

Universidad Carlos III De Madrid



Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y
Automática

Trabajo Fin de Grado

Mejora de las capacidades de un robot mini-humanoide de
subida y bajada de escaleras.

Proyecto dirigido por:

Félix Rodríguez Cañadillas

Proyecto tutorado por:

Alberto Jardón Huete

Proyecto realizado por:

Wilmer Oswaldo Cárdenas Pilatuña

Leganés, Madrid
Septiembre 2014





UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

El tribunal aprueba el trabajo fin de grado titulado “Mejoras de las capacidades de un robot mini humanoide de subida y bajada de escaleras”
realizado por Wilmer Oswaldo Cárdenas Pilatuña

Fecha: Septiembre 2014

Tribunal:

Presidente: Pleite Guerra Jorge

Secretario: Castro González Álvaro

Vocal: Barbero Liñan Maria



Resumen

En esta memoria se presenta el desarrollo de las mejoras de las capacidades de un robot mini humanoide de subida y bajada de escaleras.

El proyecto está realizado con el objetivo de concursar en la Prueba de escaleras de CEABOT que es una competición de robótica donde los alumnos de distintas universidades miden las capacidades de sus robots en diferentes desafíos. La Asociación de Robótica de la Universidad Carlos III de Madrid con el apoyo del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática propone este proyecto con el fin de alcanzar los mejores resultados en la competición, además de permitir al alumno ampliar sus conocimientos sobre robótica.

Las mejoras de las capacidades del robot se han realizado mediante tres modificaciones que son: implementar sensores más precisos, aumentar el equilibrio y la autonomía del robot mediante el incremento del número de baterías y el diseño de nuevos soportes para las mismas, cambiar el controlador del robot por otro con mayor capacidad de conexión de sensores y mayor velocidad de procesamiento.

Los sensores utilizados son de un modelo desarrollado en el proyecto “Diseño y desarrollo de sistema anticolidión con sensores de proximidad sin contacto” realizado por compañeros de la Universidad Carlos III. Para su correcto funcionamiento ha sido necesario soldar cables que facilitan su conexión al controlador, además hubo que programar una señal PWM mediante una placa Arduino Uno, para que el sensor pueda emitir y captar la señal de infrarrojos. Una vez que el sensor estuvo operativo el último paso fue calibrarlo para que la información captada sea fiable.

El mayor número de baterías supone un aumento de la autonomía del humanoide, para poder acoplarlas al robot se diseñaron nuevos compartimentos que se colocaron estratégicamente para mejorar la estabilidad del robot y así disminuir el riesgo de caídas. Estos compartimentos fueron modelados con la ayuda de un software de diseño y fabricados con impresoras 3D.

Para elegir el controlador encargado de los movimientos del robot se realizó un estudio de las diferentes placas que se encuentran en el mercado, después de una comparativa entre los distintos modelos se escogió la placa CM9.04-B debido a que presenta salidas TTL que son las indicadas para la conexión de los servos del robot, otro factor importante es que posee varios pines de entrada para la lectura de sensores de una amplia gama.

Al finalizar el proyecto el robot fue capaz de realizar de manera satisfactoria la tarea de subida y bajada de escalones.





Dedicatoria

En memoria de Sara Patricia Cárdenas Pilatuña, hermana, amiga, protectora. Ángel.

Nuestro sueño se ha hecho realidad.



Agradecimientos

A mi querida madre, cuyo amor incondicional ha sido el combustible que mantuvo en marcha mi espíritu en la lucha por alcanzar esta meta. Gracias a sus consejos, su sabiduría y su infinita paciencia que día a día me sirvieron para mejorar como persona y ahora como profesional. Todo lo que soy se lo debo a ella.

A mis hermanos, que a pesar de no ser responsabilidad suya, volcaron en mí todo su apoyo tanto emocional como material.

A mis compañeros. El camino recorrido en esta aventura ha sido más agradable gracias a su compañía, tanto en las largas horas de trabajo como en los momentos de relajación. Mención especial para Jonathan y Arlin, conocerlos ha sido lo mejor que me ha pasado durante el transcurso de la titulación.

A mis amigos, que siempre han estado a mi lado desde que éramos solo unos niños en un país desconocido.

A mi tutor Félix Rodríguez, por ayudarme en el último tramo de mi carrera.

A la Asociación de Robótica de la Universidad Carlos III de Madrid, que me ha proporcionado todo lo necesario para llevar a cabo el proyecto final.





ÍNDICE GENERAL

1.	Introducción	- 1 -
1.1	Descripción General	- 2 -
2.	Objetivos Generales	- 3 -
2.1	Determinar el circuito de detección de escaleras.....	- 3 -
2.2	Diseñar nuevas bases de apoyo	- 3 -
2.3	Implementar el circuito.....	- 4 -
2.4	Programar el algoritmo de funcionamiento del robot.....	- 4 -
2.5	Analizar la estabilidad del robot.....	- 4 -
2.6	Competir en la prueba de escaleras.....	- 4 -
3.	Estado del Arte	- 6 -
4.	CEABOT.....	- 14 -
4.1	Carrera de obstáculos	- 15 -
4.2	Prueba de lucha.....	- 15 -
4.3	Prueba de Escaleras	- 16 -
5.	Descripción del hardware del sistema propuesto.....	- 19 -
5.1	Descripción y alternativas del robot mini humanoide	- 19 -
5.1.1	Descripción general.....	- 20 -
5.1.2	Alternativas	- 20 -
5.1.3	Plataforma utilizada	- 23 -
5.2	Placas controladoras	- 23 -
5.2.1	Controlador CM-510.....	- 24 -
5.2.2	Arduino Mega 2560.....	- 25 -
5.2.3	Arduino Uno	- 26 -
5.2.4	Controlador CM-900.....	- 26 -
5.2.5	Controlador CM9.04-B	- 29 -
5.3	Sensores	- 30 -
5.3.1	Sensor de Infrarrojos.....	- 30 -
5.3.2	Descripción del circuito sensor utilizado.....	- 33 -
5.4	Baterías.....	- 38 -
5.4.1	Parámetros característicos.....	- 39 -



5.4.2	Selección del tipo de batería	- 40 -
5.4.3	Alternativas	- 41 -
5.4.4	Batería utilizada.....	- 42 -
5.5	Bases del robot.....	- 42 -
5.6	Conexión de las placas	- 45 -
6	Descripción del software de control del sistema	- 47 -
6.1	Obtención de la PWM requerida en el funcionamiento del sensor.....	- 50 -
6.2	Implementación de los movimientos del robot.....	- 52 -
7	Análisis cinemático del robot	- 58 -
7.1	Centros de masas	- 58 -
7.2	Centro de gravedad.....	- 60 -
7.3	Conclusiones del estudio de los centro de gravedad.....	- 63 -
8	Presupuesto	- 64 -
9	Conclusiones y trabajos futuros.....	- 65 -
9.1	Conclusiones.....	- 65 -
9.2	Trabajos futuros	- 67 -
10	Referencias.....	- 68 -
ANEXOS	- 70 -



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Robot subiendo escalones.	- 5 -
Figura 2: <i>Prueba de movimientos humanos de subida de escaleras</i>	- 7 -
Figura 3: <i>Movimientos del robot bípedo</i>	- 7 -
Figura 4: <i>Sensores de detección de movimiento</i>	- 8 -
Figura 5: Figura PWAR2 subiendo escaleras	- 9 -
Figura 6: Figura Modelado de entorno en 3D.....	- 11 -
Figura 7: Vista de la cámara incorporada al robot.....	- 13 -
Figura 8: <i>Robot realizando la prueba de obstáculos</i>	- 15 -
Figura 9: <i>Robots realizando la prueba de sumo</i>	- 16 -
Figura 10: <i>Robot realizando la prueba de escaleras</i>	- 16 -
Figura 11: <i>Esquema de las escaleras</i>	- 17 -
Figura 12: <i>Kit de robot Bioloid</i>	- 21 -
Figura 13: <i>Kit de robot Robonova 1</i>	- 21 -
Figura 14: <i>Robot KT-X Gladiator</i>	- 22 -
Figura 15: <i>Robot Kondo KHR-3HV</i>	- 23 -
Figura 16: <i>Robot Bioloid Premium</i>	- 23 -
Figura 17: Controlador CM-510.....	- 24 -
Figura 18: <i>Placa Arduino Mega 2560</i>	- 26 -
Figura 19: <i>Placa Arduino Uno</i>	- 26 -
Figura 20: Servo Dynamixel con conexión TTL de 3 pines.....	- 27 -
Figura 21: <i>Placa CM900</i>	- 28 -
Figura 22: <i>Placa CM9.04-B</i>	- 29 -
Figura 23: Adaptador de seis puertos TTL.....	- 30 -
Figura 24: <i>Sensor infrarrojo</i>	- 31 -
Figura 25: <i>Sensor infrarrojo Sharp GP2D12</i>	- 32 -
Figura 26: <i>Sensor infrarrojo modulado</i>	- 32 -
Figura 27: <i>Sensor HSDL-9100</i>	- 33 -
Figura 28 Figura Esquema del sensor.....	- 34 -
Figura 29: <i>Esquema eléctrico del APDS 9700</i>	- 35 -
Figura 30: Esquema de entradas y salidas del APDS-9700.....	- 36 -
Figura 31: Esquema completo del circuito acondicionador.....	- 37 -
Figura 32: <i>Sensor infrarrojo con circuito acondicionador</i>	- 37 -
Figura 33: <i>Gráfica de medidas tomadas por el circuito sensor</i>	- 38 -
Figura 34: Batería PA-L27	- 41 -
Figura 35: Batería OEM	- 41 -
Figura 36: Batería Pcy/jhy/oem.....	- 41 -
Figura 37: Batería Yuntong.....	- 42 -
Figura 38: Bases sin modificar del robot.....	- 42 -
Figura 39: Bases modificadas del robot	- 44 -



Figura 40 Montaje del soporte de las baterías	- 44 -
Figura 41 Montaje de los sensores	- 44 -
Figura 42: Pines utilizados de la placa CM9.04-B.....	- 45 -
Figura 43: Pines utilizados de la placa CM900	- 45 -
Figura 44: Conexión entre las placas CM9.04-B y Arduino UNO.....	- 46 -
Figura 45: <i>Flujograma del sistema de control</i>	- 47 -
Figura 46: Detección del escalón de subida	- 48 -
Figura 47: Esquema de posicionamiento de los sensores.....	- 49 -
Figura 48: Detección del escalón de bajada.....	- 49 -
Figura 49: Figura Código de obtención de señal PWM	- 52 -
Figura 50: Robo Plus Motion	- 53 -
Figura 51: Lectura de la posición de los servos.....	- 54 -
Figura 52: Interfaz de software CM9.04-B	- 55 -
Figura 53: Configuración del programa.....	- 55 -
Figura 54: Código de lectura de servos	- 56 -
Figura 55 Lectura 1 de la posición del robot	- 56 -
Figura 56: Lectura 2 de la posición del robot	- 57 -
Figura 57: Medidas del servo AX-12 vertical.....	- 58 -
Figura 58: Medidas del servo AX-12 horizontal	- 58 -
Figura 59: Medidas de la batería Yuntong	- 59 -



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Puntuación de la prueba	- 17 -
Tabla 2: Características eléctricas del HDSL-9100.....	- 34 -
Tabla 3 Centros de masas del robot en posición recta.....	- 60 -
Tabla 4: Centros de masas del robot en posición sentado.....	- 61 -
Tabla 5: Centros de masas del robot en posición pie derecho levantado	- 62 -
Tabla 6: Desglose de fases.....	- 72 -
Tabla 7: Lista de componentes y dispositivos.....	- 73 -
Tabla 8: Costes del plástico	- 74 -
Tabla 9: Coste total de materiales y dispositivos.....	- 74 -
Tabla 10: Gastos de mano de obra.....	- 75 -
Tabla 11: Gasto total del proyecto.....	- 75 -



1. Introducción

La Asociación de Robótica de la Universidad Carlos III de Madrid [1] lleva a cabo desde hace varios años proyectos relacionados con la robótica humanoide, permitiendo que los alumnos se familiaricen desde su etapa universitaria con los distintos tipos de robots que se pueden encontrar en el mercado. Con el apoyo del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, la asociación propone y dirige estos trabajos, que están enfocados en el estudio y desarrollo de habilidades realizadas con pequeños humanoides, permitiendo que los alumnos conozcan y desarrollen dichas competencias. Además se mide la calidad y eficacia de los proyectos en distintas competiciones nacionales e internacionales.

Una de las áreas a la que se le da especial importancia es la interacción del robot con el entorno mediante la utilización de sensores que le permitan reconocer el lugar en el que está trabajando, para de este modo dotar al robot de autonomía a la hora de tomar decisiones y de paso mejorar la precisión en las acciones que realiza.

Para poder reconocer el entorno hay varios tipos de sensores que dependiendo de su topología aportan diferente información, desde sensores infrarrojos que miden la distancia entre los objetos, encoders con los que se determina el movimiento de un motor, sensores de todo o nada que determinan si el robot está en contacto con algún objeto, etc.

La extensa gama de sensores permiten al investigador tener varias posibilidades de resolver un problema de reconocimiento del entorno. Sin embargo, los sensores con los que vienen provistos los robots mini humanoides suelen tener poca capacidad de detección, por lo que para algunas actividades que requieren un alto nivel de exactitud en las medidas, presentan demasiadas limitaciones en la precisión del reconocimiento.

Mediante este proyecto se pretende mejorar la tarea de subida y bajada de escaleras con un robot mini humanoide, el cual está provisto de sus propios sensores, pero que no son suficientes para llevar a cabo dicha acción con la mayor precisión posible. Para solventar los problemas que presentan las limitaciones de los sensores del robot, necesitamos instalar sensores externos que mejoren la capacidad de detección del entorno. Es necesario el uso de más de un componente, lo que representa un problema a la hora de optimizar el espacio en el reducido tamaño del robot. Es por ello que son necesarios distintos estudios que determinen la mejor manera de acondicionar el sistema de reconocimiento del entorno del robot.

El proyecto que a continuación se detalla es una continuación de los numerosos estudios que se realizan para mejorar las capacidades de un mini humanoide. En este caso lo que se pretende es mejorar los circuitos de detección de obstáculos,



incrementando la precisión y disminuyendo el tamaño del circuito. También se pretende mejorar las capacidades motoras del mini humanoide, mediante el perfeccionamiento del código de programación que controla el robot y que determina los movimientos que realiza para subir y bajar escaleras.

Este proyecto es una etapa más en el proceso de perfeccionamiento de la robótica, el reconocimiento del entorno es un área muy grande y de gran interés en el campo de robótica, en el cual siempre podremos avanzar hasta conseguir un sistema más completo, pero teniendo en cuenta las limitaciones de recursos y procesamiento abordo un robot mini humanoide.

1.1 Descripción General

En este proyecto se pretende mejorar las capacidades de un robot mini humanoide que ha sido previamente diseñado, montado y programado, el cual ha de ser capaz de realizar la tarea de subir y bajar escaleras. Se presta principal atención a la detección de los escalones, para que el robot sea capaz de subirlos o bajarlos por sí solo.

El robot tiene que ser capaz de dirigirse hacia las escaleras y detectarlas para proceder a subir a través de ellas. Para una correcta subida, es necesario que las dos bases de apoyo del robot se coloquen en paralelo con el escalón para evitar tropiezos, por ello se han colocado dos sensores en cada base, con los que conseguimos detectar la distancia exacta a la que se encuentra cada extremidad, permitiéndonos de este modo alinearlos si es necesario para adoptar la posición y distancia correctas.

Una vez que se ha alcanzado la cima de las escaleras se tiene que proceder a descender, el procedimiento es similar al de subida, pero en este caso el robot se sirve de otros dos sensores colocados en la parte inferior de cada base de apoyo, con los que detecta el vacío que hay en el suelo debido al escalón de bajada.

En total han sido colocados cuatro sensores de detección, dos en cada pie, uno en la parte frontal y otro en la parte inferior. Los sensores frontales son de distancia, mientras que los inferiores son de todo o nada.

El fin de las mejoras es que el humanoide realice la tarea en el menor tiempo posible y evite fallos como caídas, roces con el suelo o trayectorias equivocadas.

Todos los adelantos conseguidos mediante este proyecto van a ser posteriormente evaluados en campeonatos de robótica humanoide, donde tendrá que rivalizar con proyectos de otras universidades. De este modo conseguimos saber si el proyecto se ha desarrollado de manera correcta a la vez que conocemos las soluciones propuestas por los demás participantes, permitiéndonos aprender de los recursos empleados por los demás grupos de investigación.



2. Objetivos Generales

El proyecto está pensado para competir en CEABOT en el “VII Concurso de Robots Humanoides”, cuyo objetivo es exhibir las capacidades que presentan los distintos humanoides. Dichas habilidades se ponen de manifiesto en las diferentes pruebas propuestas en el concurso, estas pruebas son subida y bajada de escaleras, evitar obstáculos y sumo.

Para poder alcanzar las mejoras deseadas, vamos a realizar varios estudios sobre los sensores que nos permitan detectar objetos. Además se desarrollará un circuito acondicionador procurando que su tamaño sea lo más reducido posible.

También es necesario diseñar una nueva estructura para las bases de apoyo del robot, ya que vamos a modificar la posición de las baterías, de modo que queden alojadas lo más próximas posible al suelo. Con esto conseguimos un centro de gravedad más bajo, mejorando el equilibrio del robot.

Por último también hay que mejorar el código de programación, utilizando algoritmos que se adapten a las nuevas prestaciones del robot y que permitan desarrollar más rápido las actividades y con el menor número de fallos, tales como caídas o roces con el suelo.

2.1 Determinar el circuito de detección de escaleras

Uno de los aspectos donde hemos puesto mayor interés es en lograr que el robot sea capaz de detectar con la mayor exactitud los escalones desde una distancia considerable y a la vez determine que tan lejos se encuentra de estos, para de este modo saber qué posición debe adoptar y que acción debe realizar, además el robot debe saber en todo momento en que posición se encuentra con respecto a los escalones, ya sea enfrente, arriba o abajo. De este modo el mini humanoide utilizara un algoritmo diferente en caso de que tenga que subir o bajar los escalones, o simplemente ir de frente hasta encontrar un obstáculo que interprete como escalón.

2.2 Diseñar nuevas bases de apoyo

El robot cuenta con dos bases a modo de pies que le dan estabilidad a la hora de estar en posición vertical, además le permiten desplazarse de un lugar a otro. Sin embargo, son demasiado pequeños para alojar el circuito detector de obstáculos.

Para solventar el problema del tamaño de los pies del robot vamos a modificarlos para que además de alojar el circuito localizador, también sirvan para almacenar las baterías que el robot utiliza para ponerse en funcionamiento.



En el diseño hay que tener cuidado de no sobrepasar las medidas exigidas por el reglamento de la competición, ya que esto acarrearía varios contratiempos, desde la penalización con la retirada de puntos hasta la descalificación.

2.3 Implementar el circuito

Una vez que se ha determinado el circuito que se va a utilizar para detectar los obstáculos hay que comprobar que funciona adecuadamente y que las medidas obtenidas son correctas para poder adherirlo al robot y que de este modo este pueda hacer uso de los sensores.

Cuando el circuito esté listo se procederá a implementarlo en el robot, para ello se debe estudiar la mejor forma de hacerlo, teniendo en cuenta la posición del sensor, la distancia con respecto al extremo de la base de apoyo, etc.

2.4 Programar el algoritmo de funcionamiento del robot

Después de haber implementado los circuitos en los nuevos compartimentos, se procede a programar el robot con un algoritmo que permita optimizar el tiempo de desplazamiento así como el de subida y bajada de escalones. Además hay que tener en cuenta las modificaciones realizadas en los pies del robot, ya que los cambios realizados influyen de forma directa en la locomoción que es controlada mediante los códigos de programación.

2.5 Analizar la estabilidad del robot

Con las mejoras realizadas es necesario comprobar que los objetivos de aumentar el equilibrio del autómatas se han cumplido. Para ello hay que hacer un estudio de la cinemática del autómatas mediante cálculos de los centros de gravedad.

El robot va a tener que realizar diferentes movimientos, por lo que el equilibrio se verá comprometido en las diferentes fases del proceso de subida de escaleras. Por eso se realizan medidas de los centros de gravedad de cada servo en diferentes posturas, primero sin los cambios en la estructura (mejoras en las bases de apoyo) y después con las mejoras incorporadas, de este modo se puede hacer una comparativa entre las dos configuraciones para saber cuál aporta mayor estabilidad.

2.6 Competir en la prueba de escaleras

El principal objetivo del proyecto es conseguir que el robot sea capaz de superar la prueba de Escaleras con la mayor puntuación posible. Para ello debemos hacer uso de todas las mejoras propuestas, de tal modo que el robot tome las mejores decisiones según el obstáculo que se le presente, con esto se consigue que se optimice el tiempo



que el robot tarda en realizar cada acción a la vez que se evita fallos como caídas, roces con el suelo o trayectorias equivocadas.



Figura 1: Robot subiendo escalones.



3. Estado del Arte

Los robots humanoides tienen mayor movilidad que los robots con ruedas convencionales, pero presentan un problema y es que su estabilidad es muy baja por lo que tienden a caer fácilmente, lo que constituye un problema grave a la hora de desplazarse por entornos irregulares.

Estos robots presentan una mejor capacidad de adaptación al terreno. Sin embargo, el diseño y la construcción de robots de constitución antropomórfica pueden llegar a ser complicados. Por esta razón desde hace varios años se están realizando distintas investigaciones en todo el mundo.

Recientemente, el desarrollo de robots bípedos, tales como los humanoides permite que el robot no sólo se mueva en un mundo en dos dimensiones, sino también puede cambiar su elevación, por ejemplo, es posible cambiar su postura de estar sentado o acostado y luego levantarse, o dar un paso arriba y abajo de las escaleras u obstáculos planos.

Actualmente se están realizando numerosos estudios sobre cómo debe abordar un robot humanoide la tarea de subir y bajar escaleras, los cuales abren un amplio abanico para la mejora de un robot mini humanoide a la hora de realizar esta tarea.

Se puede enfocar la solución de esta tarea desde varias perspectivas, tanto atendiendo a las necesidades del sistema hardware como enfocándose en el software encargado de controlar los movimientos. También se puede dar prioridad al estudio del entorno de trabajo del robot ya que se puede ser previamente preparado siguiendo las pautas específicas para los movimientos del autómatas o totalmente desconocido.

Como se explicó anteriormente uno de los aspectos importantes para conseguir una buena movilidad con un robot es el sistema software, mediante el cual se desarrollan los movimientos a realizar por la máquina, es decir, mediante el equipamiento de un buen sistema software y su correcta programación se puede conseguir un algoritmo bastante complejo como para lograr que el robot se mueva de forma autónoma sobre cualquier terreno. Para alcanzar un alto nivel con el sistema software se han realizado proyectos dirigidos específicamente al estudio de los movimientos que debe realizar un robot para subir y bajar escaleras.

Uno de estos proyectos es el que se describe en el artículo del estudio de los movimientos de un robot bípedo [2]. En este ensayo se presenta un enfoque para el desarrollo de técnicas de control de robots bípedos con múltiples comportamientos de locomoción. La comprensión de los comportamientos fundamentales de locomoción humana se obtiene a través del análisis de los datos experimentales de los movimientos

que usan los humanos para caminar en terreno plano, de subida y de bajada. Concretamente, se muestra que ciertos movimientos, independientemente del terreno se pueden caracterizar por una sola función denominada “función canónica extendida”.



Figura 2: Prueba de movimientos humanos de subida de escaleras

Cuando el robot debe moverse en un entorno previamente conocido, el estudio puede centrarse únicamente en el desarrollo de movimientos que permitan a la máquina desplazarse por el entorno cuyos obstáculos están predeterminados. Para estos casos hay estudios para la realización de los movimientos básicos que realiza un robot al moverse en el entorno como es el caso del proyecto presentado en el artículo [3]. En este trabajo se estudia los movimientos que un robot humanoide debe realizar para caminar de forma estable en diferentes entornos, como en terrenos difíciles, en pendientes tanto de subida como de bajada, para ello el robot debe mantener la estabilidad mediante el movimiento del torso. Cuando se cumplen las condiciones del terreno y de restricción de estabilidad, es preciso seleccionar un patrón de marcha que requiere un pequeño par de torsión y la velocidad de los actuadores al mismo tiempo.

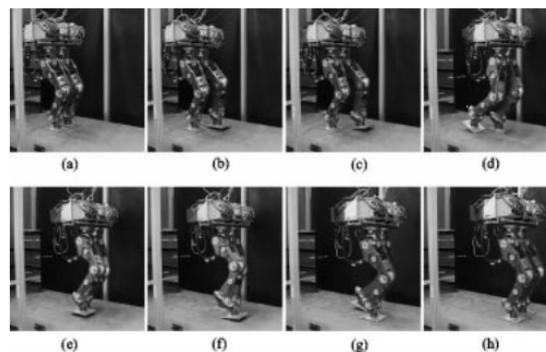


Figura 3: Movimientos del robot bípedo

Se presenta dos tipos de estudios: el primero es una extensión del estudio realizado en el artículo [4], en el que el autor presenta un método para obtener de forma automática los controladores robóticos, a través de una optimización de un conjunto de

datos de la marcha humana. Aquí se demuestra que un aumento de la optimización puede ser aplicado con éxito a múltiples modos de locomoción. En concreto, la técnica presentada produce controladores de locomoción del robot para caminar en terreno plano, tanto de subida como de bajada. El segundo estudio es un método de obtención de controladores que permiten que el robot pueda cambiar de un modo de locomoción a otro, es decir, los controladores producen modos de transición entre caminar sobre terreno plano y subir escaleras. La combinación de estos dos estudios es una colección de controladores, obtenida automáticamente de las optimizaciones basadas en datos humanos, que forman un sistema continuo multi-modal.

También se destaca un esquema de clasificación para sistemas híbridos, el sistema metahybrid, en el que se hace una distinción entre los nodos principales y auxiliares de locomoción, que se denominan primitivas de movimiento y transiciones de movimiento, respectivamente.

Las primitivas de movimiento son los modos principales y auxiliares de locomoción, que en este caso son: caminar en terreno plano, subir escaleras y bajar escaleras. Para cambiar entre los diferentes movimientos, están los modos auxiliares denominados transiciones de movimiento.

Finalmente implementando la función canónica extendida a través de linealización por realimentación, se consigue que el humanoide tenga una locomoción estable con las primitivas de movimientos. Las transiciones de movimientos se utilizan para realizar simulaciones con composición de múltiples primitivas, por ejemplo se puede hacer que un robot ascienda y luego descienda una escalera.

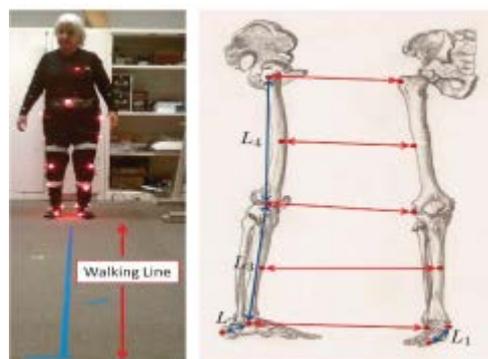


Figura 4: Sensores de detección de movimiento

Otro de los estudios realizados con el fin de abordar escaleras es el que se describe en [5]. En donde se trabaja con el prototipo de robot bípedo caminante llamado PWAR2 (Electropneumatic Walking Robot), que ha sido diseñado y construido en LARM (Laboratory of Robotics and Mechatronics) en Cassino. Además de contar con las capacidades de su modelo anterior el EP-WAR este nuevo modelo es capaz de subir escaleras debido a un nuevo sistema de actuación. Una programación adecuada del

controlador lógico programable se ha basado en varias subrutinas, que ejecutan diferentes movimientos para caminar y, específicamente, para subir escaleras. Las pruebas experimentales demuestran la validez de la propuesta de diseño de bajo costo y la técnica de programación.

Se ha dividido el movimiento de caminar en dos pasos, con el pie derecho e izquierdo de este modo se satisface tanto las situaciones en las que el número de pasos es par o impar y la posición de partida del robot presenta pie derecho o izquierdo hacia adelante. Las secuencias de acciones elementales se programan mediante el uso de diagramas Grafcet.



Figura 5: Figura PWAR2 subiendo escaleras

El algoritmo que se sigue para generar un movimiento estable del robot es el que se propone en proyecto [6], donde se realiza una optimización de la energía mediante el estudio de los momentos. Mientras que para superar los obstáculos y además evitar fallos cuando se detiene el robot o se cambia de trayectoria se propone que la mejor manera posible de hacerlo es siguiendo las pautas propuestas en el proyecto [7]. En este trabajo, se analizan en profundidad la trayectoria básica para subir escaleras y sus acciones primarias para poder demostrar que un diseño de bajo costo con una técnica adecuada de programación permite obtener una buena maniobrabilidad del robot, dando como resultado un buen rendimiento.

Los resultados experimentales han demostrado que el diseño de bajo costo y la propuesta técnica de programación son viables. Se ha obtenido buenos resultados ya que el robot ha sido capaz de caminar de manera antropomórfica con gran flexibilidad debido a la utilización de subrutinas que pueden ser llamadas por el mismo programa principal. Además, mediante el sistema de accionamiento binario se consigue el control sobre el entorno aplicable a muchas otras máquinas automáticas.



Los trabajos anteriormente descritos están dirigidos a estudiar los movimientos del robot para realizar una buena locomoción. Sin embargo, no tienen en cuenta la variabilidad del entorno ni la automatización del robot, es decir, se consigue que la máquina realice los movimientos pero siguiendo una secuencia, lo cual en caso de un entorno desconocido o irregular sería insuficiente. Para poder ser capaces de conseguir que el robot se pueda mover en un entorno desconocido de forma totalmente autónoma es necesario dotar al humanoide con sensores que le permitan detectar el entorno para así poder realizar una toma de decisiones para aplicar los movimientos previamente programados.

Hay varios estudios que han conseguido que el robot sea capaz de detectar las escaleras y abordarlas correctamente un ejemplo es el artículo [8], donde para abordar esta tarea se propone un esquema de control autónomo para el robot humanoide a través del control de la fuerza aplicada a cada articulación mediante un sensor de fuerza y un acelerómetro.

La estabilización del movimiento del robot se consigue siguiendo las pautas del Teorema del Momento Cero, en donde se representa el punto en el que la fuerza de reacción entre la base del pie y el suelo no produce ningún momento en la dirección horizontal, es decir, el punto en el que el total de vertical de inercia y las fuerzas de gravedad es igual a cero. Para poder aplicar este teorema el área de contacto entre el suelo y el robot debe de ser completamente plana y lo suficientemente rugosa para evitar deslizamientos.

Por tanto, mediante una combinación del Teorema del Momento y los sensores de aceleración se puede determinar la posición de los miembros inferiores del robot, para de este modo poder realizar los movimientos que se consideren necesarios.

Con esta manera de controlar el robot se puede llegar a cumplir la meta propuesta incluso con escalones de diferente altura, sin embargo, depende de que la escalera sea conocida ya que no se realiza una detección de la posición de los escalones.

Otra forma de realizar esta tarea es la que se muestra en el artículo [9]. Este proyecto está dirigido a la investigación de los métodos que puede utilizar un robot humanoide con capacidades de detección 3D para captar escaleras en entornos complejos y realizar con estos datos un modelo 3D. Basándose en datos de rango láser 3D que tienen por objeto la extracción de planos correspondientes a las escaleras de la nube de puntos 3D para reconstruir un modelo de la escalera. El modelo realizado debe de ser lo suficientemente preciso para permitir que el robot sea capaz de subir las escaleras de manera óptima. Para ello se evalúan dos enfoques distintos; el primer enfoque es una agrupación scan-line en donde se extrae inicialmente segmentos de línea de las líneas de exploración 2D vecinos, que se combinan sucesivamente si se

encuentran en el mismo plano. El segundo enfoque es un muestreo aleatorio de dos puntos en el que se estiman las direcciones principales en el entorno mediante un muestreo aleatorio de puntos y se aplica una técnica de agrupación después de encontrar planos ortogonales a las direcciones principales.

Ambas técnicas conducen a modelos 3D precisos a pesar de los datos de ruido del sensor, un alto nivel de caras y el desorden en el entorno. El modelo de escalera aprendido es ligeramente más preciso que el muestreo aleatorio de dos puntos, por esta razón se utiliza este enfoque en la práctica.

Para aumentar la robustez en entornos complejos que pueden contener un gran número de diferentes planos se aplica una técnica de agrupación para encontrar segmentos de líneas que son ortogonales a las direcciones principales. Se propone cuatro modificaciones de este método de muestreo.

Los experimentos llevados a cabo con un humanoide Nao equipado con láser han servido para evaluar todos los métodos que utilizan los datos obtenidos con una Nao robot equipado con láser en un entorno multi-nivel.

Finalmente los resultados obtenidos demuestran que los modelos 3D pueden servir para subir escaleras, incluso de estructura completa, de forma totalmente autónoma. Aunque se estudie principalmente los datos obtenidos por la inclinación de un láser 2D, todos los métodos son lo suficientemente generales para ser aplicables a otros sensores 3D o profundidad que en la actualidad están cada vez más disponibles.



Figura 6: Figura Modelado de entorno en 3D

Existen otros estudios que utilizan detección del entorno para localizar la escalera, su tamaño, altura y demás características relevantes. Por ejemplo continuando con el estudio planteado en [9], se desarrolla el proyecto [10], donde se plantea la utilización de un sistema de visión apoyado por un láser para la detección de los escalones.



En este artículo se presenta un enfoque para permitir que un robot humanoide suba de forma autónoma por escaleras de caracol.

Esta tarea es mucho más difícil que subir escaleras rectas ya que se necesita reposicionamiento cuidadoso. Este sistema estima globalmente la postura del robot, que posteriormente se perfecciona mediante la integración de las observaciones visuales. De esta manera, el robot puede determinar con precisión su posición relativa con respecto al siguiente paso. Utilizando un modelo 3D de los bordes correspondientes a los contornos de escalera en imágenes de la cámara monocular. Mediante la detección de bordes en las imágenes y la asociación a las aristas del modelo proyectado, el robot es capaz de localizar con precisión las escaleras para poder subirlas.

En ésta publicación se presentan los experimentos llevados a cabo con un humanoide Nao, equipado con un telémetro láser 2D para la localización global y una cámara monocular de bajo costo para la detección de corto alcance. En los experimentos realizados el robot sube de manera fiable por los escalones de una escalera de caracol.

Para el cumplimiento de tareas de alto nivel, tales como la entrega o ayuda a domicilio, un robot debe ser capaz de funcionar de forma autónoma en entornos del mundo real y de forma robusta navegar en entornos interiores complejos. Esto incluye entornos de varios niveles que constan de diferentes plantas conectadas por escalones.

La subida de escaleras de manera autónoma con robots humanoides es una tarea difícil, puesto que los humanoides suelen ejecutar comandos de movimiento inexactos. Hay varias razones para esto suceda, por ejemplo, que los humanoides poseen sólo una estimación aproximada de odometría, también puede ser que se deslizen sobre el suelo en función de la fricción del suelo. Además, las medidas captadas por los sensores pequeños y ligeros son inherentemente afectadas por el ruido. Todo esto puede dar lugar a estimaciones con cierta incertidumbre. Sin embargo, para una manera fiable de subir una escalera compleja, el robot necesita plantear un cálculo muy preciso en las escaleras. De lo contrario, podría correr el riesgo de una caída como resultado de caminar en contra del escalón o se deslice saliéndose del borde de la escalera después de subir.

En el artículo [10] se presenta un sistema en el que el robot primero estima en una representación 3D el entorno en donde se va a posar. Durante la acción de subir escaleras, el robot mejora la estimación planteada al detectar bordes en imágenes. Estos bordes observados están asociados con las aristas del modelo que corresponden a los contornos de escaleras individuales previstos. El modelo de bordes se proyectan en la imagen dada la estimación de la posición del robot y el modelo 3D del entorno. El modelo 3D de la escalera puede ser aprendido por segmentación de planos de una nube

de puntos adquiridos por el robot mientras detecta. Sin embargo, el proceso de aprendizaje no se muestra en este artículo.

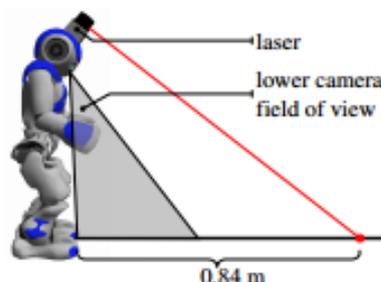


Figura 7: Vista de la cámara incorporada al robot

Hay métodos más sofisticados de detección del entorno, a continuación se describe un sistema que utiliza visión para determinar la posición de las escaleras, es el mostrado en el estudio realizado en [11], en el cual a través de un sistema estereoscópico de visión es capaz de determinar la longitud, posición y tamaño de los escalones que desea subir.

Este artículo muestra métodos para el reconocimiento de las escaleras y una arquitectura que permiten al robot humanoide QRIO subir y bajar con seguridad, el enfoque del entorno se basa en los datos capturados por un sistema de visión que realiza un muestreo del entorno y la segmentación en planos SURFAM.

A partir de los planos segmentados, las escaleras que el robot debe abordar se detectan y envían a un sistema de control que decide la acción a tomar.

. Estos sistemas basados en visión por computador son una buena opción a la hora de desarrollar un sistema de detección de escaleras, aunque con la capacidad de computación del controlador utilizado en este proyecto no es viable la creación de un sistema de este tipo.

Para la navegación totalmente autónoma en un mundo de tres dimensiones, el robot humanoide debe ser capaz de dar un paso hacia arriba o abajo esquivando los escalones y otros obstáculos en una superficie plana donde se puede apoyar los pies del robot.

A la vista de los estudios mostrados anteriormente y de las capacidades de computación de nuestro robot, se ha decidido utilizar una sensorización sencilla basada en sensores infrarrojos, debido a que el robot que se utiliza en este proyecto no tiene suficientes capacidades para desarrollar sistemas de visión, además los motores de este robot no están capacitados para realizar un control fuerza-par.



4. CEABOT

Todas las mejoras realizadas al robot son con el objetivo de concursar en CEABOT que es una competición en donde alumnos de varias universidades prueban las facultades de sus robots mini humanoides mediante la realización de distintas pruebas.

Las pruebas se realizan por equipos de un máximo de tres miembros, cuyo portavoz será el encargado de depositar y poner en marcha el robot durante el desarrollo de las pruebas. El número máximo de robots por equipo será menor o igual al de pruebas que el concurso proponga. Por lo tanto sólo se permite un robot por cada prueba.

Para el buen desarrollo de la competición se han establecido ciertas normas fundamentales que los participantes están obligados a cumplir.

La primera sección del reglamento es la Normativa General [12], que se aplica en cada edición y rige los aspectos comunes. La segunda parte del reglamento es la Normativa Reguladora de las Pruebas la cual se encarga de actualizar las regulaciones según las nuevas pruebas propuestas. Estas reglas pueden ser modificadas según lo estime oportuno la Organización. Los cambios serán notificados con suficiente antelación a los portavoces de los grupos de la competición.

Para hacer efectivas las reglas establecidas, se han designado jueces que son los encargados de decidir tanto en las penalizaciones por infracción como en la asignación de puntuaciones. Estos jueces también tienen la facultad de expulsar a un equipo si consideran que han incumplido gravemente la normativa.

En caso de que el equipo considere injustas las decisiones de los jueces, pueden presentar sus objeciones mediante el portavoz asignado, siendo sólo aceptadas si se presentan antes del inicio de cada prueba.

Para ser aceptados en la competición los humanoides deben cumplir con las reglas establecidas en la Normativa General. Por lo tanto, el robot debe de tener un diseño antropomórfico con una altura máxima de 50 cm, la longitud máxima permitida del pie es de 11 cm y debe tener un peso máximo de 3 Kg.

Además el robot debe caminar o correr a dos patas, por lo que no está permitido el uso de ruedas de ningún tipo.

No está permitido que los concursantes realicen instrucciones una vez que el robot está encendido y puesto en marcha, por lo que es necesario que los humanoides sean totalmente autónomos, para ello deben estar dotados de baterías para la aportación de energía, sensores para captar el entorno, actuadores que realicen las acciones

determinadas por el controlador, además de otros componentes que se consideren necesarios para que el robot sea capaz de tomar sus propias decisiones.

En caso de sufrir averías en uno de los robots, se puede cambiar por otro siempre y cuando esté también inscrito y los jueces den su consentimiento ya que sólo está permitido uno por prueba. Sin embargo, no está permitido realizar cambios en el código de programación pero si se pueden hacer arreglos sencillos en los sensores o servos averiados.

Hay tres pruebas distintas: Carrera de obstáculos, Escaleras y Sumo.

4.1 Carrera de obstáculos

Carrera de obstáculos. Consiste en hacer que el robot cruce un escenario con una trayectoria de ida y vuelta desde un punto de partida previamente establecido. El campo estará provisto de varios obstáculos esparcidos en toda la superficie, por lo que el robot debe ser capaz de detectarlos para así poder esquivarlos evitando tirarlos o desplazarlos de su posición.



Figura 8: Robot realizando la prueba de obstáculos

4.2 Prueba de lucha

Prueba de lucha (Sumo). En este apartado, dos robots de dos equipos diferentes se enfrentan en una lucha dentro del Área de Combate dispuesta específicamente para esta prueba. El escenario consiste en un círculo de color verde de 1.5 m de diámetro delimitado por una línea amarilla de 5 cm de ancho, denominada Área Exterior. Se ejecutarán tres asaltos de dos minutos cada uno, con un descanso de un minuto entre cada asalto. El equipo ganador será el que más combates gane, para ellos debe obtener la mayor puntuación en cada uno.

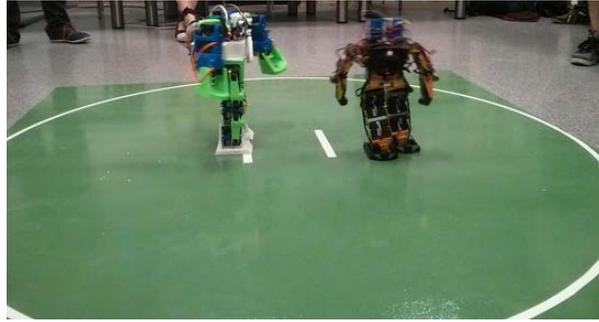


Figura 9: Robots realizando la prueba de sumo

La puntuación final se realizará mediante un reparto porcentual de las diferentes pruebas, de este modo la carrera de obstáculos aporta un 35%, lo mismo que la prueba de la escalera, por otro lado el 30% restante corresponde a la prueba de sumo.

4.3 Prueba de Escaleras

En esta prueba se debe alcanzar la meta del escenario al cual ahora se le ha colocado una escalera. Ahora el robot debe de recorrer la trayectoria sólo de ida, pero en este caso debe de realizar un camino tanto de subida como de bajada a través de los escalones. Para ello los jueces son los encargados de elegir el punto de partida y de llegada, cambiando el sentido de las escaleras si lo estiman oportuno.

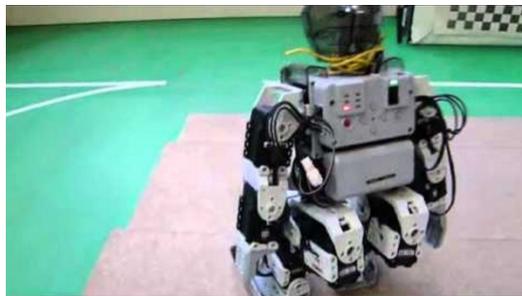


Figura 10: Robot realizando la prueba de escaleras

El presente proyecto está desarrollado para realizar esta prueba, que consiste en la subida y baja de escalones con un robot mini humanoide totalmente automatizado. Para obtener la mayor puntuación se debe recorrer el mayor espacio en el menor tiempo posible, el robot debe de alcanzar la meta caminando, es decir, no se permite ningún tipo de salto ni acrobacias. Es importante que el humanoide supere la prueba sin incidentes como caídas, roces con el suelo o se desviaciones de la trayectoria, por lo que se penaliza cada vez que el portavoz del equipo tenga que realizar una intervención.

La escalera tiene una forma predeterminada, tiene un total de 1.4 m de longitud y 1 m de ancho, los escalones son de 3 cm de altura y de 25 cm, 15 cm y 50 cm. El escalón más grande está colocado en el medio y los demás a los lados como se aprecia en la figura.

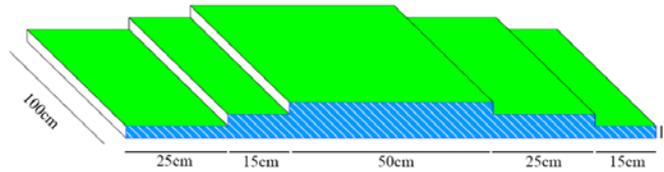


Figura 11: Esquema de las escaleras

El recorrido de la escalera es diferente dependiendo del extremo de partida, por lo tanto los jueces son los encargados de determinar la colocación de la misma, quedando el extremo opuesto de la escalera a 20 cm de la Llegada Parcial.

El tiempo límite de la prueba es de 5 minutos, que se empieza a contabilizar a partir de que el robot se ponga en movimiento, previa pausa de 5 segundos. El cronómetro se para una vez que el humanoide haya cruzado totalmente la línea de llegada.

Los jueces actuarán en caso de que sea necesario aplicar una penalización, hay varios motivos para aplicar las sanciones: si el robot se cae y no puede levantarse solamente los jueces están autorizados para levantar el robot y colocarlo nuevamente en el peldaño del que cayó o en el siguiente si el portavoz del equipo lo considera necesario. Sin embargo, si el robot se cae pero es capaz de levantarse por sí solo no será penalizado.

También conlleva un castigo el roce de una extremidad superior del robot con el suelo, aunque no llegue a caer.

La puntuación final se hará teniendo en cuenta varios factores. Lo primero que se valora es el número de penalizaciones obtenidas a lo largo del recorrido, si dos o varios equipos tienen la misma cantidad de penalizaciones, se tendrá en cuenta el número de escalones superados, en caso de nuevo empate por último se recurre al tiempo de llegada de cada equipo.

Las puntuaciones se muestran en la siguiente tabla:

Posición llegada parcial	Puntos	Nº escalones superados	Puntos
1º	10	1	3
2º	8	2	5
3º	7	3	10
4º	6	4	18
5º	5	5	22
6º	4	6	25
7º	3	-	-
8º	2	-	-
9º	1	-	-

Tabla 1: Puntuación de la prueba



Por lo tanto, en caso de realizar el recorrido de manera perfecta, es decir, se atraviesan los seis escalones sin penalizaciones y en el menor tiempo posible, la puntuación obtenida será la máxima posible, 35 puntos.



5. Descripción del hardware del sistema propuesto

Este proyecto se pretende mejorar las capacidades de subida y bajada de escaleras de un robot mini humanoide, para ello ha sido necesario realizar una serie de cambios y ajustes de los componentes del robot.

La plataforma robótica seleccionada para este trabajo tiene su propia controladora, sin embargo, uno de los primeros cambios realizados fue la sustitución de dicha controladora por otra que permite la conexión de un mayor número de sensores y que además presenta una lectura de datos más rápida.

Otro de los cambios importantes realizados es el aumento del número de baterías, pasando de uno a dos de estos elementos. Este cambio conlleva el diseño de un nuevo espacio de alojamiento de dichas baterías, lo cual fue solucionado fabricando nuevos soportes en las bases del robot.

Para aumentar la precisión de la detección del entorno se ha aumentado también el número de sensores, por lo que el tamaño de estos componentes debía ser lo más reducido posible para poder colocar dos sensores en cada base del robot, de tal modo que un sensor capta los escalones de subida y el otro los de bajada. De este modo tenemos cuatro sensores en total.

Todos los componentes han sido proporcionados por la Asociación de Robótica de la Universidad Carlos III [1]. A continuación se va a realizar una explicación detallada de todos los componentes utilizados en el proyecto, desde la plataforma robótica utilizada, el circuito sensor, el controlador del sistema, modelo de baterías, etc.

5.1 Descripción y alternativas del robot mini humanoide

Actualmente se pueden encontrar una extensa variedad de plataformas robóticas de distintas estructuras. Desde robots que tienen una configuración definida hasta kits de robots que se pueden montar de distintas formas. Estos robots brindan oportunidades para poder desarrollar muchas habilidades en el área de la robótica.

Otras opciones son las plataformas open-source que cada vez son más fáciles de desarrollar debido a los avances en la tecnología y a la facilidad de acceder a ella, como por ejemplo las impresoras 3D que permiten fabricar a un bajo coste las piezas necesarias para construir un robot.

Es necesario disponer de un robot el cual permita instalar todos los componentes adicionales necesarios para realizar la tarea. A continuación se presenta una serie de plataformas de robots de entre los cuales se ha escogido el que mejor se adapta a las especificaciones necesarias para llevar a cabo este trabajo.



5.1.1 Descripción general

Para poder participar en el concurso de CEABOT, hay que seguir varias normas en el modelo del robot: Constitución antropomórfica, Altura máxima de 50 cm, longitud máxima del pie 11cm, peso máximo 3Kg.

Además el modo de locomoción debe de ser parecida a la de un humano, es decir, caminar de forma bípeda. No está permitido el uso de ruedas, por lo tanto es obligatoria la forma antropomórfica del robot.

El robot debe ser completamente autónomo a nivel de locomoción, sensorización y procesamiento. Actuadores, sensores, energía y procesado deben estar incorporados en el robot, debiendo éste tomar sus propias decisiones.

5.1.2 Alternativas

Actualmente se pueden encontrar varias opciones de plataformas que cumplen con los requisitos demandados por la organización del concurso. Los Kits comerciales que hemos considerado que mejor se adaptan a nuestras necesidades son las descritas a continuación.

5.1.2.1 *Bioloid Comprehensive*

Bioloid Comprehensive [13] es el kit de la plataforma robótica modular Bioloid adecuado para construir robots avanzados de hasta 18 grados de libertad como los humanoides. Se trata del kit educativo, de entretenimiento y de hobby más completo y competitivo del mercado, adecuado para aprendizaje, investigación y competición.

Se trata de la primera plataforma robótica de su clase en ser construida con tecnología inteligente servo-controlada en serie que te permite retroalimentación y control sensorial de posición, velocidad, temperatura, corriente y tensión de cada servomotor. Bioloid Comprehensive Kit permite al usuario construir una gran variedad de configuraciones robóticas, incluyendo robots exploradores autónomos, perritos cuadrúpedos, robots araña hexápodos, robots dinosaurios, y por supuesto robots humanoides bípedos.

El robot cuenta con un módulo controlador CM-510 basado en el Atmel ATMega128 a 16 MHz, 18 servomotores AX-12 (Servomotores Dynamixel controlados en serie), módulo sensor del robot AX-S1 (con 1 sensor infrarrojo, 3 emisores infrarrojos, 1 micrófono y un altavoz piezoeléctrico), puertos de conexión serie, batería recargable (9,6V, 2,3Ah, NiMH), alimentador de potencia, cable serie RS-232 de 9 pines, editor de movimientos (Motion Editor) y programador del comportamiento (Behaviour Control Program).

Tiene una altura de 34 cm y su precio aproximado es de 700 €

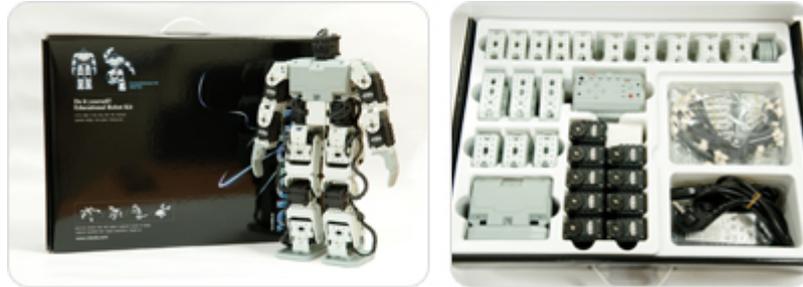


Figura 12: Kit de robot Bioloid

5.1.2.2 Robonova-1

Este kit permite montar un robot humanoide de aluminio anodizado y plástico, con 16 servomotores digitales con piñonería de Karbonite, que permite colocar manualmente el robot en una posición y posteriormente leer los valores de los servos desde el controlador. Su placa de control admite múltiples ampliaciones.

Además el robot viene incorporado de dieciséis servos digitales HSR-8498HB, circuito controlador MRC-3024 basado en el AtMega128, piezas de aluminio anodizado y plástico, batería recargable de NiMH 6V / 1000 mA y cargador de baterías rápido a 220V, mando a distancia por infrarrojos con sensor IR y altavoz incorporado, cables de conexión Serie RS232, utilidades de software Robo-Remocon, Robo-Basic y Robo-Script.

Tiene una altura de 30.5 cm, su peso es de 1,3 kg y su precio aproximado es 700 €



Figura 13: Kit de robot Robonova 1

5.1.2.3 KT-X Gladiator

Este mini humanoide es un modelo de alto acabado de la serie KT-X, con 19 grados de libertad de movimiento, lo que le permite al robot girar como un pivote, o sino girar en el eje de la cadera. El KT-X Gladiator ofrece los movimientos más realistas dentro de la línea de robots humanoides de KumoTek.

El robot viene provisto de diecinueve servos con control PWM (Cada servo tiene un sensor embebido para detectar la posición en tiempo real), procesador HV de 60 MHZ con 512KB ROM / 64KB RAM, cargador AC100V – 220V, conexión serie RS-232 (115 KBps) o USB, software de programación RobovieMaker.

Tiene una altura de 33 cm, anchura 15.2 cm, grosor 6.4 cm, su peso es de 0.9 Kg y su precio aproximado es 1300 €



Figura 14: Robot KT-X Gladiator

5.1.2.4 Kondo KHR-3HV

La nueva línea del modelo KHR-3HV tiene novedosas características de tamaño, diseño, frames, servos y grados de libertad. Tiene 17 servos pero es expandible con 5 servos adicionales hasta 22 servos en total. En el kit básico estos 5 servos adicionales son falsos y sólo tienen la carcasa. La utilización de materiales como aluminio, polycarbonato y ABS con incrustación de cristal en los frames hacen al robot KHR-3HV más ligero y robusto.

Además de los componentes mencionados el robot también cuenta con un cargador AC100V, placa controladora RCB-4 permite controlar hasta 35 servos en modo serie, puertos de extensión (10 x A/D y 10 xPIO), software Heart to Heart versión 4.0 (Añade nuevos movimientos y una nueva forma de programar el KHR), batería Ni 10.8V 800 mAh. También presenta una opción de ampliación del número de servos (5 servos adicionales).



Figura 15: Robot Kondo KHR-3HV

5.1.3 Plataforma utilizada

De entre todas las opciones disponibles la Asociación de Robótica ha considerado que el Kit de robot que más se ajusta a las especificaciones requeridas por CEABOT es Bioloid Premium [13], que además presenta un método sencillo de montaje y de programación.



Figura 16: Robot Bioloid Premium

5.2 Placas controladoras

El mini humanoide consta de dieciocho servos, los cuales se deben de controlar para que realicen los movimientos adecuados para llevar a cabo la tarea requerida.

Para esto es necesario elegir una placa controladora que se ajuste a las necesidades del sistema, en este caso debe de ser capaz de controlar todos los servos, además debe permitir la utilización de sensores que permitan el reconocimiento del entorno de trabajo.

Existe una gran variedad de controladores en el mercado. Para realizar este proyecto se han utilizado varias placas que son: Arduino Uno, Arduino Mega 2560, con las que se pone en funcionamiento los sensores, debido a su sencillez de programación y a que son capaces de entregar una señal PWM como la que necesitan los sensores. También se han utilizado las controladoras CM-900 y CM9.04, mediante las cuales se programan los movimientos del robot, ya que poseen conexión TTL lo cual es necesario para acoplarlas a los servos del mini humanoide.

En el caso de la Arduino Uno y la Mega 2560 la programación es prácticamente igual, ya que utilizan los mismos comandos de configuración. Sin embargo, la placa CM-900 y CM9.04 cuentan con sus propias librerías.

5.2.1 Controlador CM-510

La plataforma seleccionada para realizar la tarea de subida y bajada de escaleras, Bioloid Premium, tiene su propia placa controladora, la CM-510, que tiene las características adecuadas para el funcionamiento del robot, ya que es capaz de controlar el movimiento de los dieciocho servos de los que consta el mini humanoide, además de permitir la utilización de un determinado número de sensores.

Esta placa está equipada con un procesador ATmega2561, trabaja con una tensión variable entre 6,5 V y 15 V. Sin embargo, el controlador está especialmente diseñado para soportar y conectar directamente las baterías tipo LiPo de 11,1 V proporcionadas en el kit de iniciación de Bioloid Premium. Para la conexión de sensores tiene instalados seis puertos auxiliares con cinco pines cada uno, compatibles con sensores de distancia Sharp, sensores de tacto, sensores IR, etc. Además, viene equipado de varios componentes: micrófono, sensor de temperatura, sensor de tensión, generador de sonidos y tonos.

La principal ventaja del controlador es que presenta cinco puertos de bus TTL de Bioloid, mediante los cuales se puede controlar un número bastante amplio de actuadores AX-12A (servos propios del Bioloid), AX-18F y módulos de sensores AX-S1, AX-20, giróscopo, brújula, etc.

La programación del controlador se realiza mediante el software de descarga gratuita RoboPlus, además permite la utilización del lenguaje C.

El mayor inconveniente que presenta esta placa es el reducido número de sensores que permite utilizar, además de que sólo es capaz de detectar cierto tipo de sensores determinados siendo estos insuficientes, por lo que se ha optado por reemplazar este controlador por uno que se adapte mejor a las funciones requeridas para la tarea de subida y bajada de escaleras.



Figura 17: Controlador CM-510



5.2.2 Arduino Mega 2560

Esta placa está basada en el micro controlador ATmega2560 de Atmel MCU. Este controlador tiene 256 KB de memoria flash para el almacenamiento de código, 8 KB de SRAM y 4 KB de EEPROM. Está provista de 54 pines digitales de entrada/salida, 14 de los cuales pueden ser utilizados para generar señales PWM, tiene también 16 entradas analógicas, 4 puertas seriales, el oscilador es de 16MHz, además presenta conexión USB, conector de alimentación, una cabecera ICSP y un botón de reset. El funcionamiento y la programación son similares a Arduino Uno.

Con este controlador se realizó un acercamiento con las placas Arduino, permitiendo realizar pequeños programas que facilitaron la comprensión del funcionamiento de estas tarjetas.

El primer paso realizado fue la descarga del software necesario para la programación. Este software es totalmente libre y gratuito y se puede encontrar y descargar en la página oficial de Arduino [14]. Una vez adquirido el programa se puede proceder a poner en funcionamiento la placa. Lo más sencillo de realizar para una primera toma de contacto son los ejemplos que vienen incorporados en el software, hay una gran variedad de ejemplos desde lo más básico como activar un diodo LED mediante una señal oscilatoria, hasta casos más avanzados como la escritura en un display.

En este proyecto debido al carácter analógico de los sensores, uno de los ejemplos de iniciación que se han realizado es el programa “AnalogReadSerial” que consiste en un código sencillo que permite hacer una lectura en pantalla de la señal captada en la entrada A0 de la placa. Este ejemplo sirve para posteriormente realizar la lectura de los valores proporcionados por los sensores de proximidad que se instalaron en el robot.

Otro de los ejemplos útiles fue “fading” que simula una señal PWM para la excitación de un LED, mediante la oscilación de la señal se consigue aumentar o disminuir la intensidad del diodo. Este modelo sirve para aprender a controlar las salidas 9 y 10 de la placa que posteriormente se utilizan para generar la señal PWM necesaria para excitar los sensores de proximidad.

También se utilizó el ejemplo “AnalogInOutSerial”, que consiste en un código simple que declara variables para ser utilizadas como entradas o salidas. Lo importante de este ejemplo es que profundiza en la declaración de variables, algo que es muy útil ya que en el programa final se van a utilizar un gran número de variables que corresponden a las entradas y salidas de los sensores así como las señales PWM, además de los servos del robot. Una correcta declaración facilita la programación ya que el código será lo más claro posible, permitiendo tanto al programador como al usuario

entender el programa con facilidad, lo que resulta muy útil en caso de que se tenga que modificar el código.

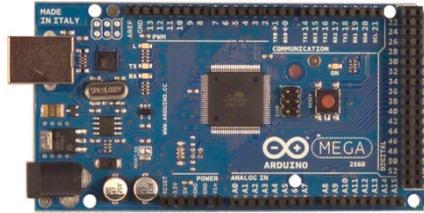


Figura 18: Placa Arduino Mega 2560

En conclusión la placa Mega 2560 ha sido utilizada para hacer pruebas tanto para realizar un algoritmo capaz de producir la señal PWM que se introduce a los sensores como para realizar una lectura de prueba de dichos componentes.

5.2.3 Arduino Uno

Ésta placa electrónica está basada en el microprocesador Atmega328. Tiene un total de 20 pines de los cuales 14 pines son digitales de entrada/salida, 6 son entradas analógicas, cuenta también con un oscilador cerámico de 16 MHz, además de una conexión USB, una cabecera ICSP, un conector de alimentación, también está provisto de un botón de reset, utiliza un chip controlador ATMEGA16U2. Para programarla sólo es necesario descargar de forma gratuita el compilador y conectarla a un ordenador con el cable USB. Para ser utilizada su puede encender mediante el cable USB o si ha sido previamente programada, con un adaptador AC-DC o con una batería.

Arduino Uno ha sido la que finalmente se ha utilizado una vez obtenido el algoritmo correcto con la Mega 2560 ya que es más fácil de controlar debido a su simplicidad y su menor tamaño.



Figura 19: Placa Arduino Uno

5.2.4 Controlador CM-900

Para controlar los servos del robot y de este modo los movimientos que éste realiza es necesario un controlador que tenga entrada TTL para poder conectar los servos. Éste

tipo de conexión permite enviar una señal PWM a los servos que regula el movimiento de los mismos. Además permite hacer una lectura de la posición en la que se encuentra.

Además, al igual que las placas Arduino, el software de esta placa es open-source, es decir es un software libre y además gratuito compatible con Windows, Linux y Mac OSX.

La placa consta de un Micro USB que permite la comunicación con el ordenador, además de servir como alimentador de tensión de 5V. Consta además de un botón de reset con el que se puede reiniciar el controlador. Se puede establecer una comunicación con los perfiles externos mediante comunicaciones UART serie, esto se hace con la con la conexión de cuatro pines BT-110, BT 210, ZIG-110 o LN101.

Permite la implementación de pines de 2mm y 2,54 mm los cuales pueden servir como entradas y salidas de datos dependiendo de la configuración que se le asigne mediante el software. Estos pines son las que se utilizan para el control de los sensores de proximidad.

La conexión TTL se hace mediante dos entradas de tres pines que permite enchufar los cables que sirven para controlar los servos Dynamixel AX-12 de los que se compone el robot. Además permite otros tipos de conexiones para otros dispositivos Dynamixel, como las dos entradas RS485 de cuatro pines que sirven para una conexión en cadena con estos servos que ofrecen hasta tres veces más velocidad con respecto al de tres pines TTL. Otra entrada es la XL-Serie de tres pines que permite una conexión a Dynamixel XL.



Figura 20: Servo Dynamixel con conexión TTL de 3 pines

Presenta también dos dispositivos LED, uno que indica el encendido y apagado del controlador y el otro sirve para realizar pruebas de verificación de programas. Este led es muy útil para comprobar las señales PWM o las variaciones de señales altas y bajas del pin 16.

La alimentación se puede hacer mediante la entrada USB anteriormente mencionada o a través del zócalo de la batería, es una entrada de dos pines que se ajusta a la batería proporcionada por el fabricante del mini humanoide.

Se programa en lenguaje C mediante el software libre de programación, que está basado en Arduino, lo que facilita su uso ya que como se mencionó anteriormente se ha hecho un acercamiento previo a la programación con la interfaz Arduino. La diferencia que presentan son una variedad de comandos específicos que poseen cada una. Sin embargo, estos comandos se encuentran dentro de las librerías específicas que vienen incluidas en el software.

Todas las características la esta placa se ajustan perfectamente a los requisitos del robot, la conexión TTL, la compatibilidad de alimentación con la batería, etc. Todo esto está pensado para poder controlar actuadores Dynamixel, AX-12 en el caso del robot. Sin embargo, al ser una herramienta open-source se trata de una fase beta, por lo que los desarrolladores no lo han terminado totalmente. A lo largo de la realización del proyecto dichos problemas se fueron haciendo patentes.

El aspecto más importante que presenta esta placa es la conexión TTL, sin embargo, el controlador se fabricó en fase beta, es decir que es una versión no definitiva, por lo tanto expuesta a errores. Uno de esos errores es el micro controlador encargado de procesar la información de entrada y salida de los puertos TTL. Por consiguiente la placa no es capaz de estar expuesta a un uso prolongado, ya que dicho micro controlador se estropea. El primer síntoma es la imposibilidad de realizar una lectura en tiempo real de las posiciones de los servos, por lo que la programación de los movimientos del robot se hace bastante complicada. Cuando el micro controlador se deteriora completamente no es posible realizar ninguna acción con las salidas TTL, por lo que se vuelve completamente inútil para controlar el mini humanoide.



Figura 21: Placa CM900

5.2.5 Controlador CM9.04-B

Este nuevo controlador es una versión mejorada de la placa CM900 que presentó varios problemas con un microcontrolador, el cual se encargaba de dirigir la conexión TTL.

Se trata de un controlador Open-Source compatible con servos Dynamixel y Bioloid de 3 pines TTL y con toda la gama de sensores de la plataforma OLLO. Igual que la CM900 se puede programar en lenguaje C basado en Aduino, aunque utiliza su propio software de programación que contiene las librerías específicas para los distintos usos de la placa. Éste software es totalmente compatible con Aduino, además comparten una interfaz bastante parecida.

En cuanto al hardware, el controlador es de tamaño reducido con un reloj de 72Mhz, SRAM de 20 Kbytes. Se alimenta mediante batería tanto Li-Po como Li-ion de 7V ~ 16V, tiene un puerto para conectar dispositivos externos de comunicaciones tales como BT -110, BT -210, LN- 101. Posee un interruptor de cambio de usuario que permite cambiar la referencia del voltaje analógico a 5V. La conexión al ordenador se realiza mediante cable que se conecta al puerto Micro USB B, el cual además permite obtener una alimentación de 5V. Contiene dos LED, uno de estado que comprueba el estado del programa Open CM9.04 y otro LED de prueba.

Se puede conectar Ollo Sensores a través del Sensor Pin, Además cuenta con pines de 2,54 mm GPIO Header, que es donde van conectadas las salidas del sensor de proximidad.

Mide 27 mm x 66,5 mm y tiene un peso de 13g. Su reducido tamaño y su velocidad de procesamiento son los factores determinantes por los que finalmente se utilizó esta placa para controlar el robot mini humanoide.



Figura 22: Placa CM9.04-B

El número de entradas TTL del controlado CM9.04-B es demasiado limitado para poder controlar los dieciocho servos de los que consta el mini humanoide, por ello es necesario realizar una conexión en serie mediante un dispositivo específico. Este dispositivo es un Hub para Bus Bioid.



Figura 23: Adaptador de seis puertos TTL

5.3 Sensores

Para poder captar el entorno es necesario dotar al robot de sensores que son dispositivos que permite detectar variaciones en una magnitud física (luz, temperatura, sonido, tamaño, velocidad, color, etc.) u otras alteraciones de su entorno, estas variaciones las convierte en señales útiles para un sistema de medida o control. Pueden ser de indicación directa (Ej. un termómetro de mercurio) o pueden estar conectados a un indicador (posiblemente a través de un convertidor analógico al digital, un ordenador y un display) de modo que los valores obtenidos puedan ser leídos por un humano.

Existe una gran variedad de sensores, pueden ser de humedad, de presión, de inclinación, de gas, brújula, etc. Para el desarrollo de este proyecto se ha optado por sensores de infrarrojos, teniendo que elegir de entre toda la gama que existe. Su utilización depende de la finalidad de la máquina.

5.3.1 Sensor de Infrarrojos

Es un componente capaz de albergar en su interior un diodo emisor de infrarrojos que funciona a una longitud de onda determinada y un receptor, que puede ser un fototransistor (detección de línea o proximidad) colocado de manera paralela al emisor dirigidos ambos en la misma dirección, puede ser un sensor lineal (medidor de distancias), Según el modelo su salida puede ser analógica, digital o booleana. O puede ser un detector modulado de infrarrojos, este sensor tiene un modulador/demodulador integrado en su carcasa y a través de una patilla controla un diodo LED de infrarrojos externo, modulando la señal que este emitirá, para ser captada por el receptor. En el momento en que tiene un objeto delante del conjunto emisor/receptor parte de los rayos infrarrojos que son emitidos se reflejan y demodulan para activar la salida que pasará a nivel bajo en caso de detectar una señal con la intensidad suficiente.

Se utiliza luz infrarroja modulada para inmunizar relativamente el sensor a las interferencias causadas por la luz natural o artificial.

Su funcionamiento está basado en la emisión de luz infrarroja por medio de un led de infrarrojos y según el tipo de receptor, tenemos los siguientes funcionamientos:

Cuando el receptor es un fototransistor, si capta una mayor cantidad de luz reflejada por su base mayor será la conducción del fototransistor. Éste dispositivo tiene una salida de tipo analógica que se determina dependiendo de la cantidad de luz reflejada.



Figura 24: Sensor infrarrojo

En caso de tratarse de un sensor lineal, la luz del emisor forma un único rayo concentrándolo lo más posible, de este modo se mejora la directividad del sensor, la luz se emite de manera recta hacia delante y en el momento de encontrar objeto rebota y retorna con un determinado ángulo de inclinación que varía dependiendo de lo lejos que se encuentre del elemento captado, la luz que retorna es concentrada por otra lente de esta manera todos los rayos de luz inciden en un único punto del sensor de luz infrarroja que está alojado en la parte receptora del dispositivo.

Un ejemplo de sensor lineal es el Sharp GP2D12 que es un sensor capaz de medir distancias mediante infrarrojos e indica la distancia captada a través de una salida analógica. El voltaje de salida varía de forma no lineal cuando se detecta un objeto en una distancia entre 10 y 80 cm. La salida está disponible de forma continua y su valor es actualizado cada 32 m.

Para procesar la señal lo más normal es conectar esta salida a un convertidor analógico digital que convierte la distancia en un número que puede ser usado por el microprocesador. La señal emitida también se puede utilizar directamente con un circuito analógico. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la salida no es lineal. El sensor utiliza solo una línea de salida para comunicarse con el procesador principal. El sensor se entrega con un conector de 3 pines. Funciona con una tensión de 5V, el rango de temperatura a la cual el sensor está operativo es de 10 a 60°C, su consumo medio es de 35 mA. Es capaz de captar distancias de 10cm a 80 cm.



Figura 25: Sensor infrarrojo Sharp GP2D12

En caso de ser un detector modulado, el emisor de infrarrojos se sincroniza y modula mediante un sistema de dos hilos. A través del potenciómetro P1 se varía la distancia a la que se detecta el objeto. Cuanto más bajo sea el valor de la resistencia de este potenciómetro, más intensa será la luz emitida por el diodo de infrarrojos y por lo tanto mayor la distancia a la que puede detectar el objeto. Cuando se capta un objeto el paso siguiente es eliminar todo tipo de interferencias externas utilizando un comparador con lo que la señal resultante se demodula y es entregada a la salida con niveles TTL. Esto evita que se detecten las emisiones indeseadas, lo que hace a este dispositivo ideal para usarse en condiciones de fuerte luz ambiental. Apropiado para usarse con todos los emisores de infrarrojos RS.



Figura 26: Sensor infrarrojo modulado

Estos dispositivos suelen ser utilizados en los robots rastreadores para detección de líneas pintadas sobre el suelo.

Debido a su gran rango de medida este sensor es adecuado para detectar obstáculos reflectantes como paredes, usados en robots de exploradores para los de laberintos entre otros.

También se utiliza para detección de obstáculos por reflexión en ambientes luminosos.

5.3.2 Descripción del circuito sensor utilizado

Para hacer una correcta elección del sensor es necesario tener en cuenta varios aspectos como la distancia que es capaz de medir, la precisión, la rapidez con la que detecta, el modo de lectura de los datos, el tamaño, etc.

Debido a que se colocarán dos sensores con su respectivo circuito acondicionador en cada pie (dos sensores de detección de escalón de subida y dos de escalón de bajada), es importante que el tamaño de dichos sensores sea lo más reducido posible.

Tras realizar un análisis de los posibles sensores a utilizar para esta tarea, se ha determinado la utilización de sensores infrarrojos ya que la mayoría de ellos se adaptan bien a las necesidades de este proyecto. Entre la gran variedad de sensores infrarrojos que existen, se ha decidido utilizar el sensor desarrollado por compañeros de la Universidad Carlos III, en concreto, el sensor desarrollado en el proyecto [14].

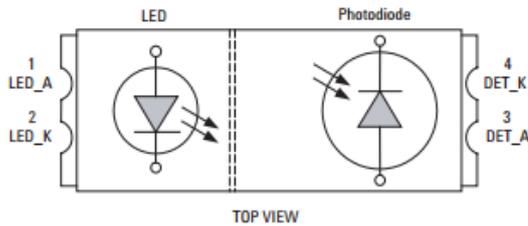
Este circuito detector está compuesto por un sensor infrarrojo HSDL-9100 de Agilent Technologies, que es un sensor analógico de salida reflexivo con un emisor de infrarrojos de alta eficiencia integrado y un fotodiodo. Posee un rango de detección de cerca de 0mm a 60 mm, cuya lectura se proporciona en forma de voltaje. Además de caracterizarse por su reducido tamaño, su bajo consumo y coste, lo cual permite una fácil adaptación a nuestro diseño.



Figura 27: Sensor HSDL-9100

Este sensor de reflexión directa tiene un led infrarrojo que actúa como emisor y un fotodiodo que es el encargado de recibir la señal emitida por el led. Su funcionamiento se basa en la emisión de luz infrarroja propagada por el aire. Cuando hay un objeto dentro de la trayectoria de detección del sensor el receptor capta la luz infrarroja reflejada por el objeto detectado. En caso contrario, cuando no hay objetos dentro de la dirección de desplazamiento, el fotodiodo no recibe ningún reflejo de luz infrarroja.

Block Layout



Pins Configuration Table

Pin	Symbol	Description	Notes
1	LED_A	LED Anode	1
2	LED_K	LED Cathode	-
3	DET_A	Photodiode Anode	-
4	DET_K	Photodiode Cathode	-

Figura 28 Figura Esquema del sensor

Como se puede ver en la Figura 28 el esquema de entradas y salidas del sensor es bastante simple, está conformada por los ánodos y los cátodos del emisor y del receptor. A continuación una descripción detallada del esquema.

Pin 1. Es el ánodo del led infrarrojo (LED_A), que actúa como emisor, se conecta a un circuito externo que proporciona la señal PWM necesaria para excitar el sensor.

Pin2. Es el cátodo del emisor (LED_K) que se conecta a GND para hacer posible la polarización del emisor con la señal PWM.

Pin 3. Es el cátodo del fotodiodo que actúa como receptor, proporciona la salida del sensor que será acondicionada posteriormente.

Pin 4. Es el ánodo del receptor (DET_A), también va conectado a GND para posibilitar la polarización del sensor.

Para poder realizar un completo análisis del sensor es necesario conocer todas las características importantes del sensor para así saber si cumple con los requisitos especificados en el proyecto. A continuación se presenta una tabla de características del sensor.

Parámetro	Símbolo	Min.	Max.	Uds.		
Emisor Corriente continua directa	I_{DC}	-	50	mA		
Coupled Disipación Total de Energía Características Electro-Ópticas ($T_a=25^\circ C$)	P_{TOT}	-	165	mW		
Parámetro	Símbolo	Condición de prueba	Ratios			
			Min	Typ	Max	Uds.
Emisor Tensión Directa	V_F	$I_P=100mA$	-	1.50	1.65	V
Tensión Inversa	V_R	$I_R=10\mu A$	5	-	-	V
Longitud de Onda Pico	λ_P	$I_P=20mA$	-	940	-	nm

Tabla 2: Características eléctricas del HDSL-9100

Con los valores obtenidos en esta tabla se puede realizar una correcta elección del sensor apropiado. Las características más relevantes que se han tenido en cuenta son el buen aislamiento óptico que posee el sensor, además presenta una alta eficiencia del emisor y una alta sensibilidad del fotodiodo receptor. Además como se dijo

anteriormente el tamaño debe de ser lo más reducido posible debido al poco espacio que hay en las bases del robot, esta propiedad está presente en el sensor. También cabe destacar su bajo coste.

El circuito sensor consta también de componentes encargados de acondicionar la señal. Para esta tarea se utilizará un Acondicionador de señal APDS 9700, el cual proporciona un acondicionamiento IC de señal que mejora el rendimiento y la robustez de los sensores ópticos de proximidad o de detección de objetos.

Este sensor está compuesto por un amplificador de trans-impedancia (TIA), un convertidor de tensión/corriente y un comparador de histéresis.

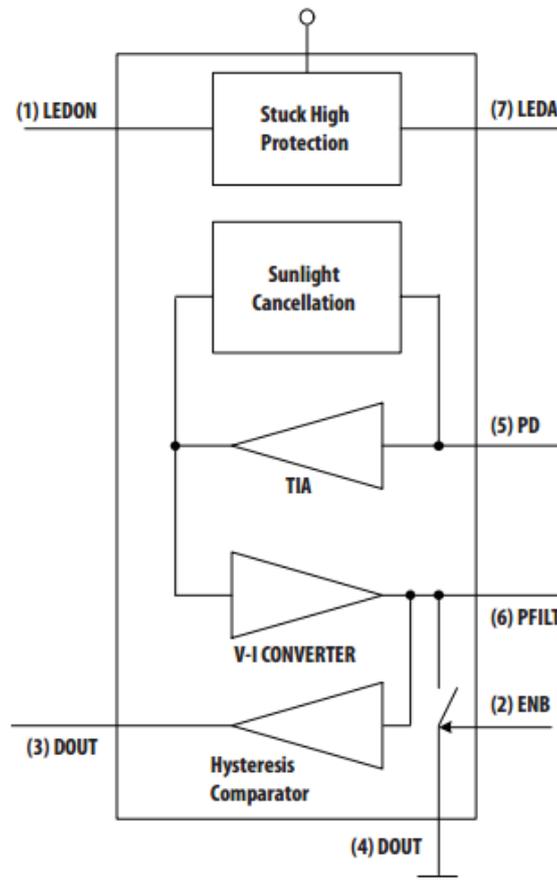


Figura 29: Esquema eléctrico del APDS 9700.

Este acondicionador presenta las características adecuadas para la implementación del circuito de tratamiento de la señal. Tiene un bajo consumo de energía, se puede controlar el ancho de pulso, su tensión de alimentación está entre 2,4V a 3,6V, su puede operar con sensores ópticos en presencia de luz solar con inmunidad a la luz artificial. Presenta salidas digitales y analógicas, además facilita el aumento de la distancia de detección hasta 200mm.

Además las entradas y salidas del acondicionador APDS-9700 se ajustan perfectamente a las especificaciones requeridas por el sensor infrarrojo.

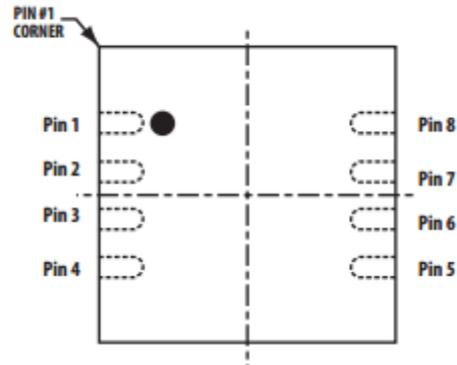


Figura 30: Esquema de entradas y salidas del APDS-9700

En la Figura 30 se muestra en detalle las entradas y salidas que posee el componente. A continuación se detallan las características de los pines del APDS-9700.

Pin 1. Entrada digital (LED ON), permite introducir la señal PWM que es la que excita el emisor del sensor infrarrojo.

Pin 2. Entrada digital Enable (ENB), permite controlar la activación o desactivación del acondicionador. Se puede desactivar para maximizar el ahorro de energía en caso de ser necesario.

Pin 3. Salida digital (DOUT), salida que requiere una resistencia pull-up de 10k. Proporciona un pulso a nivel alto si se detectase un objeto. La respuesta obtenida puede ser digital en caso necesario. Para ello obtenemos los valores:

$$\begin{aligned} \text{DOUT} &= \text{Low cuando } V_{\text{PFLIT}} > V_{\text{TH}} \\ \text{DOUT} &= \text{High cuando } V_{\text{PFLIT}} < V_{\text{TH}} \end{aligned}$$

Pin 4. Tierra (GND).

Pin 5. Entrada analógica (PD), se conecta al cátodo del foto-detector, permite recibir la señal que genera el sensor cuando detecta un objeto.

Pin 6. Salida analógica (PFILT), se conecta a un circuito que filtra la señal para acondicionarla mediante un filtro compuesto por una resistencia y un condensador.

Pin 7. Salida analógica (LEDA), se conecta al ánodo del led infrarrojo, mediante este pin se obtiene la señal PWM que polariza el led emisor y lo protege contra sobre tensión.

Pin 8. Tensión de alimentación (VCC).

Finalmente se deben adecuar los demás componentes necesarios para el correcto funcionamiento del circuito, estos elementos son resistencias y condensadores que se colocan para filtrar la señal obtenida y también para evitar sobretensiones. El circuito obtenido es aproximado al mostrado en la Figura 30. Sin embargo en nuestro caso utilizaremos una placa Arduino Uno para generar la señal PWM necesaria para el funcionamiento del emisor de infrarrojos.

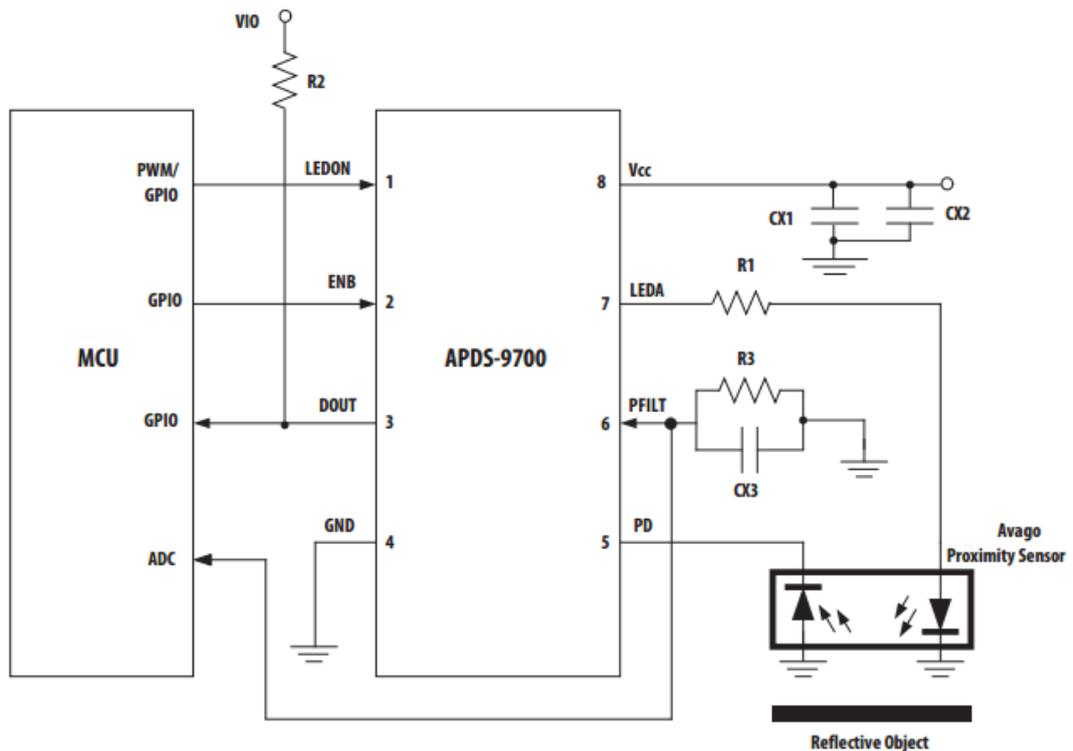


Figura 31: Esquema completo del circuito acondicionador

Una vez realizado el acondicionamiento de la señal descrito anteriormente se obtiene un circuito de 20mm de longitud y 20mm de alto, el tamaño es lo bastante pequeño para ser instalado en un compartimento reducido como es el caso de las bases del robot en donde van a ser colocados.



Figura 32: Sensor infrarrojo con circuito acondicionador

Este sensor nos permite recoger medidas del rango de 20mm a 100mm, ya que como se comprueba en la siguiente gráfica existe una zona, entre 5mm y 20mm, en la cual las medidas podrían dar cabida a una lectura errónea de la distancia.

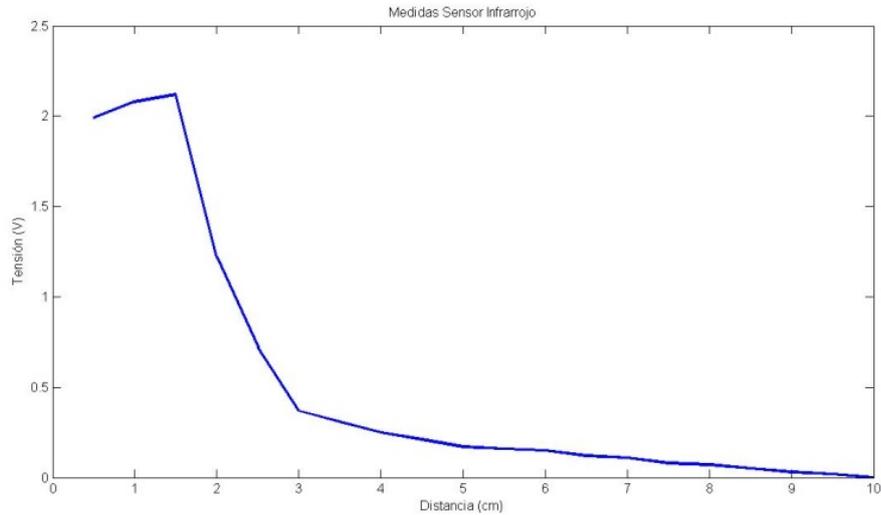


Figura 33: Gráfica de medidas tomadas por el circuito sensor

Su funcionamiento está basado en el circuito anteriormente descrito que consta de un emisor que convierte la señal eléctrica en una señal óptica y que es emitida al receptor o fotodiodo mediante refracción con los objetos. En función del tiempo que tarda en recibir esta señal óptica, el circuito acondicionador produce una variación de tensión, la cual es convertida en distancia.

Para que el fotodiodo sea capaz de emitir la señal es necesario introducirle a través del circuito acondicionador una señal PWM de 100us de periodo, con una amplitud en la señal de 3V y un ciclo de trabajo de 20%, esto excita al emisor que envía la señal óptica que es captada por el receptor y procesada posteriormente por el circuito de acondicionamiento.

Dependiendo del puerto del chip de acondicionamiento que se utilice como salida se obtendrá un comportamiento distinto en el sensor. Si la salida es el pin 6 (PFLIT) obtendremos un sensor de distancia cuya tensión de salida varía dependiendo de la longitud a la que se encuentre el objeto. Este comportamiento se puede ver reflejado en la gráfica anterior.

Por otro lado, si la salida elegida es el pin 3 (DOUT), el sensor tiene un comportamiento todo o nada, es decir, proporciona un pulso a nivel alto si capta un objeto y un pulso a nivel bajo cuando no capta nada, por tanto se obtiene una señal binaria.

5.4 Baterías

Las baterías son los componentes primordiales a la hora de dotar de autonomía a los robots, ya que se encargan de proporcionarles la energía necesaria para moverse por el medio sin necesidad de conectarse a una red. Esto supone un recorrido de distancia mayor, ya que el robot deja de estar condicionado a la longitud del cable de conexión.



Existen dos tipos de baterías: recargables y no recargables, también denominadas secundarias y primarias respectivamente.

Las baterías no recargables no pueden volver a utilizarse una vez que se ha terminado su energía. En cambio las baterías recargable si pueden volver a ser cargados cuando su energía ha terminado, quedando nuevamente operativas. Las principales características de las baterías son la máxima corriente de descarga y el ciclo de funcionamiento. En el caso de las recargables la corriente de descarga es mayor, mientras que las no recargables poseen un más ciclo de funcionamiento más prolongado.

Por lo tanto, las baterías recargables son utilizadas en aplicaciones que precisan extraer corriente relativamente elevada durante largos periodos de tiempo. Sin embargo, son más caras que las de un solo uso por lo que normalmente se utilizan en el caso de sea mayor el gasto de reemplazamiento cuando se utilizan baterías no recargables.

5.4.1 Parámetros característicos

Para saber qué tipo de batería escoger de entre la amplia gama del mercado debemos tener en cuenta varios aspectos:

Lo primero a tener en cuenta es capacidad de corriente que es la cantidad de energía entregada por una batería bajo unas determinadas condiciones. Está determinado por la corriente de descarga y el tiempo de descarga por lo que sus unidades de medida son amperios hora (Ah) o también se miden en miliamperios hora (mAh). De este modo la capacidad de corriente es la energía que se puede obtener de la batería antes de que esta se agote.

En caso de querer determinar el tiempo en que la batería puede estar operativa, es decir el tiempo de funcionamiento, se divide la capacidad de corriente por la corriente de descarga aplicada.

Otros de los factores importantes son la máxima corriente de descarga y la tensión de operación. En el caso de la tensión de operación su valor depende de la composición química de la batería. Esta tensión varía conforme la batería pierde energía y depende de la carga aplicada a la batería, es decir la corriente de descarga a la que es sometida la batería. Cuando la resistencia de carga disminuye, aumenta la corriente de descarga, la tensión de operación y la capacidad de la batería disminuyen. Estas variaciones dependen de la composición química de la batería y de la temperatura de operación, normalmente cuando más bajas son las temperaturas suelen ser menores.

Hay que tener en cuenta también la descarga de la batería. Estos dispositivos se descargan distintas maneras según el tipo de carga, que tendrá un efecto directo en la vida de la batería. Hay varios modos típicos de descarga:



Cuando la carga mantiene una resistencia invariable a lo largo del ciclo de descarga se denomina Resistencia constante. Al tratarse de una carga resistiva, cuando se va descargando la batería, la corriente y la tensión decaen. Por lo tanto, la batería se descargará de forma rápida lo que implica una vida corta.

En el caso de que la carga extraiga la misma corriente durante la descarga se denomina corriente constante. La vida de la batería en esta forma de descarga es mayor que para la descarga por resistencia constante ya que se extrae siempre la misma corriente independientemente de la caída de la tensión de operación.

Otro tipo de descarga es mediante potencia constante, en este modo el valor de la corriente de descarga crece mientras la tensión de operación disminuye. Es el modo más eficiente ya que la batería se puede descargar más allá de su tensión final (tensión a la cual se supone que se ha agotado la batería) dado que se aumenta el consumo de corriente para compensar.

Los valores de las características de descarga para una resistencia constante suelen ser proporcionados por el fabricante.

Como veremos más adelante un factor fundamental en la elección de una batería es su tamaño. La forma y tamaño de estos dispositivos varían según su composición química y su capacidad de corriente. Principalmente, las baterías no recargables se presentan en tres encapsulados distintos; cilíndrico, de botón y rectangular.

5.4.2 Selección del tipo de batería

En cuanto a la tensión de operación, debido a que el controlador funciona con una tensión comprendida entre 5V y 11V y que el dispositivo que precisa de la mayor mínima tensión de operación es el sensor que funciona con una tensión de 3.3 V.

Como se explicó en el apartado anterior para elegir correctamente una batería es necesario tener en cuenta varios factores.

Se necesita una batería que tenga una capacidad de corriente bastante elevada ya que el robot va a estar funcionando por intervalos largos y es necesario que este tenga total autonomía con respecto a la energía. La corriente de descarga también es un factor importante en este proyecto ya que las baterías no solo van a alimentar un dispositivo, sino que deben de dotar de energía al mini humanoide que está compuesto por dieciocho servos, además también se conecta a los sensores y las dos placas controladoras utilizadas en este trabajo.

También se debe tener en cuenta que se busca el menor tamaño posible y las dimensiones de la batería son las más significantes respecto el resto de componentes.

5.4.3 Alternativas

Hay varios tipos de baterías en el mercado, según las necesidades del robot y del circuito detector de escaleras, se dispone de varios modelos que cumplen con los requisitos, tanto en el tamaño, tensión y corriente necesarios para el buen funcionamiento.

5.4.3.1 Panasonic- PA-L27

Esta batería tiene una capacidad nominal de 2.25 Ah, con un voltaje de 10.8 V, es de ion de litio. Sus medidas son 73mm de largo, 22mm de ancho, pesa 145g.



Figura 34: Batería PA-L27

5.4.3.2 OEM 450

Esta batería presenta una capacidad nominal de 4500 mAh, con una tensión de 11.1 V, es de ion de litio recubierto de polímero. Sus medidas son 53mm de largo, 31mm de ancho. Además es recargable.



Figura 35: Batería OEM

5.4.3.3 Pcy/jhy/oem

Esta batería tiene una capacidad nominal de 2000 mAh, con una tensión de 11.1 V, es de ion de litio recubierto de polímero. Sus medidas son 68mm de largo, 58mm de ancho. Se puede recargar.



Figura 36: Batería Pcy/jhy/oem

5.4.4 Batería utilizada

Para el funcionamiento tanto del Bioloid como de los controladores y los sensores se ha decidido utilizar la batería Yuntong de 1000 mAh de capacidad, este componente tiene una tensión de 11.1 V, es de ion de litio recubierto de polímero. Sus medidas son 70mm de largo, 35mm de ancho y 15mm de alto, tiene un peso de 83g. Se puede recargar.

Se ha utilizado esta batería porque su conexión se adapta a los controladores, además presenta las medidas idóneas para colocarlas en las bases del robot sin utilizar demasiado espacio.



Figura 37: Batería Yuntong

5.5 Bases del robot

Para la colocación de las baterías vamos a tener que diseñar un nuevo compartimento donde alojarlas, ya que se van a poner dos unidades en lugar de una que es como lo tenía anteriormente.



Figura 38: Bases sin modificar del robot

Para no afectar demasiado la estructura del mini humanoide se ha decidido implementar estas variaciones en las bases del robot, ya que presentan el espacio suficiente para alojar las baterías. Aprovechando el nuevo diseño de las bases del robot, se ha resuelto colocar también en esta zona los sensores de proximidad, esto supone además que los detectores estarán más cerca del objetivo que tienen que detectar, en este caso los escalones.



En el diseño del soporte de las baterías se han tenido en cuenta varios factores: en primer lugar la medida no tiene que sobrepasar la longitud máxima permitida por la normativa de CEABOT [12], que son 11 cm en diagonal. Además de tener en cuenta las medidas requeridas por la normativa, también es importante que las longitudes se ajusten a las bases diseñadas por el fabricante, ya que estas no van a ser reemplazadas sino que se va a adaptarlas a las nuevas funciones. Por último deben tener el tamaño apropiado para que las baterías encajen perfectamente sin quedar demasiado ajustadas, ya que se podrían estropearlas. El compartimento tampoco debe quedar excesivamente grande ya que la sujeción de las baterías no sería la adecuada.

Otro de los factores importantes es la forma el armazón. La estructura debe de alojar perfectamente la batería y además acoplarse a la base del robot, por eso en el diseño se ha seguido la forma de las baterías, de tal modo que estas encajan como si se tratara de una estructura de protección, además se le ha añadido sujeciones con el tamaño exacto para que se adapte al espacio donde van a ser acopladas.

Es importante también tener en cuenta el modo de sujeción. Aprovechando el sistema de fijación de la base al robot, se han realizado perforaciones en la parte superior de los nuevos soportes, de tal manera que coincidan con los agujeros donde se sujetaban las bases, han sido necesarias seis perforaciones en cada compartimento, de este modo se puede enganchar al robot empleando los tornillos que vienen en el kit del Bioloid [13].

Una vez que se han sujetado los nuevos compartimentos al robot, el siguiente paso es acoplarlas a las bases, para eso se utiliza las sujeciones diseñadas en los compartimentos, de tal modo que realizando otras perforaciones en este caso en las bases del robot, se puede atornillar los dos elementos.

Para la sujeción de los sensores también ha sido necesario hacer agujeros tanto en el compartimento como en las bases del robot con el fin de atornillarlos y mantenerlos fijos en la estructura. Sin embargo, para que los sensores capten el entorno es necesario que el emisor y el receptor de la señal estén completamente despejados de cualquier elemento del robot, ya que podría detectarlo e interpretar que es un escalón, lo cual induciría a un constante error, ya que el robot entraría en un bucle de movimientos constantemente. Con el fin de evitar que el robot produzca interferencias en la detección de escalones, ha sido necesario realizar aberturas del tamaño adecuado para los sensores en la base del robot, de este modo se consigue que los sensores que detectan los escalones de bajada no tengan interferencias.

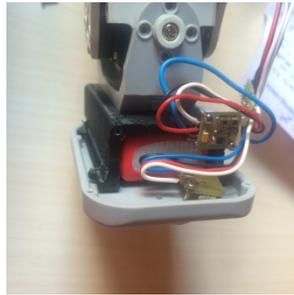


Figura 39: Bases modificadas del robot

Otro de los factores que se han tenido en cuenta en el diseño de los compartimentos es su montaje en el robot, que debe de ser sencillo e intuitivo. Para acoplar las bases al robot se debe seguir unos sencillos pasos como se muestra en la Figura 40.



Figura 40 Montaje del soporte de las baterías

Primero se acopla el compartimento al robot atornillándolo por la cara interna superior. El siguiente paso es introducir la batería de tal modo que los cables de conexión sobresalgan por la abertura de la parte trasera de la base, después se atornilla a la base utilizando las sujeciones diseñadas para tal efecto.

Una vez que todas las piezas están sujetas se procede a colocar los sensores, atornillándolos como se muestra en la Figura 41.



Figura 41 Montaje de los sensores

5.6 Conexión de las placas

Como se ha descrito en el apartado de las placas controladoras en este proyecto vamos a utilizar dos placas que son la Arduino Uno con la que vamos a generar la señal PWM para excitar el sensor y el controlador CM9.04-B con el cual se controlan los movimientos del robot a la vez que realiza la lectura de los datos obtenidos por los sensores, para elegir el tipo de movimiento.

Como se puede ver en la Figura 42 los pines que vamos a utilizar de la placa CM9.04-B son los pines +/- por los que se conecta la batería, los servos del mini humanoide se conectan a la placa mediante la salida TTL de 3 pines. Las entradas analógicas es donde se conectan las salidas de los sensores, por lo tanto, estos pines son los encargados de proporcionar al CM9.04-B la información recogida por los sensores.

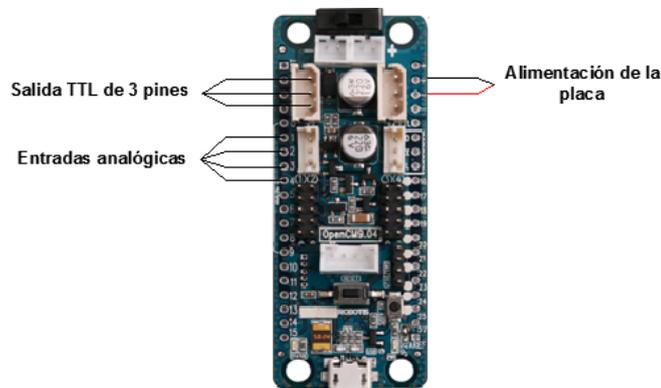


Figura 42: Pines utilizados de la placa CM9.04-B

En el caso de la Arduino Uno vamos a necesitar menos pines como se puede ver en la figura xx. Estos pines son GND y Vin mediante los cuales se va a proporcionar energía al controlador, el pin de tensión de salida al sensor proporciona 3,3V y es donde se conectan los sensores para obtener la tensión necesaria para su funcionamiento y finalmente los pines 9 y 10 que son los que proporcionan la señal PWM para los sensores.

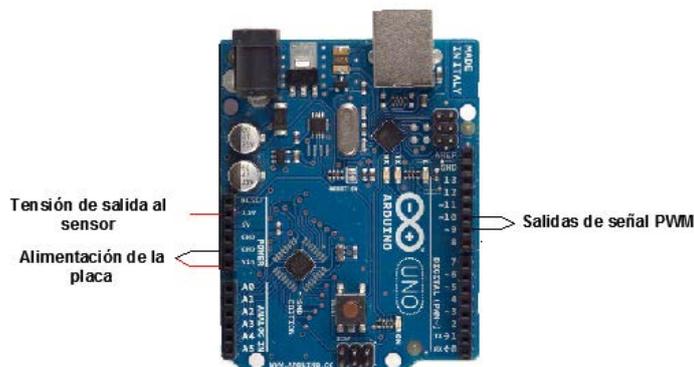


Figura 43: Pines utilizados de la placa CM900

Finalmente para poder realizar la tarea de subida y bajada de escaleras hay que poner en funcionamiento a las dos placas a la vez intercambiando información de tal modo que los sensores se pongan en funcionamiento y dicha información sea recogida a la vez. Para esto hay que realizar una serie de conexiones que acoplen ambas placas. Estas conexiones se pueden ver en la Figura 44,

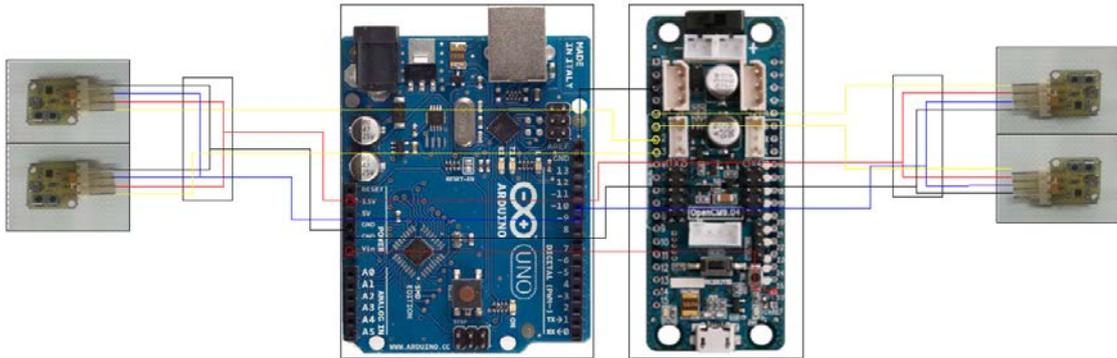


Figura 44: Conexión entre las placas CM9.04-B y Arduino UNO.

6 Descripción del software de control del sistema

Para realizar la tarea de subir y bajar escaleras, el sistema software encargado de controlar el robot está basado en el siguiente flujograma.

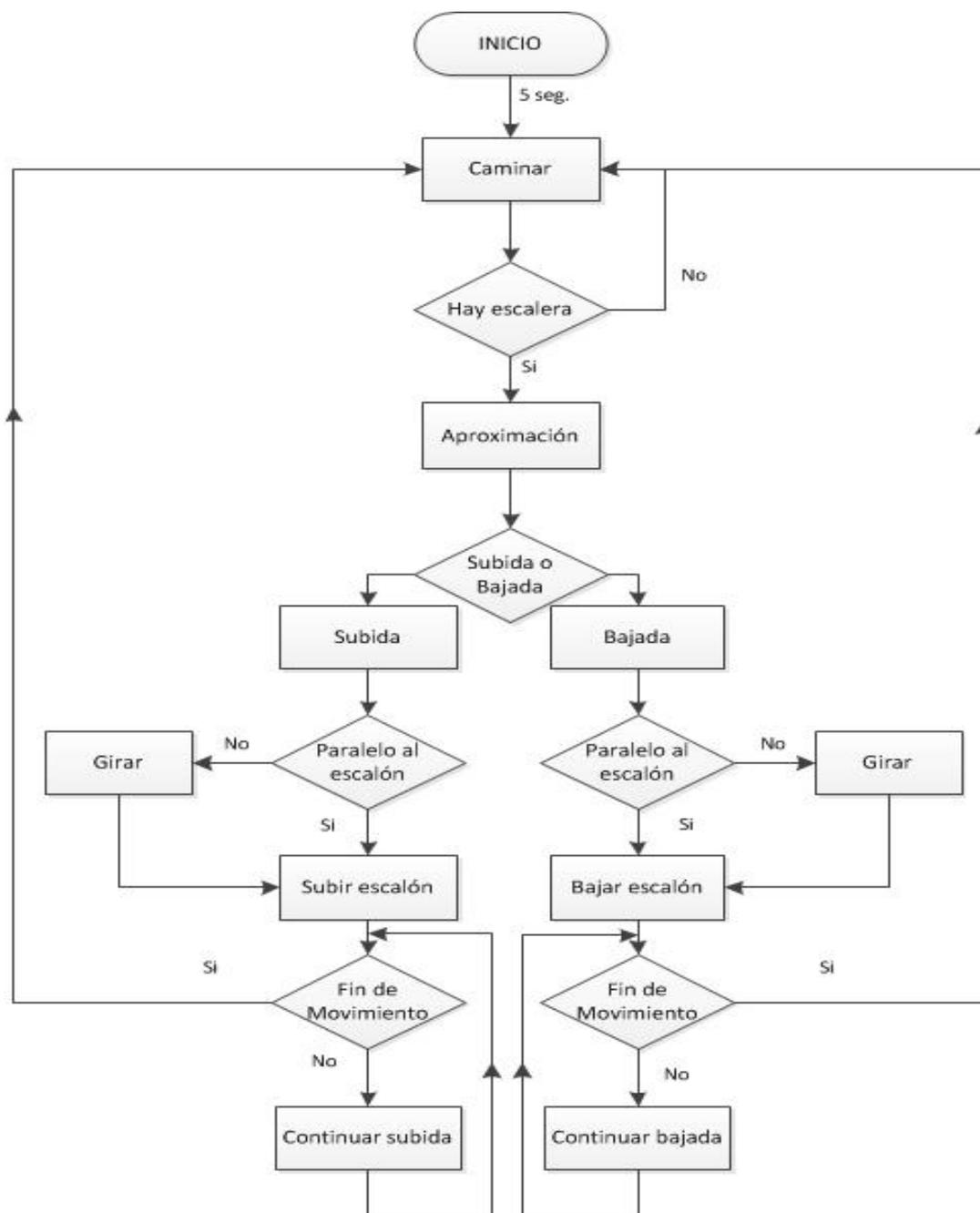


Figura 45: Flujograma del sistema de control

El algoritmo del programa está definido de tal manera que el robot cumple con las especificaciones requeridas por la prueba, por tanto una vez que se pone en marcha el robot debe permanecer parado durante cinco segundos, tiempo establecido por las reglas del concurso. Cuando transcurra ese tiempo, el robot comenzará a caminar hasta que consiga detectar un escalón. Cabe destacar que el movimiento de caminar debe realizarse de forma lenta y segura, ya que si se realizan los movimientos demasiado rápidos el robot podría no detectar a tiempo el escalón y producirse de este modo una caída.

La condición para realizar la siguiente acción es la detección de un escalón, que a pesar de que como se sabe por la normativa de CEABOT será de subida, el robot podría perfectamente detectar un escalón de bajada. Para ello, los sensores están siendo leídos en todo momento tratando de detectar el escalón.

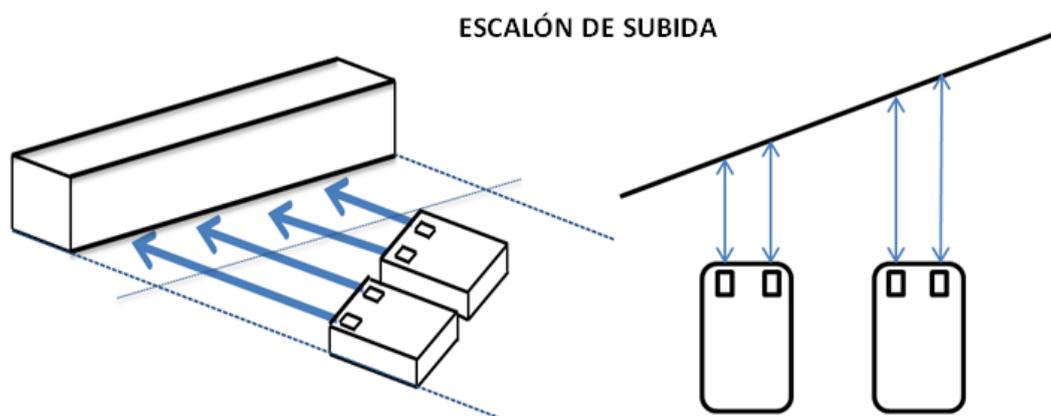


Figura 46: Detección del escalón de subida

Cuando se ha detectado el escalón el robot debe de colocarse de manera que cuando vaya a subir o bajar las escaleras, esté posicionado de forma correcta, es decir, debe abordar la tarea de subir o bajar perpendicular al vértice del escalón. Esto se realiza para evitar que el robot tropiece o roce con el suelo a causa de un mal posicionamiento en el comienzo del movimiento de subida o bajada de escaleras y así evitar caídas o penalizaciones de los jueces.

Para que el robot se posicione de manera correcta es necesario que los sensores utilizados tanto para la detección de los escalones de subida como para los de bajada tengan aproximadamente la misma medida de lectura. Esto es posible gracias al posicionamiento de los sensores en los pies.

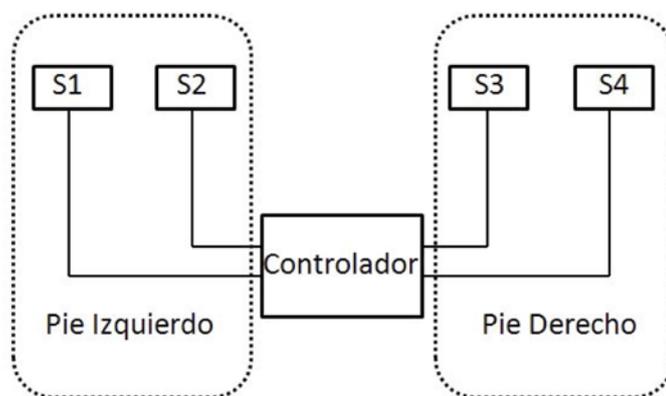


Figura 47: Esquema de posicionamiento de los sensores

Por tanto, cuando la medida del sensor S1 sea inferior que la medida del sensor S4, el robot se encontrará girado hacia la derecha respecto del escalón de tal forma que deberá girarse hacia la izquierda hasta que la medida de los cuatro sensores sea aproximadamente la misma.

Una vez que los sensores mantienen unas medidas de lectura similares, el robot está preparado para realizar el movimiento de subida o bajada del escalón, en función del tipo de escalón que haya detectado con anterioridad. Estos movimientos de subida o bajada son movimientos predeterminados, ya que, como hemos visto en la descripción de la prueba de escaleras, los escalones son siempre de la misma altura y por tanto se podrán realizar movimientos similares para los escalones de subida, al igual que ocurre para los escalones de bajada.

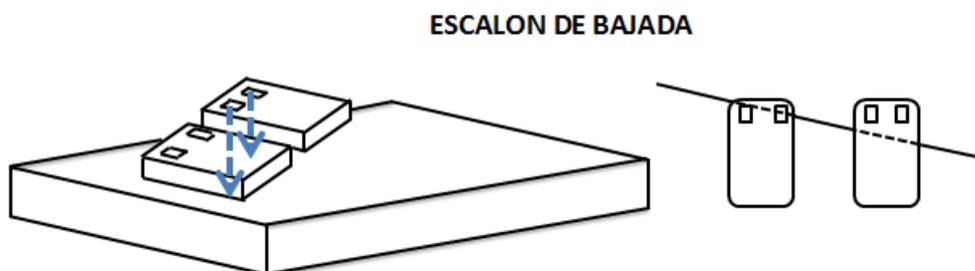


Figura 48: Detección del escalón de bajada

Cuando el robot ha terminado el movimiento de subida o bajada éste vuelve al inicio, de tal forma que volverá a caminar buscando un nuevo escalón para subir o bajar.

El proceso que se ha descrito en esta sección se repite cíclicamente lo cual permitirá al robot realizar la prueba completamente, ya que cuando haya subido y bajado todos los escalones de la prueba el robot continuará caminando hasta sobrepasar la línea que marca el final del campo de trabajo.



6.1 Obtención de la PWM requerida en el funcionamiento del sensor

Para que el sensor de proximidad se pueda poner en funcionamiento es necesario suministrar una señal PWM con las características descritas anteriormente, 10 kHz y 20% de ciclo de trabajo. Esta señal es analógica, sin embargo la placa Arduino que vamos a utilizar para tal efecto permite reproducir esta señal mediante la programación de un algoritmo específico.

El algoritmo utilizado se describe a continuación:

Las placas Arduino producen por defecto una PWM de aproximadamente 490 Hz de frecuencia, esta frecuencia es muy baja en el caso de querer controlar motores o excitar un sensor como el empleado en este proyecto. Un valor óptimo para estos casos es el que está por encima del rango audible.

Sin embargo hay una forma de conseguir una señal PWM de frecuencias altas incluso con valores predeterminados. Para ello es necesario utilizar el reloj interno de la Arduino y utilizar su frecuencia para adaptarla a los valores requeridos.

En el caso de Arduino Uno la señal PWM la obtenemos en los pines 9 y 10 por lo que la forma de conseguirlo es la siguiente:

```
TCCR1A = 0X00;
```

```
TCCR1B = 0X11;
```

```
ICR1=800;
```

La primera línea de código es para cargar el timer en uno de los modos de generación de PWM. La segunda línea se encarga de cargar el “prescaler” (N), según los valores deseados de frecuencia se le pueda dar distintos términos:

```
N=1 → TCCR1B=0X11
```

```
N=8 → TCCR1B=0X12
```

```
N=64 → TCCR1B=0X13
```

La última línea de código es la que se determina la frecuencia de la PWM y se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$F = \frac{16000000}{2 * N * ICR1}$$

En donde N es el prescaler, que es un divisor del reloj de la Arduino cuya frecuencia es de 16 MHz. Cuanto más alto el valor de N, menor es la frecuencia obtenida.



F es la frecuencia deseada e ICR1 es la resolución de la señal, es decir, el valor máximo de la señal PWM que queremos establecer cuyo valor debemos calcular para introducir en el programa de Arduino.

Despejando el término necesario se obtiene:

$$ICR1 = \frac{16000000}{2 * N * F}$$

Como hemos dicho ICR1 controla la resolución por lo tanto permite elegir el valor máximo que entregará el pin. Si se le da un valor muy alto, la salida va a estar encendida todo el tiempo. Por otro lado si se le introduce un valor mínimo, por ejemplo 0, la salida no va a dar ninguna señal pues estará todo el tiempo apagada. En caso de que se le asigne un valor intermedio, la salida será una onda cuadrada donde la salida estará la mitad del tiempo apagada y la otra encendida. Es posible enviar valores intermedios para obtener mayores o menores relaciones de tiempo de encendido o apagado, que es la forma que el voltaje efectivo de la salida sea mayor o menor, y con eso se puede controlar por ejemplo el volumen de un buzzer, o la velocidad de un motor de continua.

Es importante saber que cuando mayor es el valor de ICR1, mayor resolución se obtiene, es decir, se puede obtener más valores diferentes en el pin de salida y lo que significa más niveles de volumen en el buzzer o mayor precisión en el control de la velocidad del motor de continua. Sin embargo, cuanto mayor es el valor de ICR1, menor será la frecuencia de salida.

En este caso la PWM que se necesita para excitar el sensor es de 10 KHz de frecuencia y 3V de amplitud con un ciclo de trabajo de 20%, para ello los valores obtenidos son:

$$ICR1 = \frac{16000000}{2 * 1 * 10000} = 800$$

Este código está preparado para controlar el timer 1, que es el que controla los pines 9 y 10 anteriormente citados. Se pueden obtener PWM de otros pines pero hay que aplicar otros registros del Atmega8/168.

```
sketch_sep11a $
// Código de PWM a 10KHz

void setup() {

  TCCR1A=0x00;           //Sirve para que la frecuencia de la PWM no sea la que da Arduino por defecto
  TCCR1B=0x11;
  ICR1=800;

  Serial.begin(9600);   // inicializar la comunicación en serie a 9600 bits por segundo.

  pinMode(9,OUTPUT);   // Declaro el pin9 (PWM) como una salida.
  pinMode(10,OUTPUT);  // Declaro el pin10 (PWM) como una salida.

}

void loop()
{

  analogWrite(9,180);   // Crear la PWM deseada
  analogWrite(10,180);

  delay(1000);

}
```

Figura 49: Figura Código de obtención de señal PWM

Como podemos ver en el código anterior después de realizar los cálculos obtenemos un valor de ICR1 igual a 800 y así lo declaramos para obtener los 10 KHz de señal PWM. Después se declaran los pines 9 y 10 como salidas y posteriormente se les asigna el valor 160 que corresponde al veinte por ciento de ciclo de trabajo.

Esta señal también se puede obtener con la placa Arduino Mega2560, sin embargo, se necesita un código más robusto ya que esta controladora cuenta con cuatro timer en lugar de uno como ocurre con Arduino Uno, por esta razón se debe de cargar un timer concreto, lo que conlleva un código más complejo.

6.2 Implementación de los movimientos del robot

El robot ya había sido programado previamente en otros proyectos para realizar las diferentes pruebas de CEABOT [12], por lo que existe un algoritmo previo de los movimientos de subida y bajada de escaleras. Sin embargo este algoritmo va a ser modificado para conseguir mejores resultados en la tarea. No obstante este código ha servido para realizar un primer acercamiento a la programación de movimientos del Bioloid [13] con el programa Robo Plus que es un software que se puede descargar en [13]. Este programa es compatible con el controlador CM-510 que viene en el Kit Premium.

Como se puede ver en la Figura 50 el programa presenta un interfaz bastante intuitivo que permite un rápido aprendizaje de su uso. A la izquierda de la pantalla en color verde están los movimientos que se pretenden que realice el robot, en el centro se encuentran los valores necesarios para ajustar los movimientos tales como tiempo de ejecución, velocidad, torque o fuerza del servo.

Estos parámetros son muy importantes ya que permiten dar fluidez a los movimientos ya que un desajuste en estos valores como por ejemplo la disminución torque podría dar como resultado que los servos sean incapaces de realizar el movimiento ya que no poseen la fuerza suficiente. Otro caso es el de la velocidad, una velocidad elevada puede conllevar movimientos bruscos, del mismo modo que una velocidad insuficiente produce que la acción no se ejecute en el tiempo requerido.

A la derecha de la figura se puede ver una imagen del robot, la cual simula los movimientos programados, lo cual supone un ahorro importante tanto de tiempo como de energía, ya que no va a ser necesario poner siempre en funcionamiento al Bioloid sino que se pueden comprobar los movimientos en la pantalla del ordenador.

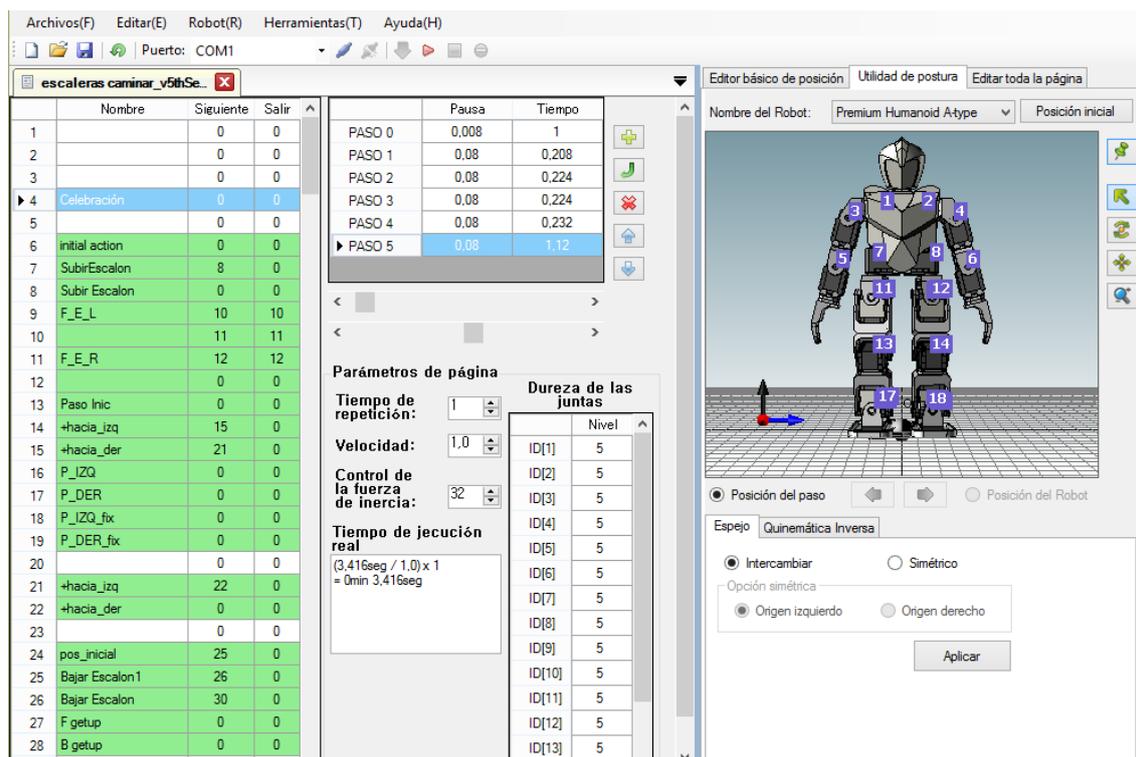


Figura 50: Robo Plus Motion

Además de poder ver los movimientos simulados del robot también es posible obtener los valores de las posiciones de los servos en cada movimiento, como se puede ver en la Figura 49. Esto es de gran utilidad ya que permite realizar las modificaciones necesarias directamente en el servo que así lo requiera.

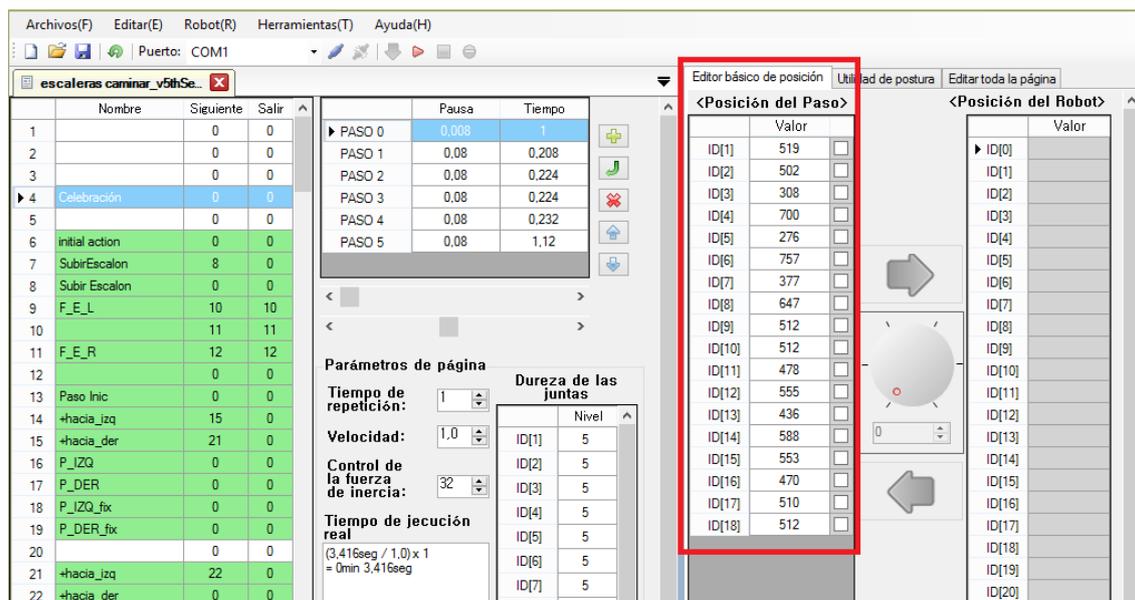


Figura 51: Lectura de la posición de los servos

Estos datos son los que posteriormente van a ser utilizados para poder realizar los movimientos del robot mediante el controlador CM9.04-B.

La programación de la placa CM9.04-B es en Lenguaje C aunque tiene sus propias librerías. Debido a que es un controlador de reciente aparición en el mercado no hay demasiada información acerca de los comandos propios del controlador, por lo que para poder comprender el manejo de esta placa ha sido necesario consultar en [15] donde se explican con varios ejemplos algunos comandos útiles para controlar los servos del robot, tanto para realizar una lectura de las posiciones como para generar movimientos.

Como se explicó en el apartado de controladores el software de esta placa es gratuito y se puede descargar en [16].

En la Figura 52 se puede ver el programa que presenta una interfaz sencilla donde A sirve para compilar el código sin ejecutarlo, B descarga el código en la placa previa compilación y comprobación de que no hay errores, C es abre una pantalla donde se puede leer los datos captados por las entradas del controlador, D es la pantalla en la cual se escribe el código de programación, E se encarga de dar un mensaje con los avances de la compilación del código y los posibles errores en el mismo.

Además están los botones Archivo, Editar, Sketch, Herramientas y ayuda que tienen las mismas funciones que las de cualquier programa de Windows. Sin embargo, en Herramientas se debe de ajustar al programa para que reconozca la tarjeta controladora, especificando el modelo de la misma ya que se puede programar otros modelos de controladoras con este mismo programa, también se debe marcar el puerto serial al que se ha enchufado.

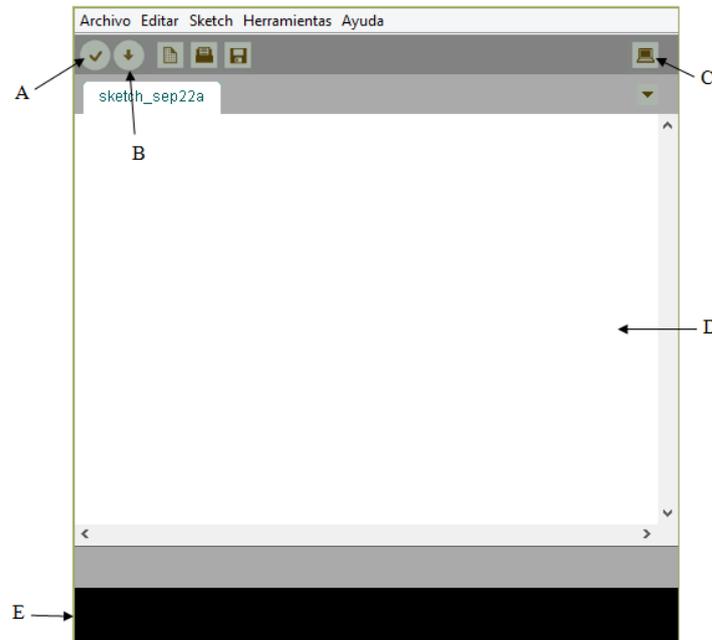


Figura 52: Interfaz de software CM9.04-B

Una vez que se ha configurado el programa adaptándolo al CM9.04-B según la Figura 53 se puede proceder a escribir el algoritmo del robot.

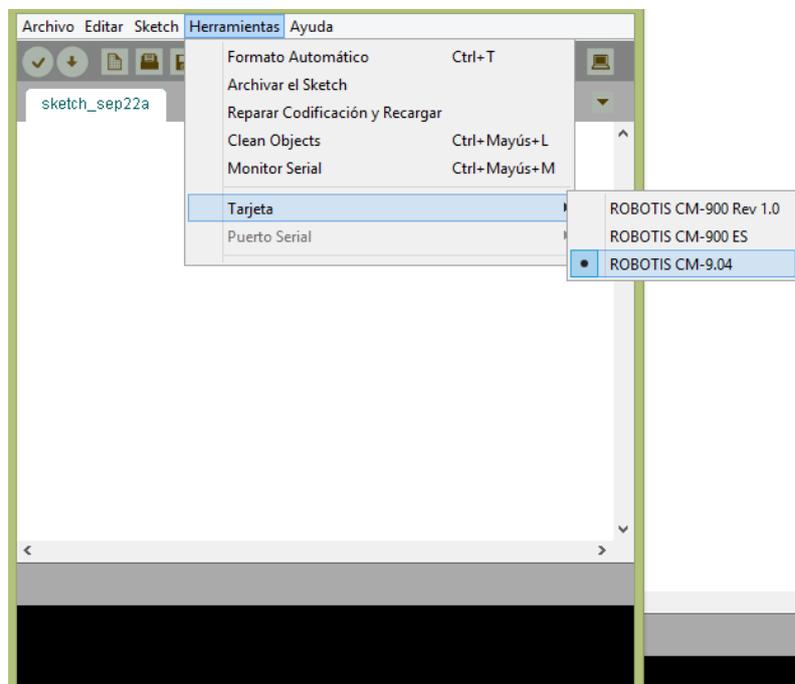


Figura 53: Configuración del programa

El primer programa fue realizado con el fin de obtener una lectura de los valores de los servos según su posicionamiento. Esto permite saber los valores exactos para poder realizar un movimiento.

```
LeerServos$
// LECTURA DE SERVOS
void moveT(int a, int b, int c, int d, int e, int f, int g, int h, int i, int j, int k, int l, int m, int n, int o, int p, int q, int r, float tiempo){
//LECTURA DE POSICION
int posicion[]={0,a,b,c,d,e,f,g,h,i,j,k,l,m,n,o,p,q,r,t};
//(Si, es muy salvaje, pero es la forma sencilla de pasar los datos desde Excel)
//CALCULO DE VELOCIDADES Y POSICIONAMIENTO
for(int i=1; i<19; i++){
Dxl.writeWord(i, 32, (abs(Dxl.readWord(i, 36)-posicion[i])/tiempo)*0.42); //Se escribe la velocidad en cada servo
//El factor 0,65 es para que acorden las unidades
Dxl.writeWord(i, 30, posicion[i]); //Posicionamiento del servo i en posicion[i]
}
tiempo=tiempo*1000;
if(tiempo>100) tiempo=tiempo-100;
delay(tiempo);
}

void setup() {
Dxl.begin(1); //Inicializacion
}
```

Figura 54: Código de lectura de servos

En la Figura 54 se puede ver una parte del programa desarrollado para la lectura de los servos, en este código se declara una variable de tipo vector, int posición, donde se guardarán los valores de los dieciocho servos. Mediante el comando `Dxl.writeWord` se asigna el número correspondiente a cada motor para saber a qué valor corresponde cada uno. Con el comando `Dxl.readWord` se realiza la lectura de los valores.

Para que aparezcan los datos por pantalla se utiliza el comando `SerialUSB.print(Dxl.readWord(n,36))` donde n es el número de servo que queremos leer y 36 es un factor de velocidad.

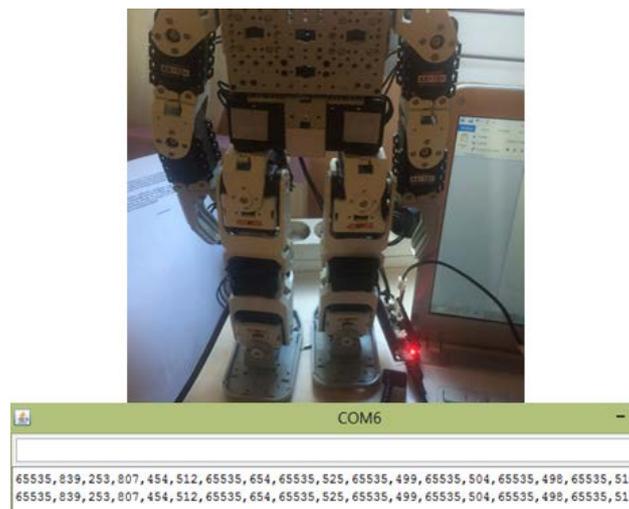


Figura 55 Lectura 1 de la posición del robot

En la Figura 55 se puede ver los valores obtenidos en pantalla de las posiciones de los servos, el primer valor corresponde al servo número uno.

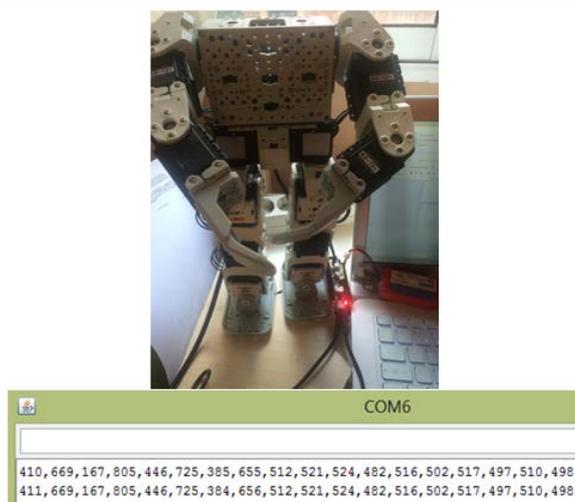


Figura 56: Lectura 2 de la posición del robot

Cuando se realiza un movimiento los valores de los servos que han rotado cambian, de este modo podemos programar una secuencia de movimientos mediante los cambios de estos valores. Como se puede ver en la Figura 56 el robot ha movido los brazos e inmediatamente los valores obtenidos han cambiado con respecto a la primera lectura realizada.

A partir de que se tiene una secuencia de movimientos se puede realizar un patrón de movimiento general por ejemplo caminar. Utilizando los comandos de programación en C, en este caso sentencias If, else, se puede combinar estos movimientos para que realicen una acción dependiendo de la situación en la que se encuentre el mini humanoide, por ejemplo si ha detectado un escalón se indica que debe proceder a subirlo o bajarlo dependiendo del tipo de escalera.

7 Análisis cinemático del robot

Las modificaciones realizadas en la estructura del robot, tales como el diseño de los nuevos comportamientos para las baterías y el aumento del número de estas no solo tienen como fin aumentar la autonomía del robot mediante una mayor duración de la fuente de alimentación, sino que también se pretende mejorar la estabilidad del robot bajando el centro de gravedad mediante el peso de las baterías.

Para comprobar si se ha conseguido dicha mejora se va a realizar un estudio de la cinemática del robot mediante teoremas físicos con los que se puede calcular los centros de gravedad del mini humanoide en distintas posiciones y con las dos configuraciones, es decir, con las modificaciones realizadas y sin las modificaciones realizadas.

7.1 Centros de masas

El centro de masa es el punto donde debe aplicarse una fuerza para que el cuerpo adquiriera movimiento sin rotaciones. El robot tiene todos los servos iguales, sin embargo el centro de masas varía dependiendo de la forma en que estén colocados ya que aunque la mayoría de los servos están colocados de manera vertical, hay algunos que están puestos horizontalmente con lo que cambia su centro de masas en el espacio.

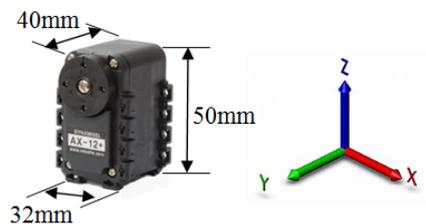


Figura 57: Medidas del servo AX-12 vertical

En la Figura 57 se puede ver el servo de forma vertical, su estructura es aproximada a un prisma rectangular por lo que su centro de masas coincide con el centro geométrico del motor. Para poder determinarlo se han establecido los ejes x, y, z según se muestra en la imagen, de este modo el centro de masas estará en la mitad de cada eje es decir:

$$C_M=(x,y,z); C_M=(16, 20, 25)$$

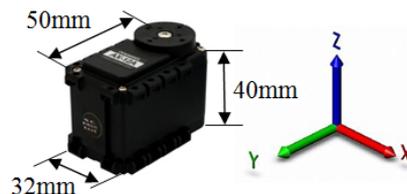


Figura 58: Medidas del servo AX-12 horizontal

Como se puede apreciar en la Figura 58 el servo está colocado horizontalmente, en este caso el centro de masas se calcula siguiendo las mismas pautas que para la configuración vertical. Por lo tanto el centro de masas es:

$$C_M=(x,y,z); C_M=(16, 25, 20)$$



Figura 59: Medidas de la batería Yuntong

El centro de masas de las baterías se calcula siguiendo los mismos principios que con los servos ya que también presentan la morfología de un prisma rectangular, por lo que su centro de masas coincide con el centro geométrico del componente.

$$C_M=(x,y,z); C_M=(17.5, 35, 7.5)$$

7.2 Centro de gravedad

Una vez que hemos determinado los centros de masas de los servos según su colocación, vamos a utilizar esos valores para poder calcular el centro de gravedad del robot, que es el punto donde está aplicado el peso del cuerpo.

Medidas del robot sin modificar				Medidas del robot con modificaciones			
Posición: Robot recto				Posición: Robot recto			
							
Componente	X	Y	Z	Componente	X	Y	Z
Servo 1	-3	0	28,5	Servo 1	-3	0	30,5
Servo 2	3	0	28,5	Servo 2	3	0	30,5
Servo 3	-8,5	0	27	Servo 3	-8,5	0	29
Servo 4	8,5	0	27	Servo 4	8,5	0	29
Servo 5	-8,5	0	21	Servo 5	-8,5	0	23
Servo 6	8,5	0	21	Servo 6	8,5	0	23
Servo 7	-3	0	23,5	Servo 7	-3	0	25,5
Servo 8	3	0	23,5	Servo 8	3	0	25,5
Servo 9	-4,5	-3	16	Servo 9	-4,5	-3	18
Servo 10	4,5	-3	16	Servo 10	4,5	-3	18
Servo 11	-4,5	0	16	Servo 11	-4,5	0	18
Servo 12	4,5	0	16	Servo 12	4,5	0	18
Servo 13	-4,5	0	10,5	Servo 13	-4,5	0	12,5
Servo 14	4,5	0	10,5	Servo 14	4,5	0	12,5
Servo 15	-4,5	0	4	Servo 15	-4,5	0	6
Servo 16	4,5	0	4	Servo 16	4,5	0	6
Servo 17	-4,5	-3	4	Servo 17	-4,5	-3	6
Servo 18	4,5	-3	4	Servo 18	4,5	-3	6
Batería 1	0	-2	23,5	Batería 1	-3	0	1,5
Batería 2	-	-	-	Batería 2	3	0	1,5

Tabla 3 Centros de masas del robot en posición recta.

Como se puede ver en la Tabla 3 tenemos los valores de los centros de masas de todos los servos que tiene el robot. Los valores de los demás componentes del robot no se tienen en cuenta debido a que su peso es bastante inferior al de los servos y las baterías. En el lado izquierdo de la tabla se han colocado las medidas del robot sin modificar, es decir, sin colocar los soportes ni las baterías en las bases del robot. A la derecha de la tabla tenemos los datos tomados una vez realizadas las modificaciones en el mini humanoide, es decir, después de colocar tanto los soportes como las baterías.

Una vez obtenidos todos los centros de masas, se calcula el centro de gravedad total del robot. Se consigue aplicando las siguientes ecuaciones:

$$\bar{x} = \frac{\sum \tilde{x} \cdot m}{\sum m}; \quad \bar{y} = \frac{\sum \tilde{y} \cdot m}{\sum m}; \quad \bar{z} = \frac{\sum \tilde{z} \cdot m}{\sum m}$$

Donde \tilde{x} , \tilde{y} , \tilde{z} son los centros de masa de todos los elementos y m es la masa de los componentes.

$$M_{\text{batería}} = 83 \text{ g.} \quad M_{\text{servos}} = 54,6 \text{ g.}$$

El centro de gravedad para el robot sin modificar en posición recta es:

$$C_G = (0, -0.77, 17.25)$$

Mientras que el centro de gravedad para el robot modificado es:

$$C_G = (0, -0.57, 16.23)$$

Medidas del robot sin modificar				Medidas del robot con modificaciones			
Posición: Robot sentado				Posición: Robot sentado			
							
Componente	X	Y	Z	Componente	X	Y	Z
Servo 1	-3	0	21,5	Servo 1	-3	0	23,5
Servo 2	3	0	21,5	Servo 2	3	0	23,5
Servo 3	-8,5	0	20	Servo 3	-8,5	0	22
Servo 4	8,5	0	20	Servo 4	8,5	0	22
Servo 5	-8,5	0	13	Servo 5	-8,5	0	15
Servo 6	8,5	0	13	Servo 6	8,5	0	15
Servo 7	-3	0	16	Servo 7	-3	0	18
Servo 8	3	0	16	Servo 8	3	0	18
Servo 9	-4,5	-3	10,5	Servo 9	-4,5	-3	12,5
Servo 10	4,5	-3	10,5	Servo 10	4,5	-3	12,5
Servo 11	-4,5	0	10,5	Servo 11	-4,5	0	12,5
Servo 12	4,5	0	10,5	Servo 12	4,5	0	12,5
Servo 13	-4,5	7,5	6,5	Servo 13	-4,5	7,5	8,5
Servo 14	4,5	7,5	6,5	Servo 14	4,5	7,5	8,5
Servo 15	-4,5	0	5	Servo 15	-4,5	0	7
Servo 16	4,5	0	5	Servo 16	4,5	0	7
Servo 17	-4,5	-3	5	Servo 17	-4,5	-3	7
Servo 18	4,5	-3	5	Servo 18	4,5	-3	7
Batería 1	0	-2	16	Batería 1	-3	0	1,5
Batería 2	-	-	-	Batería 2	3	0	1,5

Tabla 4: Centros de masas del robot en posición sentado.

El centro de gravedad para el robot sin modificar en posición sentado es:

$$C_G = (0, -0.002, 12.311)$$

Mientras que el centro de gravedad para el robot modificado es:

$$C_G = (0, 0.142, 12.193)$$

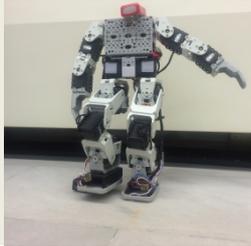
Medidas del robot sin modificar				Medidas del robot con modificaciones			
Posición: Pie derecho levantado				Posición: Pie derecho levantado			
							
Componente	X	Y	Z	Componente	X	Y	Z
Servo 1	2,5	0	28	Servo 1	2,5	0	30
Servo 2	-2,5	0	28	Servo 2	-2,5	0	30
Servo 3	-7,5	0	26	Servo 3	-7,5	0	28
Servo 4	9	0	27,5	Servo 4	9	0	29,5
Servo 5	-8,5	0	18	Servo 5	-8,5	0	20
Servo 6	15	0	24,5	Servo 6	15	0	26,5
Servo 7	-3	0	22	Servo 7	-3	0	24
Servo 8	3	0	22	Servo 8	3	0	24
Servo 9	-3	-3	16	Servo 9	-3	-3	18
Servo 10	3	-3	16	Servo 10	3	-3	18
Servo 11	-3	0	16	Servo 11	-3	0	18
Servo 12	3	0	16	Servo 12	3	0	18
Servo 13	-4	7,5	10,5	Servo 13	-4	7,5	12,5
Servo 14	3	5	9,25	Servo 14	3	5	11,25
Servo 15	-4	2	4,5	Servo 15	-4	2	6,5
Servo 16	3	1	4,5	Servo 16	3	1	6,5
Servo 17	-4	-1	4,5	Servo 17	-4	-1	6,5
Servo 18	3	-2	4,5	Servo 18	3	-2	6,5
Batería 1	-4	-1	22	Batería 1	-4	-1	5
Batería 2	-	-	-	Batería 2	3	-2	1,5

Tabla 5: Centros de masas del robot en posición pie derecho levantado

El centro de gravedad para el robot sin modificar con el pie derecho levantado es:

$$C_G = (-0.055, 0.255, 16.966)$$

Mientras que el centro de gravedad para el robot modificado es:

$$C_G = (0.165, 0.092, 16.332)$$



7.3 Conclusiones del estudio de los centro de gravedad

Después de realizar todos los cálculos necesarios para determinar primero los centros de masas que luego se utilizaron para calcular el centro de gravedad total del robot. Se ha comprobado que el mini humanoide ha mejorado su estabilidad debido a que el centro de gravedad ha disminuido, es decir, se encuentra en un punto más bajo en el eje z que es el que determina la altura del robot.

Se han realizado varias medidas de las propiedades físicas del robot, tomando datos en tres posiciones distintas del robot. Los resultados obtenidos han sido positivos en los tres casos en los que se ha realizado el experimento.

El tener un centro de gravedad más cercano al suelo implica que hay que aplicar una fuerza mayor para desequilibrarlo ya que el momento se mantiene constante y según el teorema del momento, este es igual a la fuerza aplicada por la distancia al eje, que en este caso es el suelo.

Aun teniendo unos resultados positivos debido a que efectivamente el centro de masas es más bajo, los resultados indican que las variaciones son mínimas. Con lo que todavía se pueden realizar nuevas modificaciones en la estructura.

Por ejemplo se puede añadir más peso a la estructura, ya que los únicos componentes con una masa considerable son los servos y las baterías, por lo tanto se podría cambiar el material de algunas piezas de plástico por otras de metal. También daría un gran resultado utilizar unas baterías de mayor peso ya que son los componentes que más cerca del suelo están y por lo tanto tienen gran influencia en el centro de gravedad.



8 Presupuesto

En este proyecto se han realizado varios gastos debido a la necesidad de adquisición de materiales y a la obra de mano necesaria para llevarlo a cabo.

El coste de los materiales se ha calculado mediante una lista de todos los componentes usados, que son el robot Bioloid Premium [13], los controladores tanto Arduino Uno como CM9.04-B, los sensores, el material necesario para poner en funcionamiento los sensores, las baterías y sus componentes adicionales. Además se ha tenido que fabricar varias piezas de plástico con una impresora 3D, el coste es relativamente bajo, sin embargo se ha tomado en cuenta el precio que supone el gasto del material de fabricación, en este caso plástico ABS, el uso de la impresora 3D no se ha tenido en cuenta debido a que hay varias disponibles de manera gratuita para los alumnos de la Universidad Carlos III en el laboratorio de Robótica.

Hay que tener en cuenta que se ha calculado el precio total partiendo de que no se dispone de ninguno de los materiales anteriormente nombrados. Sin embargo, la Asociación de Robotica de la Universidad Carlos III [1] dispone de varios de estos elementos, como por ejemplo el robot Bioloid y los sensores de proximidad por lo que el precio real final de este proyecto es menor.

Para calcular el coste de mano de obra se ha dividido el proceso en varias fases para poder calcular el tiempo invertido en cada una de ellas y así tener un promedio total de las horas invertidas en llevar a cabo el proyecto. Partiendo del número de horas se ha calculado lo que costaría en caso de tener que pagar a un empleado, el precio por hora fijado se ha determinado según la tasa de sueldo medio actual.

En el Anexo A se adjuntan todos los cálculos de los datos que se han realizado para calcular el coste total del proyecto. El resultado final es lo que costaría realizar las mejoras de un mini humanoide si se partiese desde cero, es decir sin contar previamente con ninguno de los materiales necesarios.



9 Conclusiones y trabajos futuros

La finalidad del trabajo con un mini humanoide es conseguir que los alumnos adquieran conocimientos en el campo de la robótica. Cuando empecé el proyecto no había tenido un contacto previo con un robot real, todos los robots que había programado fueron en un entorno simulado. Por lo tanto, este proyecto ha servido para conocer de primera mano todo el abanico de posibilidades que presenta el mundo de la robótica.

9.1 Conclusiones

Para cumplir con los objetivos marcados al principio del proyecto ha sido necesario realizar un extenso estudio de todas las posibilidades para resolver la tarea de subir escalones mediante un robot mini humanoide. Sin embargo, ha habido varios factores que interrumpieron el correcto avance en la resolución del trabajo, los principales problemas que se presentaron fueron los defectos encontrados en la primera placa controladora que se utilizó, CM900. No obstante, también se dieron grandes logros como la rápida calibración del sensor.

En la ejecución de este proyecto se han seguido una serie de fases que permitieron avanzar poco a poco y de forma ordenada.

Lo primero que se ha realizado es un estudio de la normativa del CEABOT [12], el cual permite tener una idea de los componentes necesarios para realizar la tarea además de saber las restricciones impuestas por el concurso, lo cual es importante si se quiere tener un resultado satisfactorio. Una vez que se conoce el tipo de componentes que se van a utilizar es necesario investigar sobre los dispositivos que mejor cumplen con los requisitos impuestos.

A lo largo de la carrera he adquirido conocimientos de programación tanto en lenguaje C como en C++, lo cual fue bastante útil para poder programar todas las placas controladoras que se utilizaron en esta tarea.

Para poder conocer los comandos propios tanto del Arduino Uno como del CM9.04-B ha sido necesario buscar información tanto en las páginas oficiales de los controladores como en blogs especializados, lo cual ha sido muy útil ya que cuando terminé el proyecto fui capaz de resolver problemas sin necesidad de tener conocimientos previos, sino que fui adquiriendo los conocimientos según las necesidades del trabajo. Esto puede resultar provechoso en un ambiente profesional donde no se cuenta con profesores ni tutores dispuestos a resolver los problemas del trabajo.



Una vez que tuve los conocimientos necesarios de las librerías propias de los controladores, lo siguiente fue empezar a programar. El primer resultado satisfactorio fue la obtención de una señal PWM de 10Khz y 20% de ciclo de trabajo, requerida por el sensor de proximidad. Mediante cálculos matemáticos se pudo determinar los valores de las variables necesarias para obtener la señal exacta. Al proceder a comprobar la señal en un osciloscopio se confirmó que la onda era la necesaria.

Con la señal PWM funcionando el siguiente paso fue acoplarla a los sensores. En esta tarea también adquirí varias habilidades como la de soldar con precisión, ya que para conectar los detectores a la placa fue necesario primero soldar los pines de entrada de la Arduino Uno y posteriormente soldar los cables de conexión al sensor.

Cuando el hardware y el software de los sensores estaban realizados, se procedió a realizar una toma de datos de las medidas del sensor para poder calibrarlo, ya que como se puede ver en la Figura 33 los datos obtenidos no son lineales sino que presentan una curva la cual puede conllevar a errores debido a que se tienen dos medidas para una misma distancia. El muestreo se realizó utilizando la pantalla de lectura de datos que presenta el interfaz del programa de Arduino, pero para hacer la gráfica se empleó el programa MATLAB que facilitó el proceso de calibración. Finalmente se determinó que la distancia idónea de lectura del sensor son 20mm con lo que utilizamos ese dato para el montaje de los sensores en el robot, de este modo se colocaron justo a esa distancia del punto más alejado del pie del mini humanoide.

Gracias al proceso de programación, montaje y calibración de los sensores, se consiguió que el robot sea capaz de detectar perfectamente los escalones por lo que los resultados en este apartado fueron satisfactorios.

Con los sensores funcionando, el siguiente paso fue diseñar los soportes de las baterías. Previamente se había determinado que para obtener una mayor autonomía con el robot se pondrían dos baterías en lugar de una. Aprovechando este cambio, se hizo un estudio para determinar el lugar óptimo donde colocar las baterías para poder mejorar la estabilidad del robot, el lugar elegido fueron los pies del autómeta. El diseño de los soportes se hizo utilizando el programa Solidwork, el cual permite obtener piezas en tres dimensiones, además de dar el formato necesario para generar el código en fabricación en la impresora 3D. Además aprovechando los conocimientos adquiridos en el manejo de Solidwork se diseñó el soporte para las placas controladoras. Este proceso además de servir para conocer el uso del programa de diseño, también conllevó el aprendizaje del manejo de una impresora 3D, en este caso de los modelos disponibles en el laboratorio de Robotica de la Universidad Carlos III.

Los estudios posteriormente realizados sobre la estabilidad del robot confirmaron que los objetivos de mejorar el equilibrio se cumplieron, sin embargo, aún se pueden mejorar.



Finalmente teniendo todos los componentes a punto, el siguiente paso fue programar los movimientos del robot, para lo cual primero se hizo un acercamiento al entorno de Bioid, esto permitió entender el funcionamiento de los servos.

Mediante el estudio de los comandos del CM9.04-B se pudo programar el robot, de tal manera que realice los movimientos necesarios para realizar la tarea de subida y bajada de escaleras. Como se expuso anteriormente el mayor problema que se presentó fue que la primera placa elegida para controlar el mini humanoide, la CM900, presentaba problemas en las salidas TTL, con lo cual era imposible realizar una lectura de la posición de los servos, lo que conlleva un mayor grado de dificultad en la determinación de los movimientos. Además, finalmente el controlador se dañó por completo por lo que retrasó el avance del proyecto. Para solucionar este problema se optó por cambiar de controlador, por lo que se terminó utilizando la placa CM9.04-B el cual ya no presentaba estos problemas y facilitó la programación ya que permitía realizar una correcta lectura de los servos.

Los movimientos programados cumplen con la tarea requerida, pero hubo que hacer varios ajustes tanto en la velocidad, como en el tiempo de ejecución del movimiento y en el torque del motor.

9.2 Trabajos futuros

Los trabajos realizados con el robot hacen que este cumpla con la tarea para la cual ha sido programado, que es subir y bajar escaleras. Sin embargo, se pueden hacer varias mejoras como por ejemplo la sustitución de la placa Arduino Uno por un circuito más compacto que sea capaz de producir la señal PWM requerida. Esto supondría también un menor consumo de energía, ya que Arduino Uno no está especificado para hacer dicha tarea por tanto su estructura no está optimizada en este campo, por lo que al activarla se activan componentes innecesarios para producir la señal, que consumen energía desgastando la batería. Otra de las mejoras puede ser sustituir los sensores de proximidad por un sistema de visión, lo cual permitiría al robot no solo realizar una tarea sino que se podría programar para que realice todas las pruebas utilizando el mismo sensor.



10 Referencias

- [1] A. d. R. d. I. U. C. III, «ASROB,» 2014. [En línea]. Available: <http://asrob.uc3m.es>. [Último acceso: 17 09 2014].
- [2] H. Z. A. D. A. Matthew J. Powell, «Motion Primitives for Human-Inspired Bipedal Robotic Locomotion: Walking and Stair Climbing,» de *Robotics and Automation (ICRA), IEEE International Conference*, pp. 543-549,, 2012.
- [3] K. Y. S. K. K. H. A. N. K. K. T. Qiang Huang, «Planning Walking Patterns for a Biped Robot,» de *IEEE Transactions on robotics and automation*, Vol. 17, No. 3, 2001.
- [4] A. D. Ames., «First steps toward automatically generating bipedal robotic walking from human data,» de *Robot Motion and Control 2011*, pp 89-116, 2012.
- [5] M. C. G. Figliolini, «Climbing Stairs with EP-WAR2 Biped Robot,» de *Robotics and Automation (ICRA), IEEE International Conference*, pp. 4116-4121, Vol 4, 2001.
- [6] T. A. T. F. Yasuhisa Hasegawa, «Trajectory generation for biped locomotion robot,» de *Mechatronics*, Vol. 10, pp 67-89 , 2000.
- [7] P. G. F. el Hafi, «Behavioral Approach for a Bipedal Robot Stepping Motion Gait,» de *Robotica*, Vol. 17, pp. 491-501, 1999.
- [8] T. H. S. Y. T. K. C. H. C. C. Y. H. C. L. L. M. F. Li, «Stair-climbing control of humanoid robot using force and accelerometer sensors,» de *SICE, Annual Conference IEEE*, pp. 2115-2120 , 2007.
- [9] J.-S. G. A. H. M. B. Stefan Oswald, «From 3D Point Cloud to Climbing Stairs: A Comparison of Plane Segmentation Approaches for humanoids,» de *Humanoids*, pp. 93-96. IEE, 2011.
- [10] G. A. B. M. Stefan Oswald, «Autonomous climbing of spiral staircases with humanoids,» de *Intelligent Robots and System (IROS). IEEE/RSJ International Conference on*, pp.4844-4849, 2011.
- [11] F. M. F. M. Jeans-Steffen Gutmann, «Stair climbing for humanoid robots using stereo visión,» de *Intelligent Robots and Systems (IROS 2004). IEEE/RSJ International Conference on*, Vol. 2, pp. 1407-1413, 2004.
- [12] J. C. G. G. A. F. B. F. G. A. Jardón, *CEABOT'14-Normativa General. VII Concurso de Robots Humanoides. Comité Español de Atomática (CEA).*, Tarrasa, Spain, 2013.



- [13] ROBOTIS, «Bioloid,» 2014. [En línea]. Available:
http://www.robotis.com/xs/BIOLOID_main_en. [Último acceso: 2014 07 19].
- [14] Arduino, «Arduino Download,» 2014. [En línea]. Available:
<http://arduino.cc/en/pmwiki.php?n=main/software>. [Último acceso: 15 03 2014].
- [15] M. Tena., «Diseño y desarrollo de un sistema anticolidión con sensores de proximidad sin contacto,» de *Proyecto fin de carrera, Universidad Carlos III, Madrid, 2011*, pp. 68-76.
- [16] A. J. Mason, «Profmason,» 2014. [En línea]. Available: <http://profmason.com/?s=cm9.04>.
[Último acceso: 05 03 2014].
- [17] R. Source, 2014. [En línea]. Available:
http://www.robotsource.org/bs/bd.php?bt=forum_CM9DeveloperWorld. [Último acceso:
01 03 2014].



ANEXOS



ANEXO A: Presupuesto

Todos los gastos producidos en la elaboración de este proyecto se van a describir a continuación.

1 Fases

Para simplificar la realización de este proyecto se ha dividido en distintas etapas en las que se han ido cumpliendo uno por uno los distintos objetivos marcados. A continuación se exponen todos los ciclos del trabajo:

Fase 1: Documentación inicial

- a. Planteamiento del problema y necesidades de material (10 horas)
- b. Búsqueda de información y oferta en el mercado (30 horas)
- c. Documentación acerca del entorno de trabajo (30 horas)
- d. Planteamiento de soluciones (50 horas)

Fase 2: Controladores

- a. Estudio del mercado de controladores (30 horas)
- b. Comparativa y selección del controlador (40 horas)
- c. Programación del controlador del sensor (70 horas)
- d. Programación del controlador del robot (150 horas)
- e. Diseño y fabricación del soporte (20 horas)

Fase 3: Sensores

- a. Estudio del mercado de los sensores (10 horas)
- b. Comparativa y selección del circuito sensor (20 horas)
- c. Montaje (50 horas)
- d. Calibración del sensor (30 horas)

Fase 4: Desarrollo del soporte de las baterías

- a. Diseño del soporte (50 horas)
- b. Fabricación (20 horas)
- c. Montaje (10 horas)

Fase 5: Ensayos realizados

- a. Pruebas realizadas (50 horas)
- b. Recopilación de datos (50 horas)
- c. Mejoras (20 horas)



Fase 6: Escritura de la memoria

- a. Redacción de la memoria (150 horas)
- b. Corrección y estructuración (30 horas)

FASES	HORAS
Documentación inicial	120
Placas	310
Sensores	110
Desarrollo del soporte de las baterías	80
Ensayos realizados	120
Escritura de la memoria	180
TOTAL	920

Tabla 6: Desglose de fases



2 Presupuesto del proyecto

2.1 Costes de componentes

En la elaboración de este proyecto se han empleado varios componentes. En la Tabla 7 se muestra un listado de los dispositivos que han sido necesarios en el montaje y puesta a punto del robot. La programación de los controladores y el diseño de los soportes se han realizado utilizando un ordenador, el cual debe incluirse. Para ajustar el presupuesto se ha realizado una amortización estándar de los equipos de aproximadamente tres años y contando con el tiempo invertido en la realización de este proyecto.

Inventario	Unidades	Componente	Coste unitario	Coste total
0	1	Controlador Arduino UNO	24.95 €	24.95 €
0	1	Controlador CM9.04-B	19.95 €	19.95 €
0	4	Circuito sensor	5.54 €	22,16 €
0	2	Cable 3mm rojo	0.20 €	0.40 €
0	2	Cable 3mm amarillo	0.20 €	0.40 €
0	2	Cable 3mm negro	0.20 €	0.40 €
0	2	Cable 3mm azul	0.20 €	0.40 €
1	1	Kit Bioloid Premium	985 €	985 €
5	2	Batería LiPo Yuntong	34 €	68 €
1	1	Placa perforada con pistas	2.75 €	2.75 €
1	1	Cargador Batería	16 €	16 €
0	1	Hub para bus Biolod	3 €	3 €
0	1	Alimentador de potencia	42 €	42 €
1	1	Set de Cable Bioloid 14 cm	14 €	14 €
			TOTAL	1199.41 €

Tabla 7: Lista de componentes y dispositivos

2.2 Costes de materiales

Esta lista contiene todos los valores que hay que tener en cuenta de los materiales empleados en la fabricación de los soportes tanto de las baterías como de las placas, además de todos los equipos y componentes utilizados para la soldadura y montaje tanto de los sensores como de las placas.

Primero hay que realizar un cálculo de los gramos de material utilizado en la fabricación de los soportes mediante una impresora 3D.

Los volúmenes de los soportes son:

$$V_{\text{BAT}} = 20.413 \text{ cm}^3$$

$$V_{\text{CONT}} = 38.579 \text{ cm}^3$$



En la fabricación de estos componentes se ajustaron los parámetros para que las piezas obtenidas no sean del todo compactas sino que llevan un 25% de relleno. Por lo tanto los volúmenes empleados por la impresora 3D son:

$$V_{TB} = V_{BAT} \cdot 0.25 = 20.413 \text{ cm}^3 \cdot 0.25 = 5.10 \text{ cm}^3$$

$$V_{TC} = V_{CONT} \cdot 0.25 = 38.579 \text{ cm}^3 \cdot 0.25 = 9.64 \text{ cm}^3$$

Una vez conocido el volumen total, se procede a calcular la masa del plástico ABS empleado, sabiendo que su densidad es $\rho_{ABS} = 1.05 \text{ g/cm}^3$

$$M_{BAT} = \rho_{ABS} \cdot V_{TB} = 5.10 \text{ cm}^3 \cdot 1.05 \text{ g/cm}^3 = 5.355 \text{ g}$$

$$M_{CONT} = \rho_{ABS} \cdot V_{TC} = 9.64 \text{ cm}^3 \cdot 1.05 \text{ g/cm}^3 = 10.22 \text{ g}$$

Sabiendo que el precio del plástico ABS es 20 €/Kg se procede a calcular el precio total del material utilizado:

$$P_{BAT} = 5.355 \cdot 10^{-3} \text{ Kg} \cdot 20 \text{ €/Kg} = 0.11 \text{ €}$$

$$P_{CONT} = 10.22 \cdot 10^{-3} \text{ Kg} \cdot 20 \text{ €/Kg} = 0.21 \text{ €}$$

Unidades	Material	Coste unitario	Coste total
2	Plástico del soporte de la batería	0.11 €	0.22 €
1	Plástico del soporte del controlador	0.21 €	0.21 €
		TOTAL	0.43 €

Tabla 8: Costes del plástico

En la Tabla 9 se presentan los costes totales tanto de los dispositivos utilizados como de los materiales y herramientas empleados en el proyecto:

CONCEPTO	PRECIO
Componentes y dispositivos	1199.41 €
Equipo de soldadura	70.00 €
Equipos de medición	37.50 €
Ordenador	55 €
Plástico ABS	0.43 €
TOTAL	1362.34 €

Tabla 9: Coste total de materiales y dispositivos



2.3 Costes de personal

En la realización del presente proyecto el autor ha invertido varias horas de trabajo desde el inicio hasta la finalización del mismo. Esta labor requiere una cualificación de nivel alto nivel. Por tanto, considerando el salario actual de un ingeniero y las horas necesarias para llevar a cabo la tarea se puede hacer una valoración aproximada de la cuantía del coste de la mano de obra. Este coste está detallado en la Tabla 10.

PERSONAL	HORAS	COSTE/HORA	COSTE
Ingeniero	920	10 €	9200 €
		TOTAL	9200 €

Tabla 10: Gastos de mano de obra.

2.4 Costes totales

CONCEPTO	PRECIO
Costes de materiales y dispositivos	1362.34 €
Costes de personal	9200 €
Subtotal	10562.34 €
IVA. (21%)	2218.09 €
TOTAL	12780.43 €

Tabla 11: Gasto total del proyecto.

El coste final del proyecto es de DOCE MIL SETECIENTOS OCHENTA CON CUARENTA Y TRES CÉNTIMOS.

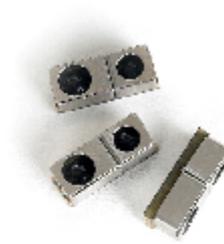
En _____, a ____ de _____ del 20 ____.

El ingeniero.



HSDL - 9100
Surface-Mount Proximity Sensor

Data Sheet



Description

The HSDL-9100 is an analog-output reflective sensor with an integrated high efficiency infrared emitter and photodiode housed in a small form factor SMD package. The optical proximity sensor is housed in a specially designed metal-shield to ensure excellent optical isolation resulting in low optical cross-talk.

HSDL-9100 is a class of its own with its small form SMD package and at a detection range from near zero to 60mm. It is specifically optimized for size, performance and ease of design in mobile constrained applications such as mobile phones and notebooks.

HSDL-9100 has extremely low dark current and high signal to noise ratio (SNR) where high SNR is achieved with a pair of highly efficient infrared emitter and highly sensitive detector.

Application Support Information

The Application Engineering Group is available to assist you with the application design associated with HSDL-9100 Proximity Sensor. You can contact them through your local sales representatives for additional details.

Features

- Excellent optical isolation resulting in near zero optical cross-talk
- High efficiency emitter and high sensitivity photodiode for high signal-to-noise ratio
- Low cost & lead-free miniature surface-mount package
 - Height – 2.70 mm
 - Width – 2.75 mm
 - Length – 7.10 mm
- Detect objects from near zero to 60mm
- Low dark current
- Guaranteed Temperature Performance -40°C to 85°C
- Lead-free and RoHS Compliant

Applications

- Mobile phones
- Notebooks
- Industrial Control
- Printers, Photocopiers and Facsimile machines
- Home Appliances
- Vending Machines

Order Information

Part Number	Packaging Type	Package	Quantity
HSDL-9100-001	Tape and Reel	PCB Substrate, moulded package	500
HSDL-9100-021	Tape and Reel	PCB Substrate, moulded package	2500

Block Layout

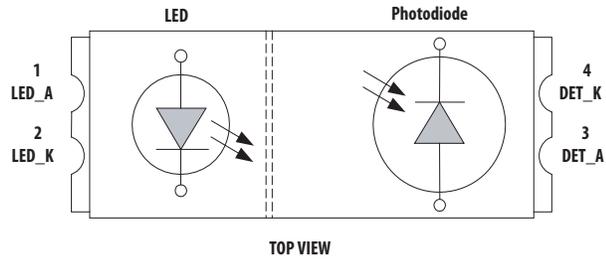


Figure 1. Block Layout of HSDL-9100

Pins Configuration Table

Pin	Symbol	Description	Notes
1	LED_A	LED Anode	1
2	LED_K	LED Cathode	-
3	DET_A	Photodiode Anode	-
4	DET_K	Photodiode Cathode	-

Notes:

Voltage to supply across the LED; VLED

Absolute Maximum Ratings (Ta=25°C)

Parameter	Symbol	Ratings		Units
		Min.	Max	
Emitter				
Continuous Forward Current	I _{DC}	-	100	mA
Coupled				
Total Power Dissipation (refer to Figure 1)	P _{TOT}	-	165	mW
Operating Temperature	T _{OP}	-40	+85	°C
Storage Temperature	T _{STG}	-40	+100	°C
Reflow Soldering Temperature	T _{SOL}	-	260	°C

Electrical-Optical Characteristics (Ta=25°C)

Parameter	Symbol	Test Condition	Ratings			Units
			Min	Typ	Max	
Emitter						
Forward Voltage	V _F	I _F = 100mA	-	1.50	1.65	V
Reverse Voltage	V _R	I _R = 10μA	5	-	-	V
Peak Wavelength	I _p	I _F = 20mA	-	940	-	nm
Spectrum Width of Half Value	D _p	I _F = 20mA	-	50	-	nm
Detector						
Dark Current	I _{Dark}	V _R = 10V, L** = 0	-	2	10	nA
Forward Voltage	V _F	I _F = 10mA, L=0	0.5	-	1.3	V
Reverse Breakdown Voltage	V _{BR}	I _R = 100uA, L = 0	-	-	35	V
Coupled						
Output Current	I _O	Refer to Fig 2	-	10	-	μA
Peak Output Distance	D _O	Refer Note 1	-	5	-	mm
Operating Cross Talk Current	I _{FD}	Refer to Fig 3	-	-	200	nA
Rise Time (LED)	T _{RL}	R _L = 50Ω	-	50	-	ns
Fall Time (LED)	T _{FL}	R _L = 50Ω	-	50	-	ns
Rise Time (Photodiode)	T _{RD}	R _L = 5.1KΩ	-	6	-	μs
Fall Time (Photodiode)	T _{FD}	R _L = 5.1KΩ	-	6	-	μs

** L = 0 (zero light condition)

Note:

- I_{Led} = 300mA Pulse, 5% Duty Cycle (Kodak 18% Reflectance Gray Card)

Output Current Test Condition (Ta=25°C)

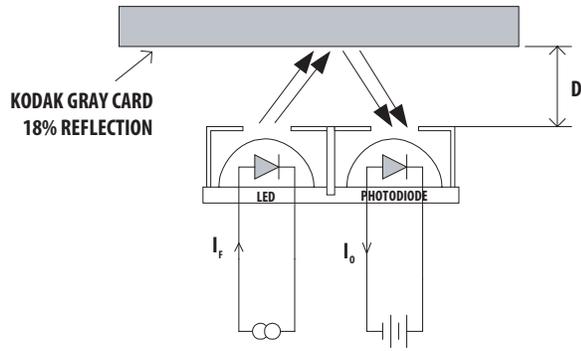


Figure 2.

Test Condition used are $D = 5\text{mm}$ 18% Gray Card, $I_{LED} = 300\text{mA}$ Pulse, 5% Duty Cycle

Dark Current Test Condition (Ta=25°C)

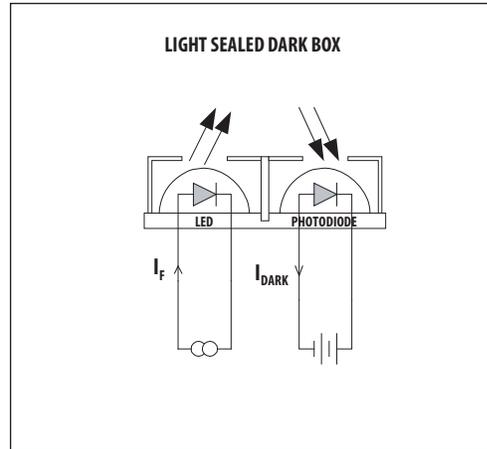


Figure 3.

Test Condition used are $I_{LED} = 300\text{mA}$ Pulse, 5% Duty Cycle

Response Time Test Condition (Ta=25°C)

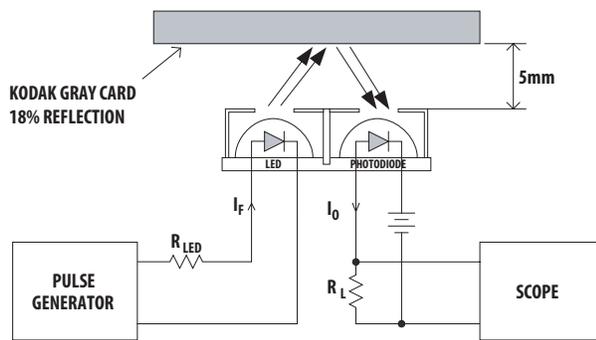
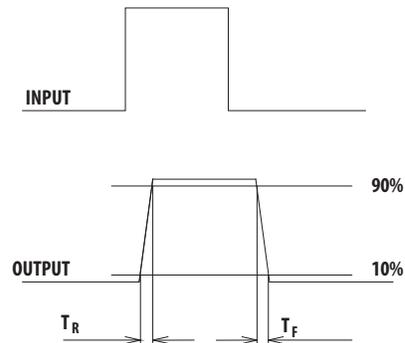
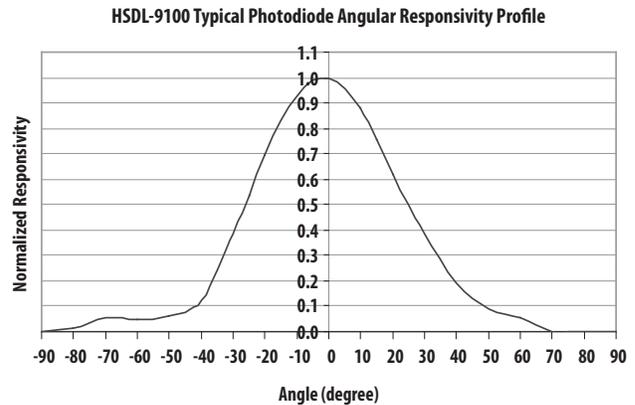
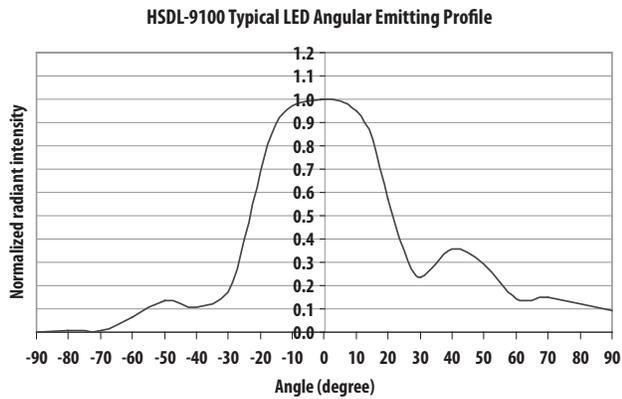


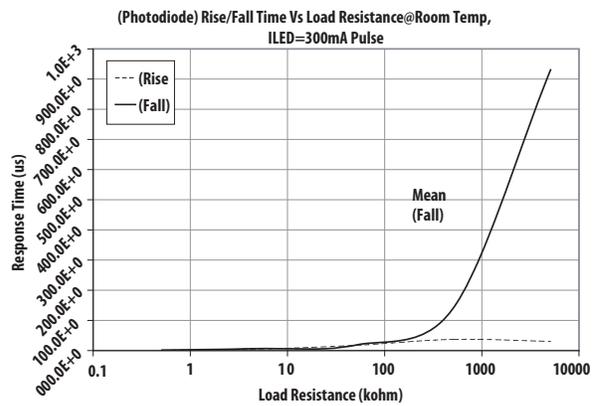
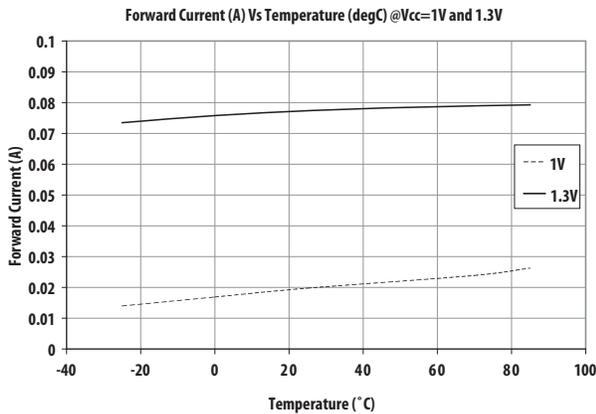
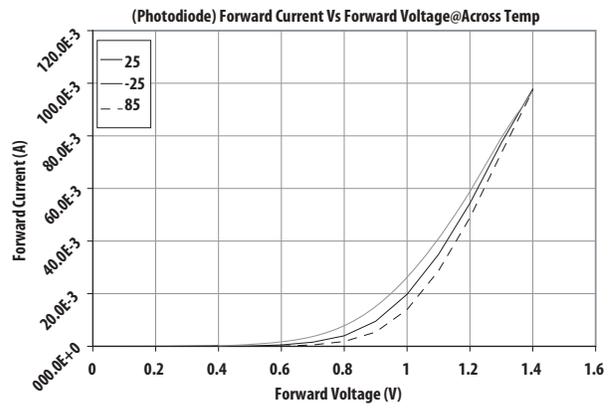
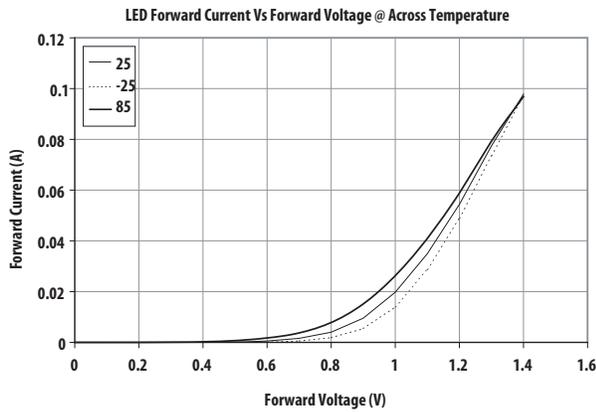
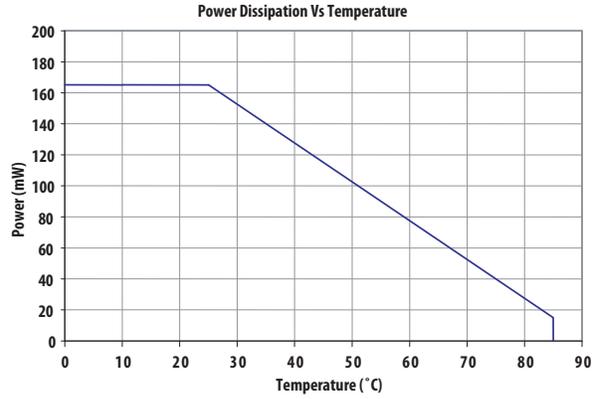
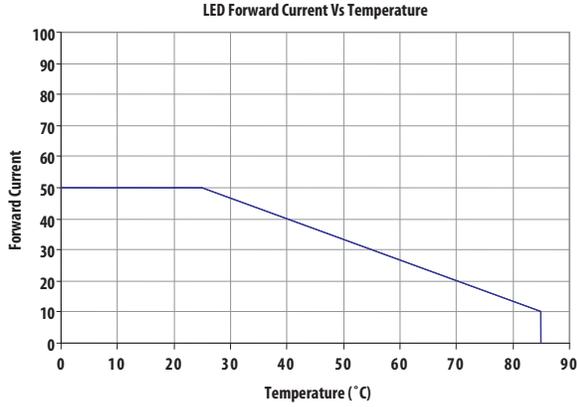
Figure 4. Response Time Test Condition

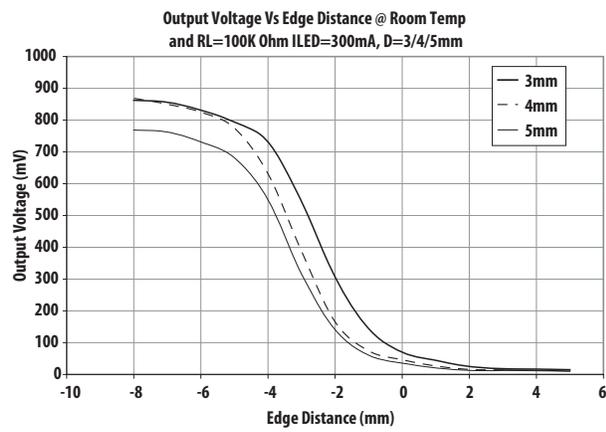
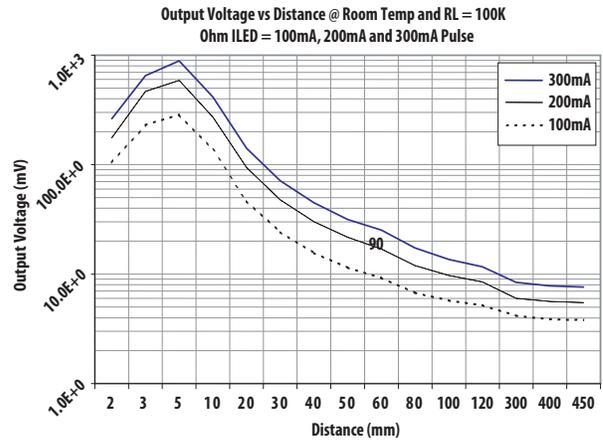
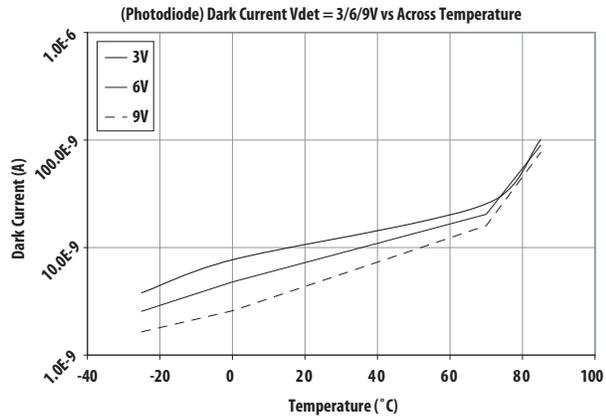


Typical Radiation Profile for HSDL-9100

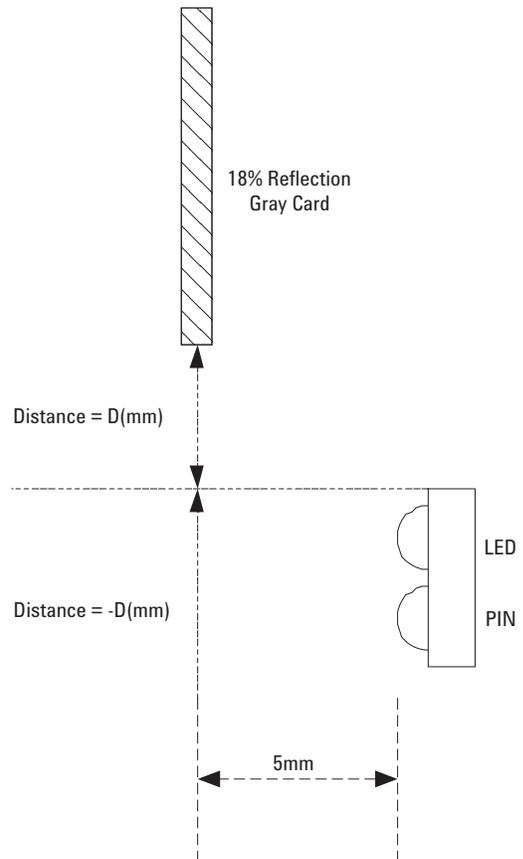


Typical Characteristics





The diagram below illustrates the explanation of edge distance. Edge detection is labeled as D in the diagram below.



HSDL-9100 Package Outlines

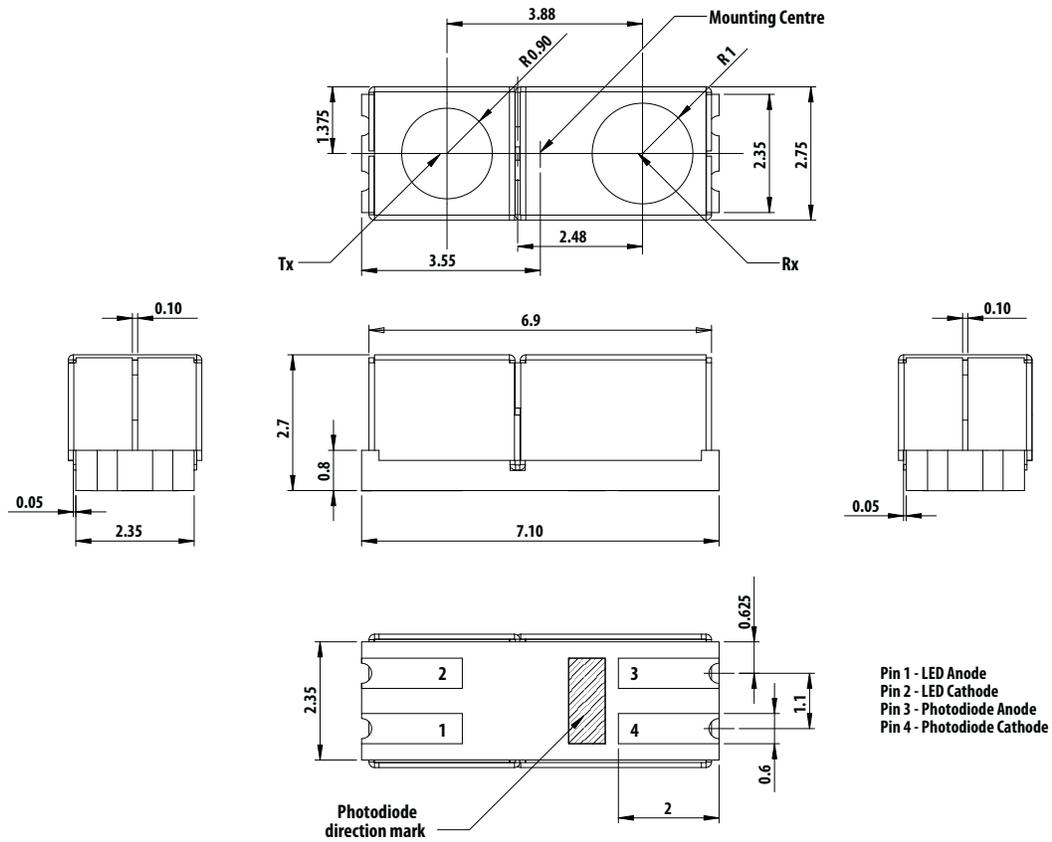


Figure 5a. HSDL-9100-021 Package dimensions

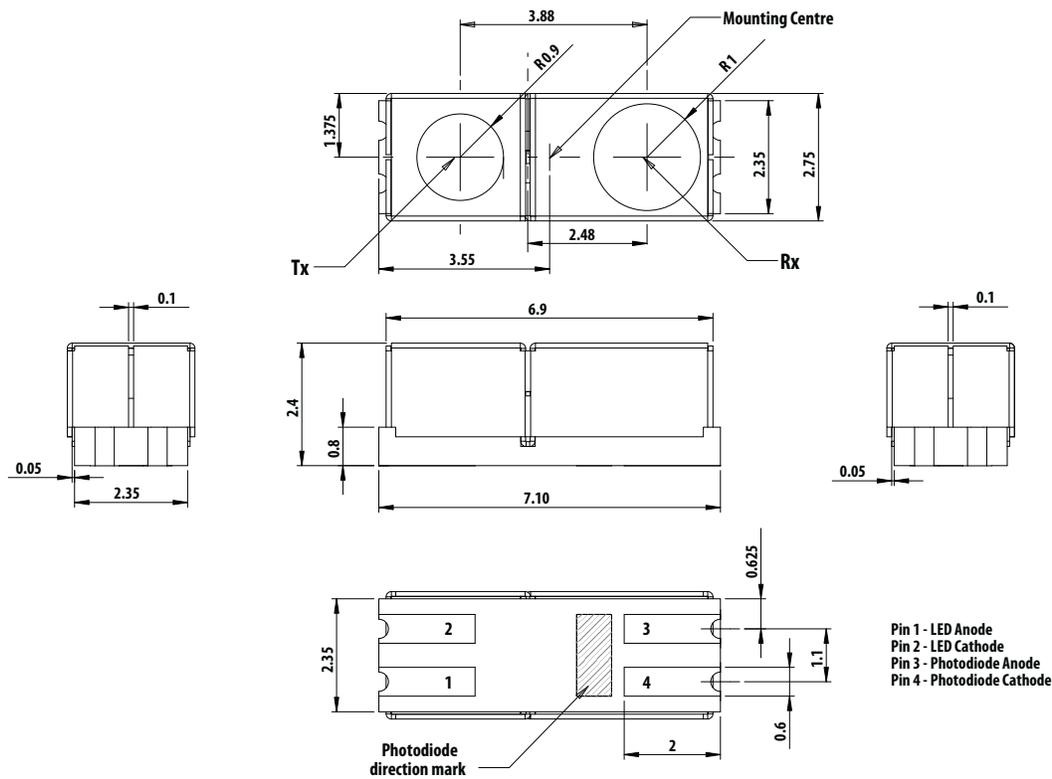
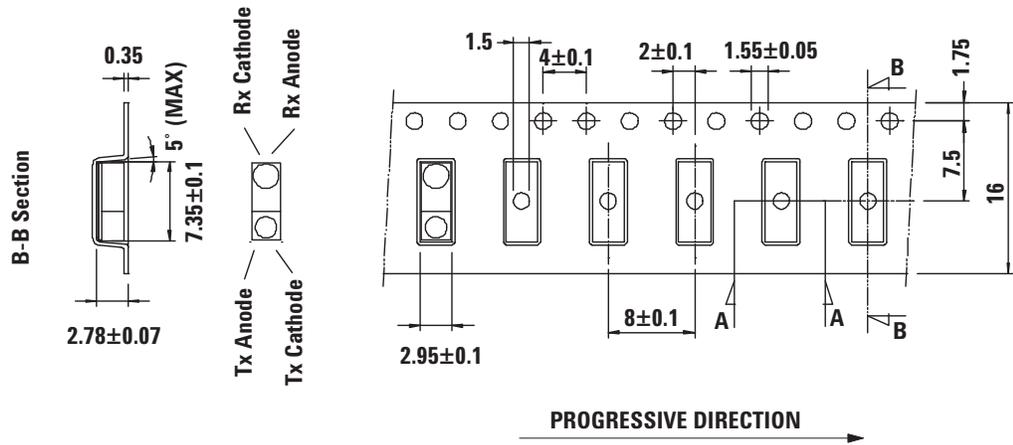
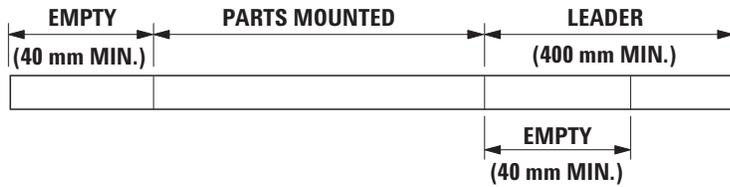


Figure 5b. HSDL-9100-024 Package dimensions

HSDL-9100-021/024 Tape and Reel Dimensions



UNIT: MM



OPTION #	"B"	"C"	QUANTITY
001	178	60	500
021	330	80	2500

UNIT: mm

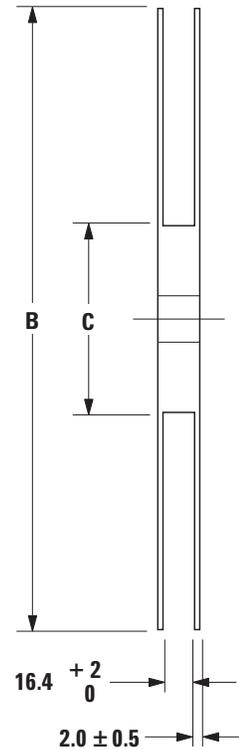
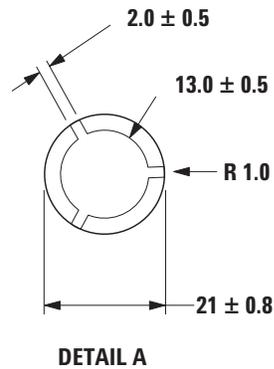
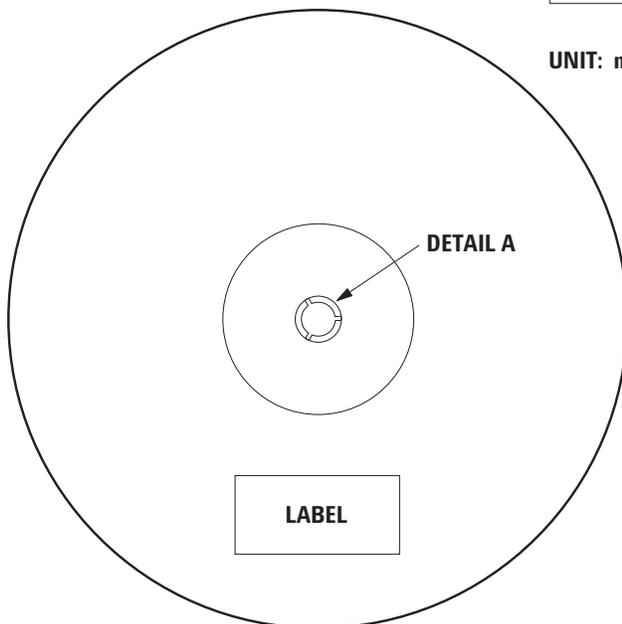


Figure 6. Tape and Reel Dimensions

HSDL-9100 Moisture Proof Packaging

All HSDL-9100 options are shipped in moisture proof package. Once opened, moisture absorption begins.

This part is compliant to JEDEC Level 3.

Baking Conditions

If the parts are not stored in dry conditions, they must be baked before reflow to prevent damage to the parts.

Package	Temp	Time
In reels	60 °C	≥ 48hours
In bulk	100 °C	≥ 4hours
	125 °C	≥ 2 hours

Baking should only be done once.

Recommended Storage Conditions

Storage Temperature	10°C to 30°C
Relative Humidity	below 60% RH

Time from unsealing to soldering

After removal from the bag, the parts should be soldered within seven days if stored at the recommended storage conditions.

Baking Conditions Chart

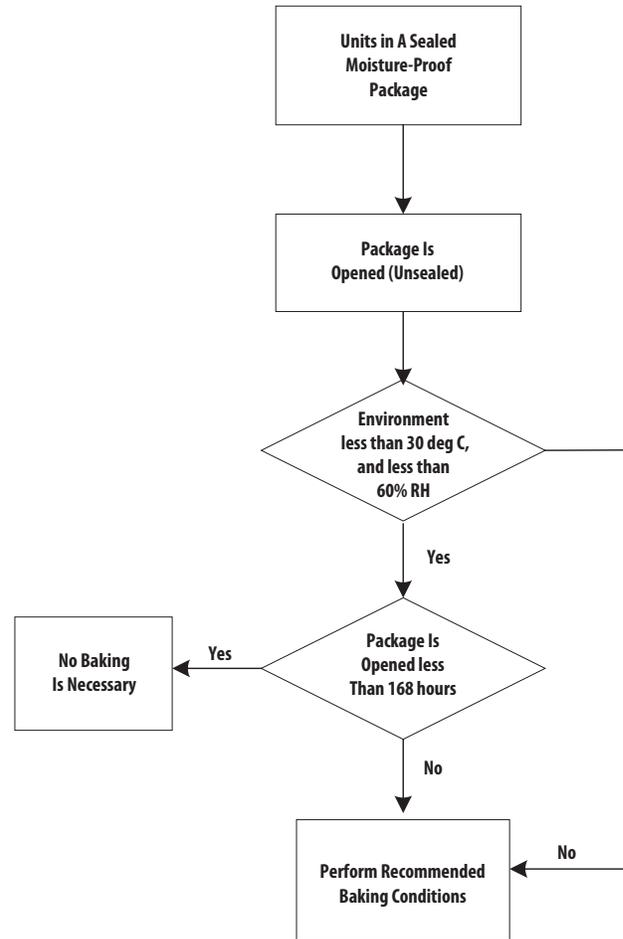
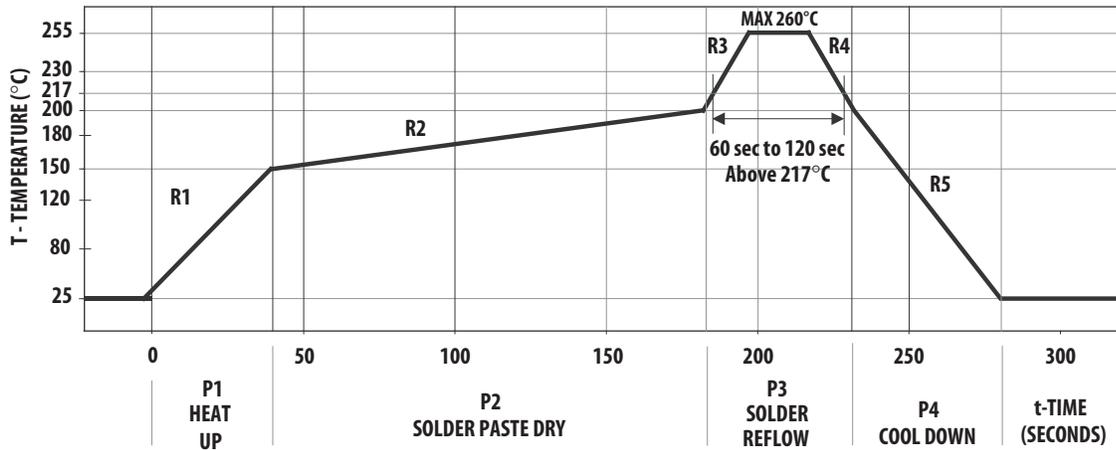


Figure 7. Baking conditions chart

Recommended Reflow Profile



Process Zone	Symbol	ΔT	Maximum $\Delta T/\Delta \text{time}$ or Duration
Heat Up	P1, R1	25°C to 150°C	3°C/s
Solder Paste Dry	P2, R2	150°C to 200°C	100s to 180s
Solder Reflow	P3, R3	200°C to 260°C	3°C/s
	P3, R4	260°C to 200°C	-6°C/s
Cool Down	P4, R5	200°C to 25°C	-6°C/s
Time maintained above liquidus point, 217°C		> 217°C	60s to 120s
Peak Temperature		260°C	-
Time within 5°C of actual Peak Temperature		> 255°C	20s to 40s
Time 25°C to Peak Temperature		25°C to 260°C	8mins

The reflow profile is a straight-line representation of a nominal temperature profile for a convective reflow solder process. The temperature profile is divided into four process zones, each with different $\Delta T/\Delta \text{time}$ temperature change rates or duration. The $\Delta T/\Delta \text{time}$ rates or duration are detailed in the above table. The temperatures are measured at the component to printed circuit board connections.

In process zone P1, the PC board and component pins are heated to a temperature of 150°C to activate the flux in the solder paste. The temperature ramp up rate, R1, is limited to 3°C per second to allow for even heating of both the PC board and component pins.

Process zone P2 should be of sufficient time duration (100 to 180 seconds) to dry the solder paste. The temperature is raised to a level just below the liquidus point of the solder.

Process zone P3 is the solder reflow zone. In zone P3, the temperature is quickly raised above the liquidus point of solder to 260°C (500°F) for optimum results. The dwell time above the liquidus point of solder should be between 60 and 120 seconds. This is to assure proper coalescing of the solder paste into liquid solder and the formation of good solder connections. Beyond the recommended dwell time the intermetallic growth within the solder connections becomes excessive, resulting in the formation of weak and unreliable connections. The temperature is then rapidly reduced to a point below the solidus temperature of the solder to allow the solder within the connections to freeze solid.

Process zone P4 is the cool down after solder freeze. The cool down rate, R5, from the liquidus point of the solder to 25°C (77°F) should not exceed 6°C per second maximum. This limitation is necessary to allow the PC board and component pins to change dimensions evenly, putting minimal stresses on the component.

It is recommended to perform reflow soldering no more than twice.

Appendix A: HSDL-9100 SMT Assembly Application Note

Recommended Metal solder Stencil Aperture

It is recommended that only a 0.152 mm (0.006 inch) or a 0.127 mm (0.005 inch) thick stencil be used for solder paste printing. This is to ensure adequate printed solder paste volume and no shorting. See Table 1 below the drawing for combinations of metal stencil aperture and metal stencil thickness that should be used. Aperture opening for shield pad is 3.05 mm x 1.1 mm as per land pattern.

Table 1. Combinations of metal stencil aperture and metal stencil thickness

	Aperture size (mm)	
	Length, l	Width, w
0.152	1.60+/-0.05	0.55+/-0.05
0.127	1.92	0.55+/-0.05

Adjacent Land Keep out and Solder Mask Areas

Adjacent land keep out is the maximum space occupied by the unit relative to the land pattern. There should be no other SMD components within this area. The minimum solder resist strip width required to avoid solder bridging adjacent pads is 0.2mm. It is recommended that two fiducial crosses be placed at mid length of the pads for unit alignment. Also do take note that there should not be any electrical routing with the component placement compartment.

Note:

Wet/Liquid Photo-imaginable solder resist/mask is recommended

Solder Pad, Mask and Metal Stencil

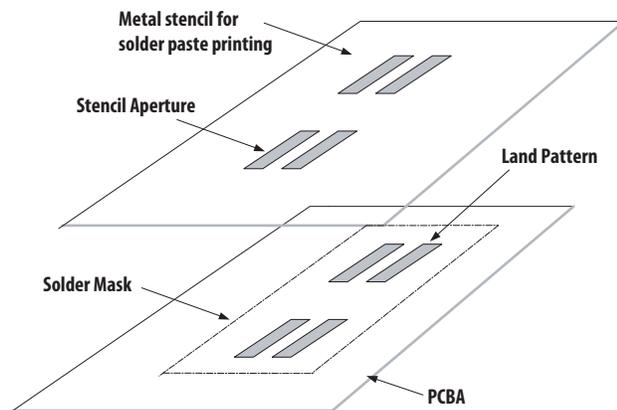
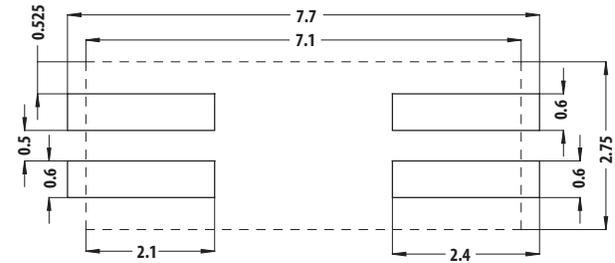


Figure 9. Stencil and PCBA

Recommended land pattern



Solder / stencil opening for each pad is 2.4mm x 0.6mm

Figure 10. Land Pattern

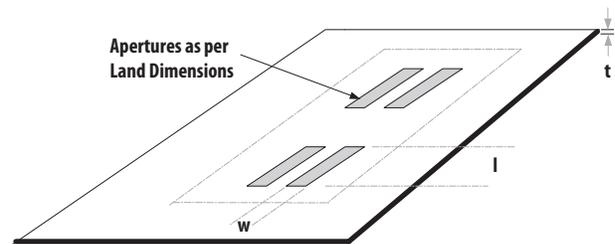
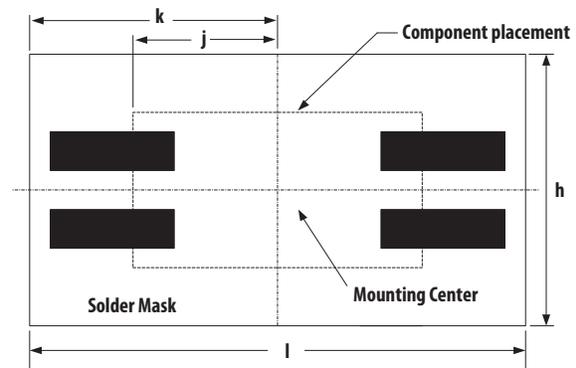


Figure 11. Solder stencil aperture



Dim.	mm
h	4.15
l	11
k	5.5
j	3.5

Figure 12. Keep-out area

Appendix B: General Application Guide for the HSDL-9100

Description

The Proximity sensor has several possible applications for multimedia product, Automation, and Personal handled. The proximity sensor is basically made up of the emitter (infrared LED) and detector (photodiode). The block diagram of the sensor is shown in Figure 13. The emitter will emit IR light pulse. This light travels out in the field of view and will either hit an object or continue. No light will be reflected when no object is detected. On the other hand, the detector will detect the reflected IR light when it hits the object.

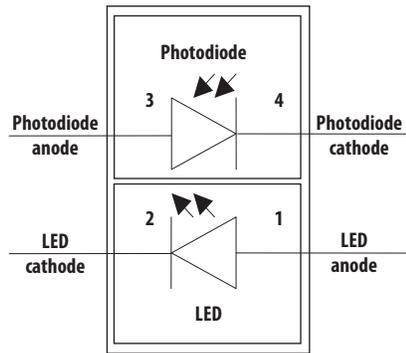
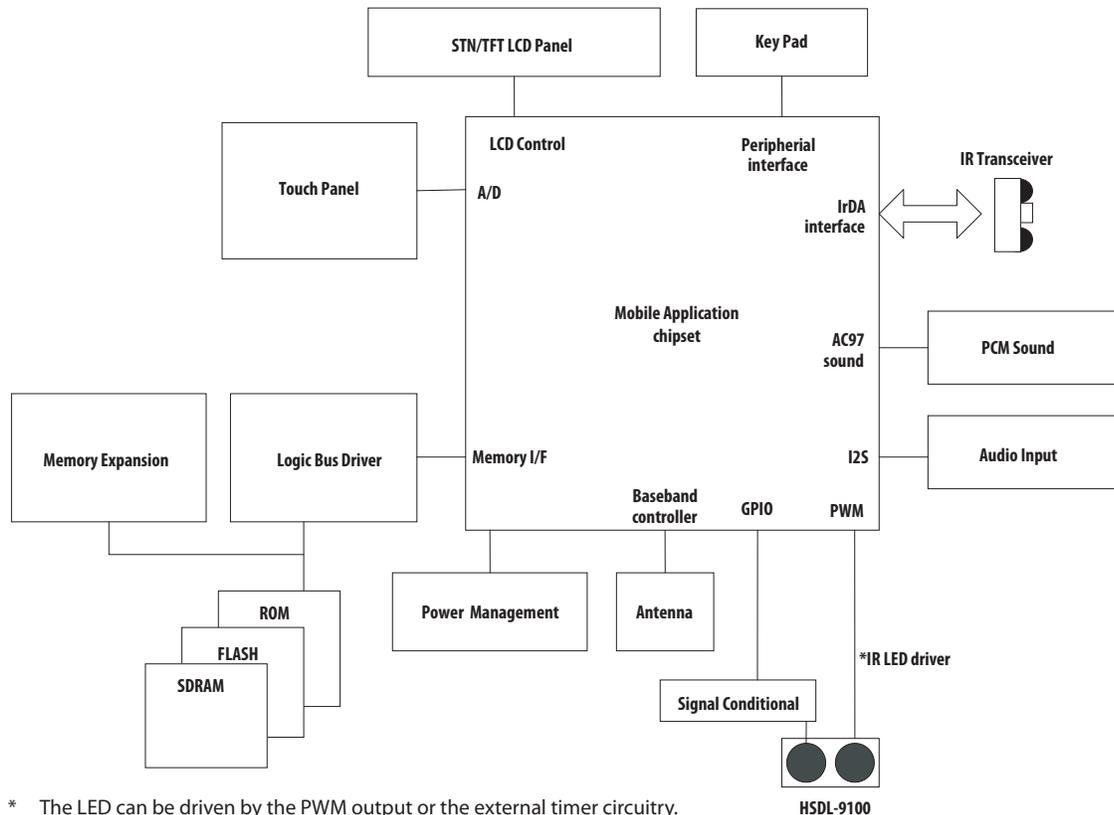


Figure 13. Proximity sensor block diagram (refer to Pins Configuration Table)

Interface to the Recommended I/O chip

The HSDL-9100 is general interface with the GPIO pin of the controller chipset. The LED_A, pin1 is connected to the PWM port alternatively the external timer circuitry can be used to drive the LED. The DET_K, pin 4 is interface to the signal conditioning before driving the GPIO port.

Figure 14 shows the hardware reference design with HSDL-9100.



* The LED can be driven by the PWM output or the external timer circuitry.

Figure 14. Mobile Application Platform

The next section discusses interfacing configuration with general processor including the recommended signal conditional circuitry.

The DET_A pin of HSDL-9100 is connected to the filter circuit then to the comparator before interfacing with the GPIO pin. The filter circuit is implement to provide the ambient light filter. The PWM is pulse to drive the LED_K pin alternative the external timer 555 can also be replaced. The detector distance can be varies with the increase/decrease of the LED current supply.

Interfacing circuitry with signal conditional circuitry

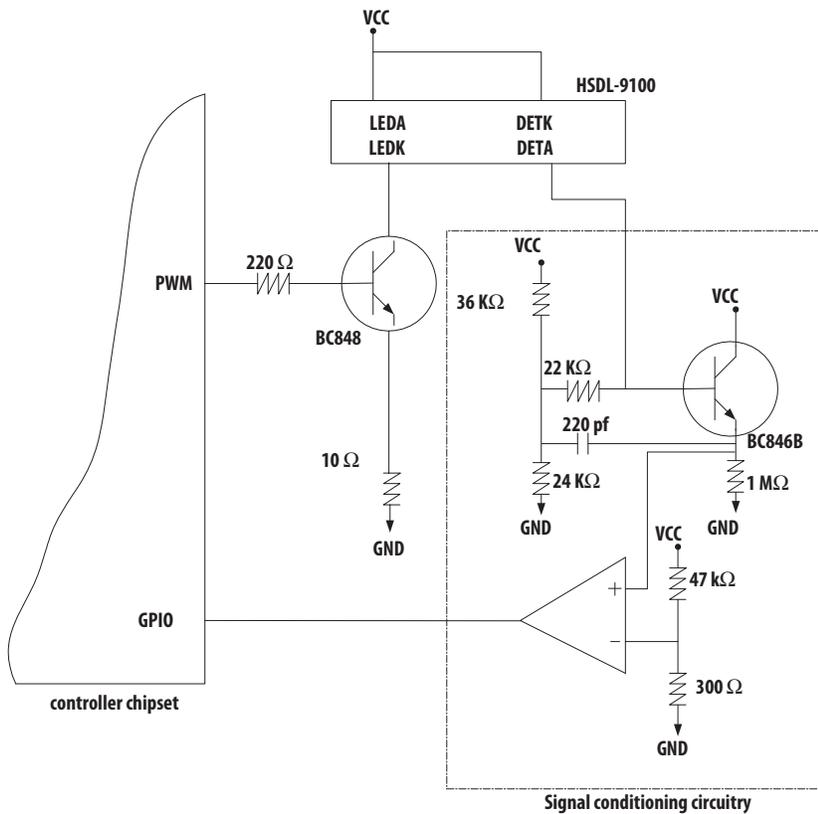


Figure 15. HSDL9100 configuration with controller chipset

Appendix C: Recommended window and light guide for HSDL-9100

Some constraints on the design and position of the window are required so that the cross talk from the emitter to the photodiode is minimized. Four recommendations of window design are suggested as below:

- Put the optical sensor close to the window material. (See option 1)
- Using baffle in between emitter and detector will reduce the crosstalk caused by bottom surface. It is recommended to extend the baffle into the flat window as to reduce the crosstalk caused by top surface too. (See option 2)
- Using opaque material of light pipes with two holes as light path. The structure need to be carefully designed to minimize the signal loss and crosstalk. (See option 3)
- Using separate pieces of light guide bonded together for emitter and photo sensor respectively. Insert a baffle in between the two light guides. (See option 4)

Recommended Window Material

Almost any plastic material will work as a window material. Polycarbonate is recommended. The surface finish of the plastic should be smooth, without any texture. The thickness of the window material is recommended to be less than 0.5mm. An IR filter dye may be used in the window to make it look black to the eye but the total optical loss of the window should be 10% or less for best optical performance. Light loss should be measured at 875nm. The recommended plastic materials for use as a cosmetic window are available for General Electric Plastics.

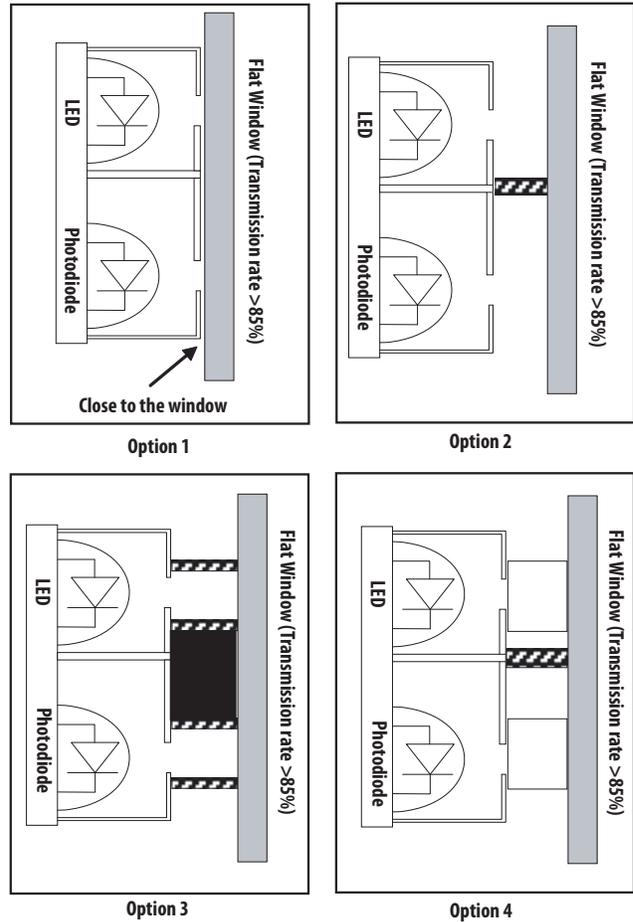
Recommended Plastic Materials:

Material #	Light Transmission	Haze	Refractive Index
Lexan 141	88%	1%	1.586
Lexan 920A	85%	1%	1.586
Lexan 940A	85%	1%	1.586

Note:

920A and 940A are more flame retardant than 141.

Recommended Dye: Violet #21051 (IR transmissant above 625 nm)



For product information and a complete list of distributors, please go to our web site: www.avagotech.com

Avago, Avago Technologies, and the A logo are trademarks of Avago Technologies in the United States and other countries.

Data subject to change. Copyright © 2005-2009 Avago Technologies. All rights reserved. Obsoletes AV02-0779EN

AV02-2259EN - November 26, 2009

AVAGO
TECHNOLOGIES



APDS-9700 Signal Conditioning IC for Optical Proximity Sensors



Data Sheet

Description

APDS-9700 is a signal conditioning IC that enhances the performance and robustness of the optical sensors used for proximity or object detection.

APDS-9700 is a single chip solution that consists of a LED driver circuit, sunlight cancellation and built-in LED stuck high protection circuit integrated into a single chip. APDS-9700 has artificial light immunity and is also operational under the sun. Design flexibility is optimized as APDS-9700 can be paired up with an integrated proximity sensor or discrete pair solution.

APDS-9700 can be disabled to maximize power savings and battery life in applications such as portable or battery-operated devices. The LED current of the optical proximity sensors can be configured to different levels using a limiting resistor at the LEDA pin. APDS-9700 also provides user flexibility to control the pulse width with suitable burst rate, duty cycle and frequency that can reduce power consumption. These low power consumption features makes it also ideal for low power mobile and handheld devices.

APDS-9700 is capable of operating at voltage supply ranging from 2.4 V to 3.6 V. APDS-9700 has two separate output pins for analog and digital outputs. This provides flexibility to use either the analog or digital output (or both) depending on the requirements of the application.

The device is packaged in 8-pin QFN package measuring 0.55mm(H) x 2mm(W) x 2mm(L).

Ordering Information

Part Number	Package	Shipping Option
APDS-9700-020	Tape & Reel	2500

Application Support Information

The Application Engineering Group is available to assist you with the application design associated with APDS-9700 module. You can contact them through your local sales representatives for additional details.

Features

- Low power consumption
 - LED pulse width control
 - Low shut down current
 - External LED drive-current control
- Complete shutdown mode
- Supply voltage : 2.4 V to 3.6 V
- Operational in sunlight conditions up to 100klux(with HSDL-9100)
- Artificial light immunity
- Analog & Digital output available
 - Built in hysteresis comparator for digital output
- LED stuck High protection
- Wide bandwidth Trans-impedance amplifier
- External capacitor and resistor for integration and gain controls
- Flexibility to enhance detection distance up to 200mm with HSDL-9100 or further with external discretes pair
- Small 2mm x 2mm QFN 8-pin package
- Design flexibility to pair with Avago Proximity Sensors or discretes pair solution
- Lead-free & ROHS Compliant

Applications

- PDA and mobile phones
- Portable and Handheld devices
- Personal Computers/Notebooks
- Amusement/Games/Vending Machines
- Industrial Automation
- Contactless Switches
- Sanitary Automation

Absolute Maximum Ratings (Ta=25°C)

Parameter	Symbol	Min.	Max.	Units	Conditions
Supply Voltage	V _{CC}	0	4.5	V	
Input Logic Voltage	V _i	0	4.5	V	
Reflow Soldering Temperature			260	°C	

Recommended Operating Conditions

Parameter	Symbol	Min.	Max.	Units	Conditions
Operating Temperature	T _A	-40	105	°C	
Storage Temperature	T _s	-40	125	°C	
Supply Voltage	V _{CC}	2.4	3.6	V	

Electrical & Optical Specifications (Ta=25°C)

Parameters	Symbol	Minimum	Typical	Maximum	Units	Conditions
Input						
Logic High Voltage, LEDON	V _{IH}	1.6		V _{CC}	V	
Logic High Voltage, ENB	V _{IH}	1.4		V _{CC}	V	For V _{CC} = 2.4V
		1.5		V _{CC}	V	For 2.4V < V _{CC} ≤ 3V
		1.7		V _{CC}	V	For 3V < V _{CC} ≤ 3.6V
Logic Low Voltage, LEDON	V _{IL}	0		0.3	V	
Logic Low Voltage, ENB	V _{IL}	0		0.3	V	
Logic High Input Current, LEDON	I _{IH}		0.1	1	µA	V _I ≥ V _{IH}
Logic High Input Current, ENB	I _{IH}		0.1	1	µA	V _I ≥ V _{IH}
Logic Low Input Current, LEDON	I _{IL}		0.1	1	µA	V _I ≤ V _{IL}
Logic Low Input Current, ENB	I _{IL}		0.1	1	µA	V _I ≤ V _{IL}
Shutdown Current	I _{SD}		0.3	1	µA	V _{CC} =3V, ENB=3V
Idle Current	I _{CC}		500	650	µA	V _{CC} =3V, ENB=0V
Output						
Digital Output	V _{OL}	0		0.3	V	I _{DOUT(Low)} = 2mA, V _{CC} = 3V
Rise Time(DOUT)	T _R		1		µs	V _{CC} = 3V, R ₂ = 10kΩ, Frequency = 10kHz
Fall Time(DOUT)	T _F		1		µs	V _{CC} = 3V, R ₂ = 10kΩ, Frequency = 10kHz
Transmitter						
Rise Time (LEDA)	T _R		40		ns	V _{CC} = 3V, I _{LED} = 120mA, Freq = 10kHz
Fall Time (LEDA)	T _F		40		ns	V _{CC} = 3V, I _{LED} = 120mA, Freq = 10kHz
Max I _{LED} Pulse Width	Max-PW		120		µs	V _{CC} =3V, ENB=0V
I _{LED} Pulse Current	I _{LED}		120	300	mA	V _{CC} =3V, R ₁ = 10Ω

Electrical & Optical Specification (continued)

Parameters	Symbol	Minimum	Typical	Maximum	Units	Conditions
Receiver						
Photodiode input current (PD)	I_{PD}	0		3	μA	
Current Gain	I_{PFILT}/I_{PD}		20		times	$V_{CC} = 3V$
Hysteresis Comparator						
Hysteresis	V_{HYS}		40		mV	$V_{CC} = 3.0V$
Threshold voltage	V_{TH}		655		mV	$V_{CC} = 3.0V$
Sunlight Cancellation						
DC Current, PD	I_{DC}		100		μA	$V_{CC} = 3.0V$

APDS-9700 pin-out and I/O Configurations

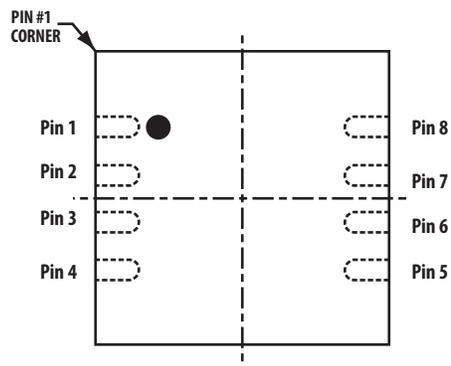


Figure 1. APDS-9700 pin-out and I/O Configurations

I/O Pins Configuration Table

Pin	Symbol	Type	Description
1	LEDON	Digital I/P	LED Driver Input LEDA will turn off when LEDON is stuck in high state for > Max-PW
2	ENB	Digital I/P	Power Down Enable ENB = 0 Normal mode operation ENB = 1 Shut down mode
3	DOUT	Digital O/P	Digital Output An open drain output that requires a pull-up resistor of recommended value 10k Ω DOUT = Low when $V_{PFILT} > V_{TH}$ DOUT = High when $V_{PFILT} < V_{TH}$
4	GND	Ground	Ground
5	PD	Analog I/P	Photo-Detector Input Connect to Cathode of photo-detector (proximity sensor)
6	PFILT	Analog O/P	Analog Output Connect to integration circuit (R3 & CX3)
7	LEDA	Analog O/P	LED Driver Output Connect to Anode of LED (proximity sensor) LEDA will turn off when LEDON is stuck in high state for > Max-PW
8	VCC	Supply	Voltage Supply

Application Circuit for APDS-9700

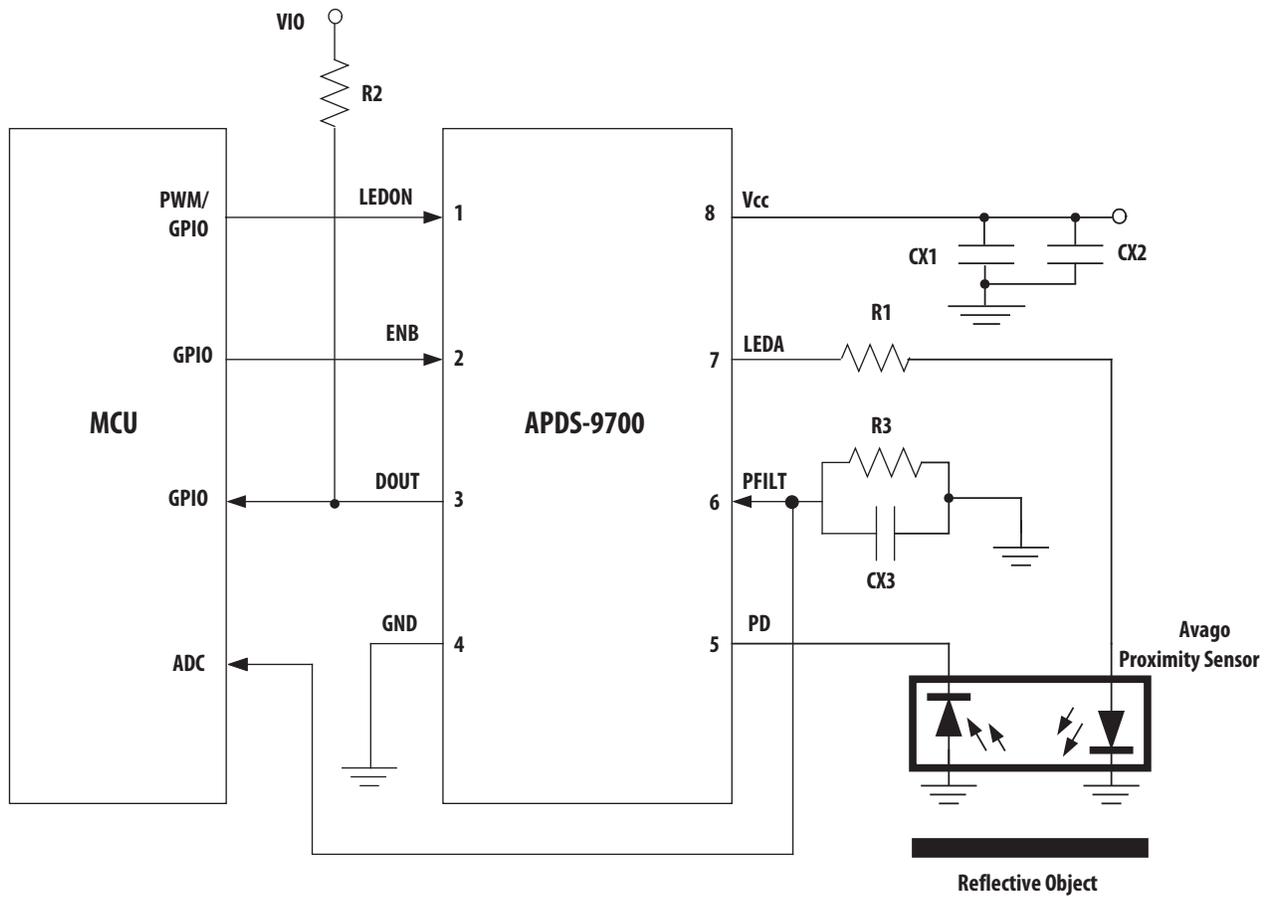


Figure 2. Typical Application Circuit for APDS-9700

Recommended Avago Proximity Sensor	Description
HSDL-9100	Integrated Reflective Proximity Sensor

Component	Recommended Values (with HSDL-9100)
R1	10 Ω
R2	10k Ω
R3	100k Ω to 500k Ω
CX1	100 nF \pm 20% X 7R, Ceramic,
CX2	6.8 μ F \pm 20%, Tantalum
CX3	3.3 nF \pm 20% X 7R, Ceramic

APDS-9700 Block Diagram

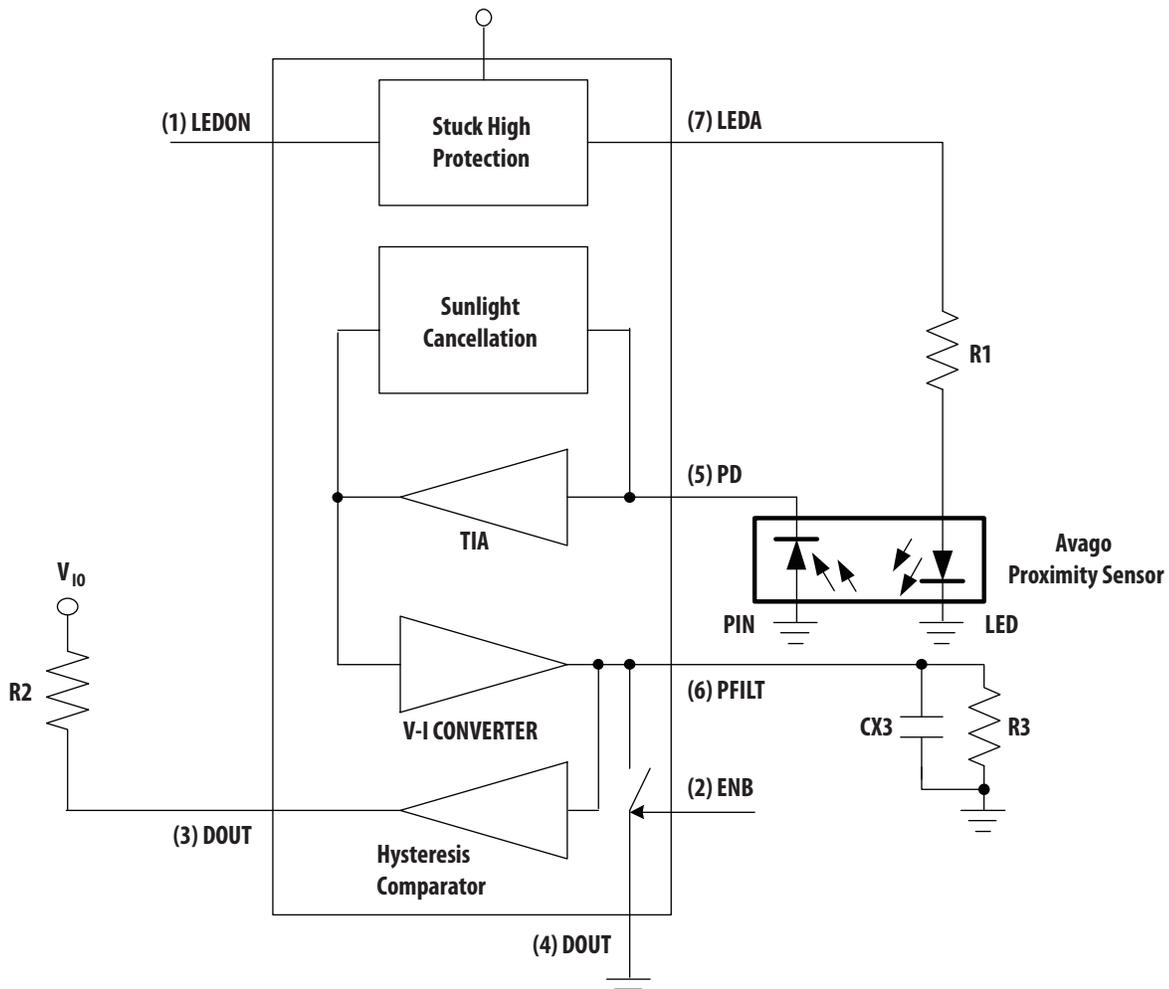
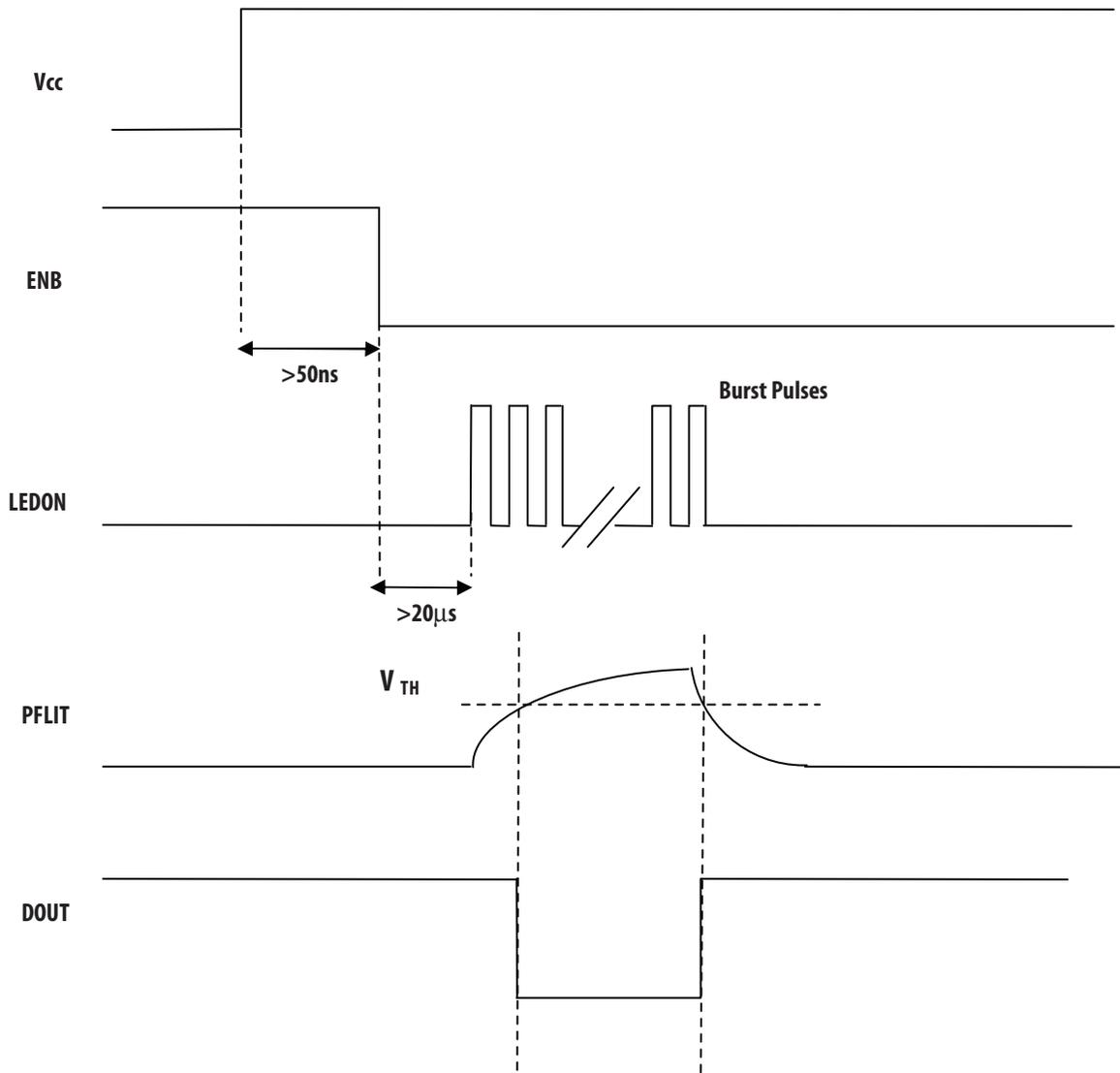


Figure 3. APDS-9700 Block Diagram

APDS-9700 Typical Timing Waveforms



Note:
Pulses at LEDON can only be activated at least 20us after ENB turn from high to low.

Figure 4. APDS-9700 Typical Timing Waveforms

APDS-9700 Performance Charts (Typical Conditions)

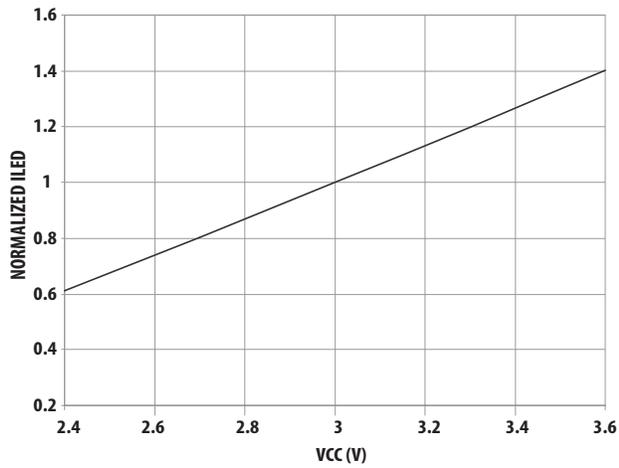


Figure 5. Normalized ILED Vs Vcc (T=25°C, R1=10Ω)

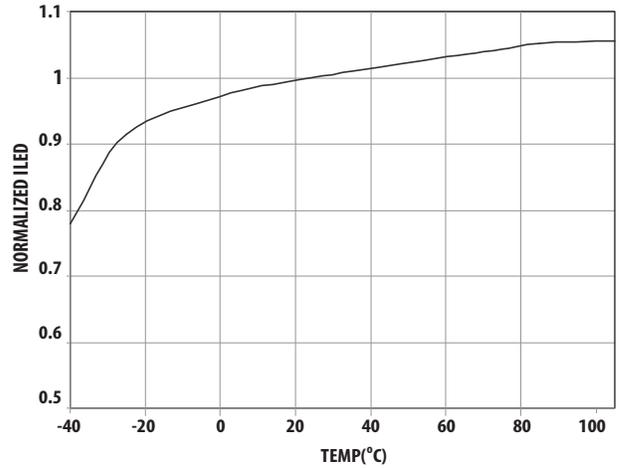


Figure 6. Normalized ILED VS Temp (VCC=3V, R1=10Ω)

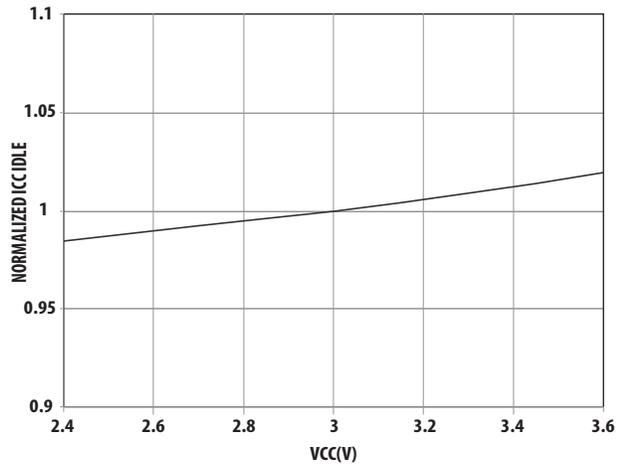


Figure 7. Normalized ICC Idle Vs Vcc (T=25°C)

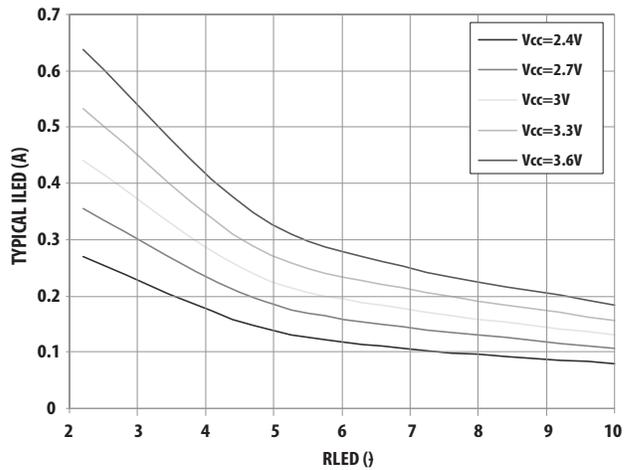


Figure 8. ILED VS RLED (T=25°C)

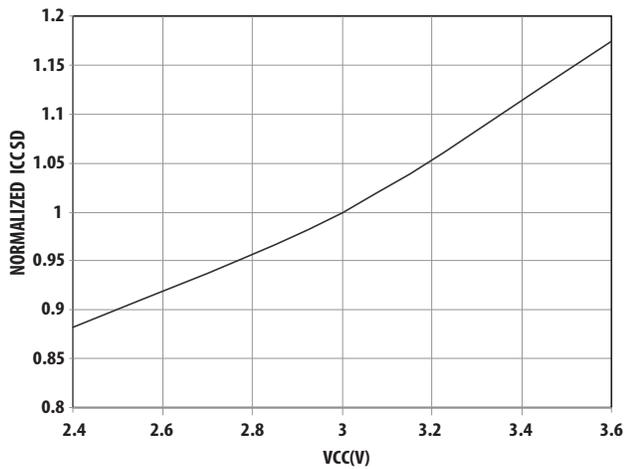


Figure 9. Normalized ICC SD VS VCC (T=25°C)

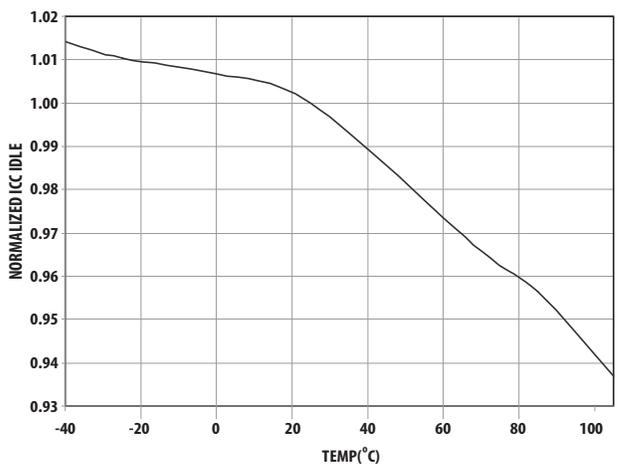
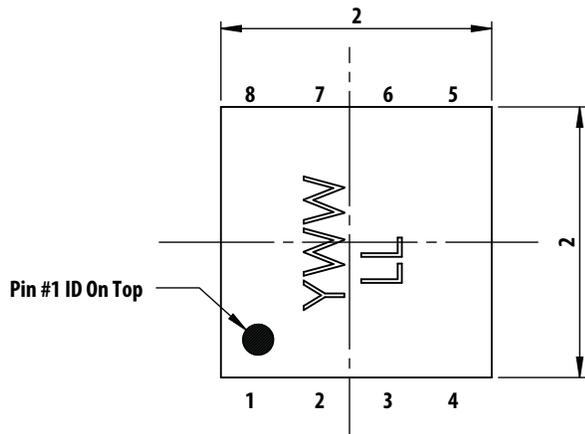


Figure 10. Normalized ICC Idle VS Temp (VCC=3V)

APDS-9700 Package Dimensions



TOP VIEW

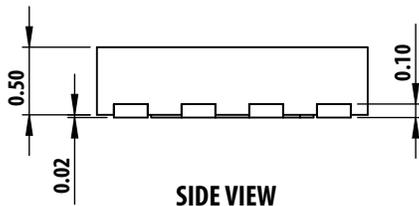
Marking Information

The unit is marked 'YWW LL' on the chip.

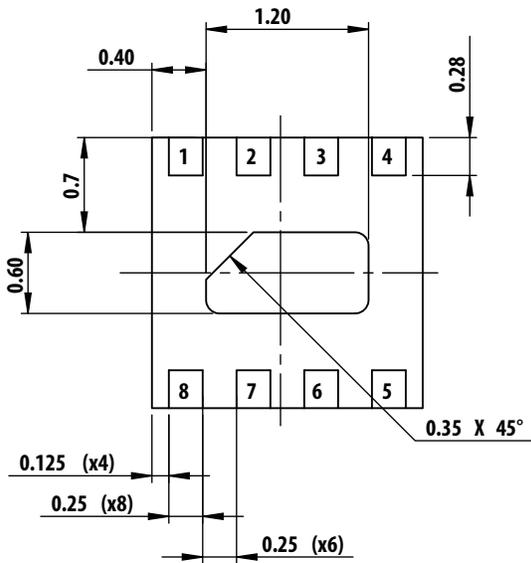
Y = Year (Last digit of the year)

WW = work week (1-54)

LL = Lot number (01-99)



SIDE VIEW



BOTTOM VIEW

Dimensions in mm. Tolerance ± 0.1 mm

Figure 11. Package Outline Dimensions and land pattern

Reel Drawings

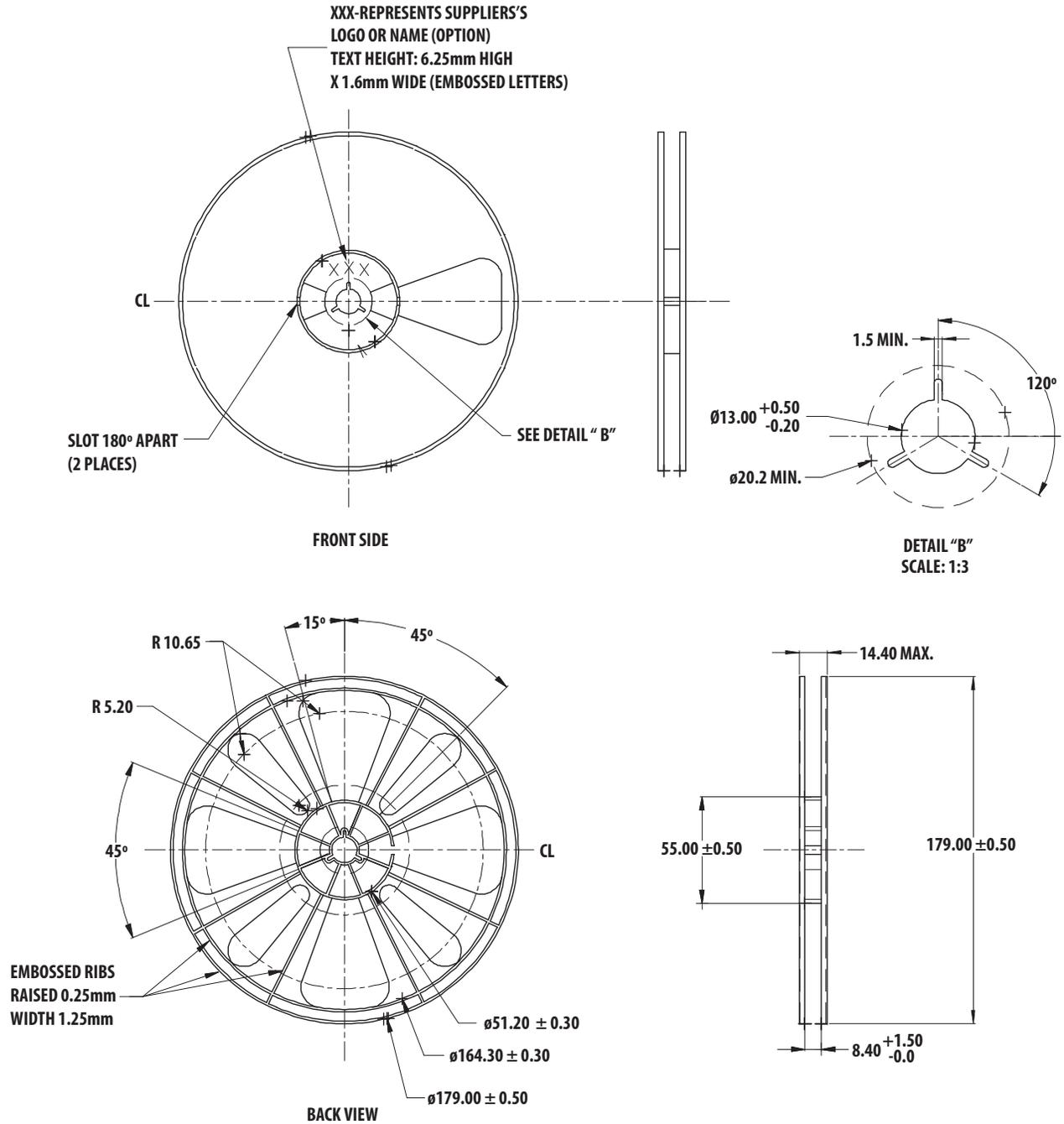


Figure 14. Reel Dimension Drawing

APDS-9700 Packaging

All APDS-9700 options are shipped in ESD proof package.
This part is compliant to JEDEC MSL1.

Recommended Storage Conditions

Storage Temperature	The units in tape and reel are recommended to be kept in a controlled climate environment, with temp at 25 +5/-10°C and relative humidity at 55 +/-15%.
Time from unsealing to soldering	This part is compliant to JEDEC MSL-1 (unlimited floor life at < 30°C / 85%RH)

Recommended Reflow Profile

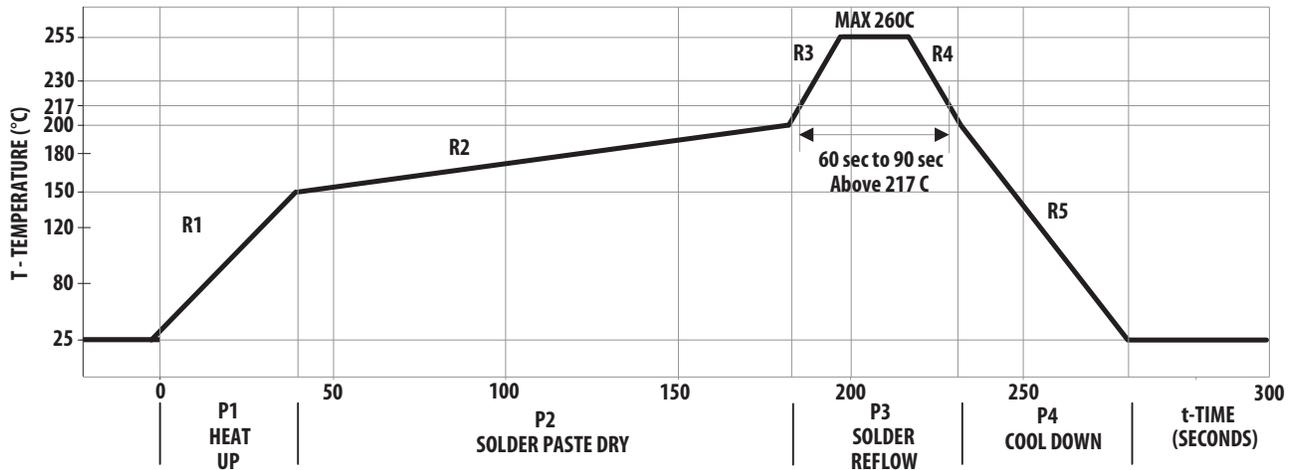


Figure 15. Recommended Reflow Profile

The reflow profile is a straight-line representation of a nominal temperature profile for a convective reflow solder process. The temperature profile is divided into four process zones, each with different $\Delta T/\Delta \text{time}$ temperature change rates or duration. The $\Delta T/\Delta \text{time}$ rates or duration are detailed in the above table. The temperatures are measured at the component to printed circuit board connections.

In process zone P1, the PC board and APDS-9700 pins are heated to a temperature of 150°C to activate the flux in the solder paste. The temperature ramp up rate, R1, is limited to 3°C per second to allow for even heating of both the PC board and APDS-9700 pins.

Process zone P2 should be of sufficient time duration (100 to 180 seconds) to dry the solder paste. The temperature is raised to a level just below the liquidus point of the solder, usually 200°C (392°F).

Process zone P3 is the solder reflow zone. In zone P3, the temperature is quickly raised above the liquidus point of

solder to 255°C (491°F) for optimum results. The dwell time above the liquidus point of solder should be between 20 and 40 seconds. It usually takes about 20 seconds to assure proper coalescing of the solder balls into liquid solder and the formation of good solder connections. Beyond a dwell time of 40 seconds, the intermetallic growth within the solder connections becomes excessive, resulting in the formation of weak and unreliable connections. The temperature is then rapidly reduced to a point below the solidus temperature of the solder, usually 200°C (392°F), to allow the solder within the connections to freeze solid.

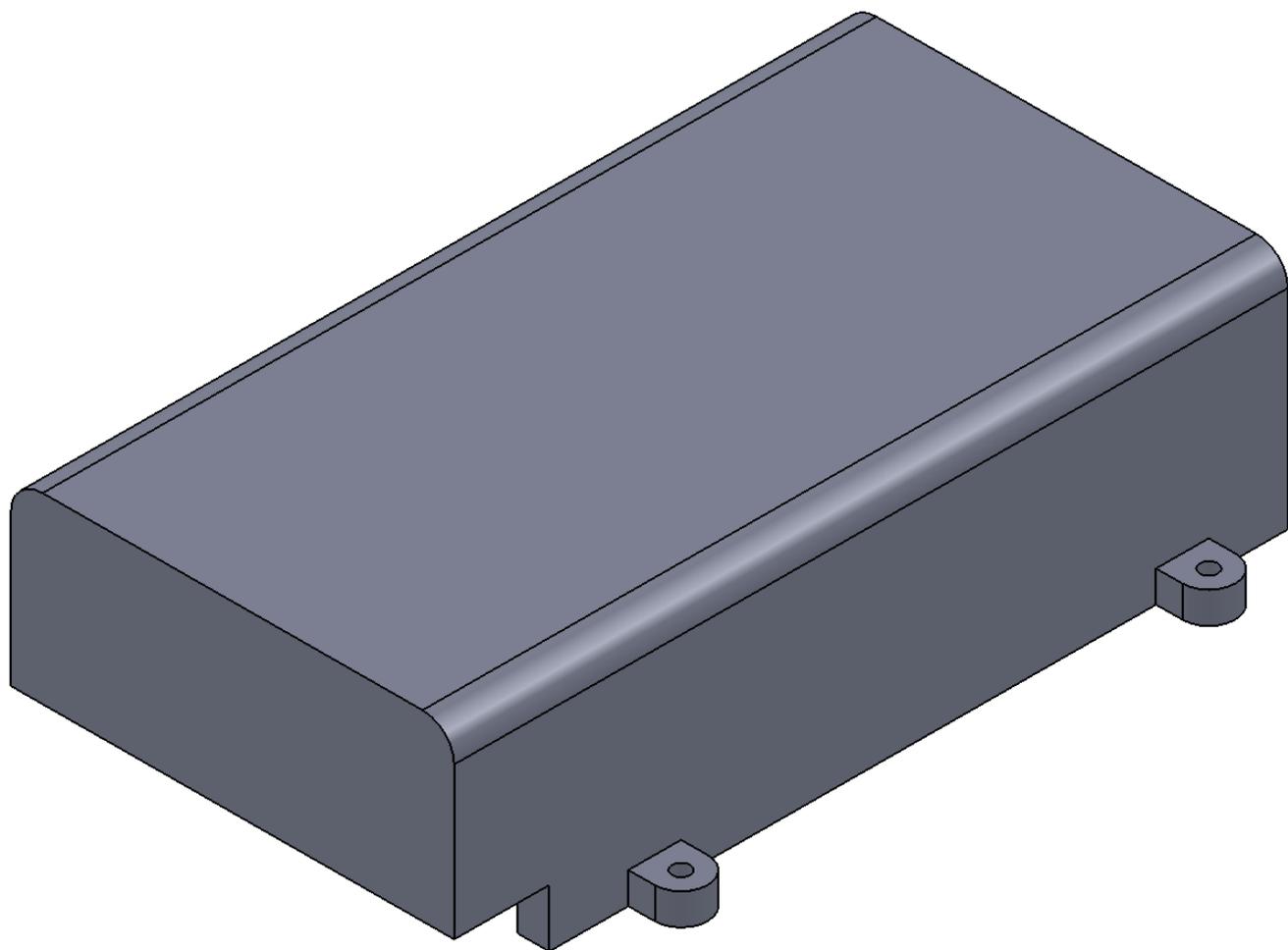
Process zone P4 is the cool down after solder freeze. The cool down rate, R5, from the liquidus point of the solder to 25°C (77°F) should not exceed 6°C per second maximum. This limitation is necessary to allow the PC board and APDS-9700 pins to change dimensions evenly, putting minimal stresses on the APDS-9700.

It is recommended to perform reflow soldering no more than twice.

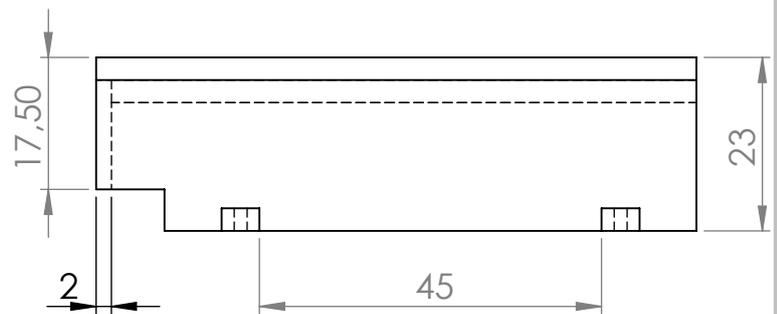
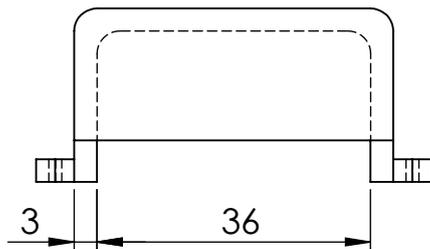
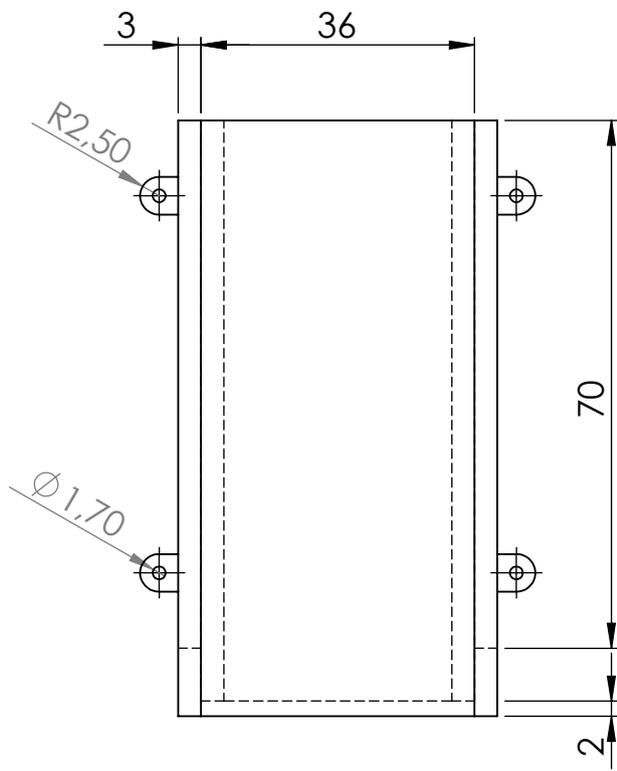
For product information and a complete list of distributors, please go to our web site: www.avagotech.com

Avago, Avago Technologies, and the A logo are trademarks of Avago Technologies in the United States and other countries. Data subject to change. Copyright © 2005-2010 Avago Technologies. All rights reserved. AV02-0893EN - March 4, 2010

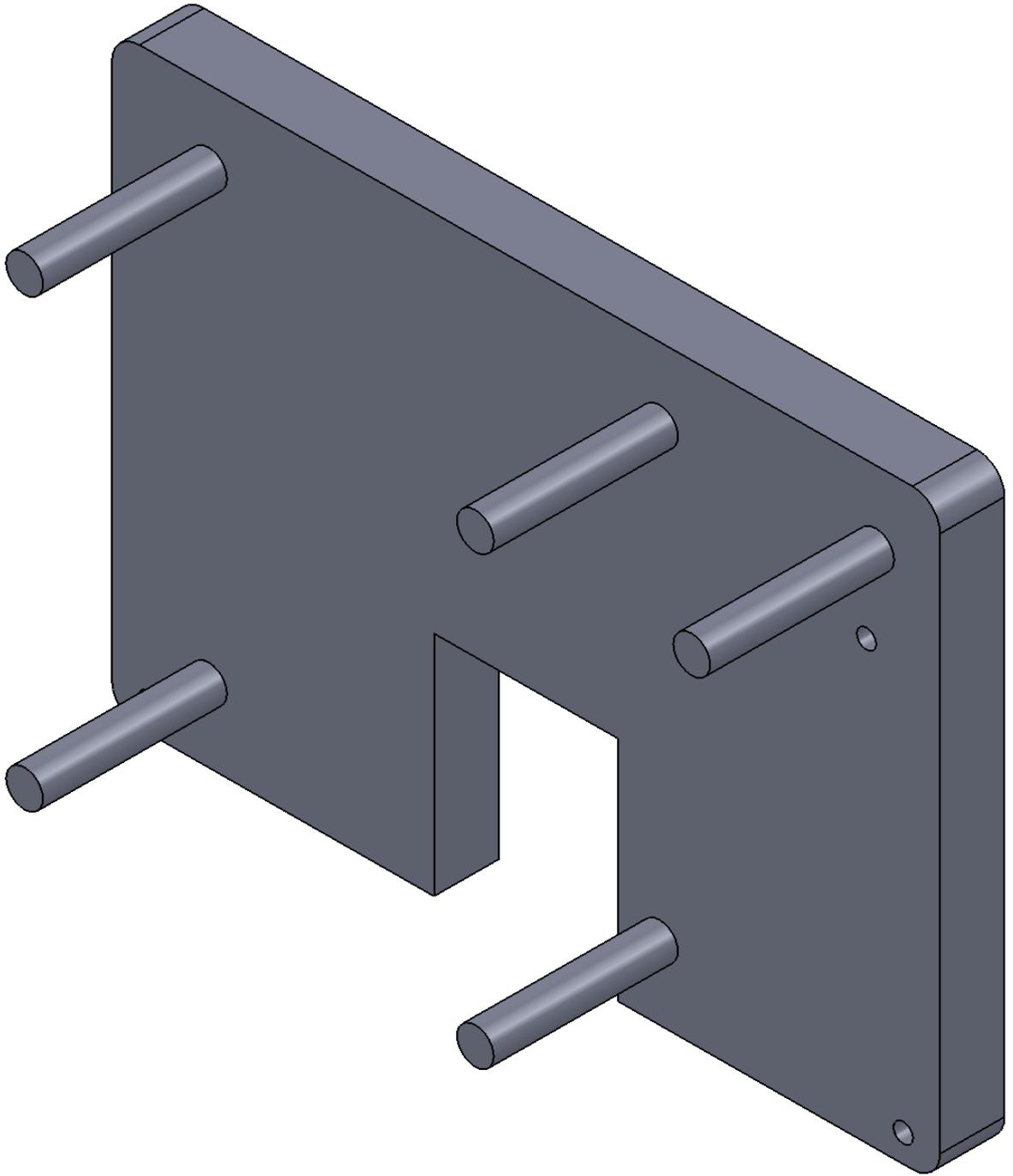
AVAGO
TECHNOLOGIES



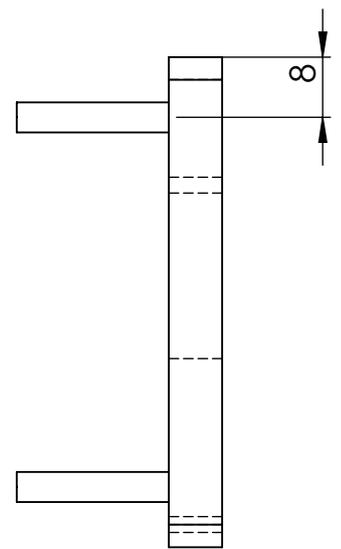
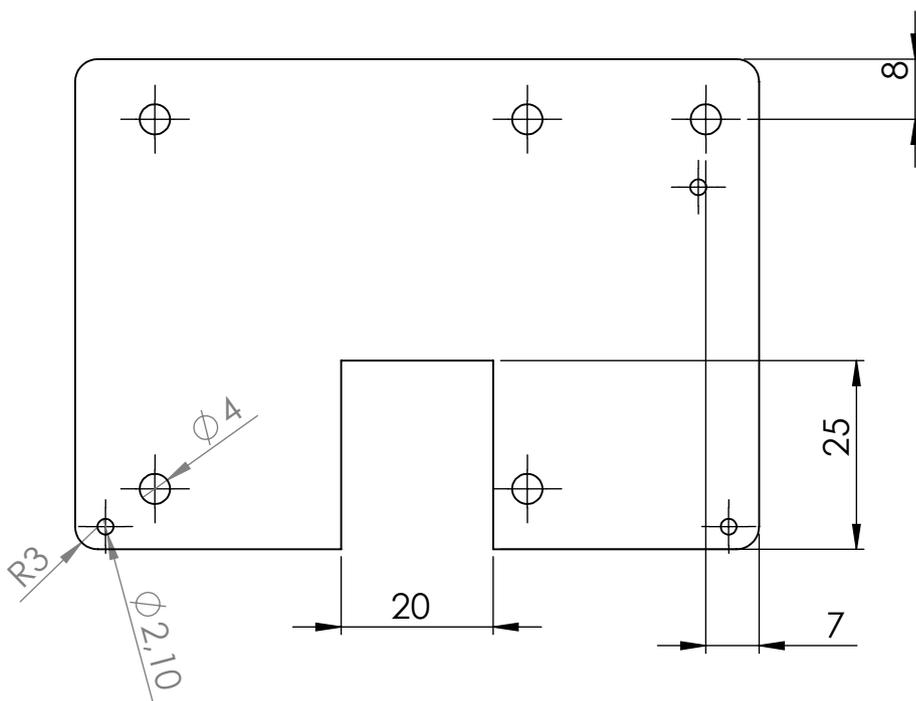
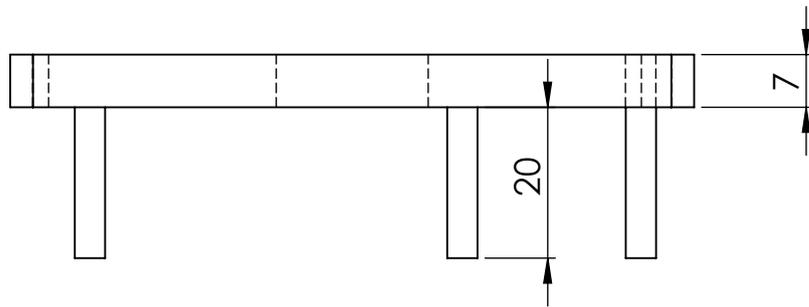
	<i>Fecha</i>	<i>Nombre</i>	 <p>Universidad Carlos III de Madrid Av. de la Universidad, 30, 28911, Madrid</p>
<i>Dibujado:</i>	01/09/14	W. Cárdenas	
<i>Comprobado:</i>			
<i>Id.s.norm:</i>			
<i>Escala</i> 2:1	<i>Soporte de las Baterías</i>		Plano N. 1
			<i>Sustituye a:</i>
			<i>Sustituido por:</i>



	<i>Fecha</i>	<i>Nombre</i>	 <p>Universidad Carlos III de Madrid Av. de la Universidad, 30, 28911, Madrid</p>
<i>Dibujado:</i>	01/09/14	W. Cardenas	
<i>Comprobado:</i>			
<i>Id.s.norm:</i>			
<i>Escala</i>	Soporte de las Baterías		Plano N. 2
1:1			Sustituye a:
			Sustituido por:



	<i>Fecha</i>	<i>Nombre</i>	 <p>Universidad Carlos III de Madrid Av. de la Universidad, 30, 28911, Madrid</p>
<i>Dibujado:</i>	01/09/14	W. Cárdenas	
<i>Comprobado:</i>			
<i>Id.s.norm:</i>			
<i>Escala</i> 2:1	<i>Soporte del Controlador</i>		<i>Plano N.</i> 3
			<i>Sustituye a:</i>
			<i>Sustituido por:</i>



	Fecha	Nombre	 <p>Universidad Carlos III de Madrid Av. de la Universidad, 30, 28911, Madrid</p>
Dibujado:	01/09/14	W. Cárdenas	
Comprobado:			
Id.s.norm:			
Escala	Soporte del Controlador		Plano N. 4
1:1			Sustituye a:
			Sustituido por: