



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROTOTIPO DE CONTROL A TRAVÉS
DE UNA APP PARA UNA CASA
INTELIGENTE**

TESIS

Que para obtener el título de
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

P R E S E N T A (N)

JORGE ABRAHAM ORTEGA CALIXTRO

FERNANDO DAVID ROJAS SOLIS

EDUARDO VARGAS DE LA CRUZ

DIRECTOR DE TESIS

M.I. JUAN CARLOS ROA BEIZA



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor de tesis el M.I. Juan Carlos Roa Beiza, por su guía incondicional y todas las enseñanzas, oportunidades, consejos, correcciones y paciencia a lo largo de este proyecto, ya que no solo me formaron como ingeniero sino me ayudaron a ser un mejor ser humano y profesionalista.

Al PAT por abrirme las puertas y darme la oportunidad de concluir esta meta tan importante en mi vida.

Al Arq. Carlos Sánchez Sandoval quien siempre mostro el interés y la disposición en que lográramos esta meta y cuyo aliento fue vital para alcanzarla.

A mis compañeros de tesis, Fernando David Rojas y Eduardo Vargas de la Cruz, cuyo compromiso y profesionalismo me ayudo a alcanzar esta meta tan importante y por su amistad incondicional a lo largo de estos años ha sido un motor de apoyo para no darme por vencido.

A mi madre Maria Angelina Calixtro Antonio, quien me brindo las herramientas y el amor necesario para salir adelante y ha sido mi gran ejemplo de vida. Sin ti nada sería posible.

A mi padre, Jorge Ortega Rayón, cuya guía fue esencial en mi formación y educación, forjándome el carácter suficiente para alcanzar mis metas, en donde quiera que estés te llevo presente.

A mi hermano Rogelio, quien siempre me ha apoyado y ha estado a mi lado en los momentos difíciles, dándome el aliento necesario para seguir adelante.

A mis primos Hugo, Victor y Enrique, quienes siempre fueron mi ejemplo a seguir.

A mis amigos, que han sido la familia que elegí y siempre me han alentado y han estado presentes en los buenos y malos momentos.

A la Facultad de Ingeniería, por darme la formación y los conocimientos necesarios para el día a día durante mi vida profesional.

A la UNAM, por todo lo que representa en mi vida y abrigarme bajo sus aulas, ya que sus valores y principios estarán presentes a lo largo de mi vida y cuyas enseñanzas me ayudarán a hacer de éste, un mejor país para todos.

JORGE ABRAHAM ORTEGA CALIXTRO

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente a Dios, por haberme brindado una maravillosa familia y las oportunidades que se me han presentado para yo poder conseguir mis metas.

Agradezco a mis padres Fernando y Elfega por ser mi motor y mis más grandes motivadores, ya que sin todo su apoyo todo esto hubiera sido aún más complicado, a mi hermana por todo su cariño y apoyo, y a toda mi familia (tíos, primos, etc) por su apoyo.

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México y en especial a la Facultad de Ingeniería ya que gracias a los conocimientos técnicos y humanos que me fueron otorgados durante mi estancia en estas gloriosas aulas me prepararon para la vida profesional y para ser una persona de utilidad para la sociedad.

De igual manera mis compañeros y amigos, Jorge Abraham Ortega Calixtro y Eduardo Vargas de la Cruz, ya que sus contribuciones fueron fundamentales para la elaboración y éxito de este trabajo, también agradezco al Mtro. Juan Carlos Roa Beiza por su dedicación, dirección y soporte en todo el desarrollo de esta tesis, así mismo un especial agradecimiento al Arq. Carlos Sánchez Sandoval y al PAT ya que este programa representa una excelente oportunidad para los futuros ingenieros, para el desarrollo de un trabajo de titulación.

Sin el apoyo y la confianza de todos los mencionados en este apartado, este trabajo tal vez no fuera una realidad, infinitas **¡GRACIAS!**

FERNANDO DAVID ROJAS SOLIS

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a la vida por llegar hasta este punto en el que me encuentro. A mis papás los cuales han sido sumamente importantes en mi vida debido a su gran apoyo y valores que me han inculcado para ser la persona que soy y poder cumplir mis metas.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería y profesores de la misma por toda la enseñanza brindada, un orgullo de estudiar en ella y con ellos y forjarme como ingeniero para seguir en mi camino de aprendizaje.

A mis amigos que en su momento compartí la experiencia del estudio y que fueron partícipes del camino para culminar una meta más.

A nuestro asesor el M.I. Juan Carlos Roa Beiza y al Programa de Apoyo a la Titulación (PAT) por el apoyo recibido para la realización y finalización de esta Tesis.

A mis amigos de Tesis, Jorge Abraham Ortega Calixtro y Fernando Rojas Solís, por su paciencia, entrega y amistad para la finalización de este proyecto y culminar un acto muy importante para todos.

EDUARDO VARGAS DE LA CRUZ

Página en blanco intencionalmente

Página en blanco intencionalmente

CONTENIDO

CAPÍTULO I. ENTORNO DEL PROBLEMA	2
1.1 Introducción.....	2
1.2 Sistemas domóticos	3
1.3 Aplicaciones de la domótica.....	7
1.4 Uso de las tecnologías de información aplicadas a móviles	15
1.5 Tecnología de automatización actual en México para Inmuebles	21
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	28
2.1 Características, ventajas y desventajas del software para el sistema Arduino	28
2.2 Principales métodos de control	29
2.3 Arduino Mega 2560 Rev3, características del sistema, ventajas y desventajas	41
2.4 Características, ventajas y desventajas de los transductores a utilizar en la aplicación	49
2.5 Características, ventajas y desventajas de los sistemas de comunicación acordes a nuestra aplicación	70
CAPÍTULO III. ANÁLISIS Y PLANTEAMIENTO DEL PROCESO	83
3.1 Problemática encontrada en la automatización de inmuebles	83
3.2 Requerimientos generales y particulares del prototipo.....	85
3.3 Bosquejo de la aplicación móvil a nivel de diagrama de bloques.....	87
3.4. Elección de los elementos de hardware necesarios para la construcción del prototipo funcional.....	91
3.5 Elección del tipo de comunicación óptima para nuestra aplicación.....	106
CAPÍTULO IV. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO	108
4.1 Construcción física del prototipo	108
4.2 Programación del dispositivo Arduino.	118
4.3 Integración del hardware	126
4.4 Desarrollo de la aplicación	136
4.5 Pruebas y resultados.....	145
CONCLUSIONES	149
BIBLIOGRAFÍA	151
APÉNDICES	155

CAPÍTULO I. ENTORNO DEL PROBLEMA

1.1 Introducción

En años recientes la tecnología ha tenido un desarrollo impresionante la cual ha llegado a la mano de casi todos. Quién iba a pensar que un celular hace 10 años nos iba a servir para realizar una llamada de video, ser un asistente de oficina o una cámara profesional. Con la conectividad de las redes de comunicaciones actuales se ha logrado tener una penetración en casi cualquier lugar y con ello a la par proporcionar un acceso a internet con lo cual los dispositivos de comunicación se convierten en una gran herramienta.

Este desarrollo también incluye la electrónica en donde se han visto avances en la miniaturización de los componentes que se han creado, por ejemplo, sensores, microcomputadoras, microcontroladores, optimización de lenguajes de programación, etc.

Al unir todas estas herramientas se pueden crear dispositivos que nos ayudan para vigilar, medir, controlar y automatizar ciertos procesos.

Todos estos avances tecnológicos se pueden usar para la comodidad y practicidad de las personas, empleándolos en el hogar como un método de sencillez. Imaginemos que con estos avances unidos tenemos un control de la casa, en donde uno puede designar diferentes perfiles para cada miembro de la familia. Esto puede ser controlar la temperatura, la luminosidad de las diferentes áreas de la casa, niveles de agua, persianas, puertas, accesos, etc.

Hoy en día se puede hacer esto de diferentes maneras, pero juntar todo este control teniéndolo en la palma de la mano en un dispositivo tan común y útil como lo es el celular. Todo esto con ayuda de microcontroladores, sensores y transductores que unidos generan todo este sistema.

En el desarrollo de esta tesis daremos a conocer los principales puntos para el entendimiento de este proyecto. En el primer capítulo mostraremos los inicios de este tipo de tecnología denominada *domótica*, así como sus principios, ventajas y desventajas para llevarse a cabo la instalación en una casa. También se resaltaré el uso de las tecnologías de información aplicadas al desarrollo móvil en donde se ha dado un boom en el uso de los dispositivos móviles.

En el segundo capítulo daremos toda la explicación teórica del método y componentes que utilizaremos en este proyecto, sus referencias, ventajas y características. Se analizará la capacidad del dispositivo de control principal y los métodos de control que se pueden utilizar.

En el siguiente capítulo desglosaremos el análisis y planteamiento del proceso, esto quiere decir, daremos el entorno de la problemática y la forma en cómo se fue adecuando los distintos grupos del sistema dependiendo de los requerimientos.

Por último, presentaremos el diseño del prototipo, así como la unión de todos los sensores y transductores que utilizaremos para poder completar nuestro sistema. Mostraremos la integración de sus componentes y el desarrollo de la aplicación.

1.2 Sistemas domóticos

Analizando la etimología de la palabra Domótica, el término proviene de la unión de las palabras “domus” (casa en latín) y “tica” (de automática).

Así, entendemos por domótica la incorporación de equipamiento en nuestras viviendas con tecnología que permita gestionar de forma energéticamente eficiente, segura y confortable para el usuario, los distintos aparatos e instalaciones domésticas que conforman la vivienda.

La domótica se conoce y se aplica desde los años 80 y su desarrollo más importante ha tenido lugar en países como Estados Unidos y Japón, aunque de manera diferente. En los últimos años a esta corriente se han unido países europeos y especialmente los nórdicos, impulsados por las nuevas tecnologías en comunicaciones.

Es aquí donde toman protagonismo los controladores programables. Hoy en día, la complejidad de los sistemas a gobernar hace que la supervisión, control y regulación sean tareas difíciles de llevar a cabo por el ser humano.

La domótica también se suele asociar actualmente, sobre todo en ámbitos de telecomunicaciones, al denominado hogar digital u hogar conectado. El gran progreso tecnológico sufrido por los sistemas de telecomunicaciones y el desarrollo y proliferación de Internet, han incrementado exponencialmente nuestra capacidad para crear información, almacenarla, transmitirla, recibirla, y procesarla. El mayor acceso a la información, ha venido además asociado a una mayor facilidad para comunicarnos, para establecer nuevas vías de diálogo con el resto del mundo, en cualquier momento y desde cualquier lugar.

Tras una etapa de introducción lenta de la tecnología digital, ahora estamos en los comienzos de una revolución de servicios para el hogar, donde los conjuntos residenciales, apoyados con conexiones de banda ancha, conectarán inteligentemente todos los dispositivos del hogar, soportando servicios interactivos y de valor añadido de diversa índole.

Algunas de las ventajas de vivir en un hogar digital y conectado, son:

- Climatización y consumo energético.
 - Programación del encendido y apagado de todo tipo de aparatos (calderas, aire acondicionado, toldos, luces, etc.), según las condiciones ambientales.
 - Acomodación a los planes de tarifas reducidas (tarifa nocturna).
 - Contadores electrónicos que informan del consumo energético.

- Entretenimiento y confort.
 - Conexión a Internet desde cualquier punto. Juegos en red.
 - Visión de canales de TV (televisión) en cualquier habitación.
 - Control de los dispositivos eléctricos/electrónicos del hogar, desde un PC, por Internet, o desde un teléfono móvil.

- Seguridad.
 - Configuración de procedimientos de avisos en caso de intrusión o avería (alarma técnica).
 - Instalación de cámaras y micrófonos para ver lo que ocurre.
 - Control del acceso a la vivienda.

- Servicios comunitarios.
 - Control de la iluminación de las zonas comunes.
 - Manejo de alarmas de seguridad y alarmas técnicas.
 - Servicios Web para la comunidad de propietarios.

Los sistemas domóticos pueden ser clasificados:

- **Centralizados:** tienen una unidad central inteligente encargada de administrar la edificación, a la que enviarán información distintos elementos de campo (sensores y/o actuadores), la central se encargará de procesar los datos del entorno y, en función de la información y de la programación que se haya hecho sobre ella, actuará sobre determinados circuitos encargados de cumplir funciones, desde la seguridad hasta el manejo de la energía eléctrica y otras rutinas de mantenimiento. Los elementos a controlar y supervisar (sensores, luces, válvulas, etc) se han de cablear hasta la central inteligente.

Esta central es el corazón de la vivienda, si esta falla todo deja de funcionar, en esta topología de cableado no es posible su ampliación.

- **Descentralizados:** No es necesario tener una central inteligente conectada para funcionar y tomar decisiones sobre las acciones a desarrollar. Solo hace falta una PC para programar las unidades, y como cada una de estas posee un microprocesador son completamente autónomas. En caso de querer un constante monitoreo de la edificación y tener una interfaz humano-maquina o realizar instrucciones verdaderamente complejas, la mejor opción sí es una central inteligente como una PC donde puede estar cargado el plano de la edificación con la distribución de las unidades en forma de iconos que cambian según sus estados.

A la hora de realizar una instalación domótica en una vivienda hay que tener en consideración que los requerimientos de los usuarios residenciales son distintos a los profesionales, ubicados en oficinas o industrias, algo que hay que tener en cuenta al evaluar la tecnología y los sistemas más adecuados para satisfacer sus necesidades que, fundamentalmente se dirigen a hacer más amigable su relación con el entorno en el que habita una gran parte del tiempo.

La introducción de todos estos sistemas y tecnologías en el hogar aún no es una realidad, salvo en algunos casos, pero sí existen muchos avances que ayudarán a que ello se realice rápidamente.

Por otra parte, cada vez existen más dispositivos electrónicos en el hogar y eso provoca una necesidad real de comunicar unos con otros. Sin embargo, la estandarización de las tecnologías de comunicación privadas, como las redes Ethernet cableadas o las redes inalámbricas Wi-Fi, han reducido los costos a niveles que permiten su despliegue masivo.

Para las inmobiliarias, dotar a las viviendas que construyen de una instalación domótica supone añadirles valor, lo que les permite venderlas mejor. Y mientras, las empresas de telecomunicaciones y los proveedores de contenidos y servicios, ven la posibilidad de aumentar los servicios que ofrecen a sus clientes, generando nuevos ingresos; a las

compañías de servicios de luz, agua, electricidad, seguridad, etc., se les abre una puerta para racionalizar sus costos, y añadir valor para el usuario final

1.3 Aplicaciones de la domótica

Entendemos por aplicación al uso de sistemas técnicos que implementen ciertas funciones con el fin de satisfacer una determinada necesidad del usuario final. Desde el primer momento está presente la interacción entre personas y tecnología, entre sistemas técnicos y sistemas sociales.

Cualquier aplicación es susceptible de ser ofrecida como un servicio por parte de un proveedor de servicios: un actor externo especializado que permite el acceso, proporciona el mantenimiento o gestiona las funciones a las que nos referíamos con anterioridad. En este contexto, la provisión de un servicio por lo general lleva asociada una contraprestación, no necesariamente con pago, por parte del usuario doméstico a la empresa prestataria.

Existen abundantes aplicaciones y servicios domóticos:

- Programación automática de luces.
- Control del aire acondicionado.
- Tele vigilancia profesional.
- Sistemas de diagnóstico médico remoto.
- Sistemas de difusión de audio en el hogar.
- Control de energía.
- Amenidades.

Aprovechando la existencia de hogares conectados en los que se ubican múltiples equipos inteligentes, la domótica permite no sólo que éstos interactúen entre sí, sino también que lo hagan con otros dispositivos que pueden encontrarse en el exterior de la vivienda, bien sea un automóvil o el servidor de un proveedor de servicios externo. De este modo se potencia el establecimiento de nuevos servicios y la mejora de los ya

existentes, como son los relativos a seguridad, telecomunicaciones, entretenimiento, etc.

Un sistema domótico integra aplicaciones y servicios aislados, lo que permite la creación de nuevos y sofisticados servicios a partir de otros más básicos, en donde el conjunto es más inteligente que la suma de las partes. Pese a su complejidad creciente, no debemos perder de vista la finalidad antropocéntrica de estos sistemas, que tienen por objetivo satisfacer necesidades humanas, siguiendo el lema de que la tecnología debe estar al servicio de las personas, y nunca a la inversa.

Distinguiremos cuatro áreas de naturaleza socio técnica en las que posicionaremos los distintos servicios y aplicaciones domóticas, a saber:

- **Seguridad:** La seguridad es una de las aplicaciones más adelantadas de la domótica, y la que hoy en día contribuye en mayor medida a la introducción real de sistemas domóticos en los hogares. Mejorar la seguridad de los hogares es una importante necesidad social que repercute no sólo en la protección de los bienes privados, sino también en la salvaguardia de los propios individuos.

Las aplicaciones de seguridad desempeñan funciones diversas. En el caso de la seguridad perimetral y de intrusión, se combinan cámaras y sensores para detectar la presencia de personas no deseadas. Los sistemas de seguridad técnica reúnen sensores de incendio, humo, agua, gas, fallo en el suministro eléctrico o en la línea telefónica, etc. La seguridad personal de asistencia o de pánico permite a ancianos o personas con discapacidad emitir un aviso remoto ante una situación de peligro. Todas estas aplicaciones admiten una amplia gama de sofisticaciones posibles, en especial cuando son prestadas por proveedores de servicios externos. En este caso cabe la conexión de los sensores y alarmas del hogar con centrales de ayuda de empresas de seguridad para hacer frente a emergencias o intrusiones, a los ayuntamientos y a los centros sanitarios para la asistencia de personas mayores o

enfermas, a las empresas de **utilities (utilitarios)** para controlar el buen funcionamiento de luz, gas y agua.

Las aplicaciones de seguridad técnica permiten configurar según las preferencias del usuario el comportamiento de la vivienda al producirse una alerta. Ante la detección de un escape de gas o agua, el corte del suministro eléctrico, un conato de incendio, entre otros, el sistema puede alertar al usuario con un mensaje SMS o un mensaje electrónico, avisar a la compañía de seguridad correspondiente y cerrar las válvulas o llaves de paso pertinentes para evitar la propagación del problema. Asimismo, el usuario puede monitorizar y modificar a voluntad el estado de funcionamiento de los sistemas instalados en la vivienda desde un terminal con conexión a Internet.

En relación con la seguridad y la salud de las personas, la domótica ofrece servicios particularmente útiles para colectivos como ancianos o discapacitados: es el caso de la teleasistencia. En su versión más sencilla la teleasistencia consiste en el despliegue de un canal de comunicación permanente entre la vivienda y un centro de salud. El usuario cuenta con un terminal portátil de fácil transporte, como una pulsera o collar, que incorpora un botón de pánico. Ante una situación de peligro el usuario pulsa dicho botón, enviando así una alarma que será recibida en el centro asistencial. Este centro tiene información de las personas a las que atiende, como sus datos médicos, su ubicación o sus teléfonos de contacto, de forma que cuando recibe la señal de auxilio puede tomar con rapidez medidas de socorro. Esta respuesta puede canalizarse a través de familiares o vecinos, enviando personal del propio centro a la vivienda o solicitando aquellos servicios especializados que sean precisos (ambulancia, atención médica, policía o cualquier servicio de urgencias). Es bastante común que junto al pulsador se instale en la vivienda un sistema de audio de comunicaciones sin hilos, cuyo funcionamiento se dispare de forma automática con el botón de pánico, y que permita al usuario hablar con el centro de atención desde cualquier estancia, sin necesidad de descolgar el teléfono ni acercarse a él.

La teleasistencia avanzada añade a lo anterior funcionalidades como el despliegue de cámaras que permitan visualizar rápidamente y a distancia el estado de las personas en caso de alarma, la posibilidad de actuar remotamente sobre dispositivos del hogar (por ejemplo, para abrir las puertas automáticamente a los servicios de emergencia), las medidas de parámetros médicos del usuario (tensión, glucosa, ritmo cardíaco) y su comunicación automática al centro de salud.

La teleasistencia avanzada constituye la antesala de la telemedicina: en muchas ocasiones un médico puede, con un simple sistema de videoconferencia y un equipo doméstico de medición de parámetros médicos, diagnosticar de forma remota a un paciente y actuar en consecuencia, pudiendo como en el caso anterior llamar a una ambulancia, avisar a los familiares del paciente, etc.

- **Cultura, ocio y entretenimiento:** Los servicios de ocio personal definen una puerta de entrada muy prometedora de la domótica en las viviendas. Con el objetivo de disfrutar en casa el usuario puede disponer a su gusto de múltiples formas de entretenimiento. Estos servicios emplean la subred multimedia para ser accesibles desde distintos puntos de la vivienda, y entablan la comunicación entre usuario y proveedor a través de la pasarela residencial. Por otro lado, la cultura y muy particularmente la educación, encuentran en la domótica un vehículo de transmisión con posibilidades realmente prometedoras.

Los servicios de vídeo facilitan la visualización de películas, documentales, noticias o acontecimientos deportivos. Las posibilidades que brindan estos servicios son mucho más amplias que las ofrecidas por la televisión convencional. La conexión de banda ancha a Internet multiplica el número de canales a los que se puede tener acceso. La descarga de vídeo bajo demanda y la televisión a la carta son ejemplos de personalización y adaptación de los contenidos al perfil de cada usuario. No obstante, la principal novedad que aportan estos servicios es la interactividad: el usuario puede consultar desde el televisor la previsión del tiempo en su ciudad, el

estado del tráfico entre su lugar de residencia y la oficina, gestionar cuentas bancarias, interactuar en programas y concursos, conversar e intercambiar opiniones en tiempo real con otros televidentes.

Las oportunidades de personalización e interactividad que venimos describiendo para los servicios de vídeo son igualmente válidas en el campo del audio. La digitalización y las redes globales de datos han supuesto una verdadera revolución para la distribución convencional de música: ya no es necesario desplazarse a una tienda física para adquirir un disco de determinado artista, ni siquiera es preciso comprar un álbum completo: se pueden descargar canciones individuales y reproducirlas luego con total flexibilidad. De forma similar, los servicios de radio digitales permiten sintonizar centenares de miles de emisoras con una calidad de sonido óptima desde cualquier punto del mundo.

Las redes de datos con conectividad externa de banda ancha a través de la pasarela residencial permiten nuevas formas de videojuegos en red, con usuarios múltiples que bien podrían estar repartidos por el interior de la misma casa, en el vecindario más próximo, o en la otra punta del mundo. Los servicios de alquiler de juegos en línea o las plataformas virtuales multijugador, con sus comunidades y foros asociados, son nuevas formas de ocio que van cobrando una gran relevancia, especialmente entre los segmentos jóvenes de la sociedad.

Los hogares son escenarios de aprendizaje permanente. La enseñanza corresponde en primer término a la familia, e inicialmente se desarrolla en el ámbito doméstico. Pese a lo que podría pensarse, no hay motivo para que este proceso finalice cuando los niños salen del hogar para acudir por vez primera a la escuela; el aprendizaje puede continuar allí de forma indefinida con la intercesión de sistemas de educación a distancia.

La teleeducación sí cuenta con mecanismos complementarios especialmente útiles para pequeños y jóvenes, como son el acceso a una gran biblioteca universal a

través de la Red o la posibilidad de enriquecer, reforzar y personalizar la enseñanza presencial con juegos, pequeños experimentos interactivos y prácticas en línea.

La formación profesional, pero también y muy especialmente la universitaria, ha de adoptar algún esquema mixto de enseñanza presencial y a distancia para satisfacer las demandas de nuestro tiempo.

- **Confort y ahorro energético:** Nos referimos aquí a aquellas aplicaciones y servicios que permiten mejorar la calidad de vida de los usuarios al aportar soluciones que facilitan la realización de tareas domésticas rutinarias, que suponen una comodidad añadida y que simultáneamente optimizan el consumo energético. Es posible acceder de forma remota a la vivienda a través de dispositivos móviles, teléfonos inteligentes, PC's conectados a Internet para monitorizar su estado o realizar cambios en el mismo: encender la calefacción, comprobar la temperatura de las distintas estancias, iniciar el riego de las plantas, entre muchos otros.

En una vivienda domótica el usuario puede decidir qué luz o grupo de luces controla cada interruptor, pudiendo cambiar esta decisión cuando lo desee. Igualmente, es posible regular la intensidad de dichas luces, generando distintos ambientes según sus deseos (ver la televisión, leer, dormir). O hacer uso de detectores de presencia para apagar automáticamente las luces de aquellas estancias en las que no haya nadie.

Según los sistemas instalados, es posible diferenciar zonas de la vivienda con regulación independiente de temperatura. De esta manera se puede optimizar el consumo de aire acondicionado o calefacción. En este mismo campo situaremos el control de ventanas, toldos y persianas motorizadas, sobre las que se actúa en función de las condiciones climatológicas, la hora del día y los deseos concretos del usuario.

La lectura remota de contadores permite tanto a técnicos de las empresas de luz, gas o agua, como a los propios usuarios, comprobar la lectura de los respectivos

contadores. La lectura remota es especialmente útil en hogares en los que los contadores se sitúan en el interior de la vivienda y no en dependencias de la comunidad de vecinos, en tanto que no hace preciso que el contratante esté presente en la casa para acreditar el consumo realizado.

La aplicación nos permite crear una secuencia de acciones que queremos se ejecuten con una sola orden. Podemos asociar tareas que automáticamente se disparen al detectarse un determinado evento en la vivienda. Un ejemplo práctico de una tarea sería aquella que, con una simple orden del usuario cuando éste salga de vacaciones, cierre todas las persianas, luces, llaves de paso del gas y del agua, y active los sistemas de seguridad de la vivienda.

Los sistemas domóticos admiten aplicaciones de control de consumo energético que permiten, como la programación de encendido del lavavajillas durante la noche para ahorrar en la factura eléctrica debido a que durante la noche mientras el usuario descansa no hay muchos aparatos eléctricos activos, o la desconexión momentánea de la lavadora al encender el horno para evitar picos de consumo. Asimismo, el sistema de control puede optimizar el gasto energético en calefacción, aire acondicionado o iluminación según las medidas proporcionadas por los sensores diseminados por la vivienda.

- **Gestión y actividades económicas:** En alguna ocasión hemos analizado la vivienda domótica como la casa-red, la casa conectada o la telecasa. Esta terminología refleja como las viviendas a las que nos referimos se han convertido en nodos de una red de comunicaciones de alcance global, de la Red Universal Digital. Gracias a la conexión de estos hogares entre sí y con otras redes externas, aplicaciones más eficientes y servicios innovadores han visto la luz.

Los operadores de telecomunicaciones tradicionales se enfrentan al reto de agregar valor a sus servicios clásicos con el fin de aprovechar el potencial de estas nuevas viviendas. El servicio telefónico básico se ha visto superado tanto por la versatilidad

y bajo coste de la telefonía IP como por las mayores prestaciones y flexibilidad de la videoconferencia. Las posibilidades de comunicación en el hogar han crecido a un ritmo vertiginoso: llamadas de voz, mensajes cortos SMS, correo electrónico o faxes son la materia prima para un servicio de mensajería unificada cada vez más necesario. Este servicio debe ser capaz de manejar conjuntamente todas las fuentes de mensajes, unificando su gestión y transfiriendo cada comunicación al terminal más adecuado para que lo reciba el usuario, según la actividad que éste realice. Asimismo, es preciso contar con mecanismos de sincronización entre los distintos dispositivos para que el usuario disponga siempre de la información actualizada y unificada, tanto de contactos como de mensajes previos. La finalidad es consolidar y simplificar, siempre desde la perspectiva del usuario, las comunicaciones en el hogar. Gracias a estos avances son posibles los teleservicios.

Una importante faceta de la vida de cada individuo son las transacciones que éste realiza, transacciones de naturaleza económica que acaban por traducirse en dinero. La infotecnología ofrece amplias facilidades en el tratamiento y gestión de estas transacciones, facilidades de las que pueden beneficiarse tanto usuarios como intermediarios financieros. Desde el hogar, sin intermediar desplazamientos y a un costo reducido, es posible consultar el estado de una cuenta corriente, realizar transferencias, domiciliar el pago de un recibo, informarse de las cotizaciones bursátiles en tiempo real, adquirir o vender activos financieros negociados en cualquier lugar del mundo. Los servicios de telefinanzas van siendo ya una realidad, que permite a los usuarios llevar un seguimiento más fácil e intuitivo de su vida económica. Sin embargo, la sencillez en el manejo del software y la seguridad en las operaciones implicadas son materias que aún precisan de esfuerzos perfeccionadores adicionales; de ahí que estos servicios susciten cierta desconfianza entre un amplio grupo de usuarios potenciales, que, básicamente por estos motivos, recurren todavía en exclusiva a las sucursales físicas.

1.4 Uso de las tecnologías de información aplicadas a móviles

Las Tecnología de Información y Comunicación (TIC) se desarrollan a partir de los avances científicos producidos en los ámbitos de la informática y las telecomunicaciones. Las TIC son el conjunto de tecnologías que permiten el acceso, producción, tratamiento y comunicación de información que se representa en diferentes códigos. El elemento más representativo de las nuevas tecnologías es sin duda los teléfonos inteligentes (**Smartphones**) y más específicamente Internet.

Las aplicaciones móviles son programas de software diseñadas para utilizarse en teléfonos inteligentes, tabletas y otros dispositivos móviles. Su cadena de valor está integrada por desarrolladores, publicadores, propietarios de las plataformas, empresas de telecomunicaciones y dispositivos móviles, inversionistas y usuarios finales.

El ecosistema que rodea a los dispositivos móviles, ha permitido que miles de desarrolladores utilicen la plataforma para la realización de aplicaciones que aprovechen la movilidad y los beneficios tecnológicos como la pantalla capacitiva, grabación de video y servicios de localización. Sin embargo, para ello se requiere también potenciar la cobertura y eficiencia de las redes móviles que soporten el tráfico de datos a través de tecnologías 3G y 4G.

La aparición de los smartphones ha generado una industria que no se limita a la mera fabricación de hardware, como ocurría con los primeros teléfonos móviles. Donde gran parte de la innovación se sitúa en el software y una porción importante del mismo lo constituyen las aplicaciones móviles, desarrolladas específicamente para cada plataforma, al estilo de los programas destinados tradicionalmente a ordenadores de sobremesa, pero con un afán de eficiencia, una mayor ligereza y, generalmente, basadas en Internet.

Por lo tanto, se podría decir que las aplicaciones son las verdaderas causantes de la revolución móvil, ya que han adaptado los sitios de Internet para que pueda accederse

cómodamente a ellos desde dispositivos que se transportan en el bolsillo y cuya pantalla es de apenas unas cuantas pulgadas.

Los dispositivos que están haciendo posible la transformación en el consumo de Internet y cuya influencia se está notando en diversos ámbitos de la sociedad son los Smartphone, terminales que suponen la puesta al día de las antiguas PDAs o agendas electrónicas.

Poco a poco, los Smartphone están transformando el uso y consumo de Internet. Así, si en un principio la principal plataforma para la navegación web fue el ordenador de escritorio y posteriormente los portátiles fueron ganando más importancia, el verdadero cambio está llegando con los teléfonos inteligentes.

La movilidad que ofrecen los Smartphone es un gran salto, puesto que cualquiera puede conectarse a Internet a través de su terminal, desde cualquier parte. En el transporte público, en la calle o en cualquier tipo de establecimiento, los usuarios pueden consultar servicios tan útiles como herramientas de mapas, utilizar la mensajería instantánea, el correo electrónico o las redes sociales, para estar en permanente contacto con sus allegados.

El mercado de los dispositivos móviles avanzados se basa en la necesidad de disponer de un teléfono móvil, producto que ya ha adquirido un carácter cotidiano para casi la totalidad de la población de los países occidentales. Y si bien es cierto que aún no existe una necesidad real de disponer de acceso a la Web desde los móviles, ésta se está creando a marchas forzadas.

Consecuentemente, ahora mismo los Smartphone tienen muchas más funciones que las que antes tenía un móvil gracias a las aplicaciones móviles como:

- Acceso a Internet Móvil.
- Entretenimiento.
- Software de producción.

- Redes sociales.
- Correo electrónico.
- Mapas y localización.

Aquí importa no sólo el punto de vista de los usuarios, sino también el de marcas y compañías que comercializan productos ajenos al mercado móvil, pero cuya difusión puede tener lugar a través del mismo.

Las tiendas de aplicaciones son el espacio común para todos los usuarios de un mismo sistema operativo, ya que desde ellas se distribuye todo el contenido disponible para la plataforma en cuestión.

El desarrollo de una aplicación móvil es la construcción propiamente dicha del software que después el usuario ejecuta en su terminal móvil. Si antes la programación estaba centrada en los ordenadores, ahora la industria se encuentra diversificada entre estas máquinas y los dispositivos móviles, cuyos sistemas operativos y restricciones de pantalla hacen de este trabajo una experiencia nueva.

Los Smartphone han generado en torno a sí una industria que impulsa a su vez este sector y ha terminado por convertirse en uno de los pilares básicos del mercado. Programar para dispositivos móviles conlleva varios problemas a tener en cuenta. Uno de los más destacados es la restricción que impone el tamaño de pantalla. Además, los lenguajes son distintos y, dado que el mercado está dividido, una aplicación que desee llegar a todos los usuarios tiene que desarrollarse para varios sistemas operativos móviles.

Llevar a cabo el desarrollo de una aplicación implica la planificación de varias etapas. El trabajo no consiste sencillamente en escribir código y perfilar el software. El primer paso es la identificación del problema. Pero una vez que se tiene la idea es fundamental comprobar si ya existe alguna aplicación que solucione el problema.

Lo que podría considerarse la segunda fase se centra en el diseño del concepto, es decir, en trabajar la idea original. Una vez decidida la idea hay que especificar al máximo posible las características que tendrá la aplicación, los niveles que tendrá, los dibujos relacionados con el uso de los menús, el listado de recursos gráficos que se van a necesitar, entre otros.

Cuando la idea está plenamente desarrollada, la siguiente fase consiste en planificar el diagrama de clases y la arquitectura de la aplicación. Al mismo tiempo se comienza con el diseño gráfico, que se construye según lo acordado, siguiendo la línea marcada por el concepto resultante del proceso anterior. En ocasiones, cuando se lleva a cabo la programación informática propiamente dicha, es necesario volver atrás y modificar algunas partes para que todo encaje mejor.

A la hora de desarrollar, cuando se afronta esta fase lo primero es ocuparse de las partes básicas y más sencillas, las que hacen que funcione lo esencial del software. Después comienzan a construirse las partes difíciles y otros añadidos. A partir de aquí el proceso puede complicarse y es posible que haya que retroceder para realizar cambios en el diseño gráfico con el fin de adaptarlo a lo que se necesita.

El siguiente paso, una vez completado el desarrollo, son las pruebas. Con ayuda de un emulador se prueba la versión resultante de la aplicación. Cuando se tenga ya desarrollada una versión estable de la aplicación, se distribuye entre todo el equipo para que la mayor cantidad de gente haga pruebas e indique los resultados. Posteriormente viene la introducción de la aplicación en las tiendas oficiales.

Los dispositivos móviles, cuya potencia ha alcanzado la de un ordenador capaz de realizar procesos complejos a una velocidad razonable, están cambiando la manera de ver las cosas en muchos ámbitos de la sociedad.

El acceso a Internet desde cualquier lugar, sólo con llevar en el bolsillo un Smartphone, ha modificado costumbres y hábitos, ya que ahora es posible leer noticias, gestionar el

correo electrónico o consultar los servicios de geolocalización en todo momento y desde cualquier lugar.

Junto a todos los ámbitos de la sociedad también se encuentra, y de manera destacada, el trabajo, donde las oportunidades para las apps se disparan.

En este sentido, si las aplicaciones han ayudado a concretar los servicios que ya ofrece Internet en el móvil, pero que no están lo suficientemente optimizados para poder utilizarse cómodamente, el mérito del software empresarial desarrollado para móviles consiste en permitir la realización de tareas de oficina fuera de ésta, optimizando la productividad.

Con la ayuda de las aplicaciones destinadas al segmento empresarial es posible repartir la carga de trabajo entre la oficina o la sede de la compañía y otros lugares. Esto supone un avance importante, ya que en muchos empleos es necesario realizar continuos desplazamientos o incluso largos viajes.

Especial mención en el terreno de la movilidad requieren las tabletas. Estos dispositivos representan un salto hacia adelante. Sus características técnicas, con una pantalla más grande, mejoran la funcionalidad de algunas aplicaciones móviles para empresas, especialmente las relacionadas con la gestión.

El software empresarial existe desde mucho antes de que se popularizaran los Smartphone, aunque con la llegada de éstos han adquirido una nueva dimensión. Los desarrolladores de programas dedicados al entorno corporativo han comenzado a poner el foco en soluciones adaptadas a los diferentes sistemas operativos móviles para que sus productos no se queden atrás.

La movilidad está cambiando la estrategia de los proveedores de servicios, que tienen que fijarse en aspectos a los que antes no daban importancia. No sólo se trata de desarrollar aplicaciones móviles, sino también de asegurar el acceso a los sistemas centrales. Dada la proliferación de los dispositivos móviles dentro de las

organizaciones, hemos asegurado que podamos soportar un alto número de usuarios accediendo a esta tecnología.

Lo cierto es que existen distintos tipos de aplicaciones empresariales móviles, aunque las más utilizadas son las de organización de tareas, cuyo uso también contempla muchas diferencias.

Uno de los puntos más importantes de una compañía es la comunicación entre sus empleados, un aspecto que también ha mejorado últimamente gracias a las aplicaciones móviles.

Las ventajas que ofrece la movilidad para las empresas se refieren:

- Flexibilidad en el trabajo
- Optimización de los procesos debido a la obtención en tiempo real de la información
- La mejora de las comunicaciones corporativas

Uno de los principales motivos para la adopción de algo nuevo en una empresa es el ahorro de costos. Las aplicaciones móviles empresariales también son útiles en este sentido. Los beneficios anteriormente expuestos pueden generar un ahorro visible si tenemos en cuenta la optimización de los procesos, la reducción de los tiempos para tomar una decisión o la posibilidad de seguir trabajando mientras el empleado se desplaza.

Pero no solo estas Tecnologías de Información con aplicaciones móviles se usan exclusivamente para el trabajo, también se pueden llevar a diferentes terrenos como el ocio y entretenimiento, dado los diferentes juegos que existen en las tiendas de las aplicaciones se han vuelto muy populares, así como las famosas redes sociales que nos permiten interactuar con otras personas y cuyas aplicaciones han generado un boom en la utilización de Smartphones. A su vez, existen aplicaciones que nos permiten:

- Ubicar los centros de entretenimiento más cercanos como cines, museos, teatros, estadios, entre otros gracias al uso del GPS y el internet móvil
- Dan la posibilidad de ver los eventos que acontecen en el momento
- Comprar los boletos para dichos eventos

En el ámbito específico de la educación, las tecnologías móviles presentan diferentes ventajas que exigen el replanteamiento de metodologías, modernización de diseños pedagógicos y estándares de educación y comunicación con los estudiantes. Muchas de estas aplicaciones permiten, de forma más dinámica y pedagógica, que el estudiante y el profesor puedan potencializar sus objetivos educativos y compartir información a través de estas aplicaciones.

1.5 Tecnología de automatización actual en México para inmuebles

El Instituto Mexicano del Edificio Inteligente y Sustentable A.C. (IMEI) es una asociación encargada de la difusión del conocimiento relacionado con edificios inteligentes y sustentables a través de conferencias, diplomados, cursos técnicos y de capacitación. Esta asociación fue creada en 1991.

Actualmente en México la automatización de inmuebles está mayormente enfocada en edificios y en un número menor en casas habitación de nivel socioeconómico alto, a continuación, presentaremos un resumen de los edificios catalogados como inteligentes en México.

Normatividad sobre edificaciones inteligentes.

En México, actualmente la normatividad más utilizada en edificaciones inteligentes es la norma oficial mexicana NOM-008-ENER-2001, relacionada a la eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales.

La normalización para la eficiencia energética en edificios representa un esfuerzo encaminado a mejorar el diseño térmico de edificios, y lograr la comodidad de sus ocupantes con el mínimo consumo de energía.

El mayor consumo de energía en las edificaciones es por concepto de acondicionamiento de aire, durante las épocas de mayor calor, principalmente en las zonas norte y costera del país. La ganancia por radiación solar es la fuente más importante a controlar, lo cual se logra con un diseño adecuado de la envolvente.

La Norma Mexicana NMX-AA-164-SCFI-2013 relacionada con Edificaciones Sustentables, establece los criterios y requerimientos mínimos ambientales que debe cumplir una edificación para considerarla sustentable, esto con la finalidad de contribuir en la mitigación de impactos ambientales y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales sin descuidar aspectos socioeconómicos que aseguran su viabilidad, habitabilidad e integración al entorno urbano.

Building Management System (BMS, Sistema de Gestión de Edificios)

Es un sistema de control ampliamente utilizado a nivel mundial, para monitorear y gestionar los servicios mecánicos, eléctricos y electromecánicos en una instalación. Estos servicios pueden incluir el sistema de energía, calefacción, ventilación, aire acondicionado, control de acceso del personal, estaciones de bombeo, elevadores e iluminación, con el objetivo de brindar un ambiente seguro y confortable para los usuarios.

Un BMS muy básico consiste de un software, una base de datos y sensores inteligente para realizar tareas de monitoreo, esto conectado a una red con conexión a Internet.

Disciplinas a considerar para optimizar un edificio inteligente

En cuanto a los **sistemas de energía**, los puntos importantes a considerar dentro de un edificio inteligente son: la capacidad de suplir la energía que se requiera para hacer funcionar tanto los equipos de consumo transitorios (celulares, laptops, tabletas) como los de procesos (servidores y equipo de cómputo), así como la habilidad de dar redundancia cuando la distribución de energía así nos lo demande, entre estos sistemas podemos encontrar:

- Acondicionamiento y respaldo eléctrico
- Monitoreo y control de demanda
- Estudios de calidad de servicio

Los **sistemas de conectividad** sirven para enlazar a todos los usuarios, con la información indispensable en tiempo necesario. Estos sistemas consumen mucha energía y requieren que se les suministre energía frigorífica para su correcta operación. Se debe observar detenidamente la humedad, pues son sistemas muy sensibles en condiciones anormales. Asimismo, nos piden suministro de energía continuo o reinicios lentos y tardados, entre los sistemas que podemos encontrar en esta categoría están:

- Sistemas VoIP
- Cableado estructurado
- Servidores

Los **sistemas de seguridad** que se pueden brindar al edificio y al usuario es una parte muy importante de los edificios inteligentes. Debido a que los edificios pueden ser visitados por una gran cantidad de personas dependiendo del negocio, en muchas ocasiones es importante limitar o restringir el acceso a ciertos lugares dentro del edificio, esto se logra mediante el control de acceso.

La detección de fuego y gas es una parte vital para el edificio. Al tener una alta concentración de personas en el lugar, la logística de control y previsión de eventos son mucho más complicados que en un edificio pequeño. Así mismo se tienen que coordinar muchos más elementos, como son el aire acondicionado, control de accesos, entre otros, a continuación, se enumeran algunos de los sistemas que juegan un rol importante dentro de la seguridad de un edificio:

- Control de accesos
- Videos de vigilancia
- Detección de fuego y gas
- Extinción de incendios

Los **sistemas de climatización** se conjugan con los elementos antes mencionados, ya que es necesario poder encender o apagar los equipos en una contingencia eléctrica, dejando sólo los más necesarios funcionando. En caso de un evento de incendio es necesario apagar ciertas manejadoras y coordinar los esfuerzos para limitar el esparcimiento de humos, por ejemplo:

- Aire acondicionado
- Calefacción
- Ventilación
- Refrigeración

Los sistemas de elevadores son otro punto importante a tener en cuenta en los edificios inteligentes, el contar con sistemas automáticos de elevadores, permite a los gestores del edificio poder tomar decisiones sobre como dirigir de forma eficiente estos sistemas, por ejemplo, detectar horas pico, velocidad del elevador, establecer rutinas de emergencia en caso de siniestro en el edificio, entre otros.

A continuación, se presentan algunos de los edificios mexicanos considerados Inteligentes por el IMEI:

Torre Mayor

Ubicada en Paseo de la Reforma es uno de los rascacielos más altos de América Latina, es considerado inteligente debido a que su sistema de iluminación es controlado por el denominado sistema B3¹.

Características Generales:

- 59 niveles incluyendo 4 sótanos de estacionamiento
- 225 metros de altura sobre el nivel de banqueta
- 157,000 m² de construcción total
- 73,900 m² de oficinas
- 3,100 m² de área comercial
- 29 elevadores en total, 27 de pasajeros y 2 de carga
- 2,000 cajones de estacionamiento
- Cisternas de agua potable y contra incendios
- Planta de tratamiento y cisterna de agua tratada
- Equipos hidroneumáticos y contra incendio
- Tres alimentadores de energía eléctrica en tensión media
- Transformación interna de media a baja tensión
- Planta de emergencia de 1,750 kw
- Electroducto y 10,000 km de cable eléctrico
- Tres enfriadores de 900 ton. c/u y uno de 150 ton
- Unidad manejadora de aire por nivel
- Líneas de fibra óptica y cobre para voz y datos

Características de automatización:

Es administrada por el sistema BMS que controla todas las instalaciones y equipos de forma armónica y eficiente para proteger la vida humana de los inquilinos. A este

¹ Sistema B3 es un sistema de control de Iluminación utilizado ampliamente en la automatización de edificios inteligentes.

sistema están integrados los sistemas: eléctrico, hidrosanitario, de elevadores y protección contra incendios y tiene la capacidad de controlar la iluminación del edificio.

Los pisos subterráneos tienen ventiladores automáticos de inyección y renovación de aire fresco para evitar la concentración excesiva de contaminantes producidos por la combustión, conectados al sistema inteligente del edificio. Fue el primer edificio en México que cumplió con la norma obligatoria de eficiencia energética de construcciones no residenciales (NOM-008).

Torre Ejecutiva PEMEX

Es un rascacielos ubicado en la Ciudad de México, con una altura de 214 metros, es uno de los edificios catalogados más resistentes del mundo y de mayor tolerancia sísmica a nivel mundial, los elevadores cuentan con un sistema de detección sísmica que, al detectar algún movimiento de tierra, detiene, de forma automática, el elevador en la parada más próxima para poder evacuar a los pasajeros.

También cuenta con un sistema de administración BMS para el control de las instalaciones y equipos dentro del edificio y el control de la iluminación mediante el sistema B3.

Cuenta con cristales reflejantes “inteligentes” que matizan la transmisión de ondas caloríficas de los rayos solares.

El edificio cuenta con los siguientes sistemas:

- Sistema de Generación y distribución de agua helada ahorrador de energía
- Sistema de Volumen Variable de Aire (Unidades manejadoras de aire y preparaciones de ductos de alta velocidad en cada nivel de oficinas)
- Sistema de Extracción Sanitarios Generales en cada nivel de oficinas
- Sistema de ventilación Mecánica de aire automático en estacionamientos
- Sistema de Extracción Mecánica Cuarto de basura

- Sistema de Acondicionamiento de Aire automático tipo Mini-Split para cuarto de control, administración, venta y sala de juntas

Edificios Residencial del Bosque (Torres Gemelas Polanco)

Son un conjunto de edificios para uso residencial ubicados en la zona de Polanco en la Ciudad de México, este par de edificios son considerados inteligentes debido a que están equipados con el sistema de iluminación B3 al igual que los edificios listados anteriormente.

Torre Libertad (denominada también St. Regis Hotel)

Este edificio ubicado en la Ciudad de México, es un rascacielos inteligente que está administrado por el BMS, cuenta con los mismos sistemas y servicios que los listados en la descripción de la Torre Ejecutiva PEMEX.

En general, las tendencias de automatización en México están centradas en edificios, la mayoría utilizan el mismo sistema de administración BMS y el sistema de control de Iluminación B3, que son requisitos para ser considerados dentro de la categoría de edificios inteligentes.

La automatización residencial se centra en hogares de nivel socioeconómico alto, dado que los costos de inversión en sistemas automáticos para casas van desde aproximadamente \$ 100,000.00 pesos lo cual hace que no sean considerados para casas de personas con ingresos promedios.

Actualmente existen empresas que presentan soluciones para la inclusión de sistemas domóticos para casas, entre las que destacan Schneider Electric, Insteon, Bosch entre otros, los sistemas que son vendidos incluyen sistemas de seguridad y video vigilancia, sistemas de control de Iluminación y de automatización de interiores permitiendo primordialmente el ahorro de energía y aumento del confort para los usuarios finales.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Características, ventajas y desventajas del software para el sistema Arduino

El sistema Arduino es una plataforma de desarrollo electrónico abierta para la creación de proyectos basados en hardware y software flexibles y compatibles con diversos entornos de programación.

El microcontrolador contenido en el sistema de desarrollo, se puede programar mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring²) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing³). Los proyectos hechos con Arduino pueden ejecutarse sin necesidad de conectar a una computadora (stand-alone), aunque puede hacerlo e interactuar con diferentes tipos de software.

Características

- Multiplataforma, el software de programación Arduino puede ser instalado en Microsoft Windows, Mac OS X y GNU/Linux
- Versión simplificada de C/C++
- Basado en Wiring/Processing
- Las placas contienen un cargador de arranque (bootloader), para que el programa sea ejecutado en la placa sin necesidad de un programador específico.

Ventajas

- Plataforma de desarrollo de bajo costo
- Entorno de programación simplificado

2 Wiring (Cableado en español) es un entorno de desarrollo de código abierto para microcontroladores compuesta de un lenguaje de programación, un ambiente de desarrollo integrado y una placa controladora. Visitar <http://wiring.org.co> para más información del proyecto.

3 Processing (Procesamiento en español) Es un proyecto desarrollado en el Instituto Tecnológico de Massachusetts, con el objetivo de enseñar los fundamentos de la programación de computadoras en un contexto visual y sirve como principio para la creación de “sketchbooks” electrónicos. Visitar <http://www.processing.org> para más información del proyecto.

- Código Abierto
- Software extensible, el software de Arduino está publicado como código abierto y está disponible para que los programas puedan ser extendidos por programadores experimentados.
- Hardware extensible, Arduino está basado en los controladores ATmega de ATMEL, los planos de los módulos están disponibles bajo licencia de Creative Commons⁴, permitiendo que diseñadores electrónicos experimentados puedan hacer su propia versión del módulo, ampliándolo u optimizándolo de acuerdo a las necesidades del proyecto en cuestión.

Desventajas

- Limitaciones de memoria, dependiendo del tipo de aplicación que se vaya a desarrollar.
- Desaprovechamiento de los recursos internos de la máquina que se explotan mucho mejor en lenguajes de máquina y ensambladores.

2.2 Principales métodos de control

Teoría de control

Las teorías de control que se utilizan habitualmente son la teoría de control clásica (también denominada teoría de control convencional), la teoría de control moderno y la teoría de control robusto.

El control automático ha desempeñado un papel vital en el avance de la ingeniería y la ciencia.

⁴ Creative Commons es una organización sin ánimo de lucro que permite usar y compartir tanto creatividad y conocimiento a través de instrumentos jurídicos de carácter gratuito, más información en <http://creativecommons.org/>

El control automático se ha convertido en una parte importante e integral en los sistemas de vehículos espaciales, en los sistemas robóticos, en los procesos modernos de fabricación y en cualquier operación industrial que requiera el control de temperatura, presión, humedad, flujo, etc. Es deseable que la mayoría de los ingenieros y científicos estén familiarizados con la teoría y la práctica del control automático.

La teoría de control moderna se basa en el análisis en el dominio temporal de los sistemas de ecuaciones diferenciales. La teoría de control moderna simplificó el diseño de los sistemas de control porque se basa en un modelo del sistema real que se quiere controlar. Sin embargo, la estabilidad del sistema depende del error entre el sistema real y su modelo. Esto significa que cuando el controlador diseñado basado en un modelo se aplica al sistema real, éste puede no ser estable. Para evitar esta situación, se diseña el sistema de control definiendo en primer lugar el rango de posibles errores y después diseñando el controlador de forma que, si el error del sistema está en dicho rango, el sistema de control diseñado permanezca estable. El método de diseño basado en este principio se denomina teoría de control robusto. Esta teoría incorpora tanto la aproximación de respuesta en frecuencia como la del dominio temporal. Esta teoría es matemáticamente muy compleja.

Definiciones. Antes de analizar los sistemas de control, deben definirse ciertos términos básicos.

Variable controlada y señal de control o variable manipulada. La variable *controlada* es la cantidad o condición que se mide y controla. La *señal de control* o variable *manipulada* es la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada. Normalmente, la variable controlada es la salida del sistema. *Controlar* significa medir el valor de la variable controlada del sistema y aplicar la variable manipulada al sistema para corregir o limitar la desviación del valor medido respecto del valor deseado.

En el estudio de la ingeniería de control, es necesario definir términos adicionales que se precisan para describir los sistemas de control.

Plantas. Una planta puede ser una parte de un equipo, tal vez un conjunto de los elementos de una máquina que funcionan juntos, y cuyo objetivo es efectuar una operación particular.

Procesos. El *Diccionario Merriam-Webster* define un proceso como una operación o un desarrollo natural progresivamente continuo, marcado por una serie de cambios graduales que se suceden unos a otros de una forma relativamente fija y que conducen a un resultado o propósito determinados; o una operación artificial o voluntaria que se hace de forma progresiva y que consta de una serie de acciones o movimientos controlados, sistemáticamente dirigidos hacia un resultado o propósito determinado. En este libro se llamará *proceso* a cualquier operación que se va a controlar. Algunos ejemplos son los procesos químicos, económicos y biológicos.

Sistemas. Un sistema es una combinación de componentes que actúan juntos y realizan un objetivo determinado. Un sistema no está necesariamente limitado a los sistemas físicos. El concepto de sistema se puede aplicar a fenómenos abstractos y dinámicos, como los que se encuentran en la economía. Por tanto, la palabra sistema debe interpretarse en un sentido amplio que comprenda sistemas físicos, biológicos, económicos y similares.

Perturbaciones. Una perturbación es una señal que tiende a afectar negativamente el valor de la salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se denomina *interna*, mientras que una perturbación *externa* se genera fuera del sistema y es una entrada.

Control realimentado. El control realimentado se refiere a una operación que, en presencia de perturbaciones, tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema y alguna entrada de referencia, y lo realiza tomando en cuenta esta diferencia. Aquí sólo se especifican con este término las perturbaciones impredecibles, ya que las

perturbaciones predecibles o conocidas siempre pueden compensarse dentro del sistema.

Control en lazo cerrado en comparación con control en lazo abierto

Sistemas de control realimentados. Un sistema que mantiene una relación determinada entre la salida y la entrada de referencia, comparándolas y usando la diferencia como medio de control, se denomina *sistema de control realimentado*. Un ejemplo sería el sistema de control de temperatura de una habitación.

Los sistemas de control realimentados no se limitan a la ingeniería, sino que también se encuentran en diversos campos ajenos a ella. Por ejemplo, el cuerpo humano es un sistema de control realimentado muy avanzado. Tanto la temperatura corporal como la presión sanguínea se conservan constantes mediante una realimentación fisiológica. De hecho, la realimentación realiza una función vital: hace que el cuerpo humano sea relativamente insensible a las perturbaciones externas, permitiendo que funcione de forma adecuada en un entorno cambiante.

Sistemas de control en lazo cerrado. Los sistemas de control realimentados se denominan también sistemas de *control en lazo cerrado*. En la práctica, los términos control realimentado y control en lazo cerrado se usan indistintamente. En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación (que puede ser la propia señal de salida o una función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales), con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema.

Sistemas de control en lazo abierto. Los sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control se denominan *sistemas de control en lazo abierto*. En

otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada.

En cualquier sistema de control en lazo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia. Así, a cada entrada de referencia le corresponde una condición de operación fija; como resultado de ello, la precisión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea deseada. En la práctica, el control en lazo abierto sólo se usa si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones internas ni externas. Es evidente que estos sistemas no son de control realimentado.

Obsérvese que cualquier sistema de control que opere con una base de tiempo está en lazo abierto.

Sistemas de control en lazo cerrado en comparación con sistemas en lazo abierto.

Una ventaja del sistema de control en lazo cerrado es que el uso de la realimentación vuelve la respuesta del sistema relativamente insensible a las perturbaciones externas y a las variaciones internas en los parámetros del sistema. Es así posible usar componentes con baja precisión y relativamente baratos para obtener el control adecuado de una planta determinada, mientras que hacer eso es imposible en el caso de un sistema en lazo abierto.

Desde el punto de vista de estabilidad, el sistema de control en lazo abierto es más fácil de desarrollar, porque la estabilidad del sistema no es un problema importante. Por otra parte, la estabilidad es un gran problema en el sistema de control en lazo cerrado, que puede conducir a corregir en exceso errores que producen oscilaciones de amplitud constante o cambiante.

Debe señalarse que, para los sistemas en los que se conocen con anticipación las entradas y en los cuales no hay perturbaciones, es aconsejable emplear un control en

lazo abierto. Los sistemas de control en lazo cerrado sólo tienen ventajas cuando se presentan perturbaciones y/o variaciones impredecibles en los componentes del sistema. Obsérvese que la potencia nominal de salida determina en forma parcial el coste, peso y tamaño de un sistema de control. El número de componentes usados en un sistema de control en lazo cerrado es mayor que el que se emplea para un sistema de control equivalente en lazo abierto. Por tanto, el sistema de control en lazo cerrado suele tener costes y potencias más grandes. Para disminuir la potencia requerida de un sistema, se emplea un control en lazo abierto siempre que pueda aplicarse. Por lo general, una combinación adecuada de controles en lazo abierto y en lazo cerrado es menos costosa y ofrecerá un comportamiento satisfactorio del sistema global.

Las ventajas fundamentales de los sistemas de control en lazo abierto son las siguientes:

- Construcción simple y facilidad de mantenimiento.
- Menos costosos que el correspondiente sistema en lazo cerrado.
- No hay problemas de estabilidad.
- Convenientes cuando la salida es difícil de medir o cuando medir la salida de manera precisa no es económicamente viable.

Las desventajas fundamentales de los sistemas de control en lazo abierto son las siguientes:

- Las perturbaciones y los cambios en la calibración originan errores, y la salida puede ser diferente de lo que se desea.
- Para mantener la calidad requerida en la salida, es necesaria la recalibración de vez en cuando.

Clasificación de los controladores industriales. Los controladores industriales se clasifican, de acuerdo con sus acciones de control, como:

- De dos posiciones o controladores on-off
- Controladores proporcionales
- Controladores integrales
- Controladores proporcionales-integrales
- Controladores proporcionales-derivativos
- Controladores proporcionales-integrales-derivativos

Acción de control de dos posiciones o de encendido y apagado (on/off). En un sistema de control de dos posiciones, el elemento de actuación sólo tiene dos posiciones fijas, que, en muchos casos, son simplemente encendido y apagado. El control de dos posiciones o de encendido y apagado es relativamente simple y barato, razón por la cual su uso es extendido en sistemas de control tanto industriales como domésticos.

Supóngase que la señal de salida del controlador es $u(t)$ y que la señal de error es $e(t)$. En el control de dos posiciones, la señal $u(t)$ permanece en un valor ya sea máximo o mínimo, dependiendo de si la señal de error es positiva o negativa. De este modo,

$$\begin{aligned} u(t) &= U_1, & \text{para } e(t) < 0 \\ &= U_2, & \text{para } e(t) > 0 \end{aligned}$$

donde U_1 y U_2 son constantes. Por lo general, el valor mínimo de U_2 es cero o, U_1 . Es común que los controladores de dos posiciones sean dispositivos eléctricos, en cuyo caso se usa extensamente una válvula eléctrica operada por solenoides. Los controladores neumáticos proporcionales con ganancias muy altas funcionan como controladores de dos posiciones y, en ocasiones, se denominan controladores neumáticos de dos posiciones.

En las figuras 2.1.1(a) y 2.1.1(b) muestran los diagramas de bloques para dos controladores de dos posiciones. El rango en el que debe moverse la señal de error antes de que ocurra la conmutación se denomina *brecha diferencial*. En la Figura

2.2.1(b) se señala una brecha diferencial. Tal brecha hace que la salida del controlador $u(t)$ conserve su valor presente hasta que la señal de error se haya desplazado ligeramente más allá de cero.

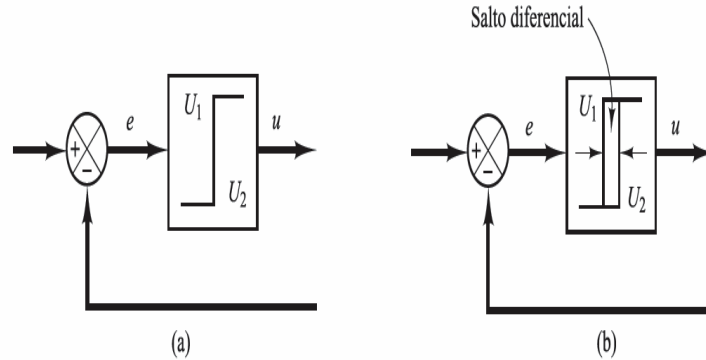


Figura 2.1.1 (a) Diagrama de bloques de un controlador on-off; (b) diagrama de bloques de un controlador con salto diferencial.

En algunos casos, la brecha diferencial es el resultado de una fricción no intencionada y de un movimiento perdido; sin embargo, con frecuencia se provoca de manera intencional para evitar una operación demasiado frecuente del mecanismo de encendido y apagado.

Considérese el sistema de control de nivel de líquido de la Figura 2.2.2(a), donde se utiliza la válvula electromagnética de la Figura 2.2.2(b) para controlar el flujo de entrada. Esta válvula está abierta o cerrada. Con este control de dos posiciones, el flujo de entrada del agua es una constante positiva o cero. Como se aprecia en la Figura 2.2.3, la señal de salida se mueve continuamente entre los dos límites requeridos y provoca que el elemento de actuación se mueva de una posición fija a la otra. Obsérvese que la curva de salida sigue una de las dos curvas exponenciales, una de las cuales corresponde a la curva de llenado y la otra a la curva de vaciado. Tal oscilación de salida entre dos límites es una respuesta común característica de un sistema bajo un control de dos posiciones.

En la Figura 2.2.3 se observa que, para reducir la amplitud de la oscilación de salida, debe disminuirse la brecha diferencial. Sin embargo, la reducción de la brecha

diferencial aumenta la cantidad de conmutaciones de encendido y apagado por minuto y reduce la vida útil del componente.

La magnitud de la brecha diferencial debe determinarse a partir de consideraciones tales como la precisión requerida y la vida del componente.

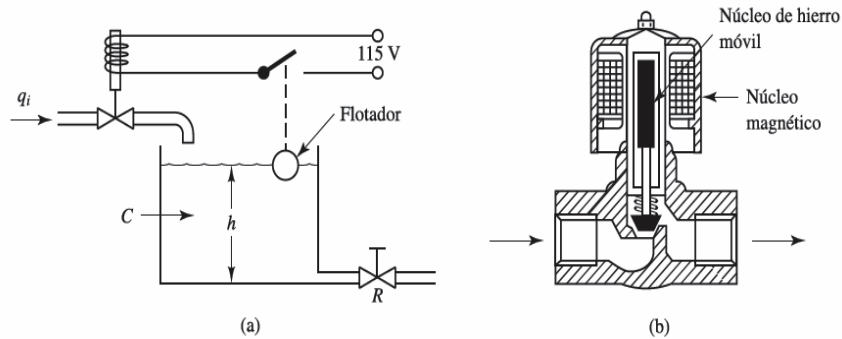


Figura 2.2.2 (a) Sistema de control de nivel de líquidos; (b) válvula electromagnética.

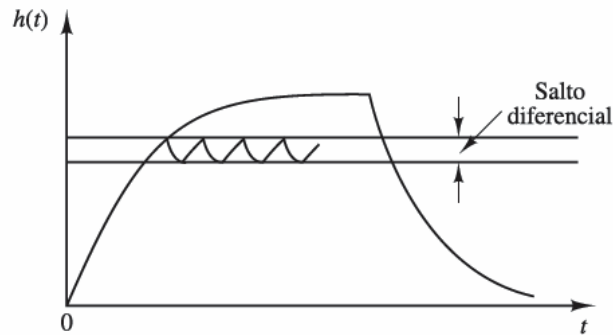


Figura 2.2.3 Curva de nivel $h(t)$ frente a t para el sistema mostrado en la Figura 2.2.2.

Acción de control proporcional. Para un controlador con acción de control proporcional, la relación entre la salida del controlador $u(t)$ y la señal de error $e(t)$ es:

$$u(t) = K_p e(t)$$

o bien, en cantidades transformadas por el método de Laplace,

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p$$

donde K_p se considera la ganancia proporcional.

Cualquiera que sea el mecanismo real y la forma de la potencia de operación, el controlador proporcional es, en esencia, un amplificador con una ganancia ajustable. Este tipo de ganancia se representa en la figura 2.2.4.

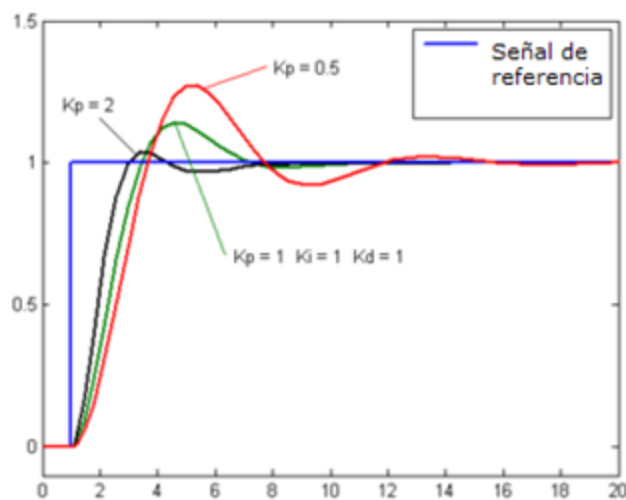


Figura 2.2.4. Ganancia proporcional aplicada a una señal.

Acción de control integral. En un controlador con acción de control integral, el valor de la salida del controlador $u(t)$ se cambia a una razón proporcional a la señal de error $e(t)$.

Es decir,

$$\frac{du(t)}{dt} = K_i e(t)$$

O bien

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) dt$$

donde se representa en la figura 2.2.5 a continuación

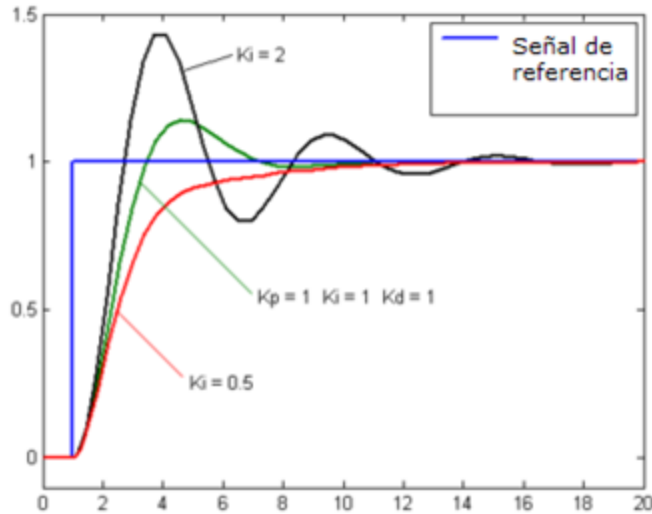


Figura 2.2.5. Control integral aplicado a una señal.

Acción de control proporcional-integral. La acción de control de un controlador proporcional- integral (PI) se define mediante

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

o la función de transferencia del controlador es

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

donde T_i se denomina *tiempo integral*.

Acción de control proporcional-derivativa. La acción de control de un controlador proporcional-derivativa (PD) se define mediante

$$u(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

y la función de transferencia es

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p(1 + T_d s)$$

donde T_d es el *tiempo derivativo*.

Acción de control proporcional-integral-derivativa. La combinación de la acción de control proporcional, la acción de control integral y la acción de control derivativa se denomina acción de control proporcional-integral-derivativa. Esta acción combinada tiene las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales. La ecuación de un controlador con esta acción combinada está dada por

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

o la función de transferencia es

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

donde K_p es la ganancia proporcional, T_i es el tiempo integral y T_d es el tiempo derivativo.

El diagrama de bloques de un controlador proporcional-integral-derivativo se representa en la figura 2.2.6

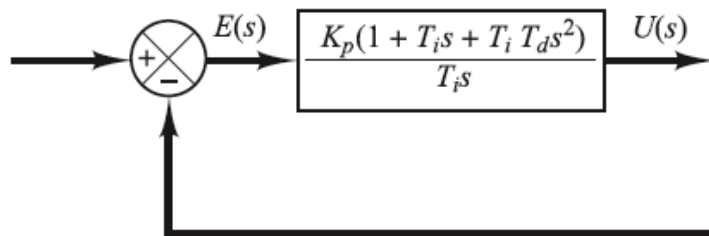


Figura 2.2.6. Diagrama de bloques de un controlador proporcional-integral-derivativo.

2.3 Arduino Mega 2560 Rev3, características del sistema, ventajas y desventajas

Introducción

El Arduino Mega 2560 es una placa microcontroladora basada en el ATmega2560. Cuenta con 54 pines digitales de entrada/salida (de los cuales 15 se puede utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos serie), un oscilador de 16 MHz, una conexión USB, un puerto de alimentación, una conexión ICSP y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para el soporte del microcontrolador; basta con conectarlo a un ordenador con un cable USB o a una fuente con un adaptador de CA o la batería a CC para empezar. La Mega es compatible con la mayoría de las placas diseñadas para el Arduino Duemilanove o Diecimilla. El Mega 2560 es una actualización que reemplaza al Arduino Mega. La tarjeta Mega 2560 es mostrada en la figura 2.3.1.

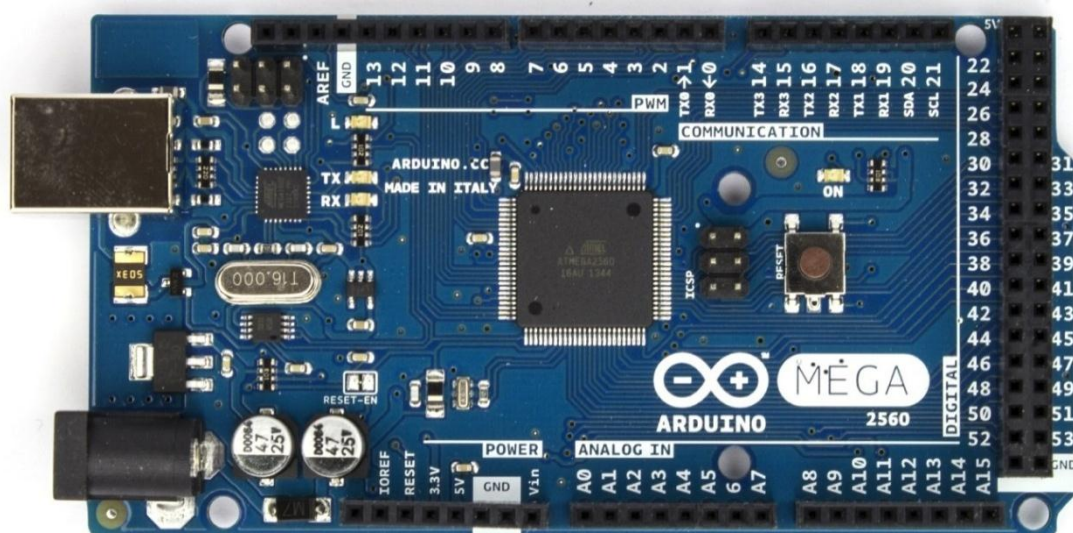


Figura 2.3.1 Placa de Arduino Mega 2560 frontal

Características

La revisión 3 de la placa Mega 2560 tiene las siguientes características nuevas:

- 1 pinout: añadido pines SDA y SCL (mostrados en la figura 2.3.2) que están cerca al pin AREF y otros dos nuevos pines colocados cerca del pin RESET, el pin IOREF permite a los módulos adaptarse al voltaje suministrado por la tarjeta ya sea 5V o 3.3V. En el futuro, los módulos serán compatibles tanto con la tarjeta que utiliza el AVR, los cuales operan con 5V y con el Arduino debido a que este opera con 3.3V. El segundo es un pin no conectado, que se reserva para usos futuros.
- Circuito de reset forzado.
- El circuito ATmega 16U2 es utilizado para la comunicación serial-USB.

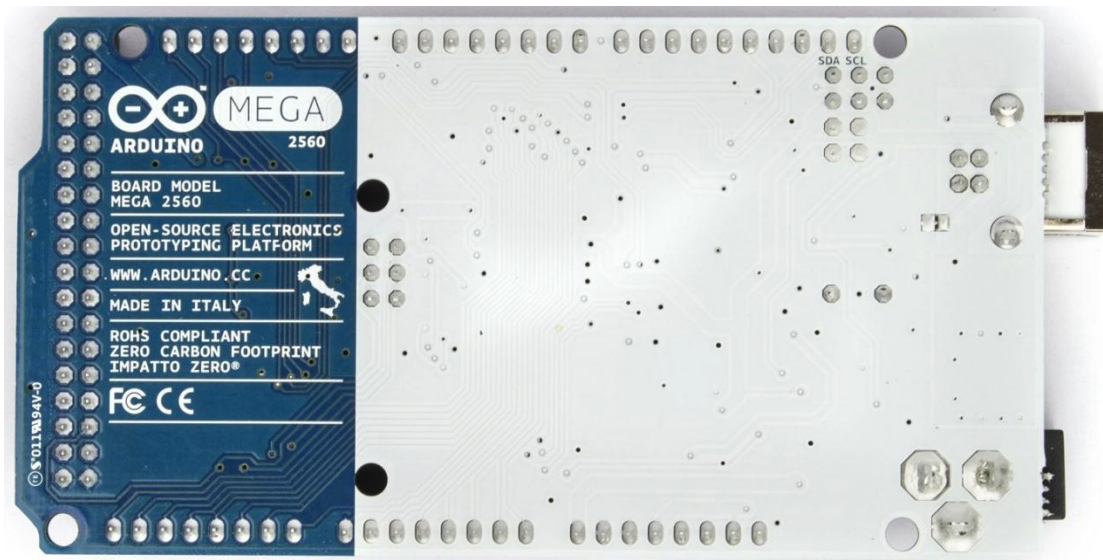


Figura 2.3.2 Placa de Arduino Mega 2560 trasera, en la parte superior derecha se encuentran la posición de los pines SDA y SCL

Arduino Mega 2560 posee las siguientes especificaciones:

Microcontrolador: ATmega2560 (ver apéndice A para mayor información sobre el microcontrolador)

Voltaje Operativo: 5V

Voltaje de Entrada: 7-12V

Voltaje de Entrada (mín - máx): 6-20V

Pines digitales de Entrada/Salida: 54, los pines 2 al 13 pueden ser utilizados como pines de conversión PWM.

Pines de entrada analógica: 16

Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida: 40 mA

Corriente DC entregada en el Pin 3.3V: 50 mA

Memoria Flash: 256 KB (8KB usados por el bootloader)

SRAM: 8KB

EEPROM: 4KB

Velocidad de Reloj: 16 MHz

Alimentación

El Arduino Mega puede ser alimentado mediante el puerto USB o utilizando una fuente de alimentación externa. La forma de alimentación es seleccionada automáticamente.

La alimentación externa puede ser mediante el uso de un adaptador de CA-CC o incluso una batería. El adaptador puede conectarse en el puerto de alimentación mediante un jack de 2.1 mm. Mientras que la alimentación por batería puede suministrarse mediante los pines Vin y GND.

Se recomienda utilizar una fuente de alimentación de 7 a 12 V debido a que si se suministra menos de 7V el pin de 5V puede suministrar menos voltaje y la tarjeta puede volverse inestable ya que la lógica TTL no alcanzaría los valores altos, de la misma

manera, si suministramos más de 12 V el regulador de voltaje puede sobrecalentarse y dañar la tarjeta.

Los pines de alimentación están configurados de la siguiente manera:

- VIN. El voltaje de alimentación a la tarjeta Arduino cuando está utilizando una fuente de alimentación externa (al contrario de los 5V suministrados por el puerto USB u otra fuente regulada de alimentación), se puede utilizar este pin para suministrar energía a la tarjeta, o si se está suministrando energía mediante el jack de alimentación.
- 5V. Este pin ofrece una salida de 5V desde el regulador de la tarjeta. La tarjeta puede estar suministrada desde el jack de alimentación (7-12V), el puerto USB (5V), o el puerto VIN de la tarjeta (7-12 V). Se recomienda no alimentar los módulos mediante estos pines (5V o 3.3V), debido a que si sobrepasa la capacidad del regulador se puede dañar la tarjeta.
- 3.3V. Este pin puede suministrar voltaje de 3.3V generado del regulador de la tarjeta. La corriente máxima es de 50 mA.
- GND. Pin de tierra.
- IOREF. Este pin en la tarjeta Arduino, provee el voltaje de referencia en el cual la tarjeta está operando. Un módulo apropiadamente configurado puede leer el pin IOREF y seleccionar apropiadamente la fuente de voltaje o habilitar la lógica de trabajo en los pines de entrada o salida, ya sea que trabajen a 5V o 3.3V.

La tarjeta incluye una protección de sobre corriente (>500mA) para evitar algún daño a otro dispositivo externo conectado vía USB.

Memoria

El microcontrolador Atmega2560 tiene una memoria flash de 256 KBs de la cual 8KB son utilizados por el bootloader. También está equipado con una memoria SRAM de 8KB y 4KB de memoria EEPROM (que puede ser escrita mediante la librería EEPROM).

Entrada y Salida

Los 54 pines digitales pueden ser configurados como entrada o salida y operan en 5V y proveen cada uno 40 mA. Adicionalmente algunos pines pueden ser configurados con funciones específicas, por ejemplo:

- Comunicación serial: (RX) and 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) and 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) and 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) y 14 (TX)
- Interrupciones Externas: 2 (interrupción 0), 3 (interrupción 1), 18 (interrupción 5), 19 (interrupción 4), 20 (interrupción 3), y 21 (interrupción 2)
- PWM. 2 to 13 and 44 to 46
- SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS)
- LED: El pin 13 viene conectado a un led
- TWI: 20 (SDA) y 21 (SCL)

La tarjeta Mega2560 tiene 16 entradas analógicas con una resolución de 10 bits. Por defecto miden de tierra a 5V, pero es posible cambiar el límite superior.

Comunicación

El Arduino Mega 2560 tiene la facilidad de comunicarse con una computadora, otro Arduino u otros microcontroladores mediante los 4 puertos UART de comunicación serial. Utiliza el chip Atmega16U2 en la tarjeta como canal de comunicación vía USB mediante un puerto de comunicación virtual al software de la computadora. La tarjeta soporta también la comunicación TWI y SPI.

Programación

El microcontrolador Atmega2560 viene precargado con un bootloader que permite cargarle código nuevo sin la necesidad de utilizar un programador externo.

Se puede también evitar usar el bootloader y programar el microcontrolador utilizando el puerto ICSP (In-Circuit Serial Programming – Programación serial en circuito).

Distribución de pines en chip

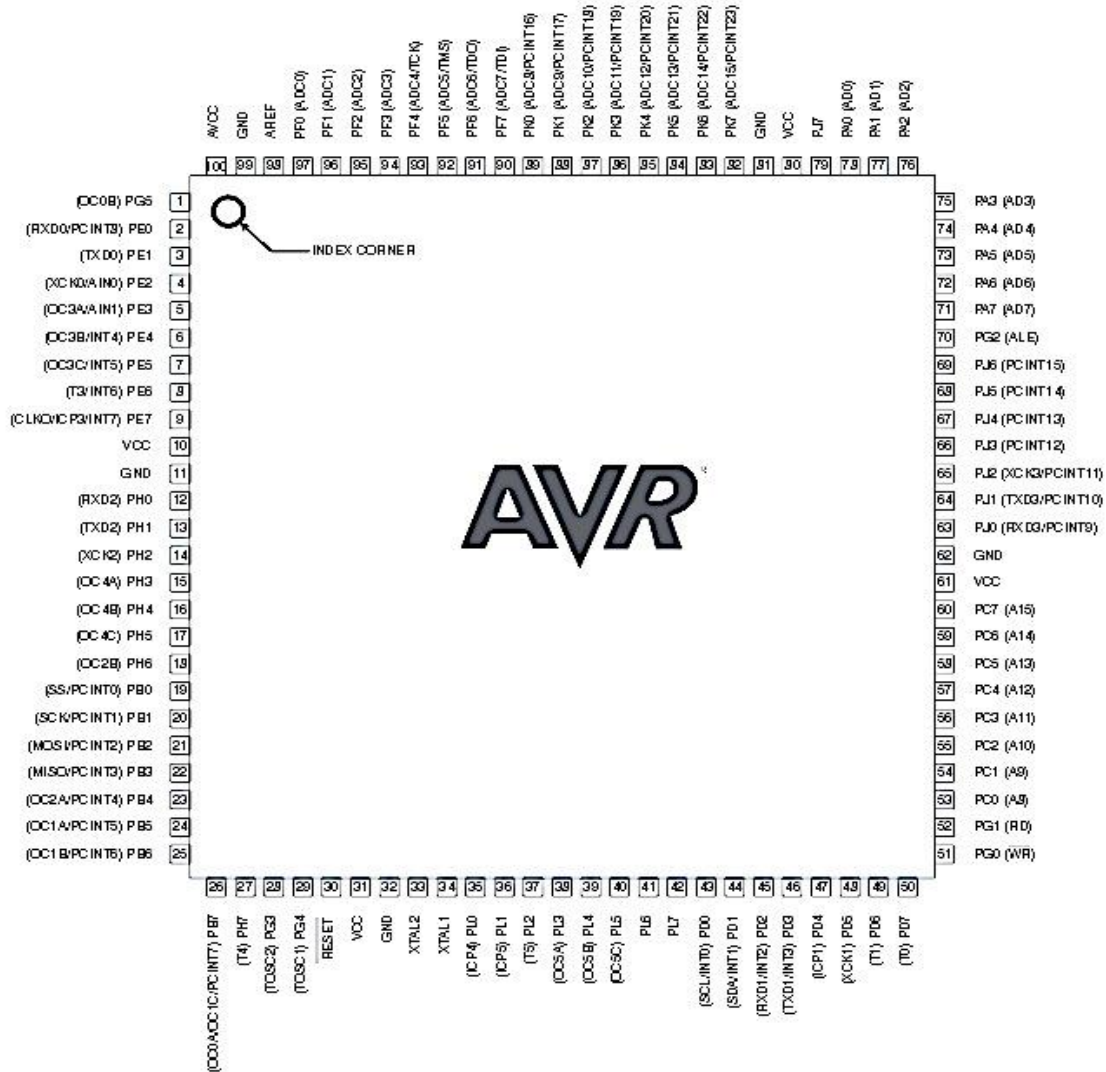


Figura 2.3.3 Circuito ATmega 2560 y su distribución de pines en la tarjeta.

Diagrama de bloques del sistema

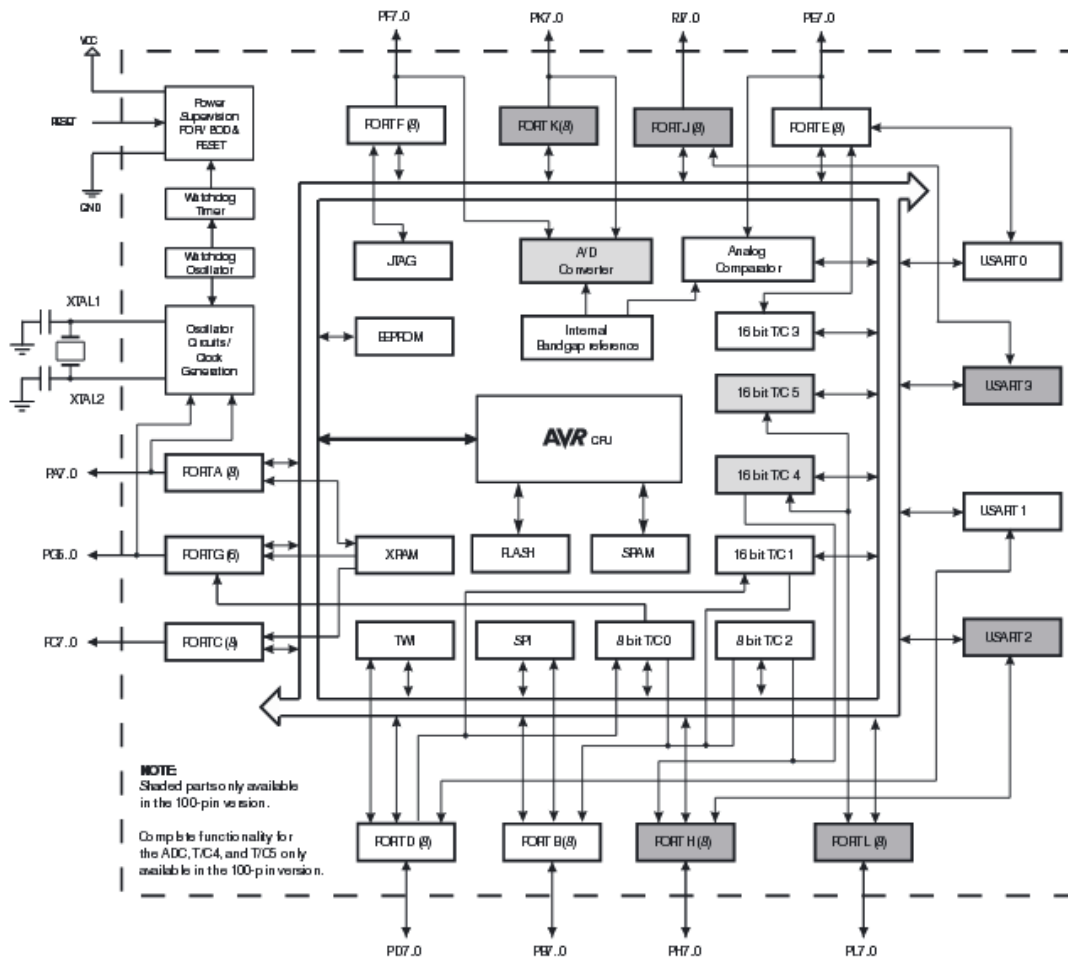


Figura 2.3.4. Estructura de la conexión entre los diferentes sectores que componen la ATmega 2560

Diagrama de bloques de la arquitectura AVR CPU Core

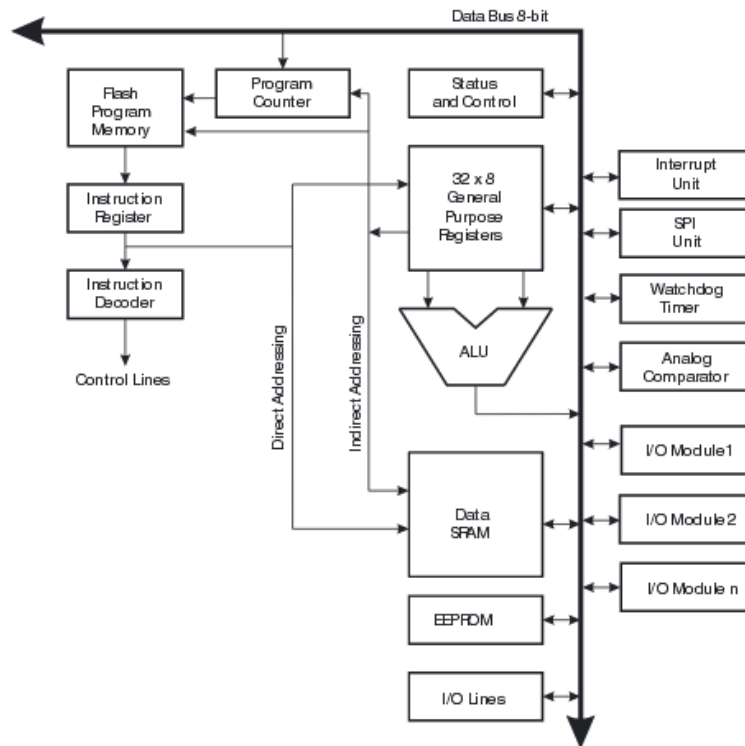


Figura 2.3.5 Arquitectura del microcontrolador.

Mapa de la memoria de datos

Data Memory Map

Address (HEX)

0 - 1F

20 - 5F

60 - 1FF

200

21FF

2200

FFFF

	32 Registers
	64 I/O Registers
	416 External I/O Registers
	Internal SRAM (8192 × 8)
	External SRAM (0 - 64K × 8)

Figura 2.3.6 Mapa de memoria

2.4 Características, ventajas y desventajas de los transductores a utilizar en la aplicación

Principios y tipos de sensores de presencia

Todos los objetos con una temperatura superior al cero absoluto (0 °K) emiten ondas electromagnéticas debidas al movimiento térmico de sus electrones. La radiación puede abarcar un rango muy amplio de longitudes de onda, con un máximo que se mueve hacia longitudes de onda menores cuando la temperatura del objeto radiante aumenta. La longitud de onda de este máximo se relaciona con la temperatura mediante la Ley del desplazamiento de Wien:

$$\lambda_{\text{pico}} \cdot T = 2,898 \cdot 10^{-3} [m \cdot K]$$

Por ejemplo, la longitud de onda a la que un ser humano (unos 308 °K) radia más energía es de unos 9.4µm. Esta longitud de onda corresponde al espectro infrarrojo lejano. El inicio del espectro visible se encuentra aproximadamente en unos 0.8µm (rojo profundo); para que el máximo de radiación alcance esa cota se necesita una temperatura de unos 3700 °K. Debido a que el espectro emitido es muy amplio una parte de la energía radiada por un objeto a temperaturas inferiores será visible, pero sin embargo, la mayor parte de la misma pertenecerá al rango del infrarrojo (Figura 2.4.1).

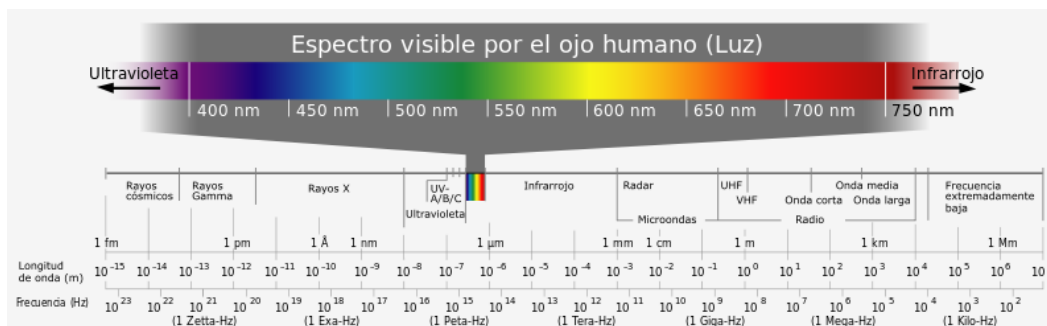


Figura 2.4. 1. Espectro Electromagnético y rango visible para el ser humano.

- **Sensores fotónicos.** Para que un fotón pueda excitar un electrón es necesario que tenga una cierta energía. El problema es que al ser tan sencillo excitar los electrones, nos encontraremos con que incluso en ausencia de excitación va a haber un gran número de electrones excitados (debidos a la propia temperatura del sensor) que ocultaran las medidas que deseemos realizar.

La práctica totalidad de sensores fotónicos utilizados actualmente son de tipo semiconductor. Sin embargo, para la detección de los fotones se utilizan diversos mecanismos.

Los más sencillos son los de salto de banda. En ellos se busca que todos los electrones estén fijos en la banda de valencia y por tanto inmóviles, fijados a los átomos del sensor. Cuando un fotón de la longitud de onda adecuada choque con un electrón, le confiere la energía necesaria para desunirse de su átomo y saltar a la banda de conducción, y por tanto le permite formar parte de una corriente que será detectada y medida. De este tipo son los sensores fotovoltaicos, fotoconductivos, y de barrera Schottky.

- **Sensores fotovoltaicos.** Los sensores fotovoltaicos son sensores de salto de banda basados en una unión P-N. Al haber una tensión lo lógico es que los electrones se moviesen, formándose así una corriente. Si no se produce esa corriente, es porque en la zona que rodea la unión no hay portadores que puedan transportarla, ya que todos los electrones están en la capa de valencia. Si uno de esos electrones fijos en la zona de la unión recibe un fotón que le confiera una energía suficiente para saltar a la banda de conducción, se forma un par de portadores (un electrón y un hueco) que ya están disponibles para viajar cada uno hacia su lado empujados por la diferencia de potencial que aparece en la unión.

Para que un sensor fotovoltaico genere una corriente al incidir luz sobre él, la energía de los fotones que esperamos recibir ha de ser igual a la necesaria para saltar de la banda de valencia a la de conducción. Como los fotones de la radiación

térmica tienen muy poca energía, las bandas de valencia y conducción han de estar muy juntas, situación que favorece el salto espontáneo de electrones movidos simplemente por la temperatura del sensor, lo que crea una corriente de oscuridad muy elevada. Para evitarlo, es necesario enfriar criogénicamente (a temperaturas inferiores a los 100°K) este tipo de sensores.

- **Sensores fotoconductivos.** Son muy similares a los fotovoltaicos, aunque no es necesaria la presencia de una unión P-N. En ellos se aplica una tensión a un elemento semiconductor con pocos portadores libres. De esa forma, cada electrón arrancado de la banda de valencia a la banda de conducción por un fotón incidente será impulsado por la tensión aplicada y pasará a formar parte de una corriente que será la magnitud a medir.

Aquí se plantea el mismo problema de refrigeración que para un sensor fotovoltaico, como explicado en el punto anterior. Además, dado que estamos aplicando una tensión para crear una corriente a través del semiconductor (que tiene una cierta resistencia), el sensor consumirá potencia y por tanto generará calor, que ayudará a falsear las medidas.

- **Sensores térmicos.** En los sensores térmicos la radiación infrarroja no es absorbida por las cargas libres, sino por la propia red cristalina del material que responde calentándose. Dicho aumento de temperatura, modificará alguna de las características del sensor, que será realmente la magnitud medida. Debido a que el funcionamiento de un sensor térmico se basa en un cambio en su temperatura, tienen una respuesta inevitablemente más lenta que la de los sensores fotónicos. Además, su sensibilidad suele ser mucho menor, ya que para provocar un aumento de temperatura medible es necesaria una cierta cantidad de fotones. La mayor ventaja que presentan es que pueden ser operados a temperatura ambiente y no necesitan complejos sistemas refrigerantes. Su costo es mucho menor y son la elección idónea para innumerables aplicaciones.

Dado que los sensores térmicos responden a radiaciones de cualquier longitud de onda que pueda ser absorbida en forma de calor, se suele cubrir el elemento sensor mediante una capa absorbente para aumentar su sensibilidad.

- **Piroeléctricos.** La piroelectricidad es un desplazamiento de cargas eléctricas que ocurre en ciertos materiales cuando son calentados. Cuando la temperatura de un material varía uniformemente (se calienta o se enfría), o es sometido a una tensión unidireccional, se puede producir un desplazamiento de los iones negativos respecto a los positivos, de tal forma que se polarice eléctricamente.

La definición estricta de piroelectricidad es la generación de un momento dipolar en un material aislante debida a un cambio homogéneo de temperatura. Dada la similitud entre las causas del efecto piroeléctrico (la dilatación que sufre el material al aumentar su temperatura) y las del efecto piezoeléctrico (una compresión o estiramiento mecánico del material). Este doble comportamiento de los materiales piroeléctricos puede plantear dificultades para su uso como sensor de temperatura, ya que pueden actuar además como micrófonos captando ondas acústicas.

La diferencia fundamental entre los cristales piroeléctricos y los piezoeléctricos está en sus simetrías. Si por la simetría de un cristal, los desplazamientos de los iones tienen lugar en dos direcciones opuestas, los efectos de una y otra dirección se compensan y no tiene lugar ninguna polarización eléctrica. El efecto piroeléctrico solo se puede manifestar en los cristales que tengan direcciones polares, y por tanto no puede darse en ningún cristal que presente un centro de simetría.

Para dar una medida cuantitativa de la sensibilidad de un sensor, se define el coeficiente piroeléctrico p como la cantidad de cargas que aparecen sobre la superficie del sensor por un cambio de una unidad en la temperatura.

$$p = \frac{\partial P_s}{\partial T}$$

El coeficiente piroeléctrico no se mantiene estable a lo largo del margen de temperaturas del sensor, si no que aumenta conforme aumenta la temperatura.

Podemos ver el sensor piroeléctrico como un condensador de placas paralelas (los dos electrodos son las “placas”, y el material piroeléctrico es el dieléctrico presente entre ellas), unido a un generador de corriente proporcional al cambio en el flujo incidente. De las ecuaciones del comportamiento de un condensador podemos deducir que la tensión de salida es:

$$V \propto \frac{Q}{C_p}$$

Donde Q es la carga total generada, y Cp es la capacidad formada entre los electrodos. Para maximizar la sensibilidad del sensor, además de intentar maximizar p, es importante minimizar la capacidad del condensador equivalente.

Un sensor piroeléctrico puede modelarse aproximadamente por una fuente de tensión proporcional a la radiación incidente conectada en serie con un condensador (a), o como una fuente de corriente proporcional a la variación en la temperatura incidente conectada en paralelo con un condensador (b) (Figura 2.4.2)

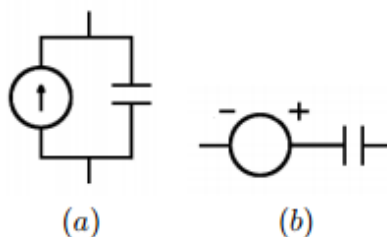


Figura 2.4. 2. Modelos de un sensor piroeléctrico.

Principios y tipos de sensores de temperatura

- **Detectores de temperatura resistivos (RTD).** Una característica de los metales es que su resistencia eléctrica es función de la temperatura del metal. Así, un alambre

metálico de longitud l , combinado con un dispositivo de medición de resistencia es un sistema de medida de temperatura. Los sensores de temperatura basados en el efecto de la resistencia de un metal se conocen como detectores de temperatura resistivos (RTD). Los RTD se usan para medir directamente la temperatura, tienden a ser muy estables. Por otra parte, las sondas RTD son en general físicamente más grandes que los termopares, resultando en una resolución espacial más pobre y una respuesta transitoria más lenta.

Hay un gran número de configuraciones de elementos sensores RTD. La Figura 2.4.3 muestra un sensor de hilo de platino devanado (a) y un sensor de película delgada (b). En el sensor de hilo devanado, el platino se enrolla en una bobina y el ensamble completo se monta en una cubierta de cerámica o de vidrio. El encapsulado previene daño o contaminación. En el diseño de película delgada, el platino se monta en un sustrato de cerámica y entonces es encapsulado con cerámica o vidrio. El diseño de película delgada es una tecnología más nueva y está ganando espacio debido a su más bajo costo. Es importante en el diseño de las sondas RTD minimizar el esfuerzo sobre el platino debido a la expansión térmica, puesto que el esfuerzo también causa cambios en la resistencia.

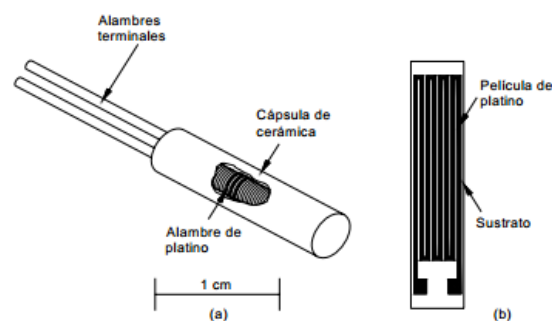


Figura 2.4. 3. Sensor RTD.

El puente de Wheatstone es un circuito apropiado para medir el cambio de resistencia en los RTD.

- **Termistores.** Como con el RTD, el termistor es un dispositivo que tiene una resistencia dependiente de la temperatura. Sin embargo, el termistor es un dispositivo semiconductor y muestra un mayor cambio en la resistencia con respecto a la temperatura que el RTD. Es posible construir termistores con una característica de resistencia contra temperatura con pendiente positiva o negativa. Sin embargo, los dispositivos termistores más comunes tienen una pendiente negativa NTC; lo que significa, que un incremento en la temperatura produce un decremento en la resistencia, lo opuesto de los RTD.

Los termistores están restringidos a temperaturas relativamente bajas.

Las resistencias NTC se aplican ampliamente en circuitos termométricos. Pese a la no linealidad de su resistencia en función de la temperatura, puede optimizarse el diseño obteniéndose sistemas de medida muy sensibles con errores por falta de linealidad aceptables.

En la Figura 2.4.4 se representa un circuito típico muy simple para medida de temperatura en donde el termistor se hace funcionar en el primer tramo de su característica.

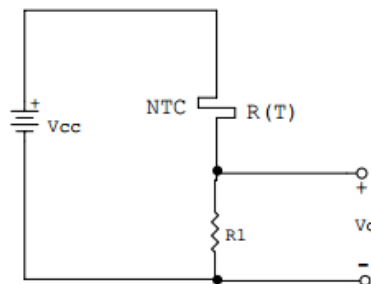


Figura 2.4. 4. Circuito para medir un termistor.

Principios y tipos de sensores de humedad

Las moléculas de agua cambian la longitud de materiales orgánicos, la conductividad y peso de materiales higroscópicos y absorbentes químicos, y en general la impedancia

de casi cualquier material. Estos cambios son utilizados por los métodos o principios de medición de los instrumentos para la medición de humedad. Así, el contenido de agua puede ser medido removiendo el agua (vapor) de una muestra y medir el cambio de peso. Otros principios fundamentales son la evaporación de una superficie de agua con una corriente de gas (psicrometría) y el enfriamiento de una muestra de gas hasta que la condensación es detectada.

Las mediciones de humedad relativa pueden ser hechas por sensores basados en:

- **Psicometría por bulbo húmedo/bulbo seco.** La psicrometría desde hace tiempo es uno de los métodos más populares para el monitoreo de la humedad debido a su simplicidad e inherente bajo costo. Un psicómetro industrial típico consiste de un par de termómetros eléctricos o de líquido en vidrio acoplado, uno de los cuales opera en estado húmedo. Cuando el dispositivo funciona la evaporación del agua enfría el termómetro humedecido, resultando una diferencia medible con la temperatura ambiente o la temperatura del bulbo seco (Figura 2.4.7). Cuando el bulbo húmedo alcanza su máxima caída de temperatura la humedad puede determinarse comparando la temperatura de los dos termómetros en una tabla psicométrica o mediante cálculos.

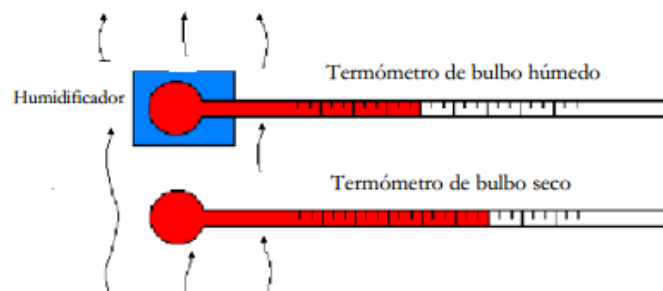


Figura 2.4. 5. Diferencia de psicometría entre bulbo húmedo y seco.

El psicómetro provee una alta exactitud en las proximidades del punto de saturación (100 %HR) y es fácil de operar y reparar, por otra parte, a baja humedad relativa (menos del 20 %HR) el desempeño es pobre y el mantenimiento debe intensificarse. No puede utilizarse a temperaturas menores de 0 °C y, siendo el

propio psicrómetro una fuente de humedad, no puede utilizarse en ambientes pequeños o cerrados.

- **Sensor por condensación.** El punto de rocío es una variable que nos permite encontrar la humedad relativa; para lograr esta medición se utiliza un dispositivo llamado comúnmente higrómetro óptico de espejo frío, y funciona de la siguiente manera (Figura 2.4.8).

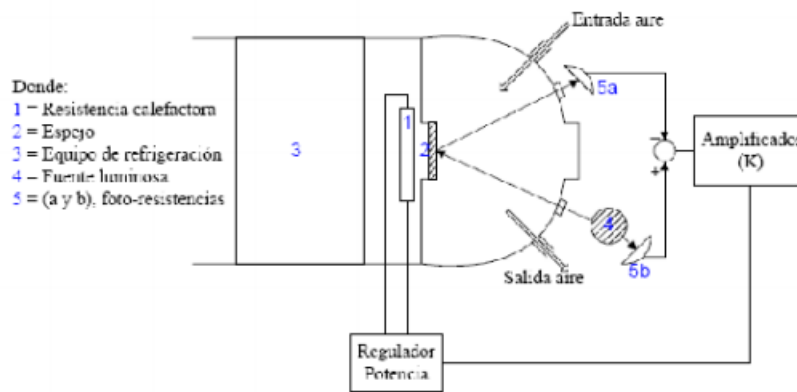


Figura 2.4. 6 Sensor por condensación.

Se hace circular la mezcla gaseosa por una cámara provista en su interior de un espejo (2). El cual puede ser enfriado o calentado por un equipo de refrigeración (3) o calefactor (1) respectivamente, con la finalidad de poder lograr que el vapor se condense en el espejo o el agua se evapore de él. Además, se cuenta con una fuente luminosa (4) que es proyectada sobre el espejo, el cual refleja el haz hacia una foto-resistencia (5a). La luz también incide en una segunda foto-resistencia (5b) en forma directa. Se tiene entonces una medición de la intensidad luminosa real (5b), y una distorsionada según la cantidad de condensación presente en el espejo (5a), la diferencia entre ambas es amplificada y sirve de actuación sobre el regulador de potencia que controla el calefactor.

La idea de este tipo de sensores, es aprovechar los cambios en las dimensiones que sufren ciertos tipos de materiales en presencia de la humedad.

El error de medición de este tipo de sensores se especifica de 3 %HR, y su ventaja radica principalmente en que es fácil de reproducir, sin embargo, es poco robusto y no es de gran utilidad en aplicaciones industriales. Su intervalo de operación es de humedades relativas entre 15 a 95 %HR, a temperatura ambiente entre los -20 °C a 70 °C. Uno de los requisitos para lograr una medición más confiable, es que el aire circule a una velocidad de 3 m/s a través del sensor de deformación formado por una tira de madera, papel o plástico sobre una tira metálica, enrollados en forma espiral o helicoidal.

- **Sensores capacitivos.** Los sensores capacitivos (polímero orgánico capacitivo) son diseñados normalmente con platos paralelos con electrodos porosos o con filamentos entrelazados en el sustrato. El material dieléctrico absorbe o elimina vapor de agua del ambiente con los cambios del nivel de humedad. Los cambios resultantes en la constante dieléctrica causan una variación en el valor de la capacitancia eléctrica del dispositivo por lo que resulta una impedancia que varía con la humedad. Un cambio en la constante dieléctrica de aproximadamente el 30% y corresponde a una variación de 0 a 100 %HR en la humedad relativa (Figura 2.4.9).



Figura 2.4.9. Sensor Capacitivo.

El material sensor es muy delgado para alcanzar grandes cambios en la señal con la humedad. Esto permite al vapor de agua entrar y salir fácilmente y el secado rápido para la sencilla calibración del sensor.

- **Sensor de temperatura y humedad integrado.** El uso de procesos de fabricación CMOS industriales, permite la integración en un chip, del sensor y la parte del proceso electrónico de la señal, también asegura la confiabilidad más alta y la estabilidad a largo plazo.

El uso de procesos de fabricación CMOS industriales, permite la integración en un chip, del sensor y la parte del proceso electrónico de la señal, también asegura la confiabilidad más alta y la estabilidad a largo plazo excelente.

- **Sensor de bloque de polímero resistivo.** Están compuestos de un sustrato cerámico aislante sobre el cual se deposita una rejilla de electrodos. Estos electrodos se cubren con una sal sensible a la humedad embebida en una resina (polímero). La resina se recubre entonces con una capa protectora permeable al vapor de agua. A medida que la humedad pasa por la capa de protección, el polímero resulta ionizado y estos iones se movilizan dentro de la resina.

Por su misma estructura este tipo de sensores son relativamente inmunes a la contaminación superficial ya que no afecta su exactitud, aunque si el tiempo de respuesta.

Principios y tipos de sensores de gas

Una de las partes clave de cualquier plan de seguridad en la reducción de riesgos para el personal y las instalaciones es la utilización de Sistemas de Detección de Gas que permitan realizar acciones preventivas y correctivas ante la presencia de un gas a niveles definidos como peligrosos.

El sistema más común consiste en situar en una serie de puntos estratégicos de la planta o instalación industrial una serie de detectores, en aquellos lugares en donde es más probable que suceda una fuga o una acumulación peligrosa de gas.

Definiremos un detector de gas como un elemento que sufre un cambio físico o químico, reversible, en presencia de un gas, para dar una señal (normalmente eléctrica) que es transmitida, mostrada o utilizada para operar alarmas y controles.

Podemos distinguir básicamente cinco diferentes tecnologías en el mercado de los detectores de gases de aplicación en la industria:

- **Detectores Electroquímicos.** La tecnología electroquímica se aplica tradicionalmente en la detección de gases tóxicos, aportando soluciones de bajo costo y gran variedad de aplicaciones, de forma que seguirá siendo probablemente durante muchos años la solución preferida por la industria para la detección de este tipo de gases, a pesar de sus limitaciones (interferencias y, sobre todo, la limitada vida de este tipo de detector).

El sensor utilizado en estos detectores es una célula electroquímica formada por dos electrodos sumergidos en un medio electrolítico común. El electrolito es aislado de las influencias externas mediante una barrera, que puede ser una membrana permeable al gas, un medio de difusión o un capilar. La célula se diseña para una sensibilidad máxima combinada con una interferencia mínima de otros gases que puedan estar presentes. Durante el funcionamiento, un voltaje polarizado es aplicado a los electrodos y cuando el gas penetra en el sensor una reacción redox genera una corriente eléctrica proporcional a la concentración del gas.

Los sensores son relativamente sencillos, tienen bajo consumo y generalmente son bastante sensibles y precisos. Los límites de detección pueden ser a partir de unas decenas de ppm (según el tipo de gas) y los tiempos de respuesta del orden de 30 - 60 seg.

La vida del sensor constituye quizás la principal limitación de estos detectores, ya que es imprevisible en cada unidad individual y exige una verificación y recalibración frecuente (cada tres o seis meses, típicamente) además de una sustitución periódica de los sensores cuya vida ha terminado.

- **Detectores por Semiconductor.** Los detectores por semiconductor presentan como característica más destacada ser los detectores de gas de más bajo costo de los que se dispone en el mercado.

El sensor fabricado con materiales semiconductores opera por la propiedad de adsorción de gas en la superficie de un óxido calentado. De hecho, es una película delgada de un óxido metálico (habitualmente óxidos de metales de transición o de metales pesados como el estaño) depositada en una base de sílice. La absorción de la muestra de gas en la superficie del óxido, seguida de una oxidación catalítica, termina en un cambio de la resistencia eléctrica del material oxidado que puede relacionarse con la concentración del gas.

Los detectores de semiconductor son sencillos y pueden ser altamente sensibles.

Quizás la principal limitación de estos detectores es, en algunos casos y aplicaciones, su falta de especificidad y su influencia por factores ambientales tales como las variaciones de temperatura y humedad, así como la necesidad de ser verificados con cierta frecuencia para comprobar que mantienen su sensibilidad, la cual a veces se ve afectada tanto por una historia previa en la que no haya habido detección de gas como, en el otro extremo, por una cierta dificultad en recuperarse después de detectar una concentración notable de gas.

- **Detectores De Conductividad Térmica.** Los detectores de conductividad térmica emplean esta conocida tecnología para determinar la concentración de un gas conocido en una mezcla de dos gases. Son particularmente útiles para medidas que afectan a gases de alta conductividad térmica o gases de tipo inerte (argón, helio, etc.)

Básicamente su principio de funcionamiento consiste en la disposición de al menos dos filamentos con propiedades conductoras y térmicas (termistores) formando

parte de un puente de Wheatstone. Cada filamento se ubica en una célula independiente y el conjunto está a una temperatura definida. En la célula de referencia se encierra una cantidad determinada de un gas estándar (aire, por ejemplo). En la célula de medida penetra el gas a detectar. Su conductividad térmica, diferente de la del gas de referencia, hace que la temperatura del filamento se altere y, en consecuencia, se desequilibre el circuito puente de Wheatstone.

- **Detectores Catalíticos.** El sensor catalítico consiste en un pequeño elemento denominado pellistor, perla o filamento catalítico que está formado por un filamento de Platino calentado eléctricamente. Este filamento está recubierto primeramente con una base cerámica (aluminosa, por ejemplo) y posteriormente por una dispersión catalítica de Paladio o Rodio en un sustrato de Torio.

Cuando una mezcla de aire y un gas inflamable se pone en contacto con la superficie caliente del catalizador, se produce una combustión que aumenta la temperatura de la perla lo cual altera la resistencia del filamento de platino que a su vez es medida en un circuito tipo puente de Wheatstone. El cambio de resistencia está directamente relacionado con la concentración de gas presente, la cual se expresa normalmente en el porcentaje de la concentración mínima que dicho gas debe tener en aire para producir una mezcla explosiva.

Para asegurar la estabilidad frente a variaciones ambientales, cada filamento catalítico es acompañado por otro filamento de referencia, que es similar, pero con el catalizador desactivado.

La principal limitación de este tipo de detectores es su degradación al entrar en contacto con sustancias como siliconas, derivados halogenados, freones, azufre y derivados del plomo, que pueden desactivar rápidamente al detector (al reaccionar con el catalizador, envenenándolo). Los fabricantes han realizado mejoras sucesivas en la composición química y diseño mecánico (miniaturización, aumento de la superficie efectiva, etc.) de los filamentos catalíticos, de forma que

actualmente el efecto de un veneno no suele inactivarlos en forma inmediata, aunque sí acorta muy notablemente la vida útil del detector.

Adicionalmente, debemos resaltar que el detector catalítico se consume cada vez que detecta gas y sufre un cierto envejecimiento en el tiempo. Por este motivo se recomienda su recalibración cada seis meses. Su vida útil, no obstante, rebasa normalmente los cinco años.

Como ventajas importantes, entre otras, su capacidad para detectar prácticamente cualquier sustancia inflamable, tiempos de respuesta entre 15 y 30 segundos, buena estabilidad frente a las variaciones de las condiciones ambientales y costo reducido.

- **Detectores Infrarrojos.** La tecnología infrarroja ya supone actualmente la partida más importante dentro del mercado. Su aplicación mayoritaria es, hoy por hoy, la detección de gases inflamables y existen dos grandes clases de detectores:
 - **Detectores Infrarrojos de Punto.** El sensor infrarrojo de punto se basa en el hecho de que muchos gases combustibles tienen bandas de absorción en el espectro infrarrojo. El detector infrarrojo debe incluir, para garantizar un funcionamiento fiable, una pequeña cámara con dos fuentes emisoras. Una (la de medida) está ajustada a la longitud de onda de absorción de los hidrocarburos o gases inflamables a detectar, mientras la otra trabaja a una longitud de onda de referencia. De este modo se compensan los factores ambientales.

Las principales ventajas de los detectores de gases de punto que utilizan la tecnología infrarroja son su carácter de sistema óptico hace que no se vean afectados por venenos que puedan acortar su vida y dificultar su funcionamiento. Esto, junto con la ausencia de un consumo del elemento detector cuando se registra una presencia de gas, hace que los detectores infrarrojos constituyan

una solución óptima en atmósferas que serían dañinas para otros detectores y presenten una vida útil muy superior, estimada en más de 10 años.

Gran estabilidad en el tiempo, con derivas muy reducidas. Esto tiene como efecto una drástica reducción en el mantenimiento, ya que las operaciones de recalibración pueden espaciarse hasta períodos de más de un año. La velocidad de respuesta: del orden de 2 a 10 segundos según modelos y aplicaciones.

- **Detectores Infrarrojos de Camino Abierto (Barreras Infrarrojas).** Utilizan un haz abierto de luz infrarroja entre un emisor y un receptor, cubriendo una distancia de varios centenares de metros.

Principios y tipos de sensores de proximidad

El sensor de proximidad es un transductor que detecta objetos o señales que se encuentran cerca del elemento sensor. Existen varios tipos de sensores de proximidad según el principio físico que utilizan. Entre los sensores de proximidad se encuentran:

- **Sensor fin de carrera.** Estos interruptores se usan ordinariamente para desconectar, límites de carreras. Para poder accionar estos interruptores se requiere contacto físico entre la parte de la máquina y la palanca del interruptor con la fuerza suficiente para operar. Para este tipo de sensor tenemos el normalmente abierto (Figura 2.4.10) y el normalmente cerrado (Figura 2.4.11).

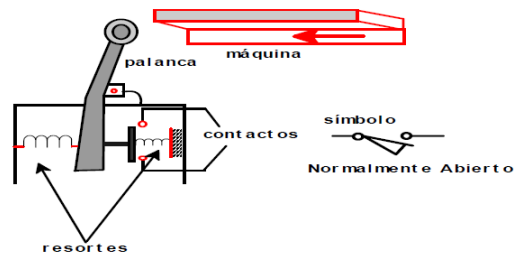


Figura 2.4. 10 Sensor de fin de carrera abierto.

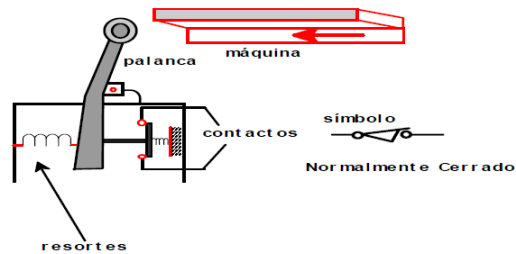


Figura 2.4. 11 Sensor de fin de carrera cerrado.

Las desventajas de este tipo de sensor son producen rebote mecánico al conmutar, al existir contacto físico se produce desgaste y requieren mantenimiento, son de respuesta lenta, ruidosos, voluminosos y de vida limitada.

- **Sensor inductivo.** Los sensores de proximidad inductivos son útiles cuando se requiere detectar, sin contacto, la presencia o movimientos funcionales de objetos metálicos ubicados en máquinas herramientas, de ensamble y de procesado, robots, líneas de producción, etc.

Cuando el objeto metálico entra al campo de acción del sensor, este se activa como un interruptor produciendo una señal eléctrica que puede utilizarse para la conmutación de electroválvulas, contadores, tarjetas de interfaz o controladores programables.

Los sensores de proximidad inductivos generalmente están construidos en 4 elementos principales (Figura 2.4.12):

- Una bobina de núcleo de ferrita.
- Un oscilador de radio frecuencia.
- Una unidad de evaluación o de disparo.
- Una etapa de salida o conmutador.

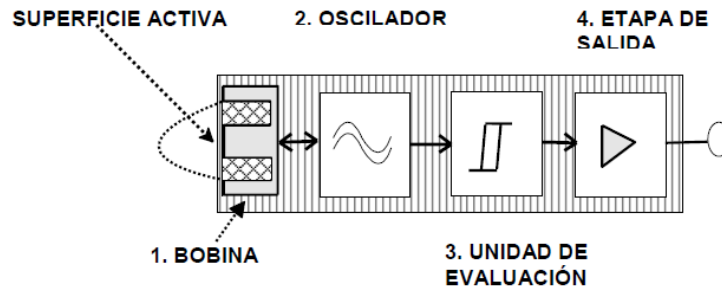


Figura 2.4. 12 Sensor inductivo

El oscilador crea un campo electromagnético de radio frecuencia que es formado y definido por la bobina de núcleo de ferrita, concentrando el campo sensorial hacia la dirección axial del sensor de proximidad, a esta zona se conoce con el nombre de superficie activa del sensor. Cuando un objeto metálico es colocado dentro de este campo, éste absorbe parte de la energía generada por el oscilador en forma de corrientes de Eddy que aparecen en la superficie del objeto. De tal forma que el objeto metálico se comporta como el embobinado secundario de un transformador.

Por lo tanto, el oscilador que es un dispositivo de potencia limitada, irá bajando la amplitud de su oscilación conforme el objeto metálico se acerca más a la superficie activa del sensor, ya que la pérdida de energía es cada vez más grande, hasta el punto que el oscilador ya no puede mantenerse oscilando. Tal vez su principal desventaja es que generalmente detectan materiales metálicos.

- **Sensor capacitivo.** Los sensores de proximidad capacitivos son similares a los inductivos. La principal diferencia entre los dos tipos es que los sensores capacitivos producen un campo electrostático en lugar de un campo electromagnético.

Los interruptores de proximidad capacitivos detectan objetos metálicos como los inductivos, pero además tiene la capacidad de detectar materiales no metálicos.

La superficie de detección del sensor capacitivo está formada por dos electrodos concéntricos de metal de un capacitor. Cuando un objeto se aproxima a la superficie de detección y éste entra al campo electrostático de los electrodos, cambia la capacitancia en un circuito oscilador. Esto hace que el oscilador empiece a oscilar (Figura 2.4.13).

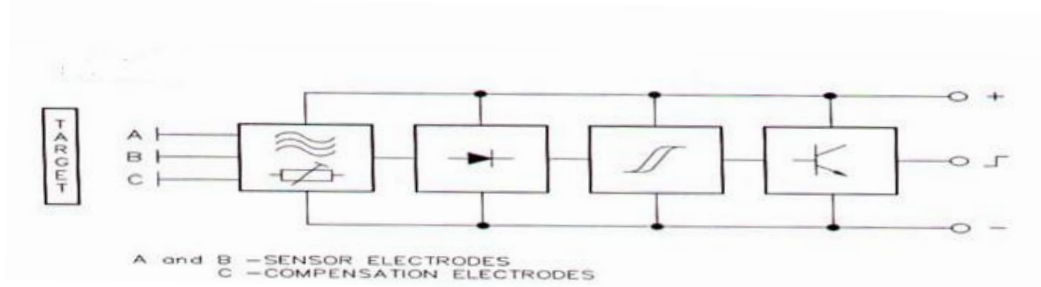


Figura 2.4. 13 Sensor capacitivo.

Los objetivos estándar son especificados para cada sensor capacitivo. El objetivo estándar se define normalmente como un metal o agua.

Los sensores capacitivos dependen de la constante dieléctrica del objetivo. Mientras más grande es la constante dieléctrica de un material es más fácil de detectar.

- **Sensor ultrasónico.** Los sensores de proximidad ultrasónicos usan un transductor para enviar y recibir señales de sonido de alta frecuencia. Cuando un objetivo entra al haz, el sonido es reflejado de regreso al sensor, haciendo que se habilite o deshabilite el circuito de salida.

El sensor tiene un disco piezoeléctrico montado en su superficie, el cual produce ondas de sonido de alta frecuencia. Cuando los pulsos transmitidos pegan con un objeto reflector de sonido, se produce un eco. La duración del pulso reflejado es evaluada en el transductor. Cuando el objetivo entra dentro del rango de operación preestablecido, la salida del interruptor cambia de estado. Cuando el objetivo se sale del rango preestablecido, la salida regresa a su estado original (Figura 2.4.14).

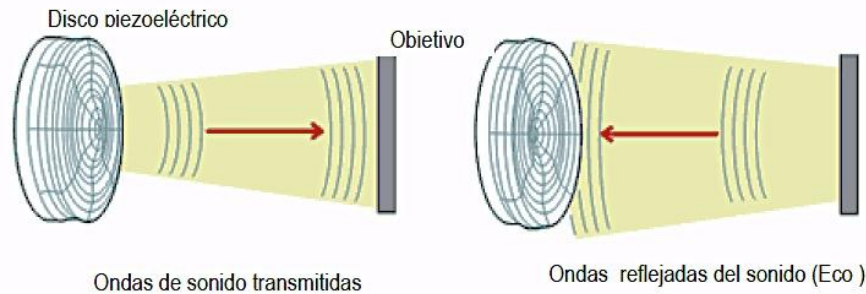


Figura 2.4. 14 Sensor ultrasónico

El pulso emitido es un burst (emisión de sonido) corto de energía ultrasónica de gran amplitud. El pulso de eco es típicamente de amplitud más baja. El intervalo de tiempo entre la señal transmitida y su eco es directamente proporcional a la distancia entre el objeto y el sensor.

Directamente enfrente del sensor hay una zona ciega. Dependiendo del sensor la zona ciega es de 6 a 80 cm del frente del sensor. Un objeto colocado en la zona ciega produce una salida inestable.

El rango de operación puede ajustarse en términos de su ancho y posición dentro del rango de detección. El límite superior puede ser ajustado en todos los sensores. El límite inferior solo se puede ajustar en ciertos tipos. Los objetos colocados más allá del límite superior no producen ningún cambio en la salida del sensor.

El patrón de radiación de un sensor ultrasónico consiste de un cono principal y varios conos vecinos. El ángulo aproximado del cono principal es de aproximadamente 5 grados.

Líquidos tales como agua, están limitados a un alineamiento angular de 3 grados con respecto a la superficie a medir.

- **Sensor infrarrojo.** Utilizan la luz infrarroja para detectar la presencia o ausencia de un objeto. El emisor de luz generalmente es un LED infrarrojo. El receptor de rayos infrarrojos suele ser un fototransistor o un fotodiodo.

El sistema óptico de un sensor fotoeléctrico está diseñado para uno de los cuatro modos de detección: Transmisión (Separado) (Figura 2.4.15), Retroreflectivo (Figura 2.4.16), Difuso (Figura 2.4.17), Definido (Figura 2.4.18).

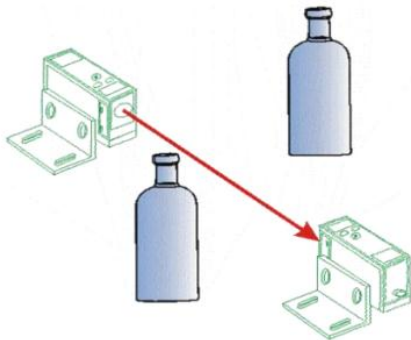


Figura 2.4. 15 Transmisión (Separado)

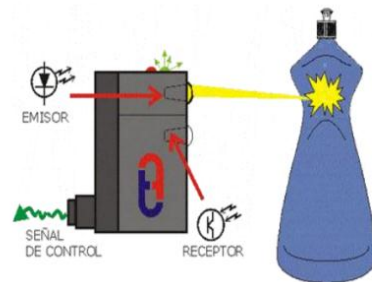


Figura 2.4. 17 Difuso

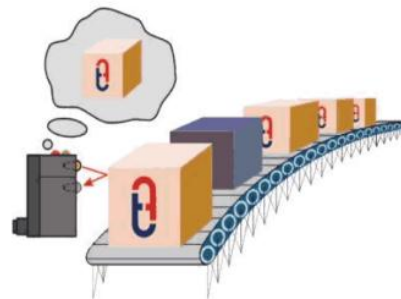


Figura 2.4. 18 Definido

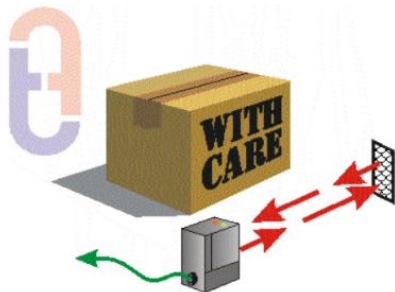


Figura 2.4. 16 Retroreflectivo

Los sensores fotoeléctricos de pulso modulado responden únicamente a la luz emitida por su propia fuente de luz.

Modular la luz de un LED simplemente significa encenderlo y apagarlo en alta frecuencia. El secreto de la eficiencia de un sistema modulado es que el fototransistor del sensor y el amplificador estén sintonizados a la frecuencia de la modulación, dando como resultado, que únicamente la luz modulada es amplificada, y toda la otra luz que alcanza al fototransistor es ignorada. Esto es análogo a un radio receptor el cual sintoniza fuertemente a una estación mientras que ignora las otras ondas de radio que están presentes en el lugar.

- **Sensor magnético.** Los sensores de proximidad magnéticos son caracterizados por la posibilidad de distancias grandes de la conmutación, disponible de los sensores con dimensiones pequeñas. Detectan los objetos magnéticos (imanes generalmente permanentes) que se utilizan para accionar el proceso de la conmutación. Los campos magnéticos pueden pasar a través de muchos materiales no magnéticos, el proceso de la conmutación se puede también accionar sin la necesidad de la exposición directa al objeto. Usando los conductores magnéticos (ej. hierro), el campo magnético se puede transmitir sobre mayores distancias para, por ejemplo, poder llevarse la señal de áreas de alta temperatura.

2.5 Características, ventajas y desventajas de los sistemas de comunicación acordes a nuestra aplicación

Hoy en día muchas redes se construyen con soluciones cableadas e inalámbricas. Normalmente las redes basadas en cables tienen mayor capacidad que las inalámbricas, pero instalar fibras es más caro y consume más tiempo. Por ello, a menudo una red comienza como inalámbrica y a medida que crece su utilización se comienzan a instalar fibras.

Un aspecto importante sobre las redes cableadas e inalámbricas es la variedad de estándares que existen y los que están desarrollándose. Los estándares inalámbricos aseguran interoperabilidad y usabilidad por parte de los que desarrollan, instalan y gestionan redes inalámbricas. Los estándares usados en la mayoría de las redes fueron establecidos por los grupos de trabajo 802 del IEEE. IEEE 802 abarca una familia de estándares IEEE para redes locales y de área metropolitana.

Nombre	Descripción
IEEE 802.1	Puentes y Gestión de Redes
IEEE 802.3	Ethernet
IEEE 802.11 a/b/g/n	Redes Inalámbricas de Área Local (WLAN)
IEEE 802.15	Redes Inalámbricas de Área Personal (PAN)
IEEE 802.15.1	Bluetooth
IEEE 802.15.2	Coexistencia IEEE 802.15 y IEEE 802.11
IEEE 802.15.3	Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN) y Alta Velocidad
IEEE 802.15.4	Redes Inalámbricas de Área Personal y Baja Velocidad (Por ej. Zigbee)
IEEE 802.15.5	Redes en Malla para WPAN
IEEE 802.15.6	Redes de Área Corporal (BAN)
IEEE 802.16	Acceso Inalámbrico de Banda ancha (base de WiMAX)
IEEE 802.16.1	Servicio de Distribución Local Multipunto (LMDS)
IEEE 802.18	Regulaciones de Radio
IEEE 802.19	Coexistencia
IEEE 802.20	Acceso Inalámbrico Móvil de Banda Ancha
IEEE 802.21	Traspaso (<i>handoff</i>) Independiente del Medio
IEEE 802.22	Redes Inalámbricas de Área Regional
IEEE 802.23	Servicios de Emergencia
IEEE 802.24	Malla Inteligente (<i>Smart Grid</i>)
IEEE 802.25	Red de Área Omni-Range

Tabla 2.5.1 Familia del estándar IEEE 802

Los estándares IEEE 802 son específicos para redes que tratan redes con paquetes de tamaño variable. La familia de estándares IEEE 802 es mantenida por el Comité de Estándares LAN/MAN de la IEEE (LMSC). Cada grupo de trabajo se enfoca en un área específica como aparece en la tabla 2.5.1.

Las telecomunicaciones han experimentado un gran avance impulsadas, entre otros, por la evolución de las comunicaciones vía radio. Tecnologías como GSM, DECT, LMDS, UMTS han generado grandes expectativas de nuevos servicios entre la población.

Wi-Fi

Actualmente, la expansión de la tecnología Wi-Fi (Wireless Fidelity, fidelidad inalámbrica), se está usando bastante a nivel mundial. La causa radica en el hecho que la tecnología Wi-Fi posibilita el acceso móvil de banda ancha a Internet a un costo muy accesible.

Las bandas de frecuencia utilizadas mayoritariamente por las redes sin hilos y especialmente por los equipos Wi-Fi son las de 2.4 y 5 GHz, que están clasificadas como uso común compartido.

La limitación de potencias máximas de emisión está orientada a buscar un equilibrio entre la cobertura de los puntos de acceso y las posibles interferencias entre emisores. En el caso de las bandas de uso común del espectro, la regulación limita la potencia máxima que se puede utilizar en esta banda en 100 mW (20 dBm) de potencia isotrópica radiada equivaliendo (PIRE que incluye tanto la potencia de emisión como la ganancia de la antena utilizada, en términos logarítmicos, $PIRE = \text{Potencia Radiada} + \text{Ganancia}$) en la mayoría de los países. Esta potencia es diversos órdenes de magnitud inferior a las limitaciones que se establecen para usos privativos, hecho que se debe a la necesidad que se puedan reutilizar frecuencias en ubicaciones próximas entre sí.

Con respecto al uso de Wi-Fi en la banda de 5 GHz, las potencias permitidas en estas bandas varían en cada país.

La PIRE máxima está restringida a 200 mW entre los 5.15 y 5.36 GHz y en 1 W en la banda comprendida entre los 5.470 y 5.725 GHz, siempre que se utilicen técnicas de control de potencia, soportadas por los puntos de acceso que se comercializan habitualmente.

Por el hecho de ser una banda de uso común, la banda de frecuencia de 2.4 GHz es compartida por las redes Wi-Fi y por otras tecnologías (Bluetooth, Home RF3, hornos

microondas, etc.) cosa que incrementa la posibilidad de congestión en esta banda. Por este motivo se decidió utilizar también la banda de los 5 GHz por aplicaciones de redes Wi-Fi. De alguna manera se puede decir que la banda de 2.4GHz es de uso común para propósito general y la de 5Ghz de uso común más orientada estrictamente a redes.

Los estándares no establecen limitación en el número de usuarios simultáneos conectados a un punto de acceso, pero las pruebas efectuadas por los fabricantes de los equipos han mostrado que a partir de aproximadamente 200 usuarios conectados el rendimiento del sistema baja notablemente a causa de las limitaciones de la electrónica de los equipos. Independientemente de la banda de frecuencia en que trabajan, todos los estándares de la subfamilia 802.11 comparten algunas limitaciones que es conveniente conocer antes de tomar una decisión sobre coberturas, alcance o velocidades que se pueden alcanzar.

Estas limitaciones son cinco:

- **Alcance:** Aunque comercialmente se habla típicamente de un alcance de hasta 100 metros, este dato depende, en primer lugar, de la ubicación y de la presencia de obstáculos en el camino entre el punto de acceso y el terminal, y en segundo lugar, de las condiciones meteorológicas y de las interferencias. Asimismo, si hay otras redes Wi-Fi próximas, o sencillamente otras fuentes de interferencias, es también más probable que las distancias disminuyan.
- **Anchura de banda:** Nominalmente, los diferentes estándares pueden alcanzar, físicamente (es decir, en el canal aéreo, descontando cualquier ineficiencia que puedan introducir los protocolos superiores), las velocidades. Ahora bien, a causa del efecto de los protocolos necesarios para transportar la información de usuario sobre el canal aéreo, la velocidad útil es mucho menor. Además, en función de las condiciones del entorno y de la calidad de cada comunicación entre un terminal y el punto de acceso, la anchura de esta comunicación se adapta, con el fin de utilizar

codificaciones más robustas ante interferencias y/o errores. Es por eso que a veces nos encontremos con una conexión con el punto de acceso de 11 Mbps, otros en 5 Mbps, en 2 Mbps o, incluso, en 1 Mbps.

- **Calidad de servicio:** No todo el tráfico tiene la misma importancia desde el punto de vista de cada usuario. Los protocolos más extendidos de Wi-Fi no incluyen ningún mecanismo para priorizar un tipo de tráfico sobre otro, lo cual resulta muy perjudicial cuando se mezclan flujos de tráfico con requerimientos muy diferentes, como voz y datos. La consecuencia es que Wi-Fi es poco adecuado para transportar tráfico exigente en términos de calidad, como VoIP, no tanto para que no funcione adecuadamente, como porque no se puede garantizar cuándo y en qué condiciones funcionará.
- **Seguridad:** Con el éxito de esta tecnología y la publicación de las debilidades de los mecanismos de seguridad originales, se hizo necesario introducir mejoras en este aspecto. El estándar 802.11i resuelve la mayoría de las debilidades originales, hasta el punto de hacerlas comparables en seguridad en las redes fijas.
- **Movilidad:** Dado que se considera que las redes Wi-Fi son móviles, ya que no hay que conectarse desde una ubicación fija para acceder a los servicios que nos ofrece. Estrictamente hablando, eso se considera itinerancia, y no movilidad por lo que actualmente se encuentran trabajando en este punto.

Bluetooth

Bluetooth es la norma que define un estándar global de comunicación inalámbrica, que posibilita la transmisión entre diferentes equipos mediante un enlace por radiofrecuencia. Principales objetivos que esta norma pretende:

- Facilitar las comunicaciones entre equipos móviles y fijos.
- Eliminar cables y conectores entre éstos.

- Ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas.

Bluetooth cuenta con el apoyo de la industria de Informática y de Telecomunicaciones, lo que en cierta medida garantiza su éxito.

Cada dispositivo deberá estar equipado con un microchip, llamado Transceptor, (Figura 2.5.1) que transmite y recibe en la frecuencia de 2.4 GHz, disponible en todo el mundo.



Figura 2.5.1 Transceptor Bluetooth.

Además de los datos, están disponibles tres canales de voz. Cada dispositivo tiene una dirección única de 48 bits basado en el estándar IEEE 802.15.1.

Gracias a este protocolo, los dispositivos que lo implementan pueden comunicarse entre ellos cuando se encuentran dentro de su alcance. Debido a la naturaleza de las transmisiones, los dispositivos no tienen que estar alineados y pueden incluso estar en habitaciones separadas si la potencia de transmisión lo permite. Estos dispositivos se clasifican como Clase 1, Clase 2 o Clase 3 en referencia a su potencia de transmisión, siendo totalmente compatibles los dispositivos de una clase con los de las otras.

En la mayoría de los casos, los dispositivos no son de la misma clase. El receptor, por ejemplo, un PC, sería de clase 1, mientras que el emisor, un Smartphone, pertenecería a la clase 3. De esta manera, la mayor sensibilidad y potencia de transmisión del dispositivo de clase 1 permite que la señal llegue con energía suficiente hasta el de clase 3.

Las especificaciones principales del Bluetooth son:

- Banda de Frecuencia: 2,4 GHz (Banda ISM).
- Potencia del transmisor: entre 1 y 100 mW, típica de 2.5 mW.
- Canales máximos: hasta 3 de voz y 7 de datos por piconet.
- Velocidad de datos: hasta 720 kbit/s por piconet.
- Rango esperado del sistema: hasta 100 metros.
- Numero de dispositivos: 8 por piconet y hasta 10 piconets.
- Tamaño del Módulo: 0.5 pulgadas cuadradas (9x9 mm).
- Interferencia: Bluetooth minimiza la interferencia potencial al emplear saltos rápidos en frecuencia =1.600 veces por segundo.

La especificación principal de Bluetooth (denominada Core) define el nivel físico (PHY) y el control de acceso al medio (MAC). La especificación principal cubre los cuatro niveles inferiores y sus protocolos asociados junto con el protocolo de descubrimiento de servicios (SDP) y el perfil de acceso genérico.

Los niveles inferiores de la pila de protocolos constituyen el controlador Bluetooth (hardware), que contiene los bloques fundamentales de la tecnología, sobre los cuales se apoyan los niveles superiores y los protocolos de aplicación. El controlador Bluetooth se compone de:

- El nivel de radiofrecuencia.
- El nivel de Banda Base.
- El nivel de Gestión de Enlace

El resto de niveles de base y los protocolos de aplicación residen en el anfitrión Bluetooth, o Host y se definen a nivel software. El Host se comunica con el controlador utilizando un interfaz estándar. Ambas entidades pueden integrarse para su uso conjunto en sistemas embebidos, o se pueden utilizar de forma intercambiable. El nivel

más importante del anfitrión es el protocolo de control y adaptación de enlace lógico o L2CAP.

El nivel de radiofrecuencia (RF) está formado por el transceptor físico y sus componentes asociados. Utiliza la banda ISM de uso no regulado a 2.4 GHz, lo que facilita la consecución de calidad en la señal y la compatibilidad entre transceptores. La banda de 2.4GHz forma parte del ISM5. En principio, estaban reservadas para otros usos, pero como los dispositivos que usan la banda ISM deben presentar una tolerancia a las interferencias y no se necesitan licencias para usar estas bandas, el bluetooth ha ocupado la banda de los 2.4GHz. A nivel mundial esta banda se encuentra disponible, pero el ancho de banda puede diferir según el país.

Normalmente se disponen de 79 canales de comunicación para el Bluetooth, aunque hay algunos países en los que los canales están limitados.

Hoy en día el Bluetooth se usa principalmente a nivel personal, estando su uso muy extendido en los Smartphone. Con ellos se crean picoredes conectando varios dispositivos como un reproductor de música, un localizador GPS, teclados y ratones y en general casi cualquier dispositivo de interfaz humana. Otros usos menos conocidos por el usuario, pero de uso muy extendido, son el control remoto de dispositivos, o su uso en equipamiento médico.

Para impulsar y mejorar la tecnología Bluetooth, se creó el evento UnPlugFest que busca fomentar la interoperabilidad de todos los dispositivos Bluetooth en desarrollo o en el mercado.

RFID

En términos generales, la tecnología RFID (Radio Frequency IDentification) permite la identificación de objetos de forma inalámbrica, sin necesidad de que exista entre el lector y el objeto contacto o línea de visión directa, requisito indispensable para otras

tecnologías como la lectura láser de códigos de barras. Esta identificación se realiza mediante la incorporación o fijación de un transpondedor al objeto (tag), el cual transmite los datos que contiene cuando detecta que está siendo interrogado por un lector RFID.

En un primer acercamiento, un sistema RFID básico se puede definir en los siguientes puntos:

- El objetivo de la tecnología es la identificación de objetos a distancia, vía radio, sin necesidad de contacto ni línea de visión directa.
- Una solución básica basada en RFID se compone de un lector con una o más antenas, etiquetas de identificación (tags) y un software que realice el tratamiento de la información recogida por los lectores.

Hay que tener en cuenta que la potencia de la tecnología RFID reside tanto en su bajo costo como en la universalidad (serialization) y unicidad del código identificador del tag (EPC, Electronic Product Code), fundamentales para las aplicaciones de la cadena de suministro. Por tanto, la estandarización a nivel mundial tanto del código EPC (concebido como evolución del código UPC, “Universal Product Code” de los códigos de barras) como de los mecanismos para su asignación y para garantizar la interoperabilidad de los distintos sistemas es vital cuando se habla de RFID.

Según la banda de frecuencias utilizada en la transmisión, la comunicación entre lector y antena se realiza de distinta forma:

- Acoplamiento inductivo (Inductive Coupling).
- Acoplamiento capacitivo (Passive Backscatter).

El acoplamiento inductivo se usa tanto para comunicaciones a baja frecuencia (LF) como a alta (HF). La corriente eléctrica que circula por la antena del lector genera un campo magnético que, cuando alcanza a la antena de la etiqueta, induce en ésta una

corriente que la alimenta. El tag conmuta entonces la impedancia de carga de su antena para crear una modulación que le permita la transmisión de datos.

El acoplamiento capacitivo se usa para la comunicación en frecuencias UHF y microondas. En este caso, el lector transmite una señal de radiofrecuencia que la etiqueta recibe, modula y refleja de nuevo hacia el lector. Dependiendo del tipo de alimentación de las etiquetas (pasivas o activas), éstas tomarán de la señal que les llega del lector su alimentación o no, antes de retransmitirla en respuesta.

Entre las características físicas de propagación de las ondas electromagnéticas según la frecuencia de transmisión cabe destacar la sensibilidad a distintos tipos de materiales conforme aumenta la frecuencia: en HF ya existen problemas de desadaptación (o desintonización) de la antena cuando las etiquetas se encuentran adheridas a una superficie metálica. En UHF y microondas, no sólo se obtiene un mal comportamiento con los metales, sino también con los líquidos y otros materiales, además de los problemas asociados a la desintonización de las antenas de los tags cuando estos se encuentran muy cercanos entre sí.

Sin embargo, las ventajas de la utilización de altas frecuencias también son evidentes: mientras que en LF y HF los rangos de lectura son inferiores a 1 metro, en UHF se pueden alcanzar entre 1-8 metros para etiquetas pasivas y hasta 100 metros para las activas.

Asimismo, conforme más alta sea la frecuencia, mayor puede ser la cantidad de información manejada y la velocidad de lectura simultánea, dada la mayor tasa de transferencia de datos que se puede conseguir.

GSM.

Se define la Red del Sistema Global de Telefonía GSM como aquel servicio portador constituido por todos los medios de transmisión y conmutación necesarios que permiten

enlazar a voluntad dos equipos terminales móviles mediante un canal digital que se establece específicamente para la comunicación y que desaparece una vez que se ha completado la misma.

El estándar GSM define una red telefónica móvil terrestre (PLMN) completa, de naturaleza digital y de servicios integrados, que comprende:

- Acceso a radio con estructura celular.
- Transmisión, conmutación y señalización específicas para soportar las funciones de movilidad.
- Mecanismos de seguridad para el establecimiento de las llamadas y la protección de la información transmitida durante éstas.

GSM se ofrecen los siguientes servicios:

- Telefonía con voz digitalizada a velocidades de 13 Kbps (velocidad total: calidades normal y mejorada) y 6,5 Kbps (velocidad mitad). Se incluye aquí el servicio de llamadas de emergencia.
- Mensajes cortos SMS punto a punto o punto-multipunto (desde la estación base).
- Almacenamiento y tratamiento de mensajes.
- Facsímil. Es posible la conexión de aparatos facsímil del Grupo 3 y 4 (transmisión digital), de forma automática o alternada con la voz, para la transmisión/recepción de documentos en la estación móvil.
- Mensajería multimedia MMS, que permite la transmisión de mensajes de voz, texto e imágenes fijas y móviles.

Protocolo de Internet Versión 4 (IPv4)

Es la cuarta versión del protocolo Internet Protocol (IP), y la primera en ser implementada a gran escala. Definida en el RFC 791. IPv4 usa direcciones de 32 bits, muchas de las cuales están dedicadas a redes locales (LANs).

Una dirección IP es una etiqueta numérica que identifica, de manera lógica y jerárquica, a un interfaz de un dispositivo dentro de una red que utilice el protocolo IP, que corresponde al nivel de red del protocolo TCP/IP. Dicho número no se ha de confundir con la dirección MAC que es un número hexadecimal fijo que es asignado a la tarjeta o dispositivo de red por el fabricante, mientras que la dirección IP se puede cambiar. Esta dirección puede cambiar 2 o 3 veces al día; y a esta forma de asignación de dirección IP se denomina dirección IP dinámica.

En la expresión de direcciones IPv4 en decimal se separa cada octeto por un carácter único ".". Cada uno de estos octetos puede estar comprendido entre 0 y 255, salvo algunas excepciones. Además, que se introdujo la arquitectura de clases:

- En una red de clase A, se asigna el primer octeto para identificar la red, reservando los tres últimos octetos (24 bits) para que sean asignados a los hosts, de modo que la cantidad máxima de hosts es de 16 777 214 hosts.
- En una red de clase B, se asignan los dos primeros octetos para identificar la red, reservando los dos octetos finales (16 bits) para que sean asignados a los hosts, de modo que la cantidad máxima de hosts es de 65 534 hosts.
- En una red de clase C, se asignan los tres primeros octetos para identificar la red, reservando el octeto final (8 bits) para que sea asignado a los hosts, de modo que la cantidad máxima de hosts es de 254 hosts.

Las aplicaciones que se desarrollan con TCP/IP, normalmente utilizan un conjunto de protocolos para llevar a cabo la comunicación. La suma de las capas de este conjunto de protocolos se conoce como stack de protocolo. De esta forma, cuando una aplicación envía datos usando el protocolo TCP, el dato es enviado hacia abajo del protocolo stack, a través de cada capa, hasta que este se envíe como un flujo de bits a

través de la red. Cada capa coloca información adicional al dato en su encabezado para que el dato sea recibido. En la Figura 2.5.2 se muestra este proceso.

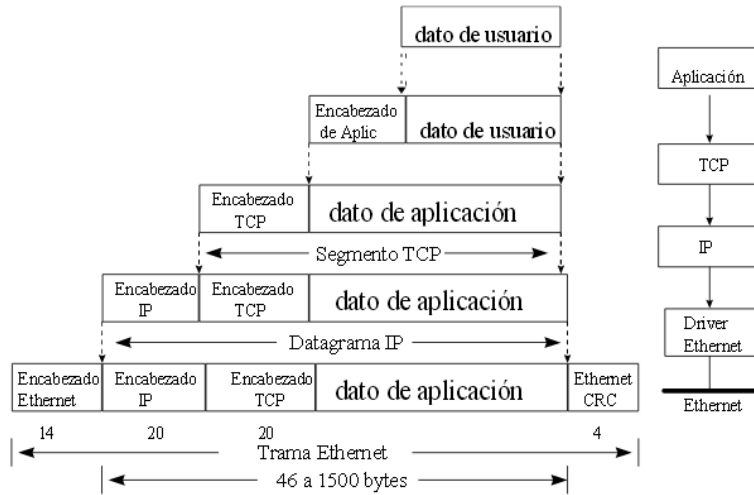


Figura 2.5. 2 Proceso TCP/IP.

CAPÍTULO III. ANALISIS Y PLANTEAMIENTO DEL PROCESO

3.1 Problemática encontrada en la automatización de inmuebles

Automatizar espacios habitacionales o de oficinas se traduce en un impacto al medio ambiente y no invade la vida cotidiana de las personas.

Uno de los problemas más recurrentes, es el costo de la implementación de sistemas automáticos y esto puede deberse a que la mayoría de las casas no contemplaron la implementación de estos sistemas desde el diseño, lo cual eleva el costo debido a las adaptaciones que deben hacerse en la edificación para este tipo de sistemas.

La automatización de un inmueble residencial puede resultar un poco más costoso que implementarlo en un edificio corporativo si se compara el costo-beneficio por persona, la ventaja de hacerlo en casas es que el usuario puede elegir qué y cómo automatizar, lo que puede generar un importante ahorro en consumo de energía eléctrica, agua potable, gas, entre otros y genera un ambiente más seguro para las familias.

Otro problema recurrente es el cableado eléctrico, esto es debido a que muchos de los sensores y actuadores van conectados vía cable al centro de información y control que ejecuta las instrucciones pertinentes de acuerdo a la programación del sistema. Se deben considerar las opciones de cableado adecuado de forma que los efectos físicos que influyen en el cable no afecten la información transmitida, lo que pueda ocasionar un mal funcionamiento del sistema.

En el caso de sistemas que utilicen tecnologías inalámbricas para la comunicación de los subsistemas de sensor-actuador con el sistema central de información y control, se debe considerar la posición de ellos para que no existan barreras de comunicación entre estos y el sistema central, además se deben considerar las frecuencias de comunicación para que no se genere interferencia con los teléfonos inalámbricos, módems o puntos de acceso con señal Wi-Fi, entre otros.

La seguridad de los sistemas de información se debe garantizar en todo momento, es decir que toda la información transmitida dentro y hacia fuera del inmueble debe ser cifrada en todo momento con el fin de evitar intrusiones no deseadas y que esto se pueda utilizar en contra de los habitantes del inmueble, este ha sido un problema encontrado en algunas de las soluciones que están en el mercado, donde aplicaciones conectadas vía internet al centro de información de la casa, no poseían ningún método de cifrado y/o autenticación lo que permitía que la información de la casa estuviera vulnerable en todo momento y personas lograban tener control prácticamente de cualquier punto del mundo y tomar el control de los sistemas instalados en las casas. Actualmente este problema ha sido combatido al incluir sistemas de seguridad de la información que permiten tener redes privadas permitiendo que sólo los usuarios debidamente identificados en el sistema pudieran acceder a él para poder monitorear el estado del inmueble cuando están fuera de este.

La inclusión de sistemas de seguridad para el inmueble es útil no sólo porque ayuda a persuadir la acción de los criminales en contra de las casas y sus habitantes, sino que permite brindar seguridad a los habitantes del hogar en el interior del inmueble, los sistemas de seguridad pueden contar con subsistemas de control de acceso, alarmas, cámaras de video vigilancia, encendido de luces entre otros.

Otro problema que debe evitarse dentro de la seguridad, es para los sistemas que cuentan con cámaras de video vigilancia, la localización de estas debe ser dentro de los puntos de mayor cobertura y evitar con eso zonas ciegas para tener un mejor monitoreo del inmueble.

3.2 Requerimientos generales y particulares del prototipo

Requerimientos generales

De acuerdo a lo planteado en los subtemas anteriores se diseñará e implementará el prototipo de un sistema de automatización, en tiempo real, de una casa habitación donde las condiciones actuales serán transmitidas a nuestro sistema para obtener el entorno deseado por el usuario.

Se utilizará una tarjeta de adquisición de datos lo suficientemente robusta que pueda manejar las variables a medir, que nos darán en tiempo real las lecturas de nuestras variables a medir. Se pretende generar una aplicación para teléfonos móviles, que permita ser nuestra interfaz gráfica del usuario, y a la vez nos esté enviando la información pertinente en cuanto a seguridad a través de imágenes a nuestro móvil.

Los componentes generales del prototipo serán:

- Una tarjeta de adquisición de datos que contenga puertos de E/S digital, convertidor PWM, E/S Analógicas, puerto de TX/RX serial para la comunicación con el centro de información
- Sensores de temperatura ambiente digitales o analógicos, para medir la temperatura de las habitaciones
- Sistema de aire acondicionado y sistema de calefacción
- Sensor de gas
- Control de Iluminación
- Sistema de autenticación de usuarios
- Sistema de video vigilancia
- Sistema de presencia
- Conexión inalámbrica al teléfono móvil del usuario
- Aplicación móvil para el monitoreo y control del sistema de forma remota
- Sistema de control de nivel de agua

- Sistema de apertura de persianas

Requerimientos particulares

El sistema implementado en este trabajo de tesis, será un prototipo que será probado en un ambiente que asemeje las condiciones reales, por lo tanto, tiene requerimientos particulares que a continuación serán enlistados:

- Sistema Arduino Mega 2560 rev 3, sus características generales se listan en el apartado 2.3 de este trabajo, este sistema será el encargado de tomar las acciones de control y monitoreo del sistema de automatización, esta tarjeta fue elegida ya que cuenta con puertos digitales, analógicos y de PWM necesarios para el desarrollo de nuestro prototipo.
- Sensor de temperatura y humedad, para medir la temperatura de una habitación, se utilizará un sensor de temperatura digital modelo DHT11 que provee la información de temperatura y humedad en un solo circuito, su precisión es buena para el tipo de aplicación que vamos a desarrollar, con los datos obtenidos de las mediciones el sistema podrá controlar las acciones sobre el aire acondicionado o la calefacción, a fin de mantener las condiciones de temperatura establecidas por el usuario.
- Se simularán las condiciones de aire acondicionado y de calefacción, mediante el uso de un ventilador que actúe como aire acondicionado y una resistencia de potencia que actúe como calefacción, estas serán controlados por el microcontrolador dependiendo de la información recabada por el sistema de adquisición de datos.
- Utilizaremos el sensor de Gas MQ-2, este sensor permitirá al sistema de adquisición de datos ejercer una acción de control para el cierre del sistema general de gas, en caso de que se detecte una fuga de gas en la cocina.
- Control de Iluminación, se implementará un subsistema de control de iluminación compuesto por el sensor de luz fotorresistencia y el regulador que controlará las condiciones de luz de acuerdo a los parámetros especificados por el usuario.

- El sistema de video vigilancia será incluido mediante el uso de una cámara que puede transmitir imágenes al sistema de adquisición Arduino Mega y a su vez esta enviará vía Internet imagen al usuario en caso de detectar alguna presencia intrusiva en la casa.
- Sensor de presencia HC-SR501, este sensor de presencia servirá para dos objetivos uno para iluminar la habitación principal y dos como disparo para accionar la cámara de video vigilancia en el caso que esté configurado en el modo de seguridad.
- Mediante el uso del módulo Wi-Fi, se permitirá la conexión inalámbrica del teléfono móvil del usuario con el sistema de adquisición de datos cuando el usuario esté en casa, además también permitirá la conexión a Internet del sistema de adquisición de datos y la Aplicación móvil.
- El sistema incluirá una aplicación móvil que servirá de interfaz gráfica del Usuario con el sistema, mediante esta el usuario monitoreará y podrá ejercer acciones de control o programarlas para que el sistema funcione en modalidad stand-alone.
- También tendremos un sistema de control de nivel de agua para los depósitos de agua generales de la casa.
- Mediante el uso de servomotores, se implementará un sistema de apertura de persianas de acuerdo a las instrucciones del usuario y también en el caso de detectar luz solar podrá abrir las ventanas para que la iluminación de la casa sea una fuente natural de luz.

3.3 Bosquejo de la aplicación móvil a nivel de diagrama de bloques

Al entrar a la aplicación tenemos la pantalla de inicio en la cuál como primer punto debemos de identificarnos como usuario y poner nuestra contraseña. En el primer momento se definirá dicho acceso ya que está por default, una vez que se asigne un usuario cada vez que use la aplicación tendrá que identificarse.

Posteriormente se realizará el enlace entre el teléfono celular y el módulo Bluetooth para que se pueda controlar los dispositivos y eso nos llevará una vez enlazado a la pantalla principal donde seleccionaremos algún elemento del menú.

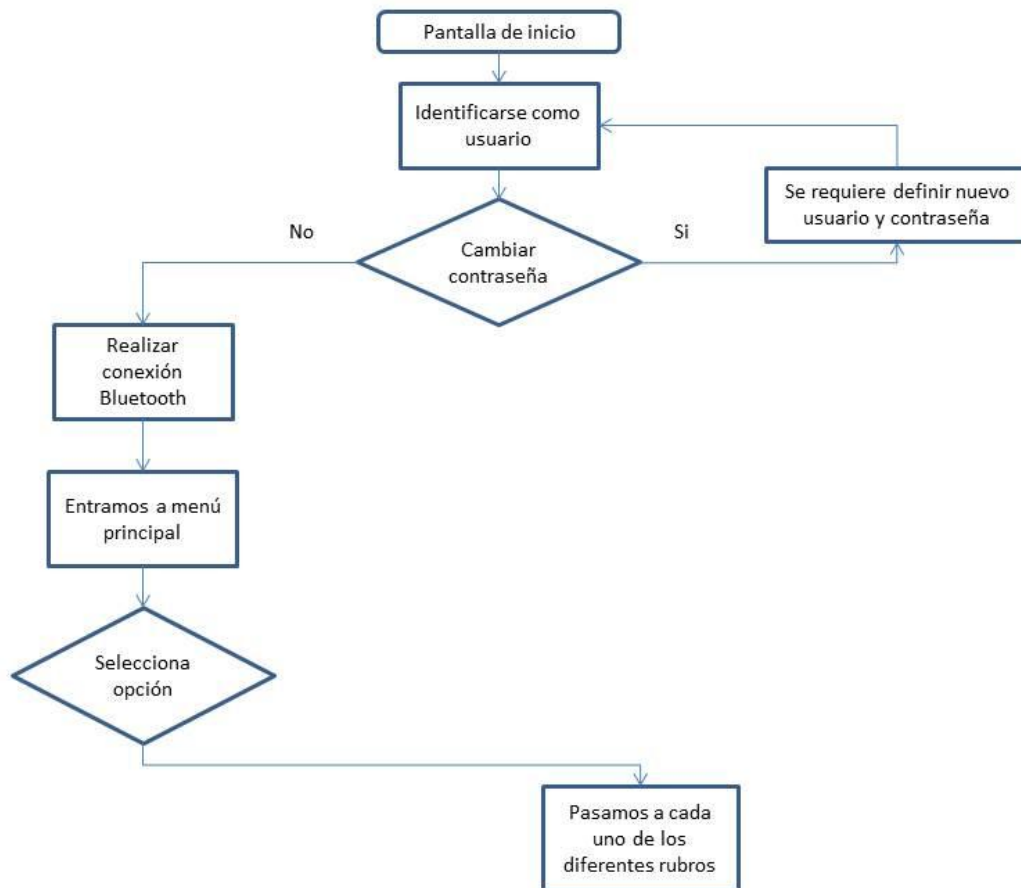


Figura 3.3.1 Diagrama de flujo de acceso a la aplicación

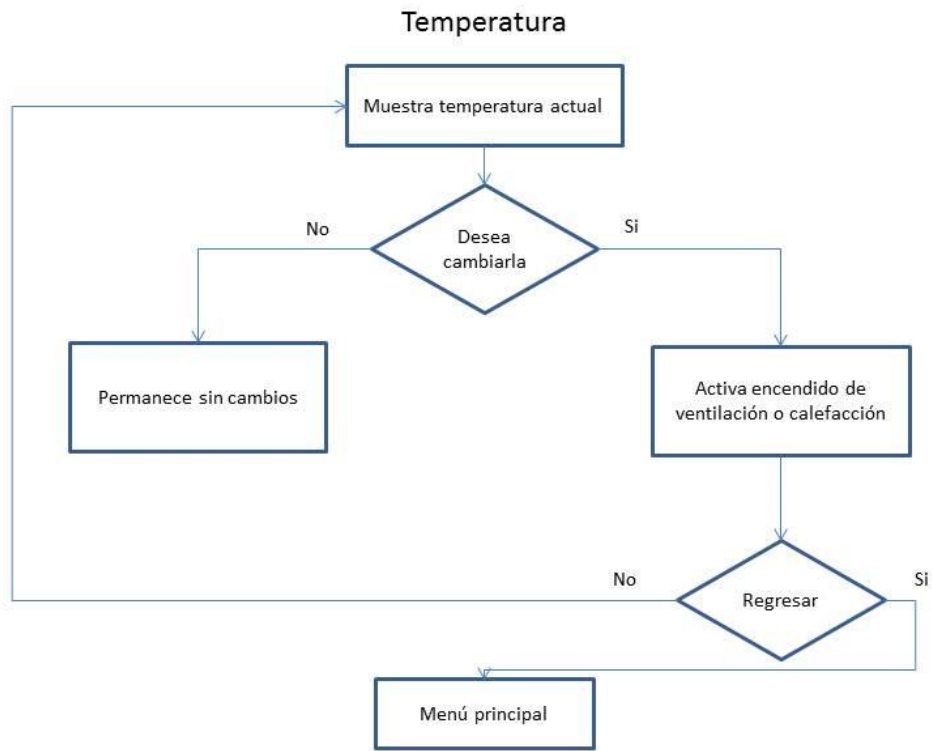


Figura 3.3.2 Diagrama de flujo de acceso a la temperatura

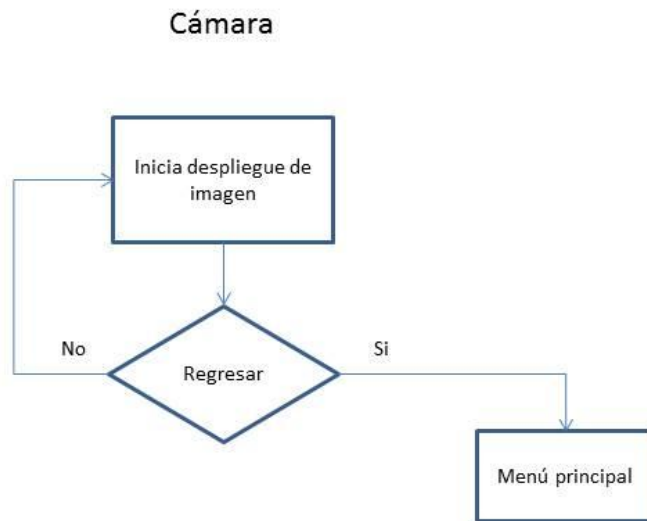


Figura 3.3.3 Diagrama de flujo de acceso a la cámara

Iluminación

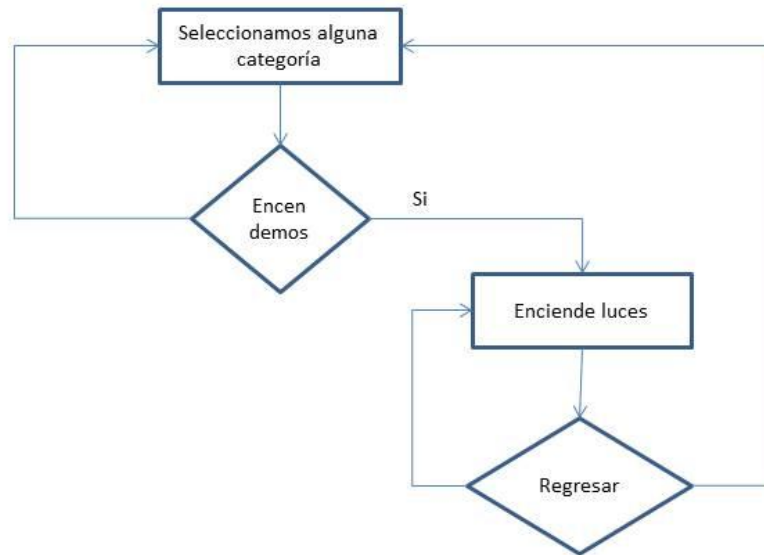


Figura 3.3.4 Diagrama de flujo de acceso a la iluminación

Puertas

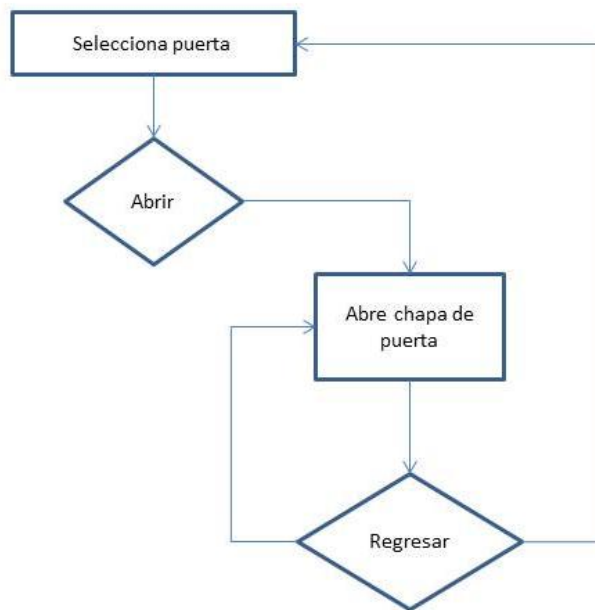


Figura 3.3.5 Diagrama de flujo de acceso a las puertas

3.4. Elección de los elementos de hardware necesarios para la construcción del prototipo funcional

Sensor de Movimiento (PIR HC-SR501)

Este sensor PIR es usado generalmente para detectar movimiento humano. Es pequeño, de bajo costo, bajo consumo de energía, fácil de usar y no se desgasta mucho. Por este tipo de razones es usado tanto en hogares como en negocios. Es a menudo conocido como sensor infrarrojo pasivo, piroeléctrico o movimiento infrarrojo.

Son hechos básicamente de sensores piroeléctricos (el cual se puede observar en la Figura 3.4.1 en la parte redondeada de metal el cuadro de cristal en el centro), el cual puede detectar niveles de radiación infrarroja. Recordando que todos emitimos, aunque sea una baja radiación infrarroja y mientras más calor emitamos más radiación es emitida. El sensor de un detector de movimiento en realidad es dividido en dos mitades, la razón de esto es que nosotros buscamos detectar un cambio y no un promedio de nivel infrarrojo. Las dos mitades están conectadas y se cancelan una a la otra. Si una llegara a ver una diferencia mayor o menor de radiación infrarroja con respecto a la otra generaría una salida alta o baja.

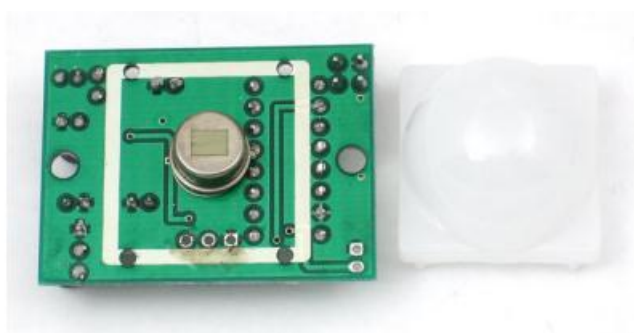


Figura 3.4.1 PIR HC-SR501

Para proyectos o productos que requieren detectar cuando una persona entra o sale de un área o se está aproximando, este tipo de sensores son ideales, ya que son baratos,

robustos, tiene un amplio rango de visibilidad e interactúan fácilmente con la interfaz. Un inconveniente es que este tipo de sensor no dice cuántas personas están en una habitación o que tan cerca están del sensor.

Sensor de Temperatura (DHT11)

Este sensor de temperatura y humedad proporciona una salida digital pre-calibrada que asegura una alta fiabilidad y estabilidad a largo plazo. Un elemento capacitivo mide la humedad relativa y la temperatura se mide por un coeficiente negativo de temperatura (NTC). Es usado comúnmente para microcontroladores de 8 bits, ofrece una gran calidad, rápida respuesta, es inmune a la interferencia y a buen costo (Figura 3.4.2).



Figura 3.4.2 DHT11

Es estrictamente calibrado y dicha calibración es guardada como programa en la memoria OTP incluida en el chip del sensor, las cuales son usadas por la señal interna del sensor para el proceso de detección. Es de pequeño tamaño, bajo consumo de energía y permite hasta 20 metros de transmisión.

Este sensor tiene una resolución de 1°C y un rango de trabajo de 0°C a 50°C para la temperatura, y resolución de 1% y un rango de trabajo desde el 20% hasta el 95% de humedad relativa. El sensor trabaja con una tensión de 3.3 V a 5 V. Tomar en cuenta que este sensor no funciona para temperaturas por debajo de 0 grados.

Sensor de gas (MQ-2).

La concentración de gases en partes por millón (PPM), se detecta por medio de la conducción eléctrica de un tubo cerámico y varía ésta, de acuerdo a la concentración del gas bajo análisis.

Para lograr esto, hace falta que el sistema tome cierta temperatura interna, provista por un calentador resistivo, de la precisión de dicha temperatura, depende la precisión de la medición, por esta razón es muy importante la exactitud de la tensión de alimentación del calefactor (5V) (Figura 3.4.3).

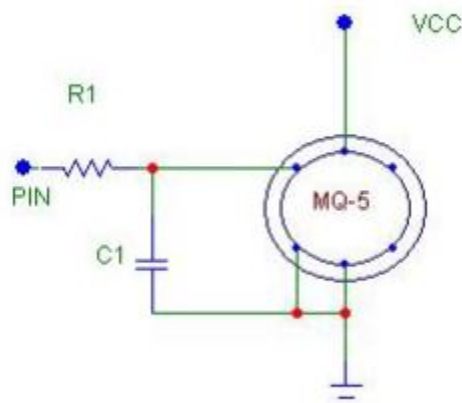


Figura 3.4.3 Modelo sensor MQ-2.

El material sensitivo del MQ-2(Figura 3.4.4) es el SnO_2 , el cual tiene menor conductividad en aire limpio. Cuando un gas combustible existe en el ambiente, se incrementa la conductividad del sensor conforme la concentración de gas aumenta, convirtiendo el cambio de conductividad como una respuesta a la salida de la concentración de gas.



Figura 3.4.4 Sensor MQ-2.

El sensor MQ-2 tiene alta sensibilidad con al LPG, Propano e Hidrógeno, además que puede utilizarse para Metano y otros combustibles gaseosos.

Sensor de proximidad (HC-SR04).

El módulo HC-SR04 (Figura 3.4.5) provee un rango de medición 2 cm a 400 cm, cuya precisión puede ser cerca de los 3 mm. El módulo incluye un transmisor ultrasónico, un receptor y un circuito de control. El principio básico de funcionamiento es usando un IO trigger por lo menos $10\mu\text{s}$ de señal de alta frecuencia, el módulo automáticamente manda una frecuencia de 40 kHz y detecta si hay un pulso de regreso de la señal, si hay una señal en el regreso de alta frecuencia, el tiempo de salida de duración del IO es el tiempo desde el envió hasta el regreso.



Figura 3.4.5 SENSOR HC-SR04

En si el transmisor ultrasónico envía una onda ultrasónica en un sentido y el tiempo empieza cuando es lanzada. La onda se expande en el aire y al encontrar un obstáculo regresará inmediatamente, entonces el receptor ultrasónico parara el tiempo cuando reciba la onda reflejada. Como onda ultrasónica la velocidad de expansión en el aire es de 340 m/s, por lo que en base a esto se puede calcular la distancia.

Sensor de Luminosidad.

Para este propósito usaremos una fotorresistencia en un divisor de voltaje. El rango de resistencia que nos puede dar un LDR desde la total oscuridad hasta la plena luz oscila entre unos 50Ω a 1000Ω cuando están completamente iluminadas y entre $50K\Omega$ y varios $M\Omega$ cuando está completamente a oscuras.

Para la conexión de un LDR a nuestro Arduino debemos hacer el ya conocido divisor de tensión, de donde sacaremos la señal para conectar a nuestra entrada analógica (Figura 3.4.6).

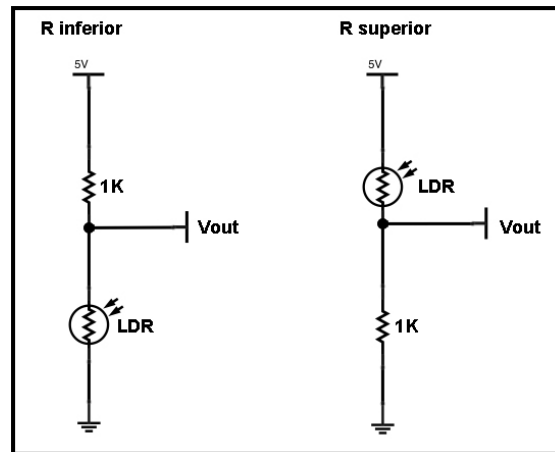


Figura 3.4.6 Modelo para sensor de luminosidad (fotorresistencia).

Si utilizamos el LDR como resistencia inferior del divisor de tensión, nos dará la tensión máxima cuando tengamos el LDR en plena oscuridad, ya que estará oponiendo el máximo de su resistencia al paso de la corriente derivándose esta por Vout al completo, si lo utilizamos como resistencia superior, el resultado será el inverso, tendremos la tensión máxima cuando esté completamente iluminado, ya que se comportará prácticamente como un circuito abierto, con una resistencia de 50Ω o 100Ω .

Cámara de vigilancia

La labor de dicho elemento es proporcionar vigilancia continua de un área específica que deseamos monitorear. Para este propósito utilizamos el módulo de cámara VC0706 VGA, fue diseñada para sistemas de seguridad y tiene el beneficio de realizar el monitoreo con una salida continua de video NTSC o a través de fotografías del mismo video enviadas por un puerto serial TTL. Se pueden tomar fotos a 640×480 pixeles en formato JPEG y realizar la configuración manual de varios parámetros de la cámara

tales como el foco de la imagen, balance de blancos, brillo de la imagen, saturación de color y el contraste manejado.

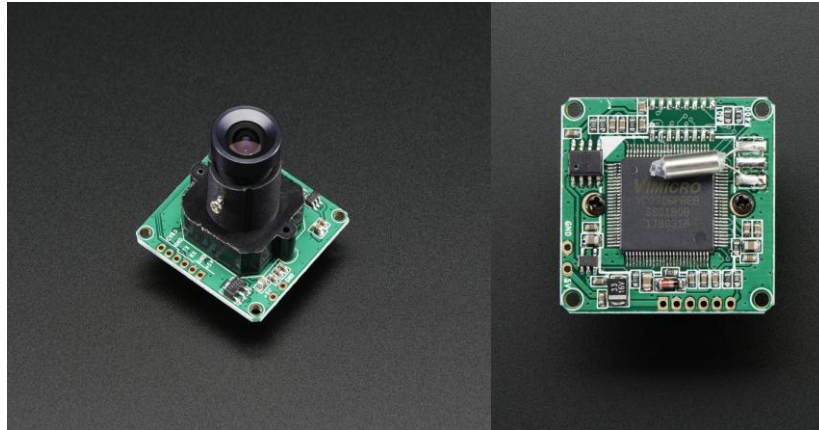


Figura 3.4.7 Cámara VC0706 vista ambos lados

Motor a pasos

Los motores paso a paso tienen una amplia gama de aplicaciones; esto es debido a que poseen una gran precisión, poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8° , es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360° .

Estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas están energizadas, el motor estará enclavado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas.



Figura 3.4.8 Motor a pasos

Básicamente estos motores están constituidos normalmente por un rotor sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes y por un cierto número de bobinas excitadoras bobinadas en su estator.

Las bobinas son parte del estator y el rotor es un imán permanente. Toda la conmutación (o excitación de las bobinas) deber ser externamente manejada por un controlador.



Figura 3.4.9 Imagen del rotor



Figura 3.4.9 Imagen de un estator de 4 bobinas

Existen dos tipos de motores paso a paso de imán permanente:

Bipolar: Estos tiene generalmente cuatro cables de salida (ver figura 3.4.10). Necesitan cierta configuración para ser controlados, debido a que requieren del cambio de dirección del flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento. En figura 3.4.12 podemos apreciar un ejemplo de control de estos motores mediante el uso de un puente en H (H-Bridge). Como se aprecia, será necesario un H-Bridge por cada bobina del motor, es decir que para controlar un motor paso a paso de 4 cables (dos bobinas), necesitaremos usar dos H-Bridges iguales al de la figura 3.4.12. El circuito de la figura 3.4.12 es a modo ilustrativo y no corresponde con exactitud a un H-Bridge. En general es recomendable el uso de H-Bridge integrados como son los casos del L293 (ver figura 3.4.13).

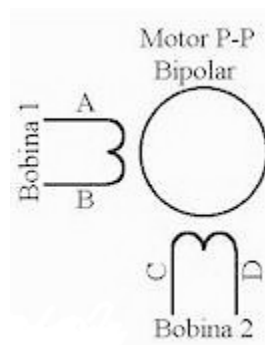


Figura 3.4.10 Modelo de motor bipolar

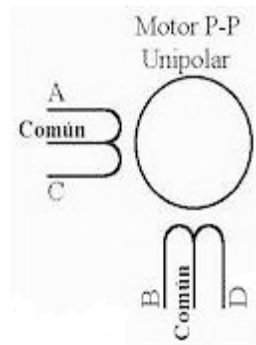


Figura 3.4.11 Modelo de motor unipolar

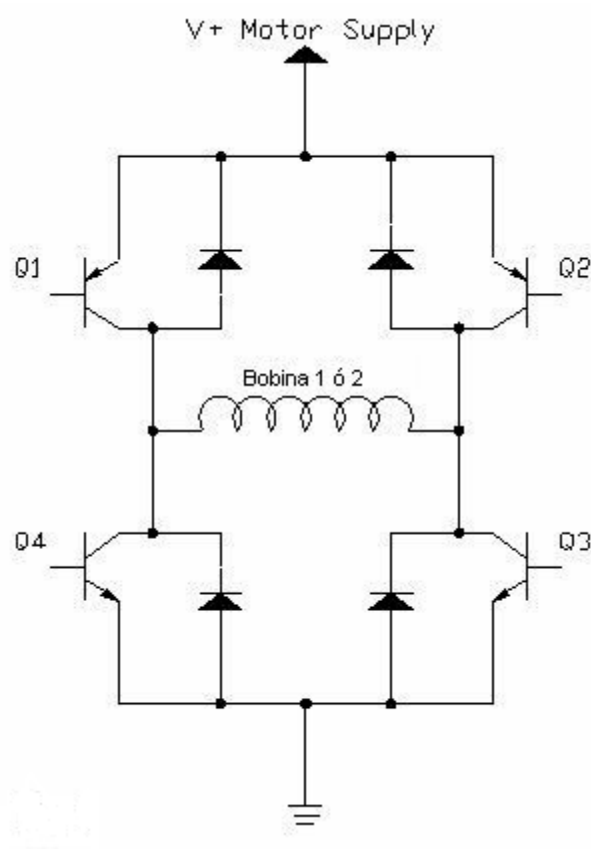


Figura 3.4.12 Uso de Puente H para conexión al motor

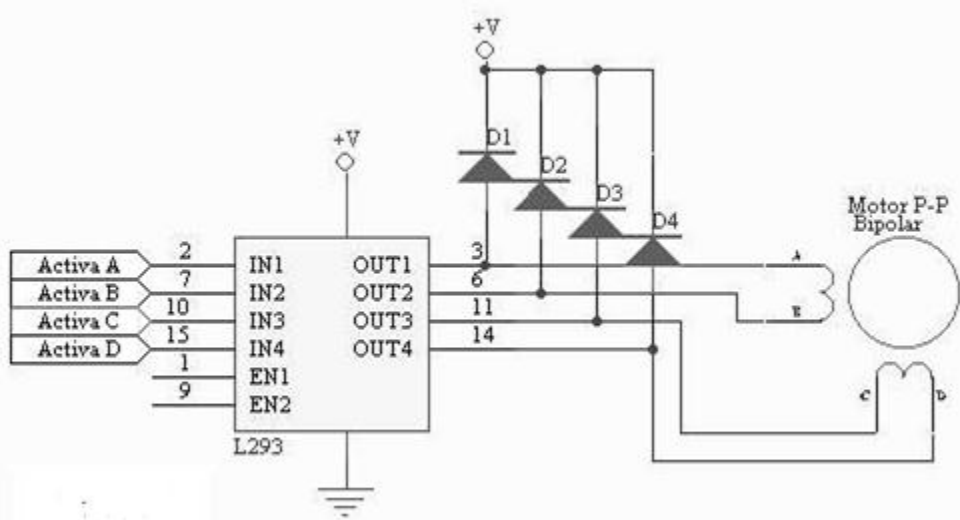


Figura 3.4.13 Conexión de motor a pasos bipolar con circuito L293

Unipolar: Estos motores suelen tener 5 o 6 cables de salida dependiendo de su conexión interna (ver figura 3.4.11). Utilizan un cable común a la fuente de alimentación y posteriormente se van colocando las otras líneas a tierra en un orden específico para generar cada paso, si tienen 6 cables es porque cada par de bobinas tienen un común separado, si tiene 5 cables es porque las cuatro bobinas tienen un polo común; un motor unipolar de 6 cables puede ser usado como un motor bipolar si se deja las líneas del común al aire. En la figura 3.4.14 podemos apreciar un ejemplo de conexionado para controlar un motor paso a paso unipolar mediante el uso de un ULN2803

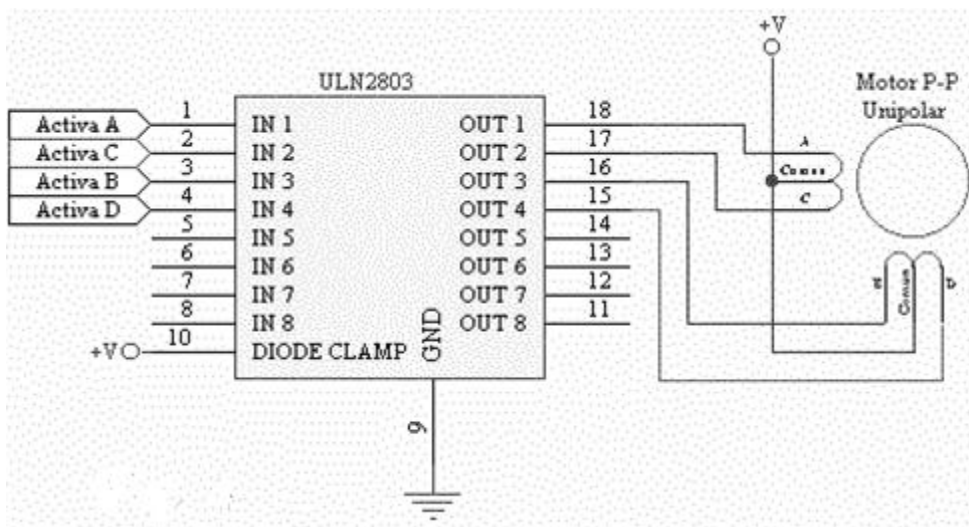


Figura 3.4.14 Conexión de motor a pasos unipolar con circuito ULN2803

Puente H

Un Puente en H es un circuito electrónico que permite a un motor eléctrico DC girar en ambos sentidos, avance y retroceso. Son ampliamente usados en robótica y como convertidores de potencia. Los puentes H están disponibles como circuitos integrados, pero también pueden construirse a partir de componentes discretos.

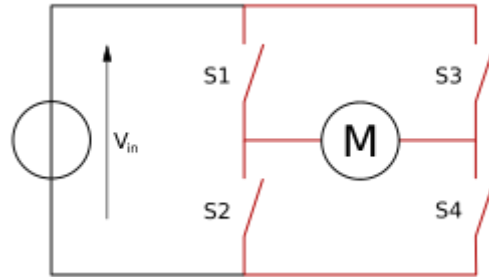


Figura 3.4.15 Conexión en Puente H

Estructura de un puente H (marcado en rojo).

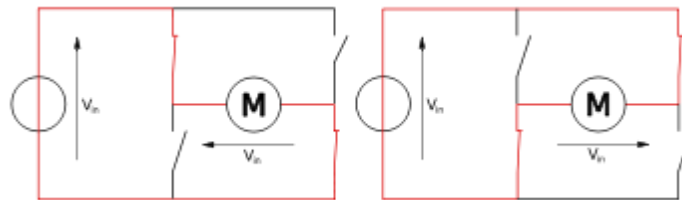


Figura 3.4.16 Los 2 estados básicos del circuito.

El término "puente H" proviene de la típica representación gráfica del circuito. Un puente H se construye con 4 interruptores (mecánicos o mediante transistores). Cuando los interruptores S1 y S4 (ver primera figura) están cerrados (y S2 y S3 abiertos) se aplica una tensión positiva en el motor, haciéndolo girar en un sentido. Abriendo los interruptores S1 y S4 (y cerrando S2 y S3), el voltaje se invierte, permitiendo el giro en sentido inverso del motor.

Con la nomenclatura que estamos usando, los interruptores S1 y S2 nunca podrán estar cerrados al mismo tiempo, porque esto cortocircuitaría la fuente de tensión. Lo mismo sucede con S3 y S4.

Durante la realización de este proyecto se ha utilizado un motor a pasos bipolar de cuatro cables conectado a un circuito Puente H L293D para realizar la acción que deseamos. El principal uso es en la apertura y cierre de persianas vía remota.

Bluetooth

El Bluetooth es un estándar de comunicación inalámbrica que permite la transmisión de datos a través de radiofrecuencia en la banda de 2.4 GHz. Este producto consiste en un módulo de interfaz serial y adaptador Bluetooth. El modulo serial de bluetooth es usado para convertir un puerto serial a bluetooth. Estos módulos tienen 2 modos: maestro y esclavo. El dispositivo es nombrado después de que el número par es maestro o esclavo y no puede ser modificada saliendo de fábrica. Pero el dispositivo con el número non, puede ser puesto como maestro o esclavo con comandos AT.

Existen dos modelos de módulos Bluetooth: el HC-05 (Figura 3.4.7) que puede ser maestro/esclavo (master/slave), y el HC-06 (Figura 3.4.8) que solo puede actuar como esclavo (slave). La diferencia entre maestro y esclavo es que en modo esclavo es el dispositivo quien se conecta al módulo, mientras que en modo maestro es el módulo quien se conecta con un dispositivo.

HC-05



Figura 3.4.8 Bluetooth maestro esclavo.

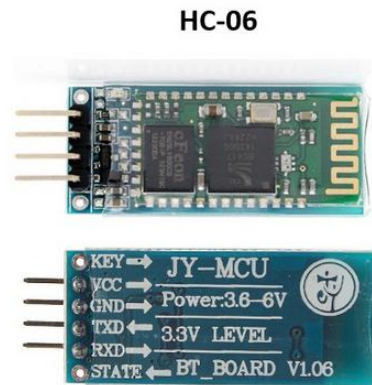


Figura 3.4.9 Bluetooth esclavo.

Los comandos AT son un tipo de comandos que sirven para configurar el módulo Bluetooth a través de un microcontrolador, un ordenador o con cualquier dispositivo que posea una comunicación serie (Tx/Rx). Son unas instrucciones que nos permiten cambiar los baudios del módulo, el PIN, el nombre, etc. Para usar los comandos AT el módulo Bluetooth no debe estar vinculado a ningún dispositivo (led rojo del módulo parpadeando). Según las especificaciones del módulo, el tiempo que se tiene que respetar entre el envío de un comando AT y otro tiene que ser de 1 segundo. Si se envía un comando AT y en menos de un segundo se envía otro, el módulo no devuelve respuesta.

Módulo RFID y NFC

El módulo Adafruit PN532 es la herramienta perfecta para cualquier RFID de 13.56MHz o aplicación NFC (**Near Field Communications**). Este módulo usa el chip PN532 (el chip NFC más popular en el mercado) el cual está incluido prácticamente en cada teléfono o dispositivo que funciona con NFC. Este chip es muy potente, y puede hacer casi todo, como leer y escribir en las etiquetas y tarjetas, comunicarse con los teléfonos y actuar como una etiqueta NFC. Mientras que el controlador tiene muchas capacidades, nuestra biblioteca Arduino actualmente sólo es compatible con la lectura/escritura de etiquetas, y no soporta la comunicación de teléfono a módulo,

etiqueta de emulación (que requiere un elemento seguro externo solamente disponible de NXP) u otras características más avanzadas en este momento.

NFC es una forma de que dos dispositivos están muy cerca uno del otro para comunicarse. Parecido al bluetooth de muy corto alcance que no requiere autenticación. Es una extensión de la RFID, así que cualquier cosa que se pueda hacer con RFID que puede hacer con la tecnología NFC.

Debido a que puede leer y escribir en las etiquetas, siempre puede usar esto para proyectos con etiqueta RFID. También puede funcionar con cualquier otro NFC / RFID Tipo 1-4 etiqueta (y, por supuesto, todas las otras etiquetas de tipo NXP MiFare)

El módulo Adafruit fue diseñado para crear un diseño y una antena con 10 cm de rango (4 pulgadas), el rango máximo posible utilizando la tecnología 13.56 MHz. Puede conectar fácilmente el módulo detrás de una placa de plástico con separadores y todavía leer tarjetas a través de una de barrera (no metálica).

Este módulo está diseñado para utilizar protocolos de comunicación I2C o SPI. I2C es el valor por defecto, ya que utiliza menos pines: analógica 4 y 5 se utilizan para I2C (por supuesto todavía puedes conectar otros dispositivos I2C al bus). El pin digital 2 se utiliza para la notificación "interrumpir". Esto significa que usted no tiene que sentarse ahí y 'encuesta' el chip para preguntar si se ha encontrado una etiqueta de destino, el pin bajará cuando una tarjeta, teléfono, etc está dentro del rango. Puede ajustar el pin si se está utilizando el pin digital # 2 para otra cosa. También es fácil cambiar el módulo a SPI donde se puede utilizar cualesquiera 4 pines digitales por un cortocircuito en dos puentes de soldadura en la parte superior de la PCB. Es compatible con cualquier Arduino (GN, Diecimilla, Duemilanove, UNO), así como Mega R3 o posterior. Para poder utilizar la interfaz I2C con Mega R2 o antes, dos cables deben soldarse como los pines I2C están en una ubicación diferente en Megs anteriores.

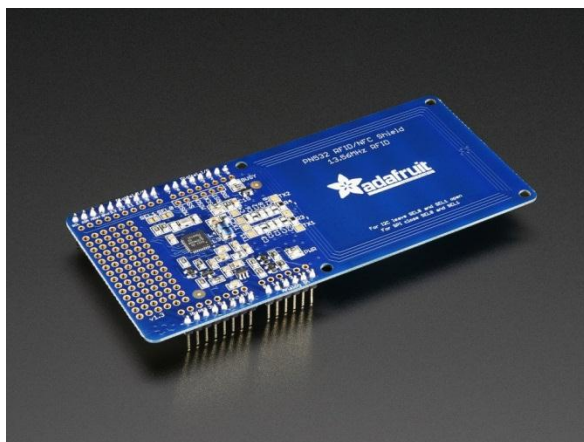


Figura 3.4. 10 Modulo RFID y NFC.

3.5 Elección del tipo de comunicación óptima para nuestra aplicación

En el apartado 2.5, revisamos diversos sistemas de comunicación que son utilizados en la actualidad, se expusieron las características de cada sistema de acuerdo a los estándares y protocolos de cada medio de comunicación.

Nuestra aplicación deberá comunicarse con el centro de información del sistema de adquisición de datos de la tarjeta Arduino Mega 2560 rev. 3, para este propósito utilizaremos el módulo Bluetooth HC-04 y el módulo de comunicación WiFi HLK-RM04.

Se utilizará como mecanismo de conexión el WiFi mediante el módulo HLK-RM04 que permitirá el intercambio de información entre el sistema de adquisición de datos y la aplicación móvil, utilizando Internet para el monitoreo remoto de la casa. Debido a que se necesita intercambiar información en formato de imagen desde la cámara hacia la app, utilizando este medio de comunicación el sistema responderá mejor para este tipo de intercambio de información.

Fue elegida también como respaldo, la comunicación Bluetooth ya que presenta ventajas de programación, este tipo de comunicación es ampliamente usado en smartphones para comunicarse con otros dispositivos cuando el intercambio de información no es muy elevado, también muestra ventajas sobre WiFi en el consumo de

energía, permitiendo que en el caso que la conexión vía Internet se pierda debido a la indisponibilidad del servicio, el usuario pueda acceder al sistema desarrollado para poder monitorear o ejecutar acciones de control en el sistema.

La figura 3.5.1 muestra el bosquejo de como interactuaran los medios de comunicación elegidos con el sistema de automatización.

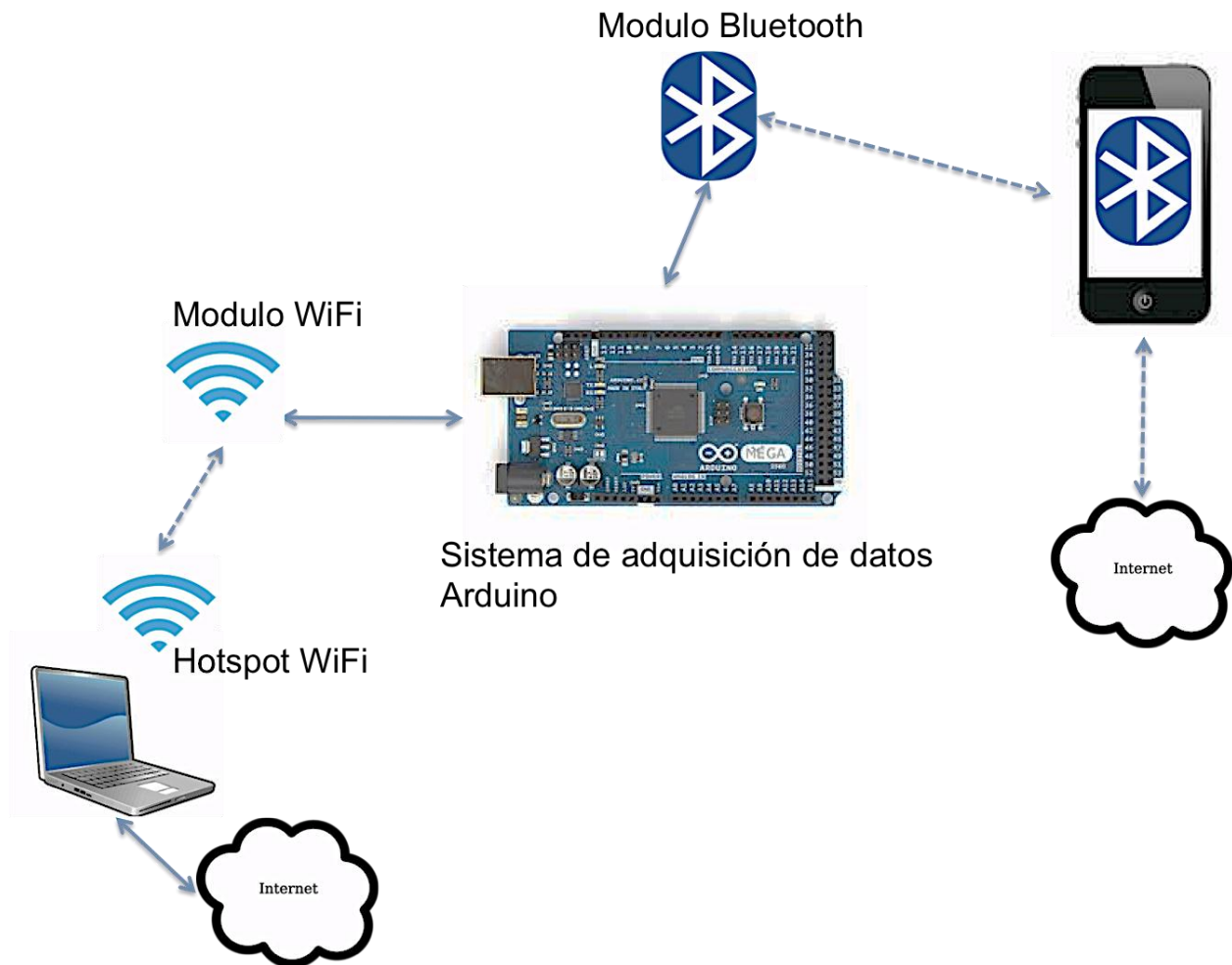


Figura 3.5.1. Bosquejo del sistema de comunicación.

El uso de WiFi permitirá que el sistema Arduino concentre el monitoreo de las variables arrojadas por los sensores, así como también el control de estas variables permitiendo la ejecución de instrucciones de control en tiempo real, sin limitar rendimiento de la aplicación.

CAPITULO IV. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

4.1 Construcción física del prototipo

La implementación de la tarjeta Arduino junto con sus sensores se realizó en una placa de conexiones (protoboard) la cual se alimentó con 5V. El fijado de los sensores se hizo en la misma protoboard utilizando cables para las conexiones. Un detalle que se tuvo es maniobrar todo el conjunto de la placa (ver figura 4.1.1) ya que no se tiene completamente fija y los cables de las conexiones con los dispositivos pueden verse modificados un poco al maniobrar.

La placa Arduino se conecta a través de un cable USB a la PC para realizar la carga del programa y puede ser retirado el cable posteriormente ya que la alimentación puede ser con un dispositivo externo también.

Las pruebas en un inicio se realizaron parte por parte, sensor por sensor y los puertos de la placa se repetían y había que realizar desconexiones de los cables para poder probarlos. Este hecho se tenía que realizar tomando las precauciones pertinentes ya que teníamos que desconectar la alimentación por completo para no generar algún corto y dañar la placa.

Conforme avanzábamos en el entendimiento se fueron programando puertos distintos para que ya no tuviéramos éste detalle.

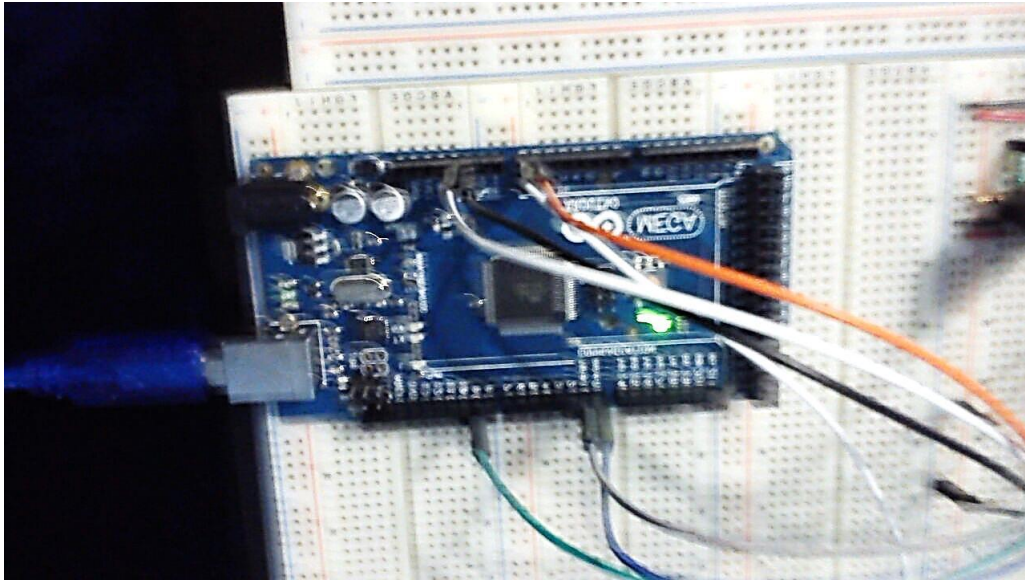


Figura 4.1.1 Se presenta la tarjeta Arduino sobre una protoboard para su encendido con las conexiones de alimentación.

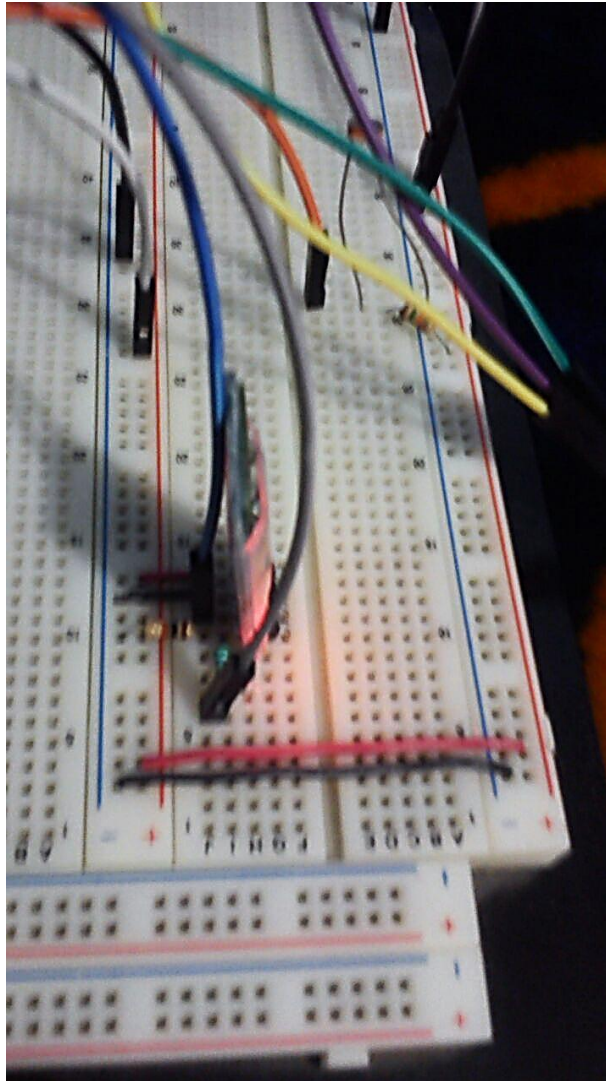


Figura 4.1.2 Se instala el módulo de Bluetooth y se conecta a la placa Arduino para entablar la comunicación

Durante dichas pruebas se detectó que al realizar las conexiones los cables utilizados eran largos y podrían interferir en las mediciones (ver figura 4.1.2). Una vez terminadas las pruebas se cortarán los cables a la medida y serán colocados fijamente.

Presentamos la conexión con el dispositivo que nos ayudará a tener el control desde la aplicación en nuestro celular todo esto a través del módulo HC-06. La figura 4.1.3 presentamos el diagrama de conexión para poder conectarlo a la tarjeta Arduino, para

ello hicimos la prueba de prender el led incluido en la tarjeta Mega que está designado por el pin 13.

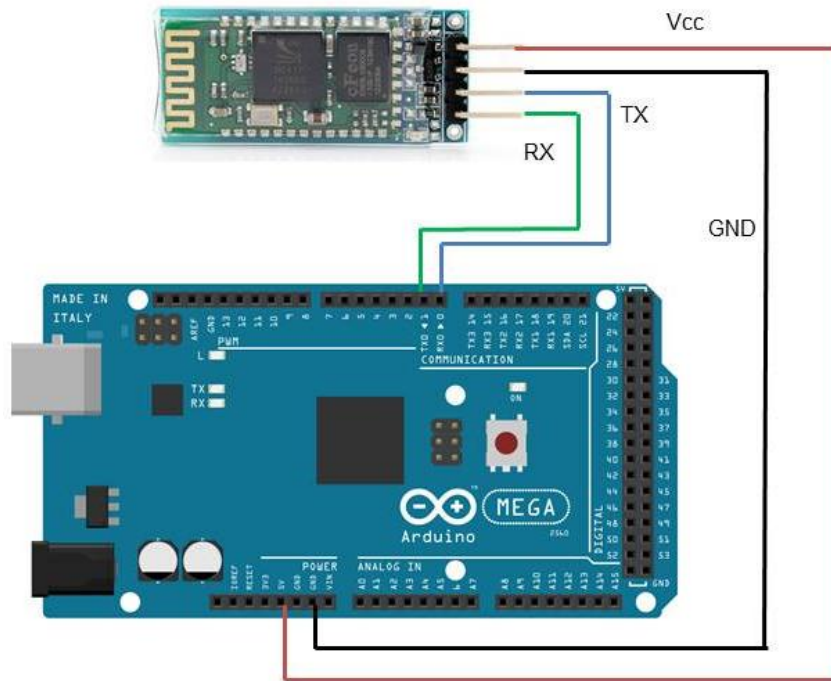


Figura 4.1.3 Esquema de conexión módulo HC-06

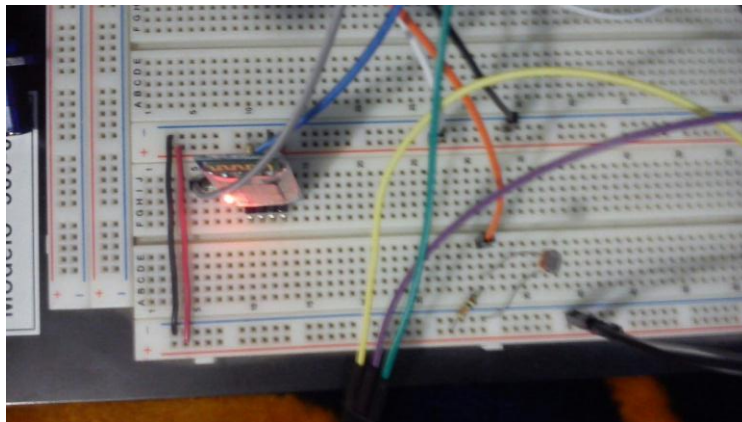


Figura 4.1.4 Otra vista de los módulos

En la figura 4.1.4 tenemos una vista de la conexión con el módulo bluetooth, se puede observar el led que nos indica que está encendido.

Enseguida tenemos una vista en general de la tarjeta Arduino junto con el módulo de temperatura y un motor que nos servirá como mecanismo de acción para la apertura de las persianas el cual debemos de adaptar y verificar el peso soportado por el mismo.

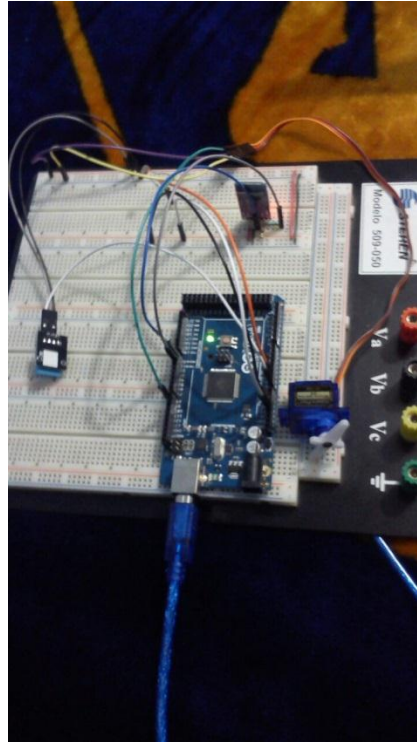


Figura 4.1.5 Tarjeta Arduino y los componentes en su fase inicial.

La utilización de un motor a pasos en este proyecto se llevó a cabo para poder controlar la apertura y cierre de las persianas que se pueden colocar en cada ventana de la casa. Esto con la finalidad de aprovechar la luz solar para la iluminación o a su vez reducir el ingreso para evitar el sobrecalentamiento del interior debido a los rayos intensos del sol. Todo esto se puede automatizar de acuerdo a los requerimientos que uno desee, para llevar a cabo esto se necesitó un motor pequeño de cuatro cables los cuales se deben de conectar de acuerdo a la configuración de la polaridad para cada paso y que se lleve una secuencia correcta de marcha.

A continuación, se presenta el esquema de conexión del motor a pasos en la tarjeta Arduino a través de un puente H L293D utilizado para dar mayor amperaje al motor debido a la limitante de la tarjeta y no sobrecargarla y alimentado al voltaje correcto del motor.

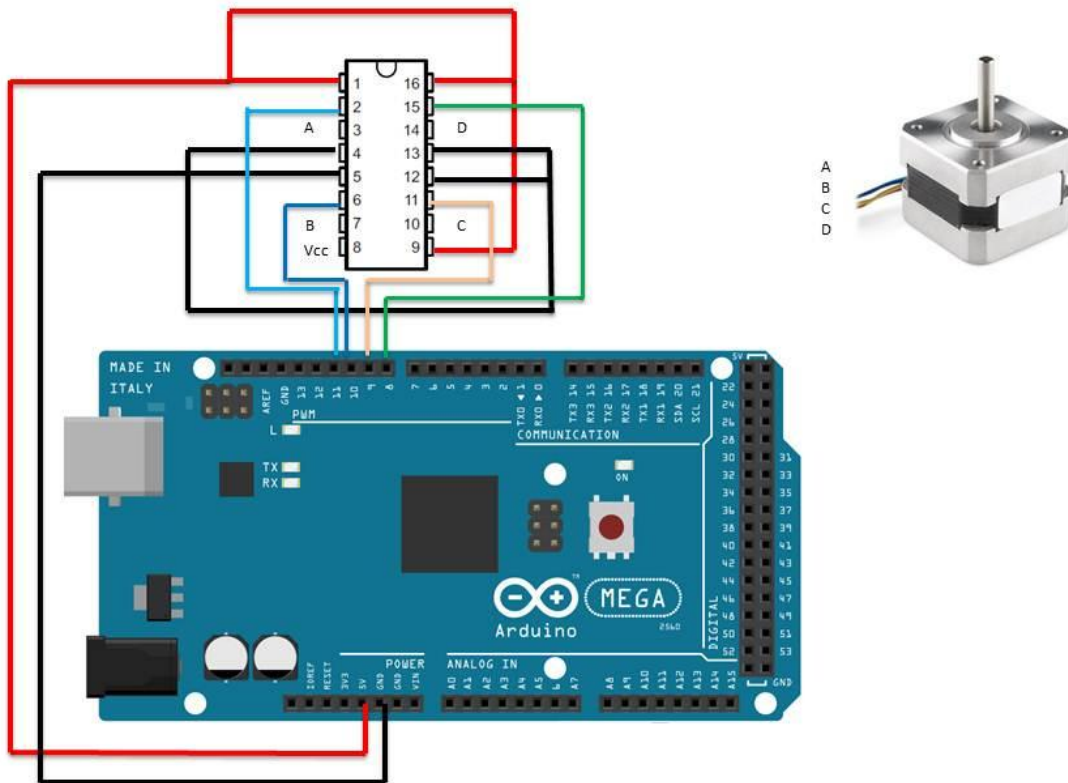


Figura 4.1.6 Tarjeta Arduino y la conexión con el motor a pasos con un puente H

Para la realización de la parte de seguridad necesitamos un método de acceso y autenticación el cuál se colocará en el hogar. De esta manera elegimos el módulo de Adafruit PN532 NFC/RFID (compatible con Arduino) y por medio de una tarjeta RFID de acceso con una frecuencia de 13.5 MHz.

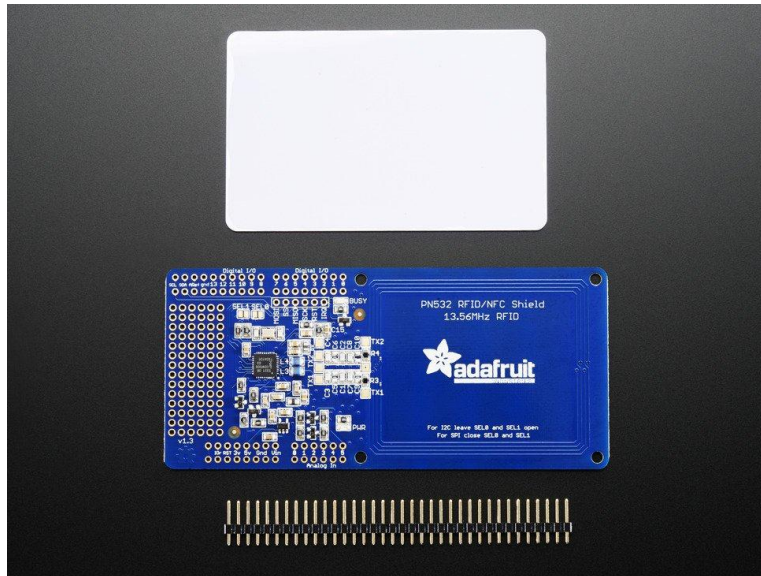


Figura 4.1.7 Tarjeta RFID y módulo Adafruit PN532 para poder programar y dar acceso al hogar o alguna puerta que se desee

Como se muestra en la figura 4.1.6, la tarjeta viene sin ningún header instalado por lo cual se procede a realizar el corte y colocación en cada orificio especificado para que así pueda ser conectado directamente sobre la tarjeta Arduino Mega 2560.

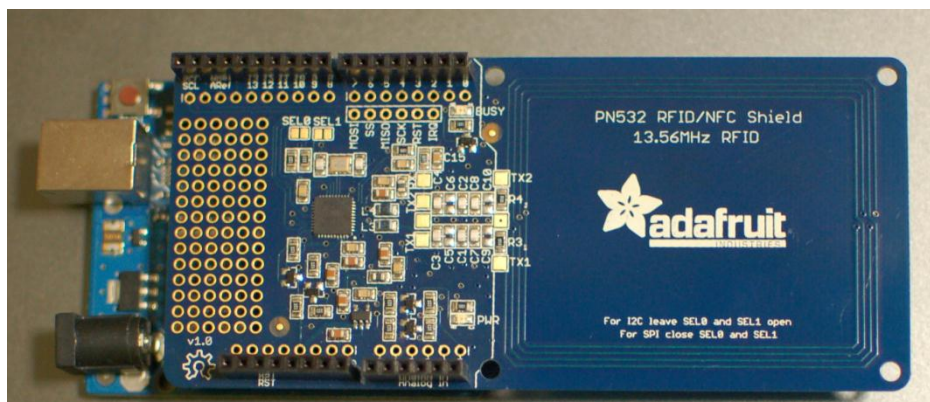


Figura 4.1.8 Módulo PN532 colocado sobre tarjeta Arduino

Una vez realizado este procedimiento colocamos el módulo sobre la tarjeta Arduino (Figura 4.1.7) con todos los pines de conexión para poder configurar a nuestro modo y realizar las pruebas pertinentes.

Al recibir la tarjeta correcta de acceso un led se podrá encender lo cual será la señal que nos indique que el acceso ha sido otorgado.

En éste paso probamos diferentes tarjetas que se tenían a la mano como una tarjeta del STC Metro y del sistema de tren Suburbano las cuales la primera no funcionó y la segunda tarjeta sí funcionó. Con ellas pudimos tener un reconocimiento por parte del módulo y de acuerdo a la programación encendía el led que conectamos al pin de entrada/salida digital 13 en la tarjeta Arduino.

Es cuestión de programar la tarjeta que queremos con el cifrado correcto para así garantizar la seguridad en todo momento.

El siguiente elemento que instaló fue la cámara, en la figura 4.1.8 damos el esquema de conexión que se llevó a cabo con la cámara poder realizar la toma de una fotografía del lugar que queremos vigilar para posteriormente visualizarla y mandarla a dónde queramos.

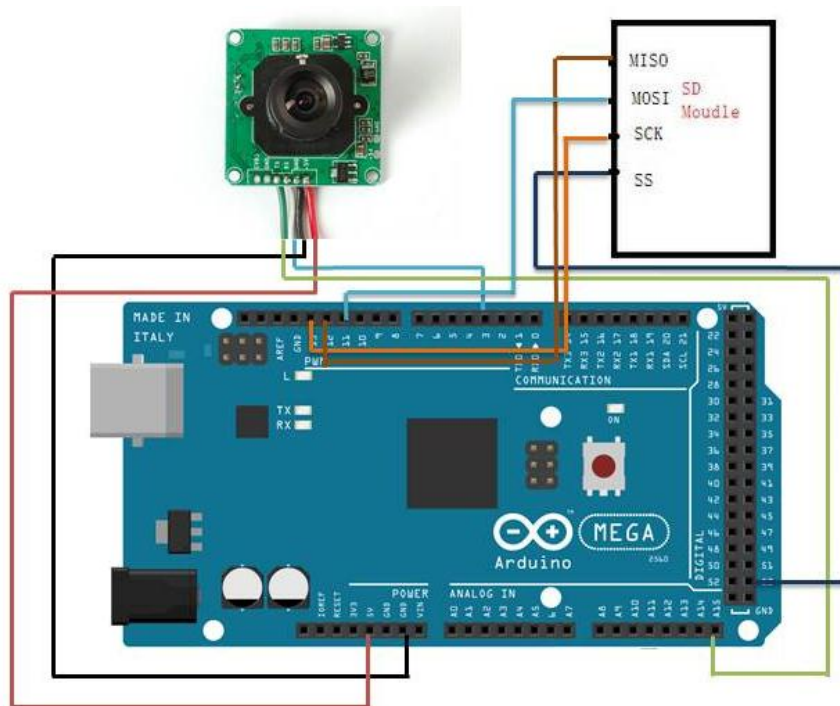


Figura 4.1.9 Diagrama de conexión para la cámara

Para el módulo que se utiliza con la conexión WiFi es HLK-RM04, se presenta a continuación en la figura 4.1.9.



Figura 4.1.10 Módulo HLK-RM04, comparación de tamaño

Una vez teniendo el programa para poder probar dicho módulo se configura de tal manera que podamos encender el led de la tarjeta Mega que viene integrado todo esto desde un celular que utilizamos conectado a una red inalámbrica. Para ello necesitamos un enrutador de red inalámbrica, ello lo hicimos con el aparato que aparece en la figura 4.1.10.



Figura 4.1.11 Enrutador DIR 655 utilizado para generar la red inalámbrica

Posteriormente se realiza la conexión con la Tarjeta Arduino quedando como se muestra en la figura 4.1.11.

Un problema que tuvimos en un inicio fue ingresar a la configuración del módulo ya que no nos daba acceso ya que necesitábamos asignarle una dirección IP que en un principio no sabíamos cómo. Al buscar en la lista de dispositivos conectados dentro del dispositivo enrutador pudimos obtener la dirección asignada al módulo y así desde el celular entramos a dicha dirección. Una vez ahí se escribió un comando en la línea de dirección del navegador de nuestro celular conectado a la misma red WiFi para poder enviar la petición de encendido o apagado del led incluido en la tarjeta Arduino

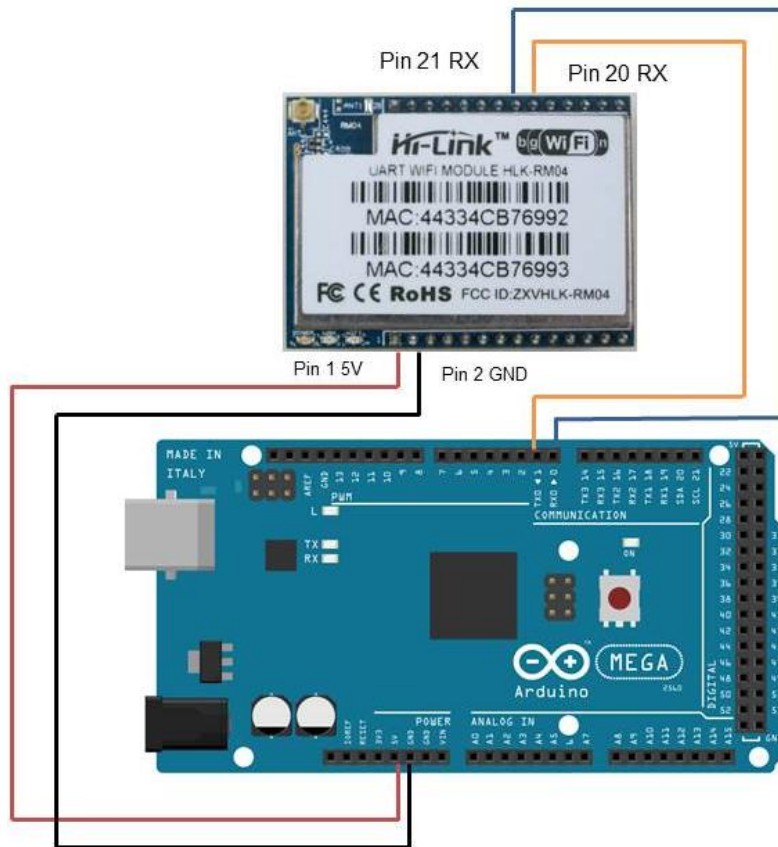


Figura 4.1.12 Esquema de conexiones para el módulo WiFi

4.2 Programación del dispositivo Arduino.

Para el desarrollo de esta tesis utilizamos el dispositivo Arduino Mega 2560 el cual lo obtuvimos de la página oficial de Arduino.

- <http://arduino.cc/en/pmwiki.php?n=main/software>

Es importante, una vez teniendo instalado el programa, el elegir la tarjeta en la que vamos a desarrollar nuestra aplicación (figura 4.2.1).

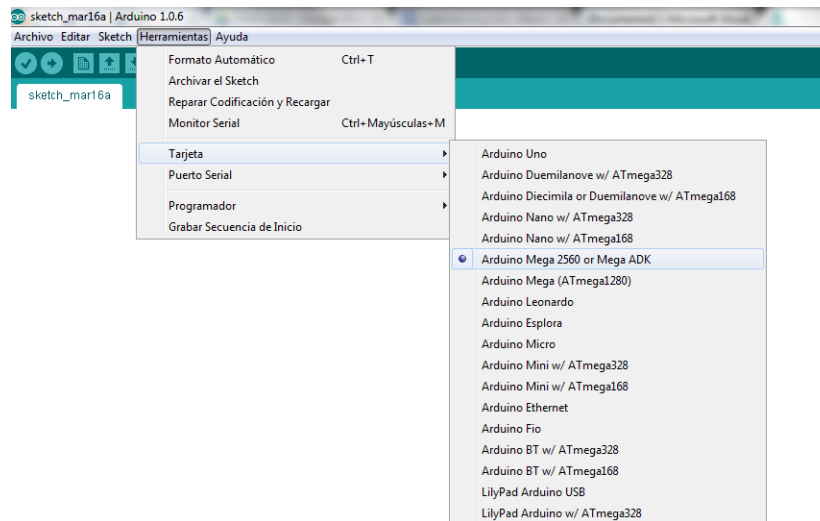


Figura 4.2. 1 Selección de la tarjeta Arduino

Verificamos que puerto serie se le asigna la máquina a Arduino Mega 2560 (figura 4.2.2).

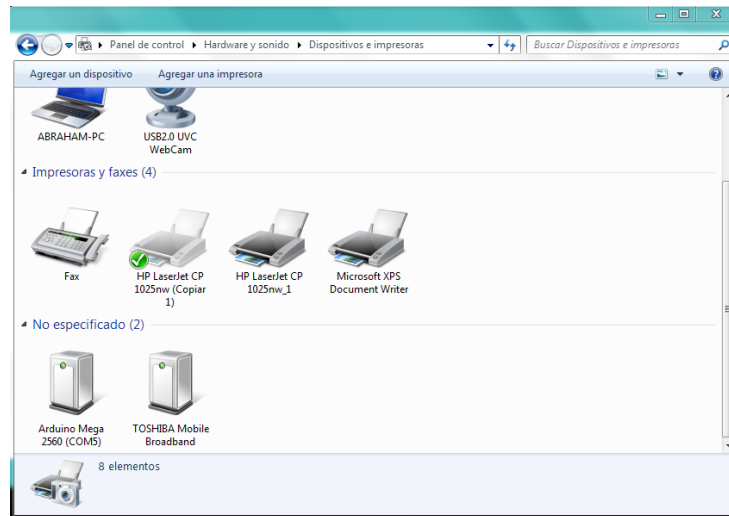


Figura 4.2. 2 Verificación del puerto serie para la tarjeta Arduino.

También es importante seleccionar el puerto serial que nos asigna la máquina una vez conectada la tarjeta Arduino para poder compilar el programa (figura 4.2.3).

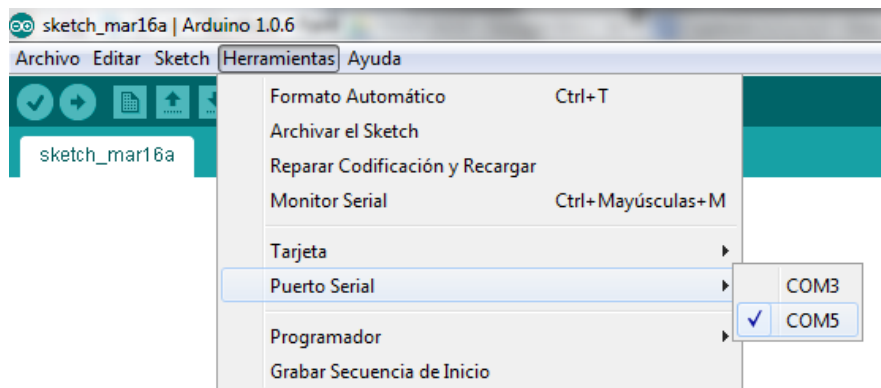


Figura 4.2. 3 Selección de puerto serie.

Para medición de temperatura tenemos un programa que conecta a nuestro dispositivo Arduino vía Bluetooth con nuestra aplicación en Android desde nuestro celular. En este programa de prueba la lectura de la temperatura es por medio de un sensor DHT11 que está constantemente monitoreando la temperatura y la envía a nuestra aplicación por el dispositivo Bluetooth usando el pin 1 (TX0) en cuanto recibe el dato por medio del pin 0

(RX0). Para prender y apagar el Led del pin 13, en la aplicación tenemos 2 botones que el primero envía la letra “a” y el segundo envía la letra “b” (figura 4.2.4).



```
temperatura_bluetooth | Arduino 1.0.6
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda
temperatura_bluetooth
#include <dht.h> //Incluimos la librería para el sensor DHT11

#define dht_dpín A0 //Definimos entrada analógica para el sensor.
                    //En este caso A0
dht DHT;           //Variable auxiliar para librería.

void setup(){
  pinMode(13,OUTPUT); //Como salida usamos pin 13.
  Serial.begin(9600); //Definimos velocidad serial.
  delay(1000); //Definimos un pequeño retardo
} //end "setup()"

void loop(){
  //Leemos la información del sensor.
  DHT.read11(dht_dpín);

  Serial.println(DHT.temperature);
  //Leemos temperatura

  char dato=Serial.read(); //Enviamos dato por serial.
  if(dato=='a')digitalWrite(13,HIGH); //Si recibimos de la aplicación "a" prendemos Led
  if(dato=='b')digitalWrite(13,LOW); //Si recibimos de la aplicación "b" apagamos Led

  delay(800); //Un retraso entre lecturas.
} // end loop()

Guardado Terminado.
1
```

Figura 4.2. 4 Programa de Temperatura.

Usando este botón compilamos para ver si tenemos algún error en el código (figura 4.2.5).

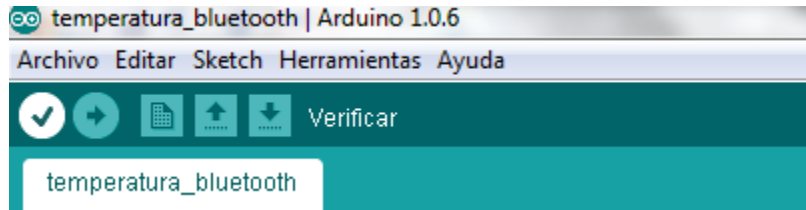


Figura 4.2. 5 Verificar programa.

Verificamos que no tenemos errores (figura 4.2.6).

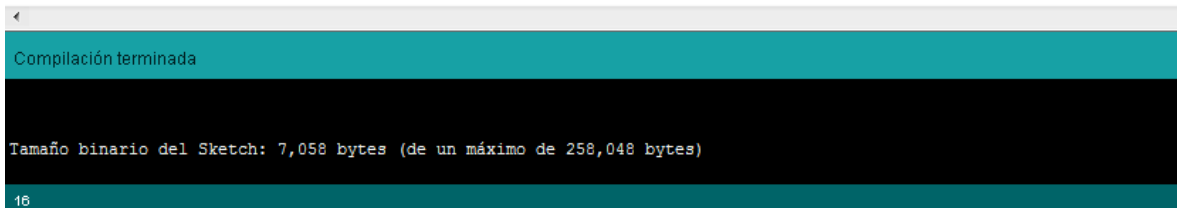


Figura 4.2. 6 Confirmación de compilación.

Y cargamos el programa a la tarjeta Arduino 2560 (figura 4.2.7).

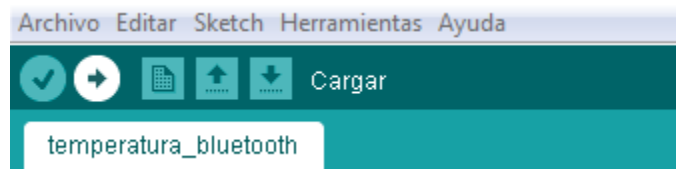


Figura 4.2. 7 Cargar programa a la tarjeta Arduino.

Esperamos que realice la carga del programa al dispositivo para realizar nuestras pruebas (figura 4.2.8).

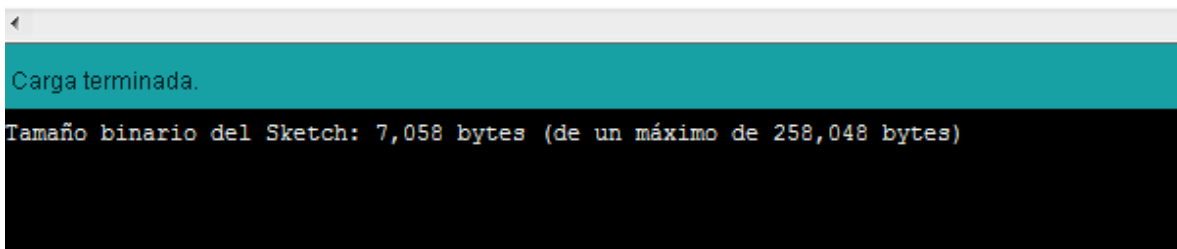
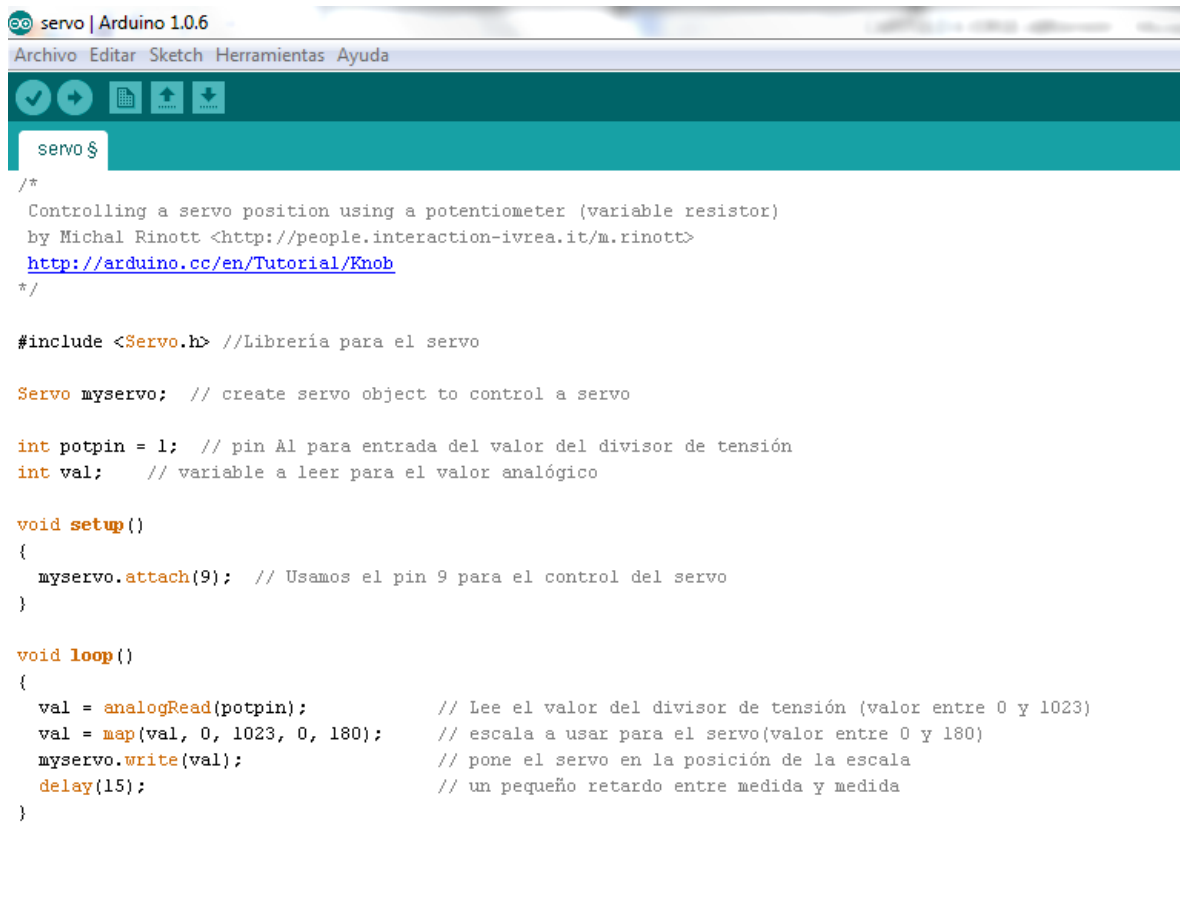


Figura 4.2. 8 Verificación de carga en tarjeta Arduino.

Para el control de la apertura de persianas para el control de luminosidad usamos una resistencia fotoeléctrica conectada a una resistencia que nos ayude a formar un divisor de tensión para tener un valor cuantificable de la luminosidad en el entorno. Con respecto a la intensidad de luz en el ambiente se va a tener una posición de las persianas (figura 4.2.9).



```
servo $
/*
Controlling a servo position using a potentiometer (variable resistor)
by Michal Rinott <http://people.interaction-ivrea.it/m.rinott>
http://arduino.cc/en/Tutorial/Knob
*/

#include <Servo.h> //Librería para el servo

Servo myservo; // create servo object to control a servo

int potpin = 1; // pin Al para entrada del valor del divisor de tensión
int val; // variable a leer para el valor analógico

void setup()
{
  myservo.attach(9); // Usamos el pin 9 para el control del servo
}

void loop()
{
  val = analogRead(potpin); // Lee el valor del divisor de tensión (valor entre 0 y 1023)
  val = map(val, 0, 1023, 0, 180); // escala a usar para el servo(valor entre 0 y 180)
  myservo.write(val); // pone el servo en la posición de la escala
  delay(15); // un pequeño retardo entre medida y medida
}
```

Figura 4.2. 9 Programa de control de servomotor.

Para el control de presencia utilizamos el programa de la figura 4.2.10, en el cual usamos la entrada analógica 2 (AO2) en la tarjeta Arduino y checamos en el pin digital 13 de dicha tarjeta, si esta detecta alguna presencia. También usamos una comparación para verificar si alcanzo a medir alguna presencia, de acuerdo con la sensibilidad ajustada en el sensor. (Figura 4.2.10)

```
PIR $
//Sensor de movimiento HC-SR051
//*****
int analogPin = 2; //vamos a leer el pin analogo 2
int ledPin = 13; // salida 13 para encender el led
int val = 0; // en esta variable vamos a guardar las lecturas

void setup()
{
  Serial.begin(9600); //setup serial
  pinMode(ledPin, OUTPUT); //setemos el pin del led como salida
}

void loop()
{
  val = analogRead(analogPin); // lectura analoga
  if(val > 100) //revisa la variable para ver si senso movimiento
  {
    Serial.println(val); // imprime en el serial
    digitalWrite(ledPin,HIGH); //enciende el led
    delay(500); //hace un delay de 0.5s
  }
  else {
    Serial.println(val); //imprime en el serial
    digitalWrite(ledPin,LOW); //apaga el led cuando no hay movimiento
    delay(500); //hace un delay de 0.5s
  }
}

Carga terminada.
Tamaño binario del Sketch: 5,038 bytes (de un máximo de 258,048 bytes)
Tamaño binario del Sketch: 5,038 bytes (de un máximo de 258,048 bytes)
28
```

Figura 4.2. 10 Programa de sensado de presencia.

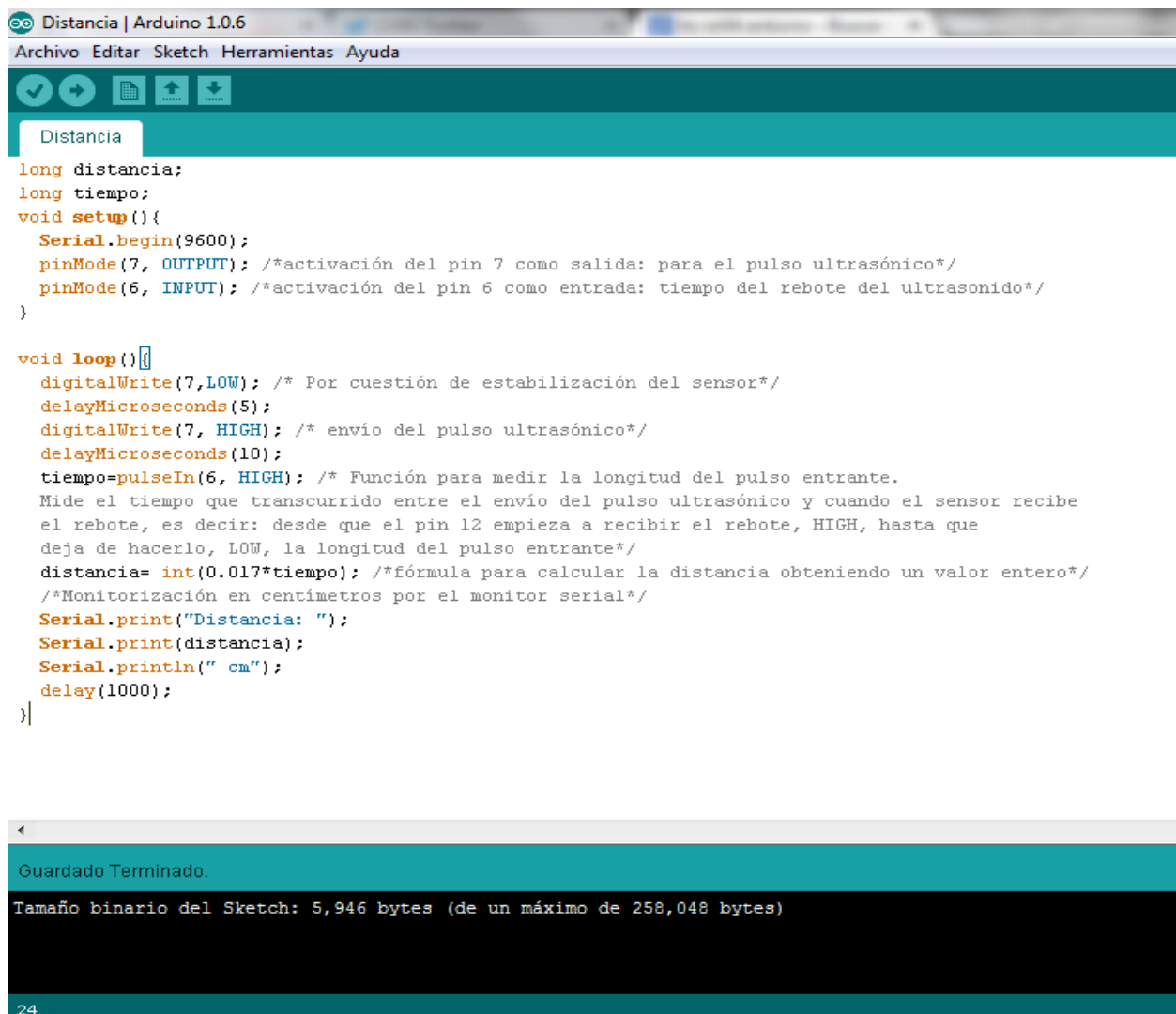
Para el sensado de la distancia utilizamos el siguiente código junto con el sensor HC-SR04. El sensor consta de 4 pines: "VCC" conectado a la salida de 5V de la placa, "Trig" conectado al pin digital de la placa encargado de enviar el pulso ultrasónico, "Echo" al pin de entrada digital que recibirá el eco de dicho pulso y "GND" a tierra. Para nuestra aplicación usamos el pin 7 para enviar el pulso ultrasónico y el pin 6 para la entrada que recibirá dicho pulso.

Aprovechando que la velocidad de dicho ultrasonido en el aire es de valor 340 m/s, o 0,034 cm/microseg (ya que trabajaremos con centímetros y microsegundos). Para

calcular la distancia, recordaremos que $v=d/t$ (definición de velocidad: distancia recorrida en un determinado tiempo).

De la fórmula anterior despejamos d , obteniendo $d=v \cdot t$, siendo v la constante anteriormente citada y t el valor devuelto por el sensor a la placa Arduino.

También habrá que dividir el resultado entre 2 dado que el tiempo recibido es el tiempo de ida y vuelta. (Figura 4.2.11)



```
Distancia | Arduino 1.0.6
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda

Distancia
long distancia;
long tiempo;
void setup(){
  Serial.begin(9600);
  pinMode(7, OUTPUT); /*activación del pin 7 como salida: para el pulso ultrasónico*/
  pinMode(6, INPUT); /*activación del pin 6 como entrada: tiempo del rebote del ultrasonido*/
}

void loop(){
  digitalWrite(7,LOW); /* Por cuestión de estabilización del sensor*/
  delayMicroseconds(5);
  digitalWrite(7, HIGH); /* envío del pulso ultrasónico*/
  delayMicroseconds(10);
  tiempo=pulseIn(6, HIGH); /* Función para medir la longitud del pulso entrante.
Mide el tiempo que transcurrido entre el envío del pulso ultrasónico y cuando el sensor recibe
el rebote, es decir: desde que el pin 12 empieza a recibir el rebote, HIGH, hasta que
deja de hacerlo, LOW, la longitud del pulso entrante*/
  distancia= int(0.017*tiempo); /*fórmula para calcular la distancia obteniendo un valor entero*/
  /*Monitorización en centímetros por el monitor serial*/
  Serial.print("Distancia: ");
  Serial.print(distancia);
  Serial.println(" cm");
  delay(1000);
}
```

Guardado Terminado.

Tamaño binario del Sketch: 5,946 bytes (de un máximo de 258,048 bytes)

24

Figura 4.2. 11 Programa de sensado de distancia.

Para la luminosidad dentro de un cuarto usamos el siguiente código, donde la entrada es por el fotorresistor conectado a un divisor de tensión por el pin A1 y la salida PWM por el pin 2. (Figura 4.2.12)



```
luz_led | Arduino 1.0.6
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda

luz_led $
int ledPin = 2; //Salida al led PWM
int photocellInput = 1; //inicializar variable

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(ledPin, OUTPUT); //modo salida para PWM
}

void loop() {

  photocellInput = (analogRead(1)/4); // Divide entrada 0-1023 a salida de 0-255

  analogWrite(ledPin, photocellInput); //salida analógica
  Serial.println(photocellInput);

  delay(200);
}

Carga terminada.
Tamaño binario del Sketch: 5,470 bytes (de un máximo de 258,048 bytes)

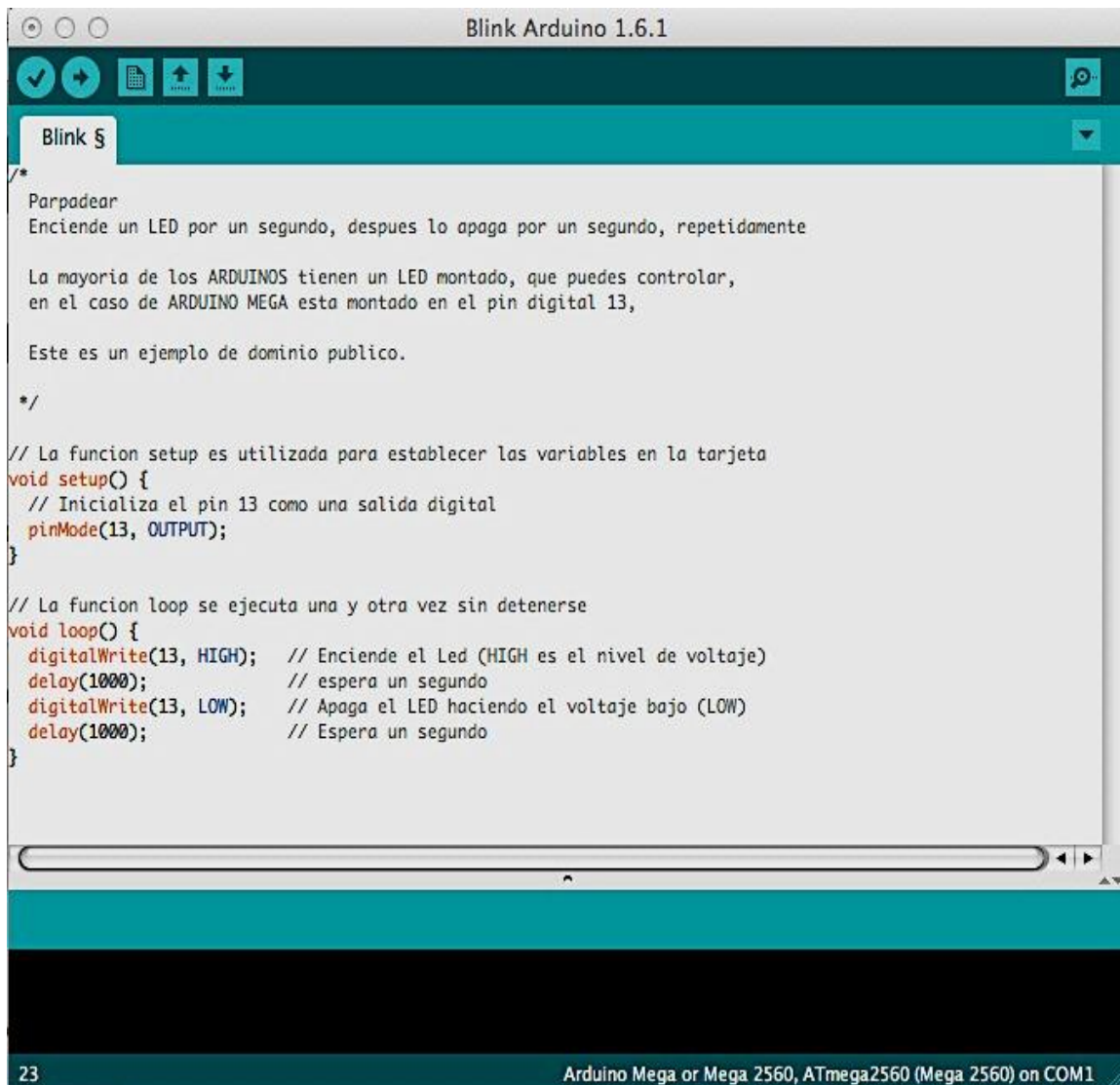
17
```

Figura 4.2. 12 Programa para control de luminosidad.

4.3 Integración del Hardware

Arduino Mega 2560 Rev 3

La prueba de la tarjeta de adquisición de datos seleccionada fue realizada mediante el programa mostrado en la figura 4.3.1, el objetivo del código mostrado es encender y apagar el led instalado en la tarjeta en el puerto digital 13, para comprobar que la tarjeta está programada correctamente y que la comunicación entre el sistema Arduino y la computadora es correcta. La figura 4.3.1 muestra el programa utilizado para este propósito.



```
Blink Arduino 1.6.1
Blink 5
/*
  Parpadear
  Enciende un LED por un segundo, despues lo apaga por un segundo, repetidamente

  La mayoría de los ARDUINOS tienen un LED montado, que puedes controlar,
  en el caso de ARDUINO MEGA esta montado en el pin digital 13,

  Este es un ejemplo de dominio publico.

  */

// La funcion setup es utilizada para establecer las variables en la tarjeta
void setup() {
  // Inicializa el pin 13 como una salida digital
  pinMode(13, OUTPUT);
}

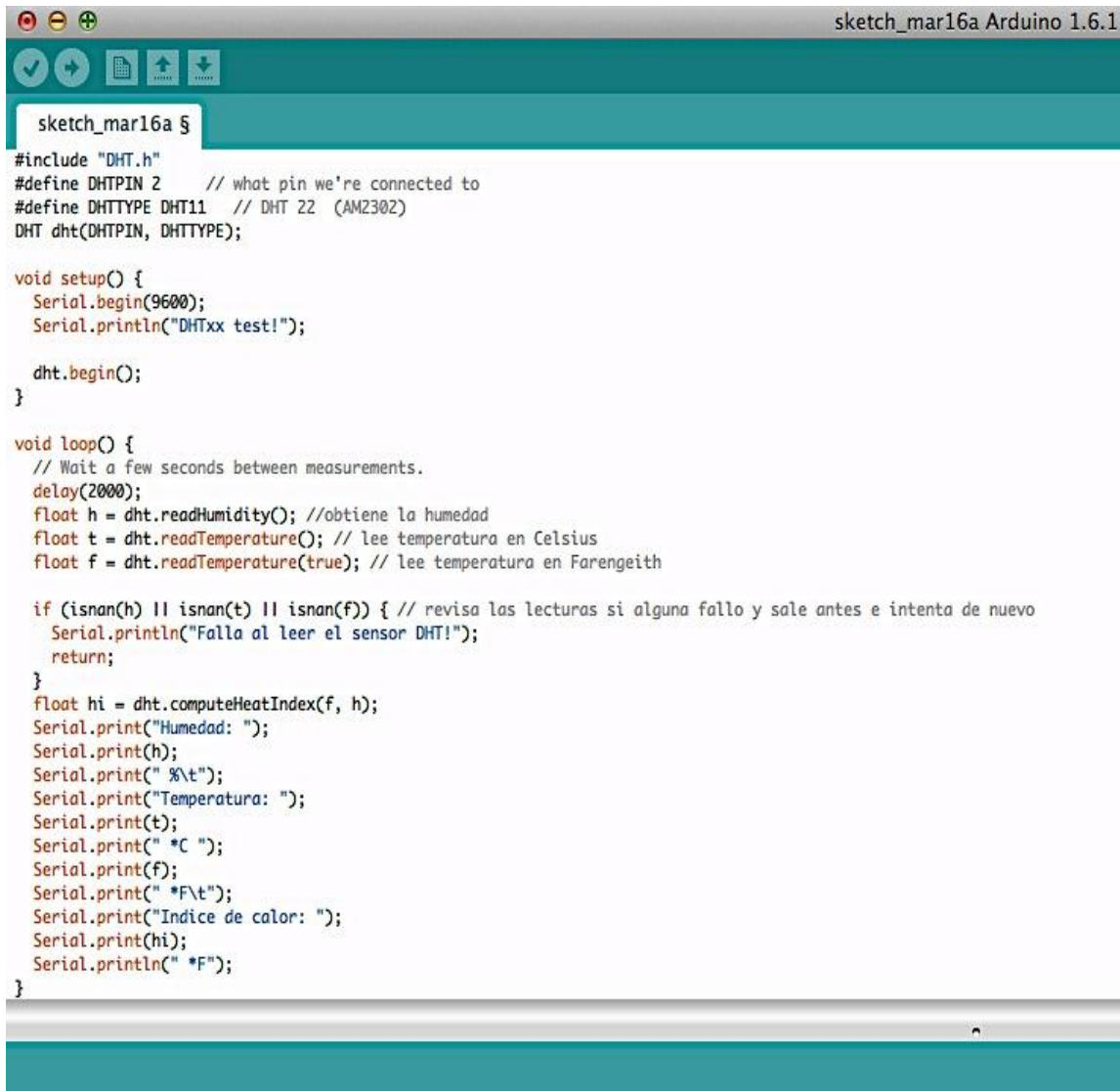
// La funcion loop se ejecuta una y otra vez sin detenerse
void loop() {
  digitalWrite(13, HIGH); // Enciende el Led (HIGH es el nivel de voltaje)
  delay(1000);           // espera un segundo
  digitalWrite(13, LOW); // Apaga el LED haciendo el voltaje bajo (LOW)
  delay(1000);          // Espera un segundo
}

23 Arduino Mega or Mega 2560, ATmega2560 (Mega 2560) on COM1
```

Figura 4.3.1 Código para utilizado para prueba de la tarjeta.

Sensor de temperatura y humedad DHT 11.

El sensor de temperatura y humedad DHT 11 fue probado mediante la implementación de un código genérico que realiza la adquisición de datos del sensor mediante las librerías creadas para este sensor en la plataforma Arduino, las librerías presentan de una forma legible los datos del sensor, el programa implementado muestra el dato de temperatura y de humedad en un emulador de terminal, por ejemplo, el monitor integrado en el IDE Arduino. En la figura 4.3.2 se muestra el código utilizado en esta prueba.



```
sketch_mar16a Arduino 1.6.1
sketch_mar16a §
#include "DHT.h"
#define DHTPIN 2 // what pin we're connected to
#define DHTTYPE DHT11 // DHT 22 (AM2302)
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("DHTxx test!");

  dht.begin();
}

void loop() {
  // Wait a few seconds between measurements.
  delay(2000);
  float h = dht.readHumidity(); //obtiene la humedad
  float t = dht.readTemperature(); // lee temperatura en Celsius
  float f = dht.readTemperature(true); // lee temperatura en Farengeith

  if (isnan(h) || isnan(t) || isnan(f)) { // revisa las lecturas si alguna fallo y sale antes e intenta de nuevo
    Serial.println("Falla al leer el sensor DHT!");
    return;
  }
  float hi = dht.computeHeatIndex(f, h);
  Serial.print("Humedad: ");
  Serial.print(h);
  Serial.print(" %\t");
  Serial.print("Temperatura: ");
  Serial.print(t);
  Serial.print(" *C ");
  Serial.print(f);
  Serial.print(" *F\t");
  Serial.print("Indice de calor: ");
  Serial.print(hi);
  Serial.println(" *F");
}
```

Figura 4.3.2 Código del sensor DHT11 temperatura y humedad.

Sensor de movimiento PIR.

El sensor de movimiento fue probado con un programa básico que encenderá un LED, para este caso el LED montado en la tarjeta, cuando detecte una presencia, una vez y mientras dure el estado alto se quedará encendido y después se apagará.

La figura 4.3.3 muestra el sensor PIR utilizado y en la figura 4.3.4 se muestra el código de prueba en Arduino.

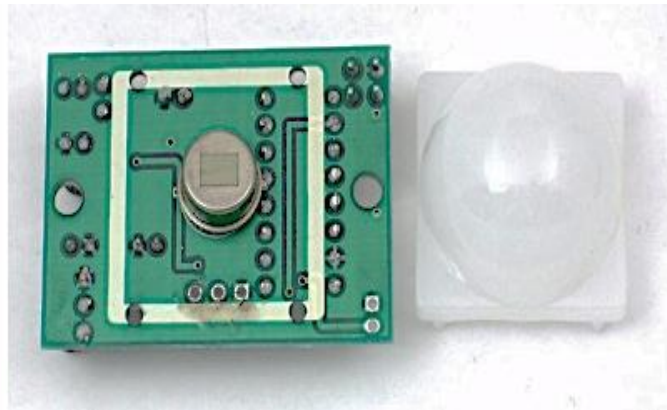


Figura 4.3.3 Sensor PIR.

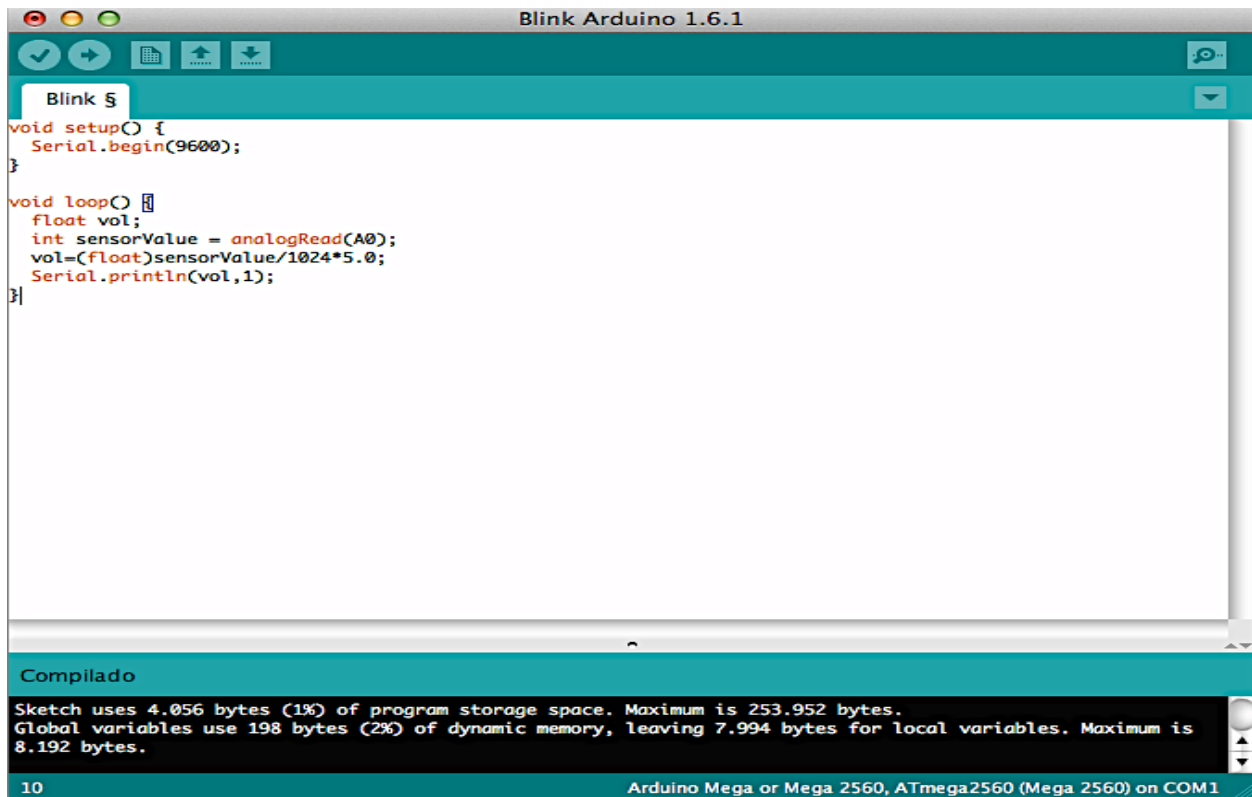
```
sketch_mar16a Arduino 1.6.1
sketch_mar16a 5
/*
Codigo de prueba del sensor PIR.
*/
void setup(){
  pinMode(13,OUTPUT);
  pinMode(2,INPUT);
}
void loop(){
  digitalWrite(13,digitalRead(2));
}
```

12 Arduino Mega or Mega 2560, ATmega2560 (Mega 2560) on COM1

Figura 4.3.4. Código de prueba del PIR.

Sensor de Gas (MQ-2)

La prueba del sensor de Gas, se utilizó un código genérico de prueba con el cual se obtendrían la concentración del gas a medida que el voltaje aumenta. Se conecta la señal a la entrada analógica A0 y el sensor se alimenta con 5V, la sensibilidad se puede ajustar mediante el potenciómetro incluido en el sensor. En la figura 4.3.5 se muestra el ejemplo del código usado.



```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  float vol;
  int sensorValue = analogRead(A0);
  vol=(float)sensorValue/1024*5.0;
  Serial.println(vol,1);
}
```

Compilado

Sketch uses 4.056 bytes (1%) of program storage space. Maximum is 253.952 bytes.
Global variables use 198 bytes (2%) of dynamic memory, leaving 7.994 bytes for local variables. Maximum is 8.192 bytes.

10 Arduino Mega or Mega 2560, ATmega2560 (Mega 2560) on COM1

Figura 4.3.5. Código de prueba del sensor MQ-2

Sensor de Luminosidad.

Para este caso, se realizó un programa de prueba con el fotorresistor a uno de los puertos analógicos de forma que comience a enviar las mediciones de la intensidad de luz al emulador de terminal. La figura 4.3.6 muestra el código utilizado.

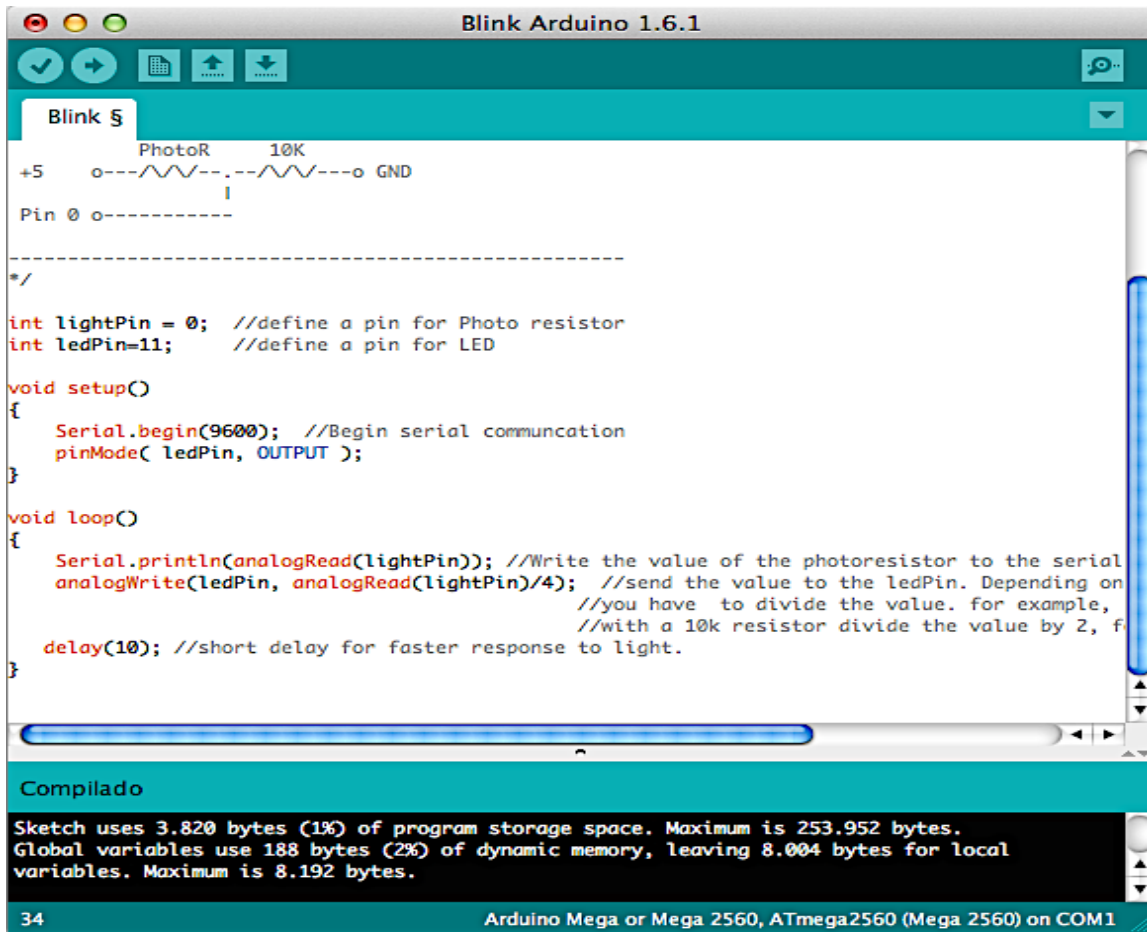
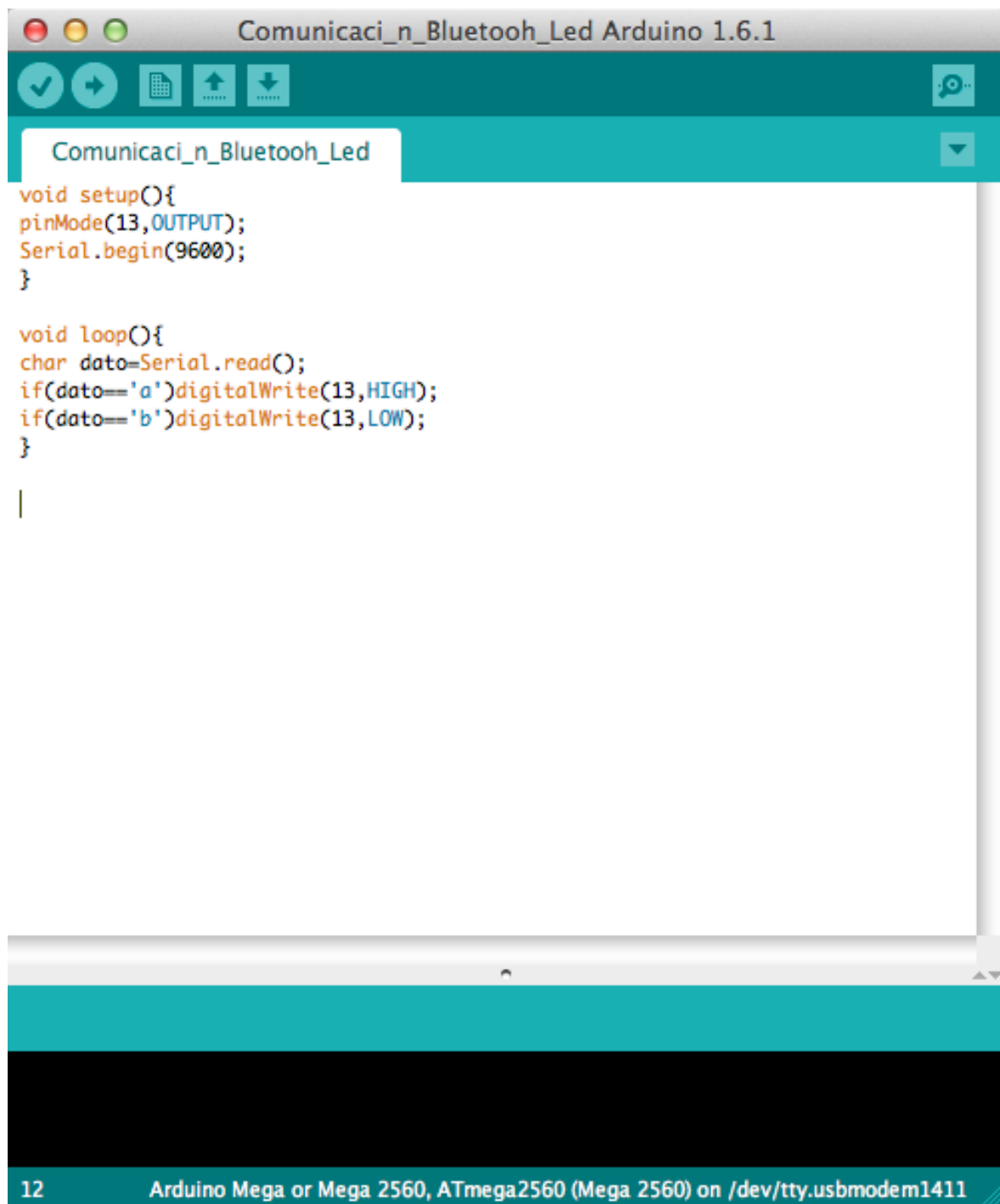


Figura 4.3.6 Código de prueba del sensor de luminosidad.

Bluetooth

Para comprobar la comunicación Bluetooth, se realizó un código para encender y apagar el led montado en la placa Arduino. El programa utiliza la comunicación serial ya que el adaptador de Bluetooth está basado en este protocolo serial para realizar la comunicación con los dispositivos externos que se comunican mediante esta tecnología.

El código utiliza una variable denominada 'dato', que tiene dos posibles valores 'a' o 'b' cada valor corresponde a un estado lógico del Led. Al enviar mediante bluetooth el valor, el led encenderá o apagará dependiendo de la elección. La figura 4.3.7 muestra el código utilizado.

The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. The title bar reads "Comunicaci_n_Bluetoooh_Led Arduino 1.6.1". The main editor area contains the following C++ code:

```
void setup(){
pinMode(13,OUTPUT);
Serial.begin(9600);
}

void loop(){
char dato=Serial.read();
if(dato=='a')digitalWrite(13,HIGH);
if(dato=='b')digitalWrite(13,LOW);
}

|
```

The status bar at the bottom indicates the board is "12 Arduino Mega or Mega 2560, ATmega2560 (Mega 2560) on /dev/tty.usbmodem1411".

Figura 4.3.7. Código para la Comunicación Bluetooth.

Comunicación WIFI

El módulo WIFI HLK-RM04 fue probado de igual manera de forma sencilla para verificar que existía comunicación entre los dispositivos conectados vía WIFI en este caso una computadora y el módulo Arduino. El módulo WIFI debe estar configurado en modo Serial-WIFI, para que pueda ser utilizado en Arduino, el programa inicializa el puerto serial a una velocidad de 115200 bauds. El programa genera una pequeña página web, usando la IP asignada al módulo WIFI podemos acceder a la página y controlar nuestro Arduino. Este programa encenderá y apagará dos LEDs.

```
//Enviar comandos al Arduino via WIFI
//Actuar con http://192.168.1.120:8080/blink?f=1

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(13, OUTPUT); //Rele 1
  pinMode(12, OUTPUT); //Rele 2
}

int f = 0;
void loop() {
  boolean has_request = false;
  String in = "";
  if (Serial.available()) {
    in = "";
    while (true) { // should add time out here
      while (Serial.available() == false) {}
      in += (char)(Serial.read());
      if (in.endsWith("\r\n\r\n")) {
        has_request = true; break;
      }
    }
  }
  if (has_request) {
    int i1 = in.indexOf("GET /blink?f="), i2;
    if (i1 != -1) {
      i2 = in.indexOf(" ", i1+13);
```

```

        f = in.substring(i1+13, i2).toInt();
    }
    Serial.println("HTTP/1.1 200 OK\nContent-Type: text/html\nConnection:
close");
    String sr = "<!DOCTYPE HTML                                     >\n"; //;;NO QUITAR
    ESPACIOS EN BLANCO!!

    Serial.print("Content-Length: ");
    Serial.print(sr.length());
    Serial.print("\r\n\r\n");
    if (f==1) { Serial.println("Comando 1. Activado LED 1"); }
    if (f==2) { Serial.println("Comando 2. Desactivado LED 1"); }
    if (f==3) { Serial.println("Comando 3. Activado LED 2"); }
    if (f==4) { Serial.println("Comando 4. Desactivado LED 2"); }
    Serial.print(sr);
    has_request = false;

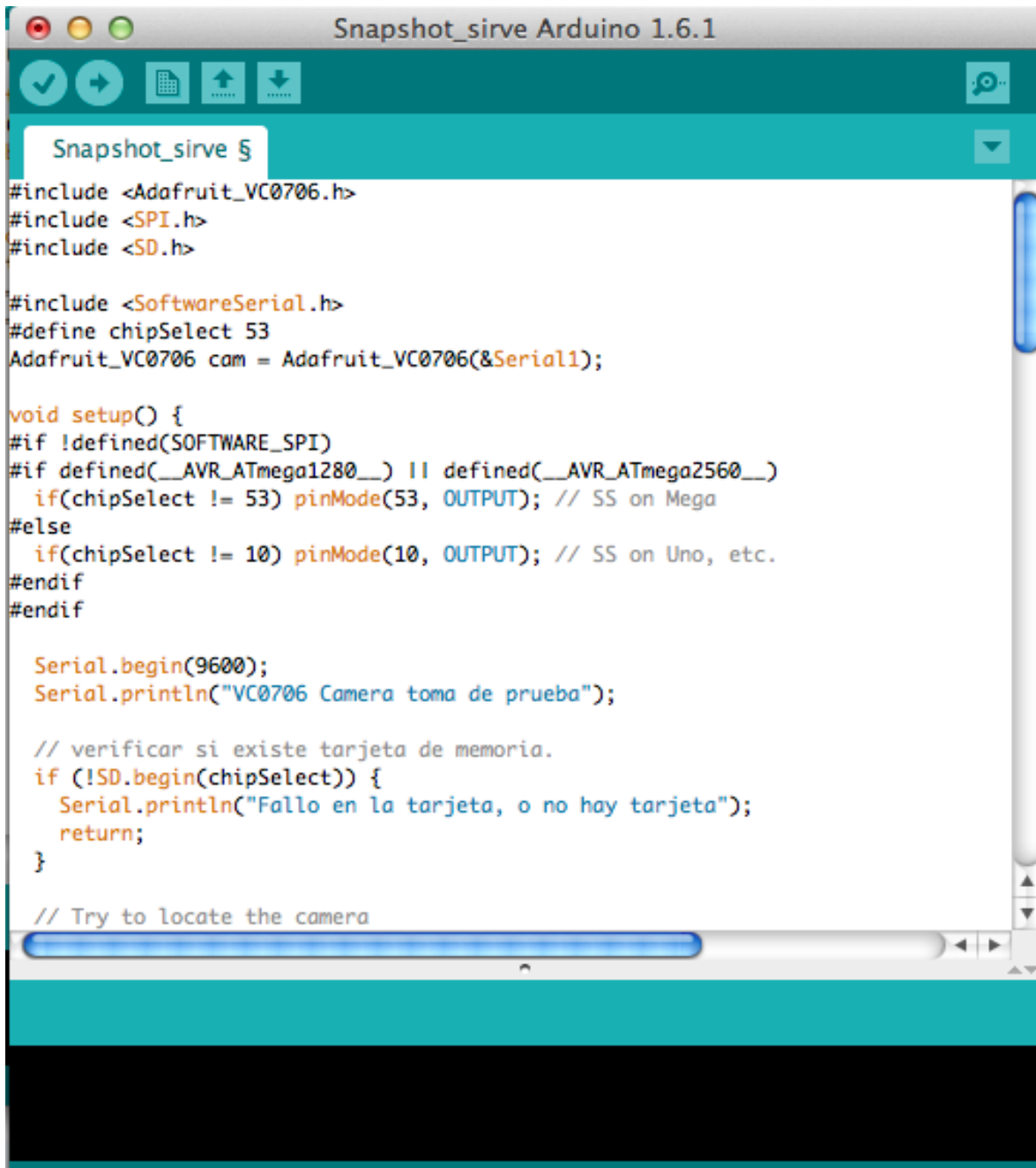
}

switch (f){
  case 1:
    digitalWrite(13, HIGH);
    break;
  case 2:
    digitalWrite(13, LOW);
    break;
  case 3:
    digitalWrite(12, HIGH);
    break;
  case 4:
    digitalWrite(12, LOW);
    break;
  f=0;
}

```

Cámara

La cámara fue probada con un código que ejecuta la instrucción de tomar una imagen y guardarla en el módulo de memoria externa SD, para este propósito se utilizó un puerto serial y el puerto SPI para la aplicación de la memoria SD.

The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. The window title is "Snapshot_sirve Arduino 1.6.1". The code editor displays the following C++ code:

```
#include <Adafruit_VC0706.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>

#include <SoftwareSerial.h>
#define chipSelect 53
Adafruit_VC0706 cam = Adafruit_VC0706(&Serial1);

void setup() {
  #if !defined(SOFTWARE_SPI)
  #if defined(__AVR_ATmega1280__) || defined(__AVR_ATmega2560__)
    if(chipSelect != 53) pinMode(53, OUTPUT); // SS on Mega
  #else
    if(chipSelect != 10) pinMode(10, OUTPUT); // SS on Uno, etc.
  #endif
  #endif

  Serial.begin(9600);
  Serial.println("VC0706 Camera toma de prueba");

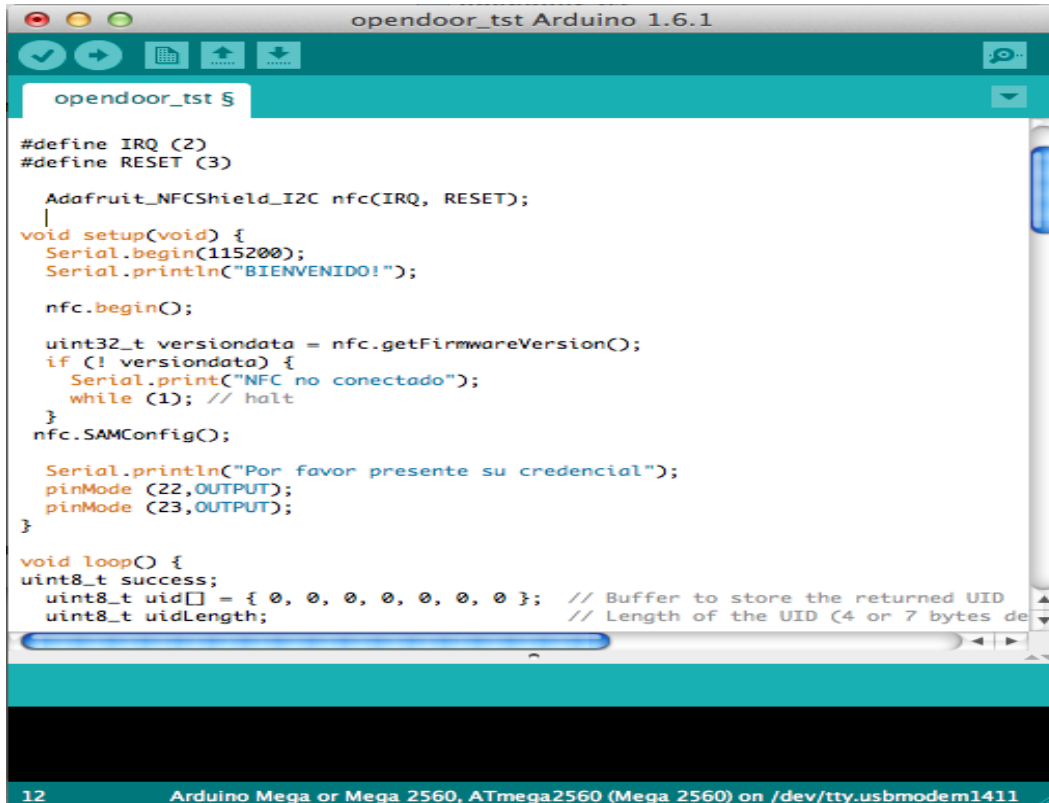
  // verificar si existe tarjeta de memoria.
  if (!SD.begin(chipSelect)) {
    Serial.println("Fallo en la tarjeta, o no hay tarjeta");
    return;
  }

  // Try to locate the camera
```

Figura 4.3.7 Código usado en la prueba de la cámara.

Módulo RFID

El módulo RFID fue programado para leer una tarjeta codificada con una clave de acceso para usuarios autorizados. El programa autentica al usuario portador de la tarjeta, en caso de autenticación exitosa, la tarjeta Arduino envía una señal para la apertura de una puerta, en caso contrario, si el usuario presenta una tarjeta no autorizada, se emite una alerta mediante un “zumbador” por 5 segundos. La figura 4.3.8 muestra el código utilizado en esta prueba.



```
opendoor_tst Arduino 1.6.1
opendoor_tst 5
#define IRQ (2)
#define RESET (3)

Adafruit_NFCShield_I2C nfc(IRQ, RESET);

void setup(void) {
  Serial.begin(115200);
  Serial.println("BIENVENIDO!");
  nfc.begin();

  uint32_t versiondata = nfc.getFirmwareVersion();
  if (!versiondata) {
    Serial.print("NFC no conectado");
    while (1); // halt
  }
  nfc.SAMConfig();

  Serial.println("Por favor presente su credencial");
  pinMode (22,OUTPUT);
  pinMode (23,OUTPUT);
}

void loop() {
  uint8_t success;
  uint8_t uid[] = { 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 }; // Buffer to store the returned UID
  uint8_t uidLength; // Length of the UID (4 or 7 bytes de
12 Arduino Mega or Mega 2560, ATmega2560 (Mega 2560) on /dev/tty.usbmodem1411
```

Figura 4.3.7 Código usado para el módulo RFID.

4.4 Desarrollo de la Aplicación

Google App Inventor es una plataforma de Google Labs para crear aplicaciones de software para el sistema operativo Android. De forma visual y a partir de un conjunto de herramientas básicas, el usuario puede ir enlazando una serie de bloques para crear la aplicación. El sistema es gratuito y se puede descargar fácilmente de la web. Las aplicaciones fruto de App Inventor están limitadas por su simplicidad, aunque permiten cubrir un gran número de necesidades básicas en un dispositivo móvil.

Con Google App Inventor, se espera un incremento importante en el número de aplicaciones para Android debido a dos grandes factores: la simplicidad de uso, que facilitará la aparición de un gran número de nuevas aplicaciones; y el Android Market, el centro de distribución de aplicaciones para Android donde cualquier usuario puede distribuir sus creaciones libremente.

El editor de bloques de la aplicación utiliza la librería Open Blocks de Java para crear un lenguaje visual a partir de bloques. Estas librerías están distribuidas por Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT, por sus siglas en inglés) bajo su licencia libre (MIT License). El compilador que traduce el lenguaje visual de los bloques para la aplicación en Android utiliza Kawa como lenguaje de programación, distribuido como parte del sistema operativo GNU de la Free Software Foundation.

Las diferentes etapas de nuestra aplicación son las siguientes:

- Pantalla principal: tenemos nuestra pantalla de acceso (Figura 4.4.1) donde ponemos nuestra contraseña o tenemos la opción de cambiar la contraseña. Para la primera vez que se accede se aconseja cambiar la contraseña.
- Con el botón “Acceder” podemos ingresar a la pantalla de nuestro menú principal siempre y cuando ingresemos de forma correcta la contraseña. En caso de ingresar mal la contraseña no accederá a la pantalla de menú principal.

- Con el botón de “Cambiar contraseña” ingresamos a la pantalla de Cambio de contraseña.

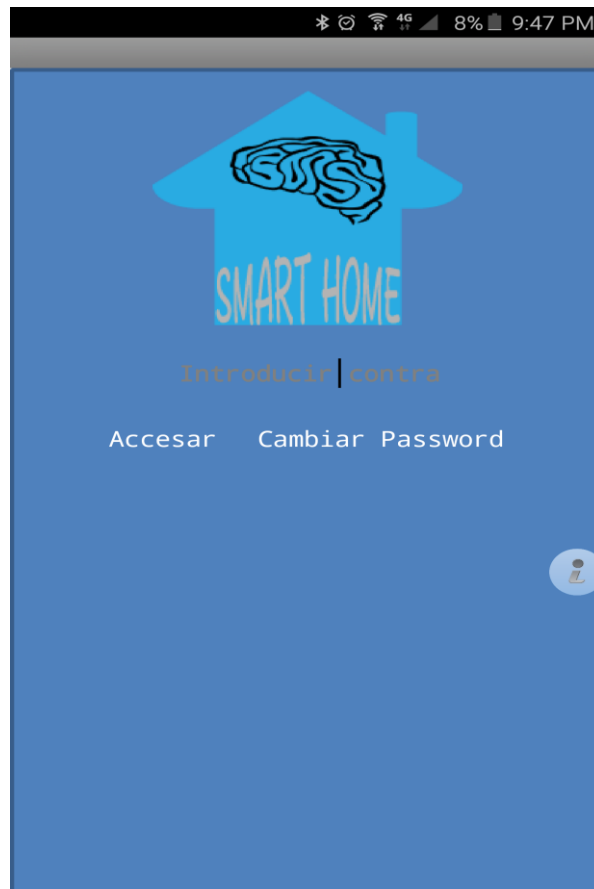


Figura 4.4.1 Pantalla de Acceso.

Para el diagrama de bloque tenemos nuestro primer bloque que nos indica que al oprimir el botón 2 nos cambiara a la pantalla de cambio de contraseña. El siguiente bloque nos dice que cuando llegemos a la pantalla inicial tengamos la leyenda contraseña en nuestro diálogo de texto para la contraseña. El último bloque nos indica que si tenemos nuestra contraseña en nuestro dialogo de texto de contraseña y este coincide con el valor que tenemos en nuestra base de datos con el tag 1 (etiqueta 1) entonces podemos acceder a la pantalla de “Menu”.

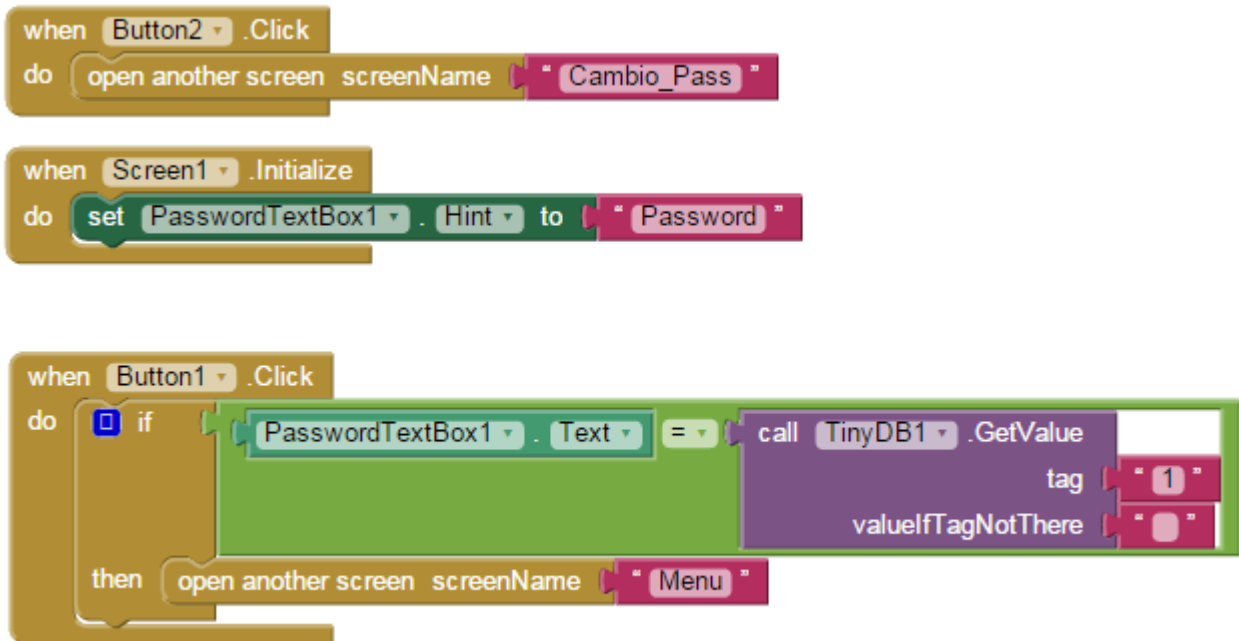


Figura 4.4.2 Diagrama de bloques para Pantalla de Acceso.

- Cambio de contraseña: Para el caso en que cambiemos de pantalla principal tenemos diferentes opciones para la pantalla de cambio de contraseña (Figura 4.4.3).
- Con el botón “Cambiar” podemos establecer nuestra nueva contraseña poniendo en el primer campo la contraseña antigua y en el segundo campo la contraseña que queremos como actual.
- Dejando oprimido el botón “Resetear” cerca de 2 segundos, la contraseña regresa a un valor que puede ser predeterminado para el usuario en la etapa de construcción.

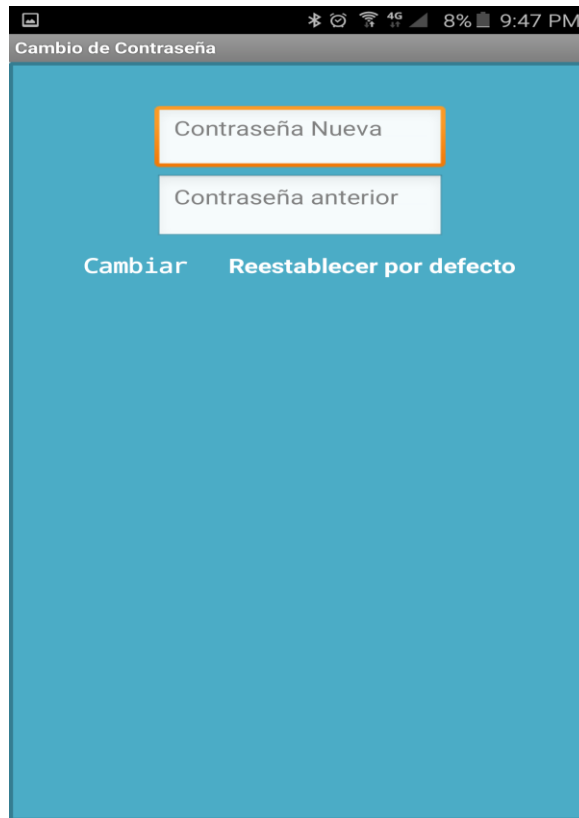


Figura 4.4.3 Pantalla de Cambio de contraseña.

A continuación, vemos el diagrama de bloques (Figura 4.4.4) de nuestra pantalla, donde en nuestro primer bloque vemos como al oprimir el botón 3 cambiaremos de pantalla. En nuestro segundo bloque podemos ver que cuando lleguemos a esta pantalla en los cuadros de dialogo de contraseña aparecerá “Old Password (Contraseña anterior)” y “New Password (Contraseña nueva)” respectivamente. Nuestro siguiente bloque nos indica que, si en el cuadro de diálogo de contraseña “Old Password” coincide con el valor que tenemos en nuestra base de datos con Tag 1, este valor será establecido con lo que tengamos en “New Password”. Finalmente, el último bloque nos indica que, si mantenemos presionado por un tiempo el botón 2, nuestro valor de la base de datos será establecido al usuario “admin” que va a ser nuestro valor por default, el cual dependerá del nuestro cliente.

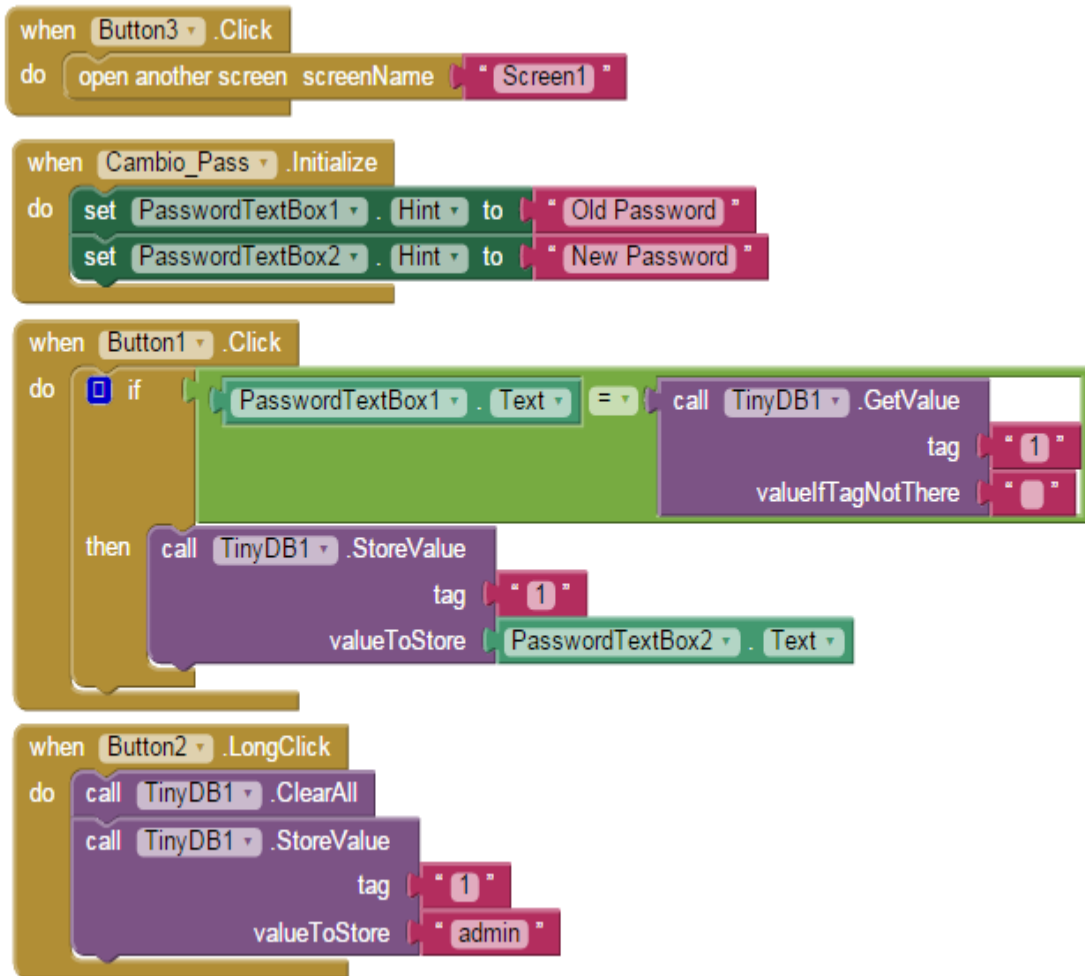


Figura 4.4.4 Diagrama de Bloques para Pantalla de Cambio de contraseña.

- Para nuestra pantalla de “Menú” (Figura 4.4.5) tenemos las diferentes opciones que van a ser nuestras variables que podamos controlar para nuestro prototipo.



Figura 4.4.5 Pantalla de Menú.

En este diagrama de bloques (Figura 4.4.6) podemos ver como cada uno de los botones nos redirigen a una nueva pantalla.

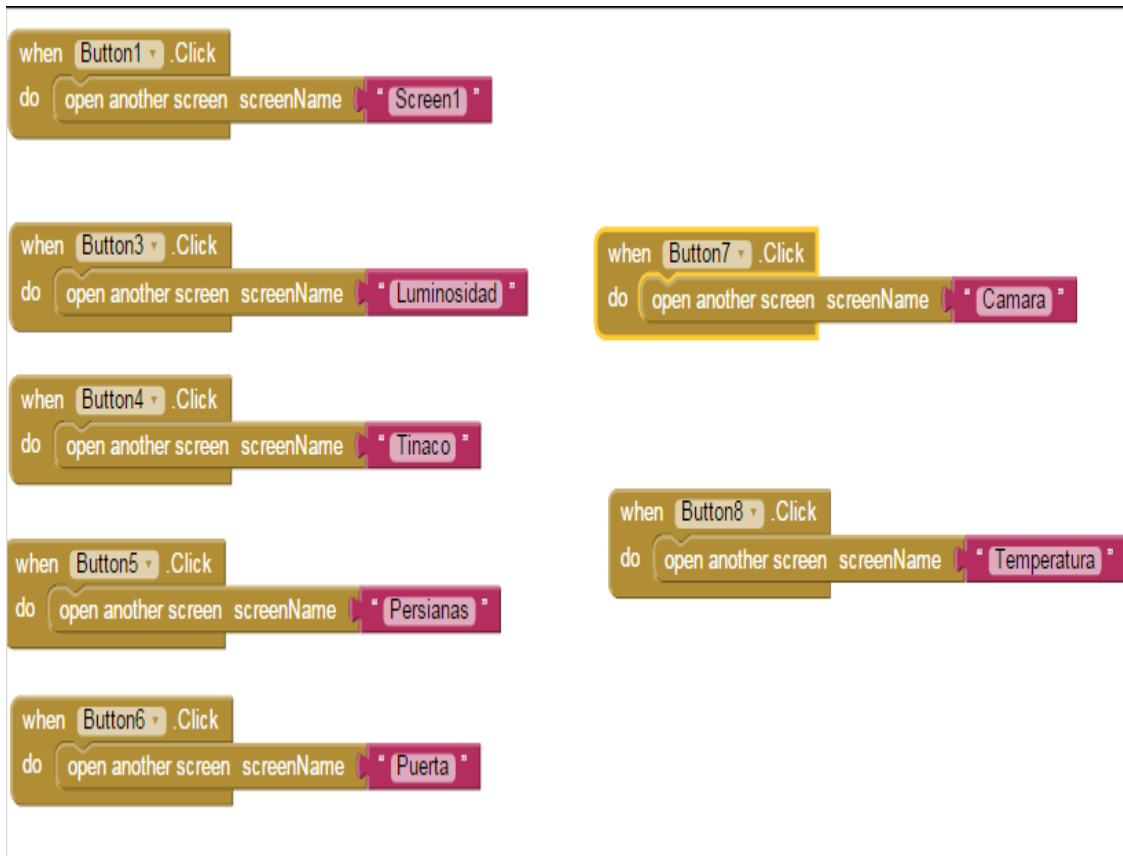


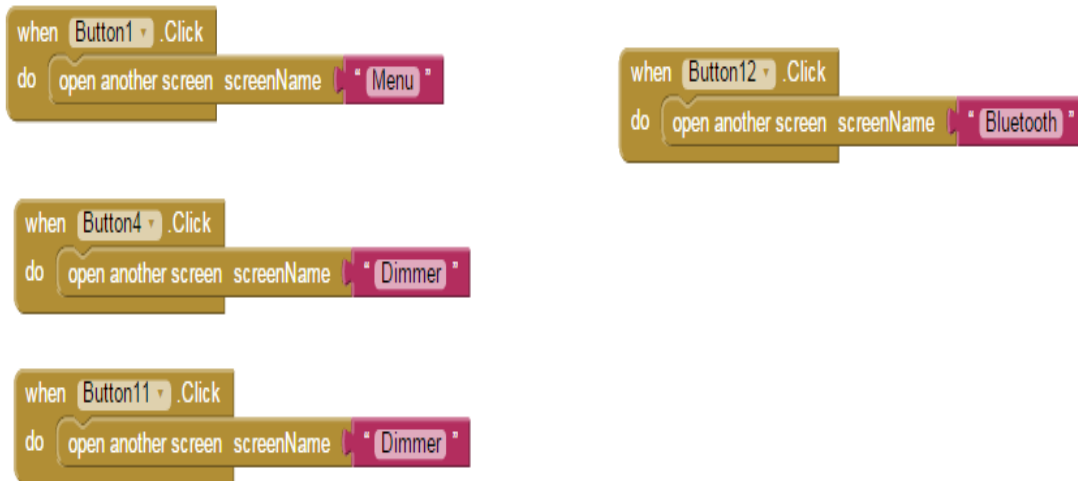
Figura 4.4.6 Diagrama de Bloques para Pantalla de Menú.

- En nuestra pantalla para el control de Luminosidad (Figura 4.4.7) tenemos diferentes botones que nos indican cada una de las habitaciones consideradas para nuestra casa, vamos a cambiar el estado de la luz con tan solo oprimir el botón correspondiente de encendido a apagado y viceversa. Para el caso de las habitaciones también contamos con nuestro control de luminosidad (dimmer) que nos llevara a una nueva pantalla.



Figura 4.4.7 Pantalla de Control de Luminosidad.

En este diagrama de bloques (Figura 4.4.8) vemos los diferentes cambios de pantallas al oprimir el botón correspondiente.



**Figura 4.4.8 Diagrama de Bloques para Pantalla de Control de Luminosidad.
Cambio de pantallas.**

En esta parte del diagrama de bloques (Figura 4.4.9) vemos como al oprimir el botón del cuarto de la casa que deseamos cambiar el estado, este enviará vía serial una letra donde el programa en Arduino tomará este dato y negará el valor correspondiente.



Figura 4.4. 9 Diagrama de Bloques para Pantalla de Control de Luminosidad. Cambio de estado.

- Para esta pantalla (Figura 4.4.10) contamos con 4 estados para la intensidad de la luz en nuestras habitaciones.

4.5 Pruebas y Resultados.

Para la medición de la temperatura, al usar el dispositivo DHT11 con el programa mostrado y al usar el monitor serial que incluye el programador de Arduino, la medición de la temperatura vemos que existe un cambio cuando le acercamos una fuente de

calor o algún objeto frío, de igual manera si salimos a la intemperie o cambiamos de habitación. El resultado fue el de la Figura 4.5.1:

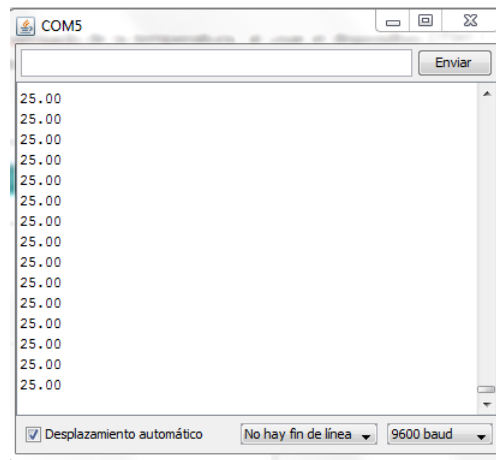


Figura 4.5. 1 Resultado de temperatura.

Para el caso de la luminosidad de la habitación, se agregó la parte de enviar el dato que toma el divisor de tensión por puerto serial y monitorear el cambio en la luminosidad. El resultado es el siguiente (Figura 4.5.2):

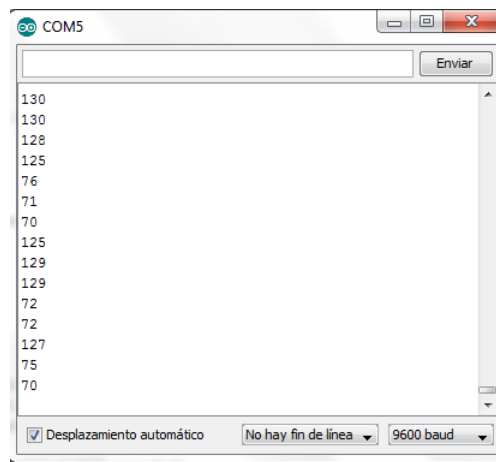


Figura 4.5. 2 Resultado de medición de luminosidad.

Cuando incrementa la intensidad de luz el valor disminuye poniendo el servo en la posición para cerrar las persianas y por el contrario cuando la luminosidad baja va aumentando el valor de la posición por lo que se estarían abriendo las persianas.

Para el caso del sensor de presencia observamos que cuando no detecta una presencia el led permanece apagado y la lectura del monitor serial en cero, mientras que cuando detecta movimiento el led enciende y da lectura el canal. El retraso medido es de 0.5 segundos para la detección, este puede variarse por medio de programa o por el movimiento en las resistencias.

Ch1: Con esta resistencia podemos establecer el tiempo que se va a mantener activa la salida del sensor. Una de las principales limitaciones de este módulo es que el tiempo mínimo que se puede establecer es de más o menos 3s. Si cambiamos la resistencia por otra de 100K, podemos bajar el tiempo mínimo a más o menos 0,5 s.

RL2: Esta resistencia variable nos permite establecer la distancia de detección que puede variar entre 3-7m.

El resultado fue el de la Figura 4.5.3:

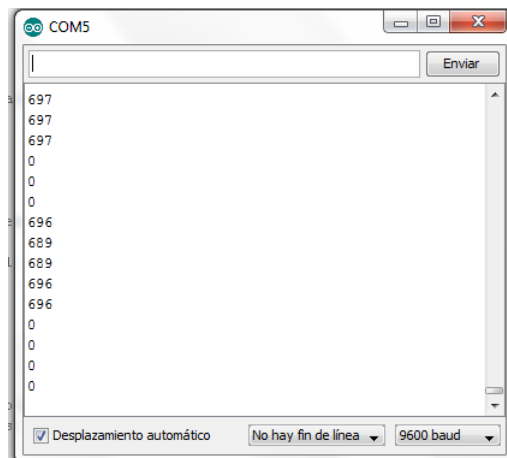


Figura 4.5. 3 Resultado de detección de presencia.

Para la cuestión de la distancia utilizamos el sensor HC-SR04 el cual nos ayuda a medir la distancia de un objeto frente a él, donde los resultados de la medición con el monitor serial de Arduino fueron los siguientes (Figura 4.5.4):

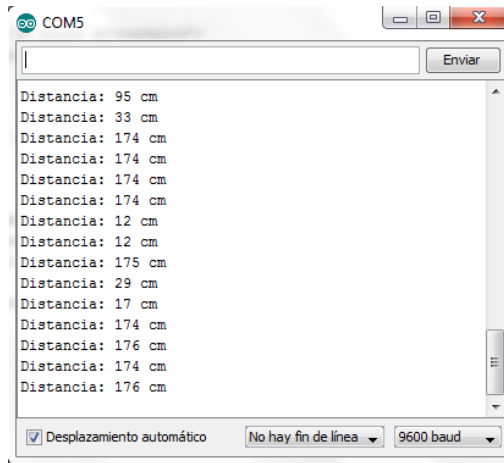


Figura 4.5. 4 Resultado de distancia.

Para el control de luminosidad, nos apoyamos con la foto resistencia y usamos esta como entrada variable (pin A1) para poder controlar la salida al led por un PWM (pin2). El resultado medido en el monitor serial de Arduino es el siguiente (Figura 4.5.5):

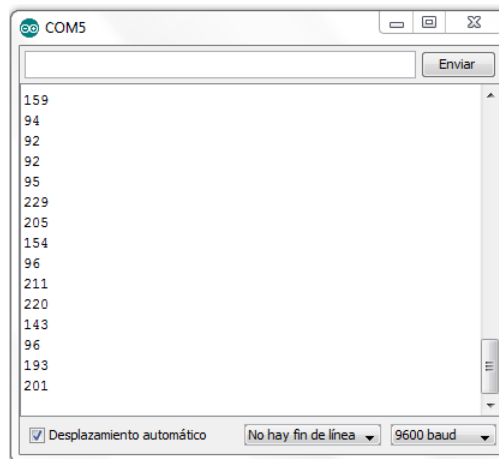


Figura 4.5. 5 Resultado de control de luminosidad.

CONCLUSIONES

La automatización de inmuebles mediante la inclusión de sistemas de adquisición de datos y control, genera grandes beneficios en la actualidad no solo en cuestión monetaria, sino que como forma de aprovechamiento de los recursos al generar ambientes sustentables en las edificaciones, además de brindar confort a los habitantes de los inmuebles.

Actualmente en México existen diversas normas que regulan la sustentabilidad de una edificación mediante la aplicación de las recomendaciones de las normas de sustentabilidad y otras normas como las normas para instalaciones eléctricas, aire acondicionado dan como resultado lo que se denomina edificaciones inteligentes que generan un aprovechamiento sustentable de los recursos y un ahorro monetario a largo plazo para los propietarios de dichos inmuebles.

El desarrollo de éste sistema permitirá monitorear y controlar diversas variables, lo que contribuirá a que la casa pueda ser considerada como una edificación inteligente, al hacer un uso consiente de los recursos como el agua, la energía eléctrica y ventilación. La metodología utilizada para realizar el sistema de adquisición y control fue la adecuada para poder cubrir los diferentes escenarios presentes en la mayoría de las casas habitación.

El sistema aparte de ser una opción sustentable, brindará seguridad que permite restringir el acceso sólo a los usuarios registrados, con esto se logra tener un mayor control sobre quien visita la casa, así como la inclusión del sistema de video vigilancia que enviará imágenes a través de la aplicación móvil al usuario.

Con la implementación de la aplicación móvil este sistema logrará dar movilidad al usuario al mantener control sobre las variables desde el teléfono móvil y el monitoreo de la actividad en la casa cuando este no se encuentre en ella.

En este trabajo se describe el proceso de desarrollo e implementación de un sistema de adquisición de datos y control para una casa inteligente, con el objetivo que sirva para que personas de la comunidad universitaria interesadas en desarrollar un sistema semejante al aquí descrito, lo tomen como referencia y desarrollen un sistema mejorado al prototipo aquí presentado.

El sistema fue desarrollado mediante el uso de la tarjeta de desarrollo Arduino y el uso de los shields (bloques de hardware) apropiados para cada aplicación con el objetivo de que el sistema aquí integrado sea fácilmente escalable y su implementación sea más sencilla en futuras aplicaciones.

El proyecto que se desarrolla en el presente texto, comprende un sistema de adquisición y control de variables, estos sistemas son ampliamente usados en la industria y en la investigación, por lo que el sistema implementado en este trabajo puede servir como referencia para la recaudación y estudio de variables analógicas provenientes del mundo real, lo cual no limita su uso para monitoreo y control en edificaciones residenciales.

La realización de este tipo de proyectos no es fácil conlleva la aplicación de diferentes ramas de la tecnología y áreas de la ciencia, y al estar juntas desembocan al desarrollo de edificios eficientes y sobretodo amigables con el medio ambiente.

Actualmente en México la automatización de edificaciones está muy enfocada a edificios de uso comercial, la automatización de residencias está enfocada al nivel socio-económico alto debido al costo-beneficio que los sistemas comerciales presentan en la actualidad, con el presente prototipo se deja pauta para la implementación de sistemas domóticos de un costo más bajo, esto dependerá en gran parte de las ambiciones del propietario del sistema.

La formación recibida en la Facultad de Ingeniería, sentó las bases teóricas y prácticas de este trabajo, gracias a la calidad del contenido y enseñanza de vanguardia de las asignaturas del plan de estudios de la carrera Ingeniero Eléctrico-Electrónico.

El Programa de Apoyo a la Titulación (PAT), es una herramienta que la Facultad de Ingeniería brinda a los alumnos para el desarrollo de sus trabajos de tesis para titulación de licenciatura, la asesoría brindada durante la duración del programa guía a los futuros ingenieros durante todo el procedimiento de titulación, haciendo más sencillo este proceso.

BIBLIOGRAFIA

REFERENCIAS.

CAPITULO I:

Punto 1.3

<http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/la-domotica-como-solucion-de-futuro-fenercom.pdf>

http://www.gsi.dit.upm.es/~fsaez/intl/libro_domotica.pdf Página 89-106

Punto 1.4

http://amiti.org.mx/wp-content/uploads/2013/10/RE_Estudio-APPS.pdf

Página 4

<http://www.uv.es/~bellochc/pdf/pwtic1.pdf>

Página 1

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/11538/Memoria.pdf?sequence=1>

Página 9, 11

http://www.innovanube.com/docs/ticbeat%20%20desarrollo_de_apliaciones_moviles.pdf

Página 4-16

https://www.amipci.org.mx/estudios/habitos_de_internet/Estudio_Habitos_del_Internaut_a_Mexicano_2014_V_MD.pdf

http://amiti.org.mx/wp-content/uploads/2013/10/Estudio-Apps_Documental.pdf

Punto 1.5

www.imei.org.mx

<http://www.conuee.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/6933/19/NOM008ENER2001.pdf> nom008

<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/DO3156.pdf>

<http://searchdatacenter.techtarget.com/definition/building-management-system>

<http://www.building.co.uk/cpd-13-intelligent-building-management-systems/5056654.article>

CAPITULO II:

Punto 2.1

www.arduino.cc URL de Arduino

www.wiring.org.co, URL del proyecto wiring

<https://processing.org> URL del proyecto processing

Punto 2.4

http://www.peirao.com/data/comun/documentos/jj/sensores_piroelectricos.pdf

página 2-13

<http://www.utp.edu.co/~mauriciorami/libro2.pdf>

página 160-176

<http://www.metas.com.mx/guiametas/la-guia-metas-08-05-sensores-de-humedad.pdf>

http://www.isa-spain.org/images/biblioteca_virtual/detectores%20gases.pdf

página 1-5

<http://www.atsintech.com/tablas/ISTBook.pdf>

<https://www.pololu.com/file/0J311/MQ4.pdf>

http://antares.itmorelia.edu.mx/~talfaro/Materias/Instrumentacion_Virtual/Sensores%20de%20Proximidad.pdf

http://www.elai.upm.es/moodle/pluginfile.php/2062/mod_resource/content/1/CAPITULO8.PDF

página 2-28

Punto 2.5

<http://wndw.net/pdf/wndw3-es/wndw3-es-ebook.pdf>

Página 130-135

http://www.dip-badajoz.es/agenda/tablon/jornadaWIFI/doc/tecnologias_wifi_wmax.pdf

Página 7-19

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/archundia_p_fm/capitulo3.pdf

página 1-3

<http://www.etitudela.com/entrenadorcomunicaciones/downloads/bluetoothguiarapida.pdf>

http://www.libera.net/uploads/documents/whitepaper_rfid.pdf

<http://www.dea.icaei.upco.es/sadot/Comunicaciones/avanzadas/Bluetooth.%20Introduccion%20a%20su%20funcionamiento.pdf>

<http://www.dea.icaei.upco.es/sadot/Comunicaciones/avanzadas/Zigbee%20y%20sus%20aplicaciones.pdf>

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11980/fichero/CAP%CDTULO+3+-+FUNDAMENTOS+GSM+Y+UMTS%252F3.3+GSM.pdf>

<http://186.42.96.211:8080/jspui/bitstream/123456789/1211/1/direccion-ip.pdf>

<http://mixteco.utm.mx/~resdi/historial/materias/IPv4.pdf>

<http://www.tr3sdland.com/2011/11/componentes-el-sensor-ldr/>

CAPITULO III:

Punto 3.1

<http://noticias.arq.com.mx/Detalles/9884.html#.VRDjE2YsLNR>

<http://www.forbes.com.mx/prueban-lo-facil-que-es-hackear-casas-inteligentes/>

<http://www.informador.com.mx/economia/2014/557692/6/ofrecen-casas-inteligentes-al-alcance-de-los-mexicanos.htm>

Punto 3.4

<https://learn.adafruit.com/downloads/pdf/pir-passive-infrared-proximity-motion-sensor.pdf>

http://webs.ono.com/lmoliver/sensores_gases.pdf

<https://www.pololu.com/file/0J311/MQ4.pdf>

<http://www.electronicaestudio.com/tienda/electronica/sensores/sensor-de-humedad-y-temperatura-dht11-detalles>

<http://www.micropik.com/PDF/dht11.pdf>

<http://www.geekbotelectronics.com/dht11-sensor-de-humedad-y-temperatura/>

<https://www.pololu.com/file/0J309/MQ2.pdf>

<http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>

http://www.elecfreaks.com/store/download/product/Sensor/HC-SR04/HC-SR04_Ultrasonic_Module_User_Guide.pdf

<http://diymakers.es/arduino-bluetooth/>

<http://ai.kittywolf.net/index.php/BTArduinoLED1>

ANDROID

https://www.youtube.com/watch?v=jO_Fb6HJTAI

<http://ai.kittywolf.net/index.php/BTArduinoLED1>

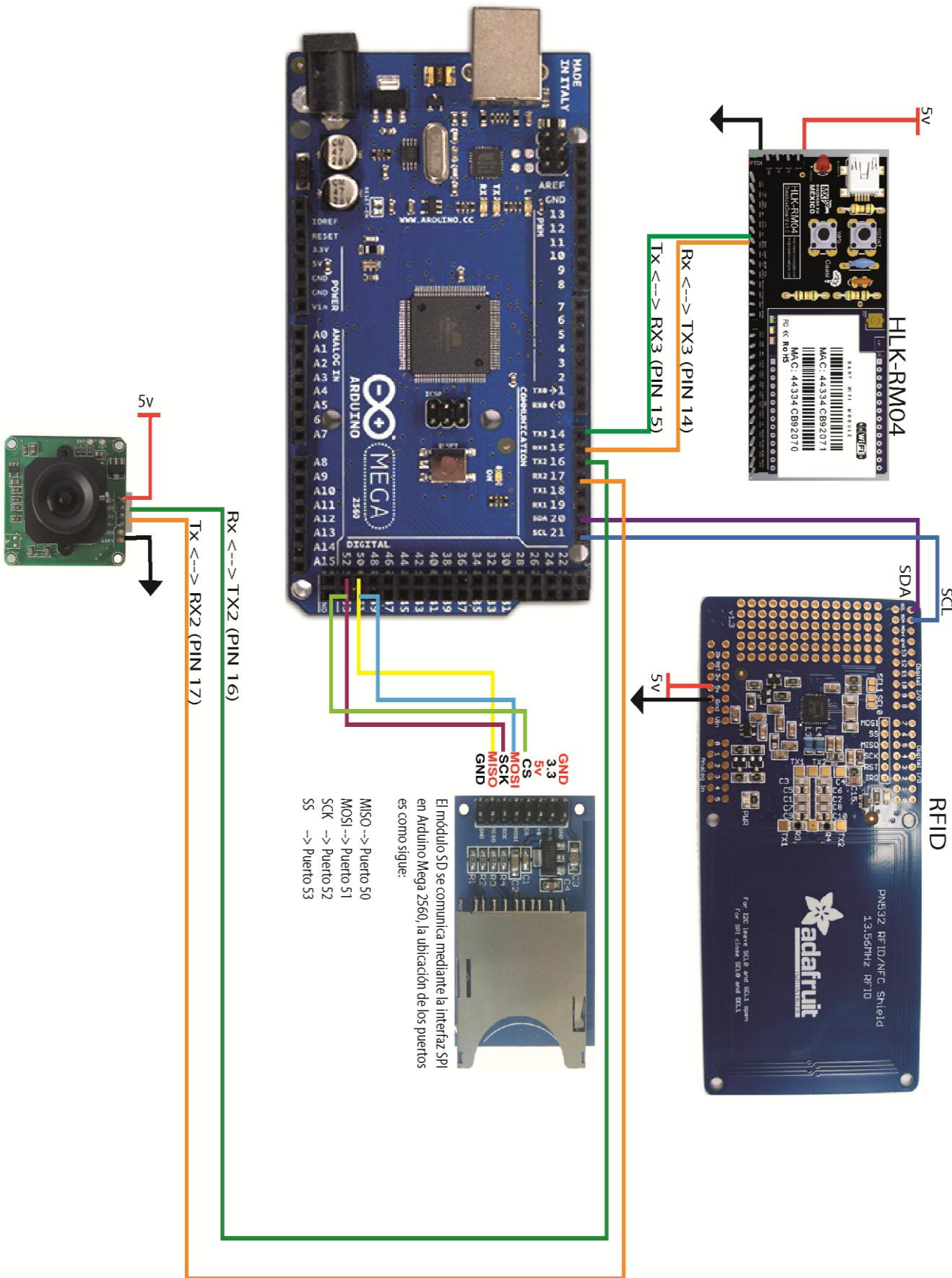
<http://diymakers.es/crear-app-para-arduino-con-app-inventor/>

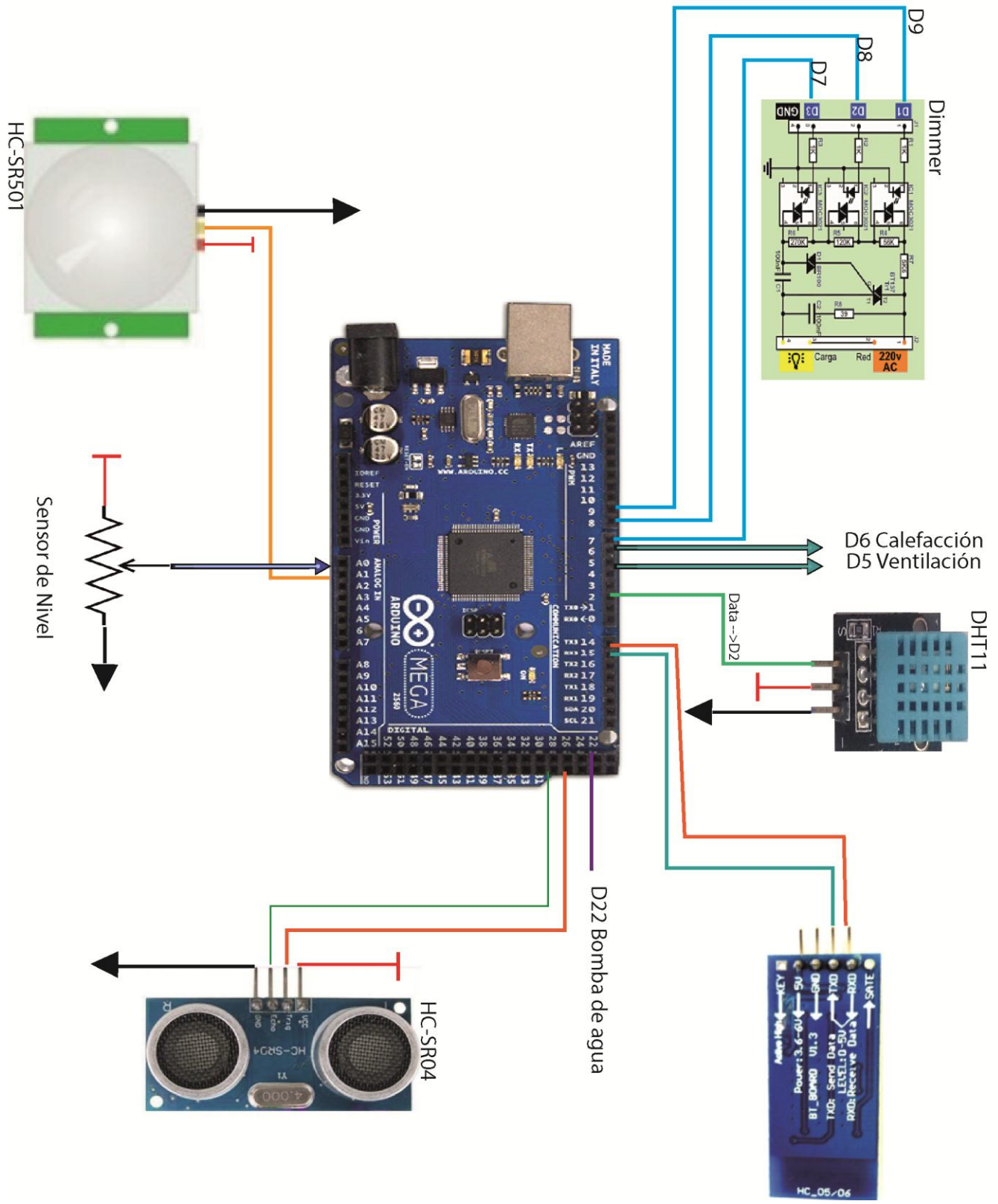
<http://www.iesromerovargas.es/android/#inicio>

<http://www.instructables.com/file/F1I8NP6HUHT1KIH>

APENDICES

Diagrama de Bloques del sistema de monitoreo y control.







Atmel ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V

8-bit Atmel Microcontroller with 16/32/64KB In-System Programmable Flash

SUMMARY

Features

- High Performance, Low Power Atmel® AVR® 8-Bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 135 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 16 MIPS Throughput at 16MHz
 - On-Chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
 - 64K/128K/256KBytes of In-System Self-Programmable Flash
 - 4Kbytes EEPROM
 - 8Kbytes Internal SRAM
 - Write/Erase Cycles:10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/ 100 years at 25°C
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - Programming Lock for Software Security
 - Endurance: Up to 64Kbytes Optional External Memory Space
- Atmel® QTouch® library support
 - Capacitive touch buttons, sliders and wheels
 - QTouch and QMatrix acquisition
 - Up to 64 sense channels
- JTAG (IEEE® std. 1149.1 compliant) Interface
 - Boundary-scan Capabilities According to the JTAG Standard
 - Extensive On-chip Debug Support
 - Programming of Flash, EEPROM, Fuses, and Lock Bits through the JTAG Interface
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
 - Four 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare- and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Four 8-bit PWM Channels
 - Six/Twelve PWM Channels with Programmable Resolution from 2 to 16 Bits (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
 - Output Compare Modulator
 - 8/16-channel, 10-bit ADC (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
 - Two/Four Programmable Serial USART (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Byte Oriented 2-wire Serial Interface
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
 - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- I/O and Packages
 - 54/86 Programmable I/O Lines (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
 - 64-pad QFN/MLF, 64-lead TQFP (ATmega1281/2561)
 - 100-lead TQFP, 100-ball CBGA (ATmega640/1280/2560)
 - RoHS/Fully Green
- Temperature Range:
 - -40°C to 85°C Industrial
- Ultra-Low Power Consumption
 - Active Mode: 1MHz, 1.8V: 500µA
 - Power-down Mode: 0.1µA at 1.8V
- Speed Grade:
 - ATmega640V/ATmega1280V/ATmega1281V:
 - 0 - 4MHz @ 1.8V - 5.5V, 0 - 8MHz @ 2.7V - 5.5V
 - ATmega2560V/ATmega2561V:
 - 0 - 2MHz @ 1.8V - 5.5V, 0 - 8MHz @ 2.7V - 5.5V
 - ATmega640/ATmega1280/ATmega1281:
 - 0 - 8MHz @ 2.7V - 5.5V, 0 - 16MHz @ 4.5V - 5.5V
 - ATmega2560/ATmega2561:
 - 0 - 16MHz @ 4.5V - 5.5V

1. Pin Configurations

Figure 1-1. TQFP-pinout ATmega640/1280/2560

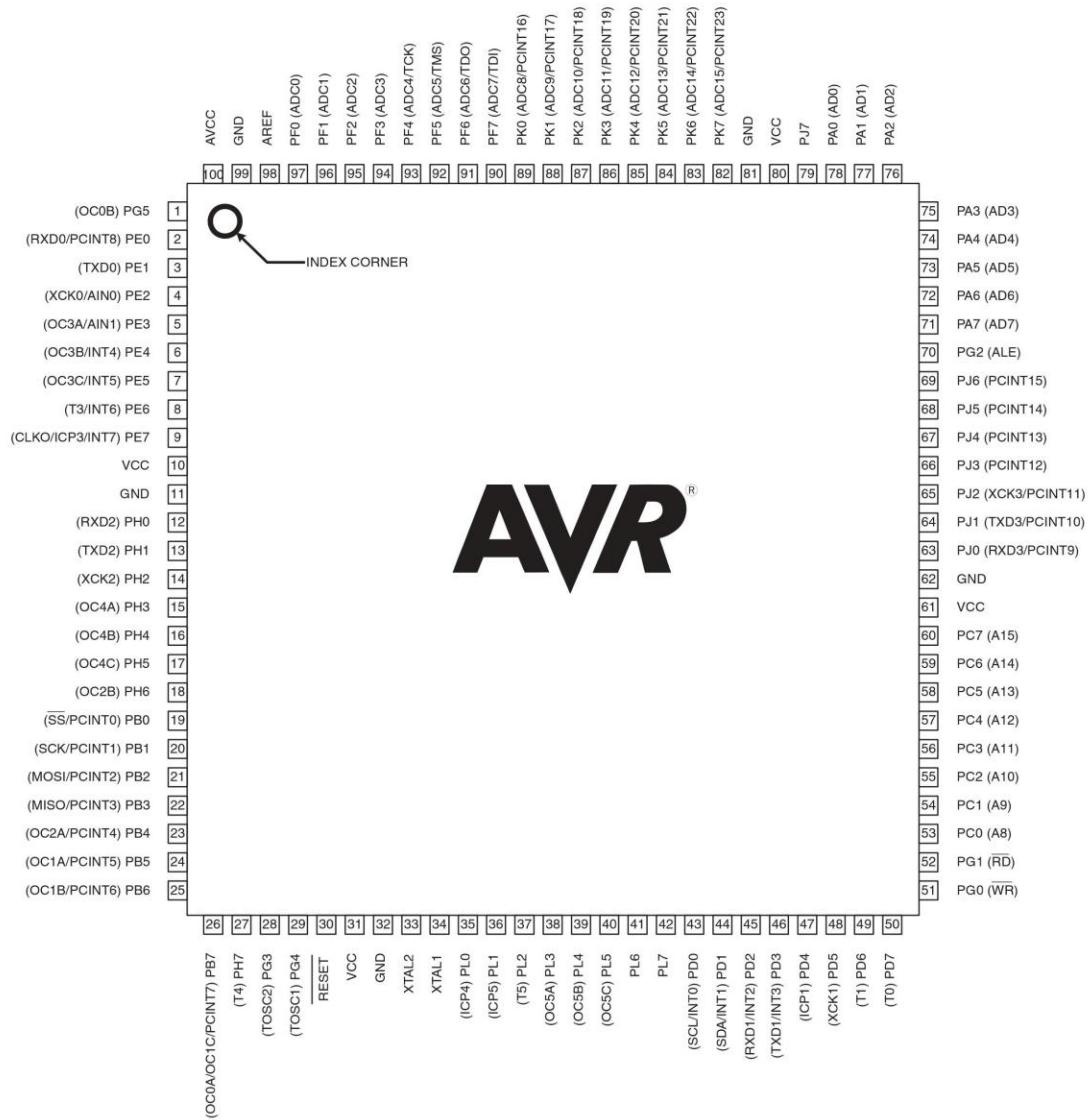


Figure 1-2. CBGA-pinout ATmega640/1280/2560

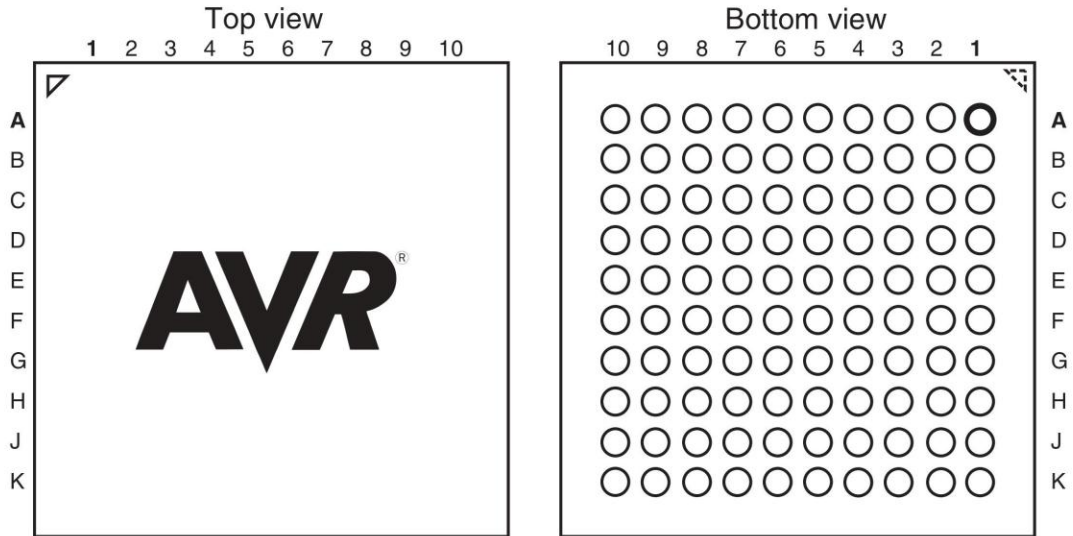
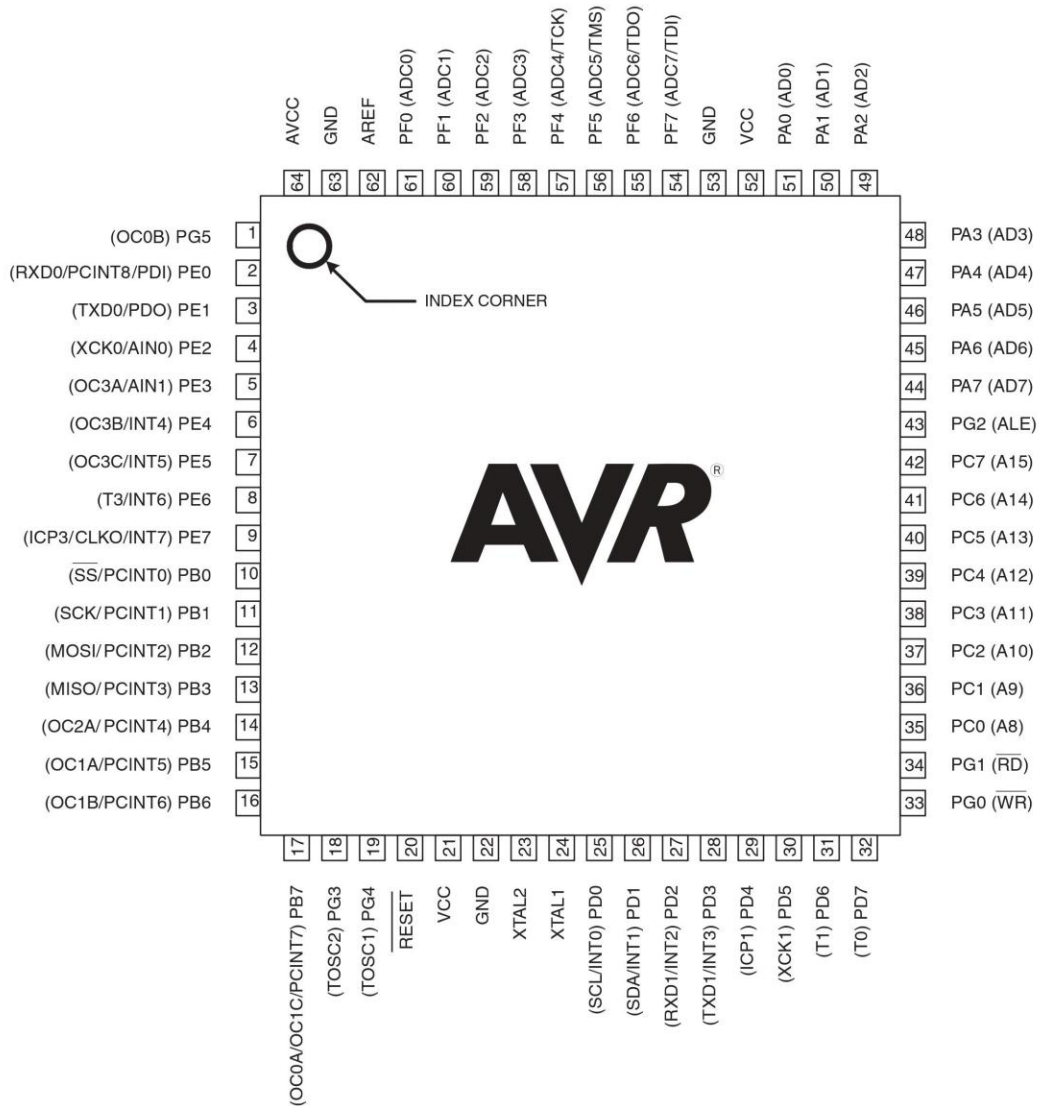


Table 1-1. CBGA-pinout ATmega640/1280/2560

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	GND	AREF	PF0	PF2	PF5	PK0	PK3	PK6	GND	VCC
B	AVCC	PG5	PF1	PF3	PF6	PK1	PK4	PK7	PA0	PA2
C	PE2	PE0	PE1	PF4	PF7	PK2	PK5	PJ7	PA1	PA3
D	PE3	PE4	PE5	PE6	PH2	PA4	PA5	PA6	PA7	PG2
E	PE7	PH0	PH1	PH3	PH5	PJ6	PJ5	PJ4	PJ3	PJ2
F	VCC	PH4	PH6	PB0	PL4	PD1	PJ1	PJ0	PC7	GND
G	GND	PB1	PB2	PB5	PL2	PD0	PD5	PC5	PC6	VCC
H	PB3	PB4	RESET	PL1	PL3	PL7	PD4	PC4	PC3	PC2
J	PH7	PG3	PB6	PL0	XTAL2	PL6	PD3	PC1	PC0	PG1
K	PB7	PG4	VCC	GND	XTAL1	PL5	PD2	PD6	PD7	PG0

Note: The functions for each pin is the same as for the 100 pin packages shown in [Figure 1-1 on page 2](#).

Figure 1-3. Pinout ATmega1281/2561



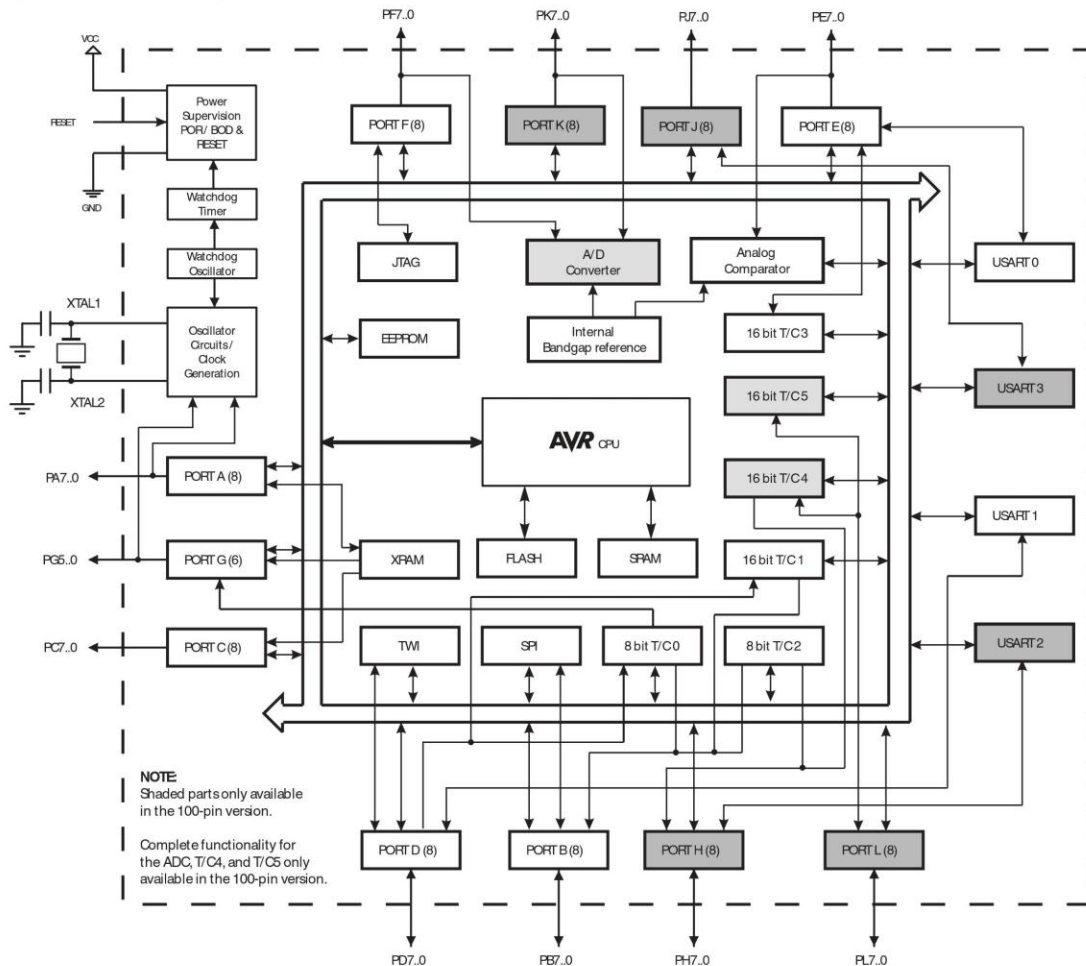
Note: The large center pad underneath the QFN/MLF package is made of metal and internally connected to GND. It should be soldered or glued to the board to ensure good mechanical stability. If the center pad is left unconnected, the package might loosen from the board.

2. Overview

The ATmega640/1280/1281/2560/2561 is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR enhanced RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the ATmega640/1280/1281/2560/2561 achieves throughputs approaching 1 MIPS per MHz allowing the system designer to optimize power consumption versus processing speed.

2.1 Block Diagram

Figure 2-1. Block Diagram



The Atmel® AVR® core combines a rich instruction set with 32 general purpose working registers. All the 32 registers are directly connected to the Arithmetic Logic Unit (ALU), allowing two independent registers to be accessed in one single instruction executed in one clock cycle. The resulting architecture is more code efficient while achieving throughputs up to ten times faster than conventional CISC microcontrollers.

The ATmega640/1280/1281/2560/2561 provides the following features: 64K/128K/256K bytes of In-System Programmable Flash with Read-While-Write capabilities, 4Kbytes EEPROM, 8Kbytes SRAM, 54/86 general purpose I/O lines, 32 general purpose working registers, Real Time Counter (RTC), six flexible Timer/Counters with compare modes and PWM, four USARTs, a byte oriented 2-wire Serial Interface, a 16-channel, 10-bit ADC with optional differential input stage with programmable gain, programmable Watchdog Timer with Internal Oscillator, an SPI serial port, IEEE® std. 1149.1 compliant JTAG test interface, also used for accessing the On-chip Debug system and programming and six software selectable power saving modes. The Idle mode stops the CPU while allowing the SRAM, Timer/Counters, SPI port, and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the register contents but freezes the Oscillator, disabling all other chip functions until the next interrupt or Hardware Reset. In Power-save mode, the asynchronous timer continues to run, allowing the user to maintain a timer base while the rest of the device is sleeping. The ADC Noise Reduction mode stops the CPU and all I/O modules except Asynchronous Timer and ADC, to minimize switching noise during ADC conversions. In Standby mode, the Crystal/Resonator Oscillator is running while the rest of the device is sleeping. This allows very fast start-up combined with low power consumption. In Extended Standby mode, both the main Oscillator and the Asynchronous Timer continue to run.

Atmel offers the QTouch® library for embedding capacitive touch buttons, sliders and wheels functionality into AVR microcontrollers. The patented charge-transfer signal acquisition offers robust sensing and includes fully debounced reporting of touch keys and includes Adjacent Key Suppression® (AKS®) technology for unambiguous detection of key events. The easy-to-use QTouch Suite toolchain allows you to explore, develop and debug your own touch applications.

The device is manufactured using the Atmel high-density nonvolatile memory technology. The On-chip ISP Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system through an SPI serial interface, by a conventional non-volatile memory programmer, or by an On-chip Boot program running on the AVR core. The boot program can use any interface to download the application program in the application Flash memory. Software in the Boot Flash section will continue to run while the Application Flash section is updated, providing true Read-While-Write operation. By combining an 8-bit RISC CPU with In-System Self-Programmable Flash on a monolithic chip, the Atmel ATmega640/1280/1281/2560/2561 is a powerful microcontroller that provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

The ATmega640/1280/1281/2560/2561 AVR is supported with a full suite of program and system development tools including: C compilers, macro assemblers, program debugger/simulators, in-circuit emulators, and evaluation kits.

2.2 Comparison Between ATmega1281/2561 and ATmega640/1280/2560

Each device in the ATmega640/1280/1281/2560/2561 family differs only in memory size and number of pins. [Table 2-1](#) summarizes the different configurations for the six devices.

Table 2-1. Configuration Summary

Device	Flash	EEPROM	RAM	General Purpose I/O pins	16 bits resolution PWM channels	Serial USARTs	ADC Channels
ATmega640	64KB	4KB	8KB	86	12	4	16
ATmega1280	128KB	4KB	8KB	86	12	4	16
ATmega1281	128KB	4KB	8KB	54	6	2	8
ATmega2560	256KB	4KB	8KB	86	12	4	16
ATmega2561	256KB	4KB	8KB	54	6	2	8

2.3 Pin Descriptions

2.3.1 VCC

Digital supply voltage.

2.3.2 GND

Ground.

2.3.3 Port A (PA7..PA0)

Port A is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port A output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port A pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port A pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port A also serves the functions of various special features of the ATmega640/1280/1281/2560/2561 as listed on [page 75](#).

2.3.4 Port B (PB7..PB0)

Port B is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port B output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port B pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port B pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port B has better driving capabilities than the other ports.

Port B also serves the functions of various special features of the ATmega640/1280/1281/2560/2561 as listed on [page 76](#).

2.3.5 Port C (PC7..PC0)

Port C is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port C output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port C pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port C pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port C also serves the functions of special features of the ATmega640/1280/1281/2560/2561 as listed on [page 79](#).

2.3.6 Port D (PD7..PD0)

Port D is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port D output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port D pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port D pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port D also serves the functions of various special features of the ATmega640/1280/1281/2560/2561 as listed on [page 80](#).

2.3.7 Port E (PE7..PE0)

Port E is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port E output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port E pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port E pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port E also serves the functions of various special features of the ATmega640/1280/1281/2560/2561 as listed on [page 82](#).

2.3.8 Port F (PF7..PF0)

Port F serves as analog inputs to the A/D Converter.

Port F also serves as an 8-bit bi-directional I/O port, if the A/D Converter is not used. Port pins can provide internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port F output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port F pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port F pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running. If the JTAG interface is enabled, the pull-up resistors on pins PF7(TDI), PF5(TMS), and PF4(TCK) will be activated even if a reset occurs.

Port F also serves the functions of the JTAG interface.

2.3.9 Port G (PG5..PG0)

Port G is a 6-bit I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port G output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port G pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port G pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port G also serves the functions of various special features of the ATmega640/1280/1281/2560/2561 as listed on [page 86](#).

2.3.10 Port H (PH7..PH0)

Port H is a 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port H output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port H pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port H pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port H also serves the functions of various special features of the ATmega640/1280/2560 as listed on [page 88](#).

2.3.11 Port J (PJ7..PJ0)

Port J is a 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port J output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port J pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port J pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running. Port J also serves the functions of various special features of the ATmega640/1280/2560 as listed on [page 90](#).

2.3.12 Port K (PK7..PK0)

Port K serves as analog inputs to the A/D Converter.

Port K is a 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port K output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port K pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port K pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port K also serves the functions of various special features of the ATmega640/1280/2560 as listed on [page 92](#).

2.3.13 Port L (PL7..PL0)

Port L is a 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port L output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port L pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port L pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port L also serves the functions of various special features of the ATmega640/1280/2560 as listed on [page 94](#).

2.3.14 $\overline{\text{RESET}}$

Reset input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a reset, even if the clock is not running. The minimum pulse length is given in “[System and Reset Characteristics](#)” on [page 360](#). Shorter pulses are not guaranteed to generate a reset.

2.3.15 XTAL1

Input to the inverting Oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

2.3.16 XTAL2

Output from the inverting Oscillator amplifier.

2.3.17 AVCC

AVCC is the supply voltage pin for Port F and the A/D Converter. It should be externally connected to V_{CC} , even if the ADC is not used. If the ADC is used, it should be connected to V_{CC} through a low-pass filter.

2.3.18 AREF

This is the analog reference pin for the A/D Converter.

3. Resources

A comprehensive set of development tools and application notes, and datasheets are available for download on <http://www.atmel.com/avr>.

4. About Code Examples

This documentation contains simple code examples that briefly show how to use various parts of the device. Be aware that not all C compiler vendors include bit definitions in the header files and interrupt handling in C is compiler dependent. Confirm with the C compiler documentation for more details.

These code examples assume that the part specific header file is included before compilation. For I/O registers located in extended I/O map, "IN", "OUT", "SBIS", "SBIC", "CBI", and "SBI" instructions must be replaced with instructions that allow access to extended I/O. Typically "LDS" and "STS" combined with "SBRS", "SBRC", "SBR", and "CBR".

5. Data Retention

Reliability Qualification results show that the projected data retention failure rate is much less than 1 ppm over 20 years at 85°C or 100 years at 25°C.

6. Capacitive touch sensing

The Atmel® QTouch® Library provides a simple to use solution to realize touch sensitive interfaces on most Atmel AVR® microcontrollers. The QTouch Library includes support for the QTouch and QMatrix acquisition methods.

Touch sensing can be added to any application by linking the appropriate Atmel QTouch Library for the AVR Microcontroller. This is done by using a simple set of APIs to define the touch channels and sensors, and then calling the touch sensing API's to retrieve the channel information and determine the touch sensor states.

The QTouch Library is FREE and downloadable from the Atmel website at the following location: www.atmel.com/qtouchlibrary. For implementation details and other information, refer to the [Atmel QTouch Library User Guide](#) - also available for download from the Atmel website.

7. Register Summary

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Page
(0x1FF)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
...	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x13F)	Reserved									
(0x13E)	Reserved									
(0x13D)	Reserved									
(0x13C)	Reserved									
(0x13B)	Reserved									
(0x13A)	Reserved									
(0x139)	Reserved									
(0x138)	Reserved									
(0x137)	Reserved									
(0x136)	UDR3	USART3 I/O Data Register								page 218
(0x135)	UBRR3H	-	-	-	-	-	-	-	-	page 222
(0x134)	UBRR3L	USART3 Baud Rate Register Low Byte								page 222
(0x133)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x132)	UCSR3C	UMSEL31	UMSEL30	UPM31	UPM30	USBS3	UCSZ31	UCSZ30	UCPOL3	page 235
(0x131)	UCSR3B	RXCIE3	TXCIE3	UDRIE3	RXEN3	TXEN3	UCSZ32	RXB83	TXB83	page 234
(0x130)	UCSR3A	RXC3	TXC3	UDRE3	FE3	DOR3	UPE3	U2X3	MPCM3	page 233
(0x12F)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x12E)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x12D)	OCR5CH	Timer/Counter5 - Output Compare Register C High Byte								page 160
(0x12C)	OCR5CL	Timer/Counter5 - Output Compare Register C Low Byte								page 160
(0x12B)	OCR5BH	Timer/Counter5 - Output Compare Register B High Byte								page 160
(0x12A)	OCR5BL	Timer/Counter5 - Output Compare Register B Low Byte								page 160
(0x129)	OCR5AH	Timer/Counter5 - Output Compare Register A High Byte								page 160
(0x128)	OCR5AL	Timer/Counter5 - Output Compare Register A Low Byte								page 160
(0x127)	ICR5H	Timer/Counter5 - Input Capture Register High Byte								page 161
(0x126)	ICR5L	Timer/Counter5 - Input Capture Register Low Byte								page 161
(0x125)	TCNT5H	Timer/Counter5 - Counter Register High Byte								page 158
(0x124)	TCNT5L	Timer/Counter5 - Counter Register Low Byte								page 158
(0x123)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x122)	TCCR5C	FOC5A	FOC5B	FOC5C	-	-	-	-	-	page 157
(0x121)	TCCR5B	ICNC5	ICES5	-	WGM53	WGM52	CS52	CS51	CS50	page 156
(0x120)	TCCR5A	COM5A1	COM5A0	COM5B1	COM5B0	COM5C1	COM5C0	WGM51	WGM50	page 154
(0x11F)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x11E)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x11D)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x11C)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x11B)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x11A)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x119)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x118)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x117)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x116)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x115)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x114)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x113)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x112)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x111)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x110)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x10F)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x10E)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x10D)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x10C)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x10B)	PORTL	PORTL7	PORTL6	PORTL5	PORTL4	PORTL3	PORTL2	PORTL1	PORTL0	page 100
(0x10A)	DDRL	DDL7	DDL6	DDL5	DDL4	DDL3	DDL2	DDL1	DDL0	page 100
(0x109)	PINL	PINL7	PINL6	PINL5	PINL4	PINL3	PINL2	PINL1	PINL0	page 100
(0x108)	PORTK	PORTK7	PORTK6	PORTK5	PORTK4	PORTK3	PORTK2	PORTK1	PORTK0	page 99
(0x107)	DDRK	DDK7	DDK6	DDK5	DDK4	DDK3	DDK2	DDK1	DDK0	page 99
(0x106)	PINK	PINK7	PINK6	PINK5	PINK4	PINK3	PINK2	PINK1	PINK0	page 99
(0x105)	PORTJ	PORTJ7	PORTJ6	PORTJ5	PORTJ4	PORTJ3	PORTJ2	PORTJ1	PORTJ0	page 99
(0x104)	DDRJ	DDJ7	DDJ6	DDJ5	DDJ4	DDJ3	DDJ2	DDJ1	DDJ0	page 99
(0x103)	PINJ	PINJ7	PINJ6	PINJ5	PINJ4	PINJ3	PINJ2	PINJ1	PINJ0	page 99
(0x102)	PORTH	PORTH7	PORTH6	PORTH5	PORTH4	PORTH3	PORTH2	PORTH1	PORTH0	page 98
(0x101)	DDRH	DDH7	DDH6	DDH5	DDH4	DDH3	DDH2	DDH1	DDH0	page 99

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Page
(0x100)	PINH	PINH7	PINH6	PINH5	PINH4	PINH3	PINH2	PINH1	PINH0	page 99
(0xFF)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xFE)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xFD)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xFC)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xFB)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xFA)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xF9)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xF8)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xF7)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xF6)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xF5)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xF4)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xF3)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xF2)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xF1)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xF0)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xEF)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xEE)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xED)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xEC)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xEB)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xEA)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xE9)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xE8)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xE7)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xE6)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xE5)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xE4)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xE3)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xE2)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xE1)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xE0)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xDF)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xDE)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xDD)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xDC)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xDB)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xDA)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xD9)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xD8)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xD7)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xD6)	UDR2	USART2 I/O Data Register								page 218
(0xD5)	UBRR2H	USART2 Baud Rate Register High Byte								page 222
(0xD4)	UBRR2L	USART2 Baud Rate Register Low Byte								page 222
(0xD3)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xD2)	UCSR2C	UMSEL21	UMSEL20	UPM21	UPM20	USBS2	UCSZ21	UCSZ20	UCPOL2	page 235
(0xD1)	UCSR2B	RXCIE2	TXCIE2	UDRIE2	RXEN2	TXEN2	UCSZ22	RXB82	TXB82	page 234
(0xD0)	UCSR2A	RXC2	TXC2	UDRE2	FE2	DOR2	UPE2	U2X2	MPCM2	page 233
(0xCF)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xCE)	UDR1	USART1 I/O Data Register								page 218
(0xCD)	UBRR1H	USART1 Baud Rate Register High Byte								page 222
(0xCC)	UBRR1L	USART1 Baud Rate Register Low Byte								page 222
(0xCB)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xCA)	UCSR1C	UMSEL11	UMSEL10	UPM11	UPM10	USBS1	UCSZ11	UCSZ10	UCPOL1	page 235
(0xC9)	UCSR1B	RXCIE1	TXCIE1	UDRIE1	RXEN1	TXEN1	UCSZ12	RXB81	TXB81	page 234
(0xC8)	UCSR1A	RXC1	TXC1	UDRE1	FE1	DOR1	UPE1	U2X1	MPCM1	page 233
(0xC7)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xC6)	UDR0	USART0 I/O Data Register								page 218
(0xC5)	UBRR0H	USART0 Baud Rate Register High Byte								page 222
(0xC4)	UBRR0L	USART0 Baud Rate Register Low Byte								page 222
(0xC3)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xC2)	UCSR0C	UMSEL01	UMSEL00	UPM01	UPM00	USBS0	UCSZ01	UCSZ00	UCPOL0	page 235
(0xC1)	UCSR0B	RXCIE0	TXCIE0	UDRIE0	RXEN0	TXEN0	UCSZ02	RXB80	TXB80	page 234
(0xC0)	UCSR0A	RXC0	TXC0	UDRE0	FE0	DOR0	UPE0	U2X0	MPCM0	page 234
(0xBF)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xBE)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xBD)	TWAMR	TWAM6	TWAM5	TWAM4	TWAM3	TWAM2	TWAM1	TWAM0	-	page 264

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Page
(0xB3)	TWCR	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	-	TWIE	page 261
(0xBB)	TWDR	2-wire Serial Interface Data Register								page 263
(0xBA)	TWAR	TWA6	TWA5	TWA4	TWA3	TWA2	TWA1	TWA0	TWGCE	page 263
(0xB9)	TWSR	TWS7	TWS6	TWS5	TWS4	TWS3	-	TWPS1	TWPS0	page 262
(0xB8)	TWBR	2-wire Serial Interface Bit Rate Register								page 261
(0xB7)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xB6)	ASSR	-	EXCLK	AS2	TCN2UB	OCR2AUB	OCR2BUB	TCR2AUB	TCR2BUB	page 179
(0xB5)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xB4)	OCR2B	Timer/Counter2 Output Compare Register B								page 186
(0xB3)	OCR2A	Timer/Counter2 Output Compare Register A								page 186
(0xB2)	TCNT2	Timer/Counter2 (8 Bit)								page 186
(0xB1)	TCCR2B	FOC2A	FOC2B	-	-	WGM22	CS22	CS21	CS20	page 185
(0xB0)	TCCR2A	COM2A1	COM2A0	COM2B1	COM2B0	-	-	WGM21	WGM20	page 186
(0xAF)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xAE)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xAD)	OCR4CH	Timer/Counter4 - Output Compare Register C High Byte								page 160
(0xAC)	OCR4CL	Timer/Counter4 - Output Compare Register C Low Byte								page 160
(0xAB)	OCR4BH	Timer/Counter4 - Output Compare Register B High Byte								page 160
(0xAA)	OCR4BL	Timer/Counter4 - Output Compare Register B Low Byte								page 160
(0xA9)	OCR4AH	Timer/Counter4 - Output Compare Register A High Byte								page 159
(0xA8)	OCR4AL	Timer/Counter4 - Output Compare Register A Low Byte								page 159
(0xA7)	ICR4H	Timer/Counter4 - Input Capture Register High Byte								page 161
(0xA6)	ICR4L	Timer/Counter4 - Input Capture Register Low Byte								page 161
(0xA5)	TCNT4H	Timer/Counter4 - Counter Register High Byte								page 158
(0xA4)	TCNT4L	Timer/Counter4 - Counter Register Low Byte								page 158
(0xA3)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xA2)	TCCR4C	FOC4A	FOC4B	FOC4C	-	-	-	-	-	page 157
(0xA1)	TCCR4B	ICNC4	ICES4	-	WGM43	WGM42	CS42	CS41	CS40	page 156
(0xA0)	TCCR4A	COM4A1	COM4A0	COM4B1	COM4B0	COM4C1	COM4C0	WGM41	WGM40	page 154
(0x9F)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x9E)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x9D)	OCR3CH	Timer/Counter3 - Output Compare Register C High Byte								page 159
(0x9C)	OCR3CL	Timer/Counter3 - Output Compare Register C Low Byte								page 159
(0x9B)	OCR3BH	Timer/Counter3 - Output Compare Register B High Byte								page 159
(0x9A)	OCR3BL	Timer/Counter3 - Output Compare Register B Low Byte								page 159
(0x99)	OCR3AH	Timer/Counter3 - Output Compare Register A High Byte								page 159
(0x98)	OCR3AL	Timer/Counter3 - Output Compare Register A Low Byte								page 159
(0x97)	ICR3H	Timer/Counter3 - Input Capture Register High Byte								page 161
(0x96)	ICR3L	Timer/Counter3 - Input Capture Register Low Byte								page 161
(0x95)	TCNT3H	Timer/Counter3 - Counter Register High Byte								page 158
(0x94)	TCNT3L	Timer/Counter3 - Counter Register Low Byte								page 158
(0x93)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x92)	TCCR3C	FOC3A	FOC3B	FOC3C	-	-	-	-	-	page 157
(0x91)	TCCR3B	ICNC3	ICES3	-	WGM33	WGM32	CS32	CS31	CS30	page 156
(0x90)	TCCR3A	COM3A1	COM3A0	COM3B1	COM3B0	COM3C1	COM3C0	WGM31	WGM30	page 154
(0x8F)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x8E)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x8D)	OCR1CH	Timer/Counter1 - Output Compare Register C High Byte								page 159
(0x8C)	OCR1CL	Timer/Counter1 - Output Compare Register C Low Byte								page 159
(0x8B)	OCR1BH	Timer/Counter1 - Output Compare Register B High Byte								page 159
(0x8A)	OCR1BL	Timer/Counter1 - Output Compare Register B Low Byte								page 159
(0x89)	OCR1AH	Timer/Counter1 - Output Compare Register A High Byte								page 159
(0x88)	OCR1AL	Timer/Counter1 - Output Compare Register A Low Byte								page 159
(0x87)	ICR1H	Timer/Counter1 - Input Capture Register High Byte								page 160
(0x86)	ICR1L	Timer/Counter1 - Input Capture Register Low Byte								page 160
(0x85)	TCNT1H	Timer/Counter1 - Counter Register High Byte								page 158
(0x84)	TCNT1L	Timer/Counter1 - Counter Register Low Byte								page 158
(0x83)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x82)	TCCR1C	FOC1A	FOC1B	FOC1C	-	-	-	-	-	page 157
(0x81)	TCCR1B	ICNC1	ICES1	-	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10	page 156
(0x80)	TCCR1A	COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	COM1C1	COM1C0	WGM11	WGM10	page 154
(0x7F)	DIDR1	-	-	-	-	-	-	AIN1D	AIN0D	page 267
(0x7E)	DIDR0	ADC7D	ADC6D	ADC5D	ADC4D	ADC3D	ADC2D	ADC1D	ADC0D	page 287
(0x7D)	DIDR2	ADC15D	ADC14D	ADC13D	ADC12D	ADC11D	ADC10D	ADC9D	ADC8D	page 288
(0x7C)	ADMUX	REFS1	REFS0	ADLAR	MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0	page 281
(0x7B)	ADCSRB	-	ACME	-	-	MUX5	ADTS2	ADTS1	ADTS0	page 266, 282, 287
(0x7A)	ADCSRA	ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0	page 285
(0x79)	ADCH	ADC Data Register High byte								page 286

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Page
(0x78)	ADCL	ADC Data Register Low byte								page 286
(0x77)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x76)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x75)	XMCRB	XMBK	-	-	-	-	XMM2	XMM1	XMM0	page 38
(0x74)	XMCRB	SRE	SRL2	SRL1	SRL0	SRW11	SRW10	SRW01	SRW00	page 36
(0x73)	TIMSK5	-	-	ICIE5	-	OCIE5C	OCIE5B	OCIE5A	TOIE5	page 162
(0x72)	TIMSK4	-	-	ICIE4	-	OCIE4C	OCIE4B	OCIE4A	TOIE4	page 161
(0x71)	TIMSK3	-	-	ICIE3	-	OCIE3C	OCIE3B	OCIE3A	TOIE3	page 161
(0x70)	TIMSK2	-	-	-	-	-	OCIE2B	OCIE2A	TOIE2	page 188
(0x6F)	TIMSK1	-	-	ICIE1	-	OCIE1C	OCIE1B	OCIE1A	TOIE1	page 161
(0x6E)	TIMSK0	-	-	-	-	-	OCIE0B	OCIE0A	TOIE0	page 131
(0x6D)	PCMSK2	PCINT23	PCINT22	PCINT21	PCINT20	PCINT19	PCINT18	PCINT17	PCINT16	page 113
(0x6C)	PCMSK1	PCINT15	PCINT14	PCINT13	PCINT12	PCINT11	PCINT10	PCINT9	PCINT8	page 113
(0x6B)	PCMSK0	PCINT7	PCINT6	PCINT5	PCINT4	PCINT3	PCINT2	PCINT1	PCINT0	page 114
(0x6A)	EICRB	ISC71	ISC70	ISC61	ISC60	ISC51	ISC50	ISC41	ISC40	page 110
(0x69)	EICRA	ISC31	ISC30	ISC21	ISC20	ISC11	ISC10	ISC01	ISC00	page 110
(0x68)	PCICR	-	-	-	-	-	PCIE2	PCIE1	PCIE0	page 112
(0x67)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x66)	OSCCAL	Oscillator Calibration Register								page 48
(0x65)	PRR1	-	-	PRTIM5	PRTIM4	PRTIM3	PRUSART3	PRUSART2	PRUSART1	page 56
(0x64)	PRR0	PRTWI	PRTIM2	PRTIM0	-	PRTIM1	PRSPI	PRUSART0	PRADC	page 55
(0x63)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x62)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x61)	CLKPR	CLKPCE	-	-	-	CLKPS3	CLKPS2	CLKPS1	CLKPS0	page 48
(0x60)	WDTCSR	WDIF	WDIE	WDP3	WDCE	WDE	WDP2	WDP1	WDP0	page 65
0x3F (0x5F)	SREG	I	T	H	S	V	N	Z	C	page 13
0x3E (0x5E)	SPH	SP15	SP14	SP13	SP12	SP11	SP10	SP9	SP8	page 15
0x3D (0x5D)	SPL	SP7	SP6	SP5	SP4	SP3	SP2	SP1	SP0	page 15
0x3C (0x5C)	EIND	-	-	-	-	-	-	-	EIND0	page 16
0x3B (0x5B)	RAMPZ	-	-	-	-	-	-	RAMPZ1	RAMPZ0	page 16
0x3A (0x5A)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
0x39 (0x59)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
0x38 (0x58)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
0x37 (0x57)	SPMCSR	SPMIE	RWWSB	SIGRD	RWWSRE	BLBSET	PGWRT	PGERS	SPMEN	page 323
0x36 (0x56)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
0x35 (0x55)	MCUCR	JTD	-	-	PUD	-	-	IVSEL	IVCE	page 64, 108, 96, 301
0x34 (0x54)	MCUSR	-	-	-	JTRF	WDRF	BORF	EXTRF	PORF	page 301
0x33 (0x53)	SMCR	-	-	-	-	SM2	SM1	SM0	SE	page 50
0x32 (0x52)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
0x31 (0x51)	OCDR	OCDR7	OCDR6	OCDR5	OCDR4	OCDR3	OCDR2	OCDR1	OCDR0	page 294
0x30 (0x50)	ACSR	ACD	ACBG	ACO	ACI	ACIE	ACIC	ACIS1	ACIS0	page 266
0x2F (0x4F)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
0x2E (0x4E)	SPDR	SPI Data Register								page 199
0x2D (0x4D)	SPSR	SPIF	WCOL	-	-	-	-	-	SPI2X	page 198
0x2C (0x4C)	SPCR	SPIE	SPE	DORD	MSTR	CPOL	CPHA	SPR1	SPR0	page 197
0x2B (0x4B)	GPOR2	General Purpose I/O Register 2								page 36
0x2A (0x4A)	GPOR1	General Purpose I/O Register 1								page 36
0x29 (0x49)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
0x28 (0x48)	OCR0B	Timer/Counter0 Output Compare Register B								page 130
0x27 (0x47)	OCR0A	Timer/Counter0 Output Compare Register A								page 130
0x26 (0x46)	TCNT0	Timer/Counter0 (8 Bit)								page 130
0x25 (0x45)	TCCR0B	FOC0A	FOC0B	-	-	WGM02	CS02	CS01	CS00	page 129
0x24 (0x44)	TCCR0A	COM0A1	COM0A0	COM0B1	COM0B0	-	-	WGM01	WGM00	page 126
0x23 (0x43)	GTCCR	TSM	-	-	-	-	-	PSRASY	PSRSYNC	page 166, 189
0x22 (0x42)	EEARH	EEPROM Address Register High Byte								page 34
0x21 (0x41)	EEARL	EEPROM Address Register Low Byte								page 34
0x20 (0x40)	EEDR	EEPROM Data Register								page 34
0x1F (0x3F)	EEDR	-	-	EEDR1	EEDR0	EEDR7	EEDR6	EEDR5	EEDR4	page 34
0x1E (0x3E)	GPOR0	General Purpose I/O Register 0								page 36
0x1D (0x3D)	EIMSK	INT7	INT6	INT5	INT4	INT3	INT2	INT1	INT0	page 111
0x1C (0x3C)	EIFR	INTF7	INTF6	INTF5	INTF4	INTF3	INTF2	INTF1	INTF0	page 112
0x1B (0x3B)	PCIFR	-	-	-	-	-	PCIF2	PCIF1	PCIF0	page 113
0x1A (0x3A)	TIFR5	-	-	ICF5	-	OCF5C	OCF5B	OCF5A	TOV5	page 162
0x19 (0x39)	TIFR4	-	-	ICF4	-	OCF4C	OCF4B	OCF4A	TOV4	page 162
0x18 (0x38)	TIFR3	-	-	ICF3	-	OCF3C	OCF3B	OCF3A	TOV3	page 162
0x17 (0x37)	TIFR2	-	-	-	-	-	OCF2B	OCF2A	TOV2	page 188
0x16 (0x36)	TIFR1	-	-	ICF1	-	OCF1C	OCF1B	OCF1A	TOV1	page 162
0x15 (0x35)	TIFR0	-	-	-	-	-	OCF0B	OCF0A	TOV0	page 131

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Page
0x14 (0x34)	PORTG	-	-	PORTG5	PORTG4	PORTG3	PORTG2	PORTG1	PORTG0	page 98
0x13 (0x33)	DDRG	-	-	DDG5	DDG4	DDG3	DDG2	DDG1	DDG0	page 98
0x12 (0x32)	PING	-	-	PING5	PING4	PING3	PING2	PING1	PING0	page 98
0x11 (0x31)	PORTF	PORTF7	PORTF6	PORTF5	PORTF4	PORTF3	PORTF2	PORTF1	PORTF0	page 97
0x10 (0x30)	DDRF	DDF7	DDF6	DDF5	DDF4	DDF3	DDF2	DDF1	DDF0	page 98
0x0F (0x2F)	PINF	PINF7	PINF6	PINF5	PINF4	PINF3	PINF2	PINF1	PINF0	page 98
0x0E (0x2E)	PORTE	PORTE7	PORTE6	PORTE5	PORTE4	PORTE3	PORTE2	PORTE1	PORTE0	page 97
0x0D (0x2D)	DDE	DDE7	DDE6	DDE5	DDE4	DDE3	DDE2	DDE1	DDE0	page 97
0x0C (0x2C)	PINE	PINE7	PINE6	PINE5	PINE4	PINE3	PINE2	PINE1	PINE0	page 98
0x0B (0x2B)	PORTD	PORTD7	PORTD6	PORTD5	PORTD4	PORTD3	PORTD2	PORTD1	PORTD0	page 97
0x0A (0x2A)	DDR	DDD7	DDD6	DDD5	DDD4	DDD3	DDD2	DDD1	DDD0	page 97
0x09 (0x29)	PIND	PIND7	PIND6	PIND5	PIND4	PIND3	PIND2	PIND1	PIND0	page 97
0x08 (0x28)	PORTC	PORTC7	PORTC6	PORTC5	PORTC4	PORTC3	PORTC2	PORTC1	PORTC0	page 97
0x07 (0x27)	DDRC	DDC7	DDC6	DDC5	DDC4	DDC3	DDC2	DDC1	DDC0	page 97
0x06 (0x26)	PINC	PINC7	PINC6	PINC5	PINC4	PINC3	PINC2	PINC1	PINC0	page 97
0x05 (0x25)	PORTB	PORTB7	PORTB6	PORTB5	PORTB4	PORTB3	PORTB2	PORTB1	PORTB0	page 96
0x04 (0x24)	DDRB	DDB7	DDB6	DDB5	DDB4	DDB3	DDB2	DDB1	DDB0	page 96
0x03 (0x23)	PINB	PINB7	PINB6	PINB5	PINB4	PINB3	PINB2	PINB1	PINB0	page 96
0x02 (0x22)	PORTA	PORTA7	PORTA6	PORTA5	PORTA4	PORTA3	PORTA2	PORTA1	PORTA0	page 96
0x01 (0x21)	DDRA	DDA7	DDA6	DDA5	DDA4	DDA3	DDA2	DDA1	DDA0	page 96
0x00 (0x20)	PINA	PINA7	PINA6	PINA5	PINA4	PINA3	PINA2	PINA1	PINA0	page 96

- Notes:
1. For compatibility with future devices, reserved bits should be written to zero if accessed. Reserved I/O memory addresses should never be written.
 2. I/O registers within the address range \$00 - \$1F are directly bit-accessible using the SBI and CBI instructions. In these registers, the value of single bits can be checked by using the SBIS and SBIC instructions.
 3. Some of the status flags are cleared by writing a logical one to them. Note that the CBI and SBI instructions will operate on all bits in the I/O register, writing a one back into any flag read as set, thus clearing the flag. The CBI and SBI instructions work with registers 0x00 to 0x1F only.
 4. When using the I/O specific commands IN and OUT, the I/O addresses \$00 - \$3F must be used. When addressing I/O registers as data space using LD and ST instructions, \$20 must be added to these addresses. The ATmega640/1280/1281/2560/2561 is a complex microcontroller with more peripheral units than can be supported within the 64 location reserved in Opcode for the IN and OUT instructions. For the Extended I/O space from \$60 - \$1FF in SRAM, only the ST/STS/STD and LD/LDS/LDD instructions can be used.

8. Instruction Set Summary

Mnemonics	Operands	Description	Operation	Flags	#Clocks
ARITHMETIC AND LOGIC INSTRUCTIONS					
ADD	Rd, Rr	Add two Registers	$Rd \leftarrow Rd + Rr$	Z, C, N, V, H	1
ADC	Rd, Rr	Add with Carry two Registers	$Rd \leftarrow Rd + Rr + C$	Z, C, N, V, H	1
ADIW	RdI, K	Add Immediate to Word	$Rdh:Rdl \leftarrow Rdh:Rdl + K$	Z, C, N, V, S	2
SUB	Rd, Rr	Subtract two Registers	$Rd \leftarrow Rd - Rr$	Z, C, N, V, H	1
SUBI	Rd, K	Subtract Constant from Register	$Rd \leftarrow Rd - K$	Z, C, N, V, H	1
SBC	Rd, Rr	Subtract with Carry two Registers	$Rd \leftarrow Rd - Rr - C$	Z, C, N, V, H	1
SBCI	Rd, K	Subtract with Carry Constant from Reg.	$Rd \leftarrow Rd - K - C$	Z, C, N, V, H	1
SBIW	RdI, K	Subtract Immediate from Word	$Rdh:Rdl \leftarrow Rdh:Rdl - K$	Z, C, N, V, S	2
AND	Rd, Rr	Logical AND Registers	$Rd \leftarrow Rd \bullet Rr$	Z, N, V	1
ANDI	Rd, K	Logical AND Register and Constant	$Rd \leftarrow Rd \bullet K$	Z, N, V	1
OR	Rd, Rr	Logical OR Registers	$Rd \leftarrow Rd \vee Rr$	Z, N, V	1
ORI	Rd, K	Logical OR Register and Constant	$Rd \leftarrow Rd \vee K$	Z, N, V	1
EOR	Rd, Rr	Exclusive OR Registers	$Rd \leftarrow Rd \oplus Rr$	Z, N, V	1
COM	Rd	One's Complement	$Rd \leftarrow 0xFF - Rd$	Z, C, N, V	1
NEG	Rd	Two's Complement	$Rd \leftarrow 0x00 - Rd$	Z, C, N, V, H	1
SBR	Rd, K	Set Bit(s) in Register	$Rd \leftarrow Rd \vee K$	Z, N, V	1
CBR	Rd, K	Clear Bit(s) in Register	$Rd \leftarrow Rd \bullet (0xFF - K)$	Z, N, V	1
INC	Rd	Increment	$Rd \leftarrow Rd + 1$	Z, N, V	1
DEC	Rd	Decrement	$Rd \leftarrow Rd - 1$	Z, N, V	1
TST	Rd	Test for Zero or Minus	$Rd \leftarrow Rd \bullet Rd$	Z, N, V	1
CLR	Rd	Clear Register	$Rd \leftarrow Rd \oplus Rd$	Z, N, V	1
SER	Rd	Set Register	$Rd \leftarrow 0xFF$	None	1
MUL	Rd, Rr	Multiply Unsigned	$R1:R0 \leftarrow Rd \times Rr$	Z, C	2
MULS	Rd, Rr	Multiply Signed	$R1:R0 \leftarrow Rd \times Rr$	Z, C	2
MULSU	Rd, Rr	Multiply Signed with Unsigned	$R1:R0 \leftarrow Rd \times Rr$	Z, C	2
FMUL	Rd, Rr	Fractional Multiply Unsigned	$R1:R0 \leftarrow (Rd \times Rr) \lll 1$	Z, C	2
FMULS	Rd, Rr	Fractional Multiply Signed	$R1:R0 \leftarrow (Rd \times Rr) \lll 1$	Z, C	2
FMULSU	Rd, Rr	Fractional Multiply Signed with Unsigned	$R1:R0 \leftarrow (Rd \times Rr) \lll 1$	Z, C	2
BRANCH INSTRUCTIONS					
RJMP	k	Relative Jump	$PC \leftarrow PC + k + 1$	None	2
IJMP		Indirect Jump to (Z)	$PC \leftarrow Z$	None	2
EJMP		Extended Indirect Jump to (Z)	$PC \leftarrow (EIND:Z)$	None	2
JMP	k	Direct Jump	$PC \leftarrow k$	None	3
RCALL	k	Relative Subroutine Call	$PC \leftarrow PC + k + 1$	None	4
ICALL		Indirect Call to (Z)	$PC \leftarrow Z$	None	4
EICALL		Extended Indirect Call to (Z)	$PC \leftarrow (EIND:Z)$	None	4
CALL	k	Direct Subroutine Call	$PC \leftarrow k$	None	5
RET		Subroutine Return	$PC \leftarrow STACK$	None	5
RETI		Interrupt Return	$PC \leftarrow STACK$	I	5
CPSE	Rd, Rr	Compare, Skip if Equal	if $(Rd = Rr)$ $PC \leftarrow PC + 2$ or 3	None	1/2/3
CP	Rd, Rr	Compare	$Rd - Rr$	Z, N, V, C, H	1
CPC	Rd, Rr	Compare with Carry	$Rd - Rr - C$	Z, N, V, C, H	1
CPI	Rd, K	Compare Register with Immediate	$Rd - K$	Z, N, V, C, H	1
SBRC	Rr, b	Skip if Bit in Register Cleared	if $(Rr(b)=0)$ $PC \leftarrow PC + 2$ or 3	None	1/2/3
SBRS	Rr, b	Skip if Bit in Register is Set	if $(Rr(b)=1)$ $PC \leftarrow PC + 2$ or 3	None	1/2/3
SBIC	P, b	Skip if Bit in I/O Register Cleared	if $(P(b)=0)$ $PC \leftarrow PC + 2$ or 3	None	1/2/3
SBIS	P, b	Skip if Bit in I/O Register is Set	if $(P(b)=1)$ $PC \leftarrow PC + 2$ or 3	None	1/2/3
BRBS	s, k	Branch if Status Flag Set	if $(SREG(s) = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRBC	s, k	Branch if Status Flag Cleared	if $(SREG(s) = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BREQ	k	Branch if Equal	if $(Z = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRNE	k	Branch if Not Equal	if $(Z = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRCS	k	Branch if Carry Set	if $(C = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRCC	k	Branch if Carry Cleared	if $(C = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRSH	k	Branch if Same or Higher	if $(C = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRLO	k	Branch if Lower	if $(C = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRMI	k	Branch if Minus	if $(N = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRPL	k	Branch if Plus	if $(N = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRGE	k	Branch if Greater or Equal, Signed	if $(N \oplus V = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRLT	k	Branch if Less Than Zero, Signed	if $(N \oplus V = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRHS	k	Branch if Half Carry Flag Set	if $(H = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRHC	k	Branch if Half Carry Flag Cleared	if $(H = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRTS	k	Branch if T Flag Set	if $(T = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRTC	k	Branch if T Flag Cleared	if $(T = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRVS	k	Branch if Overflow Flag is Set	if $(V = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2

Mnemonics	Operands	Description	Operation	Flags	#Clocks
BRVC	k	Branch if Overflow Flag is Cleared	if (V = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1/2
BRIE	k	Branch if Interrupt Enabled	if (I = 1) then PC ← PC + k + 1	None	1/2
BRID	k	Branch if Interrupt Disabled	if (I = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1/2
BIT AND BIT-TEST INSTRUCTIONS					
SBI	P,b	Set Bit in I/O Register	I/O(P,b) ← 1	None	2
CBI	P,b	Clear Bit in I/O Register	I/O(P,b) ← 0	None	2
LSL	Rd	Logical Shift Left	Rd(n+1) ← Rd(n), Rd(0) ← 0	Z, C, N, V	1
LSR	Rd	Logical Shift Right	Rd(n) ← Rd(n+1), Rd(7) ← 0	Z, C, N, V	1
ROL	Rd	Rotate Left Through Carry	Rd(0) ← C, Rd(n+1) ← Rd(n), C ← Rd(7)	Z, C, N, V	1
ROR	Rd	Rotate Right Through Carry	Rd(7) ← C, Rd(n) ← Rd(n+1), C ← Rd(0)	Z, C, N, V	1
ASR	Rd	Arithmetic Shift Right	Rd(n) ← Rd(n+1), n=0..6	Z, C, N, V	1
SWAP	Rd	Swap Nibbles	Rd(3..0) ← Rd(7..4), Rd(7..4) ← Rd(3..0)	None	1
BSET	s	Flag Set	SREG(s) ← 1	SREG(s)	1
BCLR	s	Flag Clear	SREG(s) ← 0	SREG(s)	1
BST	Rr, b	Bit Store from Register to T	T ← Rr(b)	T	1
BLD	Rd, b	Bit load from T to Register	Rd(b) ← T	None	1
SEC		Set Carry	C ← 1	C	1
CLC		Clear Carry	C ← 0	C	1
SEN		Set Negative Flag	N ← 1	N	1
CLN		Clear Negative Flag	N ← 0	N	1
SEZ		Set Zero Flag	Z ← 1	Z	1
CLZ		Clear Zero Flag	Z ← 0	Z	1
SEI		Global Interrupt Enable	I ← 1	I	1
CLI		Global Interrupt Disable	I ← 0	I	1
SES		Set Signed Test Flag	S ← 1	S	1
CLS		Clear Signed Test Flag	S ← 0	S	1
SEV		Set Twos Complement Overflow	V ← 1	V	1
CLV		Clear Twos Complement Overflow	V ← 0	V	1
SET		Set T in SREG	T ← 1	T	1
CLT		Clear T in SREG	T ← 0	T	1
SEH		Set Half Carry Flag in SREG	H ← 1	H	1
CLH		Clear Half Carry Flag in SREG	H ← 0	H	1
DATA TRANSFER INSTRUCTIONS					
MOV	Rd, Rr	Move Between Registers	Rd ← Rr	None	1
MOVW	Rd, Rr	Copy Register Word	Rd+1:Rd ← Rr+1:Rr	None	1
LDI	Rd, K	Load Immediate	Rd ← K	None	1
LD	Rd, X	Load Indirect	Rd ← (X)	None	2
LD	Rd, X+	Load Indirect and Post-Inc.	Rd ← (X), X ← X + 1	None	2
LD	Rd, -X	Load Indirect and Pre-Dec.	X ← X - 1, Rd ← (X)	None	2
LD	Rd, Y	Load Indirect	Rd ← (Y)	None	2
LD	Rd, Y+	Load Indirect and Post-Inc.	Rd ← (Y), Y ← Y + 1	None	2
LD	Rd, -Y	Load Indirect and Pre-Dec.	Y ← Y - 1, Rd ← (Y)	None	2
LDD	Rd, Y+q	Load Indirect with Displacement	Rd ← (Y + q)	None	2
LD	Rd, Z	Load Indirect	Rd ← (Z)	None	2
LD	Rd, Z+	Load Indirect and Post-Inc.	Rd ← (Z), Z ← Z + 1	None	2
LD	Rd, -Z	Load Indirect and Pre-Dec.	Z ← Z - 1, Rd ← (Z)	None	2
LDD	Rd, Z+q	Load Indirect with Displacement	Rd ← (Z + q)	None	2
LDS	Rd, k	Load Direct from SRAM	Rd ← (k)	None	2
ST	X, Rr	Store Indirect	(X) ← Rr	None	2
ST	X+, Rr	Store Indirect and Post-Inc.	(X) ← Rr, X ← X + 1	None	2
ST	-X, Rr	Store indirect and Pre-Dec.	X ← X - 1, (X) ← Rr	None	2
ST	Y, Rr	Store Indirect	(Y) ← Rr	None	2
ST	Y+, Rr	Store Indirect and Post-Inc.	(Y) ← Rr, Y ← Y + 1	None	2
ST	-Y, Rr	Store Indirect and Pre-Dec.	Y ← Y - 1, (Y) ← Rr	None	2
STD	Y+q, Rr	Store Indirect with Displacement	(Y + q) ← Rr	None	2
ST	Z, Rr	Store Indirect	(Z) ← Rr	None	2
ST	Z+, Rr	Store Indirect and Post-Inc.	(Z) ← Rr, Z ← Z + 1	None	2
ST	-Z, Rr	Store Indirect and Pre-Dec.	Z ← Z - 1, (Z) ← Rr	None	2
STD	Z+q, Rr	Store Indirect with Displacement	(Z + q) ← Rr	None	2
STS	k, Rr	Store Direct to SRAM	(k) ← Rr	None	2
LPM		Load Program Memory	R0 ← (Z)	None	3
LPM	Rd, Z	Load Program Memory	Rd ← (Z)	None	3
LPM	Rd, Z+	Load Program Memory and Post-Inc	Rd ← (Z), Z ← Z + 1	None	3
ELPM		Extended Load Program Memory	R0 ← (RAMPZ:Z)	None	3
ELPM	Rd, Z	Extended Load Program Memory	Rd ← (RAMPZ:Z)	None	3
ELPM	Rd, Z+	Extended Load Program Memory	Rd ← (RAMPZ:Z), RAMPZ:Z ← RAMPZ:Z + 1	None	3
SPM		Store Program Memory	(Z) ← R1:R0	None	-
IN	Rd, P	In Port	Rd ← P	None	1

Mnemonics	Operands	Description	Operation	Flags	#Clocks
OUT	P, Rr	Out Port	P ← Rr	None	1
PUSH	Rr	Push Register on Stack	STACK ← Rr	None	2
POP	Rd	Pop Register from Stack	Rd ← STACK	None	2
MCU CONTROL INSTRUCTIONS					
NOP		No Operation		None	1
SLEEP		Sleep	(see specific descr. for Sleep function)	None	1
WDR		Watchdog Reset	(see specific descr. for WDR/timer)	None	1
BREAK		Break	For On-chip Debug Only	None	N/A

Note: EICALL and EIJMP do not exist in ATmega640/1280/1281.
ELPM does not exist in ATmega640.

9. Ordering Information

9.1 ATmega640

Speed [MHz] ⁽²⁾	Power Supply	Ordering Code	Package ⁽¹⁾⁽³⁾	Operation Range
8	1.8 - 5.5V	ATmega640V-8AU	100A	Industrial (-40°C to 85°C)
		ATmega640V-8AUR ⁽⁴⁾	100A	
		ATmega640V-8CU	100C1	
		ATmega640V-8CUR ⁽⁴⁾	100C1	
16	2.7 - 5.5V	ATmega640-16AU	100A	
		ATmega640-16AUR ⁽⁴⁾	100A	
		ATmega640-16CU	100C1	
		ATmega640-16CUR ⁽⁴⁾	100C1	

- Notes:
1. This device can also be supplied in wafer form. Contact your local Atmel sales office for detailed ordering information and minimum quantities.
 2. See "Speed Grades" on page 357.
 3. Pb-free packaging, complies to the European Directive for Restriction of Hazardous Substances (RoHS directive). Also Halide free and fully Green.
 4. Tape & Reel.

Package Type	
100A	100-lead, Thin (1.0mm) Plastic Gull Wing Quad Flat Package (TQFP)
100C1	100-ball, Chip Ball Grid Array (CBGA)

9.2 ATmega1280

Speed [MHz] ⁽²⁾	Power Supply	Ordering Code	Package ⁽¹⁾⁽³⁾	Operation Range
8	1.8V - 5.5V	ATmega1280V-8AU	100A	Industrial (-40°C to 85°C)
		ATmega1280V-8AUR ⁽⁴⁾	100A	
		ATmega1280V-8CU	100C1	
		ATmega1280V-8CUR ⁽⁴⁾	100C1	
16	2.7V - 5.5V	ATmega1280-16AU	100A	
		ATmega1280-16AUR ⁽⁴⁾	100A	
		ATmega1280-16CU	100C1	
		ATmega1280-16CUR ⁽⁴⁾	100C1	

- Notes:
1. This device can also be supplied in wafer form. Contact your local Atmel sales office for detailed ordering information and minimum quantities.
 2. See "Speed Grades" on page 357.
 3. Pb-free packaging, complies to the European Directive for Restriction of Hazardous Substances (RoHS directive). Also Halide free and fully Green.
 4. Tape & Reel.

Package Type	
100A	100-lead, Thin (1.0mm) Plastic Gull Wing Quad Flat Package (TQFP)
100C1	100-ball, Chip Ball Grid Array (CBGA)

9.3 ATmega1281

Speed [MHz] ⁽²⁾	Power Supply	Ordering Code	Package ⁽¹⁾⁽³⁾	Operation Range
8	1.8 - 5.5V	ATmega1281V-8AU ATmega1281V-8AUR ⁽⁴⁾ ATmega1281V-8MU ATmega1281V-8MUR ⁽⁴⁾	64A 64A 64M2 64M2	Industrial (-40°C to 85°C)
16	2.7 - 5.5V	ATmega1281-16AU ATmega1281-16AUR ⁽⁴⁾ ATmega1281-16MU ATmega1281-16MUR ⁽⁴⁾	64A 64A 64M2 64M2	

- Notes:
1. This device can also be supplied in wafer form. Contact your local Atmel sales office for detailed ordering information and minimum quantities.
 2. See "Speed Grades" on page 357.
 3. Pb-free packaging, complies to the European Directive for Restriction of Hazardous Substances (RoHS directive). Also Halide free and fully Green.
 4. Tape & Reel.

Package Type	
64A	64-lead, Thin (1.0mm) Plastic Gull Wing Quad Flat Package (TQFP)
64M2	64-pad, 9mm × 9mm × 1.0mm Body, Quad Flat No-lead/Micro Lead Frame Package (QFN/MLF)

9.4 ATmega2560

Speed [MHz] ⁽²⁾	Power Supply	Ordering Code	Package ⁽¹⁾⁽³⁾	Operation Range
8	1.8V - 5.5V	ATmega2560V-8AU	100A	Industrial (-40°C to 85°C)
		ATmega2560V-8AUR ⁽⁴⁾	100A	
		ATmega2560V-8CU	100C1	
		ATmega2560V-8CUR ⁽⁴⁾	100C1	
16	4.5V - 5.5V	ATmega2560-16AU	100A	
		ATmega2560-16AUR ⁽⁴⁾	100A	
		ATmega2560-16CU	100C1	
		ATmega2560-16CUR ⁽⁴⁾	100C1	

- Notes:
1. This device can also be supplied in wafer form. Contact your local Atmel sales office for detailed ordering information and minimum quantities.
 2. See "Speed Grades" on page 357.
 3. Pb-free packaging, complies to the European Directive for Restriction of Hazardous Substances (RoHS directive). Also Halide free and fully Green.
 4. Tape & Reel.

Package Type	
100A	100-lead, Thin (1.0mm) Plastic Gull Wing Quad Flat Package (TQFP)
100C1	100-ball, Chip Ball Grid Array (CBGA)

9.5 ATmega2561

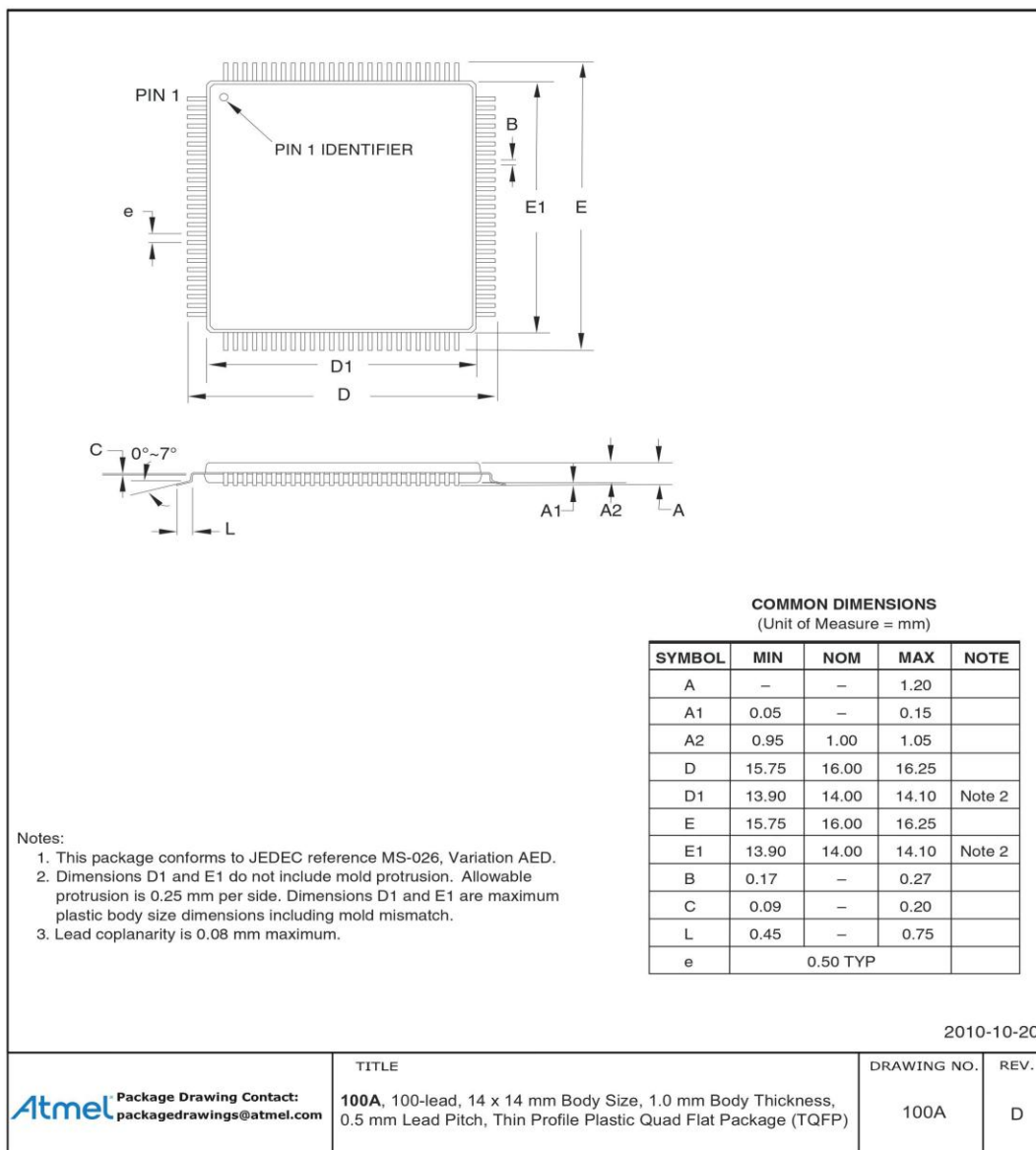
Speed [MHz] ⁽²⁾	Power Supply	Ordering Code	Package ⁽¹⁾⁽³⁾	Operation Range
8	1.8V - 5.5V	ATmega2561V-8AU ATmega2561V-8AUR ⁽⁴⁾ ATmega2561V-8MU ATmega2561V-8MUR ⁽⁴⁾	64A 64A 64M2 64M2	Industrial (-40°C to 85°C)
16	4.5V - 5.5V	ATmega2561-16AU ATmega2561-16AUR ⁽⁴⁾ ATmega2561-16MU ATmega2561-16MUR ⁽⁴⁾	64A 64A 64M2 64M2	

- Notes:
1. This device can also be supplied in wafer form. Contact your local Atmel sales office for detailed ordering information and minimum quantities.
 2. See "Speed Grades" on page 357.
 3. Pb-free packaging, complies to the European Directive for Restriction of Hazardous Substances (RoHS directive). Also Halide free and fully Green.
 4. Tape & Reel.

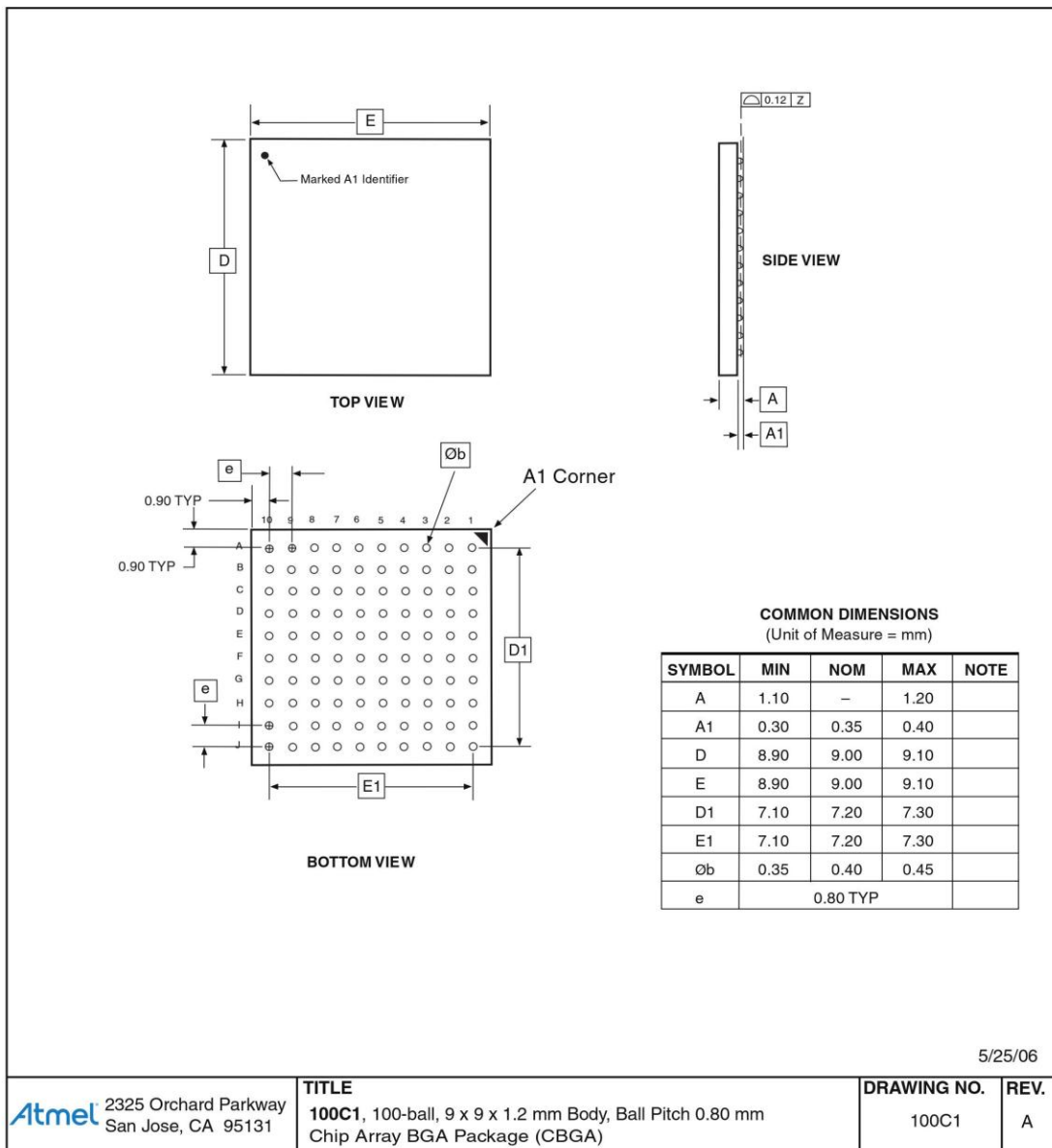
Package Type	
64A	64-lead, Thin (1.0mm) Plastic Gull Wing Quad Flat Package (TQFP)
64M2	64-pad, 9mm × 9mm × 1.0mm Body, Quad Flat No-lead/Micro Lead Frame Package (QFN/MLF)

10. Packaging Information

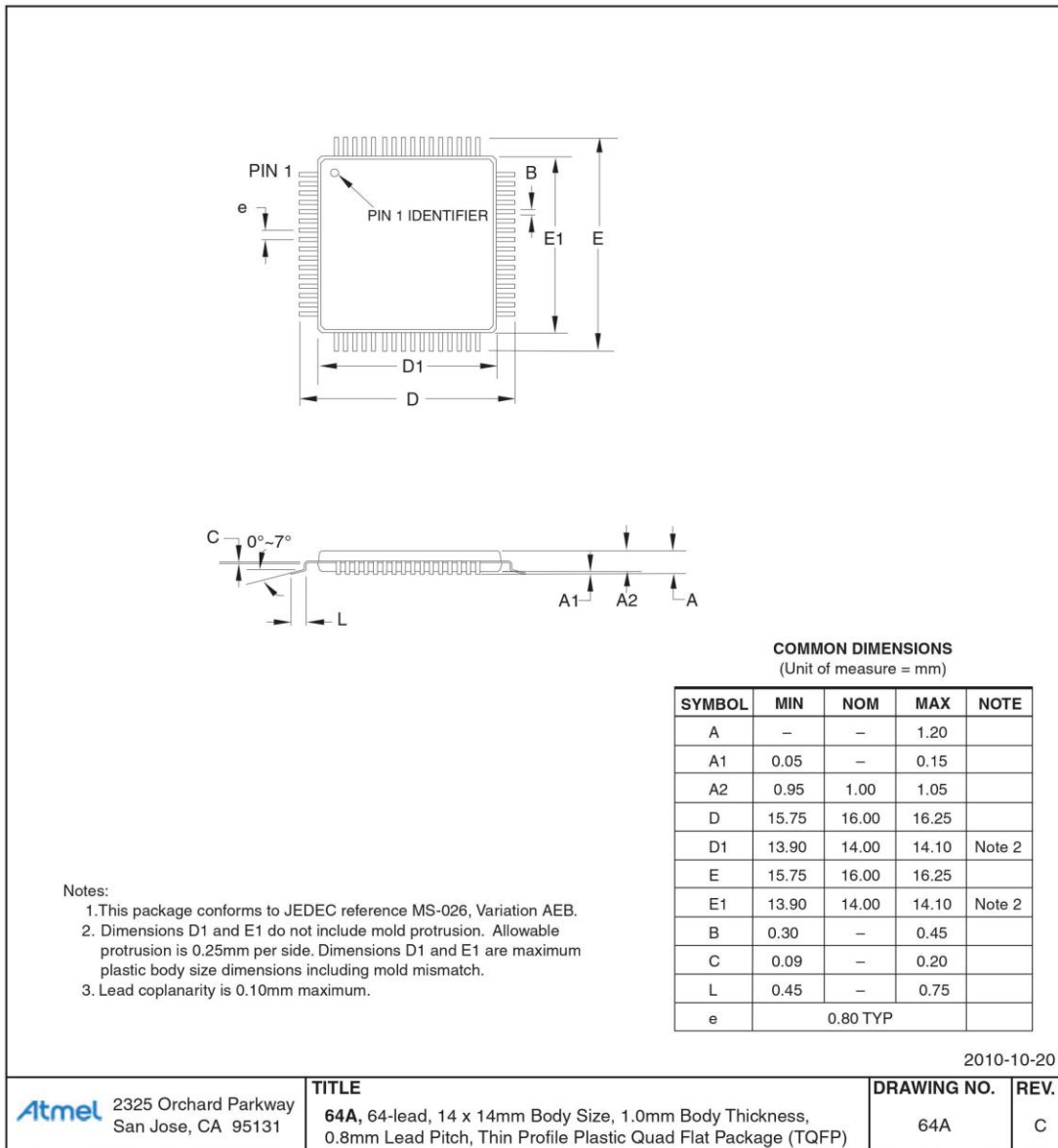
10.1 100A



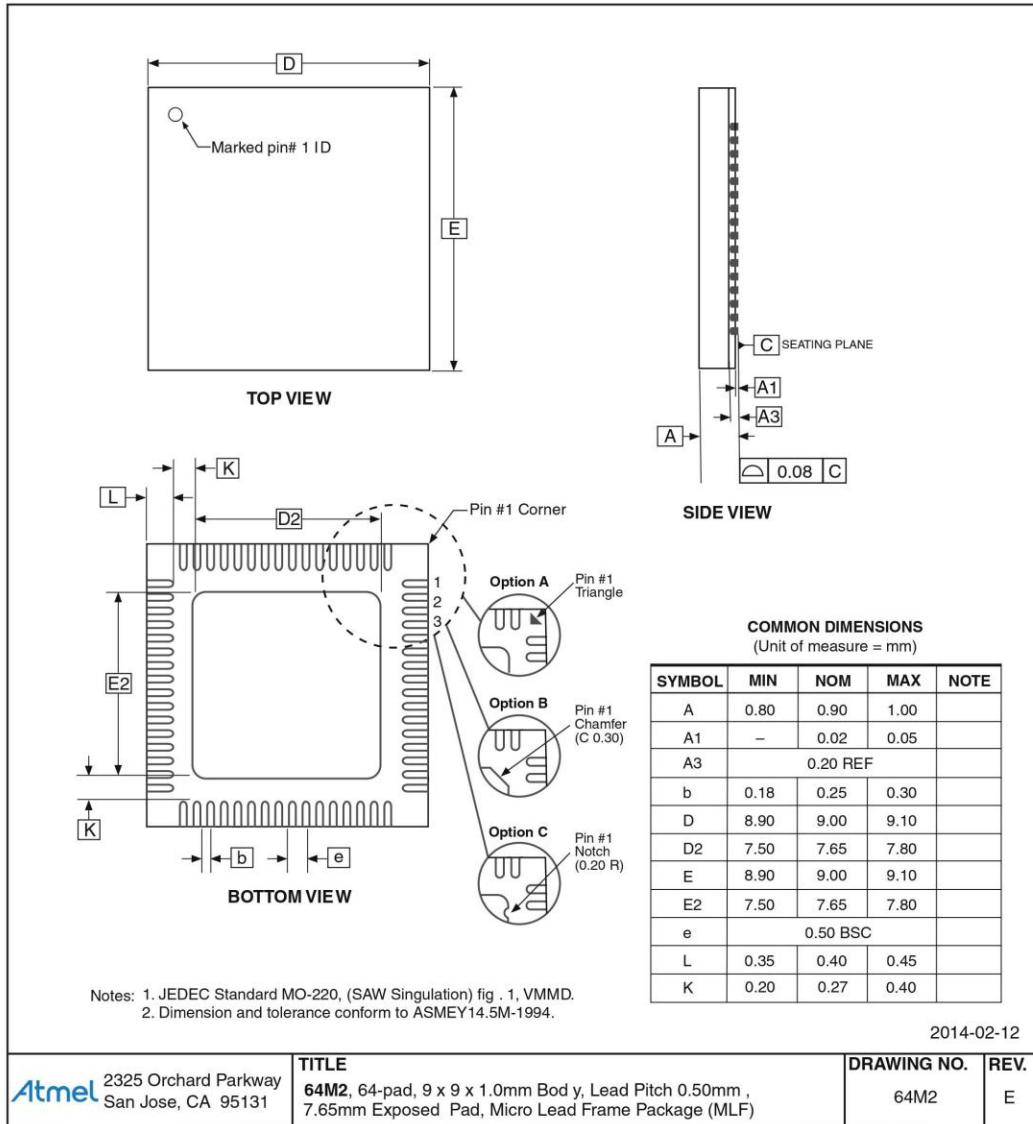
10.2 100C1



10.3 64A



10.4 64M2



11. Errata

11.1 ATmega640 rev. B

- Inaccurate ADC conversion in differential mode with 200x gain
- High current consumption in sleep mode

1. Inaccurate ADC conversion in differential mode with 200x gain

With AVCC <3.6V, random conversions will be inaccurate. Typical absolute accuracy may reach 64 LSB.

Problem Fix/Workaround

None.

2. High current consumption in sleep mode

If a pending interrupt cannot wake the part up from the selected sleep mode, the current consumption will increase during sleep when executing the SLEEP instruction directly after a SEI instruction.

Problem Fix/Workaround

Before entering sleep, interrupts not used to wake the part from the sleep mode should be disabled.

11.2 ATmega640 rev. A

- Inaccurate ADC conversion in differential mode with 200x gain
- High current consumption in sleep mode

1. Inaccurate ADC conversion in differential mode with 200x gain

With AVCC <3.6V, random conversions will be inaccurate. Typical absolute accuracy may reach 64 LSB.

Problem Fix/Workaround

None.

2. High current consumption in sleep mode

If a pending interrupt cannot wake the part up from the selected sleep mode, the current consumption will increase during sleep when executing the SLEEP instruction directly after a SEI instruction.

Problem Fix/Workaround

Before entering sleep, interrupts not used to wake the part from the sleep mode should be disabled.

11.3 ATmega1280 rev. B

- High current consumption in sleep mode

1. High current consumption in sleep mode

If a pending interrupt cannot wake the part up from the selected sleep mode, the current consumption will increase during sleep when executing the SLEEP instruction directly after a SEI instruction.

Problem Fix/Workaround

Before entering sleep, interrupts not used to wake the part from the sleep mode should be disabled.

11.4 ATmega1280 rev. A

- Inaccurate ADC conversion in differential mode with 200x gain
- High current consumption in sleep mode

1. Inaccurate ADC conversion in differential mode with 200x gain

With AVCC <3.6V, random conversions will be inaccurate. Typical absolute accuracy may reach 64 LSB.

Problem Fix/Workaround

None.

2. High current consumption in sleep mode

If a pending interrupt cannot wake the part up from the selected sleep mode, the current consumption will increase during sleep when executing the SLEEP instruction directly after a SEI instruction.

Problem Fix/Workaround

Before entering sleep, interrupts not used to wake the part from the sleep mode should be disabled.

11.5 ATmega1281 rev. B

• **High current consumption in sleep mode**

1. High current consumption in sleep mode

If a pending interrupt cannot wake the part up from the selected sleep mode, the current consumption will increase during sleep when executing the SLEEP instruction directly after a SEI instruction.

Problem Fix/Workaround

Before entering sleep, interrupts not used to wake the part from the sleep mode should be disabled.

11.6 ATmega1281 rev. A

- **Inaccurate ADC conversion in differential mode with 200x gain**
- **High current consumption in sleep mode**

1. Inaccurate ADC conversion in differential mode with 200x gain

With AVCC <3.6V, random conversions will be inaccurate. Typical absolute accuracy may reach 64 LSB.

Problem Fix/Workaround

None.

2. High current consumption in sleep mode

If a pending interrupt cannot wake the part up from the selected sleep mode, the current consumption will increase during sleep when executing the SLEEP instruction directly after a SEI instruction.

Problem Fix/Workaround

Before entering sleep, interrupts not used to wake the part from the sleep mode should be disabled.

11.7 ATmega2560 rev. F

- **ADC differential input amplification by 46dB (200x) not functional**

1. ADC differential input amplification by 46dB (200x) not functional

Problem Fix/Workaround

None.

11.8 ATmega2560 rev. E

No known errata.

11.9 ATmega2560 rev. D

Not sampled.

11.10 ATmega2560 rev. C

- **High current consumption in sleep mode**

1. High current consumption in sleep mode

If a pending interrupt cannot wake the part up from the selected sleep mode, the current consumption will increase during sleep when executing the SLEEP instruction directly after a SEI instruction.

Problem Fix/Workaround

Before entering sleep, interrupts not used to wake the part from the sleep mode should be disabled.

11.11 ATmega2560 rev. B

Not sampled.

11.12 ATmega2560 rev. A

- **Non-Read-While-Write area of flash not functional**
- **Part does not work under 2.4 volts**
- **Incorrect ADC reading in differential mode**
- **Internal ADC reference has too low value**
- **IN/OUT instructions may be executed twice when Stack is in external RAM**
- **EEPROM read from application code does not work in Lock Bit Mode 3**

1. Non-Read-While-Write area of flash not functional

The Non-Read-While-Write area of the flash is not working as expected. The problem is related to the speed of the part when reading the flash of this area.

Problem Fix/Workaround

- Only use the first 248K of the flash.

- If boot functionality is needed, run the code in the Non-Read-While-Write area at maximum 1/4th of the maximum frequency of the device at any given voltage. This is done by writing the CLKPR register before entering the boot section of the code.

2. Part does not work under 2.4 volts

The part does not execute code correctly below 2.4 volts.

Problem Fix/Workaround

Do not use the part at voltages below 2.4 volts.

3. Incorrect ADC reading in differential mode

The ADC has high noise in differential mode. It can give up to 7 LSB error.

Problem Fix/Workaround

Use only the 7 MSB of the result when using the ADC in differential mode.

4. Internal ADC reference has too low value

The internal ADC reference has a value lower than specified.

Problem Fix/Workaround

- Use AVCC or external reference.

- The actual value of the reference can be measured by applying a known voltage to the ADC when using the internal reference. The result when doing later conversions can then be calibrated.

5. IN/OUT instructions may be executed twice when Stack is in external RAM

If either an IN or an OUT instruction is executed directly before an interrupt occurs and the stack pointer is located in external ram, the instruction will be executed twice. In some cases this will cause a problem, for example:

- If reading SREG it will appear that the I-flag is cleared.
- If writing to the PIN registers, the port will toggle twice.
- If reading registers with interrupt flags, the flags will appear to be cleared.

Problem Fix/Workaround

There are two application workarounds, where selecting one of them, will be omitting the issue:

- Replace IN and OUT with LD/LDS/LDD and ST/STS/STD instructions.
- Use internal RAM for stack pointer.

6. EEPROM read from application code does not work in Lock Bit Mode 3

When the Memory Lock Bits LB2 and LB1 are programmed to mode 3, EEPROM read does not work from the application code.

Problem Fix/Workaround

Do not set Lock Bit Protection Mode 3 when the application code needs to read from EEPROM.

11.13 ATmega2561 rev. F

- **ADC differential input amplification by 46dB (200x) not functional**

1. **ADC differential input amplification by 46dB (200x) not functional**

Problem Fix/Workaround

None.

11.14 ATmega2561 rev. E

No known errata.

11.15 ATmega2561 rev. D

Not sampled.

11.16 ATmega2561 rev. C

- **High current consumption in sleep mode.**

1. **High current consumption in sleep mode**

If a pending interrupt cannot wake the part up from the selected sleep mode, the current consumption will increase during sleep when executing the SLEEP instruction directly after a SEI instruction.

Problem Fix/Workaround

Before entering sleep, interrupts not used to wake the part from the sleep mode should be disabled.

11.17 ATmega2561 rev. B

Not sampled.

11.18 ATmega2561 rev. A

- **Non-Read-While-Write area of flash not functional**
- **Part does not work under 2.4 Volts**
- **Incorrect ADC reading in differential mode**
- **Internal ADC reference has too low value**
- **IN/OUT instructions may be executed twice when Stack is in external RAM**
- **EEPROM read from application code does not work in Lock Bit Mode 3**

1. **Non-Read-While-Write area of flash not functional**

The Non-Read-While-Write area of the flash is not working as expected. The problem is related to the speed of the part when reading the flash of this area.

Problem Fix/Workaround

- Only use the first 248K of the flash.

- If boot functionality is needed, run the code in the Non-Read-While-Write area at maximum 1/4th of the maximum frequency of the device at any given voltage. This is done by writing the CLKPR register before entering the boot section of the code.

2. **Part does not work under 2.4 volts**

The part does not execute code correctly below 2.4 volts.

Problem Fix/Workaround

Do not use the part at voltages below 2.4 volts.

3. **Incorrect ADC reading in differential mode**

The ADC has high noise in differential mode. It can give up to 7 LSB error.

Problem Fix/Workaround

Use only the 7 MSB of the result when using the ADC in differential mode.

4. **Internal ADC reference has too low value**

The internal ADC reference has a value lower than specified.

Problem Fix/Workaround

- Use AVCC or external reference.

- The actual value of the reference can be measured by applying a known voltage to the ADC when using the internal reference. The result when doing later conversions can then be calibrated.

5. **IN/OUT instructions may be executed twice when Stack is in external RAM**

If either an IN or an OUT instruction is executed directly before an interrupt occurs and the stack pointer is located in external ram, the instruction will be executed twice. In some cases this will cause a problem, for example:

- If reading SREG it will appear that the I-flag is cleared.

- If writing to the PIN registers, the port will toggle twice.

- If reading registers with interrupt flags, the flags will appear to be cleared.

Problem Fix/Workaround

There are two application workarounds, where selecting one of them, will be omitting the issue:

- Replace IN and OUT with LD/LDS/LDD and ST/STS/STD instructions.



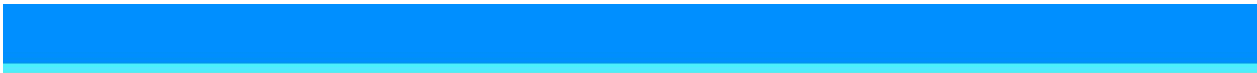
- Use internal RAM for stack pointer.

6. EEPROM read from application code does not work in Lock Bit Mode 3

When the Memory Lock Bits LB2 and LB1 are programmed to mode 3, EEPROM read does not work from the application code.

Problem Fix/Workaround

Do not set Lock Bit Protection Mode 3 when the application code needs to read from EEPROM.



Atmel | Enabling Unlimited Possibilities®



Atmel Corporation 1600 Technology Drive, San Jose, CA 95110 USA T: (+1)(408) 441.0311 F: (+1)(408) 436.4200 | www.atmel.com

© 2014 Atmel Corporation. / Rev.: Atmel-2549QS-AVR-ATmega640V-1280V-1281V-2560V-2561V-Summary_02/2014.

Atmel®, Atmel logo and combinations thereof, and others are registered trademarks or trademarks of Atmel Corporation or its subsidiaries. Other terms and product names may be trademarks of others.

DISCLAIMER: The information in this document is provided in connection with Atmel products. No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property right is granted by this document or in connection with the sale of Atmel products. EXCEPT AS SET FORTH IN THE ATMEL TERMS AND CONDITIONS OF SALES LOCATED ON THE ATMEL WEBSITE, ATMEL ASSUMES NO LIABILITY WHATSOEVER AND DISCLAIMS ANY EXPRESS, IMPLIED OR STATUTORY WARRANTY RELATING TO ITS PRODUCTS INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTY OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, OR NON-INFRINGEMENT. IN NO EVENT SHALL ATMEL BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, CONSEQUENTIAL, PUNITIVE, SPECIAL OR INCIDENTAL DAMAGES (INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, DAMAGES FOR LOSS AND PROFITS, BUSINESS INTERRUPTION, OR LOSS OF INFORMATION) ARISING OUT OF THE USE OR INABILITY TO USE THIS DOCUMENT, EVEN IF ATMEL HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES. Atmel makes no representations or warranties with respect to the accuracy or completeness of the contents of this document and reserves the right to make changes to specifications and products descriptions at any time without notice. Atmel does not make any commitment to update the information contained herein. Unless specifically provided otherwise, Atmel products are not suitable for, and shall not be used in, automotive applications. Atmel products are not intended, authorized, or warranted for use as components in applications intended to support or sustain life.

SAFETY-CRITICAL, MILITARY, AND AUTOMOTIVE APPLICATIONS DISCLAIMER: Atmel products are not designed for and will not be used in connection with any applications where the failure of such products would reasonably be expected to result in significant personal injury or death ("Safety-Critical Applications") without an Atmel officer's specific written consent. Safety-Critical Applications include, without limitation, life support devices and systems, equipment or systems for the operation of nuclear facilities and weapons systems. Atmel products are not designed nor intended for use in military or aerospace applications or environments unless specifically designated by Atmel as military-grade. Atmel products are not designed nor intended for use in automotive applications unless specifically designated by Atmel as automotive-grade.