



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“DISEÑO DE UN SISTEMA DOMÓTICO CENTRALIZADO PARA
EL LABORATORIO DE CONTROL AUTOMÁTICO DE LA FIEC”

INFORME DE MATERIA INTEGRADORA

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD, ELECTRÓNICA Y
AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

GUILLERMO ENRIQUE CÓRDOVA RODRIGUEZ

IVÁN DANIEL SALAZAR CARRIÓN

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2018

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres y a mis hermanos por todo el apoyo incondicional que me han brindado, por todo el cariño que me han entregado y toda la fe que tuvieron en mí, sin ellos no hubiera sido posible culminar este sueño que he tenido desde hace tanto tiempo, son el pilar más importante de mi vida.

Guillermo

Agradezco a mis padres, que con tanto esfuerzo han podido ayudarme en mi superación académica para así lograr mis objetivos anhelados. A mis compañeros, a quienes desinteresadamente siguieron conmigo hasta el final.

Iván

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a mi esposa María Del Cisne, quien ha estado a mi lado apoyándome todos estos años, en esta difícil prueba que ha sido poder culminar con éxito mi carrera universitaria. También les dedico este esfuerzo a mis hijos Luis Guillermo y Juliana Mayte, ellos son la luz de mi vida, mi mayor tesoro, los amo con toda mi existencia.

Guillermo

Dedico este presente trabajo a mis padres, quienes enormemente han sido mi camino y ejemplo a seguir.

Iván

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

Msc. Carolina Godoy Ortega

PROFESOR DE MATERIA
INTEGRADORA

Ing. Ronald Ponguillo Intriago

TUTOR ACADÉMICO

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

Guillermo Córdova Rodríguez

Iván Salazar Carrión

RESUMEN

Al igual que en el resto de laboratorios del bloque 16AB de la FIEC, en el laboratorio de Control Automático se produce un consumo innecesario de energía eléctrica debido a que en retiradas ocasiones tanto el sistema de iluminación, las computadoras y el aire acondicionado se encuentran trabajando sin la presencia de estudiantes o ayudantes académicos. Este consumo innecesario de energía eléctrica también conlleva un perjuicio económico para la institución al momento de cancelar las planillas correspondientes al uso del servicio eléctrico.

Por este motivo se ha diseñado un sistema domótico centralizado para el laboratorio de Control Automático que permitiría la optimización en el uso de la energía eléctrica, debido a que este sistema domótico controlaría el funcionamiento del sistema de iluminación y el aire acondicionado, impidiendo que estos trabajen innecesariamente cuando el laboratorio este desocupado. En el caso de las computadoras, los monitores se apagarán automáticamente cuando el sistema detecte que no están siendo utilizadas. Adicionalmente, se instalará una cerradura eléctrica en la puerta de acceso al laboratorio que se accionará cuando se digite la clave de seguridad en el teclado ubicado a un costado de la puerta. Cabe resaltar que cada vez que la cerradura sea accionada, la clave correspondiente ingresará a una base de datos diseñada para registrar el ingreso de cada uno de los miembros del personal del laboratorio.

El diseño del sistema domótico comprende de un SCADA hecho en LabVIEW, con interface usando una tarjeta Arduino MEGA como DAQ, a la cual se conectarían los sensores y actuadores para controlar el encendido y apagado de las lámparas, aire acondicionado y computadores, además de registrar el ingreso del personal del laboratorio a través de un código o clave de seguridad necesario para accionar la cerradura eléctrica de su puerta de acceso.

En cuanto al consumo de energía eléctrica se prevé un ahorro debido a la instalación del sistema domótico centralizado de entre un 25 y 30 %, lo que justificaría su implementación e instalación.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	II
DEDICATORIA.....	III
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN.....	IV
DECLARACIÓN EXPRESA.....	V
RESUMEN	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VII
CAPÍTULO 1	10
1. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	10
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	10
1.2 OBJETIVOS.....	11
1.2.1 Objetivo general.....	11
1.2.2 Objetivos específicos.....	11
1.3 JUSTIFICACIÓN.	11
1.4 ALCANCE.	12
CAPÍTULO 2	13
2. ESTADO DEL ARTE.	13
2.1 ANTECEDENTES.	13
2.2 MARCO TEÓRICO.	14
2.2.1 Concepto de domótica.....	14
2.2.2 Dispositivos de un sistema domótico.....	15
2.2.3 Sistema domótico con arquitectura centralizada.....	16
2.2.4 Medios de transmisión.....	17
2.2.5 Control domótico de la iluminación.	18

2.2.6	Detector de movimiento pasivo o PIR.....	19
2.2.7	Control domótico de la temperatura.....	20
2.2.8	Sensor de temperatura LM35.....	21
CAPÍTULO 3		22
3.	METODOLOGÍA DEL TRABAJO.....	22
3.1	ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DEL SISTEMA DOMÓTICO CENTRALIZADO EN EL BLOQUE DE LABORATORIOS 16AB DE LA FIEC.....	22
3.3.1	Análisis de carga del bloque de laboratorios 16AB de la FIEC.....	23
3.2	PROGRAMACIÓN DE ARDUINO COMO DAQ USANDO LABVIEW.....	29
3.2.1	Modelado de respuesta del transpondedor.	29
3.2.2	Establecer la comunicación.....	30
3.2.3	Definir puertos como entrada y salida.	31
3.2.4	Leer y escribir en los pines digitales.	32
3.2.5	Lectura de un pin analógico.	33
3.2.6	Comunicación I2C.	33
3.2.7	SubVI.	34
3.2.8	Base de datos.....	42
3.2.9	Cerrar conexión.	48
3.2.10	Registro de desplazamiento Serial a Paralelo con 74595.....	49
3.3	ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DEL SISTEMA DOMÓTICO EN EL BLOQUE DE LABORATORIOS 16AB DE LA FIEC.....	51
3.3.1	Análisis de carga del bloque de laboratorios 16AB de la FIEC aplicando el sistema domótico.	51
3.4	ANÁLISIS DEL AHORRO ENERGÉTICO Y ECONÓMICO DEBIDO A LA APLICACIÓN DEL SISTEMA DOMÓTICO.....	54
3.5	PRESUPUESTO.....	57

3.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	60
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	62
BIBLIOGRAFÍA.....	64
ANEXOS.....	66

CAPÍTULO 1

1. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.

1.1 Planteamiento del problema.

La Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC) posee un total de 36 laboratorios, ubicados en los bloques 15A, 16AB, 16C y 24A, los cuales son necesarios para cubrir la demanda de prácticas que complementan el conocimiento teórico en las distintas especialidades que ofrece la facultad. Cada uno de los laboratorios posee un determinado número de computadoras según sus necesidades, un número determinado de luminarias como parte del sistema de iluminación, además de sus propios equipos de aire acondicionado para regular la temperatura del sitio. También es importante mencionar que en cada uno de los bloques donde se encuentran los laboratorios, los pasillos poseen un sistema de iluminación independiente.

El problema que presentan estos bloques de laboratorios, es el elevado consumo de energía eléctrica en tiempos que se prioriza el ahorro energético, lo que también tiene efectos económicos, debido a que la institución debe afrontar el pago de planillas más elevadas por efecto del mayor consumo de electricidad.

Una de las principales causas del problema radica en el funcionamiento de los sistemas de iluminación, equipos de aire acondicionado y computadoras en momentos que los laboratorios se encuentran desocupados, es decir, no se encuentran ni el profesor encargado, ni los ayudantes académicos y tampoco los estudiantes, lo que se refleja en un consumo innecesario de energía eléctrica. También los ayudantes académicos en algunas ocasiones permanecen en las oficinas sin tomar las precauciones de apagar los diferentes equipos que se encuentran encendidos injustificadamente en el área de trabajo del laboratorio. Otro problema lo constituyen las luminarias en los pasillos de los bloques de laboratorios, las cuales se mantienen encendidas durante el día,

cuando la luz natural hace poco útil su funcionamiento. Todos estos son claros ejemplos de ineficiencia en el uso de un recurso energético tan importante como lo es la electricidad.

1.2 Objetivos.

1.2.1 Objetivo general.

Diseñar un sistema domótico centralizado en el laboratorio de Control Automático de la FIEC para optimizar el consumo de energía eléctrica.

1.2.2 Objetivos específicos.

- Elaborar un informe del ahorro energético previsto por la aplicación de un sistema domótico para el bloque de laboratorios 16AB de la FIEC.
- Diseñar un sistema SCADA para monitorear la activación de los sensores y actuadores del sistema domótico centralizado.
- Diseñar una base de datos para registrar el ingreso del personal al laboratorio de Control Automático.

1.3 Justificación.

En la actualidad, los Sistemas Domóticos, los cuales sintetizan las diversas tecnologías aplicadas al control y la automatización inteligente en las construcciones modernas, han demostrado su gran importancia a la hora de enfrentar no solo un tema tan significativo como lo es el confort, que se refiere a las condiciones materiales que proporcionan bienestar al usuario, sino también que se han convertido en herramientas fundamentales para lograr la optimización en el consumo de energía eléctrica.

Por esta razón, se propone diseñar un sistema domótico centralizado para el laboratorio de Control Automático de la FIEC, que regule el uso del sistema de iluminación, las computadoras y los equipos de aire acondicionado, con el propósito de disminuir el consumo de energía eléctrica, sin perturbar las condiciones idóneas para que se realicen las diferentes actividades propias del laboratorio.

Adicionalmente prevé diseñar para la puerta principal de acceso al laboratorio de Control Automático, una cerradura electrónica que podrá ser accionada por un código de seguridad. Este dispositivo se usará para, aparte de brindar seguridad, crear una base de datos para un registro de entrada del personal del laboratorio.

1.4 Alcance.

Informe del análisis de carga realizado en el bloque de laboratorios 16AB de la FIEC.

Simulación mediante software del sistema de control de iluminación, temperatura y apagado de los ordenadores que no estén en uso en el laboratorio y creación de una base de datos de entrada y salida al laboratorio en base a la información proporcionada por la cerradura electrónica.

CAPÍTULO 2

2. ESTADO DEL ARTE.

2.1 Antecedentes.

La domótica tiene su origen en los últimos años de la década de 1970, cuando en Estados Unidos comienzan a surgir los primeros dispositivos de automatización fundamentados en la tecnología X-10, esta tecnología, que está basada en corrientes portadoras, fue desarrollada entre los años 1976 y 1978 por ingenieros de la compañía Pico Electronics Ltd, domiciliada en Glenrothes, Escocia.

“A mediados de los años 90, los automatismos destinados a edificios de oficinas, junto con otros específicos, se comenzaron a aplicar a las viviendas particulares y otro tipo de edificios, dando origen a la vivienda domótica” [1]. Pero no sería hasta principios del nuevo siglo cuando, en base a un mejor entendimiento de sus beneficios, el concepto de vivienda domótica sería muy conocido por la sociedad.

En la actualidad, la gran importancia que ha cobrado el concepto de ahorro energético por sus beneficios tanto medioambientales como económicos ha permitido que se incremente significativamente el empleo de sistemas domóticos para viviendas, debido a que estos ofrecen al usuario no solo el hecho de disfrutar de un hogar más confortable y seguro sino que le permiten reducir el consumo de electricidad, lo cual conlleva un beneficio económico.

Y es que el ahorro energético no es un tema menor, tanto que a nivel mundial se ha establecido el 21 de octubre de cada año como el Día Mundial del Ahorro de Energía, este día es aprovechado por muchos gobiernos para lanzar campañas para concienciar a la ciudadanía sobre el uso racional de la energía, poniendo énfasis en el ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica.

En nuestro país sería importante que a corto plazo las instituciones públicas como las Universidades y Escuelas Politécnicas adopten programas de ahorro

de energía eléctrica en sus instalaciones y los sistemas domóticos son una buena alternativa para este propósito.

2.2 Marco Teórico.

Para diseñar un sistema domótico centralizado es necesario entender que es la domótica y las tecnologías que la sustentan. Es necesario también comprender cómo operan los sistemas domóticos, que función cumplen cada uno de los dispositivos que lo conforman, por ejemplo, que función cumplen el controlador o cerebro del sistema, los actuadores, los sensores, el bus y las interfaces. Un sistema domótico centralizado, como su propio nombre lo indica, posee una arquitectura de tipo centralizada, por esta razón se debe analizar cuáles son las características de este tipo de arquitectura, lo que llevará a una mejor comprensión de qué tipo de ventajas y desventajas posee un sistema domótico con estas características.

Otro punto importante que se debe tomar en cuenta para diseñar un sistema domótico centralizado es el medio de transmisión, es decir, el medio por el cual los distintos sensores enviarán la información al controlador del sistema y este, de igual modo, enviará las órdenes a los distintos actuadores. En la mayoría de ocasiones la elección del medio de transmisión dependerá de la combinación de las facilidades que preste el sitio donde se implementará el sistema y el presupuesto con que se trabaje.

Existen varios softwares que se pueden emplear para la simulación de un sistema domótico centralizado, uno de los mejores es el software LabVIEW, el cual permite una visualización integral del sistema, lo que permite detectar y corregir cualquier error en el diseño antes de implementar el sistema domótico.

2.2.1 Concepto de domótica.

El término domótica proviene de la unión de dos palabras, la primera es *domus* que en latín significa vivienda o casa y la segunda es *tica* que proviene de automática, palabra en griego que significa “que funciona por si sola. El concepto de la domótica está definido por la Real Academia

Española como el “Conjunto de sistemas que automatizan las diferentes instalaciones de una vivienda” [2].

Como explica J.M. Huidobro y R.J. Millán en su libro “Manual de Domótica”, la domótica es la ciencia que estudia los métodos y elementos necesarios para proporcionar un determinado nivel de automatización en el interior de la casa. Por esta razón se define como una vivienda domótica a aquella que integra una serie de automatismos en materia de electricidad, electrónica, robótica, informática y telecomunicaciones con el fin de brindar las mayores comodidades a los habitantes, sin descuidar temas tan importantes como la seguridad, el ahorro de energía eléctrica y las facilidades de comunicación. En otras palabras, “la domótica busca la integración de todos los aparatos del hogar, con el fin de que todo funcione en perfecta armonía, con la máxima utilidad y la mínima intervención por parte del usuario” [1].

2.2.2 Dispositivos de un sistema domótico.

“Una solución domótica puede variar desde un único dispositivo, que realiza una sola acción, hasta amplios sistemas que controlan prácticamente todas las instalaciones dentro de la vivienda” [3]. Los diversos dispositivos que se pueden encontrar en un sistema domótico, los cuales se muestran en la figura 2.1, se clasifican de la siguiente manera:

Controlador: El controlador es el cerebro del sistema, se encarga de recibir y procesar la información proveniente de los sensores para así, enviar las correspondientes órdenes a los actuadores.

Actuador: El actuador es el 'brazo ejecutor' del sistema, según la orden que reciba del controlador, ejecutará la correspondiente acción sobre un aparato o sistema, por ejemplo: encendido/apagado, subida/bajada, apertura/cierre, etc.

Sensor: El sensor elemento físico que monitoriza el entorno y transmite una señal al controlador cuando hay una variación de algún parámetro.

Existen diferentes tipos de sensores para medir los cambios en las diferentes magnitudes físicas como gas, humo, temperatura, viento, humedad, lluvia, iluminación, etc.

Bus: El bus es el medio usado para la transmisión de la información entre el controlador, sensores y actuadores. Esta transmisión puede efectuarse por un cableado propio, por las redes de otros sistemas (red eléctrica, red telefónica, red de datos) o de manera inalámbrica.

Interfaces: Cuando hablamos de las interfaces nos referimos a los distintos dispositivos y formatos en que se muestra la información del sistema para los usuarios y donde estos pueden interactuar con el sistema. Como ejemplos de dispositivos tenemos las pantallas, los móviles, el internet, los interruptores, etc., en cambio el formato puede ser binario o de audio [3] [4] [5].

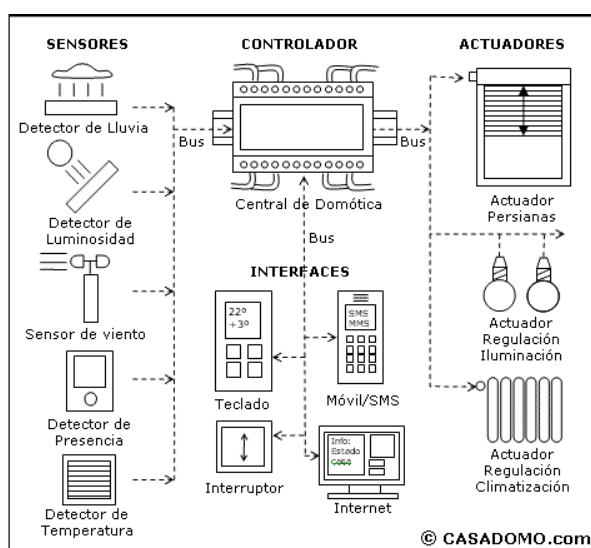


Figura 2.1: Dispositivos de un sistema domótico [3].

2.2.3 Sistema domótico con arquitectura centralizada.

Como su nombre lo indica, un sistema domótico con este tipo de arquitectura posee un control centralizado que se encarga de recibir toda la información captada por los sensores o directamente enviada por los usuarios del sistema y a su vez enviar la información requerida por los

actuadores para que se desarrolle una actividad en particular, como se muestra en la figura 2.2.

Entre las ventajas de trabajar con este tipo de arquitectura están que los sensores y actuadores son del tipo universal, que su operatividad e instalación son sencillas y que su coste es menor comparado con otros tipos de arquitecturas. Sus desventajas son entre otras que para su operación es necesario una notable cantidad de cableado, su capacidad de ampliar es limitada y necesitan una interfaz de usuario [3] [6].

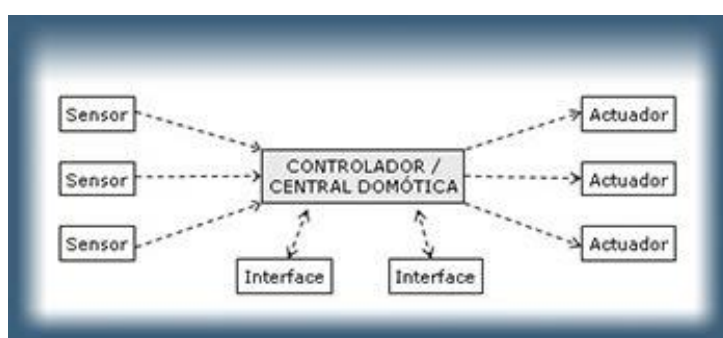


Figura 2.2: Sistema domótico con arquitectura centralizada [7].

2.2.4 Medios de transmisión.

En los sistemas domótico los medios de transmisión de la información, interconexión y control, pueden ser de varios tipos, los principales son:

Cableado propio: Es el medio más comúnmente utilizado en un sistema domótico, los principales tipos de cableado son: par trenzado (1 a 4 pares), par apantallado, coaxial y fibra óptica.

Cableado compartido: En algunos sistemas domóticos se utilizan cables compartidos o redes existentes para solucionar el problema de la transmisión de información, la red eléctrica (corrientes portadoras) es la más utilizada, aunque también casos en que se utiliza la red telefónica o la red de datos.

Sistemas inalámbricos: En muchas ocasiones, los sistemas domóticos utilizan la transmisión inalámbrica para enviar la información que requieren sus distintos dispositivos, debido a que constituyen una

herramienta muy eficaz para la transferencia de voz, datos y vídeos sin la necesidad de cableado, para este propósito se utilizan principalmente tecnologías de radiofrecuencia e infrarrojo [6] [8].

2.2.5 Control domótico de la iluminación.

El avance tecnológico que han experimentado los modernos controles automatizados han permitido la sofisticación de la llamada “iluminación inteligente”, mediante este concepto se pretende reemplazar los interruptores de luz manuales por un sistema automático capaz de funcionar por hora y día designados, y que además, esté directamente vinculado a la ocupación del espacio y a sensores de luz natural. No obstante que estos tipos de sistemas en los que un control centralizado recibe información de los sensores y regula su retroalimentación vienen siendo muy utilizados desde hace bastante tiempo, el avance que ha experimentado esta tecnología ha hecho cada vez más inteligente la iluminación.

En la actualidad, en los sistemas de iluminación, gracias a la utilización de sensores y circuitos integrados, las estaciones de control pueden ser más pequeñas y mucho mayor en número, esto hace que cada una de las luminarias pueda tomar decisiones de manera independiente de las demás, pero, siguiendo los objetivos del sistema. De lo expuesto con anterioridad, podemos colegir que estos sistemas se fundamentan en la implementación de dispositivos individuales tales como sensores de movimiento PIR (Passive Infrared) o Pasivo Infrarrojo, reguladores y luminarias que tienen la facultad de actuar de manera autónoma, sin dejar de pertenecer a un sistema flexible y escalable, es decir, el sistema tiene la propiedad de aumentar su capacidad de trabajo o su tamaño sin que necesariamente se comprometa el funcionamiento y calidad normales del mismo.

Sin embargo, con el propósito de fomentar el ahorro energético, cada vez son más necesarios los sistemas de iluminación de estado sólido, que poseen sensores y controladores LED. La importante consultora en

energía limpia Enlighted Inc, en Silicon Valley, ofrece este tipo de sistema, en el cual la información sobre la ocupación del espacio, la luz natural y la temperatura, se capta a través de una red inalámbrica y luego se almacena en la estación central, la misma que a su vez fija y regula el control individual de cada luminaria. Por ejemplo, el programa de reconversión de iluminación del ayuntamiento de San José, California, equipó este mismo sistema en el año 2012, logrando alcanzar un ahorro energético del 53% [9] [10] [11] [12].

2.2.6 Detector de movimiento pasivo o PIR.

Un detector de movimiento PIR (del inglés *Passive Infrared*) o detector pasivo infrarrojo, es un sensor de movimiento que detecta solo determinadas fuentes de energía como el calor corporal de seres humanos o animales, es decir, detectan la presencia de una persona en un determinado lugar por la diferencia entre calor emitido por su cuerpo y el espacio alrededor. La denominación de sensor pasivo se debe a que solo recibe radiaciones, no las emite.

Está compuesto esencialmente por un sensor piroeléctrico, que es un elemento electrónico cuyo material cristalino le permite generar una carga eléctrica cuando está sometido a una determinada cantidad de radiación infrarroja. Así, si la cantidad de radiación infrarroja varía, también varía la carga, permitiéndole al sensor detectar los cambios en la cantidad de radiación infrarroja recibida. La variación de la señal eléctrica emitida por el sensor piroeléctrico es amplificada por un transistor de efecto de campo que está añadido dentro del encapsulado del sensor PIR.

Antes de llegar al sensor piroeléctrico, la radiación infrarroja pasa a través de una Lente de Fresnel que tiene como función dividir el área protegida en varias secciones, con el propósito de enfocar la radiación hacia los elementos del sensor.

Cuando, al instalar el sensor PIR, se lo energiza por primera vez, este comenzará a adaptarse a la radiación infrarroja del ambiente. Es

importante entender que todos los cuerpos que se encuentran a una temperatura superior a 0° Kelvin, emiten radiación infrarroja negativa; de esta forma, la radiación infrarroja que emite cualquier cuerpo aumentará si aumenta su temperatura. En otras palabras, el sensor recibe la información infrarroja de una pared, el piso, los muebles, etc. [13] [14].

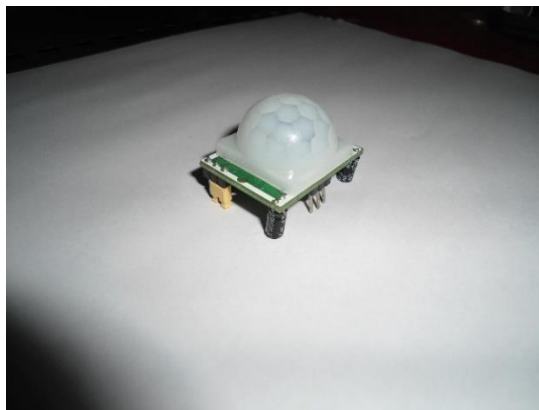


Figura 2.3: Detector de Movimiento PIR.

2.2.7 Control domótico de la temperatura.

Dado que el Aire Acondicionado es el principal consumidor de energía eléctrica dentro de una vivienda o en un edificio, con el propósito de mejorar la eficiencia energética de la instalación de climatización, se deberá fraccionar su función en zonas con distintos requerimientos de uso. Cada zona tendrá su propia regulación y programación.

Para definir esta zonificación, se seguirán criterios como la actividad que se realiza en cada sección, el horario y frecuencia de uso de cada sección, y la ubicación de la sección, en este punto se toma en cuenta cuál es el grado de exposición de cada zona a la radiación solar.

Este control centralizado y zonificado permite asegurarle al usuario la temperatura requerida en cada una de las zonas disponibles, lo que redundará en la optimización del confort, a la vez que le permite al usuario reducir su consumo de energía eléctrica al aumentar la eficiencia integral de la vivienda o edificio debido a que sólo se climatizan las zonas que son necesarias y al nivel requerido.

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA DEL TRABAJO.

3.1 Estudio de la aplicación del sistema domótico centralizado en el bloque de laboratorios 16AB de la FIEC.

La gestión inteligente del control de la iluminación, la temperatura y el uso de las computadoras en los laboratorios, y específicamente la iluminación en los pasillos del bloque de laboratorios 16AB permitirá la optimización en el consumo de energía eléctrica en este bloque de laboratorios. Sin embargo, es importante resaltar que, aparte de las bondades que el sistema domótico conlleva, es necesario llevar un control permanente del consumo energético para identificar qué tipo de hábitos redundan en un aumento del mismo. “A partir de la monitorización de consumos de energía, se capta la información que se necesita para modificar los hábitos y aumentar en mayor cantidad el ahorro y la eficiencia de dichos sistemas” [19].

En los pasillos del bloque de laboratorios se deberán instalar interruptores crepusculares para evitar que las luminarias queden encendidas durante el día, también se prevé que durante la noche estén encendidas una de cada tres luminarias puesto que, el sistema domótico se encargara de detectar si alguna persona o grupo de personas se encuentra recorriendo un determinado sector, procediendo inmediatamente a encender las restantes luminarias en dicho sitio.

En cuanto al porcentaje de ahorro que se puede obtener implementado el sistema domótico, se estimará en base a estudios previos que se han realizado y que han arrojado resultados muy aproximados a lo que realmente se puede ahorrar aplicando este sistema en distintas instalaciones, sean estas viviendas o edificios.

Por ejemplo: Según el Instituto para la diversificación y ahorro de energía (IDAE), “La instalación de un sistema domótico que permita gestionar de forma inteligente la iluminación y la temperatura de una habitación de 20 m² ubicada

en un piso en Madrid con orientación sur, generará un ahorro energético del 26%” [19]. En otro ejemplo, “La Asociación Española de Domótica e Inmótica (Cedom) insiste en el beneficio de implantar estos sistemas en una vivienda y cifra el ahorro mínimo entre un 25% y un 30%” [20]. Otro estudio, el de la AGBC (Argentina Green Building Council), “estima que un edificio sustentable ofrece un ahorro en costos operativos de aproximadamente 30%” [21]. En base a estos estudios, se tomará el mínimo estimado que es del 25% de ahorro, para aplicarlo al sistema domótico que se instalará en el bloque de laboratorios, para identificar cuanto es lo mínimo que se puede ahorrar.

3.3.1 Análisis de carga del bloque de laboratorios 16AB de la FIEC.

En los distintos laboratorios que componen el bloque 16AB la carga instalada, en lo que se refiere a iluminación, computadoras y aire acondicionado, se encuentra registrada en las tablas que a continuación se muestran, en donde: La tabla 1 se refiere a las luminarias instaladas tanto en los laboratorios como en los pasillos, mientras la tabla 2 y la tabla 3 se refieren respectivamente a la cantidad de computadoras y aires acondicionados con que cuentan cada uno de los laboratorios.

Según la carga eléctrica instalada, descrita en las tablas 1, 2 y 3, y en base a las horas de trabajo de los laboratorios, se puede hacer el cálculo del consumo eléctrico en un mes para el bloque 16AB, dividido en los consumos de las luminarias, las computadoras y aires acondicionados, este cálculo se refleja en la tabla 4.

En cuanto a las horas de trabajo de los laboratorios, se ha tomado en cuenta que, aunque no todos los laboratorios tienen los mismos horarios, en promedio los laboratorios deberían trabajar 8 horas al día. Aunque esta aseveración no sea exacta, se la tomará en cuenta como una aproximación aceptable para el análisis de carga en el bloque de laboratorios 16AB.

LABORATORIOS	LUMINARIAS		
	CANTIDAD	POTENCIA INDIVIDUAL (KW)	POTENCIA TOTAL (KW)
INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL	9	0,16	1,44
ELECTRÓNICA DE POTENCIA	12	0,16	1,92
SISTEMAS DE POTENCIA	17	0,096	1,632
COMPUTACIÓN DE SISTEMAS DE POTENCIA	6	0,16	0,96
MAQUINARIA ELÉCTRICA	24	0,16	3,84
SISTEMAS ROBÓTICOS	6	0,08	0,48
ELECTRÓNICA B	8	0,096	0,768
ELECTRÓNICA MÉDICA	6	0,16	0,96
REALIDAD VIRTUAL	6	0,16	0,96
SISTEMAS DE CONTROL (CONTROL AUTOMÁTICO)	8	0,16	1,28
CONTROLES INDUSTRIALES ELÉCTRICOS	32	0,064	2,048
CONTROL DE VISIÓN Y ROBÓTICA	16	0,064	1,024
CONTROL DE PROCESOS	8	0,064	0,512
SIATEMAS TELEMÁTICOS	8	0,096	0,768
REDES ELÉCTRICAS	15	0,16	2,4
INVESTIGACIÓN (PEDRO CARLÓ PAREDES)	6	0,16	0,96
ELECTRÓNICA A	11	0,16	1,76
GICOM	4	0,16	0,64
CIRCUITOS IMPRESOS	6	0,096	0,576
AULA SP-01	6	0,16	0,96
SIMULACIONES	6	0,16	0,96
MECATRÓNICA	20	0,064	1,28
SISTEMAS EMBEBIDOS	12	0,064	0,768
RADIOFRECUENCIAS	12	0,064	0,768
PASILLOS (LUMINARIAS LED)	52	0,039	2,028
PASILLOS (LUMINARIAS 96W)	3	0,096	0,288
PASILLOS (LUMINARIAS 160W)	16	0,16	2,56

Tabla 1: Luminarias del bloque de laboratorios 16AB de la FIEC.

LABORATORIOS	COMPUTADORAS		
	CANTIDAD	POTENCIA INDIVIDUAL (KW)	POTENCIA TOTAL (KW)
INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL	9	0,25	2,25
ELECTRÓNICA DE POTENCIA	6	0,25	1,5
SISTEMAS DE POTENCIA	3	0,25	0,75
COMPUTACIÓN DE SISTEMAS DE POTENCIA	25	0,25	6,25
MAQUINARIA ELÉCTRICA	1	0,25	0,25
SISTEMAS ROBÓTICOS	10	0,25	2,5
ELECTRÓNICA B	8	0,25	2
ELECTRÓNICA MÉDICA	7	0,25	1,75
REALIDAD VIRTUAL	3	0,25	0,75
SISTEMAS DE CONTROL (CONTROL AUTOMÁTICO)	13	0,25	3,25
CONTROLES INDUSTRIALES ELÉCTRICOS	7	0,25	1,75
CONTROL DE VISIÓN Y ROBÓTICA	21	0,25	5,25
CONTROL DE PROCESOS	3	0,25	0,75
SIATEMAS TELEMÁTICOS	21	0,25	5,25
REDES ELÉCTRICAS	14	0,25	3,5
INVESTIGACIÓN (PEDRO CARLÓ PAREDES)	8	0,25	2
ELECTRÓNICA A	12	0,25	3
GICOM	2	0,25	0,5
CIRCUITOS IMPRESOS	7	0,25	1,75
AULA SP-01	0	0,25	0
SIMULACIONES	37	0,25	9,25
MECATRÓNICA	18	0,25	4,5
SISTEMAS EMBEBIDOS	4	0,25	1
RADIOFRECUENCIAS	4	0,25	1

Tabla 2: Computadoras del bloque de laboratorios 16AB de la FIEC.

LABORATORIOS	AIRE ACONDICIONADO		
	CANTIDAD	POTENCIA INDIVIDUAL (KW)	POTENCIA TOTAL (KW)
INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL	2	1,5	3
ELECTRÓNICA DE POTENCIA	3	1,8	5,4
SISTEMAS DE POTENCIA	3	3,5	10,5
COMPUTACIÓN DE SISTEMAS DE POTENCIA	2	1,8	3,6
MAQUINARIA ELÉCTRICA	5	1,8	9
SISTEMAS ROBÓTICOS	1	3,5	3,5
ELECTRÓNICA B	3	3,5	10,5
ELECTRÓNICA MÉDICA	2	1,5	3
REALIDAD VIRTUAL	2	3,5	7
SISTEMAS DE CONTROL (CONTROL AUTOMÁTICO)	1	1,5	1,5
CONTROLES INDUSTRIALES ELÉCTRICOS	3	3,5	10,5
CONTROL DE VISIÓN Y ROBÓTICA	2	1,8	3,6
CONTROL DE PROCESOS	1	3,5	3,5
SIATEMAS TELEMÁTICOS	2	1,8	3,6
REDES ELÉCTRICAS	4	1,8	7,2
INVESTIGACIÓN (PEDRO CARLÓ PAREDES)	2	1,5	3
ELECTRÓNICA A	3	3,5	10,5
GICOM	1	1,5	1,5
CIRCUITOS IMPRESOS	2	3,5	7
AULA SP-01	1	1,5	1,5
SIMULACIONES	1	1,5	1,5
MECATRÓNICA	2	1,5	3
SISTEMAS EMBEBIDOS	1	1,8	1,8
RADIOFRECUENCIAS	1	3,5	3,5

Tabla 3: Aires acondicionados del bloque de laboratorios 16AB de la FIEC.

ANÁLISIS DE CARGA DEL BLOQUE DE LABORATORIOS 16AB DE LA FIEC																		
LABORATORIOS	LUMINARIAS					COMPUTADORAS						AIRE ACONDICIONADO						
	CANTIDAD	POTENCIA INDIVIDUAL (KW)	POTENCIA TOTAL (KW)	HORAS DE TRABAJO (DIA)	HORAS DE TRABAJO (MES)	CONSUMO MENSUAL (KWH)	CANTIDAD	POTENCIA INDIVIDUAL (KW)	POTENCIA TOTAL (KW)	HORAS DE TRABAJO (DIA)	HORAS DE TRABAJO (MES)	CONSUMO MENSUAL (KWH)	CANTIDAD	POTENCIA INDIVIDUAL (KW)	POTENCIA TOTAL (KW)	HORAS DE TRABAJO (DIA)	HORAS DE TRABAJO (MES)	CONSUMO MENSUAL (KWH)
INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL	9	0,16	1,44	8	176	253,44	9	0,25	2,25	8	176	396,00	2	1,5	3	8	176	528,00
ELECTRÓNICA DE POTENCIA	12	0,16	1,92	8	176	337,92	6	0,25	1,5	8	176	264,00	3	1,8	5,4	8	176	950,40
SISTEMAS DE POTENCIA	17	0,096	1,632	8	176	287,23	3	0,25	0,75	8	176	132,00	3	3,5	10,5	8	176	1848,00
COMPUTACIÓN DE SISTEMAS DE POTENCIA	6	0,16	0,96	8	176	168,96	25	0,25	6,25	8	176	1100,00	2	1,8	3,6	8	176	633,60
MAQUINARIA ELÉCTRICA	24	0,16	3,84	8	176	675,84	1	0,25	0,25	8	176	44,00	5	1,8	9	8	176	1584,00
SISTEMAS ROBÓTICOS	6	0,08	0,48	8	176	84,48	10	0,25	2,5	8	176	440,00	1	3,5	3,5	8	176	616,00
ELECTRÓNICA B	8	0,096	0,768	8	176	135,17	8	0,25	2	8	176	352,00	3	3,5	10,5	8	176	1848,00
ELECTRÓNICA MÉDICA	6	0,16	0,96	8	176	168,96	7	0,25	1,75	8	176	308,00	2	1,5	3	8	176	528,00
REALIDAD VIRTUAL	6	0,16	0,96	8	176	168,96	3	0,25	0,75	8	176	132,00	2	3,5	7	8	176	1232,00
SISTEMAS DE CONTROL(CONTROL AUTOMATICO)	8	0,16	1,28	8	176	225,28	13	0,25	3,25	8	176	572,00	1	1,5	1,5	8	176	264,00
CONTROLES INDUSTRIALES ELÉCTRICOS	32	0,064	2,048	8	176	360,45	7	0,25	1,75	8	176	308,00	3	3,5	10,5	8	176	1848,00
CONTROL DE VISIÓN Y ROBÓTICA	16	0,064	1,024	8	176	180,22	21	0,25	5,25	8	176	924,00	2	1,8	3,6	8	176	633,60
CONTROL DE PROCESOS	8	0,064	0,512	8	176	90,11	3	0,25	0,75	8	176	132,00	1	3,5	3,5	8	176	616,00
SIATEMAS TELEMÁTICOS	8	0,096	0,768	8	176	135,17	21	0,25	5,25	8	176	924,00	2	1,8	3,6	8	176	633,60
REDES ELÉCTRICAS	15	0,16	2,4	8	176	422,40	14	0,25	3,5	8	176	616,00	4	1,8	7,2	8	176	1267,20
INVESTIGACIÓN(PEDRO CARLÓ PAREDES)	6	0,16	0,96	8	176	168,96	8	0,25	2	8	176	352,00	2	1,5	3	8	176	528,00
ELECTRÓNICA A	11	0,16	1,76	8	176	309,76	12	0,25	3	8	176	528,00	3	3,5	10,5	8	176	1848,00
GICOM	4	0,16	0,64	8	176	112,64	2	0,25	0,5	8	176	88,00	1	1,5	1,5	8	176	264,00
CIRCUITOS IMPRESOS	6	0,096	0,576	8	176	101,38	7	0,25	1,75	8	176	308,00	2	3,5	7	8	176	1232,00
AULA SP-01	6	0,16	0,96	8	176	168,96	0	0,25	0	8	176	0,00	1	1,5	1,5	8	176	264,00
SIMULACIONES	6	0,16	0,96	8	176	168,96	37	0,25	9,25	8	176	1628,00	1	1,5	1,5	8	176	264,00
MECATRÓNICA	20	0,064	1,28	8	176	225,28	18	0,25	4,5	8	176	792,00	2	1,5	3	8	176	528,00
SISTEMAS EMBEBIDOS	12	0,064	0,768	8	176	135,17	4	0,25	1	8	176	176,00	1	1,8	1,8	8	176	316,80
RADIOFRECUENCIAS	12	0,064	0,768	8	176	135,17	4	0,25	1	8	176	176,00	1	3,5	3,5	8	176	616,00
PASILLOS(LUMINARIAS LED)	52	0,039	2,028	12	360	730,08	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00
PASILLOS(LUMINARIAS 96W)	3	0,096	0,288	12	360	103,68	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00
PASILLOS(LUMINARIAS 160W)	16	0,16	2,56	12	360	921,60	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00
			CONSUMO TOTAL LUMINARIAS			6976,22			CONSUMO TOTAL COMPUTADORAS			10692,00			CONSUMO TOTAL DE AIRE ACONDICIONADO			20891,20

Tabla 4: Análisis de carga del bloque de laboratorios 16AB de la FIEC.

En base a los datos proporcionados por la tabla 4, en la cual se muestran los valores totales del consumo eléctrico del sistema de iluminación, computadoras y aire acondicionado en el bloque de laboratorios 16AB, se puede determinar el consumo eléctrico total en un mes de este bloque de laboratorios, el mismo que alcanza los 38559,42 KWH como se encuentra registrado en la tabla 5.

CONSUMO MENSUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL BLOQUE DE LABORATORIOS 16AB DE LA FIEC	
CONSUMO LUMINARIAS (KWH)	6976,22
CONSUMO COMPUTADORAS (KWH)	10692,00
CONSUMO DE AIRE ACONDICIONADO (KWH)	20891,20
CONSUMO TOTAL (KWH)	38559,42

Tabla 5: Consumo total mensual de energía eléctrica en el bloque de laboratorios 16AB de la FIEC.

En base a esta misma tabla 4 podemos obtener los valores totales del consumo eléctrico del sistema de iluminación, computadoras y aire acondicionado para el laboratorio de Control Automático, por lo tanto es factible determinar el consumo eléctrico total en un mes de dicho laboratorio, este alcanza los 1643,68 KWH como se encuentra registrado en la tabla 6.

CONSUMO MENSUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL LABORATORIO DE CONTROL AUTOMÁTICO	
CONSUMO LUMINARIAS (KWH)	455,68
CONSUMO COMPUTADORAS (KWH)	572,00
CONSUMO DE AIRE ACONDICIONADO (KWH)	616,00
CONSUMO TOTAL (KWH)	1643,68

Tabla 6: Consumo total mensual de energía eléctrica en el laboratorio de Control Automático.

3.2 Programación de Arduino como DAQ usando LabVIEW.

Para realizar la simulación se necesita de una tarjeta Arduino MEGA 2560, debido a que la interface de LabVIEW solo soporta tres tipos de tarjetas, también se requiere de elementos electrónicos tales como DIP switch, LEDs, resistores y potenciómetros.

3.2.1 Modelado de respuesta del transpondedor.

La tarjeta Arduino se conecta a la computadora y se procede a verificar el tipo de tarjeta y puerto COM, tal como se muestra en la figura 3.1.

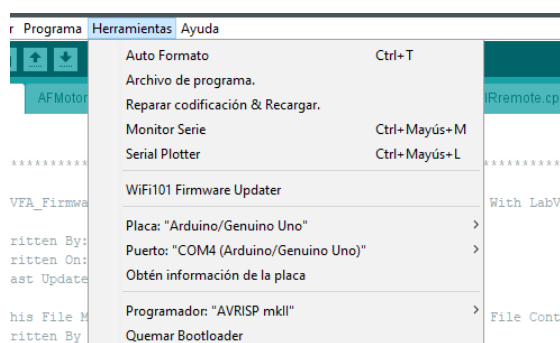


Figura 3.1: En Herramientas se puede configurar el tipo de placa y puerto.

Una vez realizado este paso, se procede a cargar la interface llamada LIFA Base Arduino que proporciona la interface de LabVIEW dando click en subir y se espera hasta que la barra de carga haya desaparecido, como se muestra en la figura 3.2.

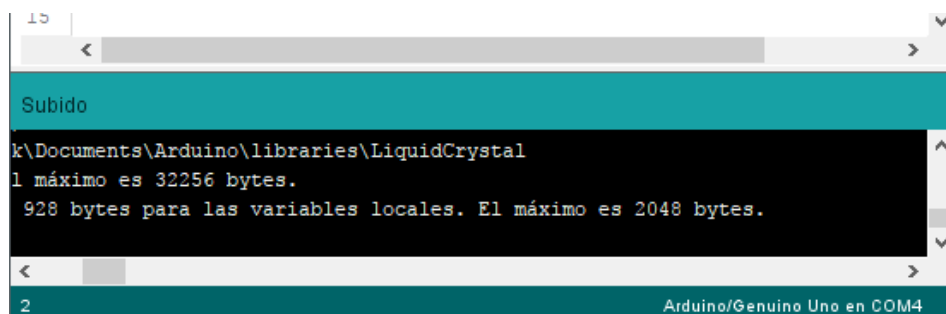


Figura 3.2: Mensaje que indica que el programa está cargado completamente.

3.2.2 Establecer la comunicación.

Para establecer comunicación, se debe tener en cuenta el puerto COM de la tarjeta, después ir a la librería de Arduino y seleccionar un bloque llamado Arduino Init, el cual realiza la comunicación mientras LabVIEW está corriendo. Después se crea los controles o constantes necesarios que se deben colocar, como se muestra en la figura 3.3.

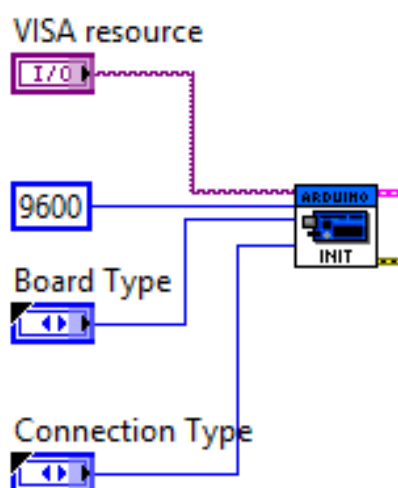


Figura 3.3: Bloque de inicialización para comunicación.

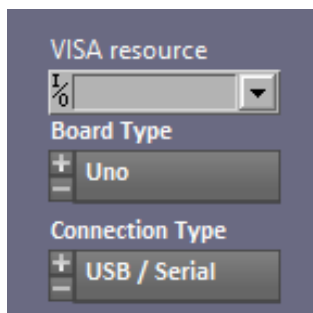


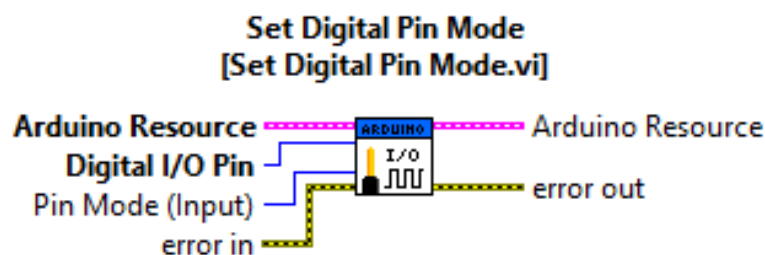
Figura 3.4: Controles de para el bloque de inicialización en el panel frontal.

En la figura 3.4, se aprecia un botón de despliegue, el cual indica los puertos COM disponibles, dependiendo de la computadora se elige el COM que se ha asignado a la tarjeta Arduino, en la pestaña Board Type se escoge MEGA 2560 y en Connection Type se elige USB/Serial porque se utiliza para la adquisición de datos.

3.2.3 Definir puertos como entrada y salida.

Para definir uno o varios puertos como entradas o salidas, se tiene que verificar si son entradas o salidas digitales, consultando la hoja de información de las tarjetas Arduino.

El bloque de Set Digital Pin Mode sirve para definir un pin como entrada o salida digital, como se observa en la figura 3.5.



Configures the specified digital I/O pin (D0 - D13) as either input or output.

Figura 3.5: Bloque para establecer un pin como entrada o salida digital.

El bloque se lo conecta en serie después del bloque de inicialización, especificando los pines y definiéndolos como Input o como Output.

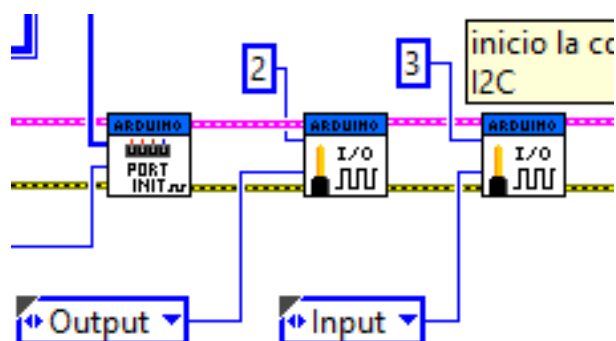


Figura 3.6: Forma de definir uno o varios pines como entrada o salida.

En la figura 3.6 se observa el pin 2 establecido como salida digital y el pin 3 está como entrada digital.

3.2.4 Leer y escribir en los pines digitales.

Las entradas y salidas digitales se definen fuera del bucle While, ahora, dentro del bucle es donde se convoca siempre y cuando se respete la misma asignación numérica de pines.

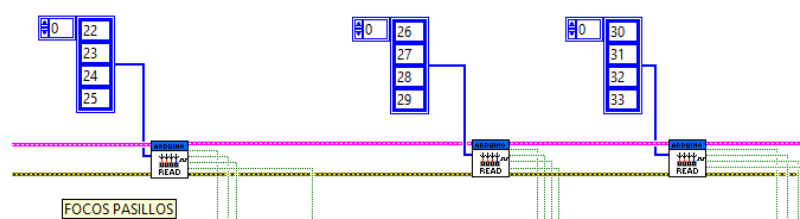


Figura 3.7: SubVI que muestra la lectura digital de 4 bits.

Tal como muestra la figura 3.7, se ingresa un array que representan los pines de lectura y como resultado unas 4 salidas booleanas.

Las figuras 3.8 y 3.9, muestran la escritura y lectura de solo un pin digital del Arduino, esto con el fin de hacer algún tipo de control.

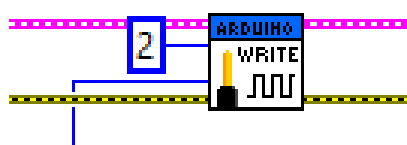


Figura 3.8: Escritura de un pin con el bloque Digital Write Pin.

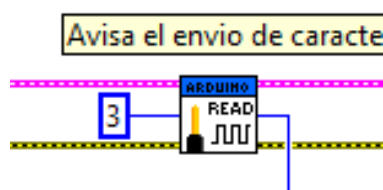


Figura 3.9: Lectura de un pin con el bloque Digital Read Pin.

3.2.5 Lectura de un pin analógico.

Para la lectura de un Pin analógico, no se necesita definir a la entrada, solo es de colocar un bloque llamado Analog Read Pin y se selecciona el pin con una constante numérica, especificando el pin de lectura en la tarjeta que son desde A0 hasta A15 en un Arduino MEGA 2560, como se observa en la figura 3.10.



Figura 3.10: Lectura de un valor analógico entre 0 a 5 voltios en el pin A0.

El cable de color naranja especifica que el dato saliente del bloque es un número tipo Double.

3.2.6 Comunicación I2C.

Las librerías de Arduino también vienen con bloques para realizar comunicación I2C. Cabe recalcar que la tarjeta usada como adquisición de datos, es I2C Maestro y este receptorá información proveniente de un esclavo.

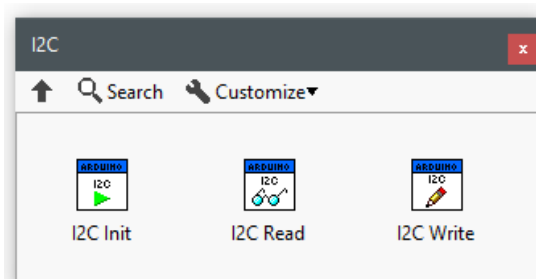


Figura 3.11: Bloques para comunicación I2C.

Los bloques mostrados en la figura 3.11 se usan para recibir caracteres enviados desde otra tarjeta Arduino que serán guardados en una tabla.

3.2.7 SubVI.

El diseño abarca muchas entradas y salidas, se ha creado, por facilidad, SubVI o librerías creadas para simplificar las conexiones y ahorrar espacio en el Block Diagram de LabVIEW, este SubVI se lo guarda en cualquier carpeta para su reutilización.

Creando un SubVI: Para crear este SubVI, se debe seleccionar los bloques que se desea encapsular tal como se muestra en la figura 3.12.

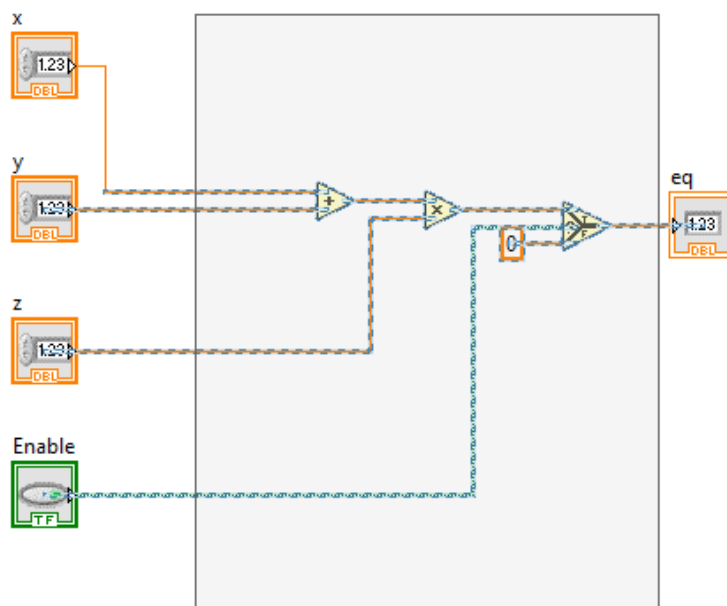


Figura 3.12: Selección de bloques para formar un SubVI.

Seleccionado los elementos, se da click en Edit y luego en Create SubVI como muestra la figura 3.13.

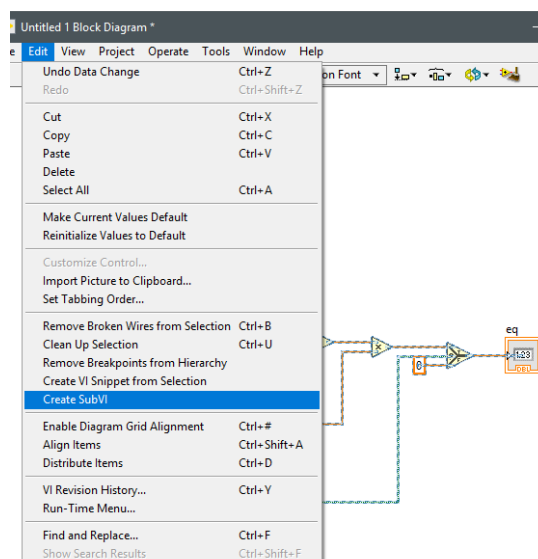


Figura 3.13: Opción para crear SubVI.

Aparecerá un bloque, como en la figura 3.14 que, contendrá todos los bloques que anteriormente se vieron en la figura 3.13, ahorrando considerablemente espacio en el Block Diagram.

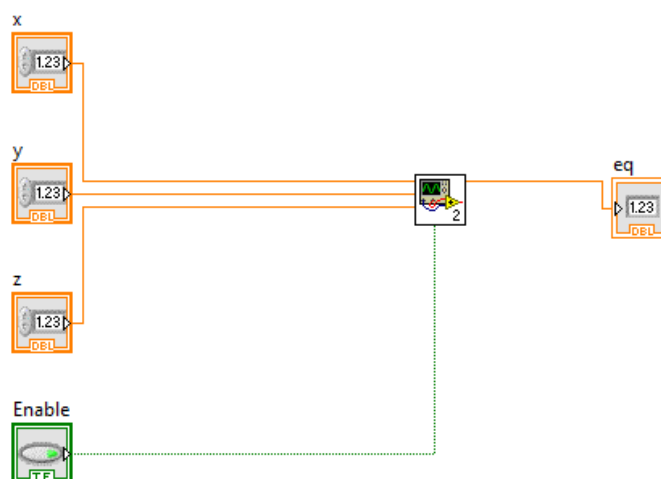


Figura 3.14: SubVI creado.

Para acomodación de pines, cambios en el ícono y guardado se procede a dar doble click sobre el SubVI creado, esto abrirá un Block Diagram y un Front Panel conteniendo lo señalado, tal y como se muestra en la figura 3.15.

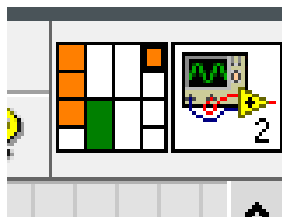
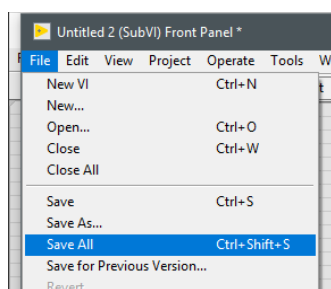


Figura 3.15: Opciones para ordenar los pines de entrada y salida y cambios en el ícono

Para reutilizar el bloque, solo debe ser guardado en una carpeta, como muestra en la figura 3.16.



3.16: Guardado del SubVI.

Predeterminadamente el SubVI se guarda en la carpeta en donde se ha guardado el VI que se está diseñando.

Puertos de cuatro bits: Por facilidad, se han diseñado bloques para establecer un Nibble (4 bits) y definirla como entrada o salida digital.

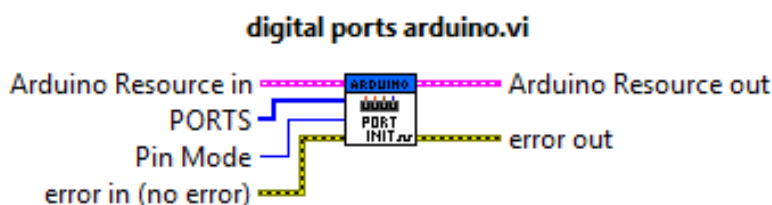


Figura 3.17: SubVI para establecer 4 pines digitales como entrada o salida.

La figura 3.17 muestra el bloque creado a partir de 4 bloques llamados Set Digital Pin. El interior del bloque se puede apreciar en la figura 3.18.

Cabe recalcar que, como estas librerías son Open Source, pueden ser modificadas.

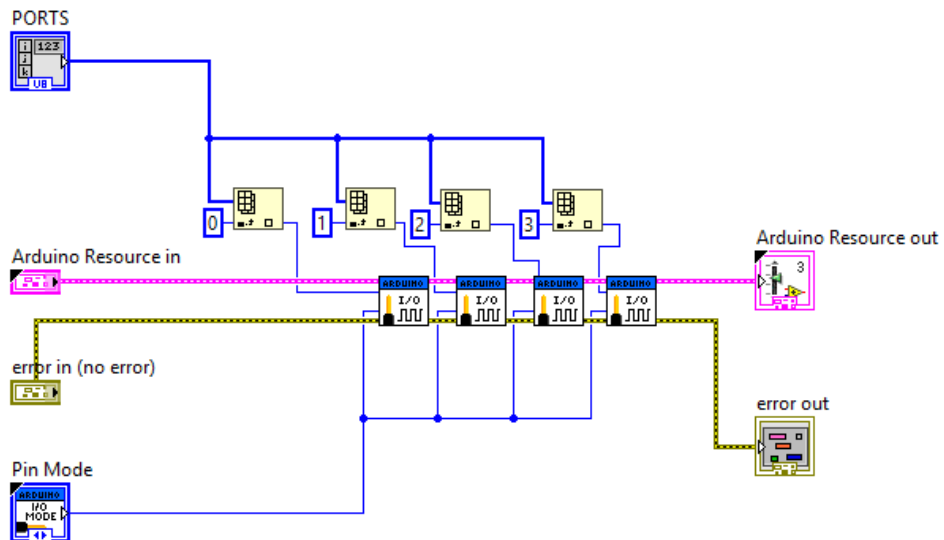


Figura 3.18: interior de lo que hay en el bloque del SubVI.

Lectura de una sección de puertos digitales: Así como se definió un bloque que establece una sección de puertos como entradas o salidas, se ha hecho un bloque para leer cuatro puertos digitales.

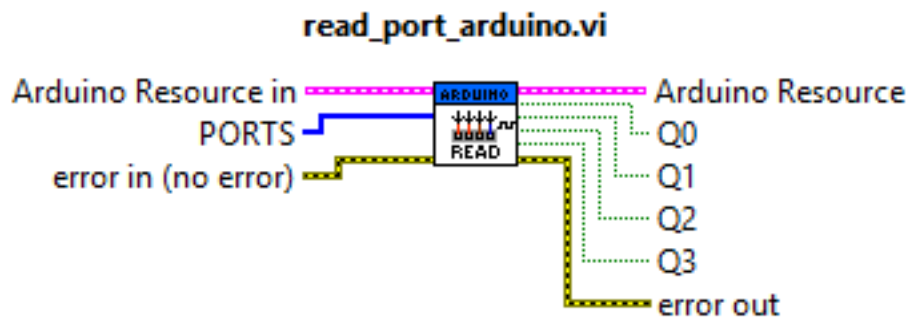


Figura 3.19: SubVI que lee 4 puertos.

La figura 3.19 muestra en la parte izquierda del SubVI un cable tipo Num. Array Constant, estos son una sección de pines del Arduino y en su parte derecha las salidas que son 4 que representan la lectura de los pines asignados en el Numeric Array.

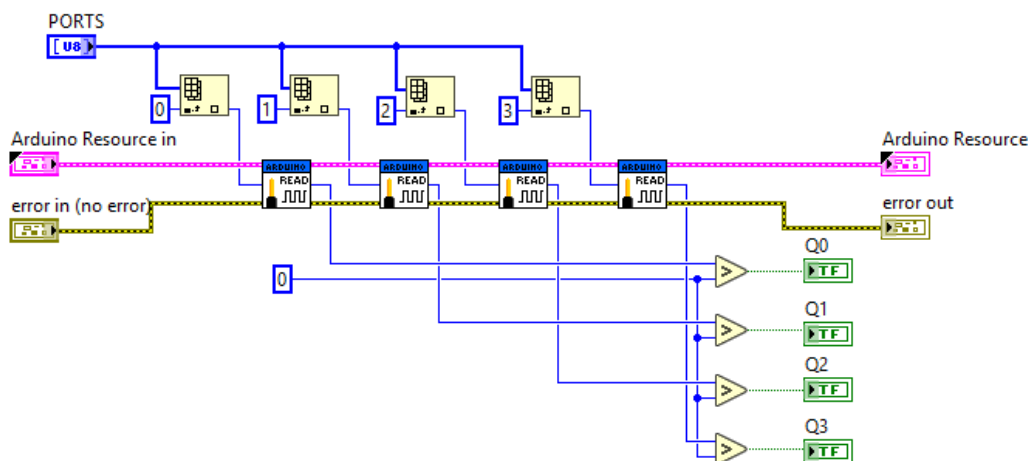


Figura 3.20: Interior SubVI.

En la figura 3.20 se ve que el SubVI está conformado por bloques de la librería LIFA que son simplemente Digital Read Port. El valor numérico de 0 o 1 se lo transforma a booleano con el comparador.

Bloque de escala: Este bloque se creó para hacer unitario el valor de los 5 voltios máximos del valor analógico transformado a digital y después proceder a multiplicarlo por un valor de escala.

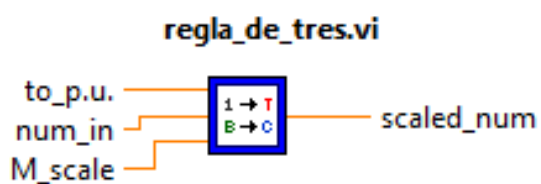


Figura 3.21: Bloque de escala.

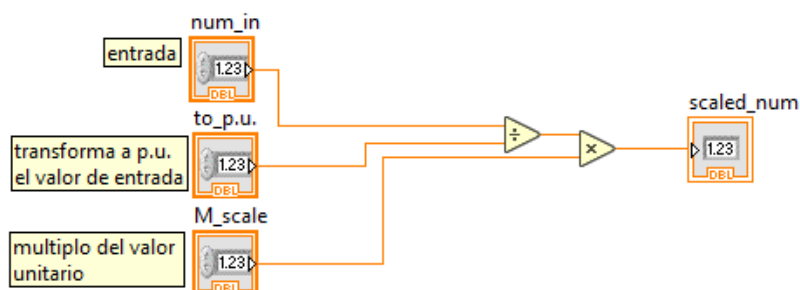


Figura 3.22: Interior del SubVI del bloque de escala.

Las figuras 3.21 y 3.22, muestran el SubVI y su interior respectivamente.

Bloque de histéresis: El bloque de histéresis mostrado en la figura 3.23, se asemeja la funcionalidad de un amplificador operacional en modo comparador con histéresis no inversa.

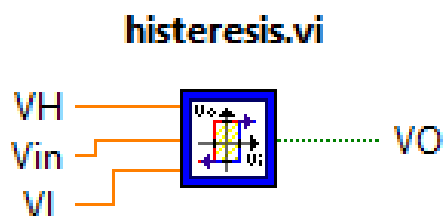


Figura 3.23: Bloque de histéresis.

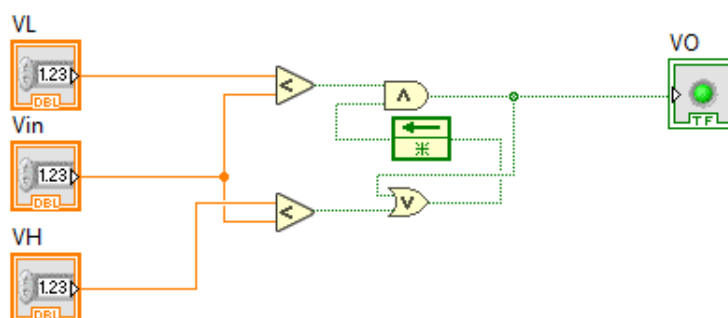


Figura 3.24: Interior del SubVI del bloque histéresis.

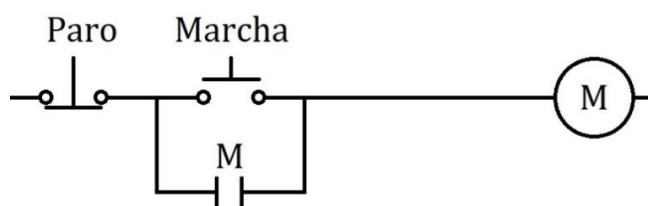


Figura 3.25: Botoneras de marcha y paro.

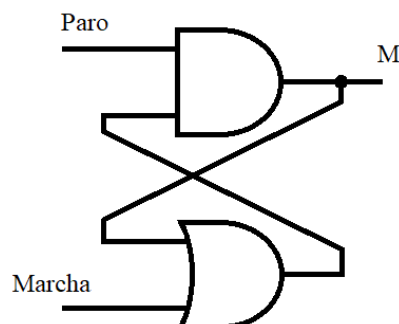


Figura 3.26: De lógica cableada a lógica estática.

Como se ve en la figura 3.24, se ha simulado la estructura de una botonera de marcha-paro llevado de lógica de relé a lógica estática visto en las figuras 3.25 y 3.26 respectivamente, esto con el fin de mantener una memoria a cierto valor.

Conversión de booleano a número: Los bloques digitales de Arduino trabajan con valores entre 1 y 0 pero estos valores son de tipo entero, para manipularlos como tipo booleano se ha creado un bloque que convierte un dato tipo booleano a numérico como se muestra en la figura 3.27.

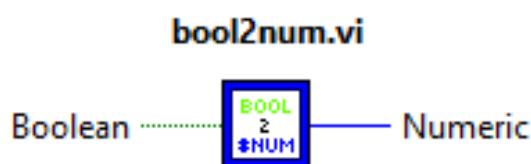


Figura 3.27: Conversión de booleano a número.

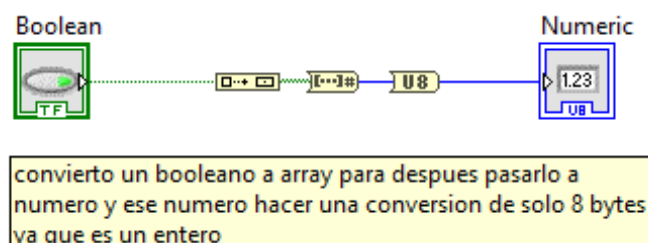


Figura 3.28: Interior del SubVI del bloque bool2num.

Como se ve en la figura 3.28, El booleano se lo pasa a bool array, después se lo convierte en un número y, por último, se lo convierte a entero sin signo de 1 byte.

Conversión de número a booleano: Las lecturas de pines digitales dan como resultados valores entre 0 o 1 dependiendo la entrada externa o lógica que se siga, pero para manipularlo como si fuera señal digital tipo booleano se requiere de una conversión de datos. Para esto se ha creado un bloque que convierte un valor de 0 o 1 numérico a booleano equivalente como false o true respectivamente tal como se muestra en la figura 3.29.

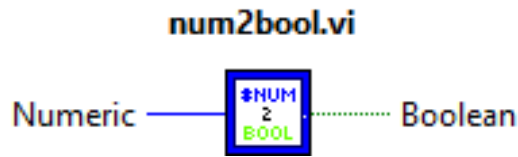


Figura 3.29: Conversión de número a booleano.

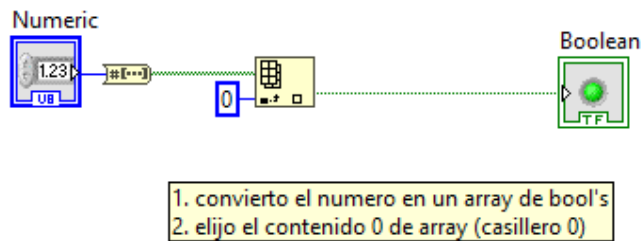


Figura 3.30: Interior del SubVI del bloque num2bool.

Como este número tiene 8 bits, se lo transforma a Bool Array y después se obtiene el bit menos significativo con el bloque llamado Index Array el cual selecciona la posición del bit que se desee leer, en este caso, se selecciona el bit 0 o el LSB.

Contador ascendente: Se diseñó un contador ascendente para manipular arreglos en 1D y llevar conteos. En la figura 3.31 se muestra el SubVI.

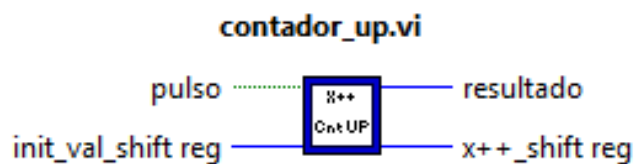


Figura 3.31: Contador Ascendente.

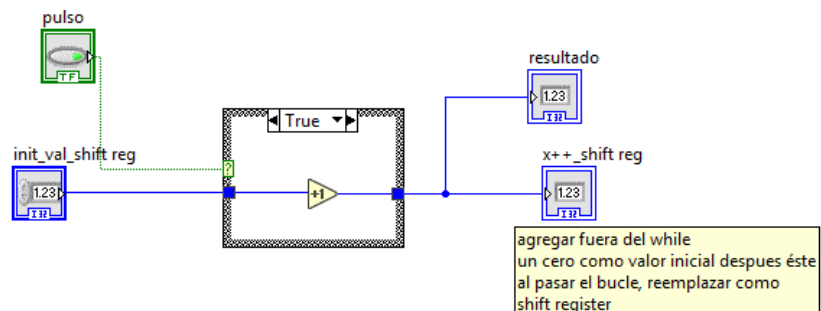


Figura 3.32: Interior del contador_up.

El contador up se activa cuando recibe un valor booleano true en la entrada llamada pulso, mostrada en la figura 3.32, éste debe ir conectado al lazo de repetición y cambiar los nodos por Shift Register, también inicializando el conteo como muestra la figura 3.33.

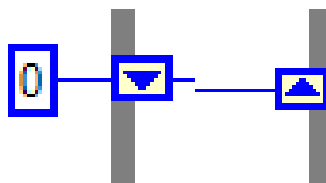


Figura 3.33: Shift Registers.

En la figura 3.33, parte izquierda, se le da un valor inicial, después se cambia dando click derecho y elegir la opción de Replace with Shift Register.

3.2.8 Base de datos.

Para formar una base de datos, se ha elegido una hoja de Excel en donde se guardarán las veces que un usuario ingrese una clave para abrir la puerta, también estos datos se pueden visualizar en directo en el panel frontal diseñado.

Tabla de datos: La tabla de datos se la usa para visualizar los datos proporcionados por el otro controlador que envía información a través del protocolo de comunicación I2C.

Para crear una tabla, se debe ir al panel frontal y elegir la opción de List, Table & Tree, como lo muestra la figura 3.34.

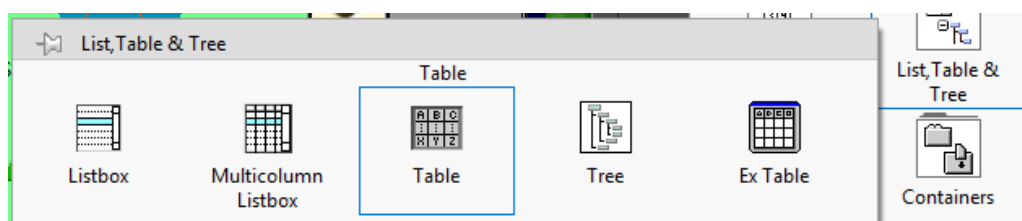


Figura 3.34: Creando una tabla.

Los datos entrantes de la tabla son un arreglo matricial de caracteres.

Para grabar los datos, se lo conecta al lazo de repetición y se reemplazan los nodos de conexión con Shift Registers y se inicializa con una matriz constante vacía tal como se muestra en la figura 3.35.

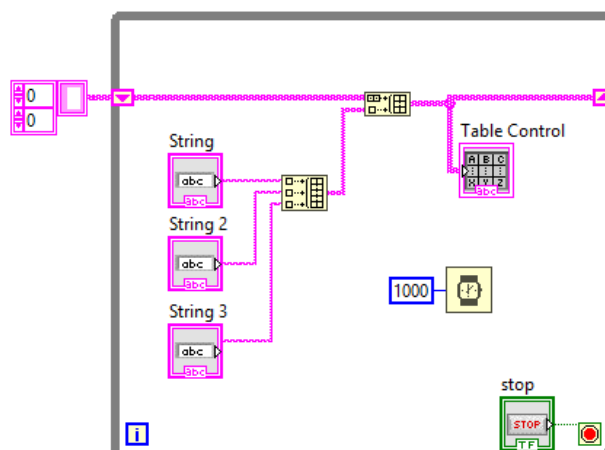


Figura 3.35: Ejemplo de inserción de datos dentro de la tabla

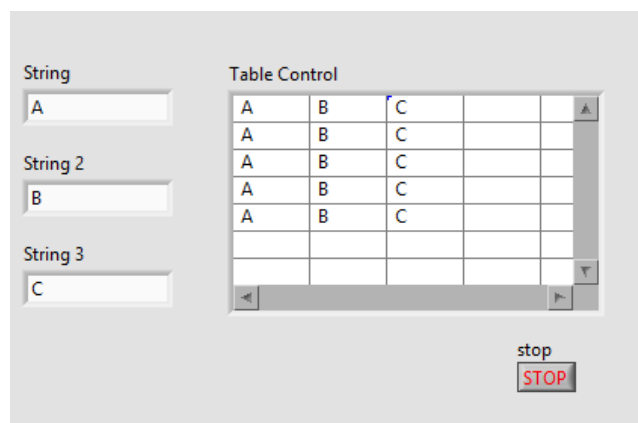


Figura 3.36: datos metidos manualmente y mostrados

En la figura 3.36, la tabla va mostrando los valores y como los nodos de conexión fueron cambiados a Shift Register, en la siguiente iteración, se mostrará en la siguiente fila el arreglo conformado por los 3 Strings.

Datos de la tabla de Excel: Para pasar los datos de la tabla en el panel frontal a Excel, se requiere de los bloques que se encuentran en Report Generation y de allí seleccionamos Excel Specific tal como se indica en la figura 3.37.

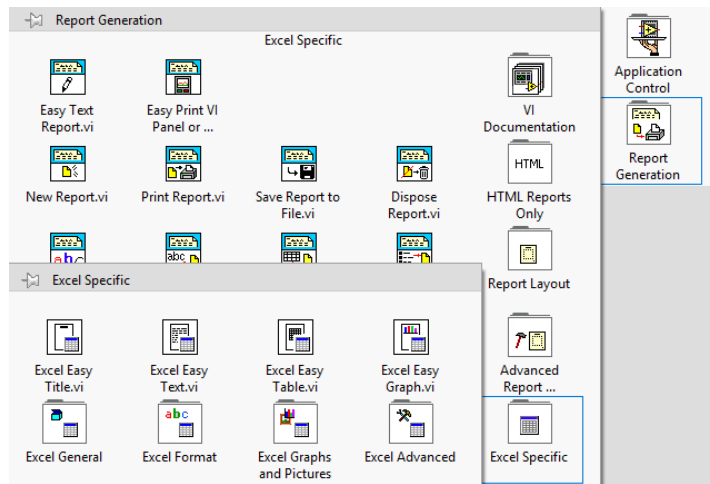


Figura 3.37: Librerías orientadas a Excel.

La figura 3.38 se observa la configuración y la escritura de la hoja de Excel.

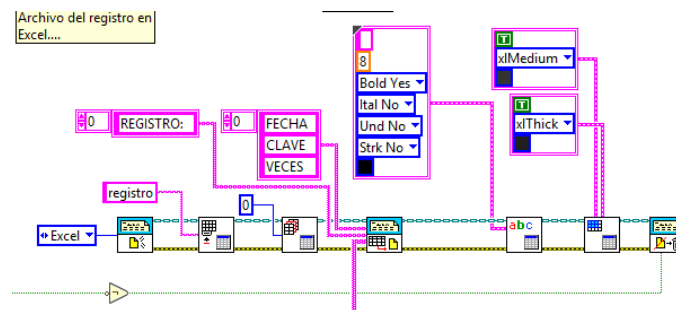


Figura 3.38: Estructura para guardar los datos de la tabla a una hoja de Excel.

Bloques de Excel:

New Report: Para generar un reporte, se debe colocar al inicio un bloque llamado New Report.

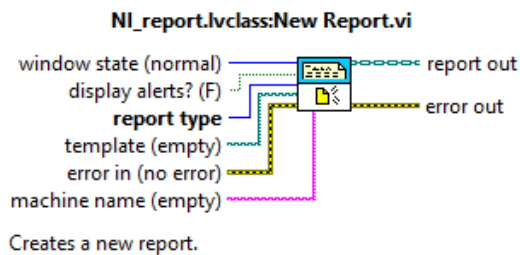
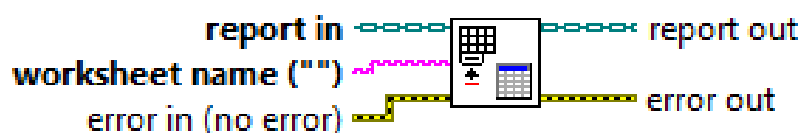


Figura 3.39: Bloque para generar reportes.

En la entrada llamada Report Type, se crea una constante numérica y se selecciona Excel tal como se muestra en la figura 3.39.

Rename Worksheet: Para nombrar la hoja de trabajo, se debe Colocar un bloque llamado Rename Worksheet que se muestra en la figura 3.40.

NI_Excel.lvclass:Excel Rename Worksheet.vi



Renames the current worksheet.

Figura 3.40: Bloque para nombrar hoja de trabajo

En la entrada tipo String se coloca una constante con el nombre que se desea colocar en la hoja de trabajo, en la figura 3.41 se muestra como en la hoja de trabajo aparece con el String “registro”.

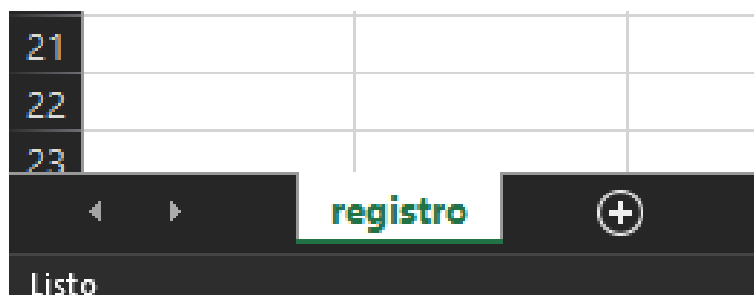
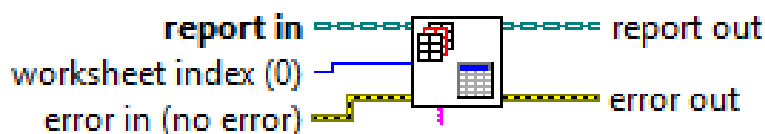


Figura 3.41: Imagen que muestra el String del bloque.

La figura 3.42 muestra una imagen del monitor en donde el nombre de la hoja es cambiada por el String colocado en el pin de worksheet name (”).

Excel Get Worksheet: En número del worksheet se lo especifica con este bloque llamado Excel Get Worksheet, se lo coloca en cero por defecto debido a que un cero en labview equivale a una posición 1.

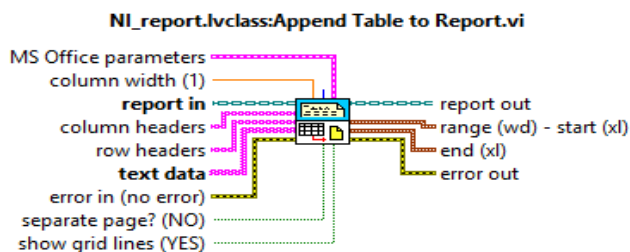
NI_Excel.lvclass:Excel Get Worksheet.vi



Makes a specified worksheet the current worksheet. Use the **worksheet index** or **name** parameter to specify the worksheet you want to set as current.

Figura 3.42: Bloque de índice de hoja

Append Table to Report: El siguiente bloque corresponde a enviar los datos a la hoja de Excel y para esto, se debe ingresar un arreglo en 2D tal y como especifica en la descripción.

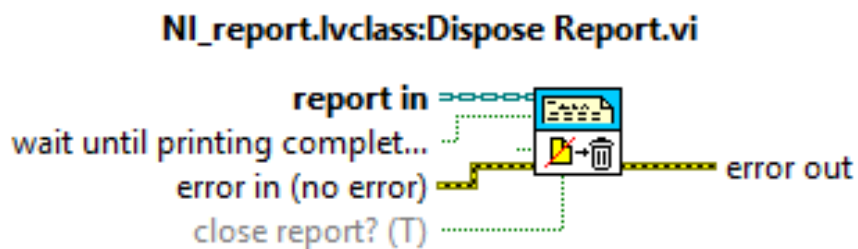


Appends a 2D array to a report as a table with the given column width. Wire data to the **text data** input to determine the polymorphic instance to use or manually select the instance.

Figura 3.43: Bloque de Adjuntar una tabla

En la figura 3.38, se muestra lo necesario que se debe conectar pero lo principal es enviado a **text data**, pin que se encuentra en la figura 3.43.

Dispose Report: El bloque para mostrar la hoja de Excel se llama Dispose Report, mostrado en la figura 3.44. La entrada **close report?** Es quien muestra cuando le llega un valor booleano de falso, así mismo se envía un valor true para cerrar la hoja.



Closes the report and releases its interface, which saves memory.

Figura 3.44: Bloque de abrir o cerrar una hoja de excel.

Excel Set Cell Form y Excel Set Cell Color and Border: Los bloque Excel Set Cell Form y Excel Set Cell Color and Border, que se muestran en la figura 3.45, sirven para darle estética a las letras y bordes de las celdas.

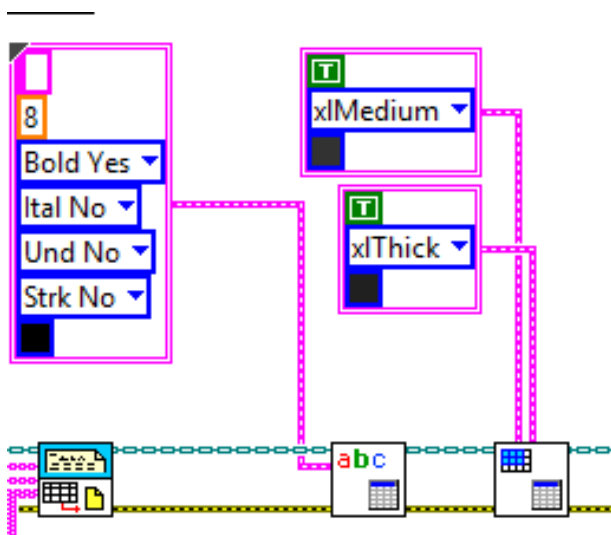


Figura 3.45: Bloques para modificar el estilo de letra y bordes de la hoja en Excel.

Resultado de la hoja en excel: El resultado como ejemplo se tiene una hoja en Excel con las claves ingresadas y guardadas ordenadamente mostrando la fecha, clave y veces ingresadas.

	A	B	C	D
1	FECHA	CLAVE	VECES	
2	1/4/2018 22:29	12345	1	
3	1/4/2018 22:29	22837	1	
4	1/4/2018 22:29	12345	2	
5	1/4/2018 22:29	22837	2	
6	1/4/2018 22:29	22837	3	
7	1/4/2018 22:29	22837	4	
8	1/4/2018 22:29	22837	5	
9	1/4/2018 22:29	22837	6	
10	1/4/2018 22:29	12345	3	
11	1/4/2018 22:30	12345	4	
12	1/4/2018 22:30	12345	5	
13	1/4/2018 22:30	22837	7	
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				

Figura 3.46: Resultado de la hoja de Excel.

Como se mostró en la figura 3.35, se ha formado un arreglo en 2D conformado por fecha, clave y veces ingresadas, datos vistos en la figura 3.46.

3.2.9 Cerrar conexión.

Para cerrar la conexión con el puerto, se coloca un bloque de Close junto con un bloque de Simple Error como se muestra en la figura 3.47, se coloca este bloque de error para mostrar si un error ha ocurrido en la ejecución del programa.

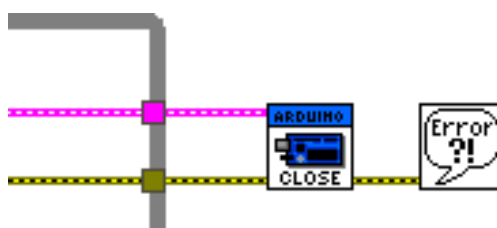


Figura 3.47: Bloque de Close junto a un bloque de Simple Error.

Se pueden colocar algunos bloques de Close si es que se tiene varios bloques que usen los cables de comunicación tal como se muestra en la figura 3.48.

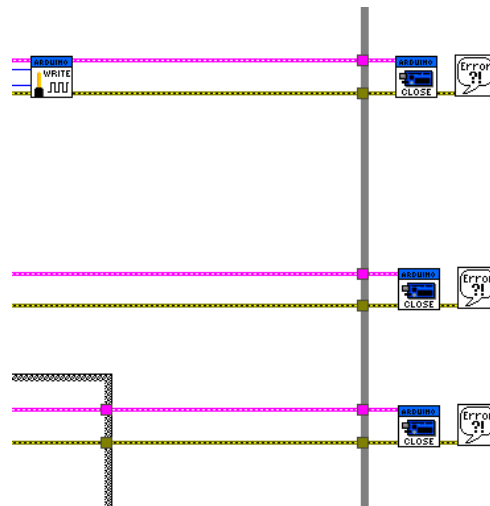


Figura 3.48: Varios bloques de Close.

3.2.10 Registro de desplazamiento Serial a Paralelo con 74595.

Este chip sirve para obtener más salidas en el Arduino cuando estas escasean.

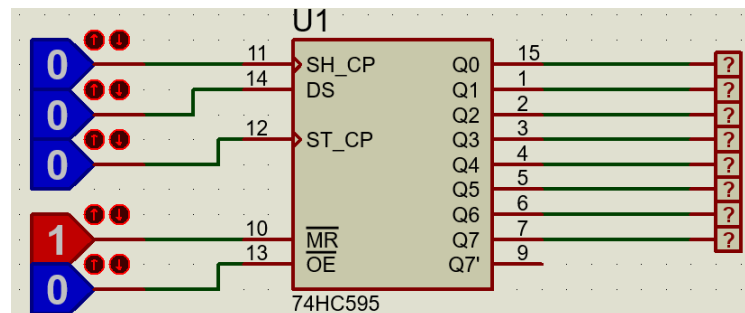


Figura 3.49: Pruebas del chip.

En el pin DS (Serial Data Input) es donde entra el dato MSB seguido de un pulso en SH CP (Shift Register Clock Pin), esto para mover los bits ingresados hasta llegar al LSB, al llegar al bit menos significativo, en el pin ST CP (Storage Register Clock Pin) se envía un pulso y los datos guardados en el registro se muestran en las salidas del integrado.

Lo enunciado anteriormente se lo ha programado en LabVIEW de tal forma que genere pulsos para enviar los datos vía serial a través de 3 pines del Arduino como se muestra en la figura 3.49.

Para esto, se ha hecho la prueba con un Arduino MEGA real y un 74LS595 ocupando 8 entradas y mostrando las respuestas enviadas en una barra de led de 10 unidades a través del integrado 74595 tal como se muestra en la figura 3.50.

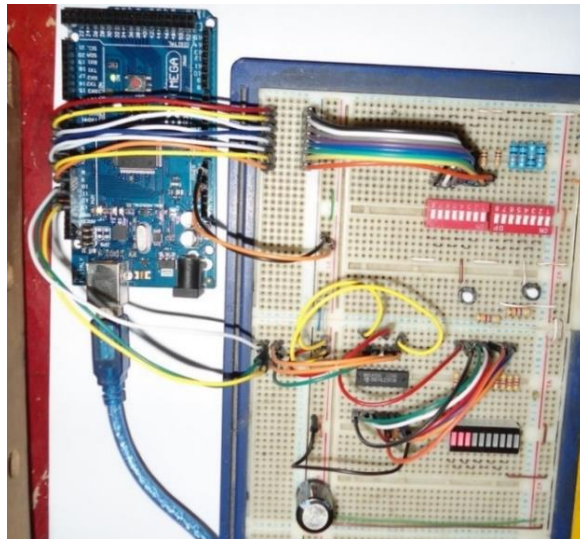


Figura 3.50: Ensamblaje para pruebas con Arduino MEGA.

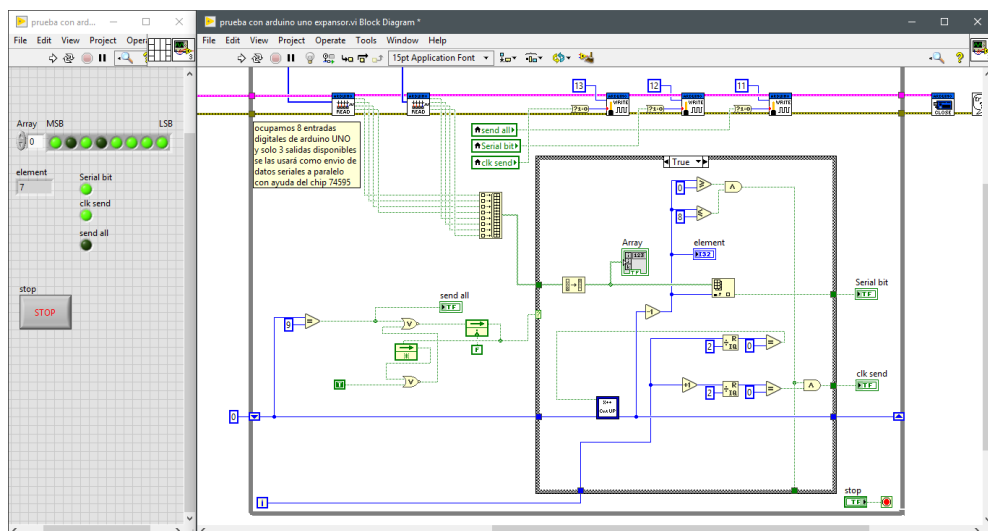


Figura 3.51: Programación usando los bloques LIFA kit.

La programación como se observa en la figura 3.51 consiste en recorrer un arreglo de los bits leídos externamente formado por el bloque Build Array, como el integrado serial-paralelo lee desde el bit más significativo.

hasta el menos significativo, se invierte el array con el bloque de Reverse 1D Array, un contador indica la posición que se debe leer del Array, para generar los pulsos se ha hecho una programación tal que toma las iteraciones del lazo While y detecta números pares con la función para obtener el módulo de una división, esto con el fin de generar un valor true booleano. El ciclo se vuelve a repetir cuando llega a un total de 9 iteraciones, puesto que en la novena iteración se envía el pulso que escribirá lo que se ha guardado en los registros de desplazamiento.

3.3 Estudio de la aplicación del sistema domótico en el bloque de laboratorios 16AB de la FIEC.

Para la realización del estudio de la aplicación del sistema domótico centralizado, en primer lugar, se realizó un análisis de carga del bloque de los laboratorios 16AB con la implementación del sistema domótico, luego se comparó los datos obtenidos con respecto a los datos que arroja el análisis de carga previo del bloque de laboratorios, con la finalidad de determinar con la mayor exactitud posible cuanto representaría en cifras el ahorro energético.

3.3.1 Análisis de carga del bloque de laboratorios 16AB de la FIEC aplicando el sistema domótico.

Para determinar el ahorro de energía eléctrica que se podría obtener con la aplicación del sistema domótico se realiza un nuevo cálculo en base a las consideraciones mencionadas anteriormente, tales como: tomar como referencia un ahorro energético del 25% y que, durante la noche, en los pasillos del bloque 16AB se encenderán una de cada tres luminarias, así los resultados se pueden observar en la tabla 7, dividido en los consumos de las luminarias, las computadoras y aire acondicionado.

ANÁLISIS DE CARGA DEL BLOQUE DE LABORATORIOS 16AB DE LA FIEC APLICANDO EL SISTEMA DOMÓTICO CENTRALIZADO																		
LABORATORIOS	LUMINARIAS						COMPUTADORAS						AIRE ACONDICIONADO					
	CANTIDAD	POTENCIA INDIVIDUAL (KW)	POTENCIA TOTAL (KW)	HORAS DE TRABAJO (DIA)	HORAS DE TRABAJO (MES)	CONSUMO MENSUAL (KWH)	CANTIDAD	POTENCIA INDIVIDUAL (KW)	POTENCIA TOTAL (KW)	HORAS DE TRABAJO (DIA)	HORAS DE TRABAJO (MES)	CONSUMO MENSUAL (KWH)	CANTIDAD	POTENCIA INDIVIDUAL (KW)	POTENCIA TOTAL (KW)	HORAS DE TRABAJO (DIA)	HORAS DE TRABAJO (MES)	CONSUMO MENSUAL (KWH)
INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL	9	0,16	1,44	6	132	190,08	9	0,25	2,25	6	132	297,00	2	1,5	3	6	132	396,00
ELECTRÓNICA DE POTENCIA	12	0,16	1,92	6	132	253,44	6	0,25	1,5	6	132	198,00	3	1,8	5,4	6	132	712,80
SISTEMAS DE POTENCIA	17	0,096	1,632	6	132	215,42	3	0,25	0,75	6	132	99,00	3	3,5	10,5	6	132	1386,00
COMPUTACIÓN DE SISTEMAS DE POTENCIA	6	0,16	0,96	6	132	126,72	25	0,25	6,25	6	132	825,00	2	1,8	3,6	6	132	475,20
MAQUINARIA ELÉCTRICA	24	0,16	3,84	6	132	506,88	1	0,25	0,25	6	132	33,00	5	1,8	9	6	132	1188,00
SISTEMAS ROBÓTICOS	6	0,08	0,48	6	132	63,36	10	0,25	2,5	6	132	330,00	1	3,5	3,5	6	132	462,00
ELECTRÓNICA B	8	0,096	0,768	6	132	101,38	8	0,25	2	6	132	264,00	3	3,5	10,5	6	132	1386,00
ELECTRÓNICA MÉDICA	6	0,16	0,96	6	132	126,72	7	0,25	1,75	6	132	231,00	2	1,5	3	6	132	396,00
REALIDAD VIRTUAL	6	0,16	0,96	6	132	126,72	3	0,25	0,75	6	132	99,00	2	3,5	7	6	132	924,00
SISTEMAS DE CONTROL(CONTROL AUTOMATICO)	8	0,16	1,28	6	132	168,96	13	0,25	3,25	6	132	429,00	1	1,5	1,5	6	132	198,00
CONTROLES INDUSTRIALES ELÉCTRICOS	32	0,064	2,048	6	132	270,34	7	0,25	1,75	6	132	231,00	3	3,5	10,5	6	132	1386,00
CONTROL DE VISIÓN Y ROBÓTICA	16	0,064	1,024	6	132	135,17	21	0,25	5,25	6	132	693,00	2	1,8	3,6	6	132	475,20
CONTROL DE PROCESOS	8	0,064	0,512	6	132	67,58	3	0,25	0,75	6	132	99,00	1	3,5	3,5	6	132	462,00
SIATEMAS TELEMÁTICOS	8	0,096	0,768	6	132	101,38	21	0,25	5,25	6	132	693,00	2	1,8	3,6	6	132	475,20
REDES ELÉCTRICAS	15	0,16	2,4	6	132	316,80	14	0,25	3,5	6	132	462,00	4	1,8	7,2	6	132	950,40
INVESTIGACIÓN(PEDRO CARLÓ PAREDES)	6	0,16	0,96	6	132	126,72	8	0,25	2	6	132	264,00	2	1,5	3	6	132	396,00
ELECTRÓNICA A	11	0,16	1,76	6	132	232,32	12	0,25	3	6	132	396,00	3	3,5	10,5	6	132	1386,00
GICOM	4	0,16	0,64	6	132	84,48	2	0,25	0,5	6	132	66,00	1	1,5	1,5	6	132	198,00
CIRCUITOS IMPRESOS	6	0,096	0,576	6	132	76,03	7	0,25	1,75	6	132	231,00	2	3,5	7	6	132	924,00
AULA SP-01	6	0,16	0,96	6	132	126,72	0	0,25	0	6	132	0,00	1	1,5	1,5	6	132	198,00
SIMULACIONES	6	0,16	0,96	6	132	126,72	37	0,25	9,25	6	132	1221,00	1	1,5	1,5	6	132	198,00
MECATRÓNICA	20	0,064	1,28	6	132	168,96	18	0,25	4,5	6	132	594,00	2	1,5	3	6	132	396,00
SISTEMAS EMBEBIDOS	12	0,064	0,768	6	132	101,38	4	0,25	1	6	132	132,00	1	1,8	1,8	6	132	237,60
RADIOFRECUENCIAS	12	0,064	0,768	6	132	101,38	4	0,25	1	6	132	132,00	1	3,5	3,5	6	132	462,00
PASILLOS(LUMINARIAS LED)	17	0,039	0,663	12	360	238,68	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00
PASILLOS(LUMINARIAS 96W)	1	0,096	0,096	12	360	34,56	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00
PASILLOS(LUMINARIAS 160W)	6	0,16	0,96	12	360	345,60	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00
			CONSUMO TOTAL LUMINARIAS			4534,49			CONSUMO TOTAL COMPUTADORAS			8019,00			CONSUMO TOTAL DE AIRE ACONDICIONADO			15668,40

Tabla 7: Análisis de carga del bloque de laboratorios 16a de la FIEC aplicando el sistema domótico.

En base a los datos proporcionados por la tabla 7, en la cual se muestran los valores totales del consumo del sistema de iluminación, computadoras y aire acondicionado en el bloque de laboratorios 16AB, en el que se ha instalado un sistema domótico, se puede determinar el consumo eléctrico total en un mes de este bloque de laboratorios, el mismo que alcanza los 28221,89 KWH como se encuentra registrado en la tabla 8.

CONSUMO MENSUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BLOQUE LABORATORIOS 16AB DE LA FIEC APLICANDO EL SISTEMA DOMÓTICO	
CONSUMO LUMINARIAS (KWH)	4534,49
CONSUMO COMPUTADORAS (KWH)	8019,00
CONSUMO DE AIRE ACONDICIONADO (KWH)	15668,40
CONSUMO TOTAL (KWH)	28221,89

Tabla 8: Consumo total mensual de energía eléctrica en el bloque de laboratorios 16AB de la FIEC aplicando el sistema domótico.

De los datos proporcionados por la misma tabla 7 acerca de los valores totales del consumo eléctrico del sistema de iluminación, computadoras y aire acondicionado para el laboratorio de Control Automático, en el cual también se ha instalado un sistema domótico, es factible determinar el consumo eléctrico total en un mes de dicho laboratorio, este alcanza los 1175,16 KWH como se encuentra registrado en la tabla 9.

CONSUMO MENSUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL LABORATORIO DE CONTROL AUTOMÁTICO APLICANDO EL SISTEMA DOMÓTICO	
CONSUMO LUMINARIAS (KWH)	284,16
CONSUMO COMPUTADORAS (KWH)	429,00
CONSUMO DE AIRE ACONDICIONADO (KWH)	462,00
CONSUMO TOTAL (KWH)	1175,16

Tabla 9: Consumo total mensual de energía eléctrica en el laboratorio de Control Automático aplicando el sistema domótico.

3.4 Análisis del ahorro energético y económico debido a la aplicación del sistema domótico.

La tabla 10 nos indica que el ahorro total del consumo eléctrico, en Kilovatios-hora, que se experimenta en el bloque de laboratorios 16AB debido a la aplicación del sistema domótico propuesto podría llegar a ser de aproximadamente 10337,54 KW-H por mes.

Teniendo en cuenta que la Espol, al igual que las demás universidades y escuelas politécnicas, tiene una tarifa eléctrica diferenciada de \$ 0,06 por KWH, la tabla 11 nos indica a cuánto ascendería el ahorro económico, en dólares, en el caso que la institución aplicará un sistema domótico en el bloque de laboratorios 16AB. Este ahorro podría llegar a ser de aproximadamente \$ 620,25 por mes.

AHORRO MENSUAL DE CONSUMO ELÉCTRICO EN EL BLOQUE DE LABORATORIOS 16AB DE LA FIEC DEBIDO A LA APLICACIÓN DEL SISTEMA DOMÓTICO	
CONSUMO TOTAL DEL BLOQUE DE LABORATORIOS 16AB SIN LA APLICACIÓN DEL SISTEMA DOMÓTICO (KWH)	38559,42
CONSUMO TOTAL DEL BLOQUE DE LABORATORIOS 16AB APLICANDO EL SISTEMA DOMÓTICO (KWH)	28221,89
AHORRO MENSUAL DEL CONSUMO ELÉCTRICO (DIFERENCIA ENTRE CONSUMO SIN SISTEMA DOMÓTICO Y CONSUMO CON SISTEMA DOMÓTICO) (KWH)	10337,54

Tabla 10: Ahorro mensual total de consumo eléctrico en el bloque laboratorios 16AB de la FIEC debido a la aplicación del sistema domótico.

AHORRO ECONÓMICO EN EL BLOQUE DE LABORATOS 16AB DEBIDO A LA APLICACIÓN DEL SISTEMA DOMÓTICO	
VALOR ECONÓMICO DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL BLOQUE DE LABORATORIOS 16AB (\$)	2313,57
VALOR ECONÓMICO DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL BLOQUE DE LABORATORIOS 16AB APLICANDO SISTEMA DOMÓTICO (\$)	1693,31
AHORRO ECONÓMICO EN EL BLOQUE DE LABORATORIOS 16AB APLICANDO SISTEMA DOMÓTICO (\$)	620,25

Tabla 11: Ahorro económico como resultado de la aplicación del sistema domótico en el bloque de laboratorios16AB.

AHORRO MENSUAL DE CONSUMO ELÉCTRICO EN EL LABORATORIO DE CONTROL AUTOMÁTICO DEBIDO A LA APLICACIÓN DEL SISTEMA DOMÓTICO	
CONSUMO TOTAL DEL LABORATORIO DE CONTROL AUTOMÁTICO (KWH)	1643,68
CONSUMO TOTAL DEL LABORATORIO DE CONTROL AUTOMÁTICO APLICANDO EL SISTEMA DOMÓTICO CENTRALIZADO(KWH)	1175,16
AHORRO MENSUAL TOTAL DE CONSUMO ELÉCTRICO EN EL LABORATORIO DE CONTROL AUTOMÁTICO (KWH)	468,52

Tabla 12: Ahorro mensual total de consumo eléctrico en el laboratorio de Control Automático debido a la aplicación del sistema domótico.

En la tabla 12 se puede apreciar el ahorro total mensual del consumo eléctrico en el laboratorio de Control Automático debido a la aplicación del sistema domótico propuesto podría llegar a ser de aproximadamente 468,52 KWH por mes. Al igual que el bloque de laboratorios 16AB, se ha tomado como base para estimar el ahorro de energía eléctrica, estudios fundamentados que indican que el ahorro producido por la aplicación de los sistemas domóticos se encuentra entre un 25 y 30%. Para este caso, al igual que para los laboratorios del bloque 16AB se ha estimado en un 25% de ahorro para realizar los cálculos.

AHORRO ECONÓMICO EN EL LABORATORIO DE CONTROL AUTOMÁTICO DEBIDO A LA APLICACIÓN DEL SISTEMA DOMÓTICO	
VALOR ECONÓMICO DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL LABORATORIO DE CONTROL AUTOMÁTICO (\$)	98,62
VALOR ECONÓMICO DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL LABORATORIO DE CONTROL AUTOMÁTICO APLICANDO SISTEMA DOMÓTICO (\$)	70,51
AHORRO ECONÓMICO EN EL LABORATORIO DE CONTROL AUTOMÁTICO DOMÓTICO (\$)	28,11

Tabla 13: Ahorro económico en el laboratorio de Control Automático como resultado de la aplicación del sistema domótico.

La tabla 13 nos indica a cuánto ascendería el ahorro económico, en dólares, en el caso que la institución aplicará un sistema domótico en el laboratorio de Control Automático. Al igual que el caso de bloque de laboratorios 16AB, la tarifa aplicada es de \$ 0,06 por KWH. Por esta razón se puede afirmar que el ahorro económico debido a la aplicación del sistema domótico propuesto podría llegar a ser de aproximadamente \$ 28,11 por mes.

3.5 Presupuesto.

Para la realización del presupuesto para la instalación del sistema domótico centralizado en el laboratorio de Control Automático se tomaron en cuenta los elementos necesarios para implementar el control centralizado, el mismo que se instalará en un gabinete metálico que se ubicará a un costado de la puerta principal de acceso al laboratorio. Un total de 19 sensores de movimiento PIR se instalarán tanto en el laboratorio como en el pasillo aledaño al mismo, 5 sensores se instalarán en el techo del laboratorio, tres de ellos colocarán en el área de trabajo y uno en cada una de las dos oficinas con que cuenta el

laboratorio, mientras que 10 sensores se ubicarán en las 5 mesas de trabajo, dos en cada una, los 4 sensores restantes se ubicarán en el techo del pasillo contiguo la laboratorio, con una distancia de separación de 5 metros entre ellos.

COSTO MATERIALES REQUERIDOS PARA LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DOMÓTICO CENTRALIZADO			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (\$)	VALOR TOTAL (\$)
GABINETE METALICO 250x250x100	1	14,00	14,00
TUBO CONDUIT PVC 1" (3m)	15	3,00	45,00
CANALETAS 20X12	6	7,00	42,00
CABLE DE DATOS CAT 5E (ROLLO 100 m)	2	105,00	210,00
CAJAS ELÉCTRICAS PLASTICAS 4X4	15	1,50	22,50
ABRAZADERAS METALICAS PARA TUBO 1"	20	1,00	20,00
CONECTORES CONDUIT 1"	18	0,70	12,60
SENSOR DE MOVIMIENTO PIR ARDUINO	19	4,00	76,00
SENSOR INFRARROJO ARDUINO	1	3,45	3,45
MÓDULO SENSOR LDR (FOTORESISTENCIA)	1	3,15	3,15
RESISTENCIA 1K 1/4 WATT	10	0,05	0,50
MODULO SENSOR SEGUIDOR	2	3,00	6,00
TECLADO 4X4	1	3,50	3,50
TRIMMER DE PRESIÓN 10K (103)	2	1,50	3,00
SENSOR DE TEMPERATURA LM35DZ	1	2,25	2,25
PANTALLA LCD 16X2	2	6,00	12,00
CABLE JUMPER	1	0,30	0,30
MÓDULO ARDUINO MEGA 2650	1	24,00	24,00
CERRADURA ELÉCTRICA VIRO	1	70,00	70,00
VALOR TOTAL MATERIALES			570,25

Tabla 14: Costo materiales requeridos para la instalación del sistema domótico centralizado

El sensor de temperatura LM35DZ se colocará también en el techo del área de trabajo del laboratorio. El cable de datos CAT 5E que interconecta el control

centralizado y los sensores pasará a través de una canaleta cuando se trate de las paredes del laboratorio, mientras que en el techo el cableado pasará a través de una tubería conduit pvc de una pulgada de diámetro. La mano de obra se divide en la requerida para la colocación de la tubería conduit pvc y las cajas eléctricas plásticas 4 x 4, y otra requerida para la instalación del gabinete metálico donde se ubicará el control centralizado, de los sensores y el cableado para correspondiente interconexión entre ellos.

La tabla 14 muestra el valor total que cuestan los materiales eléctricos que se necesitan para la instalación del sistema domótico, entre ellos tenemos los dispositivos que se ubican en el gabinete de control, los diferentes sensores y los accesorios necesarios para la instalación del cableado, entre ellos las canaletas, tubos y cajas eléctricas, cuyo valor total ascendería a los \$ 570,25.

COSTO MANO DE OBRA REQUERIDA PARA LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DOMÓTICO CENTRALIZADO			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (\$)	VALOR TOTAL (\$)
INSTALACIÓN TUBERIA Y CANALETAS (m)	60	5,00	300,00
INSTALACIÓN DE PUNTOS DOMÓTICOS	11	35,00	385,00
TOTAL MANO DE OBRA			685,00

Tabla 15: Costo mano de obra requerida para la instalación del sistema domótico centralizado.

La tabla 15 nos muestra el valor que se tendría que pagar para instalar los accesorios requeridos para la instalación del cable de datos CAT 5E, así como también el valor que costaría ubicar cada uno de los puntos domóticos, cada punto domótico puede significar la instalación de uno o dos sensores, dependiendo si se puede instalar 2 sensores con el mismo cable de datos o por su respectiva posición solo es posible instalar un sensor por cada cable de datos.

COSTO INSTALACIÓN DEL SISTEMA DOMÓTICO CENTRALIZADO EN EL LABORATORIO DE CONTROL AUTOMATICO	
COSTO MATERIALES REQUERIDOS PARA LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DOMÓTICO CENTRALIZADO	570,25
COSTO MANO DE OBRA REQUERIDA PARA LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DOMÓTICO CENTRALIZADO	685,00
COSTO TOTAL INSTALACIÓN DEL SISTEMA DOMÓTICO CENTRALIZADO EN LABORATORIO CONTROL AUTOMATICO	1255,25

Tabla 16: Costo instalación del sistema domótico centralizado en el laboratorio de control automático.

En La Tabla 16 muestra el valor total que costaría la instalación del sistema domótico centralizado en el laboratorio de Control Automático de la FIEC, para llegar a este valor contabilizamos el costo de los materiales necesarios para la instalación del sistema domótico y la mano de obra para la instalación de dichos materiales, especialmente el trabajo civil de la instalación de cajas y tuberías para conducir el cableado de datos desde los sensores hasta el gabinete donde se encuentra en control centralizado del sistema, por lo tanto el valor total de esta obra asciende a \$ 1255,25.

3.6 Análisis de resultados.

En base a los resultados obtenidos se puede notar que la instalación del sistema domótico centralizado que se ha diseñado para el laboratorio de Control Automático tiene un tiempo de recuperación de la inversión o “período de payback” que supera los 4 años, lo que lo hace que el proyecto sea rentable pero a mediano plazo, esta afirmación se debe a que el ahorro económico que supondría la instalación de este sistema sería de aproximadamente \$ 28,11 por mes, contra un presupuesto de instalación del sistema domótico de alrededor de \$ 1255,25, lo que significaría que se necesitaría de aproximadamente 44,65

meses, es decir, tomando en cuenta que los laboratorios trabajan en promedio alrededor de 10 meses por año, se tardaría más de 4 años para recuperar la inversión realizada. Sin embargo, la instalación de un sistema domótico para todo el bloque de laboratorios 16AB podría generar un ahorro mensual promedio de \$ 620,25, lo que supondría al menos \$ 6200 de ahorro por año. Con estas cifras sería factible la instalación de un sistema domótico que, con las modificaciones del caso, pudiera tener un tiempo de recuperación de la inversión mucho menor, lo que haría que el proyecto sea rentable en el corto plazo. En este sentido, se podrían analizar varias alternativas, por ejemplo, en vez de un control centralizado para cada laboratorio se podría tener un control centralizado para todo el bloque de laboratorios, esta alternativa abarataría los costos de instalación. Sin embargo, también habría la posibilidad de buscar una alternativa entre los otros tipos de arquitecturas domóticas, como por ejemplo, diseñar el sistema domótico con una arquitectura distribuida, en la que tanto los sensores como los actuadores funcionan como controladores capaces de actuar y enviar información al sistema, otra alternativa es el diseño del sistema domótico con una arquitectura híbrida o mixta, que es una combinación de las anteriores. Hay que tomar en cuenta que la Espol, al no ser una institución con fines de lucro, pudiera iniciar inversiones de este tipo que no necesariamente buscan obtener resultados favorables a corto plazo, pero que reafirmarían su posición de universidad de vanguardia a nivel nacional.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con la aplicación del sistema domótico centralizado que se ha diseñado para el laboratorio de Control Automático, el consumo de energía se podría reducir significativamente. Sin embargo, el porcentaje de ahorro de energía es un estimado, en base a los estudios realizados por diversas instituciones especializadas en el estudio y aplicación de la domótica en viviendas y edificios, las cuales ubican el ahorro energético como resultado de la aplicación de sistemas domóticos entre un 25 y 30%.

Aunque el sistema domótico que se ha diseñado para el laboratorio de Control Automático posee una arquitectura centralizada, el diseño de un sistema domótico para su aplicación en todo el bloque de laboratorios 16AB de la Fiec podría variar en cuanto a su arquitectura, es decir, si las condiciones son favorables, este sistema podría tener una arquitectura distribuida o una arquitectura híbrida o mixta. En cada caso se deberá hacer un estudio pormenorizado de factibilidad para determinar qué tipo de arquitectura sea el más adecuado para el sistema domótico.

Se ha logrado exitosamente el diseño de un VI en LabVIEW, utilizando una tarjeta ARDUINO MEGA 2560 como tarjeta de adquisición de datos, ya que éste se encarga de procesar la información de los sensores y activación de los actuadores. También se ha usado con éxito técnicas de electrónica analógica y lógica digital para diseñar ciertos bloques tales como histéresis, entradas/salidas de 1 nibble y contadores.

Por la experiencia obtenida durante la realización de este proyecto, se sugiere, implementar un sistema domótico para todo el bloque de laboratorios 16AB de la FIEC, con la finalidad de optimizar el consumo de energía eléctrica dentro de los laboratorios y pasillos aledaños, lo que permitirá optimizar también el funcionamiento de los diferentes sistemas y equipos que conforman estos laboratorios.

A falta de salidas en la tarjeta, debido al número que ocupan los sensores como entradas digitales, se propone utilizar el circuito integrado 74595 puesto que, con

solo 3 salidas de la tarjeta, se puede expandir a 8 salidas o 16 en conexión cascada con el integrado, programando adecuadamente en LabVIEW una trama de pulsos la cual escribe la información serialmente y la muestra en sus salidas paralelamente.

Se sugiere la modificación del código del archivo LIFA_Base, en el script llamado LabVIEWInterface.h, en la parte en donde definen la tasa de baudios para el chip ATmega2560, se debe cambiar de 9600 a 115200 baudios, lo mismo se procede a hacer en el bloque de inicialización en LabVIEW, se da doble click y se accede a la codificación gráfica del bloque Init y se busca en el Case Structure Mega2560 y se cambia de 9600 a 115200, esto con el fin de aumentar la velocidad de muestreo y para que no genere error de comunicación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. M. Huidobro Moya y R. J. Millán tejedor, Manual de domótica, Madrid: Creaciones Copyright, S.L., 2010.
- [2] «Real Academia Española,» 2018. [En línea]. Disponible en: <http://dle.rae.es/?id=E7W0v9b>. [Último acceso: 2 Febrero 2018].
- [3] R. Hernández Balibrea, «Tecnología domótica para el control de una vivienda (Tesis de Pregrado),» Cartagena, 2012.
- [4] R. J. Millán Tejedor, «Consultoría Estratégica en Tecnologías de la Información y Comunicaciones,» 2004. [En línea]. Disponible en: <https://www.ramonmillan.com/tutoriales/dispositivosviviendadomotica.php>. [Último acceso: 4 Febrero 2018].
- [5] A. Rodriguez Ortiz, «Implementación de sistemas domóticos en un aula docente de la Universidad de Cantabria (Tesis de Pregrado),» Santander, 2016.
- [6] «KNX,» 20 Febrero 2015. [En línea]. Disponible en: <https://cursodidacticoknx.wordpress.com/2015/>. [Último acceso: 8 Enero 2018].
- [7] «Introducción a la domótica,» [En línea]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/introduccionaladomotica/proceso/actividad-4-arquitectura>. [Último acceso: 4 Enero 2018].
- [8] J. M. Rivas Arias, Manual ilustrado para la instalación domótica, Madrid: Paraninfo, S.A., 2009.
- [9] A. Kolson Hurley, «Architectural Lighting,» 9 Agosto 2013. [En línea]. Disponible en: http://www.archlighting.com/technology/in-the-network_o. [Último acceso: 4 Enero 2018].
- [10] «Domo Prac,» [En línea]. Disponible en: <http://www.domoprac.com/domoteca/domoteca/integracion-domotica/control-del-sistema-de-iluminacion-con-domotica.html>. [Último acceso: 4 Enero 2018].

- [11] J. Tobajas Povar, «Linked in,» 18 Enero 2017. [En línea]. Disponible en: <https://es.linkedin.com/pulse/dom%C3%B3tica-y-el-control-de-la-iluminaci%C3%B3n-jos%C3%A9-tobajas-povar>. [Último acceso: 12 Enero 2018].
- [12] R. Contijoch Alonso, «Control domótico de los sistemas de una vivienda (Tesis de Pregrado),» Tarragona, 2008.
- [13] «Tecnoseguro,» 2 Febrero 2012. [En línea]. Disponible en: <https://www.tecnoseguro.com/faqs/alarma/que-es-un-detector-de-movimiento-pasivo-o-pir>. [Último acceso: 6 Enero 2018].
- [14] «Omniblug,» [En línea]. Disponible en: <http://www.omniblug.com/sensor-movimiento-pir-arduino.html>. [Último acceso: 12 Enero 2018].
- [15] «Construmática,» s.f. [En línea]. Disponible en: http://www.construmatica.com/construpedia/Dom%C3%B3tica_y_Climatizaci%C3%B3n. [Último acceso: 6 Enero 2018].
- [16] «Hetpro,» 25 Noviembre 2017. [En línea]. Disponible en: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/lm35/>. [Último acceso: 4 Febrero 2018].
- [17] «Ecured,» [En línea]. Disponible en: <https://www.ecured.cu/LM35>. [Último acceso: 6 Febrero 2018].
- [18] «GeekBot,» [En línea]. Disponible en: <http://www.geekbotelectronics.com/producto/lm35-sensor-de-temperatura/>. [Último acceso: 6 Febrero 2018].
- [19] CEDOM y IDAE, Cómo ahorrar energía instalando domótica en su vivienda. Gane en confort y seguridad, Barcelona: AENOR, 2008.
- [20] «Casas Digitales,» 2018. [En línea]. Disponible en: <http://www.casasdigitales.com/ahorro-energetico-confort-la-seguridad/>. [Último acceso: 18 Enero 2018].
- [21] «Universidad de Ciencias Empresariales y Sociales,» [En línea]. Disponible en: https://w.uces.edu.ar/wp-content/uploads/2013/09/EI_aporte_de_la_domotica_a_la_eficiencia_energetica.pdf. [Último acceso: 18 Enero 2018].

ANEXOS

ANEXO 1: PLANOS DEL SISTEMA DOMÓTICO Y ELÉCTRICO DEL LABORATORIO DE CONTROL AUTOMÁTICO.

A1.1: Simbología.

A1.2: Planilla de Circuitos y Diagrama Unifilar.

A1.3: Calculo de demanda del laboratorio de Control Automático.

A1.4: Sistema eléctrico, iluminación y tomacorrientes.

A1.5: Circuito sistema domótico.

ANEXO 2: DATASHEETS DE DISPOSITIVOS DEL SISTEMA DOMÓTICO CENTRALIZADO

A2.1: Datasheet del Arduino Mega 2650






A2.2: Datasheet del sensor de temperatura LM35DZ.

A2.3: Datasheet del sensor de movimiento PIR.

A2.4: Datasheet del MC74HC595A

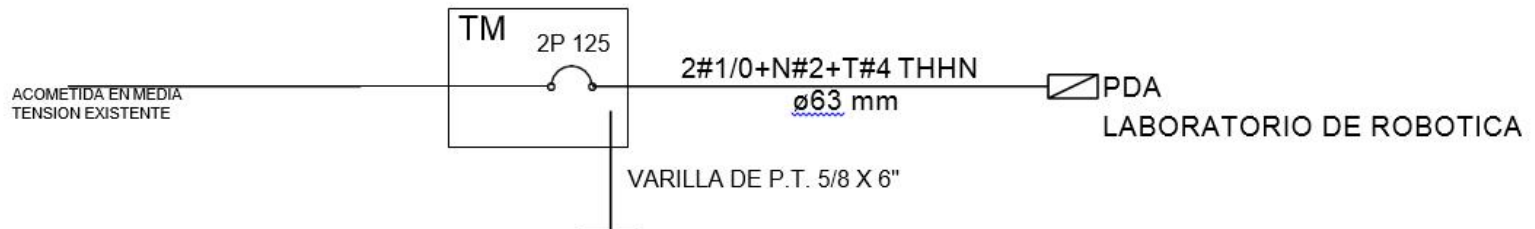
ANEXO 1

**PLANOS DEL SISTEMA DOMÓTICO Y ELÉCTRICO DEL LABORATORIO
DE CONTROL AUTOMÁTICO.**

SIMBOLOGIA	
SIMBOLO	DESCRIPCION
	SENSOR MOVIMIENTO PIR
	SENSOR MOVIMIENTO TEMP. LM35DZ
	TOMACORRIENTE DE 220 V
	TOMACORRIENTE DE 110 V
S	INTERRUPTOR SENCILLO
S2	INTERRUPTOR DOBLE
	GABINETE CONTROL DOMOTICA

PLANILLA DE CIRCUITOS									
TABLERO	CIRCUITOS DE TABLERO			DISYUNTOR			DUCTO	CARGA	SERVICIO
	Numero	Voltaje	Conductor	Fase	Amperios	Polos	d	Watts	
PDA	A1	120	1#12+12(N)	A	20	1	1/2	1600	ALUMBRADO
	T1	120	1#12+12(N)	A	20	1	1/2	1600	GABINETE CONTROL DOMOTICO
	T2	120	1#12+12(N)	B	20	1	1/2	1600	TOMACORRIENTE 110 V
	T3	120	1#12+12(N)	A	20	1	1/2	1600	TOMACORRIENTE 110 V
	T4	120	1#12+12(N)	B	20	1	1/2	1600	TOMACORRIENTE 220 V

DIAGRAMA UNIFILAR



METODO EBASCO

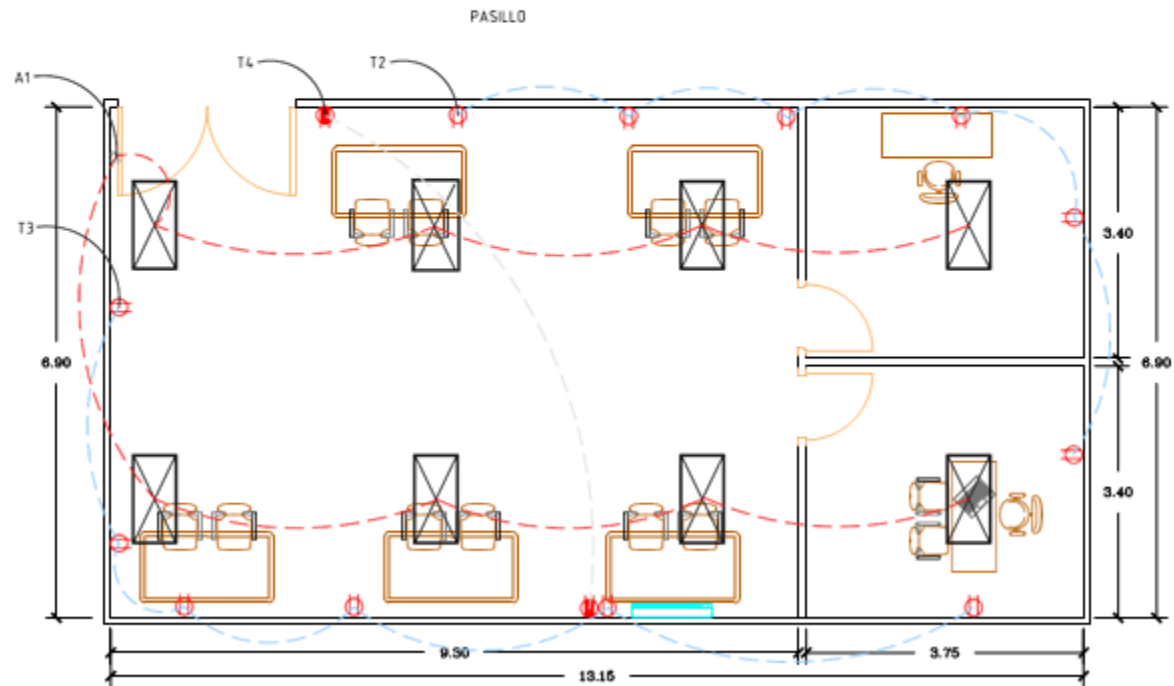
CALCULO DE LA DEMANDA LABORATORIO DE CONTROL AUTOMATICO

PANEL PDA

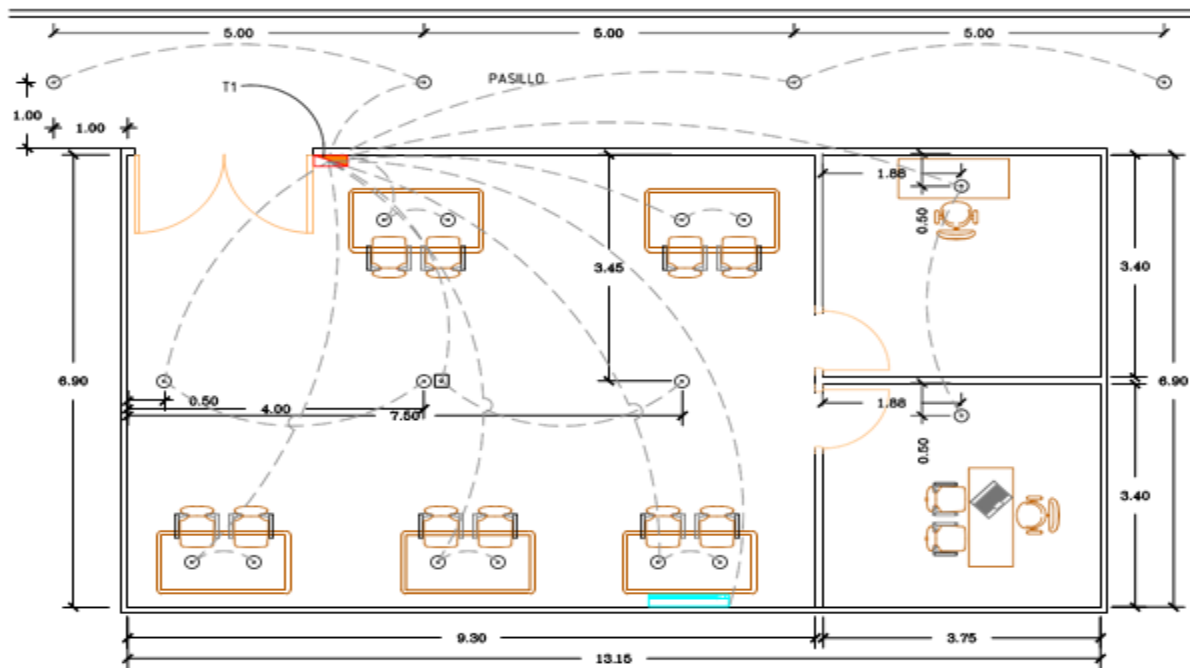
DESCRIPCION	CALCULO DE DEMANDA MAXIMA			CALCULO ENERGIA MENSUAL KWH		
	CANTIDAD	W/PTO.	W TOTAL	HORAS/DIA	F,C	W-H
Alumbrado	6	160	960	4,00	0,35	1.344
Tomas 110 V uso general	12	500	6.000	4,00	0,35	8.400
Tomas 220 V uso general	2	1500	3.000	1,00	0,35	1.050
AA 48000BTU	1	4350	4.350	2,00	0,75	6.525
RESERVA	1	1600	1.600	6,00	0,70	6.720
		KW TOTAL instalados	15,91	KWH/DIA		24,04
				# días / mes		30,00
		Demanda Kw según Ebasco	5,27	KWH MES		721,17

DEMANDA DE PDA	5,27
CORRIENTE (AMPS)	23,85
CALCULO DEL BREAKER (AMP)	29,82
BREAKER	2P40
CONDUCTOR NORMAL	2#2 +N#4+T#6 THHN
DUCTERIA	2"

SISTEMA ELECTRICO ILUMINACION Y TOMACORRIENTES



CIRCUITO SISTEMA DOMOTICO



RobotShop

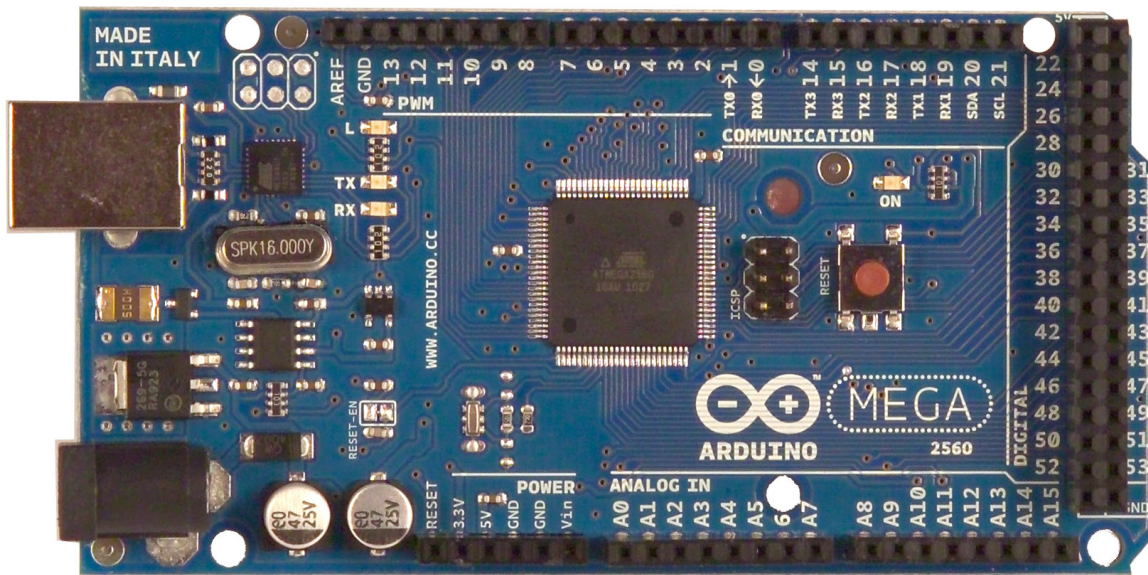
www.robotshop.com



La robotique à votre service! - Robotics at your service!



Arduino Mega 2560 Datasheet

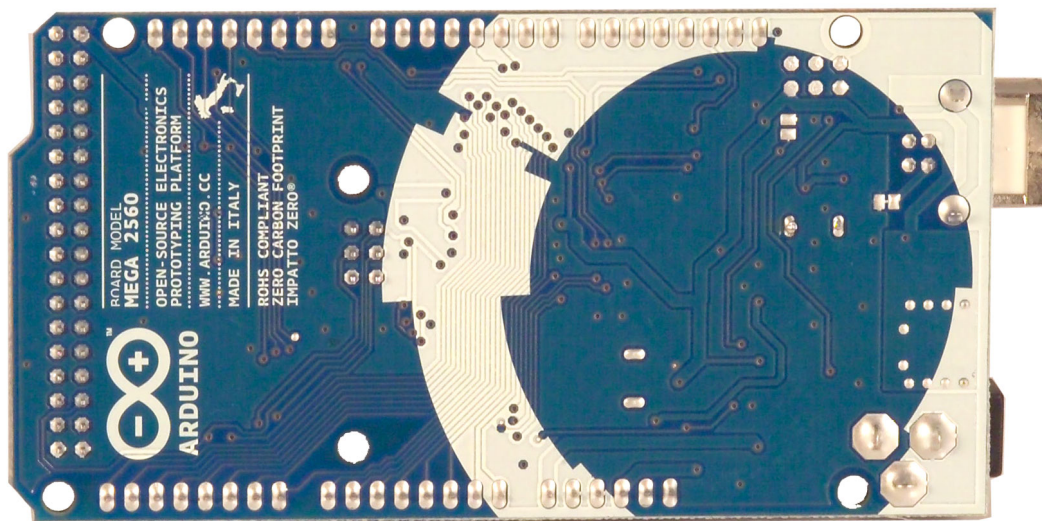




www.robotshop.com



La robotique à votre service! - Robotics at your service!



Overview

The Arduino Mega 2560 is a microcontroller board based on the ATmega2560 ([datasheet](#)). It has 54 digital input/output pins (of which 14 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Mega is compatible with most shields designed for the Arduino Duemilanove or Diecimila.

Schematic & Reference Design

EAGLE files: [arduino-mega2560-reference-design.zip](#)



www.robotshop.com



La robotique à votre service! - Robotics at your service!

Schematic: [arduino-mega2560-schematic.pdf](#)

Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

Power

The Arduino Mega can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The Mega2560 differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.



www.robotshop.com



La robotique à votre service! - Robotics at your service!

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

Memory

The ATmega2560 has 256 KB of flash memory for storing code (of which 8 KB is used for the bootloader), 8 KB of SRAM and 4 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

Each of the 54 digital pins on the Mega can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) and 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) and 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) and 14 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. Pins 0 and 1 are also connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts: 2 (interrupt 0), 3 (interrupt 1), 18 (interrupt 5), 19 (interrupt 4), 20 (interrupt 3), and 21 (interrupt 2).** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 0 to 13.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- **SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS).** These pins support SPI communication using the [SPI library](#). The SPI pins are also broken out on the ICSP header, which is physically compatible with the Uno, Duemilanove and Diecimila.
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH



www.robotshop.com



La robotique à votre service! - Robotics at your service!

value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

- **I²C: 20 (SDA) and 21 (SCL).** Support I²C (TWI) communication using the [Wire library](#) (documentation on the Wiring website). Note that these pins are not in the same location as the I²C pins on the Duemilanove or Diecimila.

The Mega2560 has 16 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though is it possible to change the upper end of their range using the AREF pin and analogReference() function.

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

Communication

The Arduino Mega2560 has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega2560 provides four hardware UARTs for TTL (5V) serial communication. An ATmega8U2 on the board channels one of these over USB and provides a virtual com port to software on the computer (Windows machines will need a .inf file, but OSX and Linux machines will recognize the board as a COM port automatically. The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the ATmega8U2 chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Mega2560's digital pins.

The ATmega2560 also supports I²C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I²C bus; see the [documentation on the Wiring website](#) for details. For SPI communication, use the [SPI library](#).

Programming

The Arduino Mega can be programmed with the Arduino software ([download](#)). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega2560 on the Arduino Mega comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It



www.robotshop.com



La robotique à votre service! - Robotics at your service!

communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)). You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Mega2560 is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2 is connected to the reset line of the ATmega2560 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload. This setup has other implications. When the Mega2560 is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Mega2560. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

The Mega2560 contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [this forum thread](#) for details.

USB Overcurrent Protection

The Arduino Mega2560 has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

Physical Characteristics and Shield Compatibility



www.robotshop.com



La robotique à votre service! - Robotics at your service!

The maximum length and width of the Mega2560 PCB are 4 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Three screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

The Mega2560 is designed to be compatible with most shields designed for the Uno, Diecimila or Duemilanove. Digital pins 0 to 13 (and the adjacent AREF and GND pins), analog inputs 0 to 5, the power header, and ICSP header are all in equivalent locations. Further the main UART (serial port) is located on the same pins (0 and 1), as are external interrupts 0 and 1 (pins 2 and 3 respectively). SPI is available through the ICSP header on both the Mega2560 and Duemilanove / Diecimila. *Please note that I2C is not located on the same pins on the Mega (20 and 21) as the Duemilanove / Diecimila (analog inputs 4 and 5).*

LM35

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors



Literature Number: SNIS159B

LM35

Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^\circ\text{C}$ over a full -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\ \mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55° to $+150^\circ\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40° to $+110^\circ\text{C}$ range (-10° with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear + 10.0 mV/°C scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at +25°C)
- Rated for full -55° to $+150^\circ\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\ \mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\ \Omega$ for 1 mA load

Typical Applications

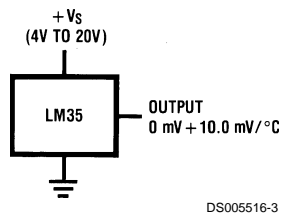
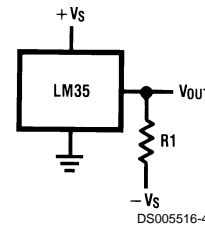


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor (+2°C to +150°C)

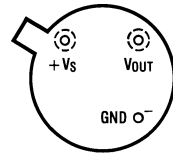


Choose $R_1 = -V_S/50\ \mu\text{A}$
 $V_{\text{OUT}} = +1,500\ \text{mV}$ at $+150^\circ\text{C}$
 $= +250\ \text{mV}$ at $+25^\circ\text{C}$
 $= -550\ \text{mV}$ at -55°C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

Connection Diagrams

TO-46
Metal Can Package*



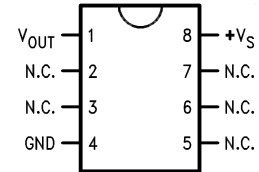
BOTTOM VIEW
DS005516-1

*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or LM35DH

See NS Package Number H03H

SO-8
Small Outline Molded Package

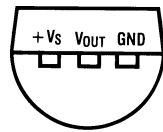


DS005516-21

N.C. = No Connection

Top View
Order Number LM35DM
See NS Package Number M08A

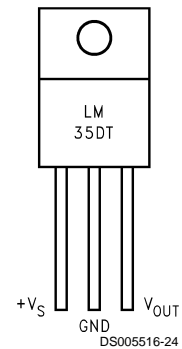
TO-92
Plastic Package



BOTTOM VIEW
DS005516-2

Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ
See NS Package Number Z03A

TO-220
Plastic Package*



DS005516-24

*Tab is connected to the negative pin (GND).

Note: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP.

Order Number LM35DT
See NS Package Number TA03F

Absolute Maximum Ratings (Note 10)

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

Supply Voltage	+35V to -0.2V
Output Voltage	+6V to -1.0V
Output Current	10 mA
Storage Temp.;	
TO-46 Package,	-60°C to +180°C
TO-92 Package,	-60°C to +150°C
SO-8 Package,	-65°C to +150°C
TO-220 Package,	-65°C to +150°C
Lead Temp.:	
TO-46 Package,	
(Soldering, 10 seconds)	300°C

TO-92 and TO-220 Package, (Soldering, 10 seconds)	260°C
SO Package (Note 12)	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 11)	2500V
Specified Operating Temperature Range: T_{MIN} to T_{MAX} (Note 2)	
LM35, LM35A	-55°C to +150°C
LM35C, LM35CA	-40°C to +110°C
LM35D	0°C to +100°C

Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.2	± 0.5		± 0.2	± 0.5		°C
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.3			± 0.3		± 1.0	°C
	$T_A = T_{MAX}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		°C
	$T_A = T_{MIN}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4		± 1.5	°C
Nonlinearity (Note 8)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.18		± 0.35	± 0.15		± 0.3	°C
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	+10.0	+9.9, +10.1		+10.0		+9.9, +10.1	mV/°C
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1$ mA	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		mV/mA
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.5		± 3.0	± 0.5		± 3.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.05		± 0.01	± 0.05		mV/V
	$4V \leq V_S \leq 30V$	± 0.02		± 0.1	± 0.02		± 0.1	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5V, +25^\circ\text{C}$	56	67		56	67		μA
	$V_S = +5V$	105		131	91		114	μA
	$V_S = +30V, +25^\circ\text{C}$	56.2	68		56.2	68		μA
	$V_S = +30V$	105.5		133	91.5		116	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4V \leq V_S \leq 30V, +25^\circ\text{C}$	0.2	1.0		0.2	1.0		μA
	$4V \leq V_S \leq 30V$	0.5		2.0	0.5		2.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.5	+0.39		+0.5	μA/°C
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of <i>Figure 1</i> , $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	°C
Long Term Stability	$T_J = T_{MAX}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			°C

Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35			LM35C, LM35D			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy, LM35, LM35C (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.5			± 0.5		± 1.5	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$	± 0.8	± 1.5		± 0.8		± 1.5	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$	± 0.8		± 1.5	± 0.8		± 2.0	$^\circ\text{C}$
Accuracy, LM35D (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$				± 0.6	± 1.5		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$				± 0.9		± 2.0	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$				± 0.9		± 2.0	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.3		± 0.5	± 0.2		± 0.5	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	+10.0	+9.8, +10.2		+10.0		+9.8, +10.2	mV/ $^\circ\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 2.0		± 0.4	± 2.0		mV/mA
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.5		± 5.0	± 0.5		± 5.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.1		± 0.01	± 0.1		mV/V
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	± 0.02		± 0.2	± 0.02		± 0.2	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56	80		56	80		μA
	$V_S = +5\text{V}$	105		158	91		138	μA
	$V_S = +30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56.2	82		56.2	82		μA
	$V_S = +30\text{V}$	105.5		161	91.5		141	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	0.2	2.0		0.2	2.0		μA
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	0.5		3.0	0.5		3.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.7	+0.39		+0.7	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of <i>Figure 1</i> , $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{\text{MAX}}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^\circ\text{C}$

Note 1: Unless otherwise noted, these specifications apply: $-55^\circ\text{C} \leq T_J \leq +150^\circ\text{C}$ for the LM35 and LM35A; $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq +110^\circ\text{C}$ for the LM35C and LM35CA; and $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +100^\circ\text{C}$ for the LM35D. $V_S = +5\text{Vdc}$ and $I_{\text{LOAD}} = 50 \mu\text{A}$, in the circuit of *Figure 2*. These specifications also apply from $+2^\circ\text{C}$ to T_{MAX} in the circuit of *Figure 1*. Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

Note 2: Thermal resistance of the TO-46 package is $400^\circ\text{C}/\text{W}$, junction to ambient, and $24^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is $180^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is $220^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package is $90^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the Applications section.

Note 3: Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

Note 4: Tested Limits are guaranteed and 100% tested in production.

Note 5: Design Limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

Note 6: Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

Note 7: Accuracy is defined as the error between the output voltage and $10\text{mV}/^\circ\text{C}$ times the device's case temperature, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in $^\circ\text{C}$).

Note 8: Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the device's rated temperature range.

Note 9: Quiescent current is defined in the circuit of *Figure 1*.

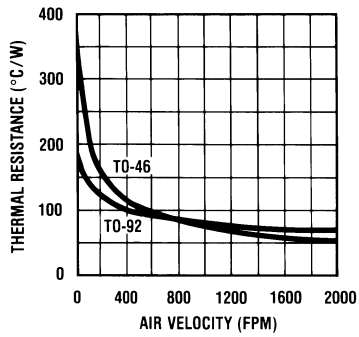
Note 10: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See Note 1.

Note 11: Human body model, 100 pF discharged through a $1.5 \text{ k}\Omega$ resistor.

Note 12: See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" or the section titled "Surface Mount" found in a current National Semiconductor Linear Data Book for other methods of soldering surface mount devices.

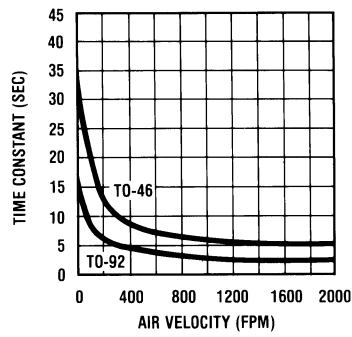
Typical Performance Characteristics

Thermal Resistance Junction to Air



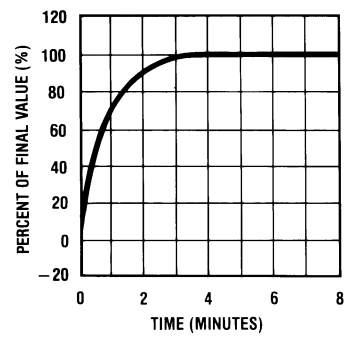
DS005516-25

Thermal Time Constant



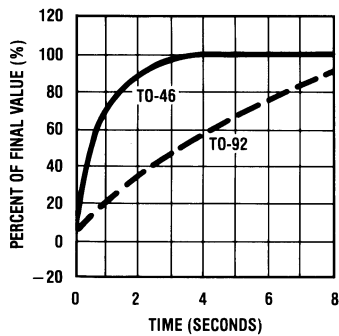
DS005516-26

Thermal Response in Still Air



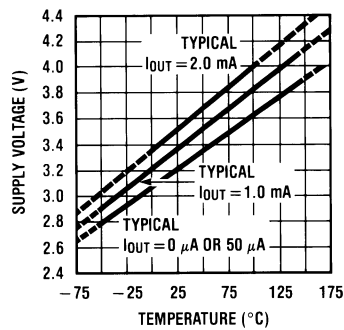
DS005516-27

Thermal Response in Stirred Oil Bath



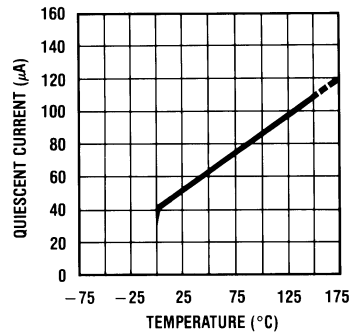
DS005516-28

Minimum Supply Voltage vs. Temperature



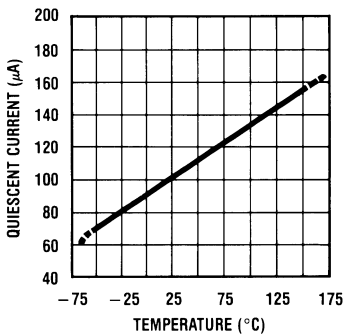
DS005516-29

Quiescent Current vs. Temperature (In Circuit of Figure 1.)



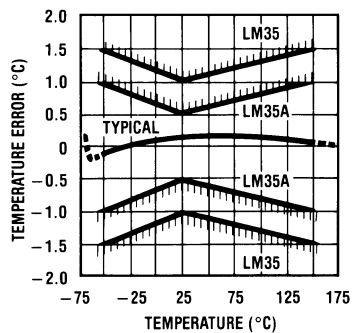
DS005516-30

Quiescent Current vs. Temperature (In Circuit of Figure 2.)



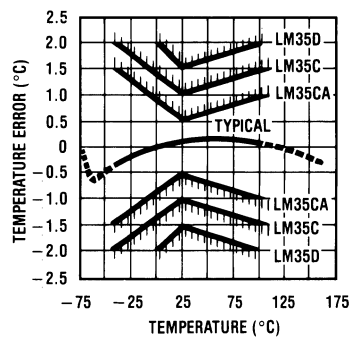
DS005516-31

Accuracy vs. Temperature (Guaranteed)



DS005516-32

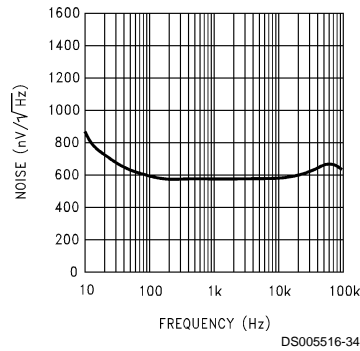
Accuracy vs. Temperature (Guaranteed)



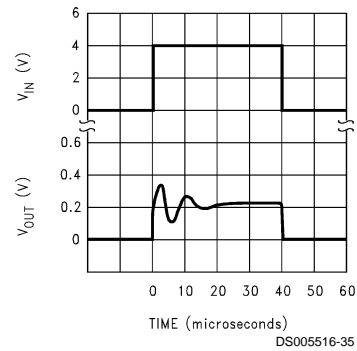
DS005516-33

Typical Performance Characteristics (Continued)

Noise Voltage



Start-Up Response



Applications

The LM35 can be applied easily in the same way as other integrated-circuit temperature sensors. It can be glued or cemented to a surface and its temperature will be within about 0.01°C of the surface temperature.

This presumes that the ambient air temperature is almost the same as the surface temperature; if the air temperature were much higher or lower than the surface temperature, the actual temperature of the LM35 die would be at an intermediate temperature between the surface temperature and the air temperature. This is especially true for the TO-92 plastic package, where the copper leads are the principal thermal path to carry heat into the device, so its temperature might be closer to the air temperature than to the surface temperature.

To minimize this problem, be sure that the wiring to the LM35, as it leaves the device, is held at the same temperature as the surface of interest. The easiest way to do this is to cover up these wires with a bead of epoxy which will insure that the leads and wires are all at the same temperature as the surface, and that the LM35 die's temperature will not be affected by the air temperature.

The TO-46 metal package can also be soldered to a metal surface or pipe without damage. Of course, in that case the V- terminal of the circuit will be grounded to that metal. Alternatively, the LM35 can be mounted inside a sealed-end metal tube, and can then be dipped into a bath or screwed into a threaded hole in a tank. As with any IC, the LM35 and accompanying wiring and circuits must be kept insulated and dry, to avoid leakage and corrosion. This is especially true if the circuit may operate at cold temperatures where condensation can occur. Printed-circuit coatings and varnishes such as Humiseal and epoxy paints or dips are often used to insure that moisture cannot corrode the LM35 or its connections.

These devices are sometimes soldered to a small light-weight heat fin, to decrease the thermal time constant and speed up the response in slowly-moving air. On the other hand, a small thermal mass may be added to the sensor, to give the steadiest reading despite small deviations in the air temperature.

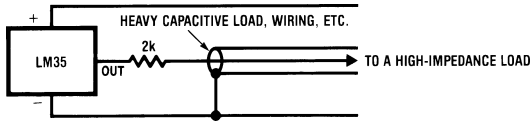
Temperature Rise of LM35 Due To Self-heating (Thermal Resistance, θ_{JA})

	TO-46, no heat sink	TO-46*, small heat fin	TO-92, no heat sink	TO-92**, small heat fin	SO-8 no heat sink	SO-8** small heat fin	TO-220 no heat sink
Still air	400°C/W	100°C/W	180°C/W	140°C/W	220°C/W	110°C/W	90°C/W
Moving air	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W	105°C/W	90°C/W	26°C/W
Still oil	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W			
Stirred oil	50°C/W	30°C/W	45°C/W	40°C/W			
(Clamped to metal, Infinite heat sink)		(24°C/W)				(55°C/W)	

*Wakefield type 201, or 1" disc of 0.020" sheet brass, soldered to case, or similar.

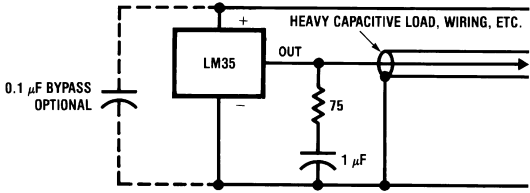
**TO-92 and SO-8 packages glued and leads soldered to 1" square of 1/16" printed circuit board with 2 oz. foil or similar.

Typical Applications



DS005516-19

FIGURE 3. LM35 with Decoupling from Capacitive Load



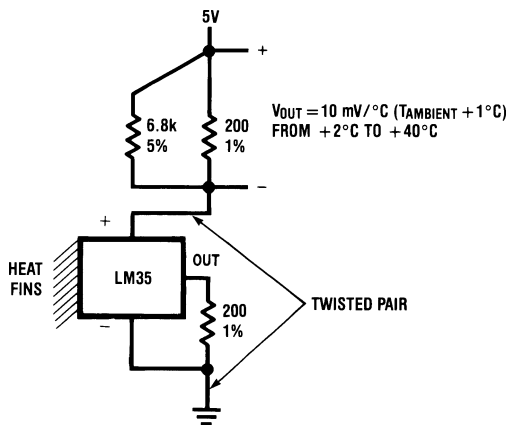
DS005516-20

FIGURE 4. LM35 with R-C Damper

CAPACITIVE LOADS

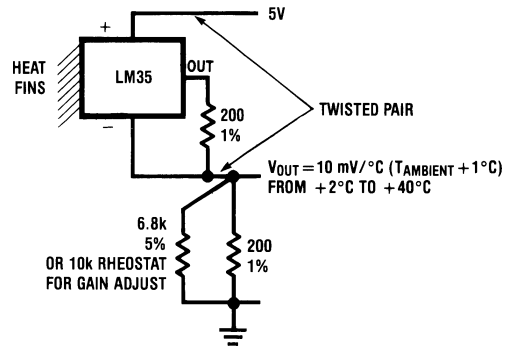
Like most micropower circuits, the LM35 has a limited ability to drive heavy capacitive loads. The LM35 by itself is able to drive 50 pf without special precautions. If heavier loads are anticipated, it is easy to isolate or decouple the load with a resistor; see Figure 3. Or you can improve the tolerance of capacitance with a series R-C damper from output to ground; see Figure 4.

When the LM35 is applied with a 200Ω load resistor as shown in Figure 5, Figure 6 or Figure 8 it is relatively immune to wiring capacitance because the capacitance forms a bypass from ground to input, not on the output. However, as with any linear circuit connected to wires in a hostile environment, its performance can be affected adversely by intense electromagnetic sources such as relays, radio transmitters, motors with arcing brushes, SCR transients, etc, as its wiring can act as a receiving antenna and its internal junctions can act as rectifiers. For best results in such cases, a bypass capacitor from V_{IN} to ground and a series R-C damper such as 75Ω in series with 0.2 or 1 μF from output to ground are often useful. These are shown in Figure 13, Figure 14, and Figure 16.



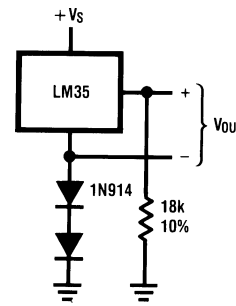
DS005516-5

FIGURE 5. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Grounded Sensor)



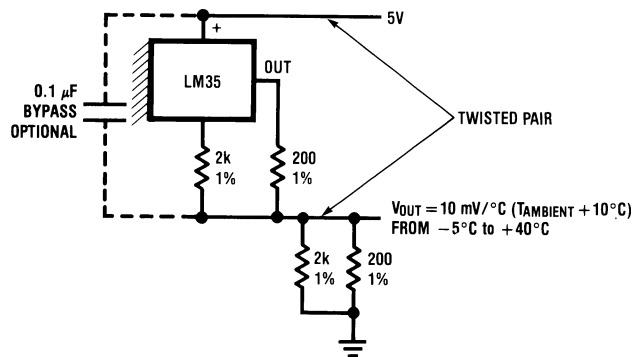
DS005516-6

FIGURE 6. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Output Referred to Ground)



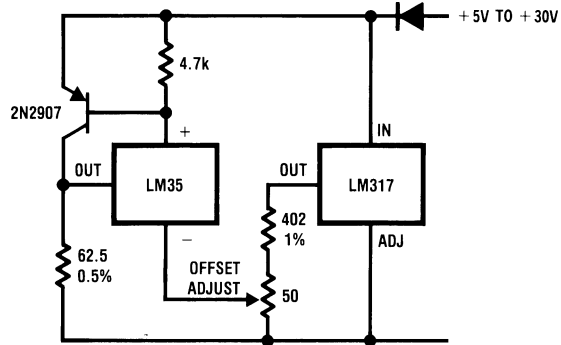
DS005516-7

FIGURE 7. Temperature Sensor, Single Supply, -55° to +150°C



DS005516-8

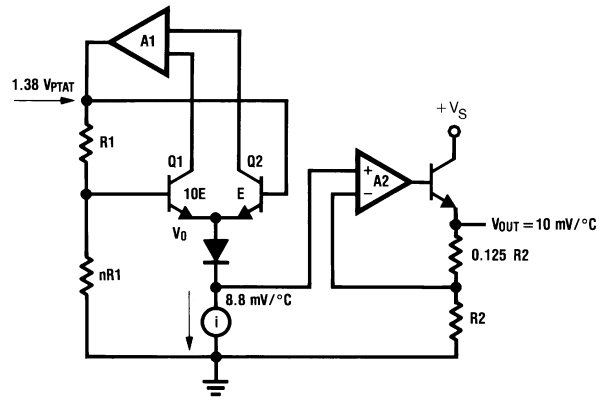
FIGURE 8. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Output Referred to Ground)



DS005516-9

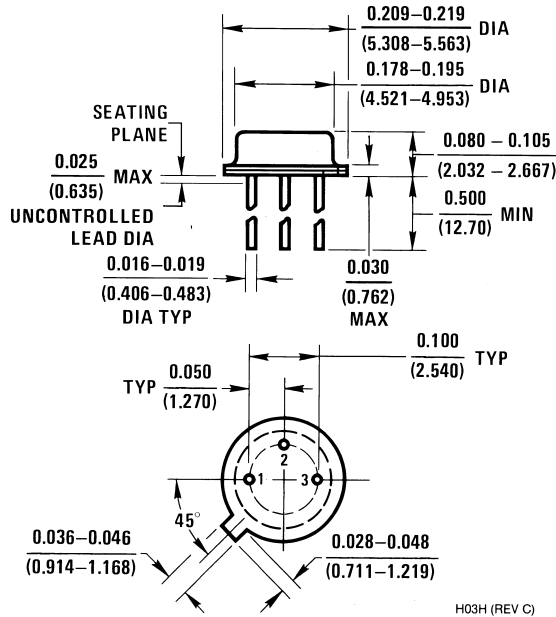
FIGURE 9. 4-To-20 mA Current Source (0°C to +100°C)

Block Diagram



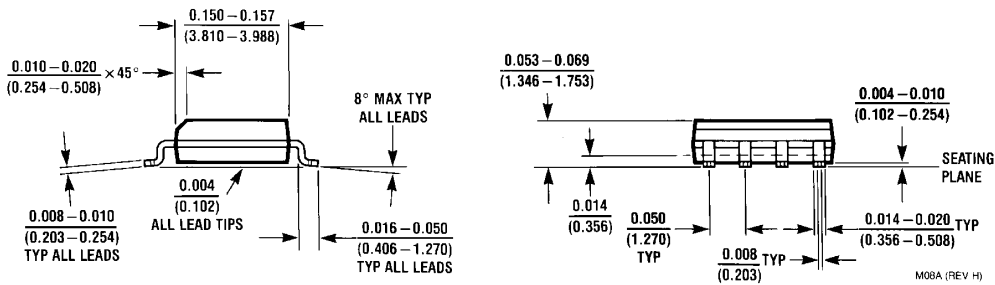
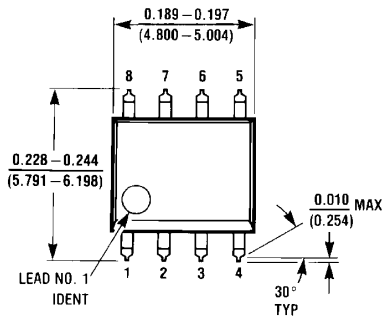
DS005516-23

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



H03H (REV C)

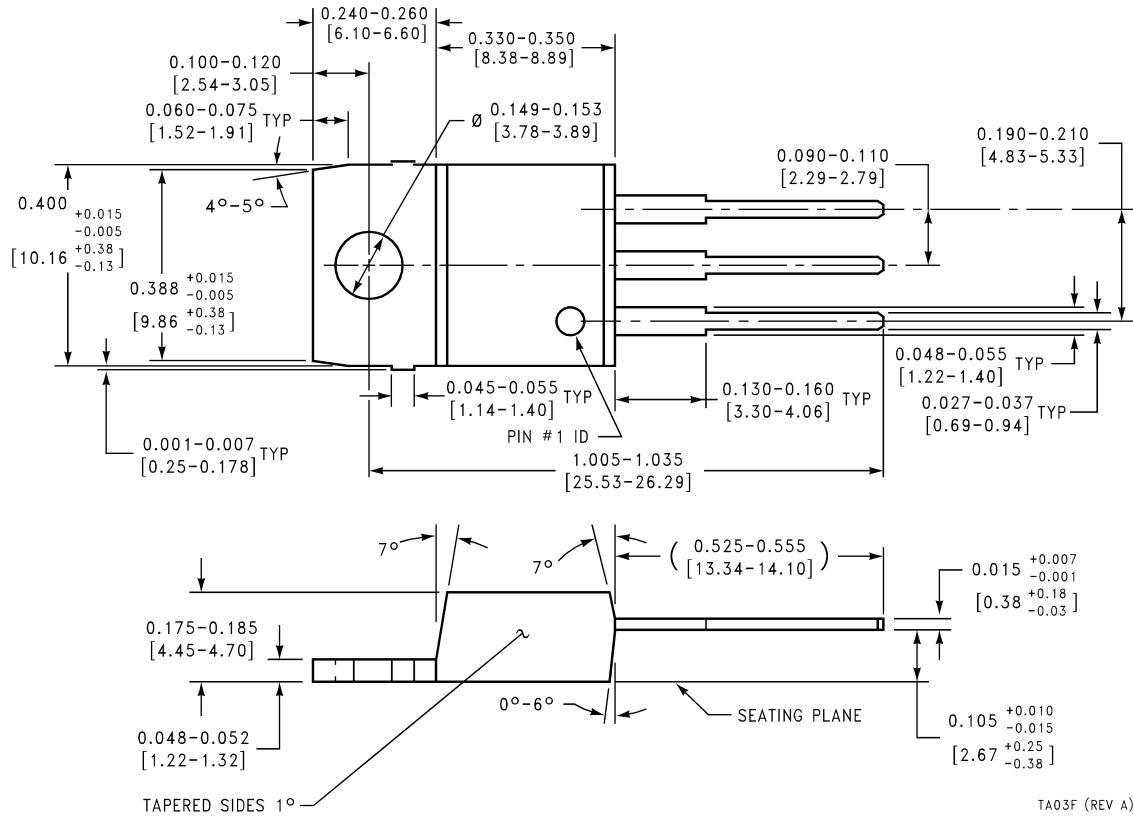
TO-46 Metal Can Package (H)
Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH,
LM35CAH, or LM35DH
NS Package Number H03H



M08A (REV H)

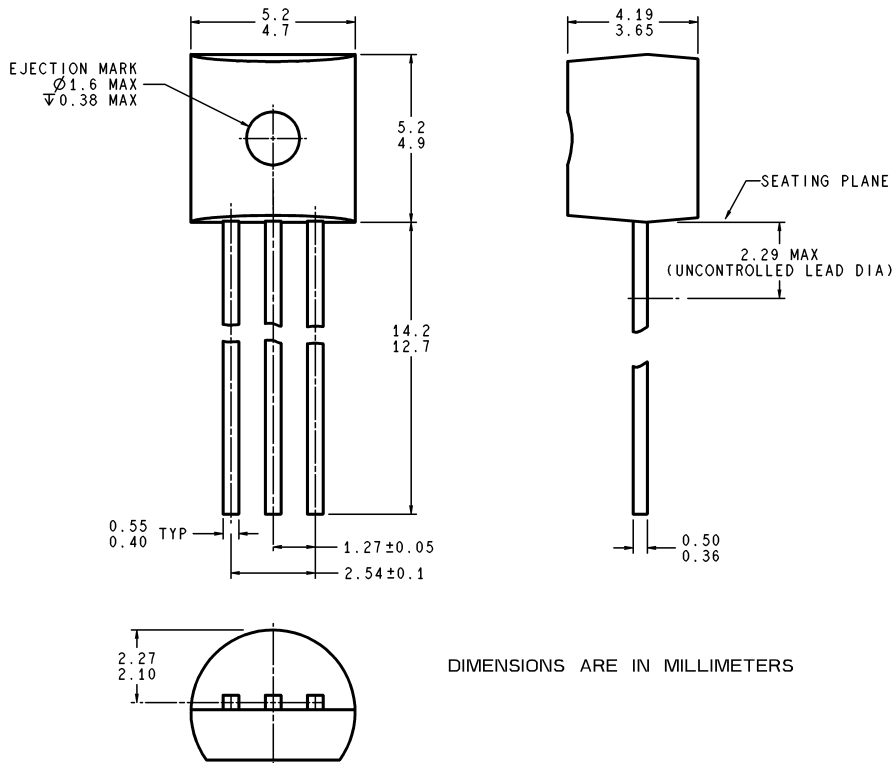
SO-8 Molded Small Outline Package (M)
Order Number LM35DM
NS Package Number M08A

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



Power Package TO-220 (T)
Order Number LM35DT
NS Package Number TA03F

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



Z03A (Rev G)

TO-92 Plastic Package (Z)
Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ
NS Package Number Z03A

LIFE SUPPORT POLICY

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

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



National Semiconductor Corporation
Americas
Tel: 1-800-272-9959
Fax: 1-800-737-7018
Email: support@nsc.com
www.national.com

National Semiconductor Europe
Fax: +49 (0) 180-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
Tel: 65-2544466
Fax: 65-2504466
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-3-5639-7560
Fax: 81-3-5639-7507

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of TI information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation. Information of third parties may be subject to additional restrictions.

Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

TI products are not authorized for use in safety-critical applications (such as life support) where a failure of the TI product would reasonably be expected to cause severe personal injury or death, unless officers of the parties have executed an agreement specifically governing such use. Buyers represent that they have all necessary expertise in the safety and regulatory ramifications of their applications, and acknowledge and agree that they are solely responsible for all legal, regulatory and safety-related requirements concerning their products and any use of TI products in such safety-critical applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by TI. Further, Buyers must fully indemnify TI and its representatives against any damages arising out of the use of TI products in such safety-critical applications.

TI products are neither designed nor intended for use in military/aerospace applications or environments unless the TI products are specifically designated by TI as military-grade or "enhanced plastic." Only products designated by TI as military-grade meet military specifications. Buyers acknowledge and agree that any such use of TI products which TI has not designated as military-grade is solely at the Buyer's risk, and that they are solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

TI products are neither designed nor intended for use in automotive applications or environments unless the specific TI products are designated by TI as compliant with ISO/TS 16949 requirements. Buyers acknowledge and agree that, if they use any non-designated products in automotive applications, TI will not be responsible for any failure to meet such requirements.

Following are URLs where you can obtain information on other Texas Instruments products and application solutions:

Products

Audio	www.ti.com/audio
Amplifiers	amplifier.ti.com
Data Converters	dataconverter.ti.com
DLP® Products	www.dlp.com
DSP	dsp.ti.com
Clocks and Timers	www.ti.com/clocks
Interface	interface.ti.com
Logic	logic.ti.com
Power Mgmt	power.ti.com
Microcontrollers	microcontroller.ti.com
RFID	www.ti-rfid.com
OMAP Mobile Processors	www.ti.com/omap
Wireless Connectivity	www.ti.com/wirelessconnectivity

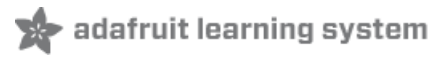
Applications

Communications and Telecom	www.ti.com/communications
Computers and Peripherals	www.ti.com/computers
Consumer Electronics	www.ti.com/consumer-apps
Energy and Lighting	www.ti.com/energy
Industrial	www.ti.com/industrial
Medical	www.ti.com/medical
Security	www.ti.com/security
Space, Avionics and Defense	www.ti.com/space-avionics-defense
Transportation and Automotive	www.ti.com/automotive
Video and Imaging	www.ti.com/video

TI E2E Community Home Page

e2e.ti.com

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2011, Texas Instruments Incorporated



PIR Motion Sensor

Created by lady ada



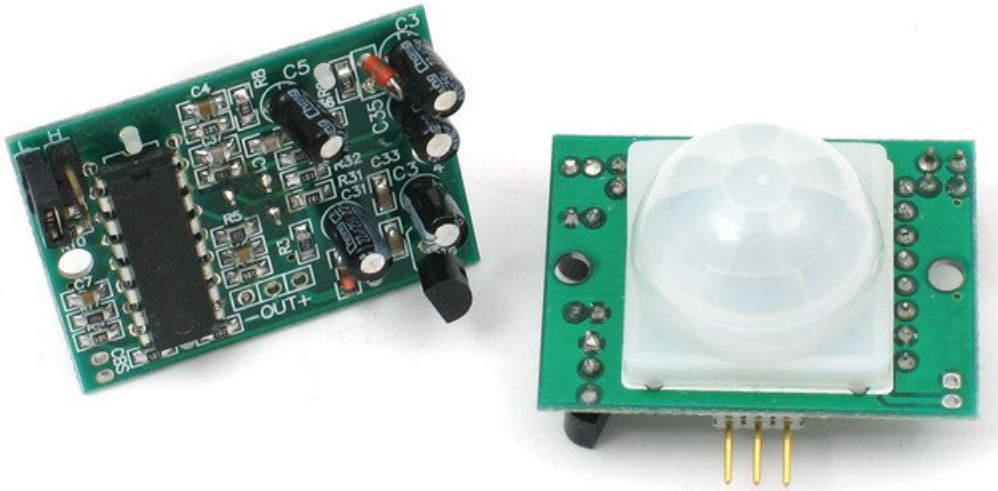
Last updated on 2017-12-26 10:07:42 PM UTC

Guide Contents

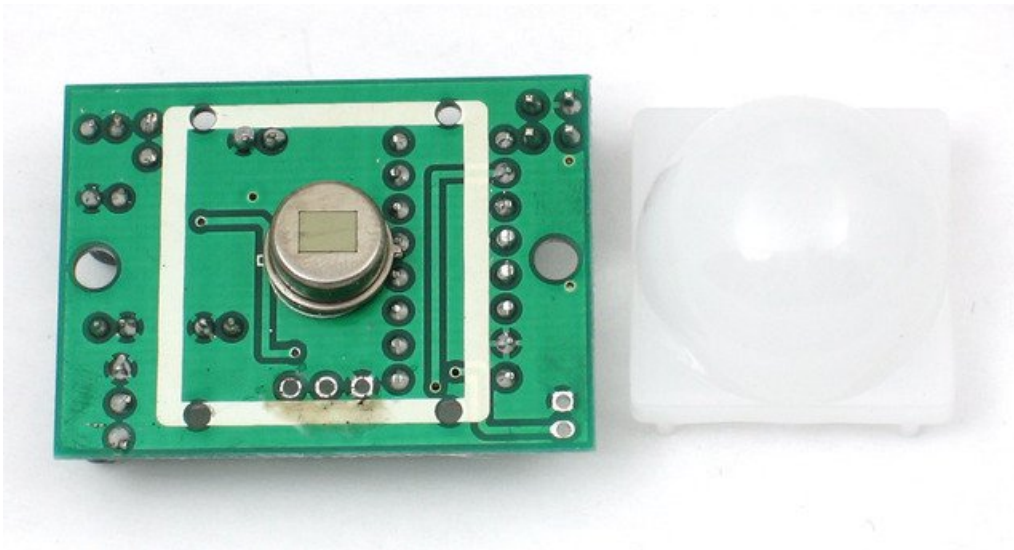
Guide Contents	2
Overview	3
Some Basic Stats	5
How PIRs Work	6
The PIR Sensor	6
Lenses	7
Connecting to a PIR	12
Testing a PIR	14
Retriggering	14
Changing sensitivity	17
Changing Pulse Time and Timeout Length	17
For older/other PIR sensors	18
Using a PIR w/Arduino	20
Reading PIR Sensors	20
CircuitPython Code	22
Example Projects	25
Buy a PIR Motion Sensor	28

Overview

PIR sensors allow you to sense motion, almost always used to detect whether a human has moved in or out of the sensors range. They are small, inexpensive, low-power, easy to use and don't wear out. For that reason they are commonly found in appliances and gadgets used in homes or businesses. They are often referred to as PIR, "Passive Infrared", "Pyroelectric", or "IR motion" sensors.



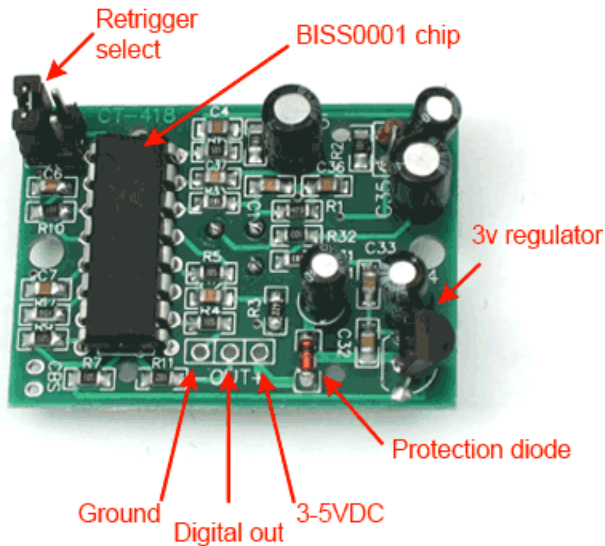
PIRs are basically made of a [pyroelectric sensor](#) (which you can see below as the round metal can with a rectangular crystal in the center), which can detect levels of infrared radiation. Everything emits some low level radiation, and the hotter something is, the more radiation is emitted. The sensor in a motion detector is actually split in two halves. The reason for that is that we are looking to detect motion (change) not average IR levels. The two halves are wired up so that they cancel each other out. If one half sees more or less IR radiation than the other, the output will swing high or low.



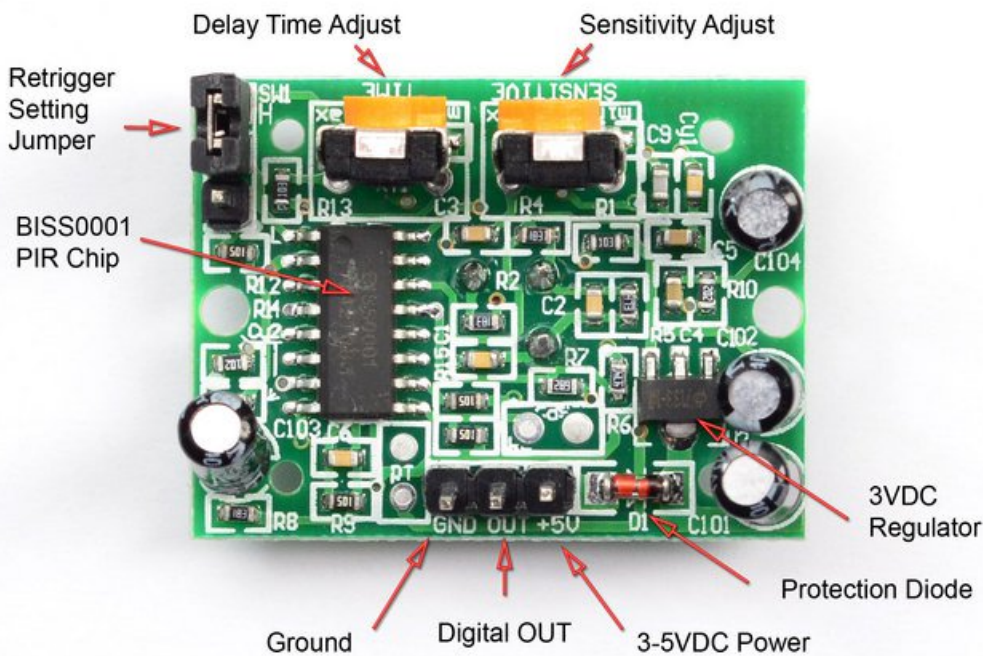
Along with the pyroelectric sensor is a bunch of supporting circuitry, resistors and capacitors. It seems that most small hobbyist sensors use the [BISS0001 \("Micro Power PIR Motion Detector IC"\)](#), undoubtedly a very inexpensive chip. This

chip takes the output of the sensor and does some minor processing on it to emit a digital output pulse from the analog sensor.

Our older PIRs looked like this:



Our new PIRs have more adjustable settings and have a header installed in the 3-pin ground/out/power pads



For many basic projects or products that need to detect when a person has left or entered the area, or has approached, PIR sensors are great. They are low power and low cost, pretty rugged, have a wide lens range, and are easy to interface with. Note that PIRs won't tell you how many people are around or how close they are to the sensor, the lens is often fixed to a certain sweep and distance (although it can be hacked somewhere) and they are also sometimes set off by housepets. Experimentation is key!

Some Basic Stats

These stats are for the PIR sensor in the Adafruit shop which is very much [like the Parallax one](#) . Nearly all PIRs will have slightly different specifications, although they all pretty much work the same. If there's a datasheet, you'll want to refer to it

- **Size:** Rectangular
- **Price:** [\\$10.00 at the Adafruit shop](#)
- **Output:** Digital pulse high (3V) when triggered (motion detected) digital low when idle (no motion detected). Pulse lengths are determined by resistors and capacitors on the PCB and differ from sensor to sensor.
- **Sensitivity range:** up to 20 feet (6 meters) 110° x 70° detection range
- **Power supply:** 5V-12V input voltage for most modules (they have a 3.3V regulator), but 5V is ideal in case the regulator has different specs
- [BIS0001 Datasheet](#) (the decoder chip used)
- [RE200B datasheet](#) (most likely the PIR sensing element used)
- [NL11NH datasheet](#) (equivalent lens used)
- [Parallax Datasheet on their version of the sensor](#)

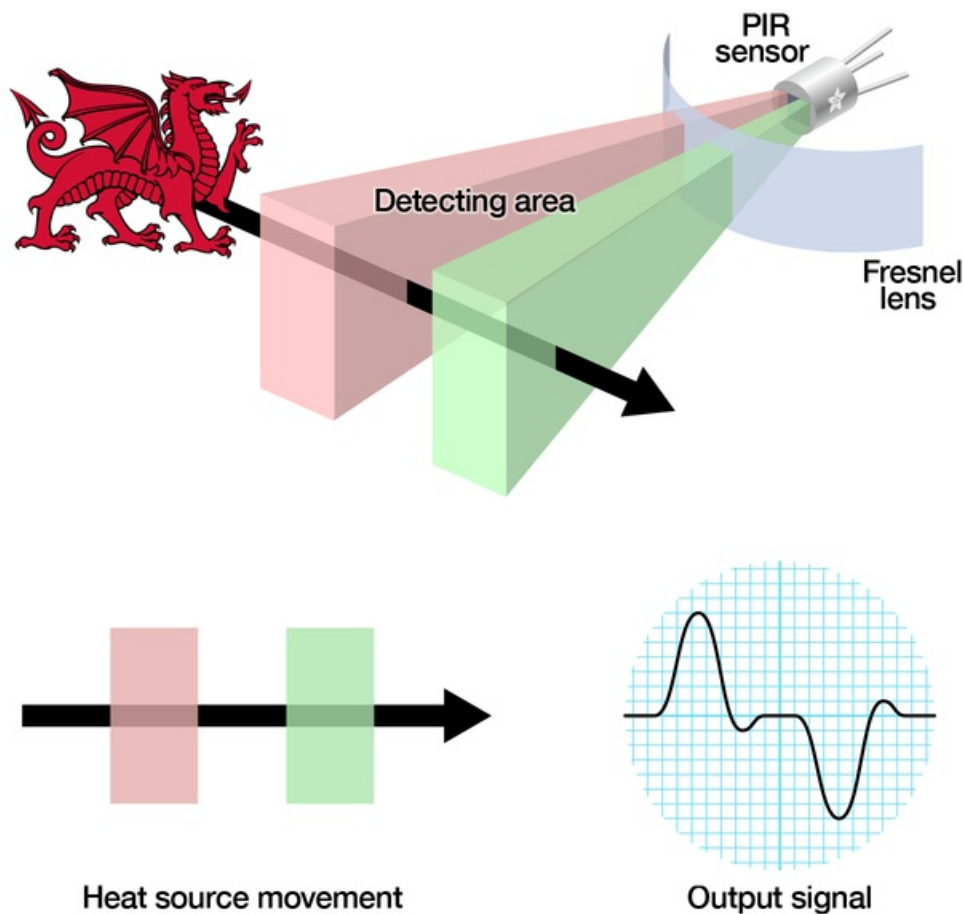
More links!

- [A great page on PIR sensors from GLOLAB \](#)

How PIRs Work

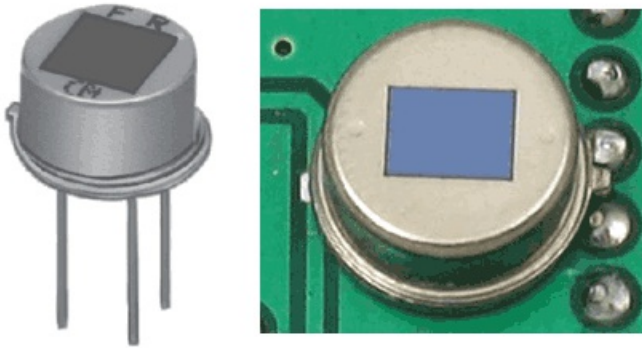
PIR sensors are more complicated than many of the other sensors explained in these tutorials (like photocells, FSRs and tilt switches) because there are multiple variables that affect the sensors input and output. To begin explaining how a basic sensor works, we'll use this rather nice diagram

The PIR sensor itself has two slots in it, each slot is made of a special material that is sensitive to IR. The lens used here is not really doing much and so we see that the two slots can 'see' out past some distance (basically the sensitivity of the sensor). When the sensor is idle, both slots detect the same amount of IR, the ambient amount radiated from the room or walls or outdoors. When a warm body like a human or animal passes by, it first intercepts one half of the PIR sensor, which causes a *positive differential* change between the two halves. When the warm body leaves the sensing area, the reverse happens, whereby the sensor generates a negative differential change. These change pulses are what is detected.



The PIR Sensor

The IR sensor itself is housed in a hermetically sealed metal can to improve noise/temperature/humidity immunity. There is a window made of IR-transmissive material (typically coated silicon since that is very easy to come by) that protects the sensing element. Behind the window are the two balanced sensors.



Left image from Murata datasheet

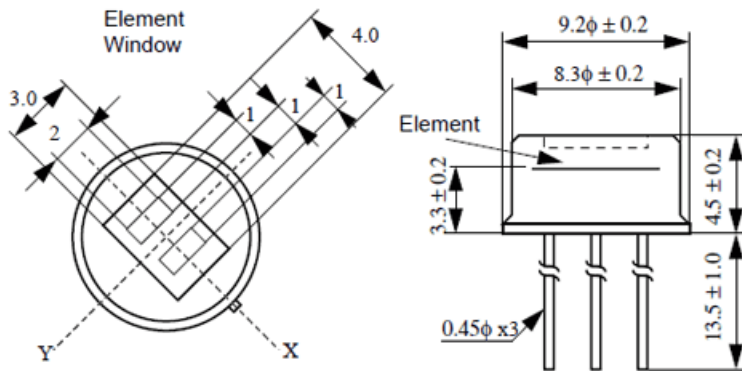


Image from RE200B datasheet

You can see above the diagram showing the element window, the two pieces of sensing material

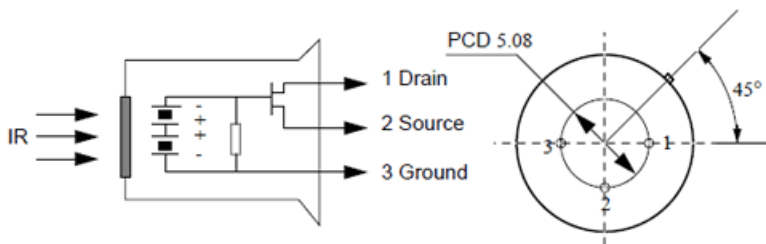


Image from RE200B datasheet

This image shows the internal schematic. There is actually a JFET inside (a type of transistor) which is very low-noise and buffers the extremely high impedance of the sensors into something a low-cost chip (like the BIS0001) can sense.

Lenses

PIR sensors are rather generic and for the most part vary only in price and sensitivity. Most of the real magic happens with the optics. This is a pretty good idea for manufacturing: the PIR sensor and circuitry is fixed and costs a few dollars. The lens costs only a few cents and can change the breadth, range, sensing pattern, very easily.

In the diagram up top, the lens is just a piece of plastic, but that means that the detection area is just two rectangles. Usually we'd like to have a detection area that is much larger. To do that, we use a [simple lens](#) such as those found in

a camera: they condense a large area (such as a landscape) into a small one (on film or a CCD sensor). For reasons that will be apparent soon, we would like to make the PIR lenses small and thin and moldable from cheap plastic, even though it may add distortion. For this reason the sensors are actually **Fresnel lenses**:

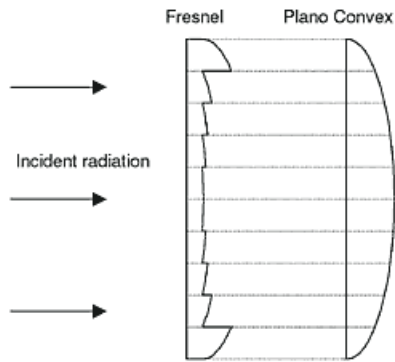


Image from Sensors Magazine

The Fresnel lens condenses light, providing a larger range of IR to the sensor.

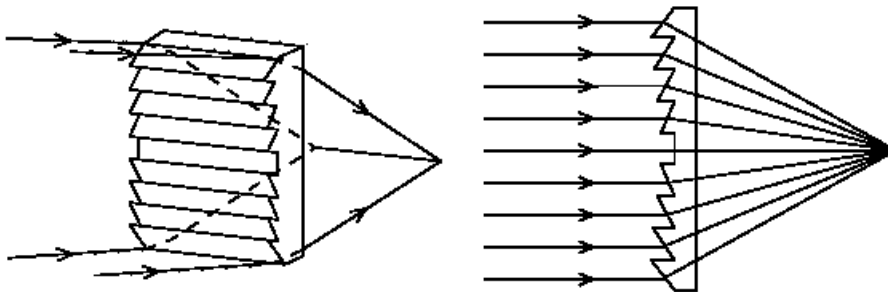


Image from BHLens.com

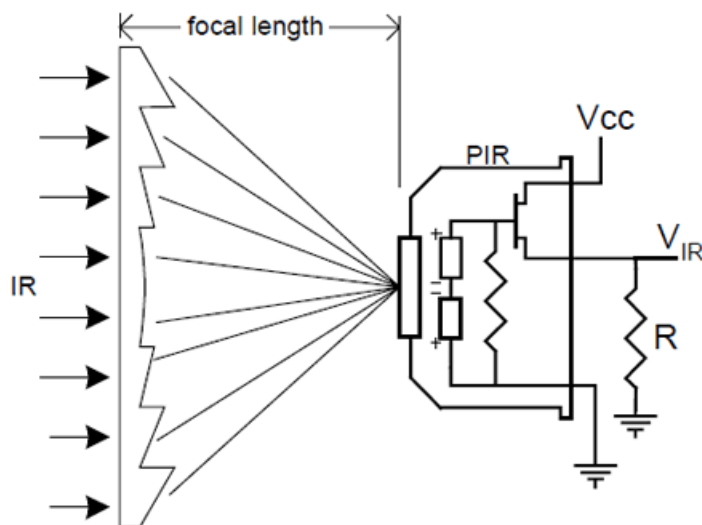


Image from Cypress appnote 2105

OK, so now we have a much larger range. However, remember that we actually have two sensors, and more

importantly we dont want two really big sensing-area rectangles, but rather a scattering of multiple small areas. So what we do is split up the lens into multiple section, each section of which is a fresnel lens.

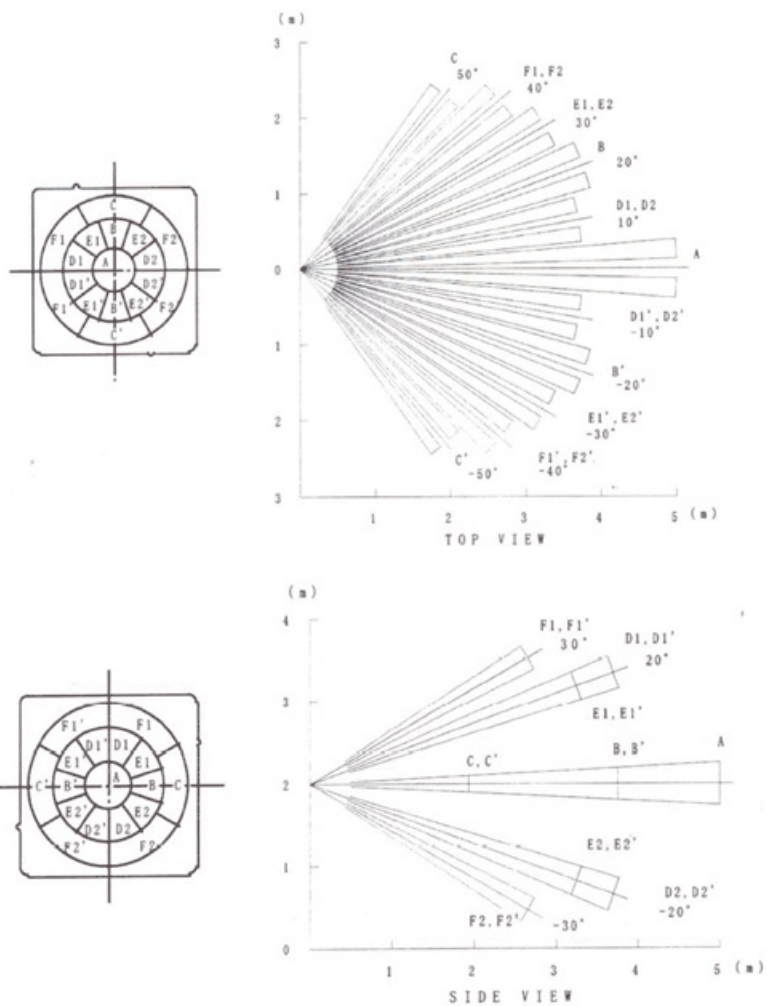


Here you can see the multiple facet-sections



This macro shot shows the different Frenel lenses in each facet!

The different faceting and sub-lenses create a range of detection areas, interleaved with each other. Thats why the lens centers in the facets above are 'inconsistent' - every other one points to a different half of the PIR sensing element



Images from NL11NH datasheet

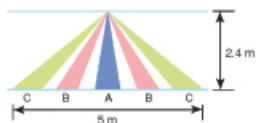
Here is another image, more qualitative but not as quantitative. (Note that the sensor in the Adafruit shop is 110° not 90°)

Ceiling Mount

Top View

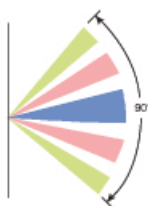


Side View



Wall Mount

Top View



Side View

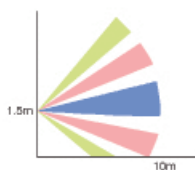
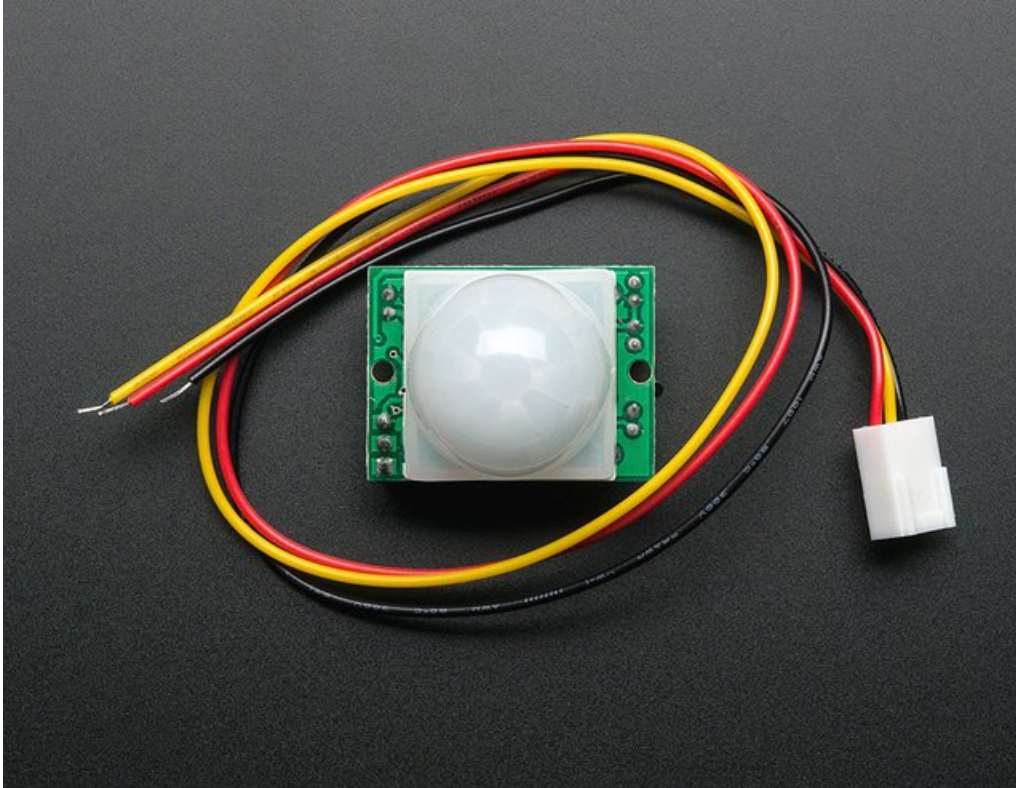


Image from IR-TEC

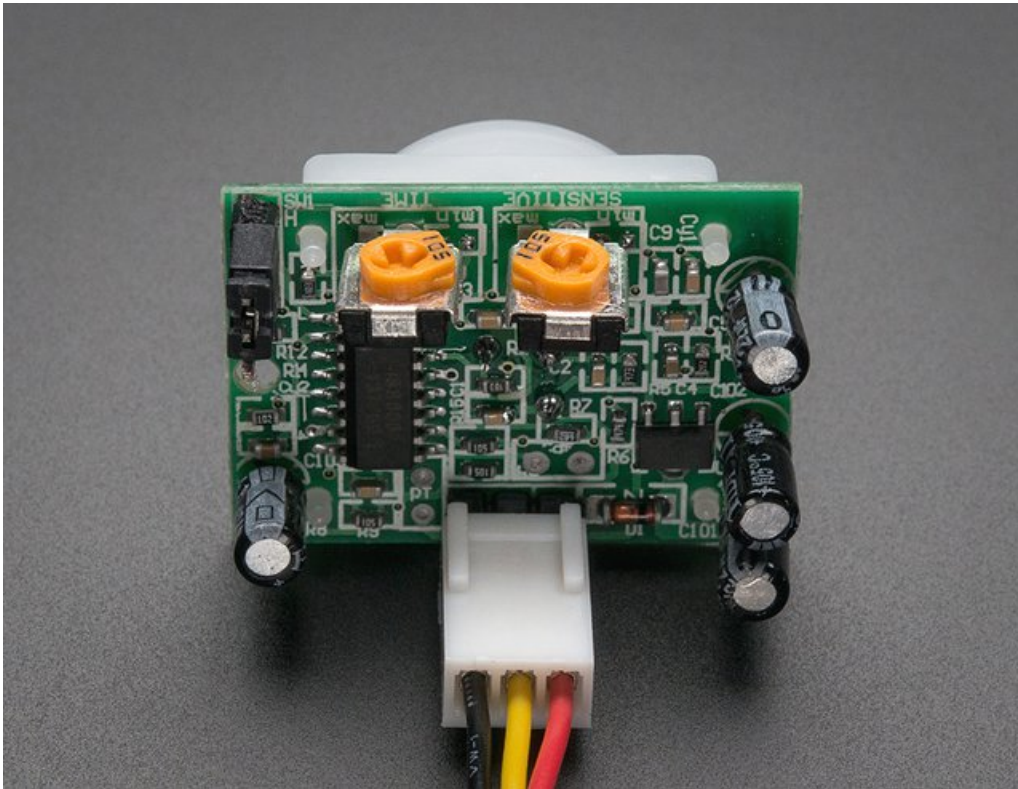
Connecting to a PIR



Most PIR modules have a 3-pin connection at the side or bottom. The pinout may vary between modules so triple-check the pinout! It's often silkscreened on right next to the connection (at least, ours is!) One pin will be ground, another will be signal and the final one will be power. Power is usually 3-5VDC input but may be as high as 12V. Sometimes larger modules don't have direct output and instead just operate a relay in which case there is ground, power and the two switch connections.

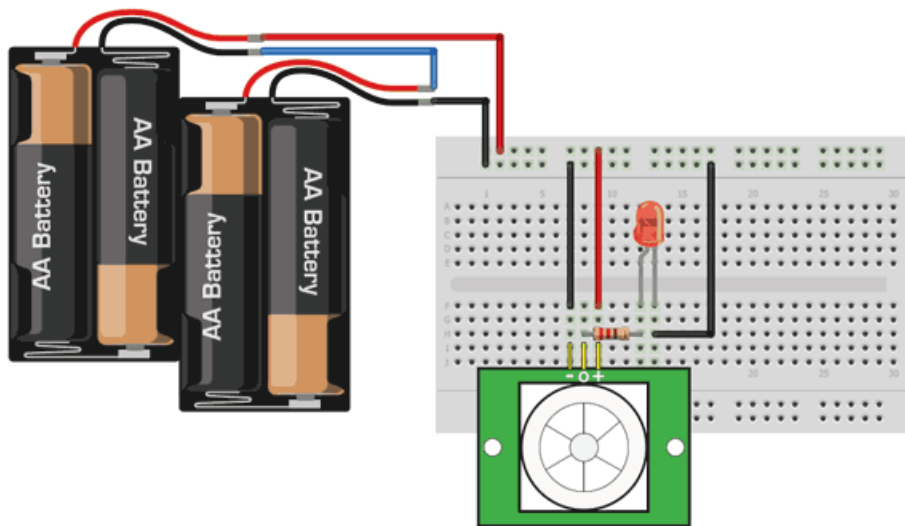
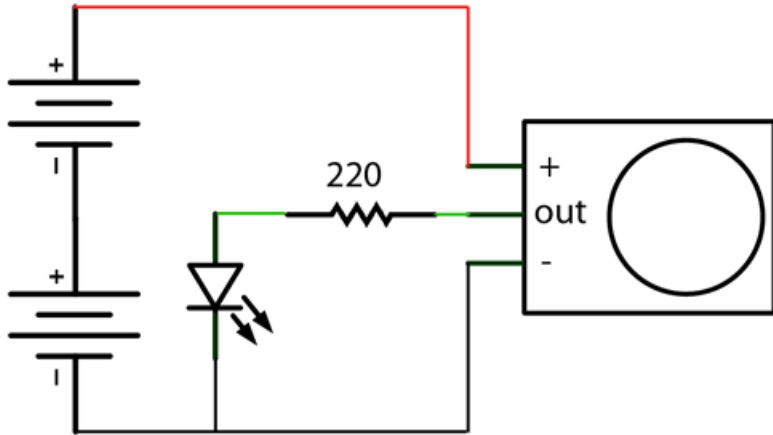
The output of some relays may be 'open collector' - that means it requires a pullup resistor. If you're not getting a variable output be sure to try attaching a 10K pullup between the signal and power pins.

An easy way of prototyping with PIR sensors is to connect it to a breadboard since the connection port is 0.1" spacing. Some PIRs come with header on them already, the one's from adafruit have a straight 3-pin header on them for connecting a cable



For our PIR's the red cable is + voltage power, black cable is - ground power and yellow is the signal out. Just make sure you plug the cable in as shown above! If you get it backwards you won't damage the PIR but it won't work.

Testing a PIR



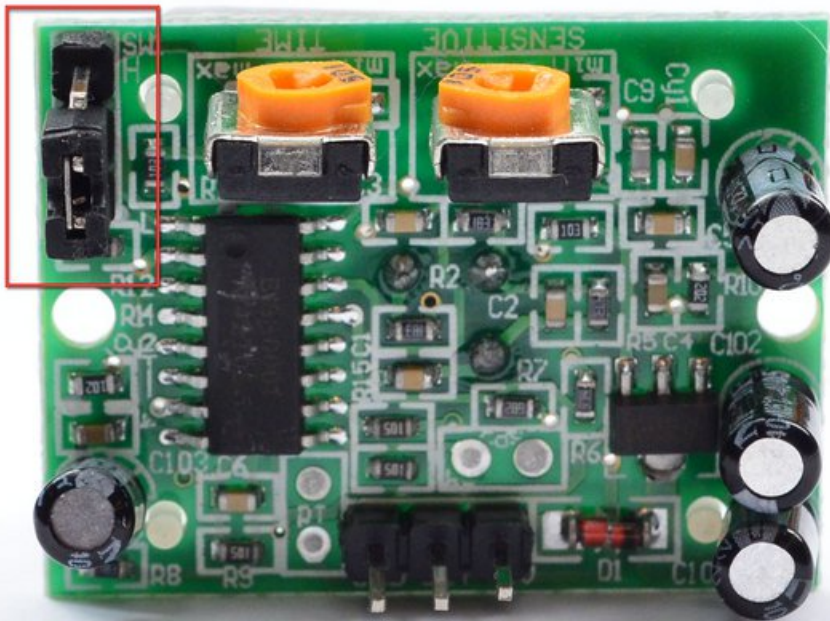
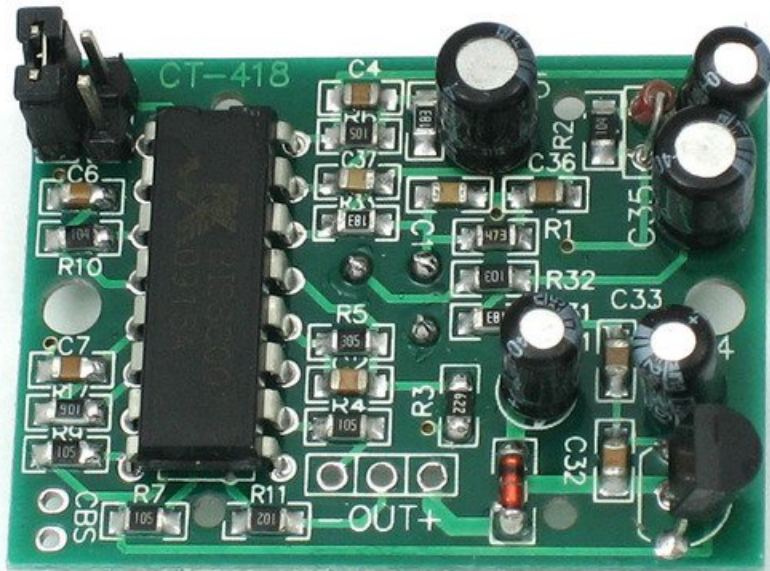
Now when the PIR detects motion, the output pin will go "high" to 3.3V and light up the LED!

Once you have the breadboard wired up, insert batteries and wait 30-60 seconds for the PIR to 'stabilize'. During that time the LED may blink a little. Wait until the LED is off and then move around in front of it, waving a hand, etc, to see the LED light up!

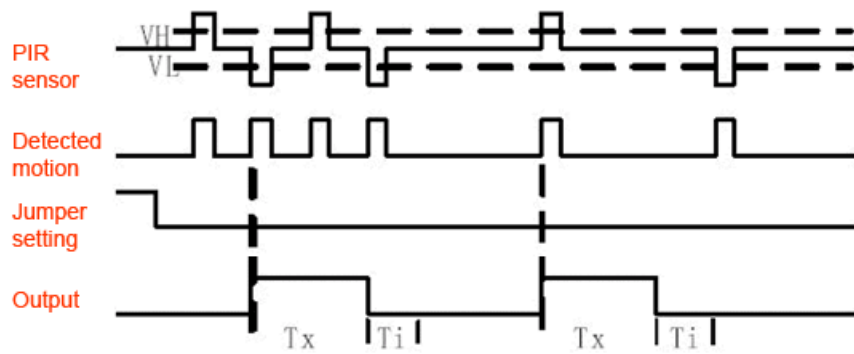
Retriggering

There's a couple options you may have with your PIR. First up we'll explore the 'Retriggering' option.

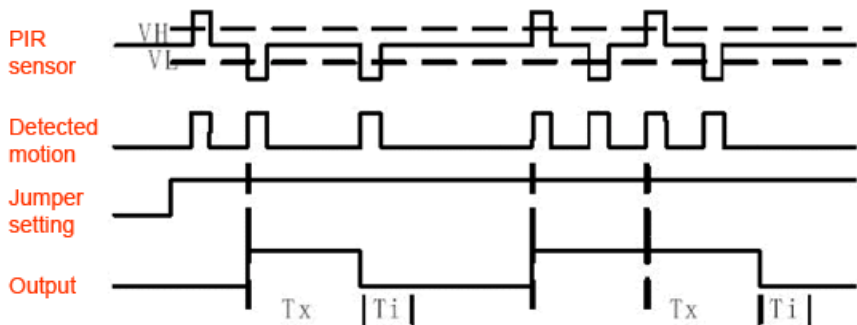
Once you have the LED blinking, look on the back of the PIR sensor and make sure that the jumper is placed in the L position as shown below.



Now set up the testing board again. You may notice that when connecting up the PIR sensor as above, the LED does not stay on when moving in front of it but actually turns on and off every second or so. That is called "non-retriggering".

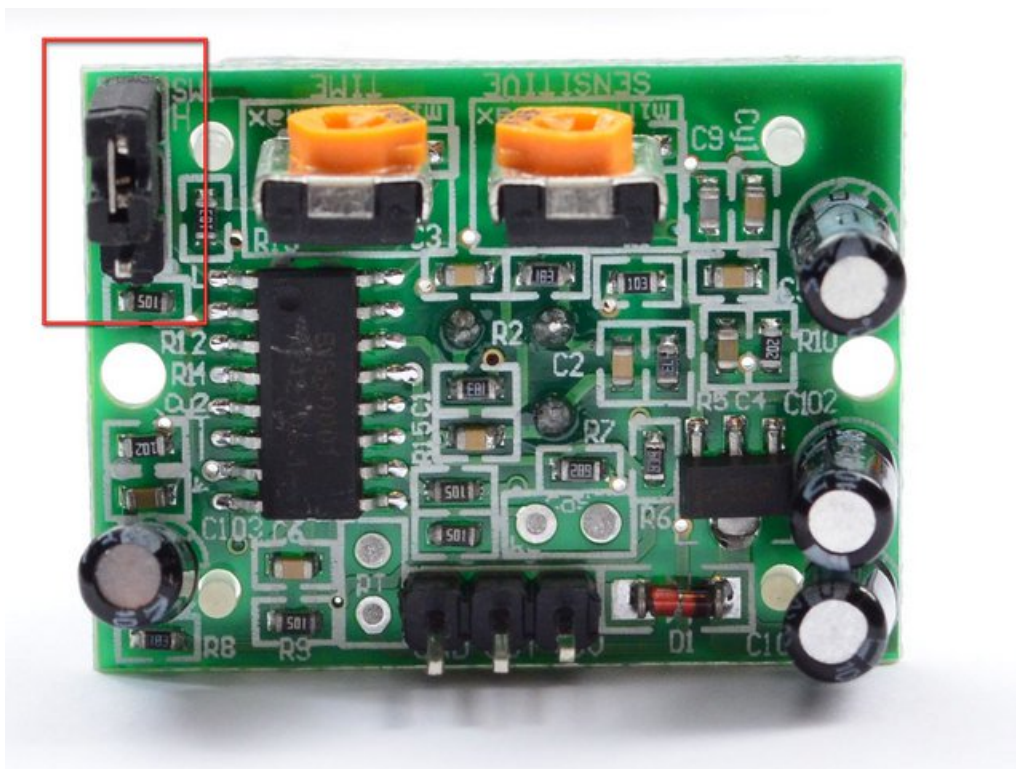


Now change the jumper so that it is in the H position. If you set up the test, you will notice that now the LED *does* stay on the entire time that something is moving. That is called "retriggering".



(The graphs above are from the BISS0001 datasheet, they kinda suck)

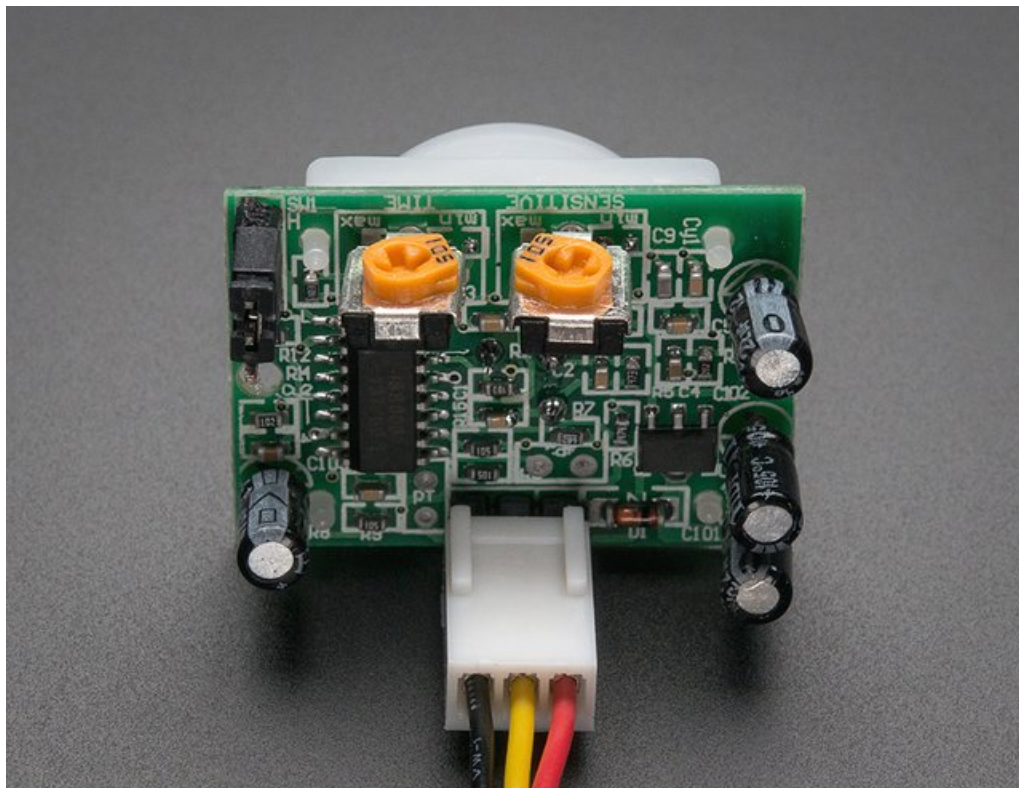
For most applications, "retriggering" (jumper in H position as shown below) mode is a little nicer.



If you need to connect the sensor to something edge-triggered, you'll want to set it to "non-retriggering" (jumper in L position).

Changing sensitivity

The Adafruit PIR has a trimpot on the back for adjusting sensitivity. You can adjust this if your PIR is too sensitive or not sensitive enough - clockwise makes it more sensitive.



Changing Pulse Time and Timeout Length

There are two 'timeouts' associated with the PIR sensor. One is the "Tx" timeout: how long the LED is lit after it detects movement - this is easy to adjust on Adafruit PIR's because there's a potentiometer.

The second is the "Ti" timeout which is how long the LED is guaranteed to be off when there is no movement. This one is not *easily* changed but if you're handy with a soldering iron it is within reason.

First, lets take a look at the BISS datasheet again

T_x = The time duration during which the output pin (Vo) remains high after triggering.
T_i = During this time period, triggering is inhibited. See timing charts for details.

T_x ≈ 24576 x R₁₀ x C₆; T_i ≈ 24 x R₉ x C₇. (ref to schematic)

On Adafruit PIR sensors, there's a little trim potentiometer labeled **TIME**. This is a 1 Megaohm adjustable resistor which is added to a 10K series resistor. And **C₆** is 0.01uF so

$$T_x = 24576 \times (10K + R_{time}) \times 0.01\mu F$$

If the Rtime potentiometer is turned all the way down counter-clockwise (to 0 ohms) then

$$T_x = 24576 \times (10K) \times 0.01\mu F = 2.5 \text{ seconds (approx)}$$

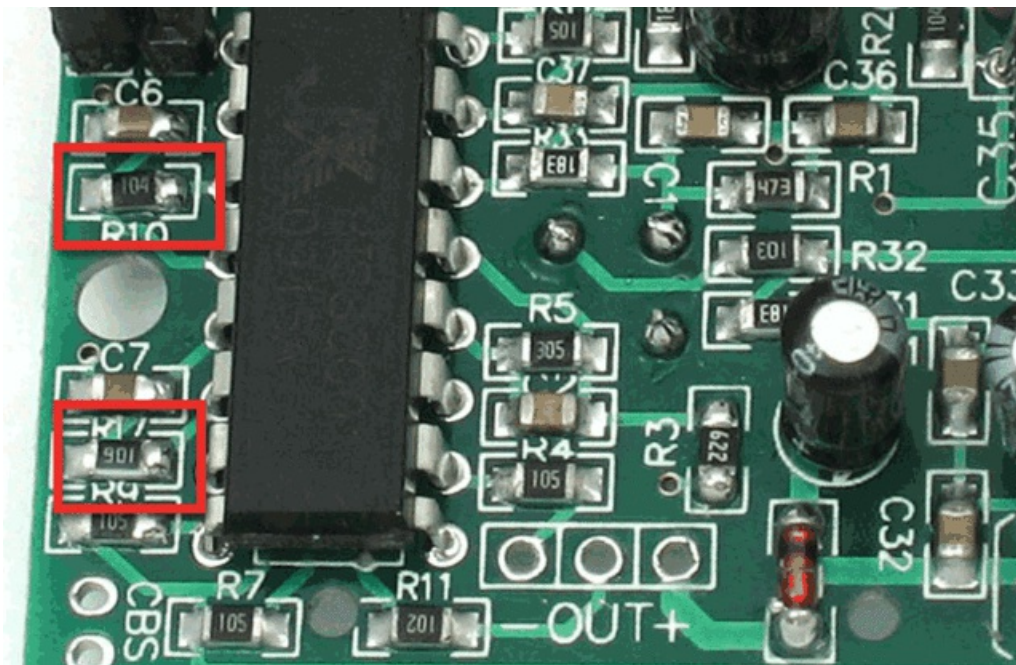
If the Rtime potentiometer is turned all the way up clockwise to 1 Megaohm then

$$T_x = 24576 \times (1010K) \times 0.01\mu F = 250 \text{ seconds (approx)}$$

If RTime is in the middle, that'd be about 120 seconds (two minutes) so you can tweak it as necessary. For example if you want motion from someone to turn on a fan for a minimum of 1 minute, set the Rtime potentiometer to about 1/4 the way around.

For older/other PIR sensors

If you have a PIR sensor from somewhere else that does not have a potentiometer adjust, you can trace out the adjustment resistors this way:



Determining R10 and R9 isn't too tough. Unfortunately this PIR sensor is mislabeled (it looks like they swapped R9 R17). You can trace the pins by looking at the BISS001 datasheet and figuring out what pins they are - R10 connects to pin 3 and R9 connects to pin 7. the capacitors are a little tougher to determine, but you can 'reverse engineer' them from timing the sensor and solving!

For example:

$$T_x \text{ is } = 24576 * R_{10} * C_6 = \sim 1.2 \text{ seconds}$$

$$R_{10} = 4.7K \text{ and } C_6 = 10nF$$

Likewise,

$$T_i = 24 * R_9 * C_7 = \sim 1.2 \text{ seconds}$$

$$R_9 = 470K \text{ and } C_7 = 0.1\mu F$$

You can change the timing by swapping different resistors or capacitors. For a nice tutorial on this, see [Keith's PIR hacking page](#).

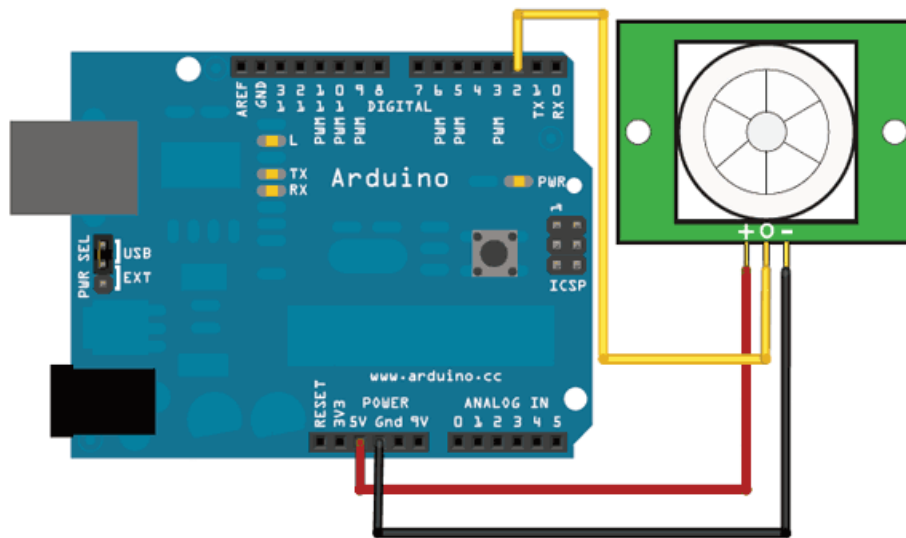
Using a PIR w/Arduino

Reading PIR Sensors

Connecting PIR sensors to a microcontroller is really simple. The PIR acts as a digital output so all you need to do is listen for the pin to flip high (detected) or low (not detected).

Its likely that you'll want rerigging, so be sure to put the jumper in the **H** position!

Power the PIR with 5V and connect ground to ground. Then connect the output to a digital pin. In this example we'll use pin 2.



The code is very simple, and is basically just keeps track of whether the input to pin 2 is high or low. It also tracks the *state* of the pin, so that it prints out a message when motion has started and stopped.

```

/*
 * PIR sensor tester
 */

int ledPin = 13;           // choose the pin for the LED
int inputPin = 2;         // choose the input pin (for PIR sensor)
int pirState = LOW;      // we start, assuming no motion detected
int val = 0;             // variable for reading the pin status

void setup() {
  pinMode(ledPin, OUTPUT); // declare LED as output
  pinMode(inputPin, INPUT); // declare sensor as input

  Serial.begin(9600);
}

void loop(){
  val = digitalRead(inputPin); // read input value
  if (val == HIGH) {           // check if the input is HIGH
    digitalWrite(ledPin, HIGH); // turn LED ON
    if (pirState == LOW) {
      // we have just turned on
      Serial.println("Motion detected!");
      // We only want to print on the output change, not state
      pirState = HIGH;
    }
  } else {
    digitalWrite(ledPin, LOW); // turn LED OFF
    if (pirState == HIGH){
      // we have just turned of
      Serial.println("Motion ended!");
      // We only want to print on the output change, not state
      pirState = LOW;
    }
  }
}
}

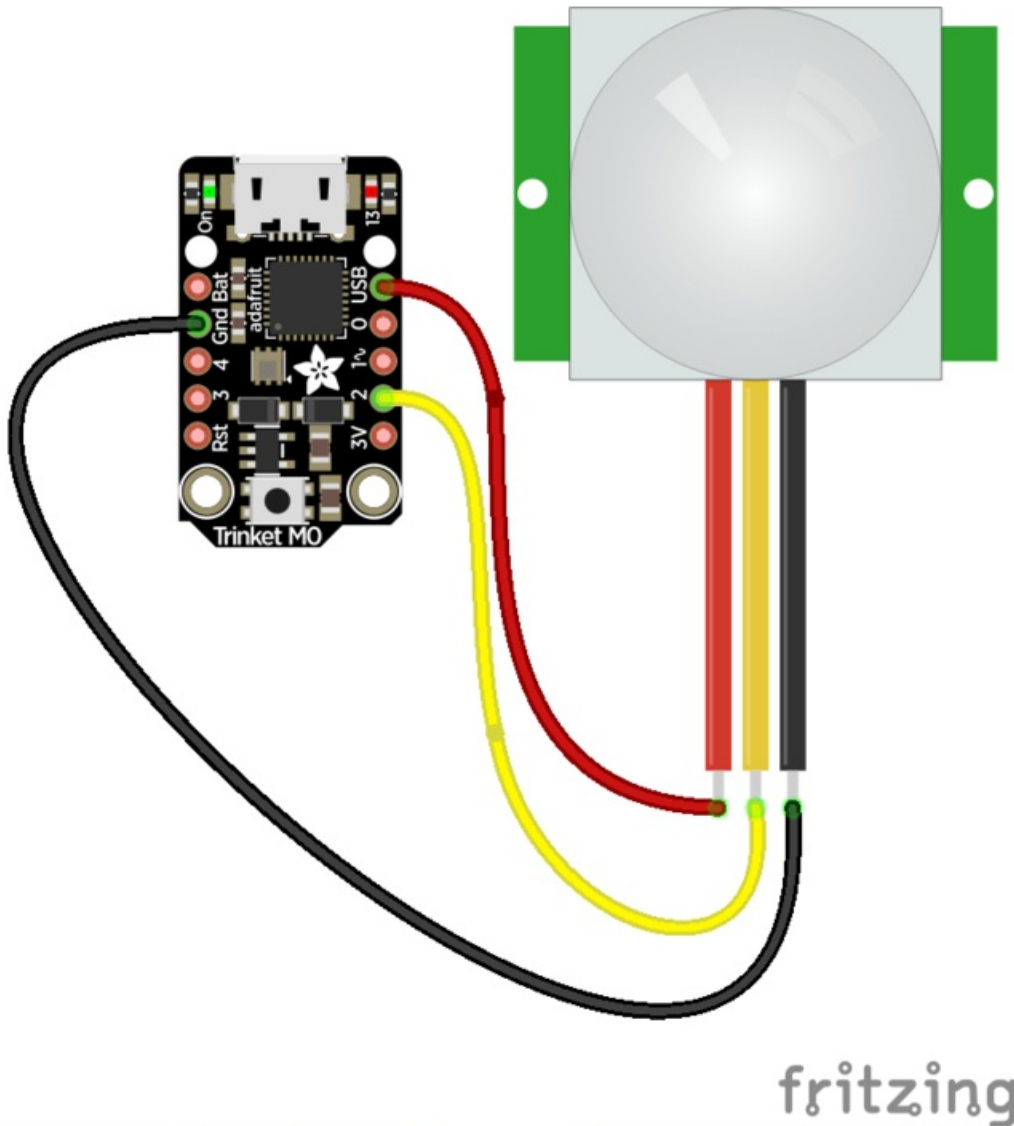
```

Don't forget that there are some times when you don't need a microcontroller. A PIR sensor can be connected to a relay (perhaps with a transistor buffer) without a micro!

CircuitPython Code

It's easy to use a PIR sensor with CircuitPython using simple digital inputs. The PIR sensor looks and acts kind of like a button or switch, i.e. it's only ever a high or low logic level, so you don't need any special libraries or other code to read one from Python. It will help to familiarize yourself with [CircuitPython digital inputs and outputs](#) before continuing though!

First make sure your PIR sensor is wired to your board as shown in the previous page. There's no difference wiring a PIR sensor to an Arduino vs. CircuitPython board. You must connect the power, ground, and sensor output to your board. The sensor output should be connected to any digital I/O line on your board. In this example we'll use pin D2 on a Trinket MO.



fritzing

Fritzing Source

<https://adafru.it/A0n>

Next [connect to the board's serial REPL](#) so you are at the CircuitPython >>> prompt.

Run the following code to import the **board** and **digitalio** modules which lets you read digital inputs:

```
import board
import digitalio
```

Then create a simple digital input for the PIR. Remember to use the right board pin for how you've wired your sensor to your board. This example is using pin D2 on a Trinket MO:

```
pir = digitalio.DigitalInOut(board.D2)
pir.direction = digitalio.Direction.INPUT
```

At this point you can read the state of the sensor by reading the value property. If the value is at a low logic level, or False, the sensor sees no movement. If it's at a high logic level, or True, the sensor is detecting movement!

Note you'll likely want the sensor's jumper in the H position for retriggering mode as mentioned on the previous page.

For example with no movement in front of the sensor you might see:

```
pir.value
```

```
>>> pir.value
False
>>>
```

Then wave your hand in front of the sensor, and as you wave it run the same command again. Notice you get a True result!

```
pir.value
```

```
>>> pir.value
True
>>>
```

That's all there is to using a PIR sensor with CircuitPython!

Here's a complete example just like from the previous page where movement from the PIR sensor will turn on the board's LED and print a message. This is a direct port of the previous page's Arduino example to CircuitPython. Try saving it as a **main.py** on your board and connecting to the serial terminal to see the output as it runs! (be sure to change the board pin numbers to your sensor and LED wiring!)

```

import board
import digitalio

LED_PIN = board.D13 # Pin number for the board's built in LED.
PIR_PIN = board.D2  # Pin number connected to PIR sensor output wire.

# Setup digital input for PIR sensor:
pir = digitalio.DigitalInOut(PIR_PIN)
pir.direction = digitalio.Direction.INPUT

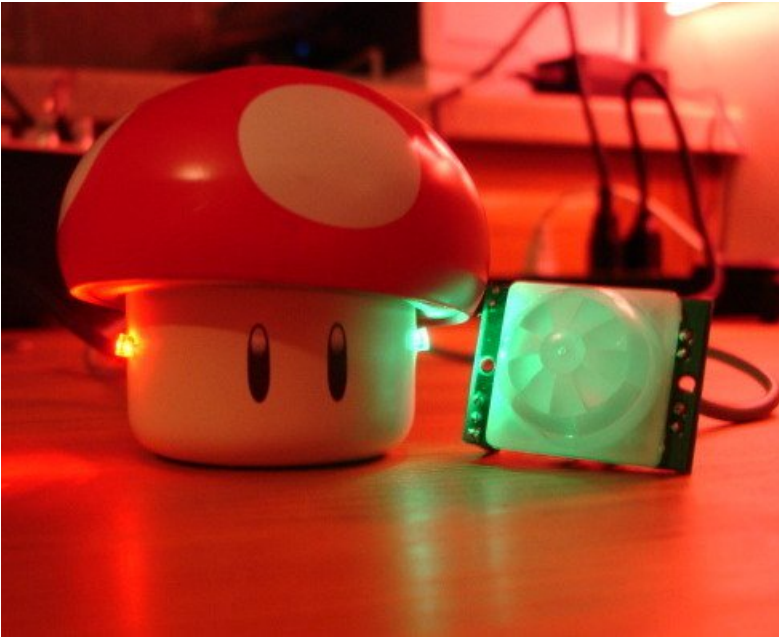
# Setup digital output for LED:
led = digitalio.DigitalInOut(LED_PIN)
led.direction = digitalio.Direction.OUTPUT

# Main loop that will run forever:
old_value = pir.value
while True:
    pir_value = pir.value
    if pir_value:
        # PIR is detecting movement! Turn on LED.
        led.value = True
        # Check if this is the first time movement was
        # detected and print a message!
        if not old_value:
            print('Motion detected!')
    else:
        # PIR is not detecting movement. Turn off LED.
        led.value = False
        # Again check if this is the first time movement
        # stopped and print a message.
        if old_value:
            print('Motion ended!')
    old_value = pir_value

```

Example Projects

A simple room greeter that plays the super mario brothers theme music when triggered by a PIR in a hacked airwick freshener unit.



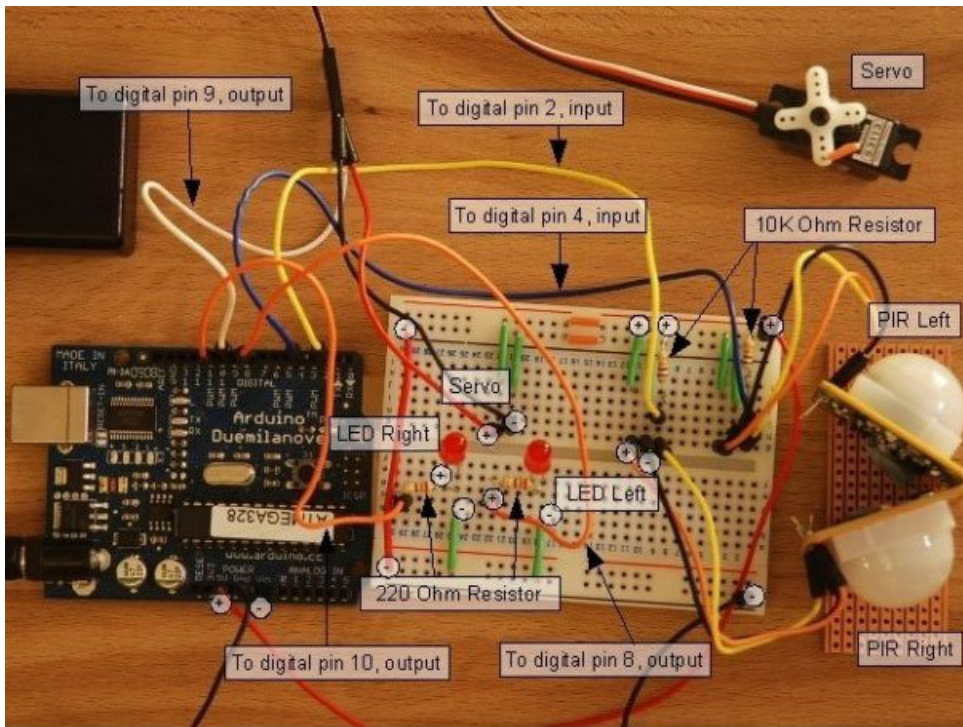
A USB-powered singing and blinking Mario mushroom (there's a video on the site!)



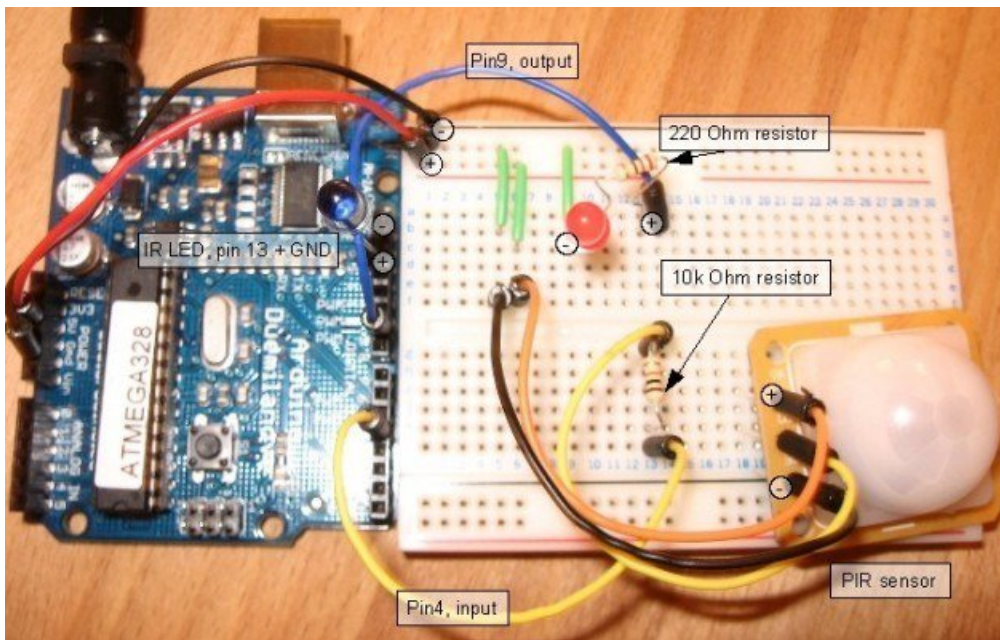
Rain Umbrellas

A home-made security system using PIR sensors (which is built into a Start Trek panel!)

PIR sensor + Arduino + Servo = automatic cat door!



A 2-PIR motion tracker by Lucky Larry



A PIR-based remote camera trigger (also by Lucky Larry!)

An interesting hack whereby the PIR sensor is used 'raw' to track movement.

Buy a PIR Motion Sensor

[Buy a PIR Motion Sensor \(http://adafru.it/189\)](http://adafru.it/189)

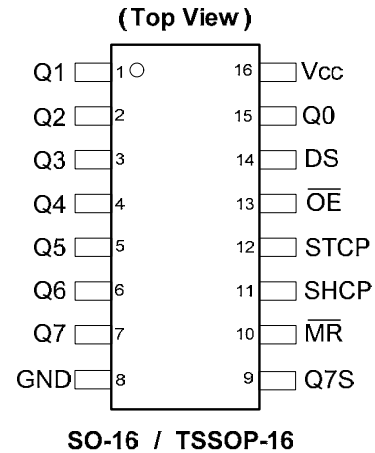
8-BIT SHIFT REGISTER WITH 8-BIT OUTPUT REGISTER
Description

The 74HC595 is an high speed CMOS device.

An eight bit shift register accpets data from the serial input (DS) on each positive transition of the shift register clock (STCP). When asserted low the reset function (\overline{MR}) sets all shift register values to zero and is indepent of all clocks.

Data from the input serial shift register is placed in the output register with a rising pulse on the storages resister clock (SHCP). With the output enable (\overline{OE}) asserted low the 3-state outputs Q0-Q7 become active and present th

All registers capture data on rising edge and change output on the falling edge. If both clocks are connected together the input shift register is always one clock cycle ahead of the output register.

Pin Assignments

Features

- Wide Supply Voltage Range from 2.0V to 6.0V
- Sinks or sources 8mA at $V_{CC} = 4.5V$
- CMOS low power consumption
- Schmitt Trigger Action at All Inputs
- Inputs accept up to 6.0V
- ESD Protection Tested per JESD 22
 - Exceeds 200-V Machine Model (A115-A)
 - Exceeds 2000-V Human Body Model (A114-A)
 - Exceeds 1000-V Charged Device Model (C101C)
- Latch-Up Exceeds 250mA per JESD 78, Class II
- **Totally Lead-Free & Fully RoHS Compliant (Notes 1 & 2)**
- **Halogen and Antimony Free. "Green" Device (Note 3)**

Applications

- General Purpose Logic
- Serial to Parallel Data conversion
- Capture and hold data for extended periods of time.
- Allow simple serial bit streams from a microcontroller to control as many peripheral lines as needed.
- Wide array of products such as:
 - Computer peripherals
 - Appliances
 - Industrial control

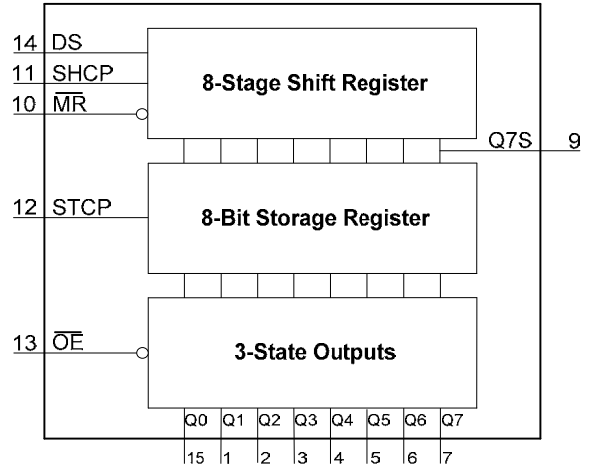
Notes: 1. No purposely added lead. Fully EU Directive 2002/95/EC (RoHS) & 2011/65/EU (RoHS 2) compliant.
 2. See http://www.diodes.com/quality/lead_free.html for more information about Diodes Incorporated's definitions of Halogen- and Antimony-free, "Green" and Lead-free.
 3. Halogen- and Antimony-free "Green" products are defined as those which contain <900ppm bromine, <900ppm chlorine (<1500ppm total Br + Cl) and <1000ppm antimony compounds.

[Click here for ordering information, located at the end of datasheet](#)

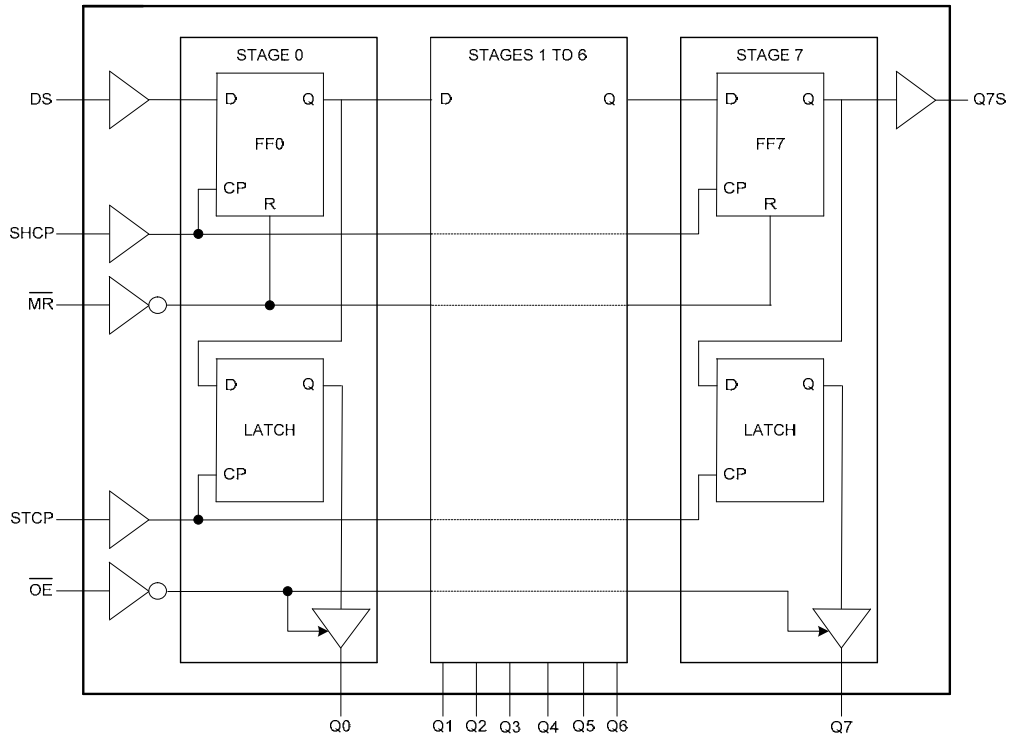
Pin Descriptions

Pin Number	Pin Name	Function
1	Q1	Parallel Data Output 1
2	Q2	Parallel Data Output 2
3	Q3	Parallel Data Output 3
4	Q4	Parallel Data Output 4
5	Q5	Parallel Data Output 5
6	Q6	Parallel Data Output 6
7	Q7	Parallel Data Output 7
8	GND	Ground
9	Q7S	Serial Data Output
10	\overline{MR}	Master Reset Input
11	SHCP	Shift Register Clock Input
12	STCP	Storage Register Clock Input
13	\overline{OE}	Output Enable Input
14	DS	Serial Data Input
15	Q0	Parallel Data Output 0
16	Vcc	Supply Voltage

Functional Diagram



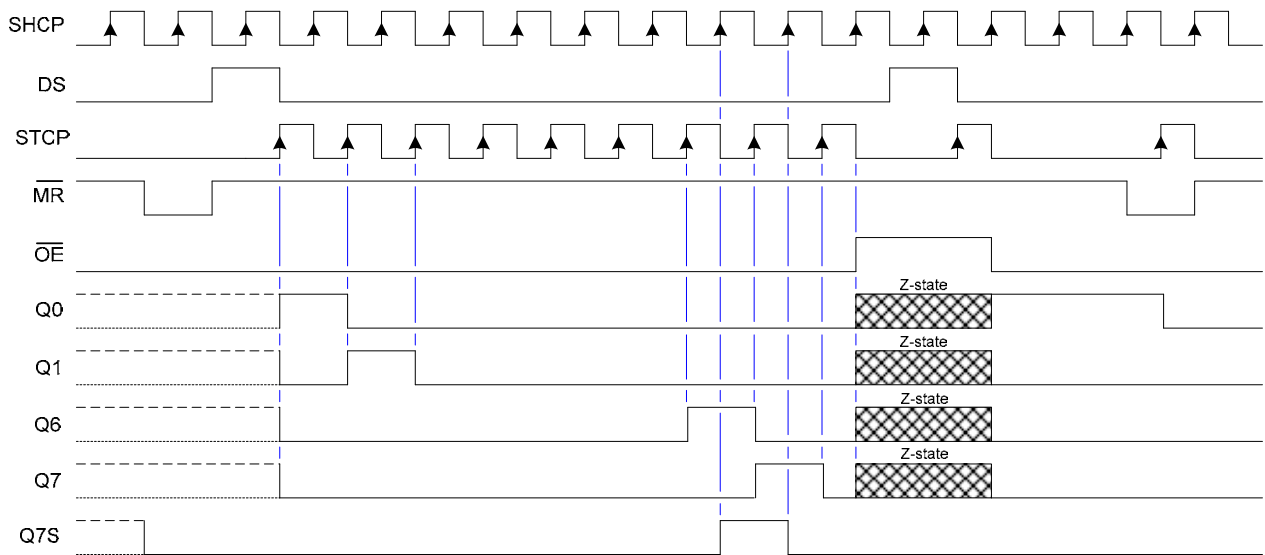
Logic Diagram



Functional Description and Timing Diagram

Control				Input	Output		Function
SHCP	STCP	\overline{OE}	\overline{MR}	DS	Q7S	Qn	
X	X	L	L	-	L	NC	Low-level asserted on MR clears shift register. Storage register is unchanged
X	↑	L	L	-	L	L	Empty shift register transferred to storage register
X	X	H	L	-	L	Z	Shift register remains clear;: All Q outputs in Z state.
↑	X	L	H	-	Q6S	NC	HIGH is shifted into first stage of Shift Register Contents of each register shifted to next register The content of Q6S has been shifted to Q7S and now appears on device pin Q7S
X	↑	L	H	-	NC	QnS	Contents of shift register copied to storage register. With output now in active state the storage register contents appear on Q outputs.
↑	↑	L	H	-	Q6S	QnS	Contents of shift register copied to output register then shift register shifted.

H=HIGH voltage state
 L=LOW voltage state
 ↑=LOW to HIGH transition
 X= don't care – high or low (not floating)
 NC= No change
 Z= high-impedance state



Absolute Maximum Ratings (Note 4) (@T_A = +25°C, unless otherwise specified.)

Symbol	Description	Rating	Unit	
ESD HBM	Human Body Model ESD Protection	2	kV	
ESD CDM	Charged Device Model ESD Protection	1	kV	
ESD MM	Machine Model ESD Protection	200	V	
V _{CC}	Supply Voltage Range	-0.5 to +7.0	V	
V _I	Input Voltage Range	-0.5 to +7.0	V	
V _o	Voltage applied to output in high or low state	-0.3 to V _{CC} +0.5	V	
I _{IK}	Input Clamp Current V _I < -0.5V	-20	mA	
I _{IK}	Input Clamp Current V _I > V _{CC} +0.5V	20	mA	
I _{OK}	Output Clamp Current V _O < -0.5V	-20	mA	
I _{OK}	Output Clamp Current V _O > V _{CC} +0.5V	20	mA	
I _o	Continuous output current	Q7 standard output	±25	mA
		Qn bus driver outputs	±35	mA
I _{CC}	Continuous current through V _{DD} or GND	70	mA	
I _{GND}	Continuous current through V _{DD} or GND	-70	mA	
T _J	Operating Junction Temperature	-40 to +150	°C	
T _{STG}	Storage Temperature	-65 to +150	°C	
P _{TOT}	Total Power Dissipation	500	mW	

Note: 4. Stresses beyond the absolute maximum may result in immediate failure or reduced reliability. These are stress values and device operation should be within recommend values.

Recommended Operating Conditions (Note 5) (@T_A = +25°C, unless otherwise specified.)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Max	Unit
V _{CC}	Supply Voltage	–	2.0	6.0	V
V _I	Input Voltage	–	0	V _{CC}	V
V _O	Output Voltage	Active Mode	0	V _{CC}	V
Δt/ΔV	Input transition rise or fall rate	V _{CC} = 2.0V	–	1000	ns/V
		V _{CC} = 4.5V	–	500	
		V _{CC} = 6.0V	–	400	–
T _A	Operating free-air temperature	–	-40	+125	°C

Note: 5. Unused inputs should be held at V_{CC} or Ground.

Electrical Characteristics (@T_A = +25°C, unless otherwise specified.)

Symbol	Parameter	Test Conditions	V _{CC}	T _A = +25°C			T _A = -40°C to +85°C		T _A = -40°C to +125°C		Unit
				Min	Typ	Max	Min	Max	Min	Max	
V _{IH}	High-Level Input Voltage	–	2.0V	1.5	1.2	–	1.5	–	1.5	–	V
		–	4.5V	3.15	2.4	–	3.15	–	3.15	–	
		–	6.0V	4.2	3.2	–	4.2	–	4.2	–	
V _{IL}	Low-Level Input Voltage	–	2.0V	–	0.8	0.5	–	0.5	–	0.5	V
		–	4.5V	–	2.1	1.35	–	1.35	–	1.35	
		–	6.0V	–	2.8	1.8	–	1.8	–	1.8	
V _{OH}	High-Level Output Voltage	I _{OH} = -20μA All outputs	2.0V	1.9	2.0	–	1.9	–	1.9	–	V
			4.5V	4.4	4.5	–	4.4	–	4.4	–	
			6.0V	5.9	6.0	–	5.9	–	5.9	–	
	Q7 output	I _{OH} = -4.0mA	4.5V	3.84	4.32	–	4.32	–	3.7	–	
			6.0V	5.34	5.81	–	5.81	–	5.2	–	
	Qn Bus Outputs	I _{OH} = -6.0mA	4.5V	3.84	4.32	–	4.32	–	3.7	–	
6.0V			5.34	5.81	–	5.81	–	5.2	–		
V _{OL}	Low-Level Output Voltage	I _{OL} = 20μA All outputs	2.0V	–	0	0.1	–	0.1	–	0.1	V
			4.5V	–	0	0.1	–	0.1	–	0.1	
			6.0V	–	0	0.1	–	0.1	–	0.1	
	Q7 output	I _{OL} = 4.0mA	4.5V	–	.15	0.33	–	0.33	–	0.4	
			6.0V	–	.16	0.33	–	0.33	–	0.4	
	Qn Bus Outputs	I _{OL} = 6.0mA	4.5V	–	.15	0.33	–	0.33	–	0.4	
6.0V			–	.16	0.33	–	0.33	–	0.4		
I _I	Input Current	V _I = GND to 5.5V	6.0V	–	–	±0.1	–	±1	–	±1	μA
I _{oz}	OFF-state output current	Qn internal high or low V _O = V _{CC} or Gnd	6.0V	–	–	±5	–	±5	–	±10	μA
I _{CC}	Supply Current	V _I = GND or V _{CC} I _O = 0	6.0V	–	–	8.0	–	80	–	160	μA
C _i	Input Capacitance	V _i = V _{CC} or GND	6.0V	–	4	10	–	10	–	10	pF

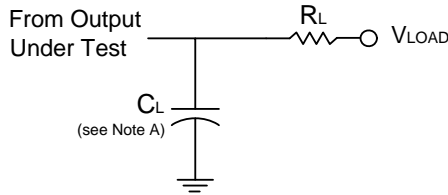
Operating Characteristics (@T_A = +25°C, unless otherwise specified.)

Parameter		Test Conditions	V _{CC} = 5V	Unit
			Typ	
C _{pd}	Power dissipation capacitance	f = 1 MHz all outputs switching-no load	43	pF

Switching Characteristics

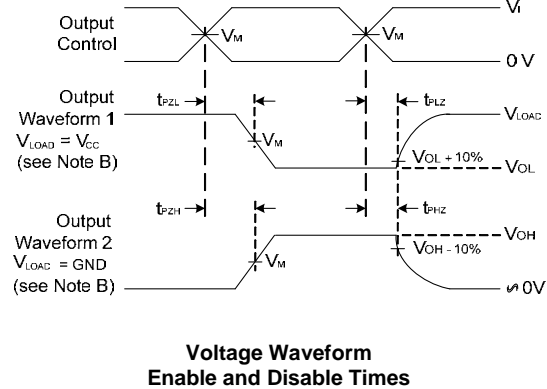
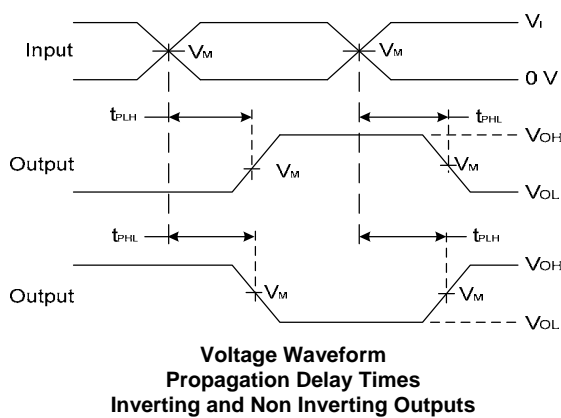
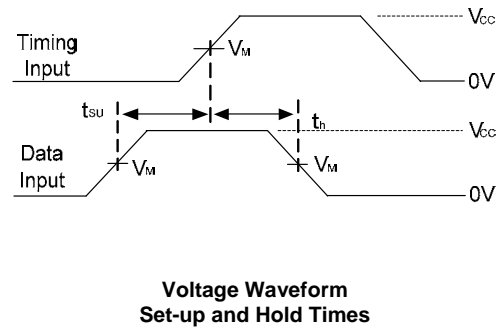
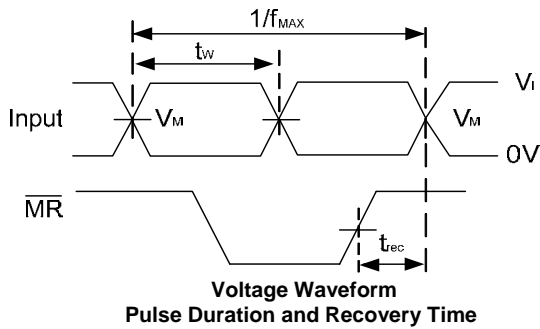
Symbol / Parameter	Pins	Test Conditions	V _{CC}	T _A = +25°C			-40°C to +85°C		-40°C to +125°C		Unit
				Min	Typ	Max	Min	Max	Min	Max	
f _{MAX} Maximum Frequency	SHCP or STCP	Figure 1	2.0V	9	30	–	4.8	–	4	–	MHz
			4.5V	30	91	–	24	–	20	–	
			6.0V	35	108	–	28	–	24	–	
t _w Pulse Width	SHCP HIGH or LOW	Figure 1	2.0V	75	17	–	95	–	110	–	ns
			4.5V	15	6	–	19	–	22	–	
			6.0V	13	5	–	16	–	19	–	
	STCP HIGH or LOW	Figure 1	2.0V	75	11	–	95	–	110	–	
			4.5V	15	4	–	19	–	22	–	
			6.0V	13	3	–	16	–	19	–	
	MR LOW	Figure 1	2.0V	75	17	–	95	–	110	–	
			4.5V	15	6	–	19	–	22	–	
			6.0V	13	5	–	16	–	19	–	
t _{SU} Set-up Time	DS to SHCP	Figure 1	2.0V	50	11	–	65	–	75	–	ns
			4.5V	10	4	–	13	–	15	–	
			6.0V	9	3	–	11	–	13	–	
	SHCP tp STCP	Figure 1	2.0V	75	22	–	95	–	110	–	ns
			4.5V	15	8	–	19	–	22	–	
			6.0V	13	7	–	16	–	19	–	
t _H Hold Time	DS to SHCP	Figure 1	2.0V	3	-6	–	3	–	3	–	ns
			4.5V	3	-2	–	3	–	3	–	
			6.0V	3	-2	–	3	–	3	–	
t _{REC} Recovery Time	MR to SHCP	Figure 1	2.0V	50	-19	–	65	–	75	–	ns
			4.5V	10	-7	–	13	–	15	–	
			6.0V	9	-6	–	11	–	13	–	
t _{PD} Propagation Delay	SHCP to Q7S	Figure 1 C _L =50pF	2.0V	–	52	160	–	200	–	240	ns
			4.5V	–	19	32	–	40	–	48	
			6.0V	–	15	27	–	34	–	41	
	STCP to Qn	Figure 1 C _L =50pF	2.0V	–	55	175	–	220	–	265	ns
			4.5V	–	20	35	–	44	–	53	
			6.0V	–	16	30	–	37	–	45	
t _{PHL} Propagation Delay	MR to Q7S	Figure 1 C _L =50pF	2.0V	–	47	175	–	220	–	265	ns
			4.5V	–	17	35	–	44	–	53	
			6.0V	–	14	30	–	37	–	45	
t _{EN} Enable Time	OE to Qn	Figure 1 C _L =50pF	2.0V	–	47	150	–	190	–	225	ns
			4.5V	–	17	30	–	38	–	45	
			6.0V	–	14	26	–	33	–	38	
t _{DIS} Disable Time	OE to Qn	Figure 1 C _L =50pF	2.0V	–	41	150	–	190	–	225	ns
			4.5V	–	15	30	–	38	–	45	
			6.0V	–	12	26	–	33	–	38	

Parameter Measurement Information



TEST	Vload
t_{PLH}/t_{PHL}	Open
t_{PLZ}/t_{PZL}	V_{CC}
t_{PHZ}/t_{PZH}	GND

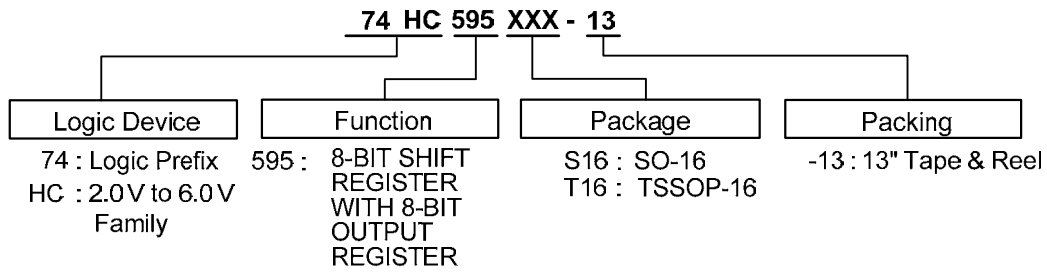
V_{CC}	Inputs		V_M	C_L
	V_I	t_r/t_f		
2.0V	V_{CC}	6ns	$V_{CC}/2$	50pF
4.5V	V_{CC}	6ns	$V_{CC}/2$	50pF
6.0V	V_{CC}	6ns	$V_{CC}/2$	50pF



- Notes:
- A. Includes test lead and test apparatus capacitance.
 - B. Output Waveform 1 depends on the internal Q_N node being low and behaves in this manner based on OE pin. Output Waveform 2 depends on the internal Q_N node being high and behaves in this manner based on OE pin.
 - C. All pulses are supplied at pulse repetition rate $\leq 10\text{MHz}$
 - D. Inputs are measured separately one transition per measurement
 - E. t_{PLH} and t_{PHL} are the same as t_{PD}

Figure 1. Load Circuit and Voltage Waveforms

Ordering Information

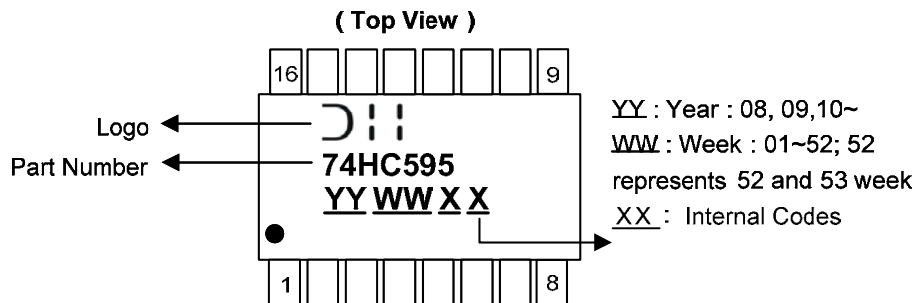


Part Number	Package Code	Packaging	7" Tape and Reel (Note 6)	
			Quantity	Part Number Suffix
74HC595S16-13	S16	SO-16	2500/Tape & Reel	-13
74HC595T16-13	T16	TSSOP-16	2500/Tape & Reel	-13

Note: 6. The taping orientation is located on our website at <http://www.diodes.com/datasheets/ap02007.pdf>

Marking Information

(1) SO-16, TSSOP16

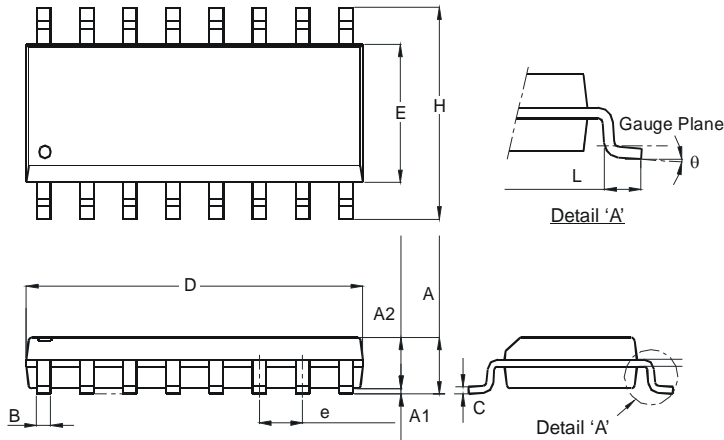


Part Number	Package
74HC595S16	SO-16
74HC595T16	TSSOP-16

Package Outline Dimensions (All dimensions in mm.)

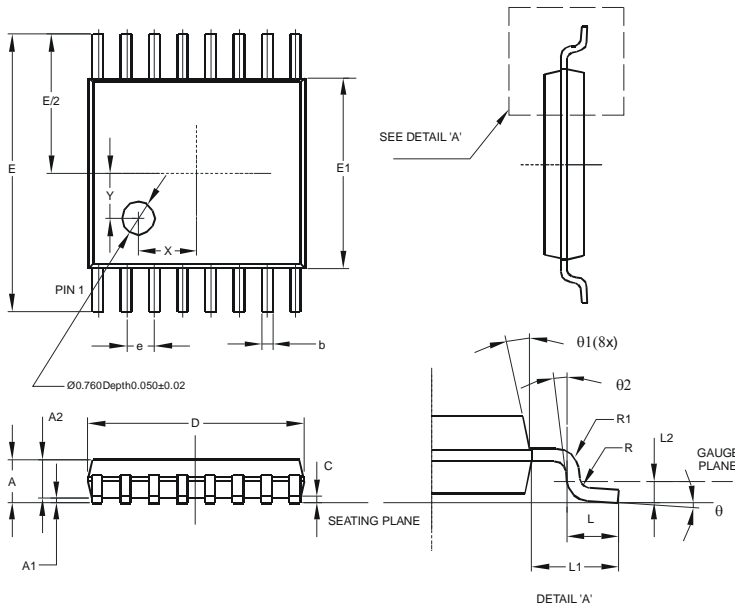
Please see AP02002 at <http://www.diodes.com/datasheets/ap02002.pdf> for latest version.

Package Type: SO-16



SO-16		
Dim	Min	Max
A	1.40	1.75
A1	0.10	0.25
A2	1.30	1.50
B	0.33	0.51
C	0.19	0.25
D	9.80	10.00
E	3.80	4.00
e	1.27 Typ	
H	5.80	6.20
L	0.38	1.27
θ	0°	8°
All Dimensions in mm		

Package Type: TSSOP-16

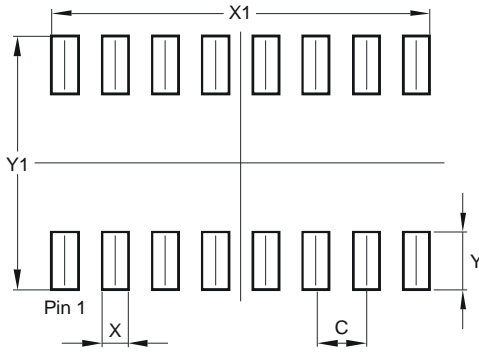


TSSOP-16			
Dim	Min	Max	Typ
A	-	1.08	-
A1	0.05	0.15	-
A2	0.80	0.93	-
b	0.19	0.30	-
c	0.09	0.20	-
D	4.90	5.10	-
E	6.40 BSC		
E1	4.30	4.50	-
e	0.65 BSC		
L	0.45	0.75	-
L1	1.00 REF		
L2	0.25 BSC		
R	0.09	-	-
R1	0.09	-	-
X	-	-	1.350
Y	-	-	1.050
θ	0°	8°	-
θ1	5°	15°	-
θ2	0°	-	-
All Dimensions in mm			

Suggested Pad Layout

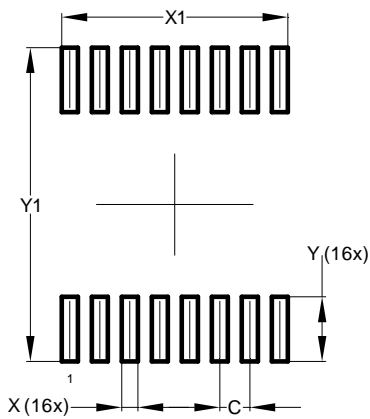
Please see AP02001 at <http://www.diodes.com/datasheets/ap02001.pdf> for the latest version.

Package Type: SO-16



Dimensions	Value (in mm)
C	1.270
X	0.670
X1	9.560
Y	1.450
Y1	6.400

Package Type: TSSOP-16



Dimensions	Value (in mm)
C	0.650
X	0.350
X1	4.900
Y	1.400
Y1	6.800

IMPORTANT NOTICE

DIODES INCORPORATED MAKES NO WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, WITH REGARDS TO THIS DOCUMENT, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE (AND THEIR EQUIVALENTS UNDER THE LAWS OF ANY JURISDICTION).

Diodes Incorporated and its subsidiaries reserve the right to make modifications, enhancements, improvements, corrections or other changes without further notice to this document and any product described herein. Diodes Incorporated does not assume any liability arising out of the application or use of this document or any product described herein; neither does Diodes Incorporated convey any license under its patent or trademark rights, nor the rights of others. Any Customer or user of this document or products described herein in such applications shall assume all risks of such use and will agree to hold Diodes Incorporated and all the companies whose products are represented on Diodes Incorporated website, harmless against all damages.

Diodes Incorporated does not warrant or accept any liability whatsoever in respect of any products purchased through unauthorized sales channel.

Should Customers purchase or use Diodes Incorporated products for any unintended or unauthorized application, Customers shall indemnify and hold Diodes Incorporated and its representatives harmless against all claims, damages, expenses, and attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized application.

Products described herein may be covered by one or more United States, international or foreign patents pending. Product names and markings noted herein may also be covered by one or more United States, international or foreign trademarks.

This document is written in English but may be translated into multiple languages for reference. Only the English version of this document is the final and determinative format released by Diodes Incorporated.

LIFE SUPPORT

Diodes Incorporated products are specifically not authorized for use as critical components in life support devices or systems without the express written approval of the Chief Executive Officer of Diodes Incorporated. As used herein:

A. Life support devices or systems are devices or systems which:

1. are intended to implant into the body, or
2. support or sustain life and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling can be reasonably expected to result in significant injury to the user.

B. A critical component is any component in a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or to affect its safety or effectiveness.

Customers represent that they have all necessary expertise in the safety and regulatory ramifications of their life support devices or systems, and acknowledge and agree that they are solely responsible for all legal, regulatory and safety-related requirements concerning their products and any use of Diodes Incorporated products in such safety-critical, life support devices or systems, notwithstanding any devices- or systems-related information or support that may be provided by Diodes Incorporated. Further, Customers must fully indemnify Diodes Incorporated and its representatives against any damages arising out of the use of Diodes Incorporated products in such safety-critical, life support devices or systems.

Copyright © 2013, Diodes Incorporated

www.diodes.com