Size	Carlos Antonio Barranco García	Rev 3
Date:	Saturday, September 29, 2007	Sheet 1 of 1

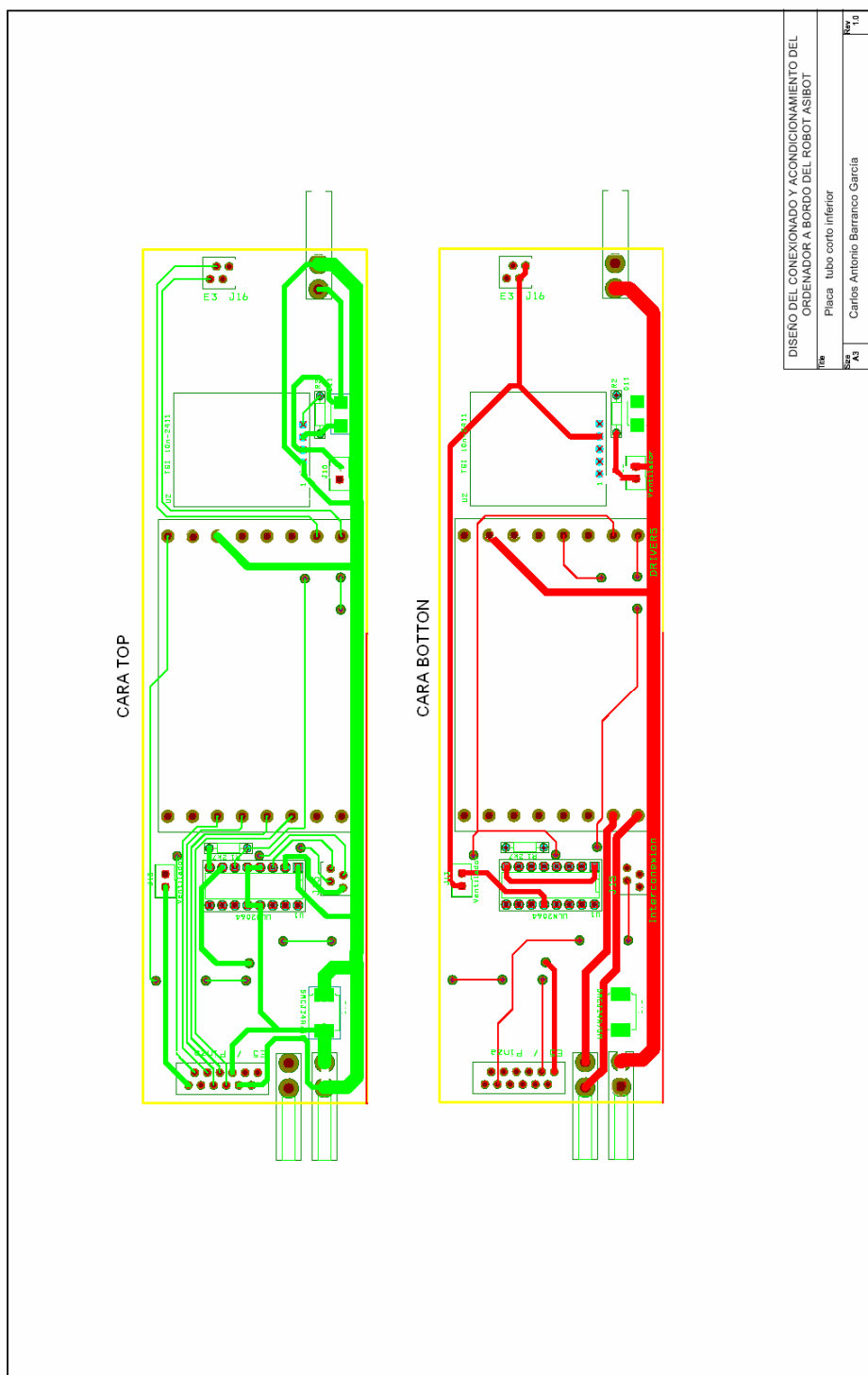


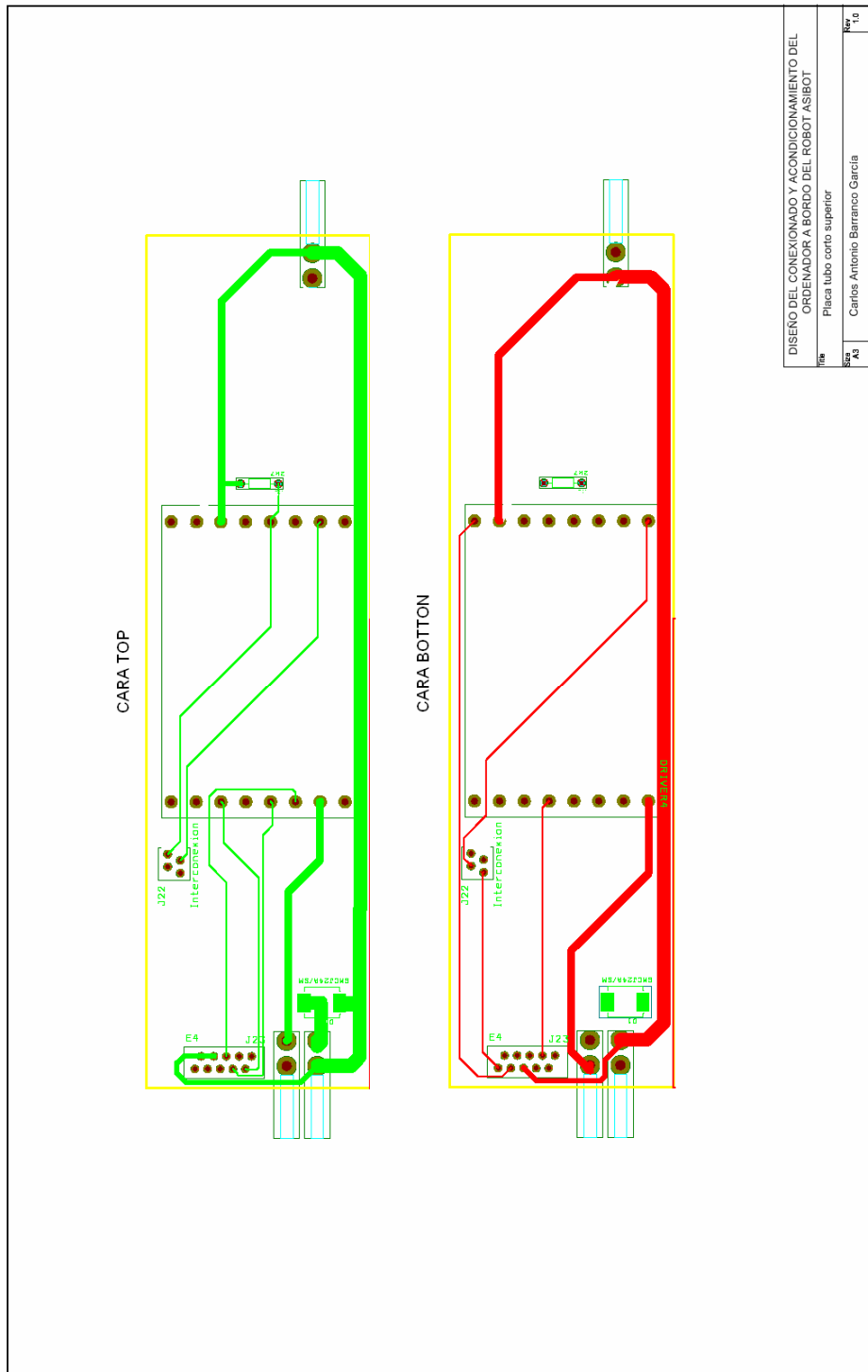
DISEÑO DEL CONEXIONADO Y ACONDICIONAMIENTO DEL ORDENADOR A BORDO DEL ROBOT ASIBOT	
Título	Placa tubo largo inferior
Señal	Carlos Antonio Barranco García
Fecha	Saturday, September 26, 2007
Sheet	2 of 2
Rev	1.0



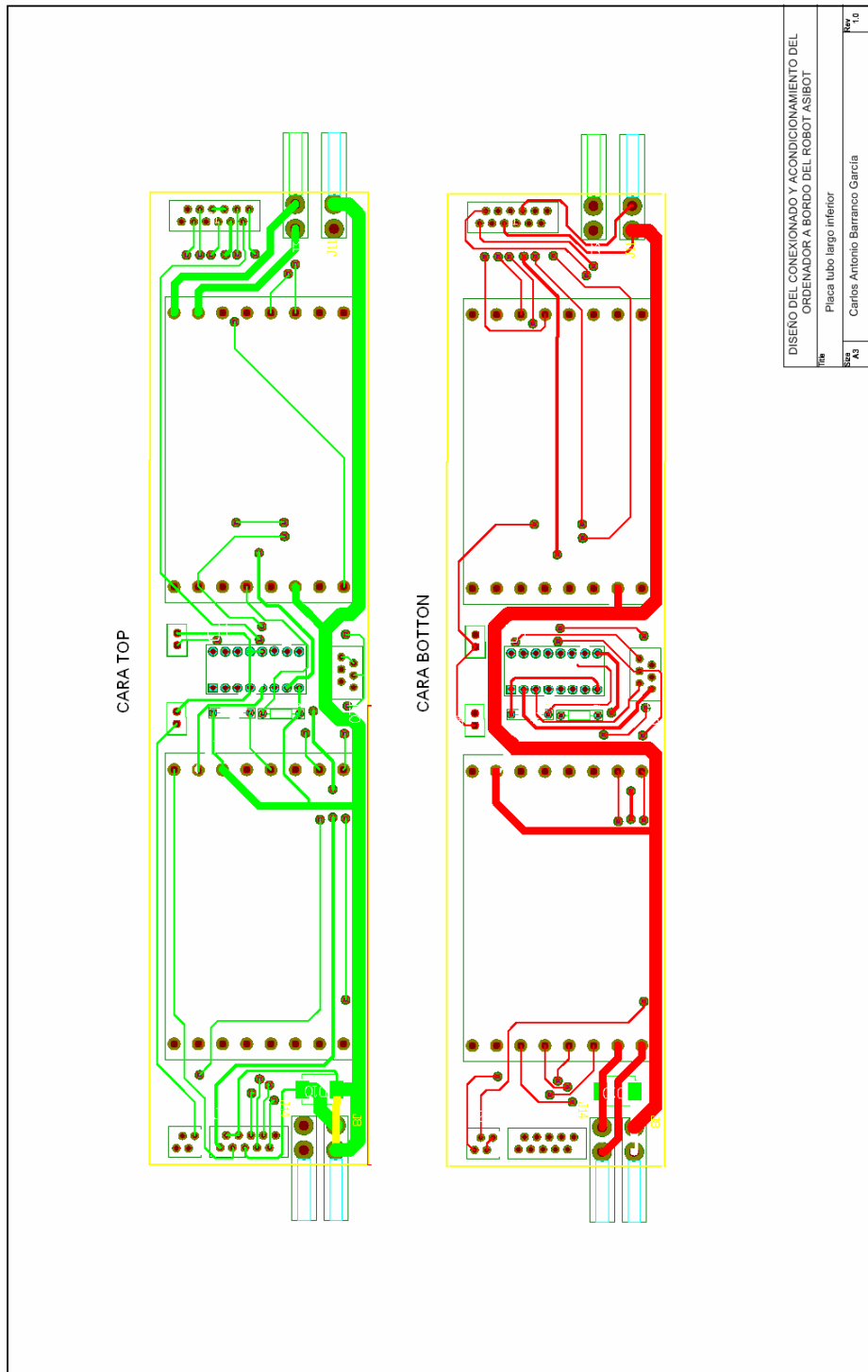


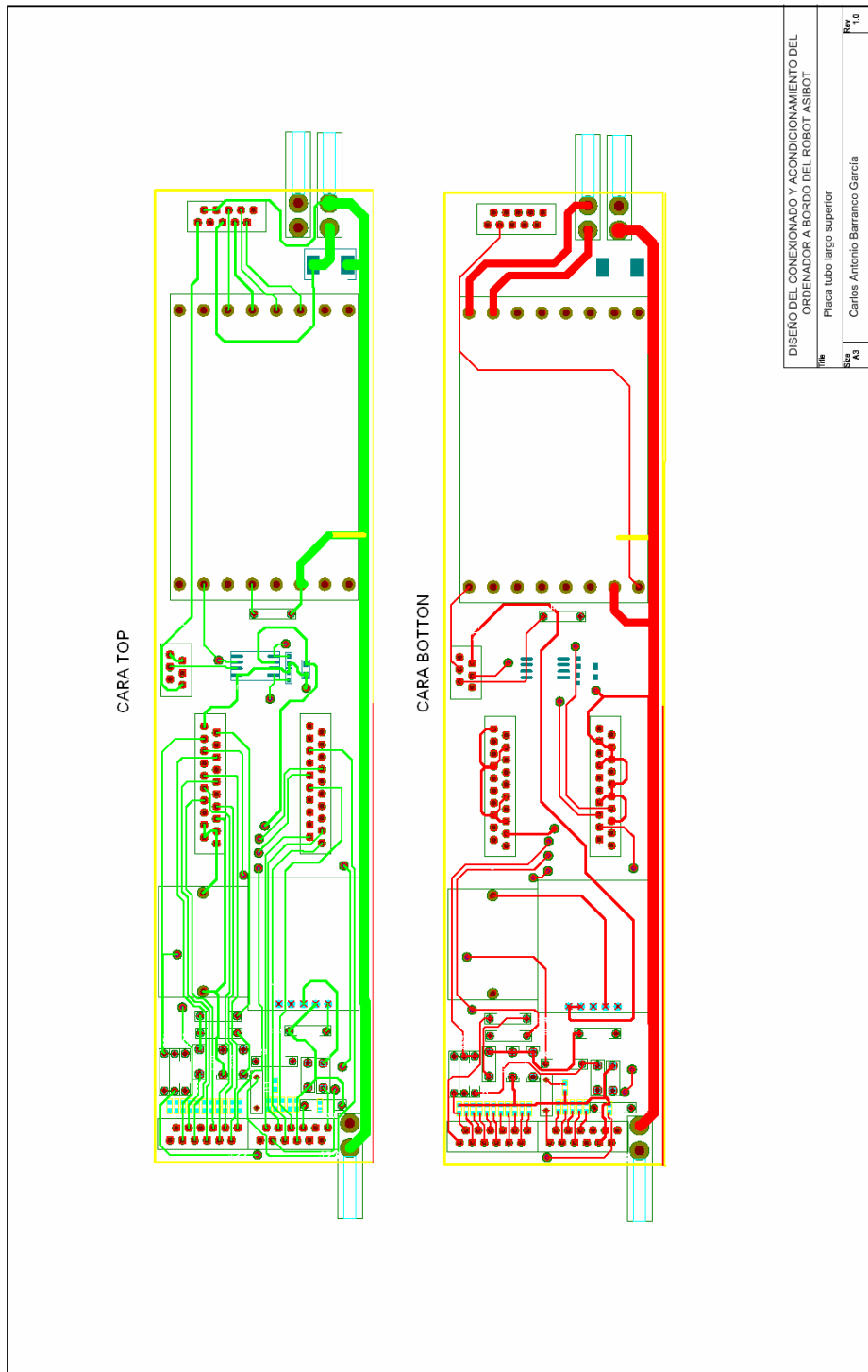
ANEXO 2
Layouts de los circuitos

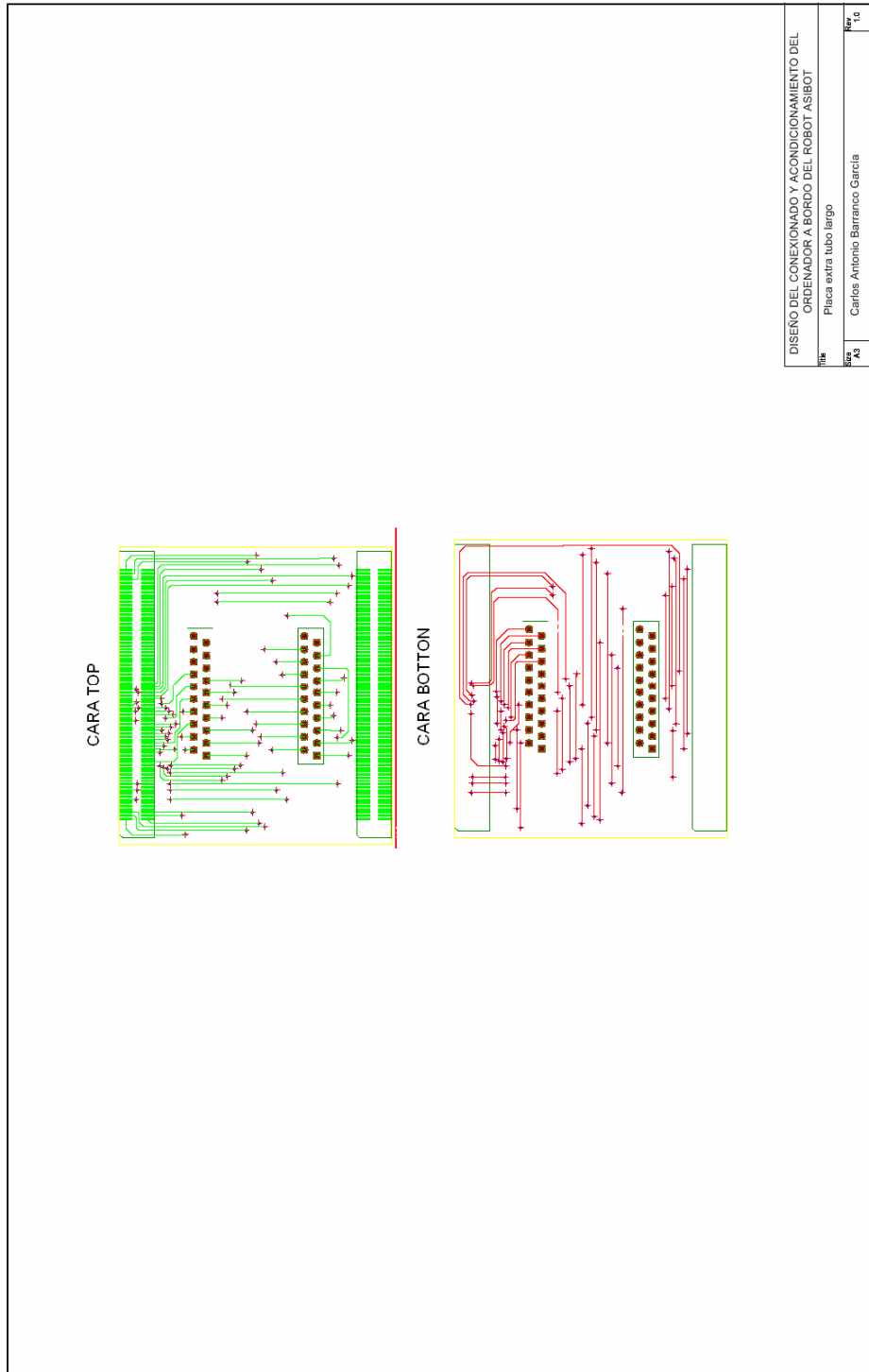




DISEÑO DEL CONEXIONADO Y ACONDICIONAMIENTO DEL ORDENADOR A BORDO DEL ROBOT ASIBOT			
Placa tubo corto superior			
File	Placa	Author	Rev
MS	MS	Carlos Antonio Barranco Garcia	1.0
Date	Stamp	Sheet	of
September 28, 2007		2	2







ANEXO 3
Hojas de características

phyCORE-PXA270

Precise specifications for the controller populating the module can be found in the applicable controller User's Manual or Data Sheet. The descriptions in this manual are based on the PXA270 controller. No description of compatible microcontroller derivative functions is included, as such functions are not relevant for the basic functioning of the phyCORE-PXA270.

The phyCORE-PXA270 offers the following features:

- Single Board Computer in subminiature form factor (70 x 57 mm) according to phyCORE specifications
- All applicable controller and other logic signals extend to two high-density 160-pin Molex connectors
- Processor: Intel XScale PXA270 max. 520 MHz clock

- **PXA270 Core Features:**
 - 32-bit ARM™ Core Version 5TE ISA compliant
 - ARM thumb instruction support
 - ARM DSP enhanced instructions
 - Intel Media Processing Technology
 - Enhanced 16-bit multiply
 - 40-bit accumulator
 - Intel Wireless MMX Coprocessing Technology
 - SSE Instructions set
 - 64-bit architecture with 16 Registers
 - 32 kB data und 32 kB instructions cache
 - 2 kB mini data und 2 kB mini instructions cache
 - 256 kB on-chip SRAM
 - Instructions and Data Memory Management Unit
 - Branch target buffer
 - Debug Capability via JTAG Port
 - 0-520 MHz CPU speed
 - Low-power consumption and high performance
 - Special FC Powermanagement bus

- **PXA270 System Features:**

- Memory controller with DMA
 - 4 * SDRAM 64 MB each
 - 4(5) * SRAM, FLASH ROM (4 of which sync.)
- Clock and Power Controllers
- USB Client Interface and Host Interface
- 2 * PCMCIA / Compact Flash
- 2 * MMC card resp. SD card and MemoryStick
- Interface for SIM-Cards
- LCD controller
- Matrix Keyboard Controller
- Quick Capture Interface for CMOS image sensor
- AC97 / I²C controller
- 4 UARTs
- Synchronous Serial Protocol ports (SSP and NSSP)
- I²C interface
- Mobile Scalable Link for Highspeed Communication
- 4 * PWM
- RTC
- OS timer
- General purpose I/O pins (GPIO)
- Interrupt control

- **phyCORE-PXA270 Memory Configuration¹:**

- SDRAM: 64 MByte (128 MByte) 32-bit 100 MHz
- Flash-ROM: 32 MByte (8 MByte, 16 MByte, 64 MByte)
synchronous/ asynchronous 32-bit (16-bit)
- I²C EEPROM 4 kByte

phyCORE-PXA270

- **phyCORE-PXA270 Features:**

- Power supply for PLL, on-chip SRAM CAN and Core power control via IPM Controller
- Reset control for module and periphery ICs
- SJA1000 CAN controller
- 10/100Mbps LAN91C111 Ethernet controller, 32-bit
- Configuration storage EEPROM for Ethernet controller
- MAX7301 / MAX69577301 GPIO expander
- Full RS-232 transceiver for FF-UART
- Real-Time Clock RTC8564 with wakeup function
- External battery backup for RTC
- 2.0 mm JTAG port on module edge
- Multi-Media card connector
- Two indicator LEDs for system information
- All required Chip Select signals and interrupts can be configured via jumpers on the module

- **phyCORE-PXA270 Operating Systems:**

- Linux
- WinCE 5.0

1.1 Block Diagram

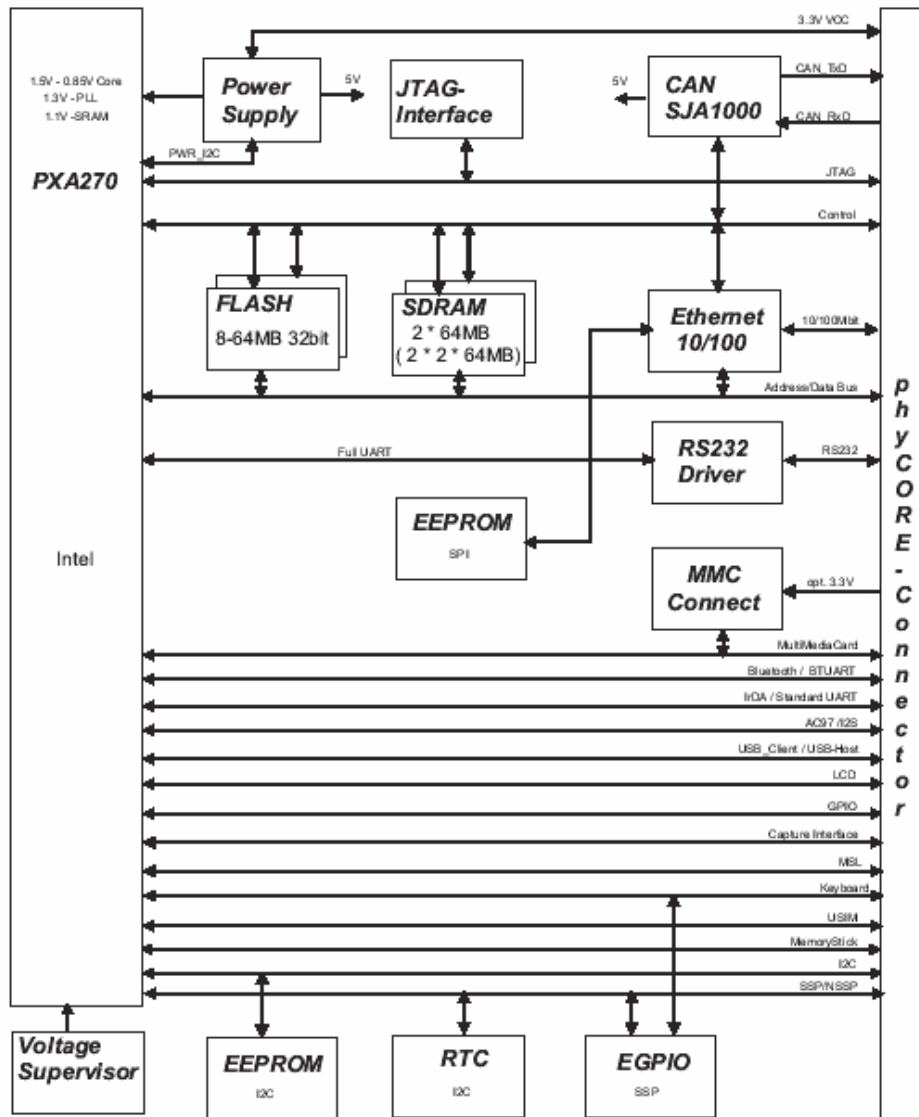


Figure 1: Block Diagram phyCORE-PXA270

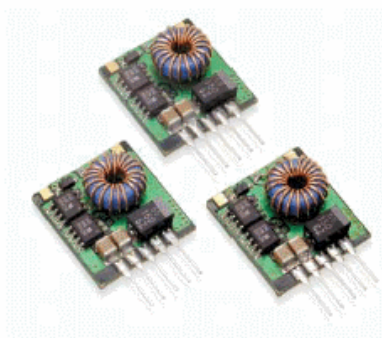


DC/DC Converter

TSI-10N Series 10 Watt

Features

- Step-down Switching Regulator with very high Efficiency
- Adjustable Output 1.8 – 3.3 VDC or 3.0 – 5.0 VDC
- Remote ON/OFF
- Overload Protection
- Low Output Noise
- Standby Current only 100 µA
- Small SIL-Package
- 2 Year Product Warranty



This new generation of step-down converters provides designers with a cost-effective solution for converting a 5, 12 or 24 VDC voltage. To achieve highest efficiency, these dc/dc converters are using newest technologies, as amorphous ferrite, solid aluminum capacitors and a synchronous commutation IC. A very high efficiency allows operation without additional heatsink. This product finds many applications in distributed powersystems where a voltage conversion at the point of load is an required.

Models				
Ordercode	Input voltage range	Output voltage	Output current max.	Efficiency typ.
TSI 10N-0510	4.75 – 13.6 VDC	* + 3.3 VDC	2000 mA	92.0 %
TSI 10N-1211	6.0 – 16.5 VDC	** + 5 VDC	2000 mA	93.0 %
TSI 10N-2410 TSI 10N-2411	16.0 – 28.0 VDC	* + 3.3 VDC ** + 5 VDC	2000 mA 2000 mA	83.0 % 85.0 %

* Output adjustable 1.8 to 3.3 VDC
 ** Output adjustable 3.0 to 5.0 VDC

Input Specifications

Input current (no load / full load)	TSI 10N-0510	21mA / 1435 mA typ.
	TSI 10N-1211	27 mA / 895 mA typ.
	TSI 10N-2410	45 mA / 330 mA typ.
	TSI 10N-2411	45 mA / 485 mA typ.

Surge voltage (1 sec max.)	5 Vin models	16 V max.
	12 Vin models	25 V max.
	24 Vin models	30 V max.

Stand-by current	100 μ A typ.
------------------	------------------

Output Specifications

Voltage adjustment	TSI 10N-0510 & TSI 10N-2410	+1.8 VDC to +3.3 VDC
	TSI 10N-1211 & TSI 10N-2411	+3.0 VDC to +5.0 VDC

Regulation	- Input variation	\pm 0.5 %
	- load variation 10 – 100 %	< 1.5 %

Ripple and noise (20 MHz Bandwidth)	50 mVpk-pk max. (with 2.2 μ F capacitor on output)
-------------------------------------	--

Transient response time (50% Load change)	100 μ sec typ.
---	--------------------

Temperature coefficient	\pm 0.02 % / $^{\circ}$ C
-------------------------	-----------------------------

Short circuit protection	indefinite foldback
--------------------------	---------------------

Remote ON/OFF control	ON=Pin 1 (ON/OFF Pin) to pin 3 (GND) open (3 – 5 VDC) OFF=Pin 1 (ON/OFF Pin) to pin 3 (GND) short (- 0.3 – 1.2 VDC)
-----------------------	---

General Specifications

Temperature ranges	- Operating	- 25 $^{\circ}$ C ... + 70 $^{\circ}$ C
	- Storage	- 25 $^{\circ}$ C ... +125 $^{\circ}$ C

Humidity (non condensing)	95 % rel H max.
---------------------------	-----------------

Reliability, calculated MTBF (MIL-HDBK-217 E)	> 1'500'000 h @ 25 $^{\circ}$ C
---	---------------------------------

Isolation Input/Output	none
------------------------	------

Switching frequency	300 kHz typ. (PWM modulation)
---------------------	-------------------------------

Physical Specifications

Vibration (IEC 60068-3-6)	5 to 10 Hz amplitude 10 mm pk-pk 10 to 55 Hz acceleration 2 G
---------------------------	--

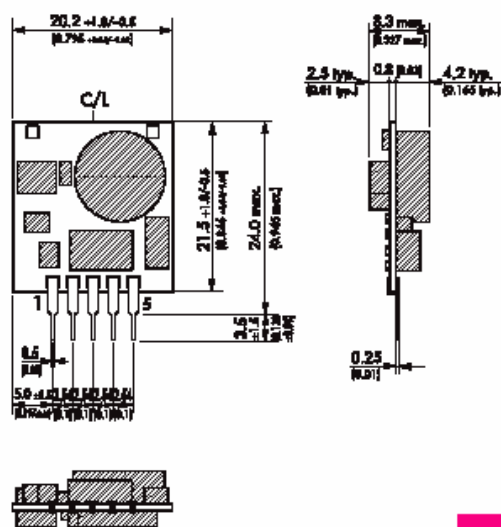
Shock (IEC 6068-2-27)	acceleration 20 G max. time 11 ms
-----------------------	-----------------------------------

Package weight	4 g (0.14 oz)
----------------	---------------

Soldering temperature	235 $^{\circ}$ C max. / 10 sec.
-----------------------	---------------------------------

All specifications valid at nominal input voltage, full load and +25 $^{\circ}$ C after warm-up time unless otherwise stated.

Outline Dimensions mm (inches)



Pin-Out

Pin	SIP
1	Remote on/off
2	+V Input (V _{cc})
3	-V Input (GND) -V Output
4	+V Output
5	V Output adj.

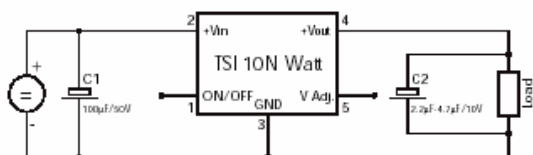
Specifications can be changed without notice

www.tracopower.com

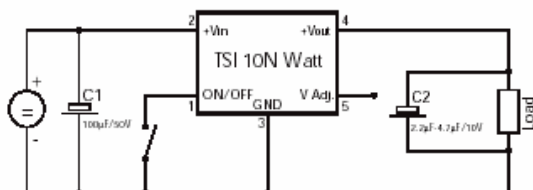
Page 3

Connections

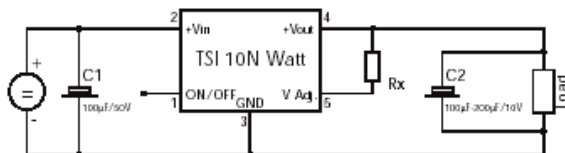
Normal Connection (Standard)



Remote ON/OFF Connection



Output Voltage Adjustment Connection



$$R_x = \frac{R_1 \cdot 1200 \cdot (V_{out} - 1.195)}{R_1 \cdot 1.195 - 1200 \cdot (V_{out} - 1.195)}$$

TSI 10N-xx10 ==> R1 = 2130 Ohm
Output Voltage (Vout) = 1.8 - 3.3VDC
TSI 10N-xx11 ==> R1 = 3840 Ohm
Output Voltage (Vout) = 3.0 - 5.0VDC
Vout = adjusted output voltage

Specifications can be changed without notice



SMBJ5.0 thru 188CA

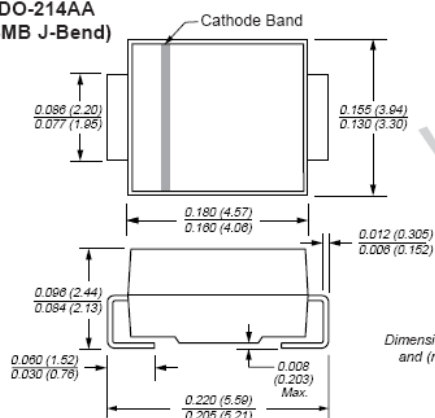
Vishay Semiconductors
formerly General Semiconductor



**Surface Mount TRANSZORB®
Transient Voltage Suppressors**

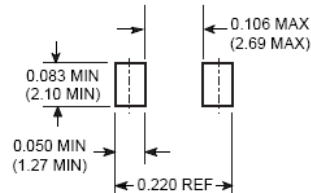
Stand-off Voltage 5.0 to 188V
Peak Pulse Power 600W

DO-214AA
(SMB J-Bend)



**Extended
Voltage Range**

Mounting Pad Layout



Features

- Underwriters Laboratory Recognition under UL standard for safety 497B: Isolated Loop Circuit Protection
- Low profile package with built-in strain relief for surface mounted applications
- Glass passivated junction
- Low incremental surge resistance, excellent clamping capability
- 600W peak pulse power capability with a 10/1000µs waveform, repetition rate (duty cycle): 0.01%
- Very fast response time
- High temperature soldering guaranteed: 250°C/10 seconds at terminals

Mechanical Data

- Case:** JEDEC DO-214AA molded plastic over passivated junction
- Terminals:** Solder plated, solderable per MIL-STD-750, Method 2026
- Polarity:** For unidirectional types the band denotes the cathode, which is positive with respect to the anode under normal TVS operation
- Weight:** 0.003 oz., 0.093 g
- Flammability:** Epoxy is rated UL 94V-0
- Packaging Codes – Options (Antistatic):**
 - 51 – 2K per Bulk box, 20K/carton
 - 52 – 750 per 7" plastic Reel (12mm tape), 15K/carton
 - 5B – 3.2K per 13" plastic Reel (12mm tape), 32K/carton

Devices for Bidirectional Applications

For bi-directional devices, use suffix C or CA (e.g. SMBJ10C, SMBJ10CA). Electrical characteristics apply in both directions.

Maximum Ratings & Thermal Characteristics Ratings at 25°C ambient temperature unless otherwise specified.

Parameter	Symbol	Value	Unit
Peak pulse power dissipation with a 10/1000µs waveform ⁽¹⁾⁽²⁾ (Fig. 1)	PPPM	Minimum 600	W
Peak pulse current with a 10/1000µs waveform ⁽¹⁾	IPPM	See Table Below	A
Peak forward surge current 8.3ms single half sine-wave uni-directional only ⁽²⁾	IFSM	100	A
Typical thermal resistance, junction to ambient ⁽⁴⁾	RθJA	100	°C/W
Typical thermal resistance, junction to lead	RθJL	20	°C/W
Operating junction and storage temperature range	TJ, TSTG	-55 to +150	°C

Notes: (1) Non-repetitive current pulse, per Fig.3 and derated above TA = 25°C per Fig. 2
(2) Mounted on 0.2 x 0.2" (5.0 x 5.0mm) copper pads to each terminal
(3) Mounted on minimum recommended pad layout

SMBJ5.0 thru 188CA

Vishay Semiconductors
formerly General Semiconductor
Electrical Characteristics Ratings at 25°C ambient temperature unless otherwise specified. VF = 3.5V at IF = 50A (uni-directional only)

Device Type Modified "J" Bend Lead	Device Marking Code		Breakdown Voltage V _{BR} at I _T ⁽¹⁾ (V)		Test Current I _T (mA)	Stand-off Voltage V _{WM} (V)	Maximum Reverse Leakage at V _{WM} I ₀ (μA) ⁽³⁾	Maximum Peak Pulse Surge Current IPPM (A) ⁽²⁾	Maximum Clamping Voltage at IPPM V _C (V)
	UNI	BI	Min	Max					
+SMBJ5.0	KD	KD	6.40	7.82	10	5.0	800	62.5	9.6
+SMBJ5.0A ⁽⁵⁾	KE	KE	6.40	7.07	10	5.0	800	65.2	9.2
+SMBJ6.0	KF	KF	6.67	8.15	10	6.0	800	52.6	11.4
+SMBJ6.0A	KG	KG	6.67	7.37	10	6.0	800	58.3	10.3
+SMBJ6.5	KH	AH	7.22	8.82	10	6.5	500	48.8	12.3
+SMBJ6.5A	KK	AK	7.22	7.98	10	6.5	500	53.6	11.2
+SMBJ7.0	KL	KL	7.78	9.51	10	7.0	200	45.1	13.3
+SMBJ7.0A	KM	KM	7.78	8.60	10	7.0	200	50.0	12.0
+SMBJ7.5	KN	AN	8.33	10.2	1.0	7.5	100	42.0	14.3
+SMBJ7.5A	KP	AP	8.33	9.21	1.0	7.5	100	46.5	12.9
+SMBJ8.0	KQ	AQ	8.89	10.9	1.0	8.0	50	40.0	15.0
+SMBJ8.0A	KR	AR	8.89	9.83	1.0	8.0	50	44.1	13.6
+SMBJ8.5	KS	AS	9.44	11.5	1.0	8.5	20	37.7	15.9
+SMBJ8.5A	KT	AT	9.44	10.4	1.0	8.5	20	41.7	14.4
+SMBJ9.0	KU	AU	10.0	12.2	1.0	9.0	10	35.5	16.9
+SMBJ9.0A	KV	AV	10.0	11.1	1.0	9.0	10	39.0	15.4
+SMBJ10	KW	AW	11.1	13.6	1.0	10	5.0	31.9	18.8
+SMBJ10A	KX	AX	11.1	12.3	1.0	10	5.0	35.3	17.0
+SMBJ11	KY	KY	12.2	14.9	1.0	11	5.0	29.9	20.1
+SMBJ11A	KZ	KZ	12.2	13.5	1.0	11	5.0	33.0	18.2
+SMBJ12	LD	BD	13.3	16.3	1.0	12	5.0	27.3	22.0
+SMBJ12A	LE	BE	13.3	14.7	1.0	12	5.0	30.2	19.9
+SMBJ13	LF	LF	14.4	17.6	1.0	13	1.0	25.2	23.8
+SMBJ13A	LG	LG	14.4	15.9	1.0	13	1.0	27.9	21.5
+SMBJ14	LH	BH	15.6	19.1	1.0	14	1.0	23.3	25.8
+SMBJ14A	LK	BK	15.6	17.2	1.0	14	1.0	25.9	23.2
+SMBJ15	LL	BL	16.7	20.4	1.0	15	1.0	22.3	26.9
+SMBJ15A	LM	BM	16.7	18.5	1.0	15	1.0	24.6	24.4
+SMBJ16	LN	LN	17.8	21.8	1.0	16	1.0	20.8	28.8
+SMBJ16A	LP	LM	17.8	19.7	1.0	16	1.0	23.1	26.0
+SMBJ17	LQ	LQ	18.9	23.1	1.0	17	1.0	19.7	30.5
+SMBJ17A	LR	LR	18.9	20.9	1.0	17	1.0	21.7	27.6
+SMBJ18	LS	BS	20.0	24.4	1.0	18	1.0	18.6	32.2
+SMBJ18A	LT	BT	20.0	22.1	1.0	18	1.0	20.5	29.2
+SMBJ20	LU	LU	22.2	27.1	1.0	20	1.0	16.8	35.8
+SMBJ20A	LV	LV	22.2	24.5	1.0	20	1.0	18.5	32.4
+SMBJ22	LW	BW	24.4	29.8	1.0	22	1.0	15.2	39.4
+SMBJ22A	LX	BX	24.4	26.9	1.0	22	1.0	16.9	35.5
+SMBJ24	LY	BY	26.7	32.6	1.0	24	1.0	14.0	43.0
+SMBJ24A	LZ	BZ	26.7	29.5	1.0	24	1.0	15.4	38.9
+SMBJ26	MD	CD	28.9	35.3	1.0	26	1.0	12.9	46.6
+SMBJ26A	ME	CE	28.9	31.9	1.0	26	1.0	14.3	42.1
+SMBJ28	MF	MF	31.1	38.0	1.0	28	1.0	12.0	50.0
+SMBJ28A	MG	MG	31.1	34.4	1.0	28	1.0	13.2	45.4
+SMBJ30	MH	CH	33.3	40.7	1.0	30	1.0	11.2	53.5
+SMBJ30A	MK	CK	33.3	36.8	1.0	30	1.0	12.4	48.4

Notes: (1) Pulse test: t_p ≤ 50ms

(2) Surge current waveform per Fig. 3 and derate per Fig. 2

(3) For bi-directional types having V_{WM} of 10 Volts and less, the I₀ limit is doubled

(4) All terms and symbols are consistent with ANSI/IEEE C62.35

(5) For the bidirectional SMBG/SMBJ5.0CA, the maximum V_{BR} is 7.25V

+ Underwriters Laboratory Recognition for the classification of protectors (QV/GQ2) under the UL standard for safety 497B and file number E136766 for both uni-directional and bi-directional devices



ML Series

Multilayer Surface Mount Transient Voltage Surge Suppressors

February 1998

Features

- Leadless 0603, 0805, 1206 and 1210 Chip Sizes
- Multilayer Ceramic Construction Technology
- -55°C to 125°C Operating Temperature Range
- Wide Operating Voltage Range $V_{M(DC)} = 3.5V$ to 120V
- Rated for Surge Current (8 x 20)
- Rated for Energy (10 x 1000)
- Inherent Bidirectional Clamping
- No Plastic or Epoxy Packaging Assures Better than 94V-0 Flammability Rating
- Standard Low Capacitance Types Available
- Available with Nickel/Tin End Terminations

Applications

- Suppression of Inductive Switching or Other Transient Events Such as EFT and Surge Voltage at the Circuit Board Level
- ESD Protection for Components Sensitive to IEC 1000-4-2, MIL-STD-883C Method 3015.7, and Other Industry Specifications (See Also the MLE Series)
- Provides On-Board Transient Voltage Protection for ICs and Transistors
- Used to Help Achieve Electromagnetic Compliance of End Products
- Replace Larger Surface Mount TVS Zeners in Many Applications

Description

The ML Series is a family of Transient Voltage Surge Suppression devices based on the Harris Multilayer fabrication technology. These components are designed to suppress a variety of transient events, including those specified by the IEC or other standards used for Electromagnetic Compliance (EMC). The ML Series is typically applied to protect integrated circuits and other components at the circuit board level.

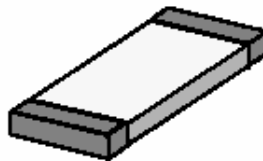
The wide operating voltage and energy range make the ML Series suitable for numerous applications on power supply, control and signal lines.

The ML Series is manufactured from semiconducting ceramics providing bidirectional voltage clamping and is supplied in leadless, surface mount form, compatible with modern reflow and wave soldering procedures.

Harris manufactures other Multilayer Series products. See the MLE Series data sheet (Harris AnswerFAX, 407-724-7800, doc #2463) for ESD applications. See the AJML Series for automotive applications (AnswerFAX doc #3387).

Packaging

ML SERIES (LEADLESS CHIP)



ML Series

Absolute Maximum Ratings For ratings of individual members of a series, see device ratings and specifications table.								
	ML SERIES					UNITS		
Continuous:								
Steady State Applied Voltage:								
DC Voltage Range ($V_{M(DC)}$)	3.5 to 68					V		
AC Voltage Range ($V_{M(AC)(RMS)}$)	2.5 to 50					V		
Transient:								
Non-Replicative Surge Current, 8/20 μ s Waveform, (I_{TM})	30 to 250					A		
Non-Replicative Surge Energy, 10/1000 μ s Waveform, (W_{TM})	0.1 to 1.2					J		
Operating Ambient Temperature Range (T_A)	-55 to 125					$^{\circ}$ C		
Storage Temperature Range (T_{STG})	-55 to 150					$^{\circ}$ C		
Temperature Coefficient (αV) of Clamping Voltage (V_C) at Specified Test Current	<0.01					%/ $^{\circ}$ C		
Device Ratings and Specifications								
PART NUMBER	MAXIMUM RATINGS (125 $^{\circ}$ C)					SPECIFICATIONS (25 $^{\circ}$ C)		
	MAXIMUM CONTINUOUS WORKING VOLTAGE		MAXIMUM NON-REPETITIVE SURGE CURRENT (8/20 μ s)	MAXIMUM NON-REPETITIVE SURGE ENERGY (10/1000 μ s)	MAXIMUM CLAMPING VOLTAGE AT 10A (OR AS NOTED) (8/20 μ s)	NOMINAL VOLTAGE AT 1mA DC TEST CURRENT		TYPICAL CAPACITANCE AT f = 1MHz
	$V_{M(DC)}$	$V_{M(AC)}$	I_{TM}	W_{TM}	V_C	$V_{N(DC) MIN}$	$V_{N(DC) MAX}$	C
	(V)	(V)	(A)	(J)	(V)	(V)	(V)	(pF)
V3.5MLA0603	3.5	2.5	30	0.1	10 at 2A	3.7	7.0	1100
V3.5MLA0805	3.5	2.5	120	0.3	10 at 5A	3.7	7.0	2200
V3.5MLA0805L	3.5	2.5	40	0.1	10 at 2A	3.7	7.0	1200
V3.5MLA1206	3.5	2.5	100	0.3	14	3.7	7.0	6000
V5.5MLA0603	5.5	4.0	30	0.1	15.5 at 2A	7.1	9.3	660
V5.5MLA0805	5.5	4.0	120	0.3	15.5 at 5A	7.1	9.3	1600
V5.5MLA0805L	5.5	4.0	40	0.1	15.5 at 2A	7.1	9.3	860
V5.5MLA1206	5.5	4.0	150	0.4	15.5	7.1	9.3	4500
V9MLA0603	9.0	6.5	30	0.1	23 at 2A	11.0	16.0	420
V9MLA0805L	9.0	6.5	40	0.1	20 at 2A	11	14	450
V12MLA0805L	12	9.0	40	0.1	25 at 2A	14	18.5	350
V14MLA0603	14	10	30	0.1	30 at 2A	15.9	20.3	150
V14MLA0805	14	10	120	0.3	30 at 5A	15.9	20.3	480
V14MLA0805L	14	10	40	0.1	30 at 2A	15.9	20.3	270
V14MLA1206	14	10	150	0.4	30	15.9	20.3	1600

ML Series

Absolute Maximum Ratings For ratings of individual members of a series, see device ratings and specifications table.

	ML SERIES	UNITS
Continuous:		
Steady State Applied Voltage:		
DC Voltage Range ($V_{M(DC)}$)	3.5 to 68	V
AC Voltage Range ($V_{M(AC)(RMS)}$)	2.5 to 50	V
Transient:		
Non-Replicative Surge Current, 8/20 μ s Waveform, (I_{TM})	30 to 250	A
Non-Replicative Surge Energy, 10/1000 μ s Waveform, (W_{TM})	0.1 to 1.2	J
Operating Ambient Temperature Range (T_A)	-55 to 125	$^{\circ}$ C
Storage Temperature Range (T_{STG})	-55 to 150	$^{\circ}$ C
Temperature Coefficient (αV) of Clamping Voltage (V_C) at Specified Test Current	<0.01	%/ $^{\circ}$ C

Device Ratings and Specifications

PART NUMBER	MAXIMUM RATINGS (125 $^{\circ}$ C)					SPECIFICATIONS (25 $^{\circ}$ C)		
	MAXIMUM CONTINUOUS WORKING VOLTAGE		MAXIMUM NON-REPETITIVE SURGE CURRENT (8/20 μ s)	MAXIMUM NON-REPETITIVE SURGE ENERGY (10/1000 μ s)	MAXIMUM CLAMPING VOLTAGE AT 10A (OR AS NOTED) (8/20 μ s)	NOMINAL VOLTAGE AT 1mA DC TEST CURRENT		TYPICAL CAPACITANCE AT f = 1MHz
	$V_{M(DC)}$	$V_{M(AC)}$	I_{TM}	W_{TM}	V_C	$V_{N(DC) MIN}$	$V_{N(DC) MAX}$	C
	(V)	(V)	(A)	(J)	(V)	(V)	(V)	(pF)
V3.5MLA0603	3.5	2.5	30	0.1	10 at 2A	3.7	7.0	1100
V3.5MLA0805	3.5	2.5	120	0.3	10 at 5A	3.7	7.0	2200
V3.5MLA0805L	3.5	2.5	40	0.1	10 at 2A	3.7	7.0	1200
V3.5MLA1206	3.5	2.5	100	0.3	14	3.7	7.0	6000
V5.5MLA0603	5.5	4.0	30	0.1	15.5 at 2A	7.1	9.3	860
V5.5MLA0805	5.5	4.0	120	0.3	15.5 at 5A	7.1	9.3	1600
V5.5MLA0805L	5.5	4.0	40	0.1	15.5 at 2A	7.1	9.3	860
V5.5MLA1206	5.5	4.0	150	0.4	15.5	7.1	9.3	4500
V9MLA0603	9.0	6.5	30	0.1	23 at 2A	11.0	16.0	420
V9MLA0805L	9.0	6.5	40	0.1	20 at 2A	11	14	450
V12MLA0805L	12	9.0	40	0.1	25 at 2A	14	18.5	350
V14MLA0603	14	10	30	0.1	30 at 2A	15.9	20.3	150
V14MLA0805	14	10	120	0.3	30 at 5A	15.9	20.3	480
V14MLA0805L	14	10	40	0.1	30 at 2A	15.9	20.3	270
V14MLA1206	14	10	150	0.4	30	15.9	20.3	1600

ML Series

Power Dissipation Ratings

When transients occur in rapid succession the average power dissipation is the energy (watt-seconds) per pulse times the number of pulses per second. The power so developed must be within the specifications shown on the Device Ratings and Characteristics table for the specific device. Certain parameter ratings must be derated at high temperatures as shown in Figure 1.

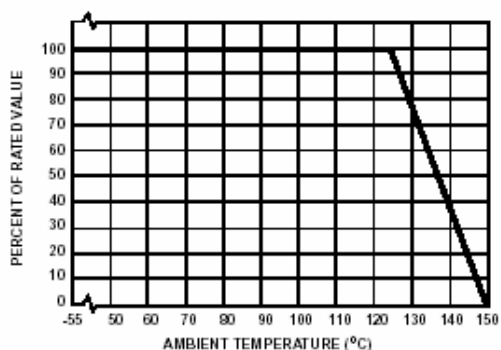
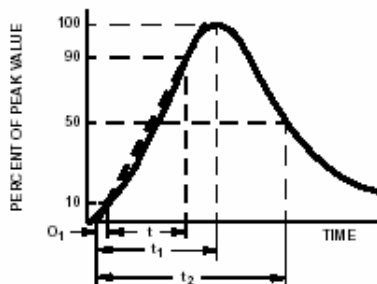


FIGURE 1. CURRENT, ENERGY AND POWER DERATING CURVE



O₁ = VIRTUAL ORIGIN OF WAVE
 t = TIME FROM 10% TO 90% OF PEAK
 t₁ = VIRTUAL FRONT TIME = 1.25 x t
 t₂ = VIRTUAL TIME TO HALF VALUE
 (IMPULSE DURATION)

EXAMPLE:
 FOR AN 8/20μs CURRENT
 WAVEFORM:
 8μs = t₁ = VIRTUAL FRONT
 TIME
 20μs = t₂ = VIRTUAL TIME TO
 HALF VALUE

FIGURE 2. PEAK PULSE CURRENT TEST WAVEFORM

ML Series

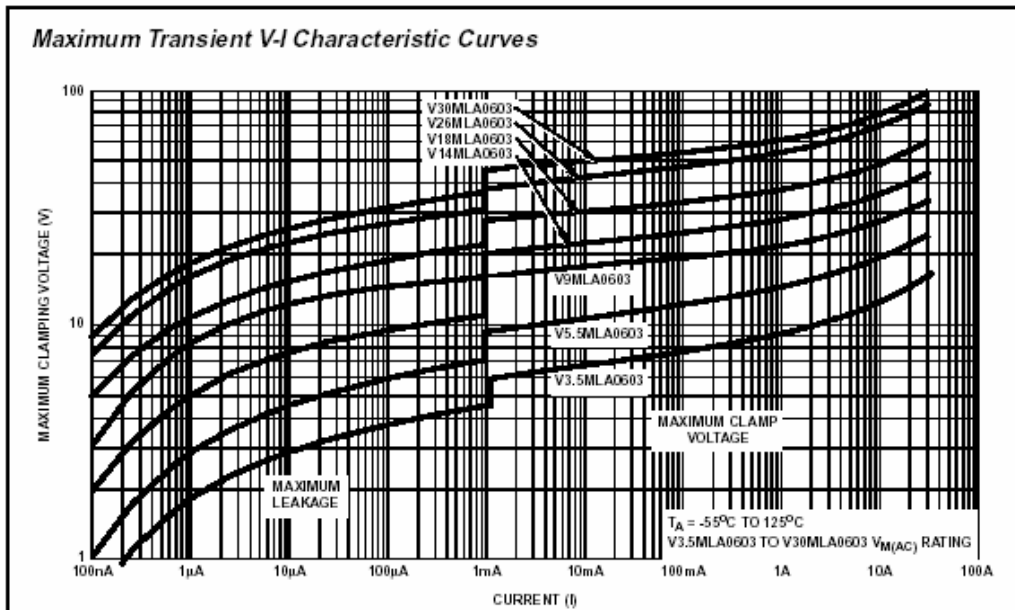


FIGURE 3. V3.5MLA0603 TO V30MLA0603 MAXIMUM V-I CHARACTERISTIC CURVES

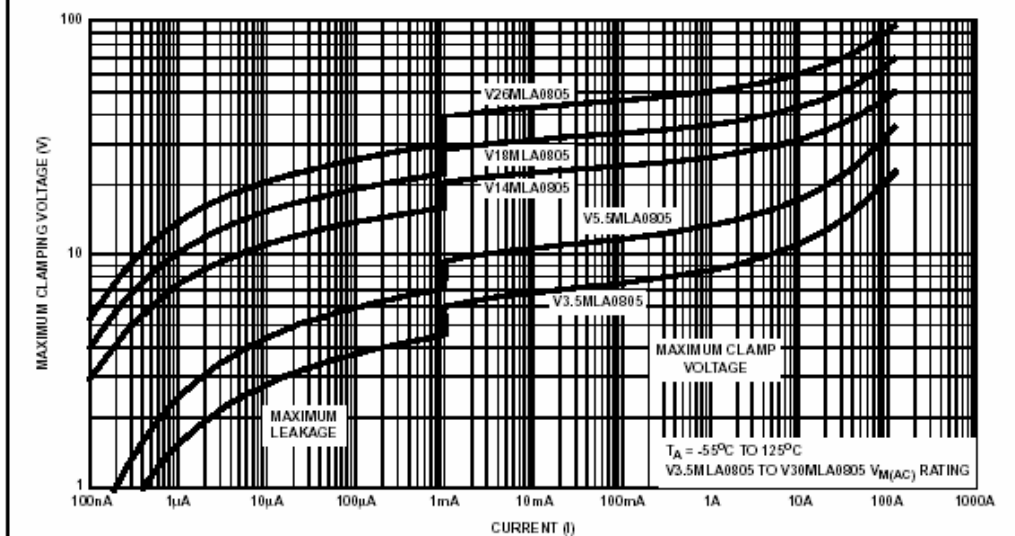


FIGURE 4. V3.5MLA0805 TO V26MLA0805 MAXIMUM V-I CHARACTERISTIC CURVES

CAN transceiver for 24 V systems**PCA82C251****FEATURES**

- Fully compatible with the "ISO 11898-24 V" standard
- Slope control to reduce RFI
- Thermally protected
- Short-circuit proof to battery and ground in 24 V powered systems
- Low-current standby mode
- An unpowered node does not disturb the bus lines
- At least 110 nodes can be connected
- High speed (up to 1 Mbaud)
- High immunity against electromagnetic interference.

GENERAL DESCRIPTION

The PCA82C251 is the interface between the CAN protocol controller and the physical bus. It is primarily intended for applications (up to 1 Mbaud) in trucks and buses. The device provides differential transmit capability to the bus and differential receive capability to the CAN controller.

QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CC}	supply voltage		4.5	5.5	V
I_{CC}	supply current	standby mode	–	275	μ A
$1/t_{bit}$	maximum transmission speed	non-return-to-zero	1	–	Mbaud
V_{CAN}	CANH, CANL input/output voltage		–36	+36	V
V_{diff}	differential bus voltage		1.5	3.0	V
T_{amb}	ambient temperature		–40	+125	$^{\circ}$ C

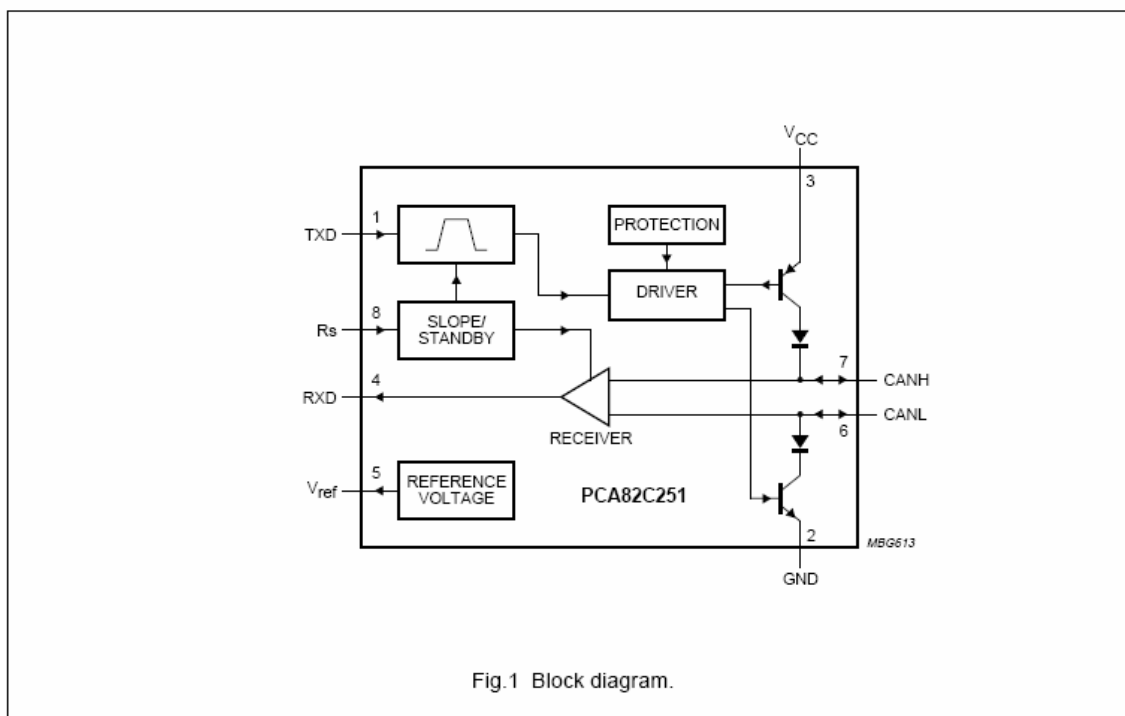
ORDERING INFORMATION

TYPE NUMBER	PACKAGE		
	NAME	DESCRIPTION	CODE
PCA82C251	DIP8	plastic dual in-line package; 8 leads (300 mil)	SOT97-1
PCA82C251T	SO8	plastic small outline package; 8 leads body width 3.9 mm	SOT96-1
PCA82C251U	–	bare die; 2840 \times 1780 \times 380 μ m	–

CAN transceiver for 24 V systems

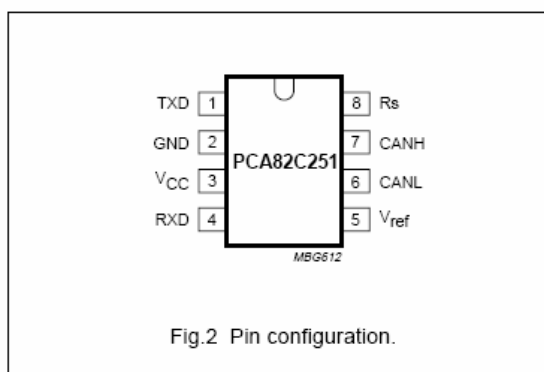
PCA82C251

BLOCK DIAGRAM



PINNING

SYMBOL	PIN	DESCRIPTION
TXD	1	transmit data input
GND	2	ground
V _{CC}	3	supply voltage
RXD	4	receive data output
V _{ref}	5	reference voltage output
CANL	6	LOW-level CAN voltage input/output
CANH	7	HIGH-level CAN voltage input/output
Rs	8	slope resistor input



CAN transceiver for 24 V systems

PCA82C251

FUNCTIONAL DESCRIPTION

The PCA82C251 is the interface between the CAN protocol controller and the physical bus. It is primarily intended for applications up to 1 Mbaud in trucks and buses. The device provides differential transmit capability to the bus and differential receive capability to the CAN controller. It is fully compatible with the "ISO 11898-24 V" standard.

A current limiting circuit protects the transmitter output stage against short-circuit to positive and negative battery voltage. Although the power dissipation is increased during this fault condition, this feature will prevent destruction of the transmitter output stage.

If the junction temperature exceeds a value of approximately 160 °C, the limiting current of both transmitter outputs is decreased. Because the transmitter is responsible for the major part of the power dissipation, this will result in a reduced power dissipation and hence a lower chip temperature. All other parts of the IC will remain operating. The thermal protection is particularly needed when a bus line is short-circuited.

The CANH and CANL lines are also protected against electrical transients which may occur in an automotive environment.

Pin 8 (Rs) allows three different modes of operation to be selected: high-speed, slope control or standby.

For high-speed operation, the transmitter output transistors are simply switched on and off as fast as possible. In this mode, no measures are taken to limit the rise and fall slope. Use of a shielded cable is recommended to avoid RFI problems. The high-speed mode is selected by connecting pin 8 to ground.

The slope control mode allows the use of an unshielded twisted pair or a parallel pair of wires as bus lines. To reduce RFI, the rise and fall slope should be limited. The rise and fall slope can be programmed with a resistor connected from pin 8 to ground. The slope is proportional to the current output at pin 8.

If a HIGH level is applied to pin 8, the circuit enters a low current standby mode. In this mode, the transmitter is switched off and the receiver is switched to a low current. If dominant bits are detected (differential bus voltage >0.9 V), RXD will be switched to a LOW level. The microcontroller should react to this condition by switching the transceiver back to normal operation (via pin 8). Because the receiver is slower in standby mode, the first message will be lost at higher bit rates.

Table 1 Truth table of the CAN transceiver

V _{CC}	TXD	CANH	CANL	BUS STATE	RXD
4.5 to 5.5 V	0	HIGH	LOW	dominant	0
4.5 to 5.5 V	1 (or floating)	floating	floating	recessive	1 ⁽²⁾
4.5 < V _{CC} < 5.5 V	X ⁽¹⁾	floating if V _{Rs} > 0.75V _{CC}	floating if V _{Rs} > 0.75V _{CC}	floating	1 ⁽²⁾
0 < V _{CC} < 4.5 V	floating	floating	floating	floating	X ⁽¹⁾

Notes

1. X = don't care.
2. If another bus node is transmitting a dominant bit, then RXD is logic 0.

Table 2 Pin Rs summary

CONDITION FORCED AT PIN Rs	MODE	RESULTING VOLTAGE OR CURRENT AT PIN Rs
V _{Rs} > 0.75V _{CC}	standby	-I _{Rs} < 10 μA
10 μA < -I _{Rs} < 200 μA	slope control	0.4V _{CC} < V _{Rs} < 0.6V _{CC}
V _{Rs} < 0.3V _{CC}	high-speed	-I _{Rs} < 500 μA

CAN transceiver for 24 V systems

PCA82C251

LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134); all voltages are referenced to pin 2; positive input current.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CC}	supply voltage		-0.3	+7.0	V
V_n	DC voltage at pins 1, 4, 5 and 8		-0.3	$V_{CC} + 0.3$	V
V_6	DC voltage at pin 6 (CANL)	$0\text{ V} < V_{CC} < 5.5\text{ V}$; TXD HIGH or floating	-36	+36	V
		$0\text{ V} < V_{CC} < 5.5\text{ V}$; no time limit; note 1	-36	+36	V
		$0\text{ V} < V_{CC} < 5.5\text{ V}$; no time limit; note 2	-36	+36	V
V_7	DC voltage at pin 7 (CANH)	$0\text{ V} < V_{CC} < 5.5\text{ V}$; no time limit	-36	+36	V
V_{tr}	transient voltage on pins 6 and 7	see Fig.8	-200	+200	V
T_{stg}	storage temperature		-55	+150	°C
T_{amb}	ambient temperature		-40	+125	°C
T_{vj}	virtual junction temperature	note 3	-40	+150	°C
V_{esd}	electrostatic discharge voltage	note 4	-2500	+2500	V
		note 5	-250	+250	V

Notes

- TXD is LOW. Short-circuit protection provided for slew rates up to 5 V/ μ s for voltages above +30 V.
- Short-circuit applied when TXD is HIGH, followed by TXD switched to LOW.
- In accordance with "IEC 60747-1". An alternative definition of virtual junction temperature is: $T_{vj} = T_{amb} + P_d \times R_{th(vj-a)}$, where $R_{th(vj-a)}$ is a fixed value to be used for the calculation of T_{vj} . The rating for T_{vj} limits the allowable combinations of power dissipation (P_d) and ambient temperature (T_{amb}).
- Classification A: human body model; C = 100 pF; R = 1500 Ω ; V = \pm 2500 V.
- Classification B: machine model; C = 200 pF; R = 0 Ω ; V = \pm 250 V.

THERMAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
$R_{th(j-a)}$	thermal resistance from junction to ambient	in free air		
	PCA82C251		100	K/W
	PCA82C251T		160	K/W

QUALITY SPECIFICATION

According to "SNW-FQ-611 part E".

CAN transceiver for 24 V systems

PCA82C251

CHARACTERISTICS

$V_{CC} = 4.5$ to 5.5 V; $T_{amb} = -40$ to $+125$ °C; $R_L = 60$ Ω; $I_B > -10$ μA; unless otherwise specified; all voltages referenced to ground (pin 2); positive input current; all parameters are guaranteed over the ambient temperature range by design, but only 100% tested at $+25$ °C.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Supply						
I_3	supply current	dominant; $V_1 = 1$ V; $V_{CC} < 5.1$ V	–	–	78	mA
		dominant; $V_1 = 1$ V; $V_{CC} < 5.25$ V	–	–	80	mA
		dominant; $V_1 = 1$ V; $V_{CC} < 5.5$ V	–	–	85	mA
		recessive; $V_1 = 4$ V; $R_8 = 47$ kΩ	–	–	10	mA
		standby; note 1	–	–	275	μA
DC bus transmitter						
V_{IH}	HIGH-level input voltage	output recessive	$0.7V_{CC}$	–	$V_{CC} + 0.3$	V
V_{IL}	LOW-level input voltage	output dominant	–0.3	–	$0.3V_{CC}$	V
I_{IH}	HIGH-level input current	$V_1 = 4$ V	–200	–	+30	μA
I_{IL}	LOW-level input current	$V_1 = 1$ V	–100	–	–600	μA
$V_{6,7}$	recessive bus voltage	$V_1 = 4$ V; no load	2.0	–	3.0	V
I_{LO}	off-state output leakage current	-2 V < (V_6, V_7) < 7 V	–2	–	+2	mA
		-5 V < (V_6, V_7) < 36 V	–10	–	+10	mA
V_7	CANH output voltage	$V_1 = 1$ V; $V_{CC} = 4.75$ to 5.5 V	3.0	–	4.5	V
		$V_1 = 1$ V; $V_{CC} = 4.5$ to 4.75 V	2.75	–	4.5	V
V_6	CANL output voltage	$V_1 = 1$ V	0.5	–	2.0	V
$\Delta V_{6,7}$	difference between output voltage at pins 6 and 7	$V_1 = 1$ V	1.5	–	3.0	V
		$V_1 = 1$ V; $R_L = 45$ Ω	1.5	–	–	V
		$V_1 = 4$ V; no load	–500	–	+50	mV
I_{sc7}	short-circuit CANH current	$V_7 = -5$ V	–	–	–200	mA
		$V_7 = -36$ V	–	–100	–	mA
I_{sc6}	short-circuit CANL current	$V_6 = 36$ V	–	–	200	mA
DC bus receiver [$V_1 = 4$ V; pins 6 and 7 externally driven; -2 V < (V_6, V_7) < 7 V; unless otherwise specified]						
$V_{diff(r)}$	differential input voltage (recessive)	note 2	–1.0	–	+0.5	V
		-7 V < (V_6, V_7) < 12 V; note 2	–1.0	–	+0.4	V
$V_{diff(d)}$	differential input voltage (dominant)		0.9	–	5.0	V
		-7 V < (V_6, V_7) < 12 V; not standby mode	1.0	–	5.0	V
		standby mode	0.97	–	5.0	V
		standby mode; $V_{CC} = 4.5$ to 5.10 V	0.91	–	5.0	V
$V_{diff(hys)}$	differential input hysteresis	see Fig.5	–	150	–	mV

CAN transceiver for 24 V systems

PCA82C251

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
V _{OH}	HIGH-level output voltage (pin 4)	I ₄ = -100 µA	0.8V _{CC}	-	V _{CC}	V
V _{OL}	LOW-level output voltage (pin 4)	I ₄ = 1 mA	0	-	0.2V _{CC}	V
		I ₄ = 10 mA	0	-	1.5	V
R _i	CANH, CANL input resistance		5	-	25	kΩ
R _{diff}	differential input resistance		20	-	100	kΩ
Reference output						
V _{ref}	reference output voltage	V ₈ = 1 V; I ₅ < 50 µA	0.45V _{CC}	-	0.55V _{CC}	V
		V ₈ = 4 V; I ₅ < 5 µA	0.4V _{CC}	-	0.6V _{CC}	V
Timing (R _L = 60 Ω; C _L = 100 pF; unless otherwise specified. See Figs 3 and 4)						
t _{bit}	minimum bit time	R ₈ = 0 Ω	-	-	1	µs
t _{onTXD}	delay TXD to bus active	R ₈ = 0 Ω	-	-	50	ns
t _{offTXD}	delay TXD to bus inactive	R ₈ = 0 Ω	-	40	80	ns
t _{onRXD}	delay TXD to receiver active	R ₈ = 0 Ω	-	55	120	ns
t _{offRXD}	delay TXD to receiver inactive	R ₈ = 0 Ω; T _{amb} < +85 °C; V _{CC} = 4.5 to 5.1 V	-	80	150	ns
		R ₈ = 0 Ω; V _{CC} = 4.5 to 5.1 V	-	80	170	ns
		R ₈ = 0 Ω; T _{amb} < +85 °C	-	90	170	ns
		R ₈ = 0 Ω	-	90	190	ns
		R ₈ = 47 kΩ	-	290	400	ns
t _{onRXD}	delay TXD to receiver active	R ₈ = 47 kΩ	-	440	550	ns
SR	CANH, CANL slew rate	R ₈ = 47 kΩ	-	7	-	V/µs
t _{wAKE}	wake-up time from standby (via pin 8)	see Fig.6	-	-	20	µs
t _{dRXDL}	bus dominant to RXD LOW	V ₈ = 4 V; see Fig.7	-	-	3	µs
Standby/slope control (pin 8)						
V _{stb}	input voltage for standby mode		0.75V _{CC}	-	-	V
I _{slope}	slope control mode current		-10	-	-200	µA
V _{slope}	slope control mode voltage		0.4V _{CC}	-	0.6V _{CC}	V

Notes

1. I₁ = I₄ = I₅ = 0 mA; 0 V < V₆ < V_{CC}; 0 V < V₇ < V_{CC}; V₈ = V_{CC}; T_{amb} < 90 °C.
2. This is valid for the receiver in all modes: high-speed, slope control and standby.



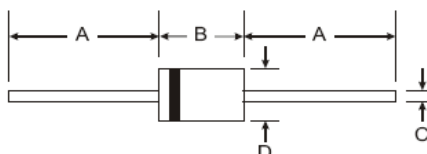
BAT42 / BAT43

SCHOTTKY BARRIER SWITCHING DIODE

Spice Model: BAT42

Features

- Low Forward Voltage Drop
- Fast Switching Speeds
- Guard Ring Construction for Transient Protection
- Surface Mount Versions Available (LL42 / LL43)



Mechanical Data

- Case: DO-35, Plastic
- Leads: Solderable per MIL-STD-202, Method 208
- Marking: Type Number
- Polarity: Cathode Band
- Weight: 0.13 grams (approx.)

DO-35		
Dim	Min	Max
A	25.40	—
B	—	4.00
C	—	0.60
D	—	2.00
All Dimensions in mm		

Maximum Ratings @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	BAT42	BAT43	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage	V_{RRM}	30		V
Working Peak Reverse Voltage	V_{RWM}			
DC Blocking Voltage	V_R			
RMS Reverse Voltage	$V_{R(RMS)}$	21		V
Forward Continuous Current (Note 1)	I_{FM}	200		mA
Repetitive Peak Forward Current (Note 1) @ $t < 1.0\text{s}$ Duty Cycle $< 50\%$	I_{FRM}	500		mA
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current @ $t = 10\text{ms}$	I_{FSM}	4.0		A
Power Dissipation (Note 1)	P_d	200		mW
Thermal Resistance, Junction to Ambient Air (Note 1)	$R_{\theta JA}$	500		K/W
Operating and Storage Temperature Range	T_j, T_{STG}	-55 to +125		$^\circ\text{C}$

Electrical Characteristics @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

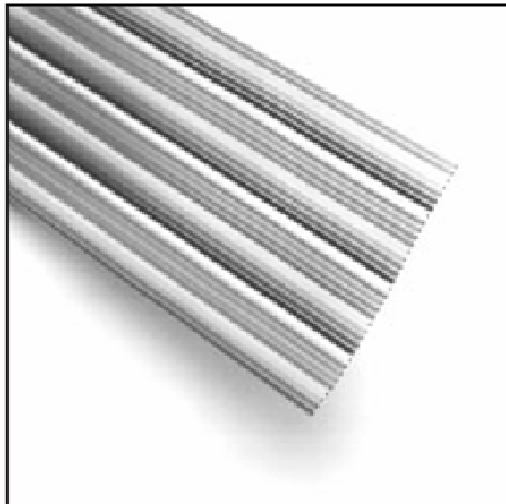
Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	Test Condition
Reverse Breakdown Voltage	$V_{(BR)R}$	30	—	—	V	$I_{RS} = 100\mu\text{A}$ Pulses
Maximum Forward Voltage Drop (Note 2)	V_{FM}	—	—	1.00 0.40 0.65 0.33 0.45	V	$I_F = 200\text{mA}$ $I_F = 10\text{mA}$ $I_F = 50\text{mA}$ $I_F = 2.0\text{mA}$ $I_F = 15\text{mA}$
Maximum Peak Reverse Current (Note 2)	I_{RM}	—	—	0.50 100	μA	$V_R = 25\text{V}$ $V_R = 25\text{V}, T_j = 100^\circ\text{C}$
Junction Capacitance	C_j	—	10	—	pF	$V_R = 1.0\text{V}, f = 1.0\text{MHz}$
Reverse Recovery Time	t_{rr}	—	—	5.0	ns	$I_F = I_R = 10\text{mA}$, $I_{tr} = 0.1 \times I_R, R_L = 100\Omega$
Rectification Efficiency	η_V	80	—	—	%	$R_L = 100\Omega, C_L = 300\text{pF}$, $f = 45\text{MHz}, V_{RF} = 2.0\text{V}$

- Notes:
1. Valid provided that leads are kept at ambient temperature.
 2. $t < 300\mu\text{s}$, Duty Cycle $< 2\%$.

.050" Color Coded Flat Cable

28 AWG Stranded, PVC

3302 Series



179

IMPORTANT NOTICE TO PURCHASER

ALL STATEMENTS, TECHNICAL INFORMATION AND RECOMMENDATIONS CONTAINED HEREIN ARE BASED ON TESTS WE BELIEVE TO BE RELIABLE, BUT THE ACCURACY OR COMPLETENESS THEREOF IS NOT GUARANTEED, AND THE FOLLOWING IS MADE IN LIEU OF ALL WARRANTIES, EXPRESSED OR IMPLIED:

SELLER'S AND MANUFACTURER'S ONLY OBLIGATION SHALL BE TO REPLACE SUCH QUANTITY OF THE PRODUCT PROVED TO BE DEFECTIVE. NEITHER SELLER NOR MANUFACTURER SHALL BE LIABLE FOR ANY INJURY, LOSS OR DAMAGE, DIRECT OR CONSEQUENTIAL, ARISING OUT OF THE USE OF OR THE INABILITY TO USE THE PRODUCT. BEFORE USING, USER SHALL DETERMINE THE SUITABILITY OF THE PRODUCT FOR HIS INTENDED USE, AND USER ASSUMES ALL RISK AND LIABILITY WHATSOEVER IN CONNECTION THEREWITH. NO STATEMENT OR RECOMMENDATION NOT CONTAINED HEREIN SHALL HAVE ANY FORCE OR EFFECT UNLESS IN AN AGREEMENT SIGNED BY OFFICERS OR SELLER AND MANUFACTURER.

Date Issued: October 20, 1997

TS-0123-10
Sheet 1 of 2**Physical****Insulation**

Material: Polyvinyl Chloride (PVC)
Color: 10 Color Repeat, Clear Carrier

Marking

Standard: None

Canadian Option: AWM 20462 105C 300V VW1 3M NU AWM IA 80C 150V FT1
EU <50V

Conductors: 28 AWG 7 × 36 [7 × 0.127] Tinned Stranded Copper**Electrical**

Voltage Rating: USA: 300V Canada: 150V EU: <50V
Insulation Resistance: > $1 \times 10^9 \Omega/10 \text{ ft.}$ [3m]
Characteristic Impedance Unbalanced: 105 Ω
Capacitance Unbalanced: 14.1 pF/ft. [46.3 pF/m]
Inductance Unbalanced: .15 $\mu\text{H/ft.}$ [0.49 $\mu\text{H/m}$]
Propagation Delay Unbalanced: 1.47 ns/ft. [4.82 ns/m]
Velocity of Propagation Unbalanced: 69%

Note: Unbalanced is measured between ground-signal-ground conductors.

Environmental

Temperature Rating: USA: -20°C to +105°C Canada: -20°C to +80°C
Flammability Rating: USA: VW-1 Canada: FT1

UL File No.: E42769. Style No.: 20462

PULSEJACK™

1x1 Tab-DOWN RJ45



Description:

10/100 Base-TX RJ45 1x1 Tab-DOWN with LEDs 8-pin (J0 series) integrated magnetics connector (ICM), designed to support applications, such as SOHO (ADSL modems), LAN-on-Motherboard (LOM), Hub and Switches.



Features and Benefits:

- ⚙️ RoHS “NL” peak solder rating 260°C, non-RoHS peak solder rating 235°C
- ⚙️ Available with or without LEDs
- ⚙️ Suitable for CAT 5 & 6 Fast Ethernet Cable or better UTP
- ⚙️ For RoHS part, add suffix NL⁷

Electrical Performance Summary:

- ⚙️ Internal magnetics options available
- ⚙️ Meets or exceeds IEEE 802.3 standard for 100Base-T
- ⚙️ 350 µH minimum OCL with 8 mA bias current
- ⚙️ Minimum 1500 Vrms isolation per IEEE 802.3 requirement

Electrical Specifications @ 25°C — Operating Temperature 0°C to +70°C																
Part Number	Turns ^{1,2} Ratios		EMI ³ Fingers	LEDs ⁴ (LR)	Insertion Loss (dB TYP)	Return Loss (dB TYP) 100 Ω ±15 Ω				Crosstalk (dB TYP)			Common Mode Rejection (dB TYP)		Hipot (Vrms) @60Hz 1 MIN	
	TX	RX				1-66 MHz	1-10 MHz	10-30 MHz	30-60 MHz	60-80 MHz	1-50 MHz	50-60 MHz	60-100 MHz	1-50 MHz		50-150 MHz
J0098D01B	1CT:1	1CT:1	No	G/Y	-1	-20	-16	-12	-10	-40	-35	-30	-30	-20	1500	
J0098D21	1CT:1	1CT:1	YES	N/A	-1	-20	-16	-12	-10	-40	-35	-30	-30	-20	1500	
J0098D21B	1CT:1	1CT:1	YES	G/Y	-1	-20	-16	-12	-10	-40	-35	-30	-30	-20	1500	
J0011D01	1CT:1	1CT:1	No	N/A	-1	-20	-16	-12	-10	-40	-35	-30	-30	-20	1500	
J0011D01B	1CT:1	1CT:1	No	G/Y	-1	-20	-16	-12	-10	-40	-35	-30	-30	-20	1500	
J0011D21	1CT:1	1CT:1	YES	N/A	-1	-20	-16	-12	-10	-40	-35	-30	-30	-20	1500	
J0011D21B	1CT:1	1CT:1	YES	G/Y	-1	-20	-16	-12	-10	-40	-35	-30	-30	-20	1500	
J0011D21E	1CT:1	1CT:1	YES	G/G	-1	-20	-16	-12	-10	-40	-35	-30	-30	-20	1500	
J0012D21	1CT:1	1CT:1	YES	N/A	-1	-20	-16	-12	-10	-40	-35	-30	-30	-20	1500	
J0018D21	1CT:1.414	1CT:1	YES	N/A	-1	-20	-16	-12	-10	-40	-35	-30	-30	-20	1500	
J0018D21E	1CT:1.414	1CT:1	YES	G/G	-1	-20	-16	-12	-10	-40	-35	-30	-30	-20	1500	
J0024D21	1CT:2	1CT:1	YES	N/A	-1	-20	-16	-12	-10	-40	-35	-30	-30	-20	1500	
J0024D21B	1CT:2	1CT:1	YES	G/Y	-1	-20	-16	-12	-10	-40	-35	-30	-30	-20	1500	
J0028D01	1CT:1	1CT:1	No	N/A	-1	-20	-16	-12	-10	-40	-35	-30	-30	-20	1500	
J0028D01B	1CT:1	1CT:1	No	G/Y	-1	-20	-16	-12	-10	-40	-35	-30	-30	-20	1500	
J0028D01E	1CT:1	1CT:1	No	G/G	-1	-20	-16	-12	-10	-40	-35	-30	-30	-20	1500	
J0028D01F ⁴	1CT:1	1CT:1	No	Y/G	-1	-20	-16	-12	-10	-40	-35	-30	-30	-20	1500	
J0028D21	1CT:1	1CT:1	YES	N/A	-1	-20	-16	-12	-10	-40	-35	-30	-30	-20	1500	
J0028D21B	1CT:1	1CT:1	YES	G/Y	-1	-20	-16	-12	-10	-40	-35	-30	-30	-20	1500	
J0028D21E	1CT:1	1CT:1	YES	G/G	-1	-20	-16	-12	-10	-40	-35	-30	-30	-20	1500	
J0028D21F ⁴	1CT:1	1CT:1	YES	Y/G	-1	-20	-16	-12	-10	-40	-35	-30	-30	-20	1500	
J0028D21G ⁵	1CT:1	1CT:1	YES	Y/G	-1	-20	-16	-12	-10	-40	-35	-30	-30	-20	1500	
J0088D21	1.25CT:1	1CT:1	YES	N/A	-1	-20	-16	-12	-10	-40	-35	-30	-30	-20	1500	
J0088D21B	1CT:1	1CT:1	YES	G/Y	-1	-20	-16	-12	-10	-40	-35	-30	-30	-20	1500	
J0048D21M	1CT:1	1CT:1	YES	G/G	-1	-20	-16	-12	-10	-40	-35	-30	-30	-20	1500	
J0073D01B	1CT:2.5	1CT:1	No	G/Y	-1	-20	-16	-12	-10	-40	-35	-30	-30	-20	1500	

Notes: 1. Both transmit and receive channels meet IEEE 802.3 specifications. 2. Different electrical and mechanical specifications can be accommodated. 3. LEDs Left/Right: G=green, Y=yellow, N/A=none, YG=Bi-color LED Yellow Green. 4. LEDs with internal resistor. 5. Bi-color Left LED. 6. For an explanation of EMI fingers, please refer to the mechanical drawing page.

RJ45 Durability Testing Rating				
Part Number	Mating Force (MAX)	Unmating Force (MAX)	Durability	Plug to Jack Retention (MIN)
J0 Series	5 lbs./2.268 kgs.	5 lbs./2.268 kgs.	750 Insertions	20 lbs./9.072 kgs.

RJ45 Material Specification							
Part Number	Shield		Contact			Housing	
	Material	Finish	Material	Plating Area	Solder Area	Material	Specification
J0 Series	Brass	10-20m inches Nickel over 10-20m inches Brass	Phosphor Bronze	Nickel underplating and selective gold plating 15µ inches	120µ inches Sn60/Pb10 over 50µ inches nickel	Thermoplastic	UL 94 V-0

Notes: 1. All connector part numbers starting with the series prefix J0 comply to the above limits. 2. Connector dimensions comply with FCC dimension requirements.

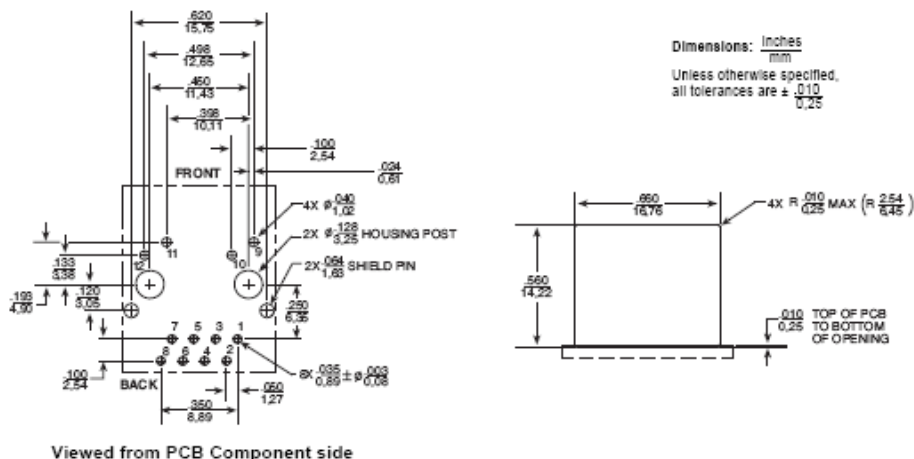
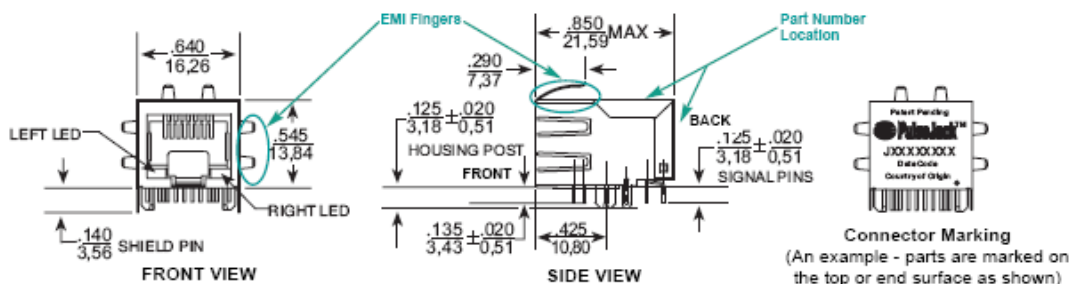
US 619 674 8100 • UK 44 1483 401 700 • France 33 3 84 35 04 04 • Singapore 65 6287 8998 • Taiwan 886 2 2698 0228 • Hong Kong 852 2788 6588 • <http://www.pulseeng.com>

PULSEJACK™

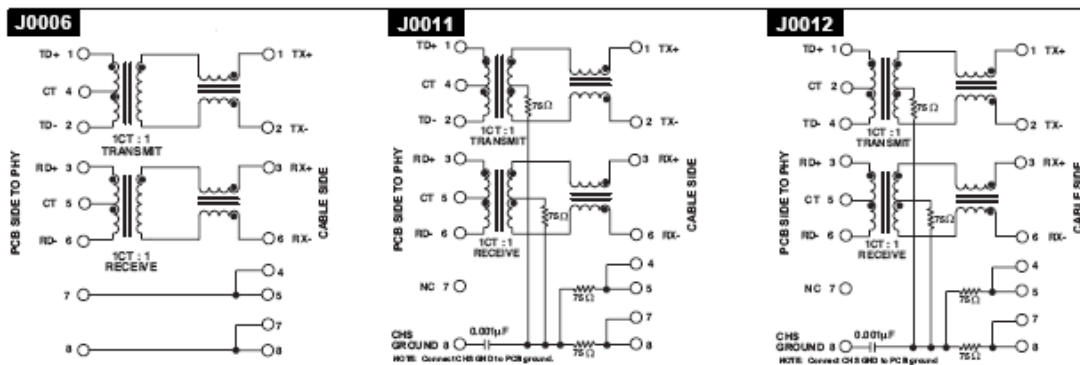
1x1 Tab-DOWN RJ45



J0 Series Mechanicals

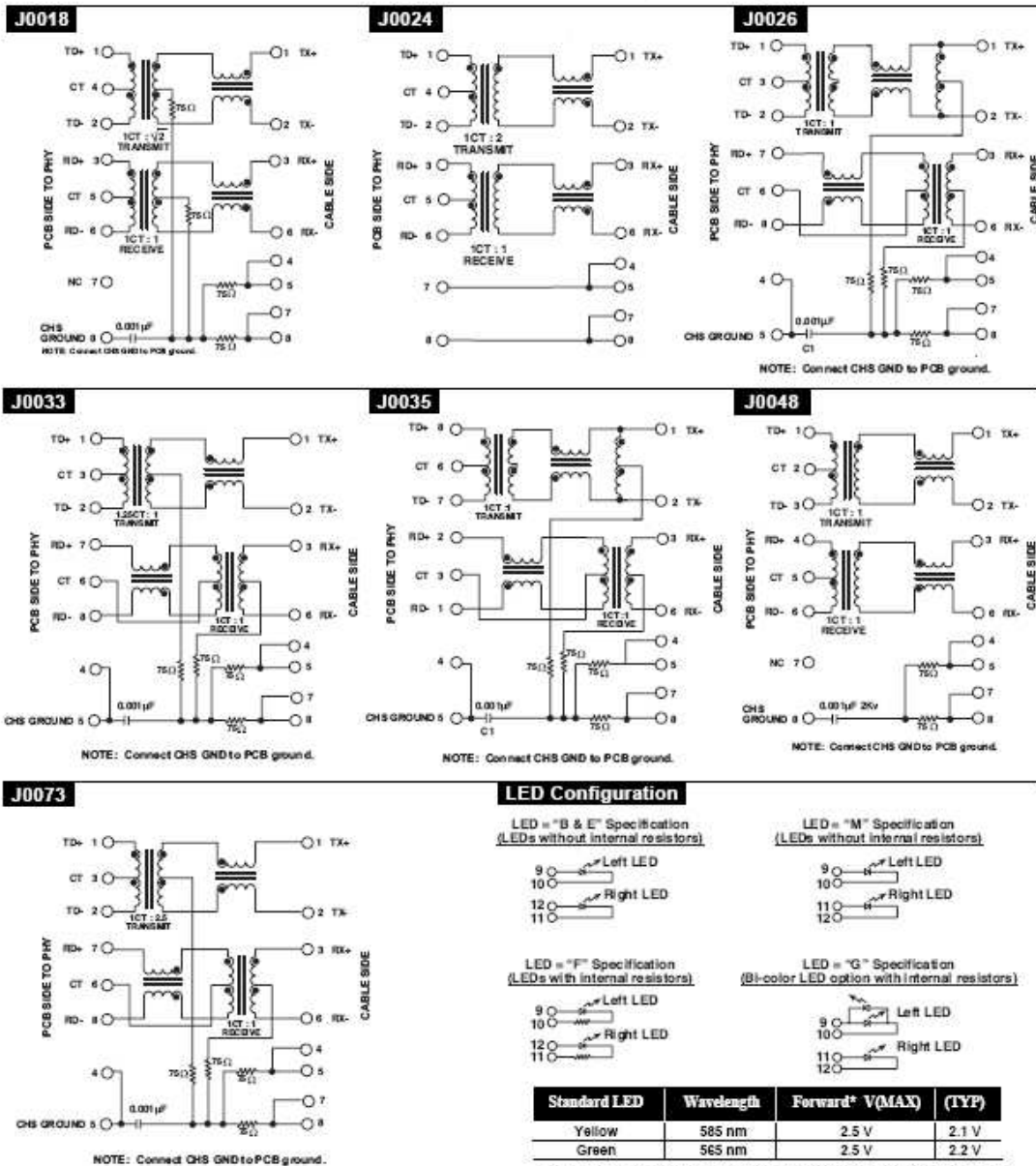


J0 Series Electrical Schematics

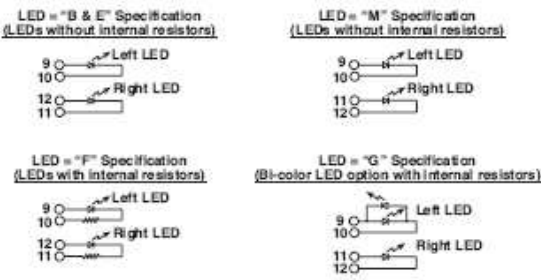


US 619 674 8100 • UK 44 1483 401 700 • France 33 3 84 35 04 04 • Singapore 65 6287 8998 • Taiwan 886 2 2698 0228 • Hong Kong 852 2788 6588 • <http://www.pulseeng.com>

J0 Series Electrical Schematics (continued)



LED Configuration



Standard LED	Wavelength	Forward* V(MAX)	(TYP)
Yellow	585 nm	2.5 V	2.1 V
Green	565 nm	2.5 V	2.2 V

* Using an internal resistor within the LED increases the voltage rating of the diode from 2.5 V to 5.0 V (assumes bias current = 20 mA).

FEATURES AND SPECIFICATIONS

Features and Benefits

- Peg-mounted for increased board retention
- Low profile for space constraints
- Positive housing locks
- Fully isolated terminals to protect contacts from damage

Reference Information

Product Specification: PS-5554-0001
 Packaging: Tray or bag
 UL File No.: E29179
 CSA File No.: LR19980
 TUV License No.: R75142
 Mates With: 5552 dual row receptacle
 Designed In: Millimeters

Electrical

Voltage: 600V
 Current: (Used with 16 AWG)

Circuits	2-3	4-6	7-10	12-24
Ampere-In.	1	8	7	6
Ampere-HCS	12	11	10	9

Contact Resistance: 10mΩ max.
 Dielectric Withstanding Voltage: 1500V
 Insulation Resistance: 1000 MΩ min.

Mechanical

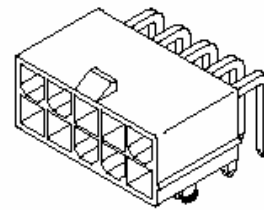
Insertion Force to PCB: 5.0kg max.
 Mating Force: 0.7kg (1.54 lb) max.
 Unmating Force: 0.35kg (0.7 lb) min.
 Normal Force: 200g min.
 Durability: 30 cycles

Physical

Housing: 6/6 nylon, UL 94V-2 or 94V-0
 Contact: Brass
 Plating: Tin, select Gold or overall Gold
 Operating Temperature: -40 to +105°C

molex 4.20mm (.165") Pitch
 Mini-Fit, Jr.™
 Header

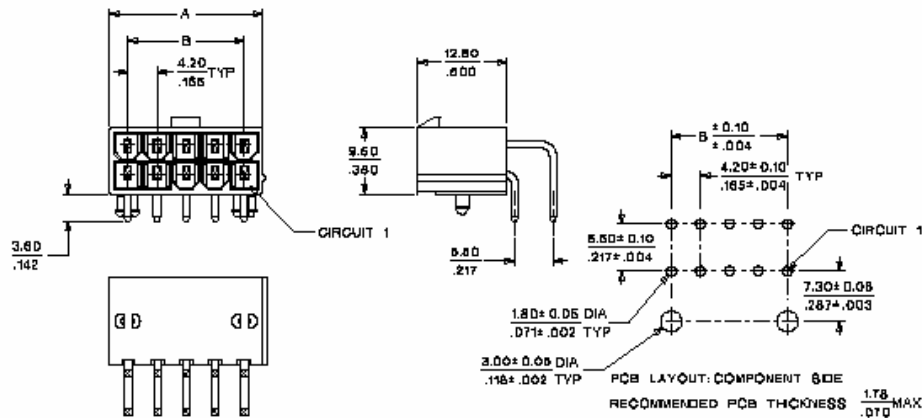
5569
 Right Angle, Dual Row
 With Pegs



Power Connectors

F

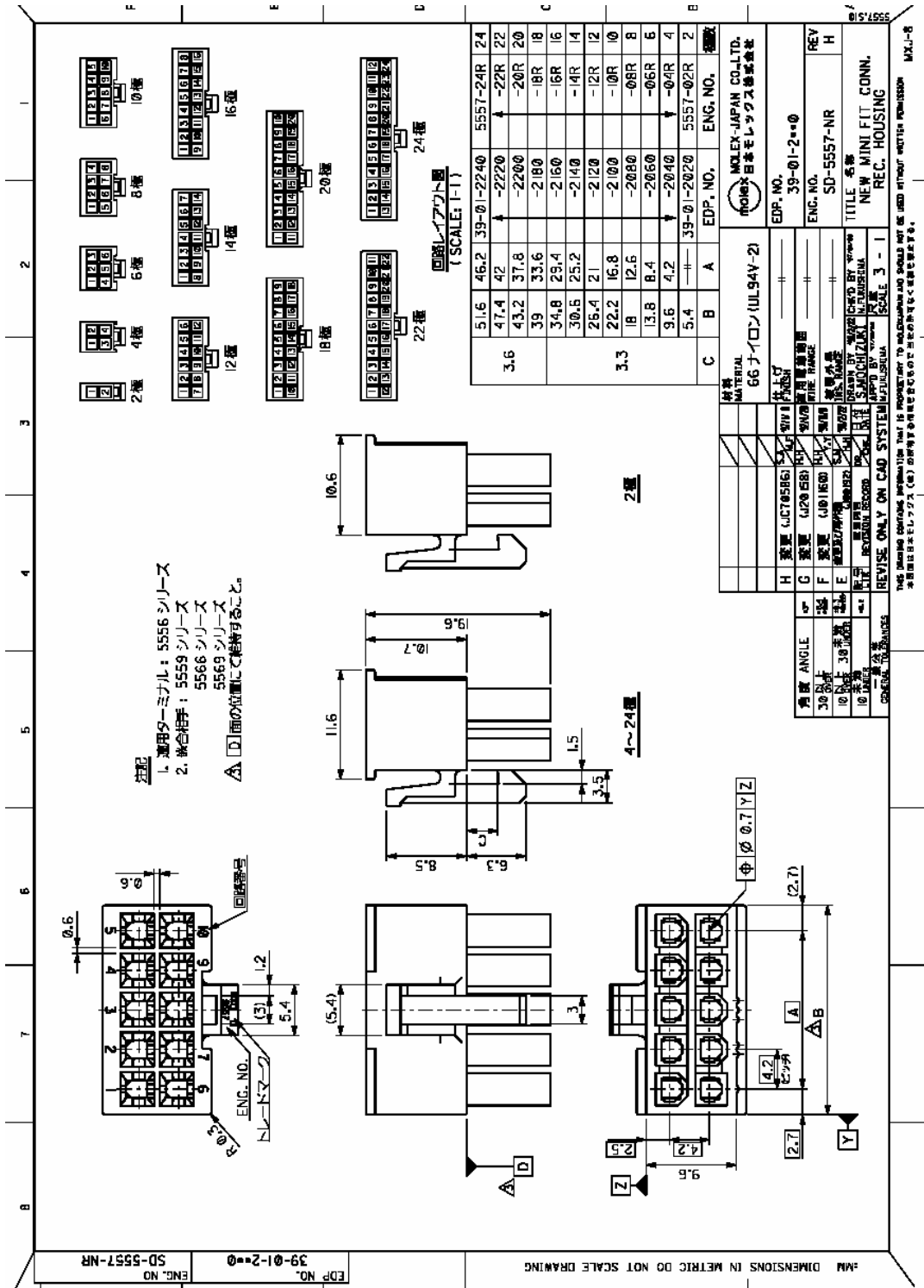
CATALOG DRAWING (FOR REFERENCE ONLY)

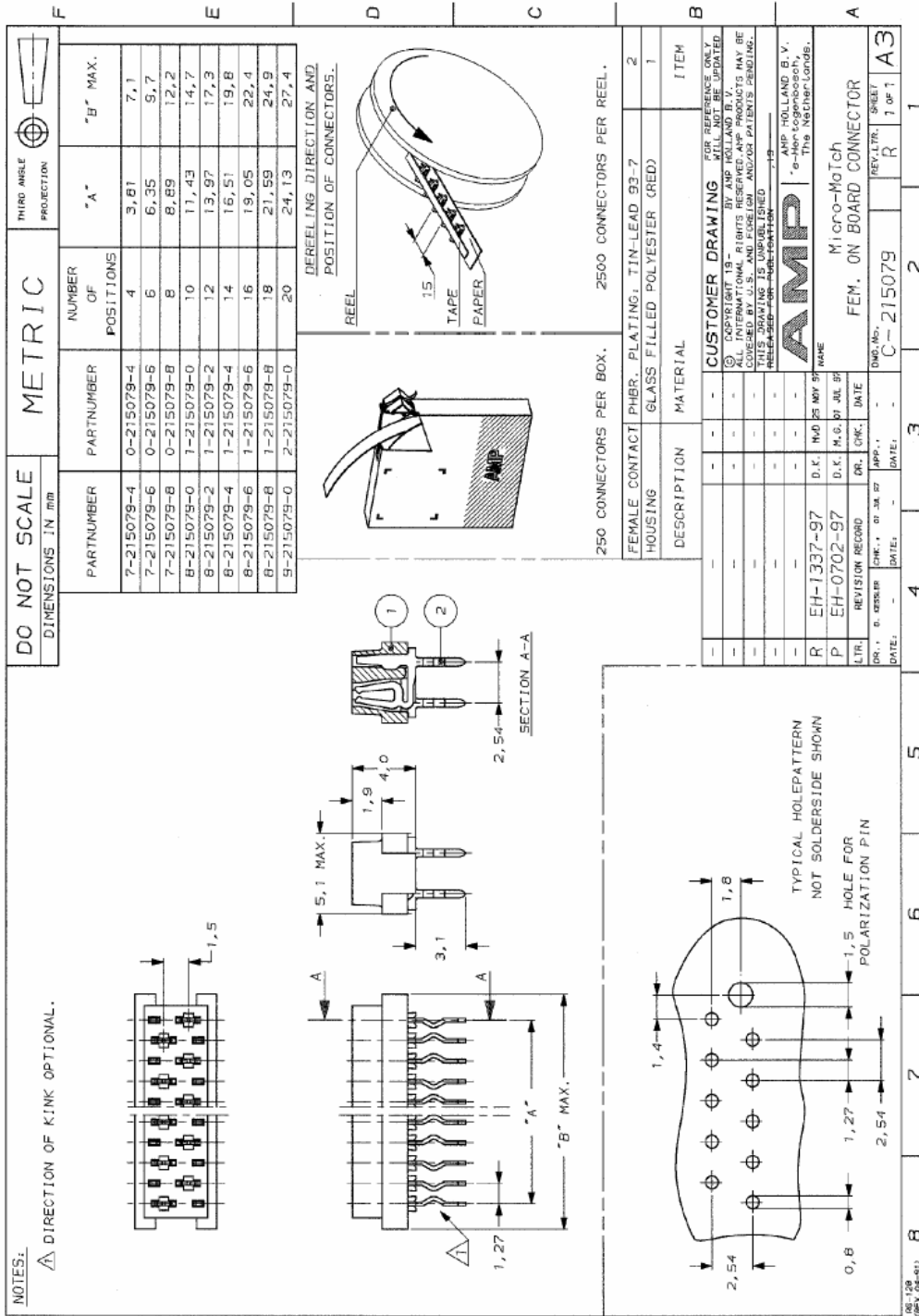


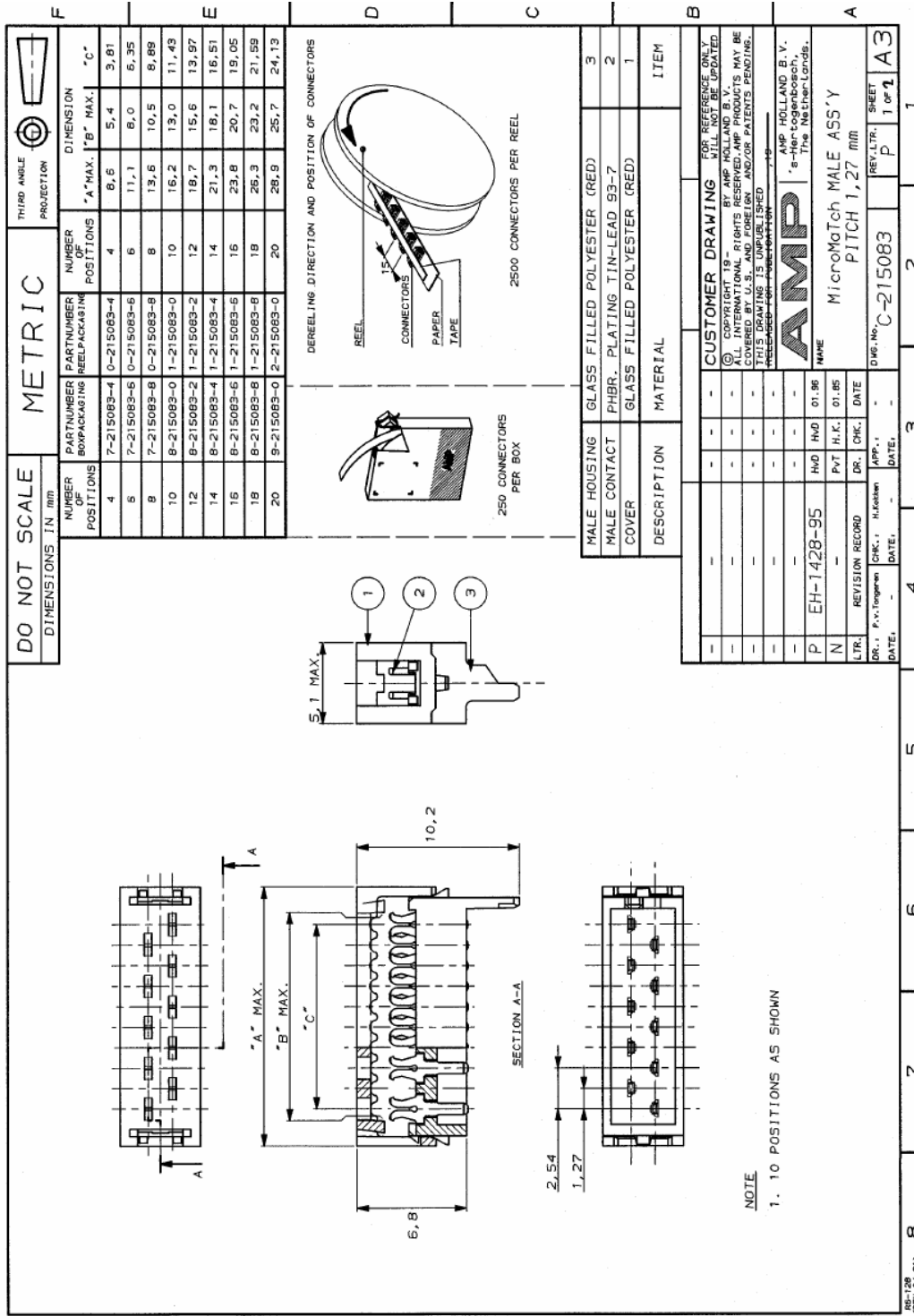
ORDERING INFORMATION AND DIMENSIONS

Circuits	Order No.						Dimension	
	Tin Plated		Gold Plated (30µ")		Select Gold Plated (30µ")		A	B
	94V-2	94V-0	94V-2	94V-0	94V-2	94V-0		
2	• 39-30-1020	• 39-10-0020	39-30-1021	39-30-1022	39-30-0023	39-10-0024	5.40 (2.131)	
4	• 39-30-1040	• 39-10-0040	39-30-1041	39-30-1042	39-30-0043	39-10-0044	9.60 (3.781)	4.20 (1.653)
6	• 39-30-1060	• 39-10-0060	39-30-1061	39-30-1062			15.80 (5.431)	1.40 (1.531)
8	• 39-30-1080	• 39-10-0080	39-30-1081	39-30-1082			16.00 (7.091)	13.60 (1.494)
10	• 39-30-1100	• 39-10-0100	39-30-1101	39-30-1102			22.20 (8.741)	16.80 (1.661)
12	• 39-30-1120	• 39-10-0120	39-30-1121	39-30-1122			26.40 (1.039)	21.00 (1.627)
14	• 39-30-1140	• 39-10-0140	39-30-1141	39-30-1142			30.60 (1.205)	25.20 (1.992)
16	• 39-30-1160	• 39-10-0160	39-30-1161	39-30-1162			34.80 (1.370)	29.40 (1.158)
18	• 39-30-1180		39-30-1181				39.00 (1.535)	31.60 (1.233)
20	• 39-30-1200	• 39-10-0200	39-30-1201	39-30-1202			45.20 (1.701)	37.80 (1.488)
22	• 39-30-1220		39-30-1221				47.40 (1.866)	42.00 (1.654)
24	• 39-30-1240	• 39-10-0240	39-30-1241	39-30-1242			51.60 (2.031)	46.20 (1.819)

• US Standard Product, available through Molex franchised distributors







2064 THRU 2069

Data Sheet
29305H+

QUAD 1.5 A DARLINGTON SWITCHES

ULN2064/65B

Dwg. No. A-9765A

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS
at +25°C Free-Air Temperature
for Any One Driver
(unless otherwise noted)

Output Voltage, V_{CEX} See Guide
 Output Sustaining Voltage,
 $V_{CE(SUS)}$ See Guide
 Output Current, I_{OUT} (Note 1) 1.75 A
 Input Voltage, V_{IN} See Guide
 Input Current, I_B (Note 2) 25 mA
 Supply Voltage,
 V_S (ULN2068B/LB & 2069B/LB) ... 10 V
 Total Package Power Dissipation,
 P_D See Graph
 Operating Temperature Range,
 T_A -20°C to +85°C
 Storage Temperature Range,
 T_S -55°C to -150°C

1. Allowable combinations of output current, number of outputs conducting, and duty cycle are shown on the following pages.
2. Input current may be limited by maximum allowable input voltage.

High-voltage, high-current Darlington arrays ULN2064B/LB through ULN2069B/LB are designed for interface between low-level logic and a variety of peripheral loads such as relays, solenoids, dc and stepper motors, magnetic print hammers, multiplexed LED and incandescent displays, heaters, and similar loads. Output off voltage ratings of 50 V and 80 V are available. These quad drivers can drive resistive loads to 480 watts (1.5 A x 80 V, 26% duty cycle). For inductive loads, sustaining voltages of 35 V and 50 V at 100 mA are specified.

Quad drivers ULN2064B/LB, ULN2065B/LB, ULN2068B/LB, and ULN2069B/LB are intended for use with TTL, low-speed TTL, and 5 V MOS logic. The ULN2065B/LB and ULN2069B/LB are selected for the 80 V minimum output breakdown specification. The ULN2068B/LB and ULN2069B/LB have pre-driver stages and are recommended for applications requiring high gain (low input-current loading). Quad-driver arrays are supplied with heat-sink contact tabs in 16-pin plastic DIPs (suffix 'B') and 20-lead surface-mountable wide-body SOICs (suffix 'LB').

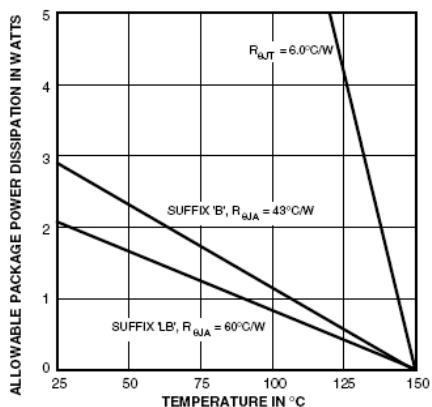
FEATURES

- TTL, DTL, MOS, CMOS Compatible Inputs
- Transient-Protected Outputs
- Loads to 480 Watts
- Heat-Sink Contact Tabs
- Automotive Capable

Always order by complete part number, e.g., **ULN2064B**.

**2064 THRU 2069
QUAD 1.5 A DARLINGTON
SWITCHES**

SELECTION GUIDE



Part Number*	Max. V _{CEX}	Min. V _{CE(SUS)}	Max. V _{IN}	Application
ULN2064B ULN2064LB	50 V	35 V	15 V	TTL, DTL, Schottky TTL, and 5 V CMOS
ULN2065B ULN2065LB	80 V	50 V	15 V	
ULN2068B ULN2068LB	50 V	35 V	15 V	TTL, DTL, Schottky TTL, and 5 V CMOS
ULN2069B ULN2069LB	80 V	50 V	15 V	

* Suffix 'B' is a 16-pin DIP; 'LB' is a 20-lead SOIC.

TEST FIGURES

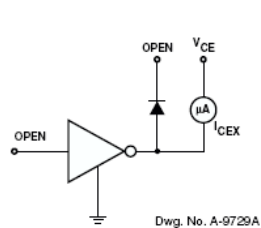


FIGURE 1

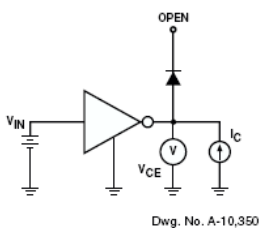


FIGURE 2

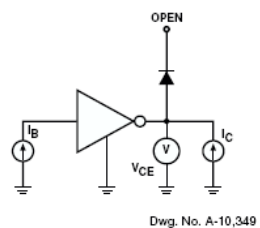


FIGURE 3

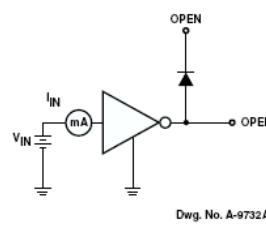


FIGURE 4

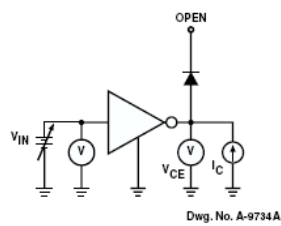


FIGURE 5

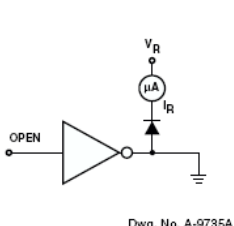


FIGURE 6

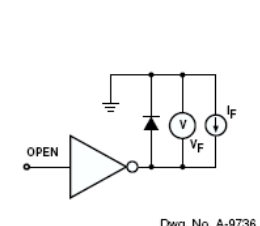


FIGURE 7

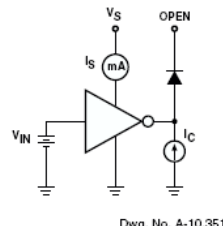
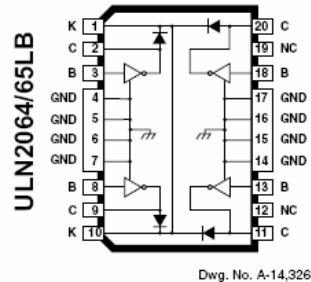
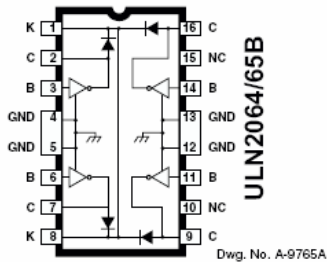
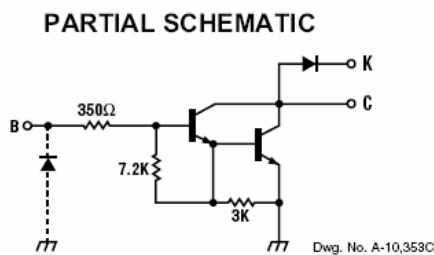


FIGURE 8

2064 THRU 2069
QUAD 1.5 A DARLINGTON
SWITCHES

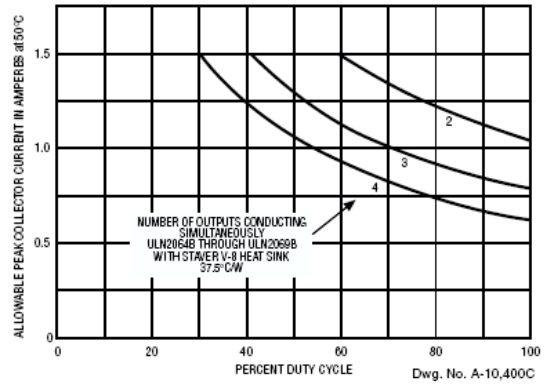
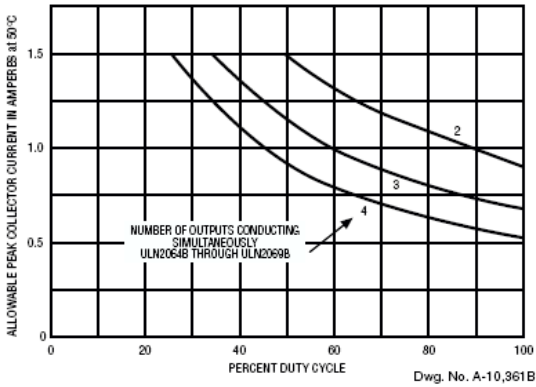
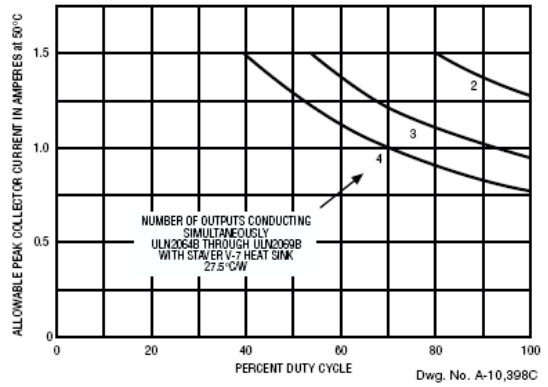
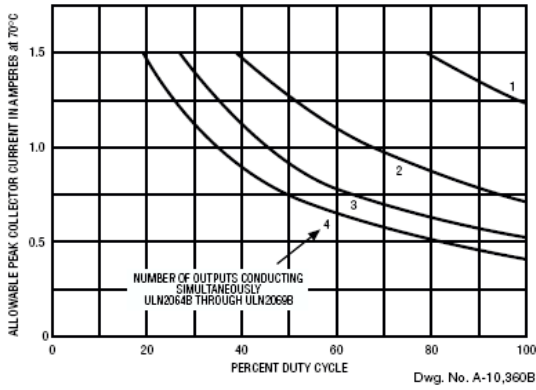


ELECTRICAL CHARACTERISTICS at +25°C (unless otherwise noted).

Characteristic	Symbol	Test Fig.	Applicable Devices	Test Conditions	Limits		
					Min.	Max.	Units
Output Leakage Current	I_{CEX}	1	ULN2064B/LB	$V_{CE} = 50\text{ V}$	—	100	μA
				$V_{CE} = 50\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}$	—	500	μA
			ULN2065B/LB	$V_{CE} = 80\text{ V}$	—	100	μA
				$V_{CE} = 80\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}$	—	500	μA
Output Sustaining Voltage	$V_{CE(SUS)}$	2	ULN2064B/LB	$I_C = 100\text{ mA}, V_{IN} = 0.4\text{ V}$	35	—	V
			ULN2065B/LB	$I_C = 100\text{ mA}, V_{IN} = 0.4\text{ V}$	50	—	V
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(SAT)}$	3	All	$I_C = 500\text{ mA}, I_B = 625\text{ }\mu\text{A}$	—	1.1	V
				$I_C = 750\text{ mA}, I_B = 935\text{ }\mu\text{A}$	—	1.2	V
				$I_C = 1.0\text{ A}, I_B = 1.25\text{ mA}$	—	1.3	V
				$I_C = 1.25\text{ A}, I_B = 2.0\text{ mA}$	—	1.4	V
			ULN2065B/LB	$I_C = 1.5\text{ A}, I_B = 2.25\text{ mA}$	—	1.5	V
Input Current	$I_{IN(ON)}$	4	All	$V_{IN} = 2.4\text{ V}$	1.4	4.3	mA
				$V_{IN} = 3.75\text{ V}$	3.3	9.6	mA
Input Voltage	$V_{IN(ON)}$	5	All	$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 1.0\text{ A}$	—	2.0	V
			ULN2064B/LB	$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 1.25\text{ A}$	—	2.5	V
			ULN2065B/LB	$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 1.5\text{ A}$	—	2.5	V
Turn-On Delay	t_{PLH}	—	All	$0.5 E_{in}$ to $0.5 E_{out}$	—	1.0	μs
Turn-Off Delay	t_{PHL}	—	All	$0.5 E_{in}$ to $0.5 E_{out}$	—	1.5	μs
Clamp Diode Leakage Current	I_R	6	ULN2064B/LB	$V_R = 50\text{ V}$	—	50	μA
				$V_R = 50\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}$	—	100	μA
			ULN2065B/LB	$V_R = 80\text{ V}$	—	50	μA
				$V_R = 80\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}$	—	100	μA
Clamp Diode Forward Voltage	V_F	7	All	$I_F = 1.0\text{ A}$	—	1.75	V
				$I_F = 1.5\text{ A}$	—	2.0	V

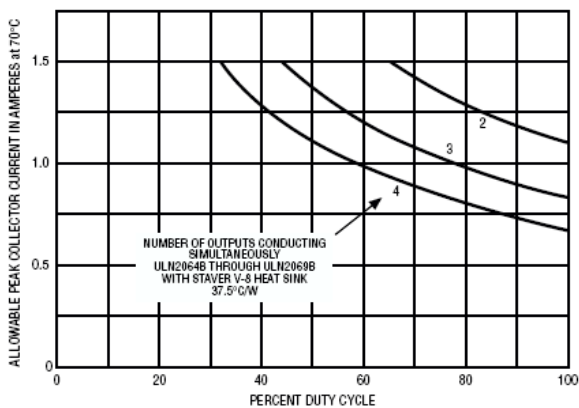
2064 THRU 2069
QUAD 1.5 A DARLINGTON
SWITCHES

PEAK COLLECTOR CURRENT AS A FUNCTION OF DUTY CYCLE
(Dual in-line packaged devices)

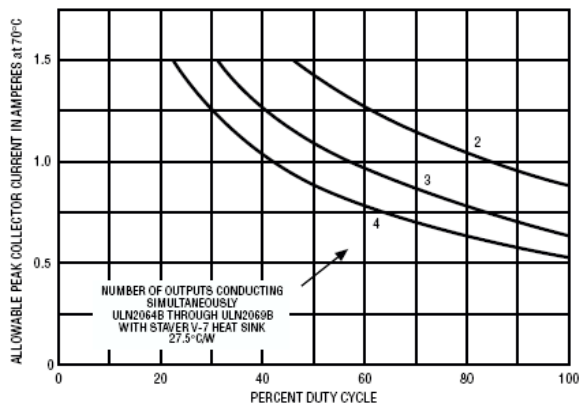


2064 THRU 2069
QUAD 1.5 A DARLINGTON
SWITCHES

PEAK COLLECTOR CURRENT AS A FUNCTION OF DUTY CYCLE
 (Dual in-line packaged devices)

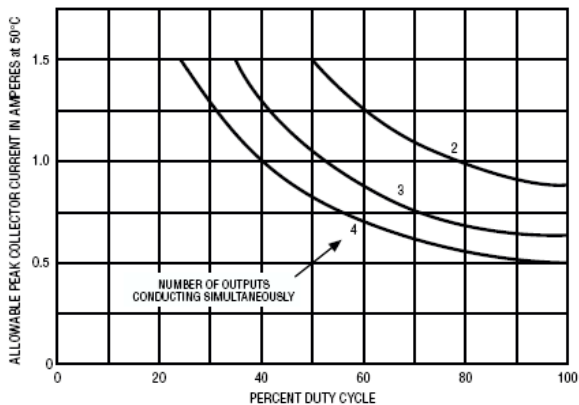


Dwg. No. A-10,399C

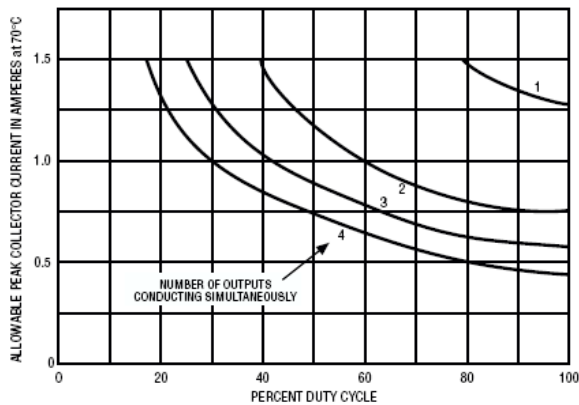


Dwg. No. A-10,401C

PEAK COLLECTOR CURRENT AS A FUNCTION OF DUTY CYCLE
 (SOIC packaged devices)



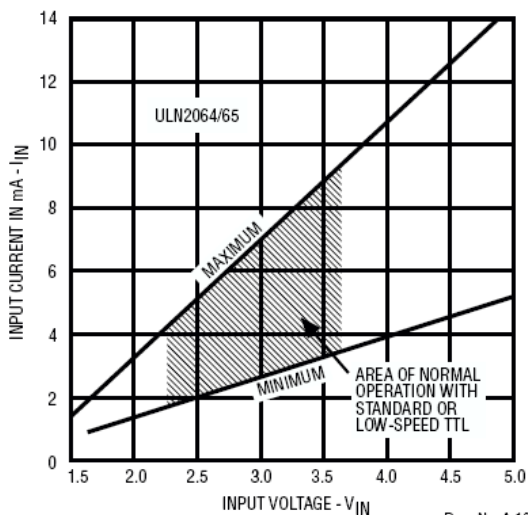
Dwg. GP-045



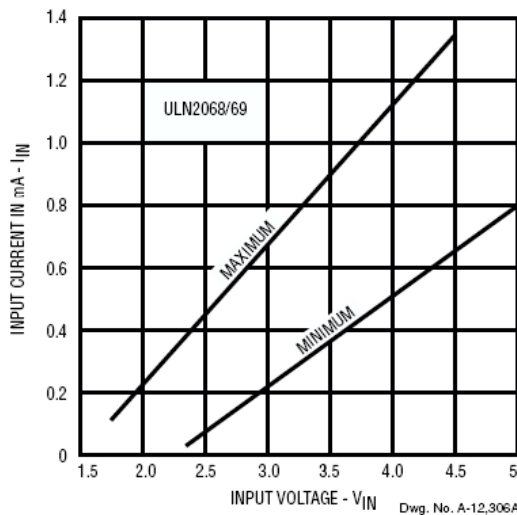
Dwg. GP-045-1

2064 THRU 2069
QUAD 1.5 A DARLINGTON
SWITCHES

INPUT CURRENT AS A FUNCTION OF INPUT VOLTAGE AT +25°C

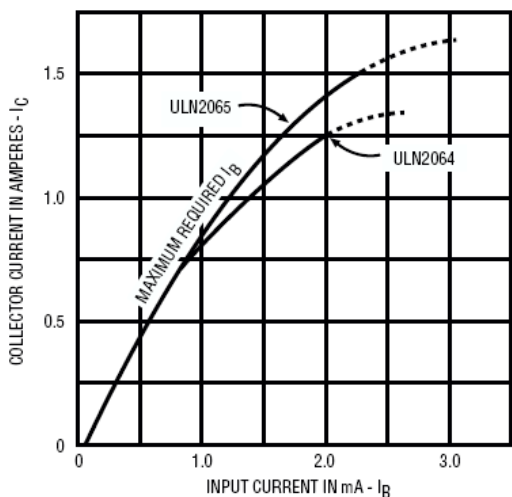


Dwg. No. A-10,363C

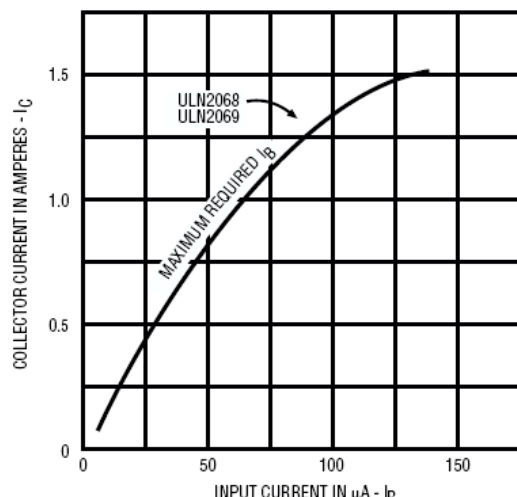


Dwg. No. A-12,306A

COLLECTOR CURRENT AS A FUNCTION OF INPUT CURRENT AT +25°C



Dwg. No. A-10,358C



Dwg. No. A-12,305A

