



Diseño y construcción de un sistema de bajo costo para estimación en tiempo real de irradiancia y temperatura en paneles solares

**Memoria para optar al título de
Ingeniero Mecatrónico**

Profesor Guía : Dr. Javier Muñoz Vidal

Comité Evaluador : Dr. Marco Rivera Abarca
Dr. Roberto Ramírez Alegría

Daniel Andrés Wilson Albornoz

Curicó – Chile

2018

CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su encargado Biblioteca Campus Curicó certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Two circular official stamps and handwritten signatures in blue ink. The left stamp is from the 'DIRECCIÓN SISTEMA DE BIBLIOTECAS UNIVERSIDAD DE TALCA' and the right stamp is from the 'SISTEMA DE BIBLIOTECAS CAMPUS CURICO'.

Curicó, 2020

Resumen

Este proyecto surge en respuesta a la necesidad que existe hoy en día para monitorear el comportamiento de los paneles solares frente a cambios de irradiancia y temperatura. Si bien es cierto existen instrumentos de medición de estos parámetros, son de un costo muy elevado y no miden la irradiancia de manera individual de cada panel ni tampoco logran establecer la temperatura interna sino la superficial.

Teniendo en cuenta que los paneles solares se ven afectados constantemente por agentes externos ya sea por el polvo, las sombras parciales o totales, la alta temperatura de trabajo, entre otros; se hace necesario monitorear los cambios que experimenta un arreglo de paneles de tal manera de dar una pronta solución al problema.

Hoy en día los sistemas de monitoreo que existen para advertir posibles perturbaciones externas que afectan el rendimiento y la vida útil de los paneles solares, suponen altos costos de implementación ya que los instrumentos de medición necesarios son bastante caros.

En este proyecto se propone la creación de un sensor que permita medir los cambios de irradiancia y temperatura experimentada por el panel solar, enfocando sus mediciones directamente al lugar afectado y mostrando en tiempo real los valores de los parámetros.

La particularidad de este sensor es que es poco invasivo dentro del panel ya que utiliza sus propios componentes, es decir, celdas fotovoltaicas de medición dentro del propio panel que estarán entregando valores de corriente y voltaje al Microcontrolador Arduino que procesa los datos y entrega los valores correspondientes a irradiancia y temperatura.

Agradecimientos

Se agradece el aporte de los estudiantes del Laboratorio de Energías Renovables y Acondicionamiento Eléctrico (LERAE) por su contribución en la confección de este informe. Este trabajo fue posible gracias al financiamiento del proyecto CONICYT/FONDECYT/1160806.

Dedicatoria

A Dios.

Por darme entendimiento y sabiduría para lograr mis objetivos, por cuidarme en los momentos de dificultad y por poner en mi camino las personas correctas que me ayudaron en esta larga etapa.

A mis padres

Por su apoyo incondicional y su preocupación constante en los viajes semanales que realice durante mi carrera profesional.

A mi esposa e hijo

Por ser esa persona que tuvo la paciencia suficiente para entender mis errores, por estar ahí en mis penas y alegrías, por entregarme una razón más para luchar en esta vida.

A mi profesor guía

Por entregarme las herramientas en el desarrollo de este proyecto, sus conocimientos y su relación humana y cercana.

A mi familia

A mi hermano Marcelo, a mi hermana Jeanette y a mi sobrino Charles, que de alguna u otra forma estuvieron conmigo en este proceso.

Y a todas las personas que no recuerdo en estos momentos, y que estuvieron conmigo en este proceso, les dedico sinceramente este proyecto fruto de largos años de esfuerzo.

Índice

Capítulo 1. INTRODUCCION.....	1
1.1.- Introducción General.....	1
1.2.- Revisión Bibliográfica.....	2
1.2.1.- Trabajos Previos.....	2
1.2.2.- Factores de perdidas en paneles solares	2
1.2.3.- Influencia de la Irradiancia	4
1.2.4.- Influencia de la Temperatura	5
1.2.5.- Modelado de una celda fotovoltaica.....	6
1.2.6.- Discusión Bibliográfica	10
1.3.- Hipótesis de Trabajo.....	11
1.4.- Objetivos.....	11
1.4.1.- Objetivo General	11
1.4.2.- Objetivos Específicos	11
1.5.- Alcances.....	12
1.6.- Metodología	13
Capítulo 2. MARCO TEORICO	14
2.1.- Introducción	14
2.2.- Efecto fotovoltaico	14
2.3.- Tecnologías en células solares	15
2.3.1.- Tipos de celdas.....	15
2.3.2.- Materiales semiconductores.....	17
2.3.3.- Silicio.....	17
2.3.4.- Germanio	17
2.4.- Características de un panel fotovoltaico	17
2.4.1.- Circuito equivalente	17
2.4.2.- Características eléctricas de un panel fotovoltaico	21
2.4.3.- Corriente de cortocircuito (I_{SC}).....	21
2.4.4.- Voltaje de circuito abierto (V_{OC})	21
2.4.5.- Punto de máxima potencia (P_m)	21
2.4.6.- Factor de forma (FF)	21
Capítulo 3. ANALISIS DE UNA CELDA	22
3.1.- Comportamiento de I_{SC} en una celda frente a la irradiancia	22
3.1.1.- Parámetros eléctricos del sistema fotovoltaico.	22
3.1.2.- Experimento.....	22
3.2.- Comportamiento de V_{OC} en una celda frente a la irradiancia	23
3.2.1.- Parámetros eléctricos del sistema fotovoltaico	23
3.2.2.- Experimento.....	24
3.2.3.- Obtención de la ecuación para la irradiancia	26
3.2.4.- Obtención de la ecuación para la temperatura	27
Capítulo 4. DISEÑO Y FABRICACION	30
4.1.- Diseño del proyecto.....	30
4.1.1.- Fabricación del prototipo de panel solar	30

4.1.2.-	Lista de materiales.....	30
4.1.3.-	Proceso de fabricación.....	30
4.2.-	Construcción del sensor de corriente	35
4.2.1.-	Lista de materiales.....	36
4.2.2.-	Construcción del sensor.....	36
4.3.-	Sensor de voltaje	37
4.4.-	Dispositivos y elementos adicionales.....	38
4.4.1.-	Módulo Step up Booster	38
4.4.2.-	Arduino Uno	38
4.4.3.-	Shield LCD 16x2	39
4.5.-	Ensamble del conjunto	39
4.5.1.-	Proceso de conexión.....	39
Capítulo 5.	RESULTADOS Y DISCUSION	42
5.1.-	Introducción	42
5.2.-	Simulación del sistema en PSIM	42
5.2.1.-	Simulaciones de estimación de irradiancia y temperatura	42
5.2.2.-	Condiciones de variación de irradiancia y temperatura	43
5.2.3.-	Resultados.....	44
5.3.-	Pruebas experimentales	44
5.3.1.-	Medición experimental.....	44
5.3.2.-	Análisis de resultados.....	46
5.3.3.-	Instrumentos patrones.....	48
5.4.-	Análisis de costos.....	49
5.5.-	Comparación.....	50
Capítulo 6.	CONCLUSIONES.....	52
6.1.-	Conclusiones generales	52
6.2.-	Trabajo Futuro	53
Capítulo 7.	Bibliografía	54

Índice de Figuras

Figura 1.1 Esquema de Irradiancia Incidente	2
Figura 1.2 Gráfico de la corriente de cortocircuito versus Irradiancia	4
Figura 1.3 Gráfico del voltaje de circuito abierto versus Irradiancia	5
Figura 1.4 Efecto de la Irradiancia en la corriente de salida del modulo PV	6
Figura 1.5 Efecto de la temperatura en el voltaje y la corriente de salida	6
Figura 1.6 Prototipo de medidor de irradiancia.....	7
Figura 1.7 Circuito equivalente de diodo simple.....	8
Figura 1.8 Circuito de medición de bajo costo.....	9
Figura 2.1 Efecto Fotovoltaico. [23].....	15
Figura 2.2 Circuito equivalente ideal.....	17
Figura 2.3 Circuito equivalente real	18
Figura 3.1 Gráfico de I_{sc} v/s irradiancia	23
Figura 3.2 Parámetros afectados por el aumento de la temperatura [25].....	24
Figura 3.3 Experimento para obtener V_{oc}	25
Figura 3.4 Gráfico de V_{oc} v/s irradiancia.....	26
Figura 3.5 Celda en cortocircuito	26
Figura 3.6 Celda en circuito abierto.....	28
Figura 4.1 (a) Perfil tubular de 30x60 cm (b) Corte transversal	31
Figura 4.2 Corte 45° (a) Vista Lateral (b) Vista Frontal.....	32
Figura 4.3 Perfil de la estructura (a) Perfil con acople (b) Ensamblado	32
Figura 4.4 Marco ensamblado	32
Figura 4.5 Celda soldada con conductores Tab Wire	34
Figura 4.6 Columna de celdas soldadas en serie	34
Figura 4.7 Conexión del arreglo fotovoltaico	34
Figura 4.8 Montaje final (a) Vista frontal (b) Vista trasera	35
Figura 4.9 Esquemático Sensor de Corriente Aislado	36
Figura 4.10 Diagrama PCB del sensor.....	37
Figura 4.11 Sensor de corriente.....	37
Figura 4.12 Módulo Step Up Booster	38
Figura 4.13 Arduino Uno	39
Figura 4.14 Shield LCD físicamente	39
Figura 4.15 Sistema de medición integrado (a) vista interior (b) vista exterior.....	40
Figura 4.16 Sistema de medición montado	41
Figura 5.1 Simulación en PSIM	42
Figura 5.2 Diagrama de flujo algoritmo.....	43
Figura 5.3 Variaciones ambientales de S y T contrastado con sus estimaciones	44
Figura 5.4 Medición experimental.....	45
Figura 5.5 Medición experimental en laboratorio	47
Figura 5.6 Solarímetro HT-204	48
Figura 5.7 Termómetro infrarrojo.....	49

Índice de Tablas

Tabla 2.1 Nomenclatura utilizada en la ecuación de I_L	19
Tabla 2.2 Nomenclatura utilizada en la ecuación de I_D	19
Tabla 2.3 Nomenclatura utilizada en la ecuación de I_{sh}	20
Tabla 3.1 Valores de I_{SC} para cambios de irradiancia	23
Tabla 3.2 Valores de V_{OC} ante cambios de irradiancia	25
Tabla 4.1 Tabla de materiales para el panel solar	30
Tabla 4.2 Tabla de materiales para sensor	36
Tabla 5.1 Variación de condiciones externas	43
Tabla 5.2 Parámetros de la celda de medición	45
Tabla 5.3 Mediciones experimentales	46
Tabla 5.4 Valores comparativos de Irradiancia	47
Tabla 5.5 Valores comparativos de temperatura	48
Tabla 5.6 Tabla de materiales para panel solar	49
Tabla 5.7 Tabla de materiales para el sistema de medición	50
Tabla 5.8 Comparación de costos	51

Nomenclatura

Escalares

I_L	: Corriente foto generada.
K	: Constante de Boltzman.
V_D	: Voltaje en el diodo.
I_0	: Corriente de saturación inversa del diodo.
q	: Constante de la carga del electrón.
R_s	: Resistencia serie.
R_{sh}	: Resistencia paralela o Shunt.
S	: Irradiancia incidente del sol.
S_0	: Irradiancia Nominal.
C_t	: Constante de Temperatura.
I_{SC}	: Corriente de corto circuito.
I_{SC0}	: Corriente de corto circuito nominal.
V_{OC}	: Voltaje de circuito abierto.
T	: Temperatura.
n	: Factor de idealidad del diodo.
T_{ref}	: Temperatura de referencia.
I_D	: Corriente en el diodo.

Abreviaciones

Mayúsculas

PI : Controlador proporcional integral.
STC : Standard Test Conditions
LCK : Ley de Corrientes de Kirchhoff

Minúsculas

rms : Root Mean Square
fp : Factor de Potencia.

Capítulo 1. INTRODUCCION

1.1.- Introducción General

Lo que hoy conocemos como celdas fotovoltaicas, se define a grandes rasgos como dispositivos electrónicos que permiten generar energía eléctrica a partir de la luz emitida por el sol [1]. Estas celdas producen energía eléctrica en un proceso llamado conversión fotovoltaica en donde un material semiconductor (unión P-N) al absorber los fotones del sol genera portadores libres (cargas electrón-hueco) incrementando su conductividad haciendo circular un flujo de electrones a través del material. [2]

Este proceso de transformar energía lumínica en electricidad es afectado por factores externos que disminuyen su rendimiento [3] [4], es por ello que es necesario conocerlos y estudiar su comportamiento a través del tiempo, con el objetivo de tomar acciones de control sobre algunos de ellos, mejorando la eficiencia de los paneles solares. [5] [6]

En particular, este proyecto pretende crear un dispositivo de bajo costo e integrado al módulo fotovoltaico que permita medir en tiempo real los cambios de irradiancia incidente y temperatura interna de un panel solar, con el objetivo de monitorearlos teniendo en cuenta que el efecto sombra y el aumento de la temperatura disminuye la producción de energía eléctrica. [7] [8]

En la actualidad existen instrumentos que permiten medir los cambios de irradiancia [9] y temperatura [10], pero son demasiado costosos y no tienen gran versatilidad como el propuesto en este proyecto. El cual, basándose en la medición de la corriente de cortocircuito I_{SC} y el voltaje de circuito abierto V_{OC} , se logra la obtención de los valores estimados de irradiancia y temperatura, a partir del modelo matemático de una celda solar. [11] [12]

Para ambos parámetros existe una estrecha relación con la irradiancia y la temperatura pero sus comportamientos son distintos como en el caso de I_{SC} que tiene un comportamiento lineal frente a cambios de irradiancia y el voltaje de circuito abierto V_{OC} que en su curva describe un comportamiento logarítmico frente a la irradiancia [13]

1.2.- Revisión Bibliográfica

1.2.1.- Trabajos Previos

1.2.2.- Factores de pérdidas en paneles solares

- R. Suzuki, Hajime Kawamura, S. Yamanaka, Hideaki Kawamura, H. Ohno, K. Naito, *Loss Factors affecting power generation efficiency of a PV module*. Department of Electrical Engineering, New Orleans, LA, USA. [14]

En este artículo se mencionan algunos factores externos que provocan pérdidas de energía en la generación fotovoltaica, entre los cuales se encuentra la radiación solar y el ángulo de inclinación de los módulos fotovoltaicos, destacando la importancia de este último para el mejor aprovechamiento de la radiación incidente.

Dependencia de la irradiación solar en la eficiencia de la generación fotovoltaica

En la figura 1.1 se muestra la incidencia de la irradiación sobre la superficie de una celda fotovoltaica con un ángulo de inclinación determinado, en donde la magnitud de los rayos solares que inciden sobre la superficie del panel no son los mismos que inciden sobre la celda debido a que al incidir sobre el cristal protector existe reflexión del medio

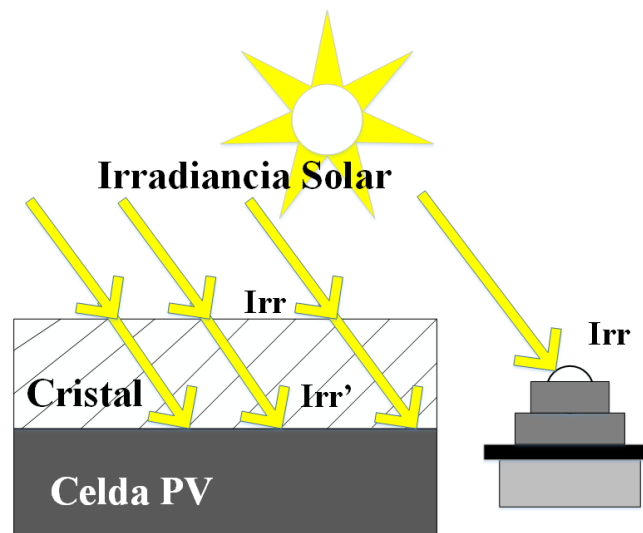


Figura 1.1 Esquema de Irradiancia Incidente

Como aspecto importante de este artículo, se destaca el análisis desarrollado para dejar en claro que las mediciones de irradiancia externas realizadas con un instrumento son distintas a las percibidas realmente en la superficie del panel por lo que para calcular su valor teóricamente se utiliza la ecuación (1.1)

$$Irrr' = Irrr_{estandar} \frac{ISC_{medido}}{ISC_{estandar}} \quad (1.1)$$

La ecuación anterior no es más que la interpretación de la ecuación de la corriente foto generada dependiente de la irradiancia, tal como lo plantean otros autores.

- Cepeda Juan, Sierra Adriana, *Aspectos que afectan la eficiencia en los paneles fotovoltaicos y sus potenciales soluciones*. Universidad Santo Tomas, Facultad de Ingeniería Mecánica, Bogota, Colombia. [15]

❖ Factores que afectan la eficiencia en los paneles fotovoltaicos

Existen factores propios y externos que modifican la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos entre los cuales se destacan las variaciones climáticas, el ángulo de inclinación, la reflexión y la suciedad superficial entre otras.

El aumento de la temperatura por efecto de la radiación provoca la formación de concentraciones de portadores intrínsecos, produciendo una mayor saturación de corriente y por ende una reducción en la eficiencia y un deterioro del panel. Para mejorar esta condición se han desarrollado métodos de enfriamiento logrando un aumento de la eficiencia entre un 4,9 y 7,6%.

Por otro lado las pérdidas por reflexión óptica pueden llegar hasta el 8 a 9% en el espectro visible, por lo que se han desarrollado capas anti-reflexión y anti-suciedad mejorando la eficiencia en un 3,2% en la potencia de salida del sistema.

Las pérdidas provocadas por efectos del ángulo de inclinación de los paneles solares se deben principalmente a que estos dispositivos están fijos y durante la radiación solar diaria, existen momentos donde los rayos no inciden perpendicularmente recibiendo solo una parte de esta radiación. Por lo que para mejorar esta condición se han creado seguidores solares para el mejor aprovechamiento de esta energía,

pudiendo aumentar el rendimiento desde un 19,1% al 30,2% con seguidores solares de alta precisión.

De este trabajo se extrae información complementaria a este proyecto, determinando cuales factores de pérdidas afectan en mayor medida en la generación fotovoltaica, el cual para el desarrollo de este informe corresponde al aumento de la temperatura.

1.2.3.- Influencia de la Irradiancia

- Md. N. Islam, M. Ziaur Rahman, and Sharif M. Mominuzzaman, *The Effect of Irradiation on Different Parameters of Monocrystalline Photovoltaic Solar Cell*. Bangladesh University of Engineering and Technology (BUET). Bangladesh. [16]

Comportamiento de la corriente de cortocircuito frente a la irradiancia

La corriente generada por la celda fotovoltaica es fuertemente dependiente de la radiación solar y su variación es directamente proporcional según muestra la figura 1.2

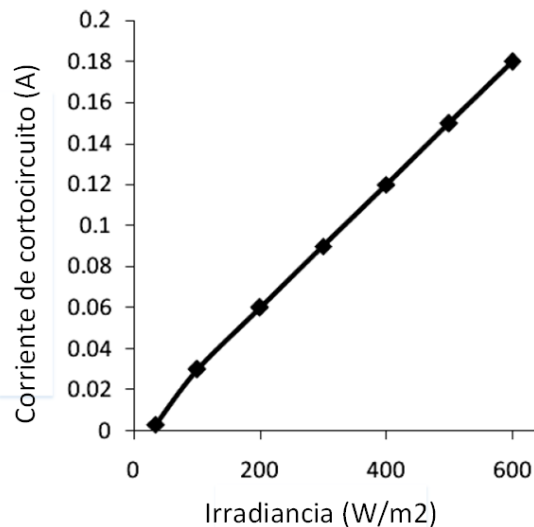


Figura 1.2 Gráfico de la corriente de cortocircuito versus Irradiancia

Comportamiento del voltaje de circuito abierto frente a la Irradiancia

Si bien la corriente de cortocircuito es proporcional a los cambios de radiación, el voltaje de circuito abierto no presenta cambios muy significativos

frente a esta variable y solamente experimenta un salto pronunciado cuando sobrepasa un valor mínimo de irradiancia según se aprecia en la figura 1.3

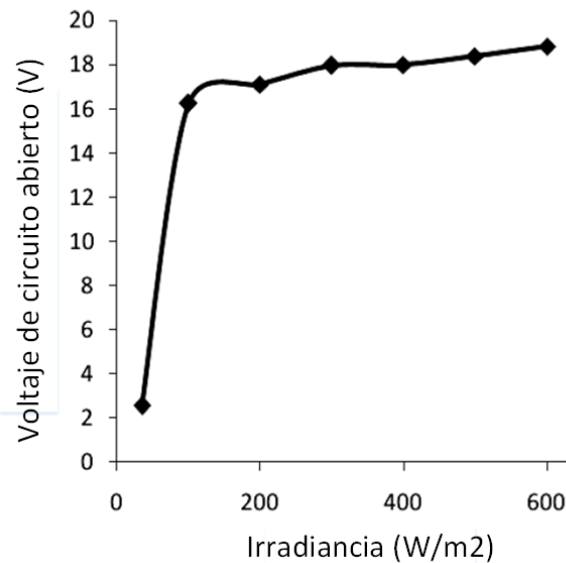


Figura 1.3 Gráfico del voltaje de circuito abierto versus Irradiancia

Este trabajo aportó información relacionada con los efectos que produce la irradiancia en los diferentes parámetros de una celda fotovoltaica especialmente en la corriente de cortocircuito y el voltaje de circuito abierto que son las variables de interés, y de las cuales se trabajará más adelante para estimar la irradiancia y la temperatura

1.2.4.- Influencia de la Temperatura

- Badr Aldwane, *Modeling, Simulation and Parameters Estimation for Photovoltaic Module*, Electrical Engineering Department, Polytechnic Institute-Sukna, Aljufra-Libya [17]

El análisis de las celdas fotovoltaicas conlleva el desarrollo de un modelo dinámico basado en los parámetros eléctricos que lo representan. La simulación del panel de acuerdo a las ecuaciones fundamentales que lo rigen forma parte de este artículo y sus resultados muestran gráficamente la influencia de la irradiancia y la temperatura en el módulo fotovoltaico.

En las figuras 1.4 y 1.5 se aprecian estas variaciones.

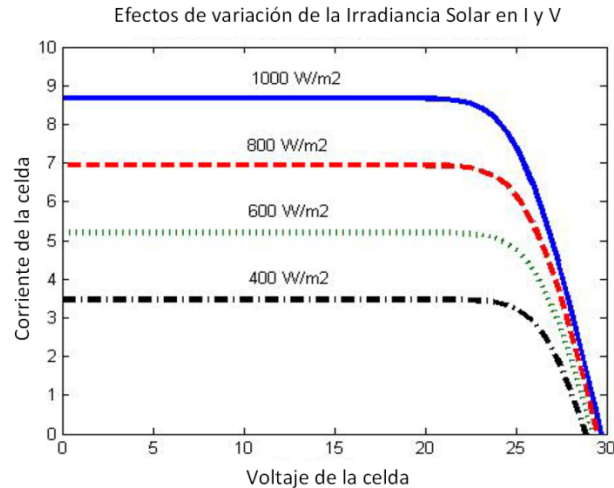


Figura 1.4 Efecto de la Irradiancia en la corriente de salida del modulo PV

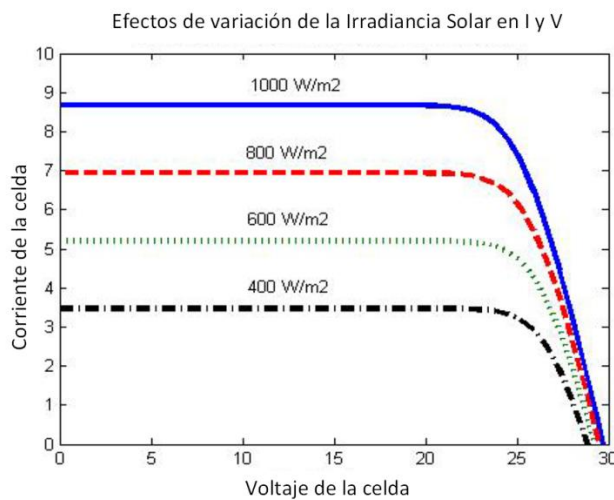


Figura 1.5 Efecto de la temperatura en el voltaje y la corriente de salida

1.2.5.- Modelado de una celda fotovoltaica

- Pallavi Bharadwaj, Vinod John, *Design, Fabrication and evaluation of solar Irradiation Meter*, Department Electrical Engineering, Indian Institute of Science, Karnataka, India. [18]

Comercialmente los medidores de irradiancia se clasifican en 2 categorías, los piranómetros y los fotómetros. Estos instrumentos se diferencian tanto en su rango de medida como en el tiempo de respuesta, debido al tipo de componente captador

de luz. El piranómetro posee un rango de lectura espectral más amplio y un tiempo de respuesta elevado producto de la constante de tiempo térmica implicada, en cambio el fotómetro posee un tiempo de respuesta más corto pero el rango de lectura se reduce al espectro solar que utiliza para producir portadores de carga.

Para el medidor de irradiancia propuesto se utilizan celdas fotovoltaicas en lugar de fotodiodos, aunque ambos trabajan bajo el mismo principio, la diferencia radica en la forma en que se fabrican y operan, ya que una célula solar tradicional no es más que un fotodiodo de gran área que opera en modo de polarización cero.

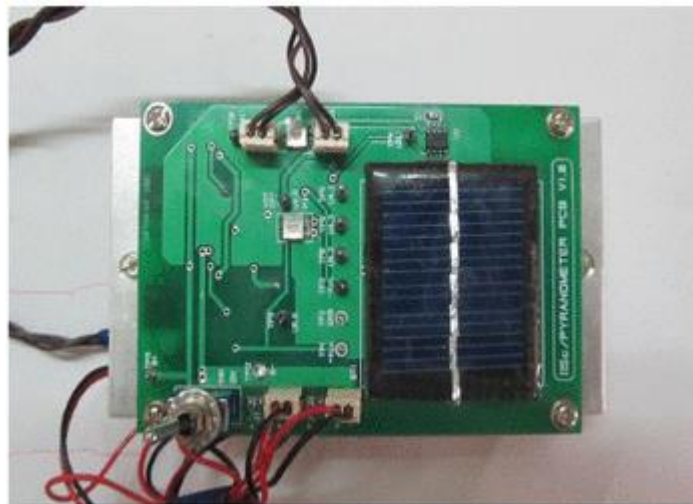


Figura 1.6 Prototipo de medidor de irradiancia

Este artículo muestra el desarrollo de un medidor de irradiancia a partir de una celda fotovoltaica, demostrando que es posible su implementación considerando algunos aspectos de diseño y fabricación.

- Zouhaira Ben Mahmoud, Mahmoud Hamouda, Adel Khedheri, *Effect of Series and Shunt Resistances on the performance of PV panel under Temperature Variations*. Department of Electrical Engineering, (ENSA) Cadi Ayyad University, Marrakech, Morocco [19]

Modelo Eléctrico de la matriz fotovoltaica

El modelo matemático de una celda puede ser descrito a partir del circuito equivalente de diodo simple de una célula fotovoltaica, el cual está compuesto

principalmente por un generador de corriente, conectado a un diodo en paralelo que emula la unión PN, además de una resistencia en paralelo o Shunt y una resistencia en serie como se aprecia en la figura 1.7

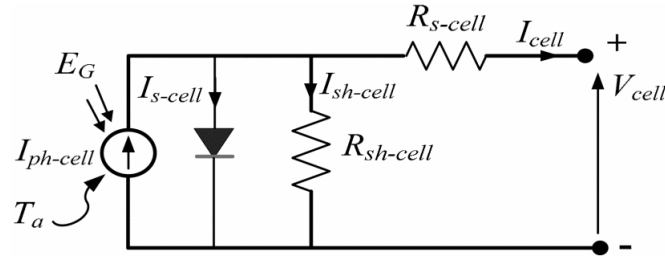


Figura 1.7 Circuito equivalente de diodo simple

Este artículo entrega un modelo de circuito equivalente que muestra los componentes básicos que están presentes en una celda fotovoltaica y que servirá de base para calcular y desarrollar una ecuación matemática para este proyecto.

- Jose Silva, Jose Espinoza, Jaime Rohten, Miguel Torres, *Grid Connected PV System with Maximum Power Point Estimation based on Reference Cells*, Electrical Engineering Department, University of Concepcion, Concepcion, Chile [12]

Estimación de la irradiancia y la temperatura

Según el modelo analizado en este artículo y a partir de 2 celdas de medición, una operando en cortocircuito y otra en circuito abierto se obtienen 2 ecuaciones características, una para la corriente de cortocircuito (I_{SC}) y otra para el voltaje de circuito abierto (V_{OC}) como sigue:

$$I_{SC} = I_{sco} \frac{S}{S_0} \quad (1.2)$$

$$V_{OC} = \frac{q}{nKT} \ln \left[\frac{I_{sco} S}{S_0 I_0} - \frac{V_{oc}}{R_{sh} I_0} + 1 \right] \quad (1.3)$$

Tomando en consideración las ecuaciones (1.2) y (1.3) y despejándolas en función de las variables de interés se logra una estimación de la irradiancia y la temperatura a partir de (1.4) y (1.5)

$$\hat{S} = \frac{I_{sc} S_0}{I_{sco}} \quad (1.4)$$

$$\hat{T} = \frac{q}{nKV_{oc}} \ln \left[\frac{I_{sc0}S}{S_0I_0} - \frac{V_{oc}}{R_{sh}I_0} + 1 \right] \quad (1.5)$$

Las ecuaciones anteriores y el análisis del modelo fotovoltaico presentado en este artículo sirven como antecedente para el desarrollo de este proyecto.

- Cruz-Colon Joel, Martinez Mitjans Luis, Ortiz Rivera Eduardo, *Design of a Low Cost Irradiance Meter using a Photovoltaic Panel*. University of Puerto Rico-Mayaguez, ECE Department. [20]

La implementación del siguiente circuito consta de un interruptor electrónico y 2 acondicionadores de señal. El acondicionador de voltaje se usa para disminuir el voltaje del panel de medición a un nivel apropiado para el Microcontrolador. También se utiliza una pequeña resistencia para medir la corriente de corto circuito utilizando un amplificador operacional que eleva esta tensión a un nivel apropiado para ser utilizada en el MCU.

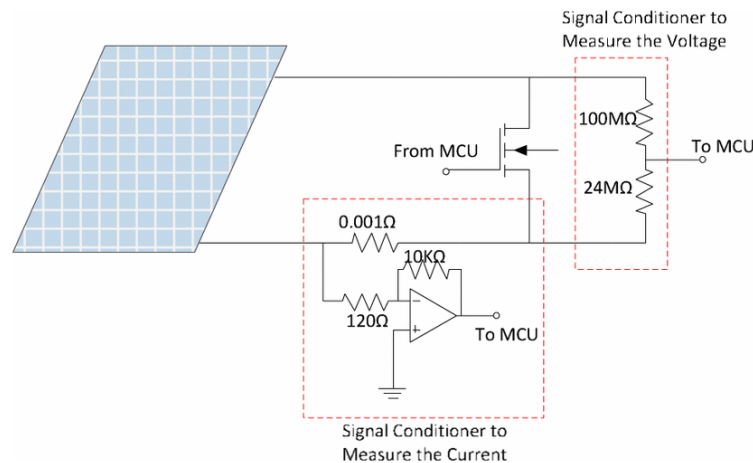


Figura 1.8 Circuito de medición de bajo costo

Este artículo presenta el diseño de un medidor de irradiancia de bajo costo tomando como unidad de sensado un panel solar. Sin embargo a diferencia del propuesto en este proyecto en el artículo se menciona el uso de un MOSFET como interruptor para sensar en circuito abierto y en cortocircuito utilizando solo un panel solar.

1.2.6.- Discusión Bibliográfica

Los paneles solares como dispositivos convertidores de energía están expuestos a las inclemencias del tiempo sea cual sea el lugar donde estén instalados, estos se verán afectados por las sombras, el polvo y el aumento de la temperatura, entre otros factores [3]. Sin embargo, es posible estudiar los efectos causados por estos factores de pérdida, analizando su intervención en la generación de energía tal como se realizó en diversos estudios con paneles solares [7] [8].

Con el trabajo de RYOSUKE SUZUKI [14] acerca de los factores de pérdidas se descubre que la estimación de la irradiancia, a partir de la corriente de cortocircuito, no será exactamente igual a la irradiancia real percibida ya que existe un grado de reflexión, en la superficie de los paneles, producto del cristal protector.

Por otra parte, JUAN CEPEDA y ADRIANA SIERRA [15], en su trabajo de investigación, mencionan que dichas pérdidas por reflexión óptica pueden atenuarse mediante capas anti-reflectoras y anti-suciedad que, no solo permite la mejora sustancial por este factor, sino también, permite mejorar la eficiencia producto del polvo.

De acuerdo con BADR ALDWANE [17] la influencia de la temperatura en el voltaje de salida del panel es bastante considerable, según indican los resultados de sus análisis y análogamente la corriente no es afectada por este factor. Asimismo ocurre un efecto totalmente inverso con la irradiancia, en donde la corriente de salida disminuye proporcionalmente y el voltaje no sufre variación.

Según PALLAVI BHARADWAJ [18] Y JOEL CRUZ-COLON [20] es posible diseñar y fabricar un medidor de irradiancia a partir de una celda y/o panel fotovoltaico utilizándolo como elemento sensor, con el cual, a través de un Microcontrolador y con las ecuaciones correctas se logra estimar la irradiancia. Sin embargo, no hay trabajos que traten del desarrollo de un panel solar con este medidor integrado, uno de los objetivos de este proyecto.

Tomando en cuenta, el desglose de las ecuaciones del modelo matemático propuesto en el artículo de JOSE SILVA [12], se decide simular primeramente el sistema de medición en software PSIM antes de construir el prototipo físico, analizando los resultados entregados en los gráficos.

Es posible medir y registrar los cambios de irradiancia [23] y temperatura, variables de nuestro interés, mediante sensores comerciales adecuados, pero este proyecto aspira a innovar con la implementación de celdas de medición internas, que permitan la estimación de estas variables a través de un sensor de bajo costo que entregue lecturas con un porcentaje de error mínimo.

En este proyecto se creó un panel solar, que no existe en el comercio, y que logra auto-medirse y auto-sustentarse utilizando sus propias celdas, y a partir de un algoritmo inserto en un Microcontrolador puede realizar un trabajo de medición autónomo, con la finalidad de monitorear en tiempo real estos factores externos.

1.3.- Hipótesis de Trabajo

- Es posible estimar la irradiancia y la temperatura de un panel solar a partir de la medición de la corriente de cortocircuito y el voltaje de circuito abierto.
- Es posible utilizar celdas de medición integradas al panel solar para monitorear las variables de interés.
- Se puede utilizar un Microcontrolador digital para estimar en tiempo real las variables internas del panel.

1.4.- Objetivos

1.4.1.- Objetivo General

Diseñar y construir un panel fotovoltaico integrado con un sistema de medición de bajo costo para estimar la irradiancia y temperatura que permita evaluar en tiempo real los cambios experimentados en estas variables.

1.4.2.- Objetivos Específicos

- Utilizar las ecuaciones matemáticas que modelan el comportamiento de las celdas fotovoltaicas para estimar en tiempo real la irradiancia y la temperatura del panel
- Simular el sistema de medición aplicado a un panel fotovoltaico estándar en software PSIM

- Construir un panel solar a partir de un conjunto de celdas fotovoltaicas que integre celdas de medición y de alimentación para el sistema de monitoreo.
- Validar los datos teóricos con los experimentales y comparar con los resultados obtenidos con un instrumento patrón.

1.5.- Alcances

Este proyecto contempla la implementación de un sistema de medición de irradiancia y temperatura basado en las características eléctricas de un panel solar. Los alcances de este trabajo son:

- El sistema permitirá monitorear *in situ* la situación actual del panel frente a los cambios de irradiancia y temperatura experimentados y no existirá un monitoreo remoto de los datos.
- Los parámetros eléctricos utilizados en los cálculos serán los proporcionados por el fabricante de las celdas fotovoltaicas.
- Se realizará la construcción de un panel fotovoltaico como prototipo para la implementación de dicho sistema en donde se alimentará de manera autónoma y se aislarán 2 celdas para las mediciones.
- Las simulaciones computacionales se realizarán en el software PSIM.
- Los análisis teóricos se validarán en el prototipo diseñado en laboratorio y los algoritmos desarrollados serán programados en ambiente C++ sobre el Microcontrolador Arduino.
- El costo de construcción del sistema deberá ser inferior al costo real de un sistema de medición equivalente.
- El sistema será solo un prototipo que estará sujeto a pruebas y a calibraciones.
- El prototipo a construir será de 100 W aproximadamente.

1.6.- Metodología

A continuación se presenta la metodología para diseñar y construir un sistema de medición para paneles fotovoltaicos:

- Búsqueda de bibliografía relacionada con los modelos teóricos que describen el comportamiento de las celdas fotovoltaicas ante variables externas.
- Realización de un análisis y estudio teórico de las ecuaciones características propias de una celda. Para esto se desarrollarán modelos basados en los principios físicos de los módulos fotovoltaicos.
- Cálculo de las ecuaciones que permiten dar relación a la irradiancia y temperatura, respecto a la corriente de cortocircuito y al voltaje de circuito abierto.
- Simulación en PSIM para verificar los modelos encontrados y verificar las respuestas del sistema ante perturbaciones.
- Diseño y construcción de un panel solar a partir de 24 celdas de 5.2 W cada una, dejando 2 celdas aisladas para las mediciones y 2 celdas para la alimentación del circuito.
- Diseño y construcción de un sensor de corriente aislado que permitirá un sensado más exacto y estable
- Obtención de resultados experimentales para evaluar el desempeño de los algoritmos utilizados y contrastarlos con las simulaciones.
- Comparar los resultados obtenidos con un instrumento patrón, para el caso de la irradiancia un solarímetro digital portátil HT204, y para la temperatura un termómetro digital infrarrojo GM320.
- Evaluar posibles mejoras en el desempeño de los algoritmos para el cálculo de la irradiancia y temperatura.

Capítulo 2. MARCO TEORICO

2.1.- Introducción

A lo largo de este capítulo se explican algunos de los conceptos y características esenciales para el entendimiento de los factores que contribuyen a la generación de energía mediante la tecnología fotovoltaica, así como los parámetros que perjudican el rendimiento de dichos paneles. Además, se estudiará la relación que tiene la irradiancia y la temperatura en el comportamiento del generador fotovoltaico.

2.2.- Efecto fotovoltaico

Los materiales semiconductores, y en particular el silicio, son ampliamente usados en la construcción de células solares ya que la energía que une a sus electrones en los últimos niveles atómicos es similar a la que poseen los fotones emitidos por la luz solar. [21] Por lo tanto, cuando estas partículas inciden sobre algún semiconductor rompen sus enlaces formando electrones libres provocando que aparezcan huecos que se comportan como cargas positivas. Para que esto ocurra al semiconductor se le deben alterar sus propiedades intrínsecas mediante un proceso llamado dopaje. Este proceso consiste en incorporar impurezas al material de tal forma de lograr un exceso de electrones y de huecos. Para lograr el exceso de electrones el material semiconductor (silicio) debe ser dopado con otro material que tenga un electrón de enlace mayor, en este caso el fósforo, y de esta manera el material resultante se denomina de tipo N (negativo). Para el caso contrario, es decir para obtener un exceso de huecos, el silicio debe ser dopado con un material que tenga un electrón de enlace menos, como ocurre con el boro. Logrando así un material de tipo P (positivo).

Si las caras formadas por los materiales tipo P y N se unen adyacentemente algunos electrones libres de la región N pueden llegar a la región P, cruzando la zona de unión y ocupando los huecos libres de la misma. Por ende la región de contacto a la frontera de

separación queda cargada negativamente en el material tipo P y positivamente en el N, formando una unión P-N. [22]

Dicho lo anterior es más sencillo comprender el proceso de generación de energía de los paneles solares ya que a partir de esa unión P-N junto con la incorporación de conductores metálicos es posible extraer la corriente foto-generada del proceso fotovoltaico.

En la Fig. 2.1 se muestra un esquema del efecto fotovoltaico (FV).

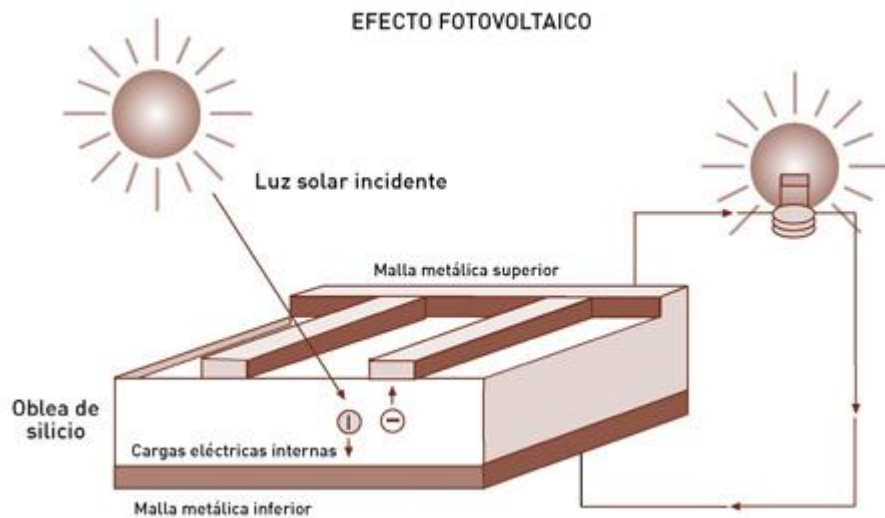


Figura 2.1 Efecto Fotovoltaico. [23]

2.3.- Tecnologías en células solares

2.3.1.- Tipos de celdas

Según su clasificación se dividen en 2 tipos:

- Gruesas:** este tipo de celdas hace referencia al proceso de fabricación, que consiste en formar lingotes de silicio dopado con boro, el cual es rebajado hasta formar un prisma rectangular también llamado oblea. Dichas obleas son recortadas en finas rebanadas (alrededor de 0,3 mm de espesor).

Dentro de esta clasificación se pueden encontrar otras categorías según la cristalinidad y el tamaño de los cristales del cual se obtienen los lingotes, tales como:

- **Silicio Monocristalino**: este tipo de celdas fueron las primeras en ser fabricadas debido a que se podían emplear las mismas técnicas que utilizan los diodos y transistores. Su eficiencia varía en un rango de 15 a 24%. Poseen una red atómica muy ordenada y en color azul metálico. Son mayormente utilizadas en el mercado por su alta eficiencia.
 - **Silicio Policristalino**: su fabricación consiste en cortes longitudinales de los lingotes de silicio. Poseen una menor eficiencia que las monocristalinas de entre un 12 a 15% debido que se estructura no es tan ordenada, pero su costo de fabricación es menor.
 - **Tiras de silicio**: en el proceso de fabricación se obtienen tiras delgadas a partir del silicio fundido. Su eficiencia de conversión va entre un 13 a 14% y su costo de fabricación es aún menor ya que no hay tanto desperdicio de material al formar lingotes como en las anteriores.
- b) **De Película Delgada**: este otro tipo de celdas posee una tecnología de fabricación que involucra una reducción de costos en materia prima y en energía empleada en el proceso de fabricación.
- **Silicio amorfo**: su eficiencia de conversión es menor al 10% debido a que no poseen una estructura atómica cristalina y por esto los defectos estructurales aumentan el atrapamiento de cargas libres en el proceso de conversión. Su fabricación es sencilla los hace ser más económicos que los demás.
 - **Multi-unión de Arseniuro de Galio (GaAs)**: este tipo de celdas poseen una alta eficiencia de hasta 39%, las cuales están compuestas por múltiples películas delgadas de diferentes semiconductores, con el objetivo de absorber energía en todo el espectro solar. Generalmente son utilizadas en aplicaciones especiales como satélites, vehículos espaciales, etc. [24]

2.3.2.- Materiales semiconductores

Dentro del universo de materiales existentes en el planeta encontramos una porción de ellos que poseen características semiconductoras, cuyas propiedades eléctricas permiten su utilización en dispositivos para realizar funciones electrónicas específicas. Entre los materiales semiconductores más utilizados para la fabricación de celdas solares están el silicio y el germanio que se describen a continuación.

2.3.3.- Silicio

Este material semiconductor es el más utilizado para la fabricación de celdas solares debido a su abundancia en la tierra. Su utilización en estos dispositivos varía según la necesidad de conversión eléctrica formando células con mayor o menor grado de eficiencia.

2.3.4.- Germanio

El germanio es utilizado en menor proporción en la fabricación de celdas solares ya que no es tan abundante como el silicio, aunque sus características son similares. Su mayor aplicación está en la industria de fibra óptica y dispositivos ópticos de infrarrojos.

2.4.- Características de un panel fotovoltaico

2.4.1.- Circuito equivalente

El modelo de una celda fotovoltaica, puede ser descrito por un circuito equivalente que está formado, en un principio, por una fuente de corriente (I_L) y por un diodo en anti paralelo, representando un modelo ideal según la Figura 2.2.

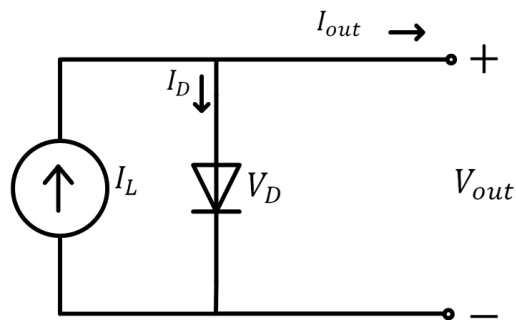


Figura 2.2 Circuito equivalente ideal

No obstante, en una celda solar real están presentes otros elementos tales como la resistencia en serie R_s y la resistencia en paralelo o Shunt R_{sh} . Donde R_s proviene principalmente de la resistividad del emisor n y de la base p , de las resistencias de los contactos entre el semiconductor y los contactos metálicos y de la resistencia de los dedos metálicos que constituyen la red de la metalización frontal. La segunda es esencialmente debida a pérdidas en los bordes y a la presencia de defectos cristalinos y precipitados de impurezas en la zona de juntura. En la Fig. 2.3 se aprecia el circuito equivalente real.

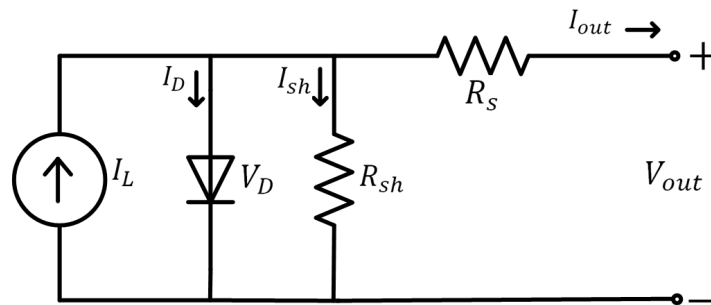


Figura 2.3 Circuito equivalente real

Del circuito equivalente real de la figura anterior y aplicando la LCK se obtiene lo siguiente:

$$I_{out} = I_L - I_D - I_{sh} \quad (2.1)$$

Donde I_L es la corriente foto generada por el flujo de electrones a través de la celda cuando incide la luz sobre ella. Su valor se verá afectado directamente por la irradiancia y en menor medida por la temperatura. La ecuación de I_L [12] se muestra a continuación:

$$I_L = I_{sco} \frac{S}{S_o} + C_t (T - T_{ref}) \quad (2.2)$$

Cuyos parámetros se describen en la tabla (2.1).

Tabla 2.1 Nomenclatura utilizada en la ecuación de I_L

Parámetro	Descripción
I_{sco} = Corriente de cortocircuito nominal	Corriente medida bajo condiciones STC
S = Irradiancia	Es el valor de la cantidad de energía entregada por el sol por metro cuadrado de superficie
S_o = Irradiancia nominal	Corresponde a un valor constante de irradiancia generalmente de 1000 W/m^2
C_t = Constante térmica de la celda	Valor constante entregado por la celda medido en $A/^\circ\text{C}$
T_{ref} = Temperatura de referencia	Valor nominal de trabajo de la celda generalmente de 25°C
T = Temperatura en grados Kelvin	Corresponde a la temperatura a la que se encuentra expuesta una celda solar

Luego la corriente I_D [12] que caracteriza al diodo está dada por:

$$I_D = I_o \left[e^{\frac{qV_D}{nKT}} - 1 \right] \quad (2.3)$$

Cuyos parámetros se muestran en la tabla (2.2)

Tabla 2.2 Nomenclatura utilizada en la ecuación de I_D

Parámetro	Descripción
I_o = Corriente inversa de saturación del diodo	Corriente de fuga característica de los diodos presente cuando existe diferencia de potencial entre sus terminales
n = Factor de idealidad del diodo	Coefficiente característico de los diodos, el cual varía entre 1 y 2 dependiendo de las características del semiconductor
K = Constante de Boltzman	Constante necesaria para caracterizar el diodo cuyo valor es de $1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
q = Carga del electrón	Constante necesaria para caracterizar el diodo cuyo valor es de $1,602 \times 10^{-19} \text{ Coulombs}$
T = temperatura en grados Kelvin	Temperatura a la que se encuentra expuesta la celda solar
V_D = voltaje del diodo	Corresponde a la diferencia de potencial en el diodo

Analizando la caída de tensión en el diodo V_D , se determina que:

$$V_D = V_{out} + R_s I_{out} \quad (2.4)$$

Además la corriente I_{sh} que corresponde a la corriente de pérdidas de la resistencia Shunt está dada por:

$$I_{sh} = \frac{V_D}{R_{sh}} \quad (2.5)$$

Por lo que reemplazando (2.4) en (2.5) resulta:

$$I_{sh} = \frac{V_{out} + R_s I_{out}}{R_{sh}} \quad (2.6)$$

Cuyos parámetros se muestran en la tabla (2.3)

Tabla 2.3 Nomenclatura utilizada en la ecuación de I_{sh} .

Parámetro	Descripción
V_{out} = Voltaje de salida de la celda	Corresponde al voltaje que entrega la celda en los bornes de salida
I_{out} = Corriente de salida de la celda	Corriente que entrega la celda de medida en los bornes de salida
R_s = Resistencia en serie	Resistencia que presenta la caída interna de tensión en los contactos de la celda
R_{sh} = Resistencia en paralelo o Shunt	Resistencia que representa las fugas de corriente en la celda

Finalmente al reemplazar las ecuaciones (2.2), (2.3) y (2.6) en (2.1) obtenemos la sumatoria de las corrientes en cada rama del circuito equivalente como se muestra en la ecuación (2.7)

$$I = I_{sco} \frac{S}{S_o} + C_t (T - T_{ref}) - I_0 \left[e^{\left(\frac{qV_{out} + R_s I_{out}}{nKT} \right)} - 1 \right] - \frac{V_{out} + R_s I_{out}}{R_{sh}} \quad (2.7)$$

2.4.2.- Características eléctricas de un panel fotovoltaico

Los parámetros I-V describen las características eléctricas en las terminales de una celda solar bajo la influencia de condiciones meteorológicas (nivel de irradiancia y temperatura ambiente) presentes *in situ*. Los 4 puntos significativos de una celda solar se describen a continuación:

2.4.3.- Corriente de cortocircuito (I_{SC})

Es la intensidad máxima de corriente que se puede extraer de una celda bajo ciertas condiciones ambientales de irradiancia y temperatura. Corresponde a la medida, mediante un amperímetro (de resistencia prácticamente nula) de la corriente medida en los bornes de la celda, sin ninguna resistencia adicional provocando un cortocircuito. Es decir, la I_{SC} es aquella donde la diferencia de potencial es cero y define la máxima corriente que genera la celda en términos de su área. [22]

2.4.4.- Voltaje de circuito abierto (V_{OC})

Es el punto en donde la corriente es cero presentándose el máximo voltaje que puede generar la celda solar cuando se mide sin carga conectada.

2.4.5.- Punto de máxima potencia (P_m)

Es un punto de trabajo en el que la potencia entregada por el panel solar a la carga externa es máxima.

2.4.6.- Factor de forma (FF)

Da una medida de cuán alta es la potencia máxima P_m , respecto al límite ideal determinado por el producto de V_{OC} e I_{SC} .

Capítulo 3. ANALISIS DE UNA CELDA

3.1.- Comportamiento de I_{SC} en una celda frente a la irradiancia

3.1.1.- Parámetros eléctricos del sistema fotovoltaico.

Una celda fotovoltaica se comporta como una fuente de corriente principalmente, debido al aumento de portadores por efecto de la irradiancia, es decir, mientras mayor sea la irradiancia incidente mayor será la corriente foto generada por la celda y viceversa. Por otro lado la corriente de cortocircuito (I_{SC}) nos permite obtener el valor máximo de corriente que una celda puede generar sin carga, y es con este parámetro con el cual se trabajará para encontrar el valor de irradiancia.

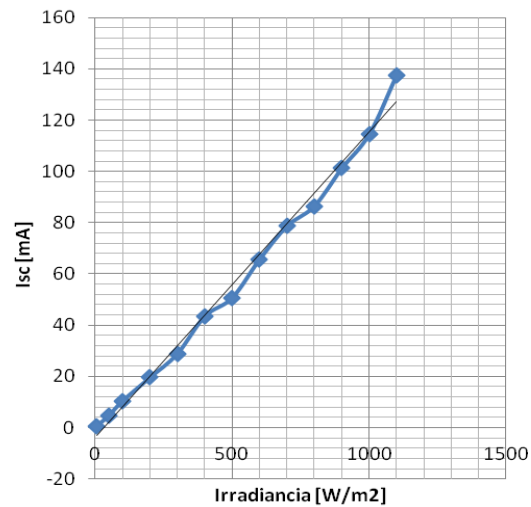
3.1.2.- Experimento

Para mostrar el comportamiento de I_{SC} frente a cambios de irradiancia fue necesario realizar un experimento aplicado a una pequeña celda fotovoltaica de 5V y 150mA aproximadamente. La irradiancia necesaria fue generada por un foco halógeno con dimmer para variar la intensidad, y para medir el valor de irradiancia de cada registro se utiliza un solarímetro modelo HT-204. Por otro lado los valores de I_{SC} fueron medidos con un multímetro digital.

En el experimento se obtuvieron algunos resultados dentro de un rango de 5 a 1100 W/m^2 como se aprecia en la Tabla 3.1, posteriormente se traza un gráfico que describe un comportamiento lineal que experimenta la corriente de cortocircuito frente a los cambios de irradiancia, tal como se muestra en la Fig. 3.1. Esta dependencia lineal entre ambas variables es respaldada teóricamente con la ecuación 2.2

Tabla 3.1 Valores de I_{SC} para cambios de irradiancia

Irradiancia [W/m^2]	I_{SC} [mA]
5	0.66
50	4.78
100	10.45
200	19.65
300	28.88
400	43.5
500	50.7
600	65.7
700	78.7
800	86.5
900	101.2
1000	114.5
1100	137.5

**Figura 3.1** Gráfico de I_{SC} v/s irradiancia

3.2.- Comportamiento de V_{OC} en una celda frente a la irradiancia

3.2.1.- Parámetros eléctricos del sistema fotovoltaico

Una celda fotovoltaica experimenta cambios en la curva de potencia cuando es afectada por el aumento de la temperatura interna. Esto se debe a varios factores ambientales tales como la velocidad del viento, el entorno físico donde está expuesta, la

radiación UV del lugar entre otros. Sin embargo los cambios en la curva se deben principalmente a la disminución del voltaje de circuito abierto (V_{oc}), el cual es afectado negativamente, junto con otros parámetros. Ver Fig.3.2

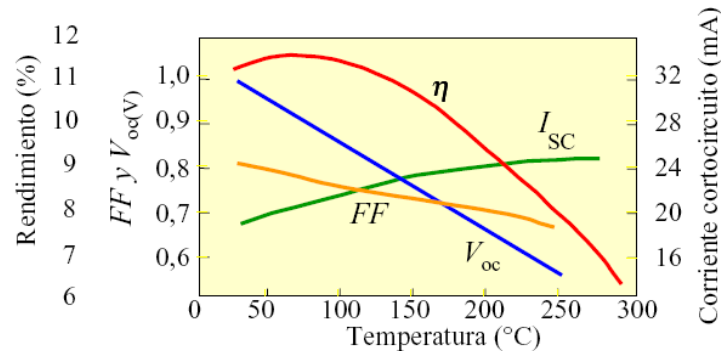


Figura 3.2 Parámetros afectados por el aumento de la temperatura [25]

Por otro lado la variación de la irradiancia en una celda fotovoltaica no afecta en gran medida los cambios de V_{oc} en el tiempo, ya que este parámetro eléctrico es afectado mayormente por la variación de la temperatura interna.

3.2.2.- Experimento

Para poder demostrar el comportamiento del voltaje de circuito abierto (V_{oc}) frente a la variación de la irradiancia incidente en una celda fotovoltaica, se realiza un experimento similar al efectuado en el punto 3.1.2 utilizando los mismos componentes e instrumentos, la única diferencia incide en que lo que se desea medir es el voltaje de salida en circuito abierto. De esta manera se obtienen los siguientes valores (Ver Tabla 3.2) y es posible apreciar en la Fig. 3.4 que V_{oc} no depende directamente de la magnitud de la irradiancia recibida. Además en el gráfico se observa que a valores pequeños de irradiancia el valor de V_{oc} alcanza casi su valor máximo el cual se mantiene con un aumento poco considerable obteniendo una curva logarítmica. El procedimiento para obtener V_{oc} se aprecia en la figura 3.3.



Figura 3.3 Experimento para obtener V_{OC}

Tabla 3.2 Valores de V_{OC} ante cambios de irradiancia

Irradiancia [W/m^2]	V_{OC} [V]
2	1.67
4	3.14
8	3.27
75	4.01
100	4.11
200	4.27
300	4.35
400	4.38
500	4.38
600	4.39
700	4.4
800	4.72
900	4.75
1000	4.78

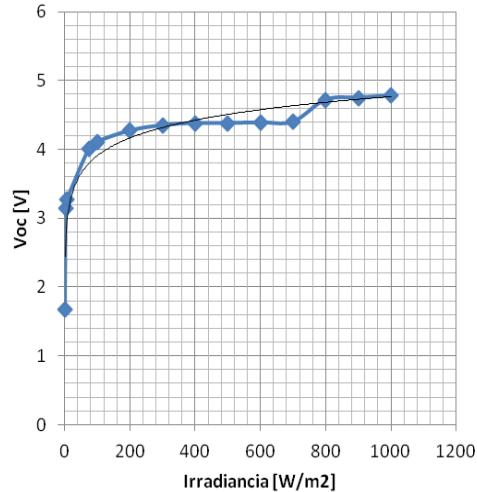


Figura 3.4 Gráfico de V_{OC} v/s irradiancia

3.2.3.- Obtención de la ecuación para la irradiancia

Debido al comportamiento lineal que experimenta I_{SC} frente a los cambios de irradiancia (ver Fig. 3.1), es posible afirmar que dicha corriente es directamente proporcional a la cantidad de irradiancia recibida en su superficie. Es por esta razón que a partir del circuito equivalente (Ver Fig.2.3) podemos encontrar una relación entre I_{SC} dependiente de la irradiancia.

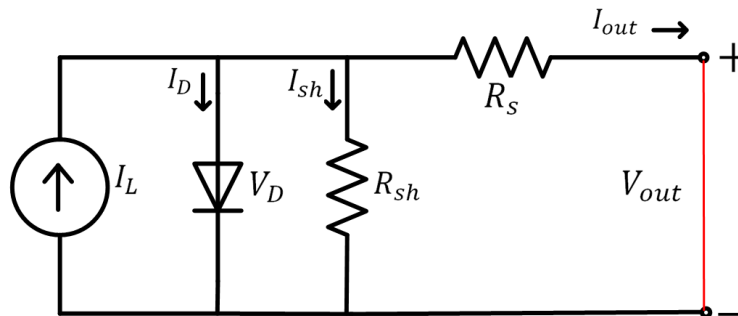


Figura 3.5 Celda en cortocircuito

Según la figura 3.5 cuando la celda está cortocircuitada el voltaje se anula es decir no existe una diferencia de potencial entre sus terminales.

$$V_{out} = 0 \quad (3.1)$$

Dado el cortocircuito toda la corriente foto generada circulará por el camino de menor resistencia dejando de lado su paso por el diodo el cual no se polarizará por ende no

conducirá y la corriente tampoco pasará por la resistencia Shunt debido a que su valor para efectos de modelamiento es muy alto. Por lo que se asume que:

$$I_{out} \approx I_L \quad (3.2)$$

La corriente que pasa por la resistencia en paralelo R_{sh} es despreciable ya que para efectos de modelamiento dicha resistencia es muy grande. Por este motivo en particular, como I_{out} se puede medir se aproxima a I_{sc} y a partir del modelo (2.2) se obtiene que:

$$I_{sc} \approx I_L = I_{sco} \frac{S}{S_o} + C_t(T - T_{ref}) \quad (3.3)$$

Donde:

T_{ref} = temperatura de referencia igual a 25°C

C_t = coeficiente de temperatura igual a 0,0024

S_o = irradiancia nominal igual a 1000 W/m^2

S = irradiancia incidente del sol

I_{sco} = Corriente de circuito nominal correspondiente a la máxima corriente entregada por el panel a una irradiancia de 1000 W/m^2

Por último se despeja la irradiancia en función de la corriente de corto-circuito quedando expresado como (3.4)

$$S = I_{sc} \frac{S_o}{I_{sco}} - C_t(T - T_{ref}) \quad (3.4)$$

3.2.4.- Obtención de la ecuación para la temperatura

Las celdas fotovoltaicas están fabricadas de tal forma que se asemeja bastante en comportamiento a un diodo, por estar hecho de un material semiconductor con una juntura P-N y dopado con impurezas para que sea posible el flujo de electrones. Es por esta razón que dentro del modelo que describe su comportamiento se consideran constantes y variables propias de un diodo entre las cuales destacan la corriente de saturación inversa de

un diodo (I_0), el factor de idealidad del diodo (n), la constante de Boltzman (K), entre otras.

Como ya se mencionó anteriormente las celdas están expuestas al aumento de la temperatura interna producto de factores externos, provocando una disminución en la potencia de salida del panel. Esto se debe principalmente ya que el voltaje de circuito abierto (V_{OC}) tiende a disminuir.

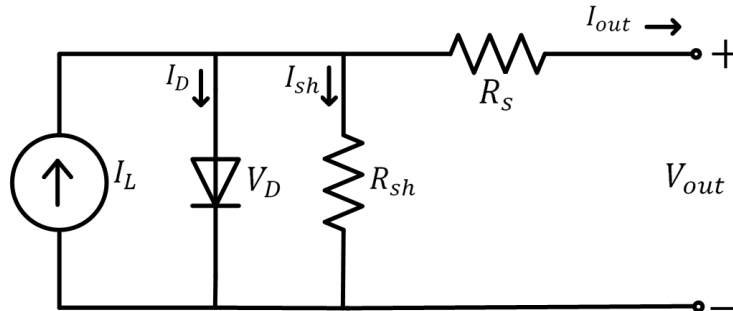


Figura 3.6 Celda en circuito abierto.

Se puede apreciar en la figura 3.6 que para obtener V_{OC} se mide directamente en los terminales de la celda, sin ningún tipo de carga y en donde la corriente para esta medición es cero.

$$I_{out} = 0 \quad (3.5)$$

Considerando que la celda operará en circuito abierto, el voltaje de salida de la celda se definirá como el voltaje de circuito abierto

$$V_{OC} = V_{out} \quad (3.6)$$

Tomando en cuenta (3.5) y (3.6) se reescribe la ecuación (2.7) como sigue:

$$0 = I_{sco} \frac{S}{S_o} + C_t(T - T_{ref}) - I_0 \left[e^{\left(\frac{qV_{oc}}{nKT} \right)} - 1 \right] - \frac{V_{oc}}{R_{sh}} \quad (3.7)$$

Ahora para poder estimar la temperatura utilizando la celda en circuito abierto se procede a despejar (3.7) dejando la variable de interés fuera de la exponencial

$$\frac{qV_{oc}}{nKT} = \ln \left[\frac{I_{sco} \frac{S}{S_o} + C_t(T - T_{ref}) - \frac{V_{oc}}{R_{sh}}}{I_0} + 1 \right] \quad (3.8)$$

Reordenando términos la ecuación para la estimación de la temperatura queda como sigue:

$$T = \frac{q \cdot V_{oc}}{n \cdot K \cdot \ln \left[\frac{I_{sco} S}{S_o I_0} + \frac{C_t (T - T_{ref})}{I_0} - \frac{V_{oc}}{R_{sh} I_0} + 1 \right]} \quad (3.9)$$

A simple vista la ecuación (3.9) presenta una alta no-linealidad, por esta razón no se puede resolver analíticamente y por ende se trabajará con este modelo directamente en Arduino ya que el software puede calcular la temperatura a través de un algoritmo numérico recursivo.

Capítulo 4. DISEÑO Y FABRICACION

4.1.- Diseño del proyecto

4.1.1.- Fabricación del prototipo de panel solar

En la fabricación del prototipo se utilizaron 24 celdas mono cristalinas de silicio de 5,2 W cada una con una eficiencia del 20 %, de las cuales 20 fueron destinadas a formar el panel fotovoltaico de aproximadamente 100 W semejante a un panel comercial de las mismas características. De las 4 restantes 2 se utilizaron como celdas de medición para I_{sc} y V_{oc} , y las otras 2 como celdas de alimentación del circuito de sensado.

4.1.2.- Lista de materiales

En la Tabla 4.1 se hace mención de los materiales utilizados en la construcción del panel solar y sus cantidades respectivas.

Tabla 4.1 Tabla de materiales para el panel solar.

Cantidad	Componente
<i>2 metros</i>	Perfil tubular de aluminio de 30x60 mm
<i>24 unidades</i>	Celda mono cristalina 156x156 mm 4.7w
<i>10 metros</i>	Tab wire
<i>3 metros</i>	Bus wire
<i>1 unidad</i>	Flux pen
<i>1 unidad</i>	Vidrio 4 mm espesor 110x70 cm
<i>1 unidad</i>	Masisa Trupan enchapado 110x70 cm
<i>20 unidades</i>	Perno 3 mm con tuerca

4.1.3.- Proceso de fabricación

El primer paso que se realizó fue la construcción del marco de aluminio que sirve de soporte para el conjunto de celdas junto con la base de madera. El proceso será resumido en los siguientes puntos:

1. Se parte haciendo 2 cortes longitudinales en las caras de 60 mm del perfil tubular de manera que obtener 2 perfiles en U con alas asimétricas una de 10 mm y otra de 50 mm aproximadamente. Ver Fig. 4.1 (a).
2. Se hacen 2 cortes longitudinales en las alas de 50 mm de cada perfil de manera de dejar el ala mayor en 30 mm. Ver Fig. 4.1 (b)
3. Posteriormente se realizan 2 cortes transversales en cada perfil resultante de manera de armar un marco rectangular de dimensión 1100 x 700 mm.
4. Luego de obtener los 4 trozos necesarios se realiza un corte de 45° en cada extremo de los perfiles. Ver Fig. 4.2
5. Más tarde se fabrican 6 ángulos realizando cortes de pequeños trozos del material sobrante, que servirán de acople para el marco de aluminio. Ver Fig. 4.3 (a)
6. Luego tomando las medidas de las uniones de los 4 perfiles se realizan 3 agujeros por vértice, donde irán fijados los ángulos por los pernos de 3 mm. Ver Fig. 4.3 (b).
7. Como última parte de la construcción del marco de aluminio se acoplan todos los vértices dejando la estructura lista para el posterior montaje del sándwich fotovoltaico (base madera + arreglo de celdas + vidrio). Ver Fig. 4.4.

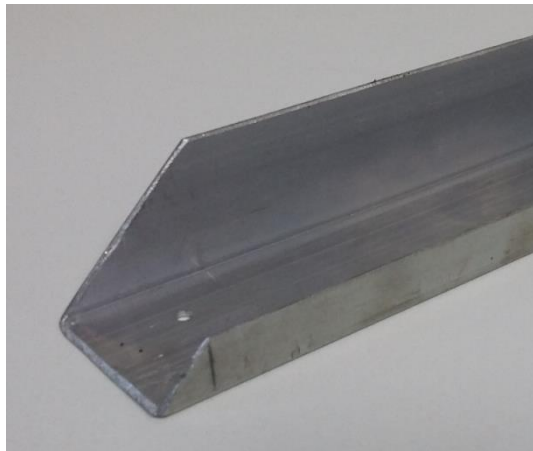


(a)



(b)

Figura 4.1 (a) Perfil tubular de 30x60 cm (b) Corte transversal



(a)

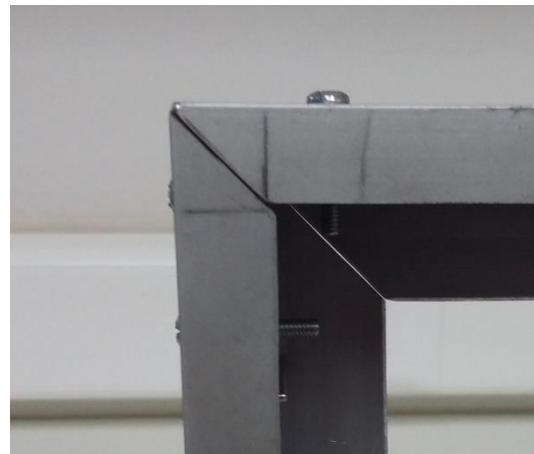


(b)

Figura 4.2 Corte 45° (a) Vista Lateral (b) Vista Frontal



(a)



(b)

Figura 4.3 Perfil de la estructura (a) Perfil con acople (b) Ensamblado



Figura 4.4 Marco ensamblado

Luego de fabricar el soporte de aluminio se procede al conexionado punto a punto de las celdas fotovoltaicas de manera de armar el panel de acuerdo a las dimensiones físicas de la base. A continuación se presentan algunos pasos del conexionado de las celdas:

1. Como primer paso a realizar es necesario tomar las medidas entre celdas de manera de cortar las tiras de Tab Wire del largo requerido que en este caso fue de 317 mm aproximadamente. En total se debieron cortar 72 tiras del conductor.
2. Se procede a soldar una por una las celdas con sus 3 tiras de conductor. Las celdas se sueldan primeramente en su cara negativa es decir la que va a estar expuesta al sol. Ver Fig. 4.5.
3. Luego de soldar cada una de las celdas se arman las 4 columnas requeridas en el panel solar teniendo consideración de dejar en los extremos de cada columna los conectores correspondientes a la conexión en serie, es decir, si el final de la primera columna termina con los conectores de la cara negativa los conectores de la próxima columna deben ser de la cara positiva. Ver Fig. 4.6.
4. Paso seguido se sueldan todas las columnas del panel solar en serie teniendo especial cuidado de dejar 2 de ellas aisladas del arreglo para realizar las mediciones de las variables eléctricas y otras 2 adicionales para la alimentación del sistema. Ver Fig. 4.7
5. Posteriormente se fijan todas las celdas a la base de madera y se perforan algunos agujeros para pasar los terminales hacia el lado posterior de la base, para su conexión con el sistema de medición de bajo costo. Ver Fig. 4.8 (b)
6. Por último se coloca el vidrio superficial para completar el sándwich fotovoltaico, que luego será instalado en el marco de aluminio fijando muy bien la estructura completa. Ver Fig. 4.8(a)

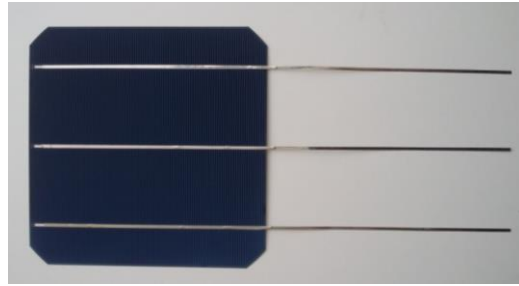


Figura 4.5 Celda soldada con conductores Tab Wire

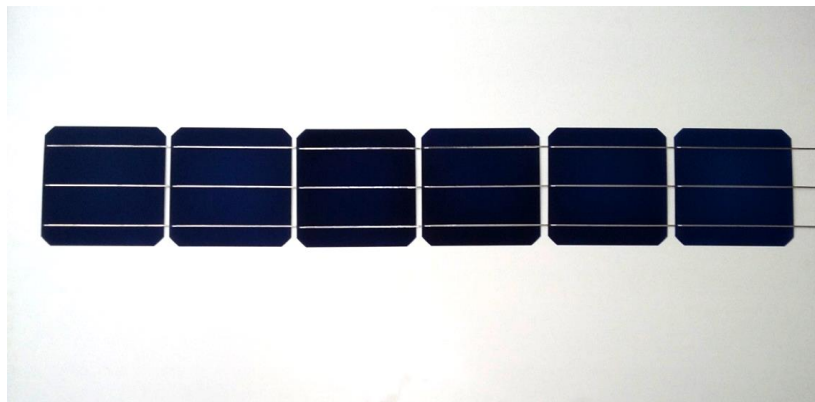


Figura 4.6 Columna de celdas soldadas en serie



Figura 4.7 Conexionado del arreglo fotovoltaico

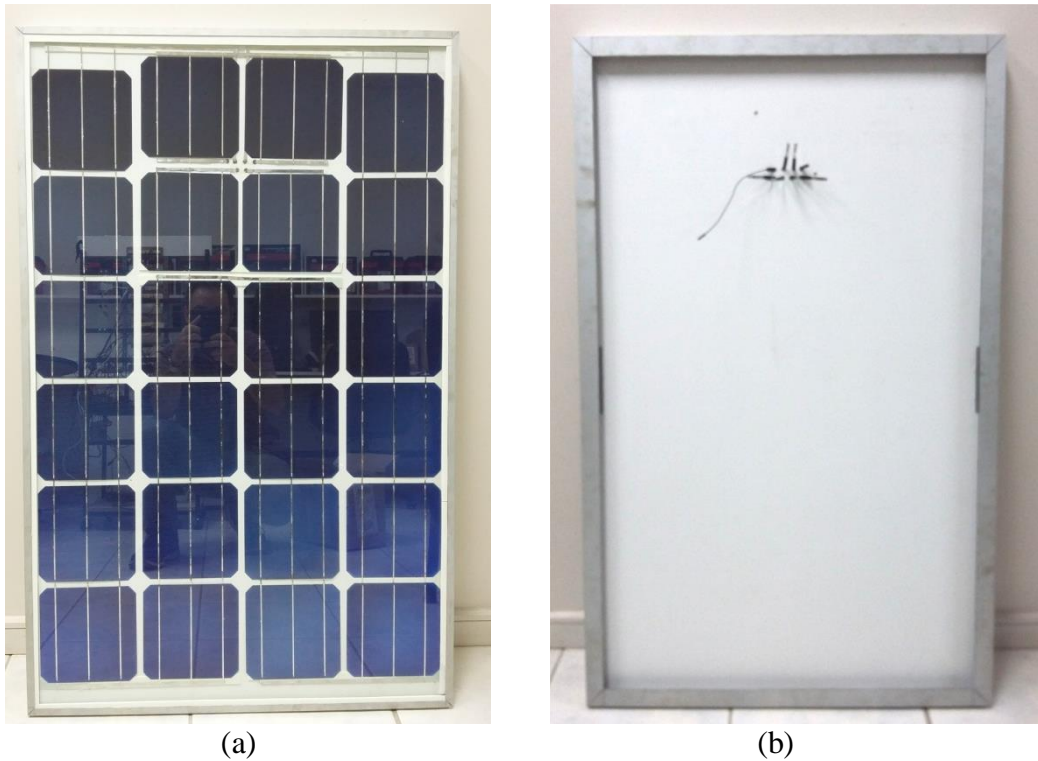


Figura 4.8 Montaje final (a) Vista frontal (b) Vista trasera

4.2.- Construcción del sensor de corriente

Dicho sensor es requerido para la medición de la corriente de cortocircuito que entregará la celda y que será necesaria para calcular la irradiancia superficial del panel solar. La particularidad de este sensor es que posee un Amplificador operacional aislado (A7900) que permite obtener lecturas estables en cada instante debido a que implementa moduladores sigma delta en el convertidor análogo- digital. Posee un rango de lectura de entre 10 mA hasta 5 A, suficientes para este proyecto. En la Fig. 4.9 se aprecia un esquemático del circuito construido.

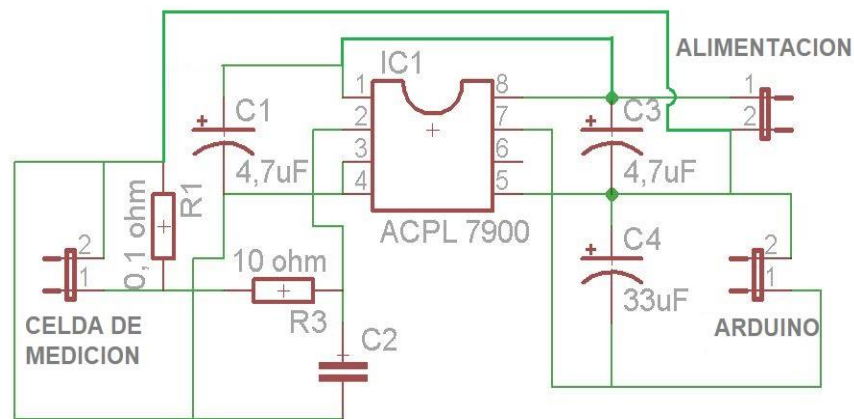


Figura 4.9 Esquemático Sensor de Corriente Aislado

4.2.1.- Lista de materiales

Tabla 4.2 Tabla de materiales para sensor.

Cantidad	Componente
2 unidades	Condensadores 4,7uF 50V
1 unidad	Condensador 33uF 25V
1 unidad	Condensador cerámico
1 unidad	Resistencia 0.1 ohm
1 unidad	Resistencia 10 ohm
2 unidades	Bornes de conexión
1 unidad	OPAM aislado A7900
1 unidad	Placa PCB 50 x 50 mm

4.2.2.- Construcción del sensor

Este tipo de sensor se construye de acuerdo a las necesidades del proyecto, dado que posee un amplificador operacional aislado y permite realizar lecturas a partir de la caída de tensión de una pequeña resistencia de 0.1 Ω . Se procede a bosquejar el circuito que presenta el documento a través del software EAGLE tal como se muestra en la Fig. 4.10.

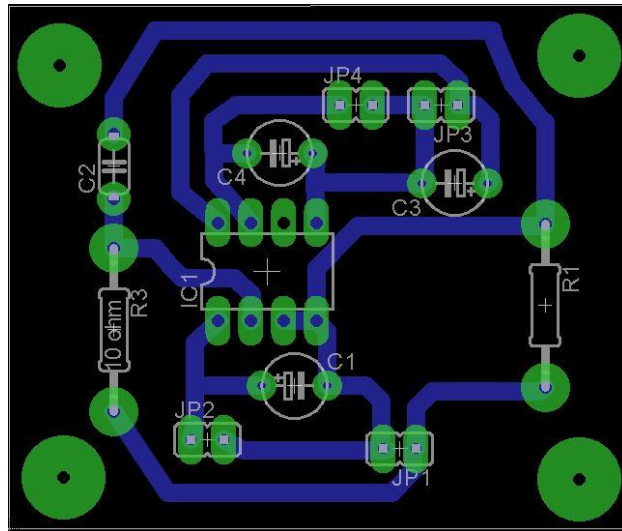


Figura 4.10 Diagrama PCB del sensor

Finalmente se construye la placa física y se montan los componentes dejando bien señalizado cuales serán las alimentaciones y los bornes de entrada y salida del sensor tal como se muestra en la Fig. 4.11

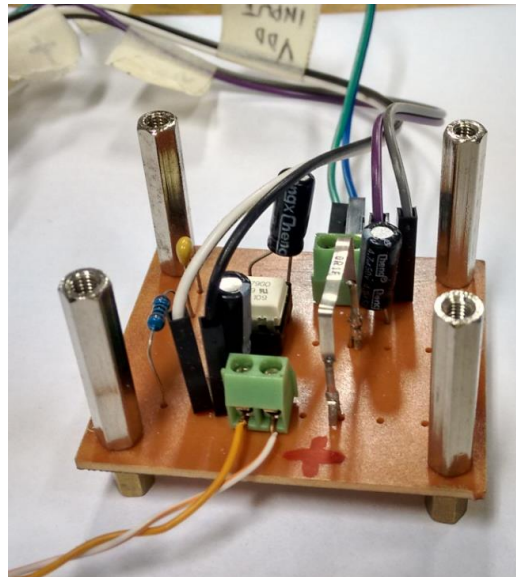


Figura 4.11 Sensor de corriente

4.3.- Sensor de voltaje

Cabe destacar que para medir el voltaje de circuito abierto no se utilizó un sensor físico a diferencia de la medición de I_{sc} . La razón por la cual se prescindió de este sensor fue porque se necesitaba mayor resolución y precisión en las lecturas, por lo que se optó por tomar la señal de voltaje directamente a la entrada análoga de

Arduino, logrando mayor resolución en la medición de V_{oc} , y como el valor del voltaje medido no superaría de 1 volt no existe riesgo de quemar el Microcontrolador por sobrevoltaje.

4.4.- Dispositivos y elementos adicionales

4.4.1.- Módulo Step up Booster

Este módulo fue requerido para poder alimentar el Arduino Uno junto a todos los dispositivos de entrada. En general este módulo eleva el bajo voltaje entregado por las 2 celdas de alimentación conectadas en serie (1 volt aprox.) a un voltaje de 5V y 500mA suficientes para alimentar el sistema. En la Fig. 4.12 se muestra el dispositivo.

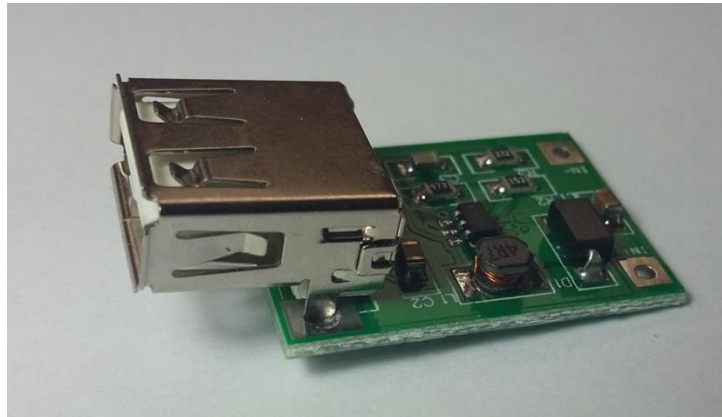


Figura 4.12 Módulo Step Up Booster

4.4.2.- Arduino Uno

Como unidad de procesamiento se utilizó una placa Arduino Uno, la cual permite la lectura análoga de las variables involucradas (V_{oc} e I_{sc}), además de procesar y transmitir los datos entregados por las celdas de medición. Se utilizaron las entradas análogas A1 y A2 para leer I_{sc} y V_{oc} respectivamente, y también se utilizaron los pines digitales 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 13 para conectar la Shield LCD. En la Fig. 4.13 se muestra el Arduino.

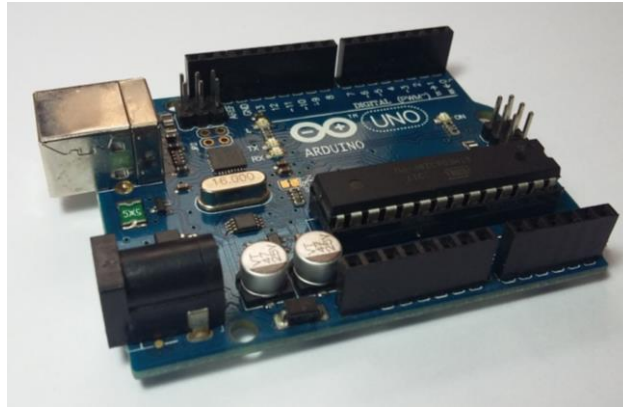


Figura 4.13 Arduino Uno

4.4.3.- Shield LCD 16x2

Este dispositivo fue utilizado para la visualización de los parámetros estimados (irradiancia y temperatura), los cuales serán entregados por el Arduino Uno a través de los pines de salida. En la Fig. 4.14 se muestra el dispositivo.

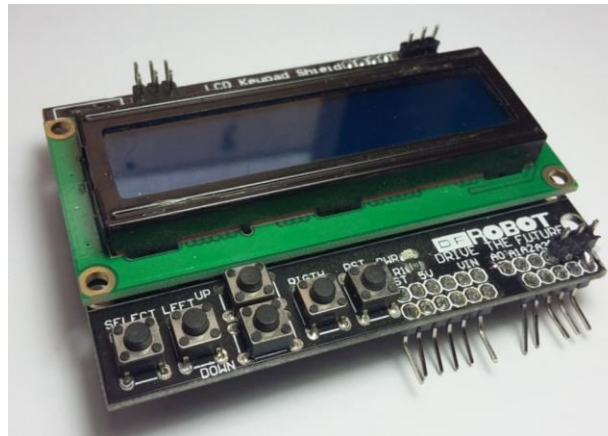
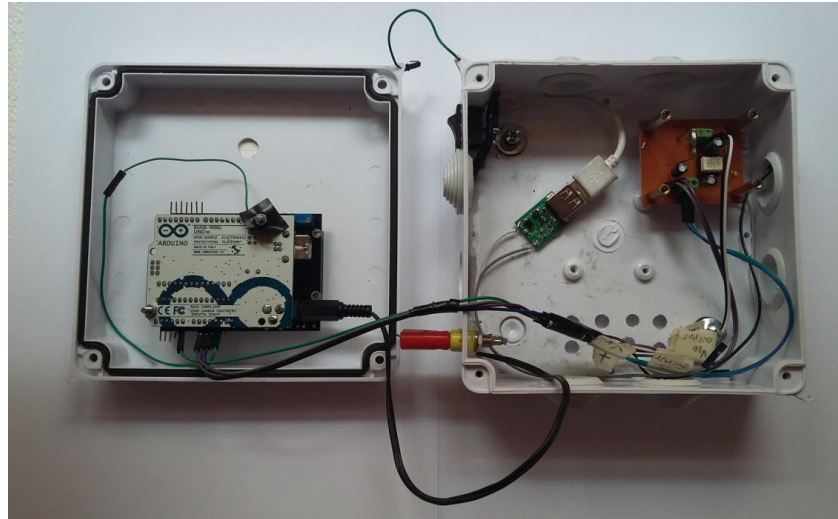


Figura 4.14 Shield LCD físicamente

4.5.- Ensamble del conjunto

4.5.1.- Proceso de conexión

Para acondicionar el sistema de medición en un empaque físico se utilizó una caja de derivación de 150x150 mm en donde montar el sensor de corriente, el Arduino Uno, la Shield LCD para la visualización de los parámetros, el convertidor Boost para la alimentación autónoma del conjunto a través de las celdas y todos los demás accesorios como los conectores de entrada y salida y el switch de encendido. En la Fig. 4.15 se muestra el sistema de medición físicamente.



(a)



(b)

Figura 4.15 Sistema de medición integrado (a) vista interior (b) vista exterior

Luego de que el sistema de medición está listo, se procede a instalarlo en la parte posterior del prototipo de panel solar creado para este proyecto. El acople involucra fijar la caja en la base trasera y realizarle 8 agujeros por donde pasaran todos los terminales de salida del panel, los cuales serán conectados a cada dispositivo respectivo. En la figura 4.16 se aprecia el montaje final.



Figura 4.16 Sistema de medición montado

Capítulo 5. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1.- Introducción

En este capítulo se dará a conocer las pruebas de simulación en software y sus respectivos gráficos en conjunto con los resultados experimentales obtenidos por el sistema de medición, más el análisis de la comparación práctica con la teoría involucrada. Adicionalmente se abordará la metodología de calibración del sistema con los instrumentos patrones.

5.2.- Simulación del sistema en PSIM

5.2.1.- Simulaciones de estimación de irradiancia y temperatura

El sistema de medición fue simulado mediante el software PSIM a través de la configuración de 2 paneles solares conectados a 2 sensores, de corriente y voltaje respectivamente. Luego los datos medidos son transformados a irradiancia y temperatura mediante un código implementado en un bloque C. Además existe un bloque que representa las perturbaciones para los cambios de irradiancia y temperatura del sistema en el tiempo.

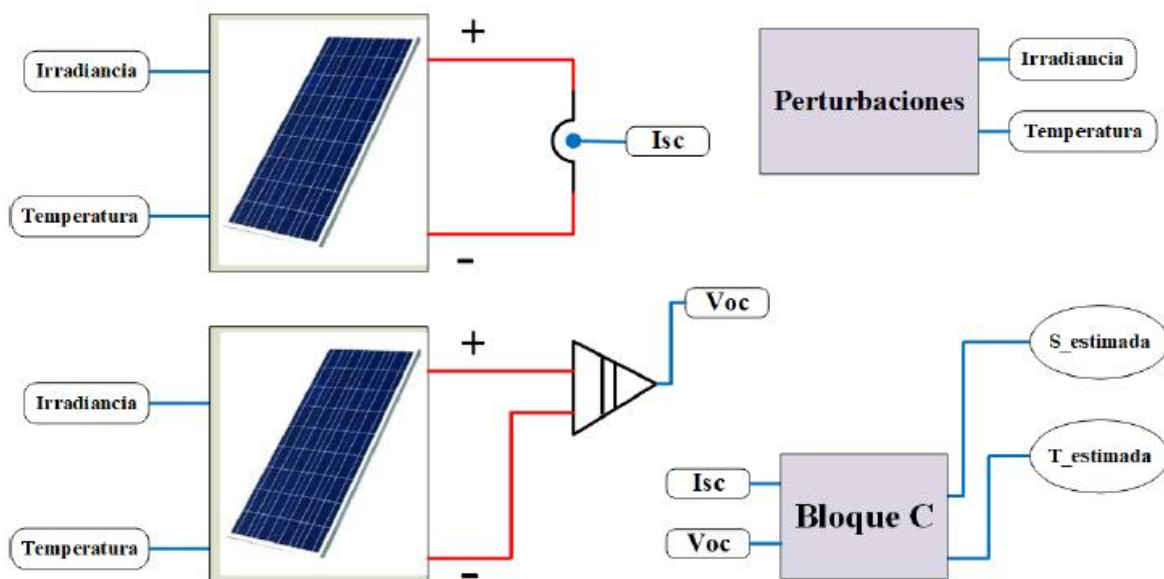


Figura 5.1 Simulación en PSIM

5.2.2.- Condiciones de variación de irradiancia y temperatura

Tabla 5.1 Variación de condiciones externas.

Instante	S	T
1	800 W/m ²	35°C
2	1000 W/m ²	35°C
3	1000 W/m ²	25°C
4	1000 W/m ²	55°C
5	900 W/m ²	55°C

Para validar el modelo de estimación propuesto en este proyecto se procede a simular el sistema frente a las variaciones de irradiancia y temperatura vistas en la Tabla 5.1, donde para cada instante los cambios se efectuaron cada 50ms.

A continuación se muestra un diagrama de flujo que explica el algoritmo implementado en la simulación (ver figura 5.2).

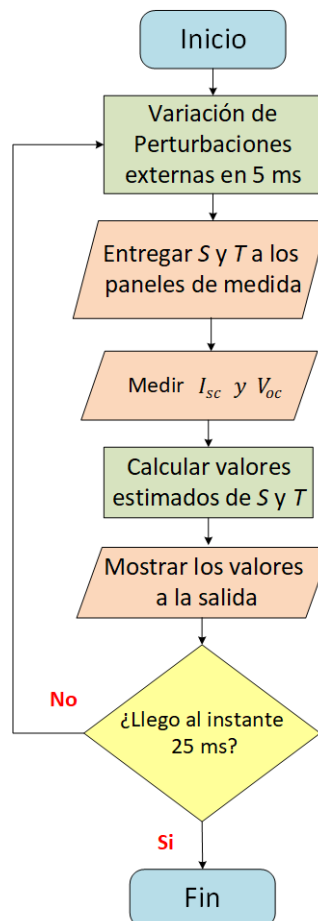


Figura 5.2 Diagrama de flujo algoritmo

5.2.3.- Resultados

En la figura 5.3 se observan los cambios propuestos en la tabla 5.1 para la irradiancia y la temperatura contrastados con sus respectivas estimaciones. En donde se puede ver que para el gráfico (a) el valor de S_{estimado} es similar a S , salvo en los instantes donde hubo transiciones de temperatura. Lo mismo ocurre con T_{estimado} que se aproxima bastante a T salvo en las transiciones de irradiancia.

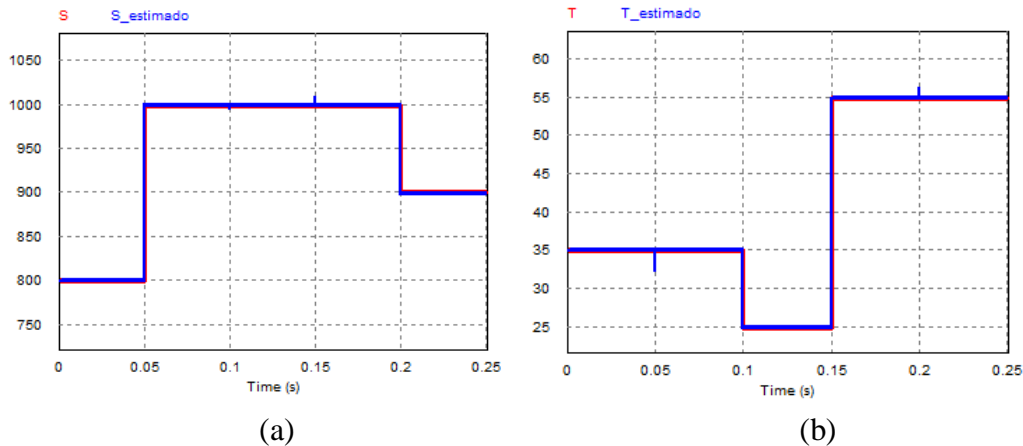


Figura 5.3 Variaciones ambientales de S y T contrastado con sus estimaciones
(a) Irradiancia (b) Temperatura

5.3.- Pruebas experimentales

5.3.1.- Medición experimental

Para llevar a cabo las mediciones experimentales se debe seguir los siguientes pasos:

1. Cargar el programa previamente al Microcontrolador Arduino con todos los comandos necesarios para la lectura, el procesamiento y la impresión en pantalla de las variables de interés. (La tabla 5.2 presenta los parámetros de la celda utilizada en la medición, algunos de los cuales son extraídos del datasheet del proveedor).
2. Colocar el panel enfocado directamente al sol, lo más perpendicular posible a su radiación.

3. Colocar el solarímetro en la misma dirección del panel hacia el sol, de tal manera de registrar la irradiancia en cada instante.
4. Luego de realizar los pasos anteriores, se inclina levemente el panel modificando el ángulo de incidencia frente al sol, de tal manera de generar variaciones de irradiancia, que luego se registraran en el sistema de medición.

Tabla 5.2 Parámetros de la celda de medición

Parámetro	Valor	
T_{ref}	25	°C
S_o	1000	W/m ²
I_{sco}	9.764	A
I_o	$2.16e^{-8}$	A
R_s	0.008	Ω
R_{sh}	1000	Ω
n	1.2	p.u.
C_t	0.0024	A/°C

El procedimiento experimental se puede apreciar en la Fig. 5.4



Figura 5.4 Medición experimental

5.3.2.- Análisis de resultados

Los resultados obtenidos se observan en las tablas 5.3 en donde se aprecia claramente que cuando aumenta la **temperatura del panel**, disminuye gradualmente el voltaje de circuito abierto en relación a 3mV cada 1,8°C, en el caso de la **irradiancia incidente en el panel** ocurre lo contrario, ya que cuando ésta aumenta, la corriente de cortocircuito aumenta en relación a 10mA cada 15 W/m² aproximadamente.

Tabla 5.3 Mediciones experimentales

Temperatura [°C]	Voltaje [V]
21.31	0.603
23.1	0.599
24.89	0.596
26.68	0.593
28.47	0.59
30.26	0.587
32.06	0.584
33.85	0.58
35.64	0.577
37.43	0.574
39.22	0.57
41.01	0.567
42.8	0.564
44.59	0.561
46.38	0.558
48.17	0.554
49.96	0.551
51.75	0.548

Irradiancia [W/m2]	Corriente [A]
977.62	0.645
962.71	0.635
947.9	0.626
933.08	0.616
918.27	0.606
903.46	0.596
888.65	0.587
873.84	0.577
859.03	0.567
844.22	0.557
829.41	0.547
814.6	0.538
799.79	0.528
784.98	0.518
770.16	0.508
755.35	0.499
740.54	0.489

Luego de realizar la experiencia al aire libre con el sistema de medición, se procede a efectuar otra experiencia en laboratorio, la cual es necesaria para generar cambios de irradiancia mas grandes que los efectuados directamente al sol según se muestra en la figura 5.5 en donde es posible apreciar al sistema iluminado con un foco halógeno el cual proporcionará las perturbaciones requeridas en cada prueba.



Figura 5.5 Medición experimental en laboratorio

A partir de dichas pruebas realizadas se registran los valores de irradiancia y temperatura estimada entregadas por el sistema de medición, que se comparan con los valores medidos con los instrumentos patrones. En la tabla 5.4 se muestran las lecturas experimentales correspondientes a la Irradiancia, y se aprecia que los errores son poco significativos, indicando que el sistema posee una estimación bastante exacta de la realidad.

Tabla 5.4 Valores comparativos de Irradiancia

Irradiancia [W/m^2]	Irradiancia estimada [W/m^2]	Error
1005	1001	0,39%
901	897	0,44%
803	800	0,37%
699	695	0,57%
600	598	0,33%
502	499	0,59%

Para el caso de la estimación de la temperatura del panel se muestran los valores comparativos en la tabla 5.5, los cuales presentan un error muy pequeño en contraste con la temperatura medida con el instrumento patrón.

Tabla 5.5 Valores comparativos de temperatura

Temperatura [°C]	Temperatura estimada[°C]	Error
20	19,94	0,3%
25	24,88	0,48%
30	30,06	0,2%
35	35,04	0,11%
40	40,07	0,17%
45	44,89	0,24%
50	49,9	0,2%

5.3.3.- Instrumentos patrones

Para obtener los valores comparativos de irradiancia y temperatura en las pruebas experimentales se utilizan 2 instrumentos patrones, un solarímetro y un termómetro infrarrojo.

Para la medición de la irradiancia se utiliza un solarímetro modelo HT-204 el cual se muestra en la Fig. 5.6 este instrumento posee una resolución de 1 W/m^2 y un rango de 1 a 1999 W/m^2



Figura 5.6 Solarímetro HT-204

Para el caso de la temperatura se utiliza un termómetro infrarrojo tradicional que se aprecia en la figura 5.7, el cual posee una resolución de $0,1^\circ\text{C}$ y un rango de -50 a 380°C



Figura 5.7 Termómetro infrarrojo

5.4.- Análisis de costos

El análisis de los costos asociados a la construcción del sistema se llevará a cabo por separado considerando el panel solar y el sistema de medición como partes individuales

La construcción del panel solar involucró la compra de los siguientes materiales:

Tabla 5.6 Tabla de materiales para panel solar

Cantidad	Componente	Costo
<i>2 metros</i>	Perfil tubular de aluminio de 30x60 mm	<i>\$6000</i>
<i>24 unidades</i>	Celda mono cristalina 156x156 mm 4.7w	<i>\$36000</i>
<i>10 metros</i>	Tab wire	<i>\$2000</i>
<i>3 metros</i>	Bus wire	<i>\$1000</i>
<i>1 unidad</i>	Flux pen	<i>\$1000</i>
<i>1 unidad</i>	Vidrio 4 mm espesor 110x70 cm	<i>\$12000</i>
<i>1 unidad</i>	Masisa Trupan enchapado 110x70 cm	<i>\$8000</i>
<i>20 unidades</i>	Perno 3 mm con tuerca	<i>\$600</i>

El costo total en materiales de fabricación del panel solar asciende a **\$66.600** sin contar el costo de mano de obra para efectos de este análisis.

Tabla 5.7 Tabla de materiales para el sistema de medición

Cantidad	Componente	Costos
<i>1 unidad</i>	Caja de derivación 150x150 mm	\$2970
<i>1 unidad</i>	Microcontrolador Arduino Uno	\$5750
<i>1 unidad</i>	Sensor de Corriente	\$2500
<i>1 unidad</i>	Modulo Step Up Booster	\$600
<i>1 unidad</i>	Shield LCD 16x2	\$2090
<i>1 unidad</i>	Plug de Alimentación	\$70
<i>1 unidad</i>	Switch de encendido	\$90

El costo total en materiales del sistema de medición asciende a **\$14.070** sin contar el costo de mano de obra para efectos de este análisis.

5.5.- Comparación

Según lo observado en las tablas 6.1 y 6.2 se puede realizar una comparación entre los valores de fabricación de ambos elementos. Por un lado al comparar el sistema de medición equivalente (medidor de irradiancia + medidor de temperatura) versus el valor del sensor de bajo costo fabricado en este proyecto, se concluye que a pesar de no considerar el valor de mano de obra en la fabricación del sensor, la diferencia entre ambos sistemas es bastante grande por lo que se cumple ciertamente que el sistema de medición es efectivamente de bajo costo.

Importante destacar que el costo de los instrumentos y de los componentes de fabricación del sistema fueron extraídos de una misma página de ventas en este caso <https://es.aliexpress.com>

Tabla 5.8 Comparación de costos

		
Valor \$81.290	Valor \$980	Valor \$14.070
Total \$82.270		

Claramente el sistema desarrollado en este proyecto promete un valor muy inferior en comparación al valor promedio de los sensores individuales. Además cabe destacar que el medidor propuesto permitirá obtener valores cercanos a la realidad del panel analizado, siendo ésta una ventaja provechosa ya que estima el valor de irradiancia superficial real de la celda y el valor de la temperatura interna reflejado a través de las celdas de medición.

Capítulo 6. CONCLUSIONES

6.1.- Conclusiones generales

Este proyecto contempla el desarrollo de un sistema que permite obtener datos a partir un sistema de medición de irradiancia y temperatura de bajo costo, el cual es implementado en un panel solar de 100 W como prototipo. Este sistema le da mayor funcionalidad al panel ya que permite medir y registrar las variables externas que influyen en el rendimiento del mismo.

Fue posible comprobar las hipótesis que se plantearon al inicio del proyecto, ya que tomando en cuenta el modelo que describe el comportamiento de una celda fotovoltaica, y los parámetros externos que determinan los cambios de irradiancia y temperatura, se logra implementar un algoritmo que es capaz de entregar una estimación de estas variables solamente midiendo la corriente de cortocircuito (I_{sc}) y el voltaje de circuito abierto (V_{oc}) respectivamente.

Otro punto importante que se debe señalar es que para que el sistema funcione de manera autónoma se requiere de 2 celdas de alimentación que produzcan al menos 1 volt para que a través del módulo step up booster se obtengan 5 volt para alimentar el circuito de sensado. Cabe destacar que el voltaje de alimentación entregado por estas celdas no se verá afectado ante cambios de irradiancia ya que dicho parámetro no tiene mayor influencia.

A partir de los resultados experimentales registrados con el sistema de medición y en comparación con los valores medidos con los instrumentos patrones, se concluye que el instrumento es bastante exacto ya que presenta solo un 0,24% de error promedio en la estimación de la temperatura y un 0,44% de error promedio en la estimación de la irradiancia.

6.2.- Trabajo Futuro

Dentro de las limitaciones que tiene este proyecto, particularmente es posible realizar mejoras tanto en el ámbito de procesamiento de datos como en las características y capacidades de los dispositivos que utiliza por lo cual se presentan algunos trabajos futuros.

- Implementación de módulos de comunicación inalámbrica para adquirir datos de manera remota.
- Desarrollo de un sistema de barrido para la medición del estado de cada una de las celdas del panel.
- Diseño de un sistema de control de temperatura que permita disipar el calor excedente que acumula la estructura del panel.
- Reemplazar el Microcontrolador Arduino por otro de similares características pero de menor tamaño de tal manera de reducir las dimensiones del sistema de medición en su conjunto.
- Implementar un software para celular que permita recibir los datos a través de una aplicación en Android

Es posible realizar mejoras en el conjunto teniendo en cuenta que el proyecto abarca solo la medición de ambos factores externos y se centra en la medición de estas variables que afectan su rendimiento.

Capítulo 7. Bibliografía

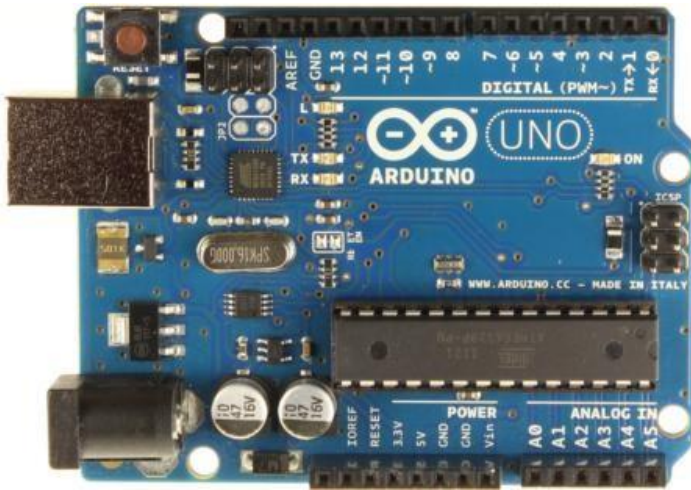
- [1] Wikipedia, «Wikipedia Enciclopedia Libre,» [En línea]. Available: https://es.m.wikipedia.org/wiki/Celula_fotoelectrica.
- [2] Y. y. G. M. M. L. Gurevich, Fenomenos de contacto y sus aplicaciones en celdas solares, Fondo de Cultura Economica, 2013.
- [3] R. D. A. P. S. A. Rajeshwari Bhol, «Environmental effect Assessment on Performance of Solar PV Panel,» IEEE, Nagercoil, India, 2015.
- [4] M. K. N. A. M. R. a. N. A. N.H. Zaini, «The Effect of Temperature on a Monocrystalline Solar PV Panel,» IEEE, Johor Bahru, Malasia, 2016.
- [5] R. P. U. M. R. Sreejith C S, «Experimental Study on Efficiency Enhancement of PV System with Combined Effect of Cooling and Maximum Power Point Tracking,» IEEE, Coimbatore, India, 2017.
- [6] A. B. D. C. a. F. F. Ivan Jorge Gabe, «Design and Implementation of a Low-Cost Dual-Axes Autonomous Solar Tracker,» IEEE, Florianópolis, Brasil, 2017.
- [7] V. T. P. R. E. M. A. B. Alexandra Danu, «The Influence of shading in terms of energy performance of photovoltaics panels in Romanian climate conditions,» IEEE International Conference, Milán, Italia, 2017.
- [8] S. T. H. R. C. T. A. Sahri, «Temperature effects on the power produccion based photovoltaic cells,» IEEE, Beirut, Libano, 2013.
- [9] SENSOVANT, «Sensovant smart sensing,» Sensovant, 2014. [En línea]. Available: <http://sensovant.com/productos/meteorologia/radiacion-solar/articulo/piranometro-estandar-secundario-secondary-standard-SR20-D1-MODBUS.html>. [Último acceso: 22 Marzo 2018].
- [10] T. Intervento, «Tritec Intervento,» Tritec, 2016. [En línea]. Available: <http://www.tritec-intervento.cl/productos/producto/tritec-sensor-de-temperatura-de-placas-pt1000/>. [Último acceso: 22 Marzo 2018].
- [11] J. V. F. Q. J. R. A. G. A. S. Jose Aller, «Explicit Model of PV Cells considering Variations in Temperature and Solar Irradiance,» IEEE, Peru, 2016.
- [12] J. E. J. R. M. T. Jose Silva, «Grid Connected PV System with Maximum Power Point Estimation based on Reference Cells,» IEEE, Concepcion, Chile, 2015.
- [13] M. Z. R. S. M. M. Md. Nazrul Islam, «The Effect of Irradiation on Diferent Parameters of Monocrystalline Photovoltaic Solar Cell,» IEEE Conference Publications, 2014.
- [14] H. K. S. Y. H. K. H. O. K. N. R. Suzuki, « Loss Factors affecting power generation efficiency of a PV module.,» IEEE, New Orleans, LA, USA., 2002.
- [15] S. A. Cepeda Juan, «Aspectos que afectan la eficiencia en los paneles fotovoltaicos y sus potenciales soluciones,» Repositorio Universidad Santo Tomas, Bogota, Colombia, 2017.
- [16] M. Z. R. S. M. M. Md. N. Islam, «The Effect of Irradiation on Different Parameters of Monocrystalline Photovoltaic Solar Cell.,» IEEE, Bangladesh.

- [17] B. Aldwane, «Modeling, Simulation and Parameters Estimation for Photovoltaic Module,» IEEE, Sfax, Tunes, 2014.
- [18] V. J. Pallavi Bharadwaj, «Design, Fabrication and evaluation of solar Irradiation Meter,» IEEE, Karnataka, India, 2014.
- [19] M. H. A. K. Zouhaira Ben Mahmoud, « Effect of Series and Shunt Resistances on the performance of PV panel under Temperature Variations,» IEEE, Marrakech, Morocco, 2016.
- [20] M. M. L. O. R. E. Cruz-Colon Joel, «Design of a Low Cost Irradiance Meter using a Photovoltaic Panel,» IEEE, Austin, USA, 2012.
- [21] L. M. R. Alberto, «Análisis térmico de las celdas fotovoltaicas en un sistema interconectado a la red,» Universidad Veracruzana, Mexico, 2012.
- [22] M. F. Barrera, Energía Solar: Electricidad Fotovoltaica, Madrid, España: Liber Factory, 2010.
- [23] L. Narvaez, «Energías limpias para el futuro,» wordpress, 29 Diciembre 2014. [En línea]. Available: <https://energiaslimpiasdelfuturo.wordpress.com/tag/paneles-fotovoltaicos/>. [Último acceso: 13 Marzo 2018].
- [24] R. A. V. Osvaldo M. Micheloud, Smart Grids: Fundamentos, Tecnologías y Aplicaciones; PP 112-114, Monterrey. Mexico: Cengage Learning, 2012.
- [25] G. I. d. I. U. d. Jaen, «Cursolar,» 17 Diciembre 2006. [En línea]. Available: https://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/03_celula/01_basico/3_celula_04.htm. [Último acceso: 16 Marzo 2018].

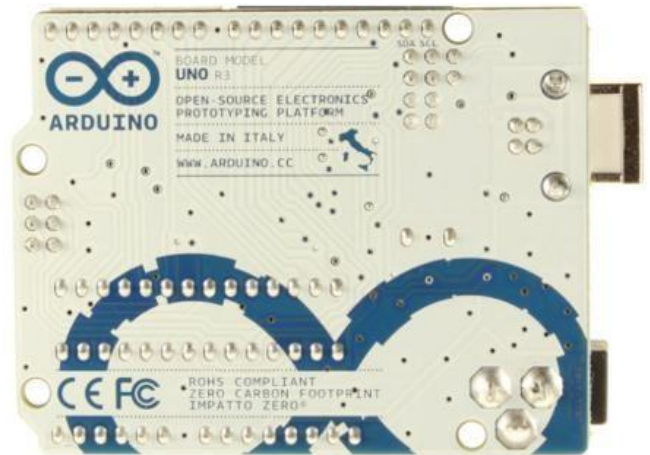
ANEXOS

ANEXO A. Datasheet componentes

Arduino Uno



Arduino Uno R3 Front



Arduino Uno R3 Back



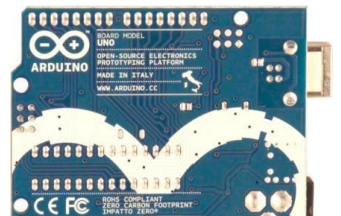
Arduino Uno R2 Front



Arduino Uno SMD



Arduino Uno Front



Arduino Uno Back

Overview

The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328 ([datasheet](#)). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz ceramic resonator, 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 Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega16U2 (Atmega8U2 up to version R2) programmed as a USB-to-serial converter.

[Revision 2](#) of the Uno board has a resistor pulling the 8U2 HWB line to ground, making it easier to put into [DFU mode](#).

[Revision 3](#) of the board has the following new features:

- 1.0 pinout: added SDA and SCL pins that are near to the AREF pin and two other new pins placed near to the RESET pin, the IOREF that allow the shields to adapt to the voltage provided from the board. In future, shields will be compatible both with the board that use the AVR, which operate with 5V and with the Arduino Due that operate with 3.3V. The second one is a not connected pin, that is reserved for future purposes.
- Stronger RESET circuit.
- Atmega 16U2 replace the 8U2.

"Uno" means one in Italian and is named to mark the upcoming release of

Precision Isolation Amplifiers

Data Sheet

Description

The ACPL-790B/790A/7900 isolation amplifiers were designed for current and voltage sensing in electronic power converters in applications including motor drives and renewable energy systems. In a typical motor drive implementation, current flows through an external resistor and the resulting analog voltage drop is sensed by the isolation amplifier. A differential output voltage that is proportional to the current is created on the other side of the optical isolation barrier.

For general applications, the ACPL-790A ($\pm 1\%$ gain tolerance) and the ACPL-7900 ($\pm 3\%$ gain tolerance) are recommended. For high precision applications, the ACPL-790B ($\pm 0.5\%$ gain tolerance) can be used. The product operates from a single 5 V supply and provides excellent linearity and dynamic performance of 62 dB SNR. With 200 kHz bandwidth, 1.6 μ s fast response time, the product captures transients in short circuit and overload conditions. The high common-mode transient immunity (15 kV/ μ s) of the ACPL-790B/790A/7900 provides the precision and stability needed to accurately monitor motor current in high noise motor control environments, providing for smoother control (less “torque ripple”) in various types of motor control applications.

Combined with superior optical coupling technology, the ACPL-790B/790A/7900 implements sigma-delta (Σ - Δ) analog-to-digital converter, chopper stabilized amplifiers, and a fully differential circuit topology to provide unequaled isolation-mode noise rejection, low offset, high gain accuracy and stability. This performance is delivered in a compact, auto-insertable DIP-8 package that meets worldwide regulatory safety standards.

CAUTION It is advised that normal static precautions be taken in handling and assembly of this component to prevent damage and/or degradation which may be induced by ESD.

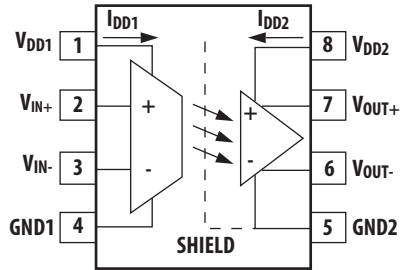
Features

- $\pm 0.5\%$ High Gain Accuracy (ACPL-790B)
- -50 ppm/ $^{\circ}$ C Low Gain Drift
- 0.4 mV Input Offset Voltage
- 0.05% Excellent Linearity
- 62 dB SNR
- 200 kHz Wide Bandwidth
- 3 V to 5.5 V Wide Supply Range for Output Side
- -40° C to $+105^{\circ}$ C Operating Temperature Range
- Advanced Sigma-Delta (Σ - Δ) A/D Converter Technology
- Fully Differential Isolation Amplifier
- 15 kV/ μ s Common-Mode Transient Immunity
- Compact, Auto-Insertable DIP-8 Package
- Safety and Regulatory Approvals:
 - IEC/EN/DIN EN 60747-5-5: 891 Vpeak working insulation voltage
 - UL 1577: 5000 Vrms/1 min double protection rating
 - CSA: Component Acceptance Notice #5

Applications

- Current/Voltage Sensing in AC and Servo Motor Drives
- Solar Inverters, Wind Turbine Inverters
- Industrial Process Control
- Data Acquisition Systems
- Switching Power Supply Signal Isolation
- General Purpose Analog Signal Isolation
- Traditional Current Transducer Replacements

Functional Diagram



NOTE A 0.1 μF bypass capacitor must be connected between pins 1 and 4 and between pins 5 and 8.

Pin Description

Table 1 Pin Description

Pin No.	Symbol	Description
1	V_{DD1}	Supply voltage for input side (4.5 V to 5.5 V), relative to GND1
2	V_{IN+}	Positive input (± 200 mV recommended)
3	V_{IN-}	Negative input (normally connected to GND1)
4	GND1	Input side ground
5	GND2	Output side ground
6	V_{OUT-}	Negative output
7	V_{OUT+}	Positive output
8	V_{DD2}	Supply voltage for output side (3 V to 5.5 V), relative to GND2

Ordering Information

ACPL-790B/790A/7900 is UL recognized with 5000 Vrms/1 minute rating per UL 1577.

Table 2 Ordering Information

Part Number	Option (RoHS Compliant)	Package	Surface Mount	Gull Wing	Tape & Reel	IEC/EN/DIN EN 60747-5-5	Quantity
ACPL-790B	-000E	300 mil				X	50 per tube
ACPL-790A	-300E	DIP-8	X	X		X	50 per tube
ACPL-7900	-500E		X	X	X	X	1000 per reel

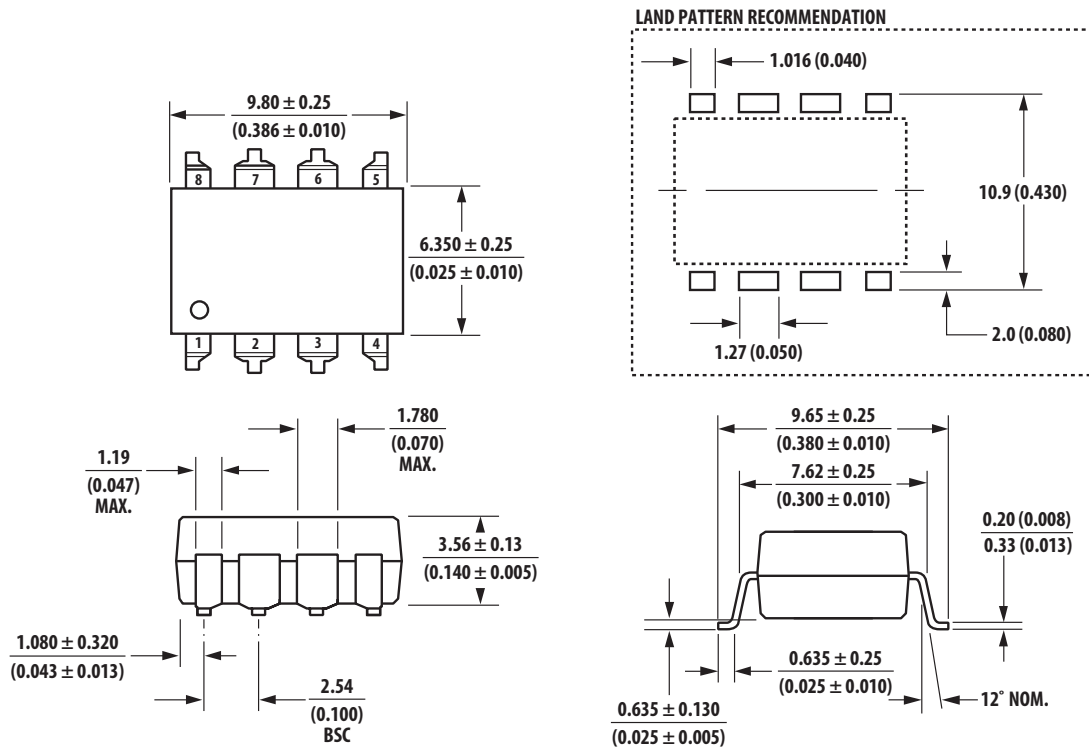
To order, choose a part number from the part number column and combine with the desired option from the option column to form an order entry.

Example:

ACPL-790B-500E to order product of Gull Wing Surface Mount package in Tape and Reel packaging with IEC/EN/DIN EN 60747-5-5 Safety Approval and RoHS compliance.

Optional data sheets are available. Contact your Avago sales representative or authorized distributor for information.

Figure 2 Gull Wing Surface Mount Option 300



Dimensions in millimeters (inches).

NOTE Floating lead protrusion is 0.5 mm (20 mils) max.

Tolerances (unless otherwise specified):

xx.xx = 0.01 Lead coplanarity
xx.xxx = 0.005 Maximum: 0.102 (0.004)

Recommended Pb-Free IR Profile

Recommended reflow condition as per JEDEC Standard, J-STD-020 (latest revision). Non-Halide Flux should be used.

Regulatory Information

The ACPL-790B/790A/7900 is approved by the following organizations:

- **IEC/EN/DIN EN 60747-5-5**
Approved with Maximum Working Insulation Voltage, $V_{IORM} = 891$ Vpeak.
- **UL**
Approval under UL 1577, component recognition program up to $V_{ISO} = 5000$ Vrms/1 min. File E55361.
- **CSA**
Approval under CSA Component Acceptance Notice #5, File CA 88324.

Insulation and Safety Related Specifications

Table 3 Insulation and Safety Related Specifications

Parameter	Symbol	Value	Units	Conditions
Minimum External Air Gap (External Clearance)	L(101)	7.4	mm	Measured from input terminals to output terminals, shortest distance through air
Minimum External Tracking (External Creepage)	L(102)	8.0	mm	Measured from input terminals to output terminals, shortest distance path along body
Minimum Internal Plastic Gap (Internal Clearance)		0.5	mm	Through insulation distance, conductor to conductor, usually the direct distance between the photoemitter and photodetector inside the optocoupler cavity
Tracking Resistance (Comparative Tracking Index)	CTI	>175	V	DIN IEC 112/VDE 0303 Part 1
Isolation Group		IIIa		Material Group (DIN VDE 0110, 1/89, Table 1)

IEC/EN/DIN EN 60747-5-5 Insulation Characteristics

Insulation characteristics are guaranteed only within the safety maximum ratings, which must be ensured by protective circuits within the application.

Table 4 IEC/EN/DIN EN 60747-5-5 Insulation Characteristics

Description	Symbol	Value	Units
Installation classification per DIN VDE 0110/1.89, Table 1 for rated mains voltage. 150 Vrms for rated mains voltage. 300 Vrms for rated mains voltage. 450 V rms for rated mains voltage. 600 Vrms for rated mains voltage . 1000 Vrms		I-IV I-IV I-III I-III I-II	
Climatic Classification		55/105/21	
Pollution Degree (DIN VDE 0110/1.89)		2	
Maximum Working Insulation Voltage	V_{IORM}	891	V _{peak}
Input to Output Test Voltage, Method b $V_{IORM} \times 1.875 = V_{PR}$, 100% Production Test with $t_m = 1$ sec, Partial Discharge < 5 pC	V_{PR}	1671	V _{peak}
Input to Output Test Voltage, Method a $V_{IORM} \times 1.6 = V_{PR}$, Type and Sample Test, $t_m = 10$ sec, Partial Discharge < 5 pC	V_{PR}	1426	V _{peak}
Highest Allowable Overvoltage (Transient Overvoltage, $t_{ini} = 60$ sec)	V_{IOTM}	8000	V _{peak}
Safety-limiting values (Maximum values allowed in the event of a failure) Case Temperature Input Current ^a Output Power ^a	T_S $I_{S,INPUT}$ $P_{S,OUTPUT}$	175 400 600	°C mA mW
Insulation Resistance at T_S , $V_{IO} = 500$ V	RS	$\geq 10^9$	Ω

- a. Safety-limiting parameters are dependent on ambient temperature. The Input Current, $I_{S,INPUT}$, derates linearly above 25 °C free-air temperature at a rate of 2.67 mA/°C; the Output Power, $P_{S,OUTPUT}$, derates linearly above 25 °C free-air temperature at a rate of 4 mW/°C.

Absolute Maximum Rating

Table 5 Absolute Maximum Rating

Parameter	Symbol	Min.	Max.	Units
Storage Temperature	T_S	-55	+125	°C
Ambient Operating Temperature	T_A	-40	+105	°C
Supply Voltages	V_{DD1}, V_{DD2}	-0.5	6.0	V
Steady-State Input Voltage ^{a, b}	V_{IN+}, V_{IN-}	-2	$V_{DD1} + 0.5$	V
Two-Second Transient Input Voltage ^c	V_{IN+}, V_{IN-}	-6	$V_{DD1} + 0.5$	V
Output Voltages	V_{OUT+}, V_{OUT-}	-0.5	$V_{DD2} + 0.5$	V
Lead Solder Temperature	260 °C for 10 sec., 1.6 mm below seating plane			

- a. DC voltage of up to -2 V on the inputs does not cause latch-up or damage to the device; tested at typical operating conditions.
- b. Absolute maximum DC current on the inputs = 100 mA, no latch-up or device damage occurs.
- c. Transient voltage of 2 seconds up to -6 V on the inputs does not cause latch-up or damage to the device; tested at typical operating conditions.

Recommended Operating Conditions

Table 6 Recommended Operating Conditions

Parameter	Symbol	Min.	Max.	Units
Ambient Operating Temperature	T_A	-40	+105	°C
VDD1 Supply Voltage	V_{DD1}	4.5	5.5	V
VDD2 Supply Voltage	V_{DD2}	3	5.5	V
Input Voltage Range ^a	V_{IN+}, V_{IN-}	-200	+200	mV

- a. ± 200 mV is the nominal input range. Full scale input range (FSR) is ± 300 mV. Functional input range is ± 2 V.

Electrical Specifications

Unless otherwise noted, $T_A = -40\text{ }^\circ\text{C}$ to $+105\text{ }^\circ\text{C}$, $V_{DD1} = 4.5\text{ V}$ to 5.5 V , $V_{DD2} = 3\text{ V}$ to 5.5 V , $V_{IN+} = -200\text{ mV}$ to $+200\text{ mV}$, and $V_{IN-} = 0\text{ V}$ (single-ended connection).

Table 7 Electrical Specifications

Parameter	Symbol	Min.	Typ. ^a	Max.	Unit	Test Conditions	Figure
DC CHARACTERISTICS							
Input Offset Voltage	V_{OS}	-1	0.4	2	mV	$T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$	3, 4
Magnitude of Input Offset Change vs. Temperature	$ dV_{OS}/dT_A $		-0.8	4	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	$T_A = -40\text{ }^\circ\text{C}$ to $+105\text{ }^\circ\text{C}$; absolute value	5
Gain (ACPL-790B, $\pm 0.5\%$) ^b	G0	8.16	8.2	8.24	V/V	$T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$	6, 7
Gain (ACPL-790A, $\pm 1\%$) ^b	G1	8.12	8.2	8.28	V/V	$T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$	6, 7
Gain (ACPL-7900, $\pm 3\%$) ^b	G3	7.95	8.2	8.44	V/V	$T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$	6, 7
Magnitude of Gain Change vs. Temperature ^c	dG/dT_A		-0.00041		V/V/ $^\circ\text{C}$	$T_A = -40\text{ }^\circ\text{C}$ to $+105\text{ }^\circ\text{C}$	8
Nonlinearity over $\pm 200\text{ mV}$ Input Voltage ^b	NL ₂₀₀		0.05	0.13	%	$V_{IN+} = -200\text{ mV}$ to $+200\text{ mV}$, $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$	9, 10
Magnitude of NL ₂₀₀ Change vs. Temperature	dNL_{200}/dT_A		0.0003		%/ $^\circ\text{C}$	$T_A = -40\text{ }^\circ\text{C}$ to $+105\text{ }^\circ\text{C}$	11
Nonlinearity over $\pm 100\text{ mV}$ Input Voltage ^b	NL ₁₀₀		0.013	0.06	%	$V_{IN+} = -100\text{ mV}$ to $+100\text{ mV}$, $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$	9, 10, 11
INPUTS AND OUTPUTS							
Full-Scale Differential Voltage Input Range ^d	FSR		± 300		mV	$V_{IN} = V_{IN+} - V_{IN-}$	12
Input Bias Current ^e	I_{IN+}	-1	-0.1		μA	$V_{IN+} = 0$, $V_{IN-} = 0\text{ V}$	13
Magnitude of I_{IN+} Change vs. Temperature	dI_{IN+}/dT_A		-0.05		nA/ $^\circ\text{C}$		
Equivalent Input Impedance	R_{IN}		27		k Ω	V_{IN+} or V_{IN-} , single-ended	14
Output Common-Mode Voltage ^f	V_{OCM}		1.23		V	V_{OUT+} or V_{OUT-}	
Output Voltage Range ^d	OVR		0 to 2.5		V	V_{OUT+} or V_{OUT-}	12
Output Short-Circuit Current	$ I_{OS} $		11		mA	V_{OUT+} or V_{OUT-} , shorted to GND2 or V_{DD2}	
Output Resistance	R_{OUT}		21		Ω	V_{OUT+} or V_{OUT-}	
Input DC Common-Mode Rejection Ratio ^b	CMRR _{IN}		76		dB		
AC CHARACTERISTICS							
Signal-to-Noise Ratio ^g	SNR		62		dB	$V_{IN+} = 300\text{ mVpp}$ 10 kHz sine wave	15, 16
Signal-to-(Noise + Distortion) Ratio ^h	SNDR		59		dB	$V_{IN+} = 300\text{ mVpp}$ 10 kHz sine wave	15, 16
Small-Signal Bandwidth (-3 dB)	$f_{-3\text{ dB}}$	140	200		kHz		17, 18

Table 7 Electrical Specifications (Continued)

Parameter	Symbol	Min.	Typ. ^a	Max.	Unit	Test Conditions	Figure
Input to Output Propagation Delay							
10%-10%	t _{PD10}		1.6	2.3	μs	200 mV/μs step input	19
50%-50%	t _{PD50}		2	2.6	μs	200 mV/μs step input	19
90%-90%	t _{PD90}		2.6	3.3	μs	200 mV/μs step input	19
Output Rise/Fall Time (10%-90%)	t _{R/F}		1.7		μs	Step input	19
Common Mode Transient Immunity ^b	CMTI	10	15		kV/μs	V _{CM} = 1 kV, T _A = 25 °C	
Power Supply Rejection ⁱ	PSR		-78		dB	1 V _{pp} 1 kHz sine wave ripple on VDD1, differential output	
POWER SUPPLIES							
Input Side Supply Current ^j	I _{DD1}		11	18.5	mA	V _{IN+} = 400 mV;	20
Output Side Supply Current	I _{DD2}		7	12	mA	5 V supply	20
			6.8	11	mA	3.3 V supply	20

- a. All Typical values are under Typical Operating Conditions at T_A = 25 °C, V_{DD1} = 5 V, V_{DD2} = 3.3 V.
- b. See Definitions section.
- c. Gain temperature drift can be normalized and expressed as Temperature Coefficient of Gain (TCG) of -50 ppm/°C.
- d. When FSR is exceeded, outputs saturate.
- e. Because of the switched-capacitor nature of the input sigma-delta converter, time-averaged values are shown.
- f. Under Typical Operating Conditions, part-to-part variation ±0.04 V.
- g. Under Typical Operating Conditions, part-to-part variation ±1 dB.
- h. Under Typical Operating Conditions, part-to-part variation ±1 dB.
- i. Ripple voltage applied to VDD1 with a 0.1 μF bypass capacitor connected; differential amplitude of the ripple outputs measured. See Definitions section.
- j. The input supply current decreases as the differential input voltage (V_{IN+} - V_{IN-}) decreases.

Package Characteristics

Table 8 Package Characteristics

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	Test Condition
Input-Output Momentary Withstand Voltage ^{a, b}	V _{ISO}	5000			V _{rms}	RH < 50%, t = 1 min., T _A = 25 °C
Resistance (Input-Output) ^c	R _{I-O}		>10 ¹²		Ω	V _{I-O} = 500 V _{DC}
Capacitance (Input-Output) ^c	C _{I-O}		0.5		pF	f = 1 MHz

- a. In accordance with UL 1577, each optocoupler is proof tested by applying an insulation test voltage ≥ 6000 V_{rms} for 1 second (leakage detection current limit, I_{I-O} ≤ 5 A). This test is performed before the 100% production test for partial discharge (method b) shown in IEC/EN/DIN EN 60747-5-5 Insulation Characteristic Table.
- b. The Input-Output Momentary Withstand Voltage is a dielectric voltage rating that should not be interpreted as an input-output continuous voltage rating. For the continuous voltage rating, refer to the IEC/EN/DIN EN 60747-5-5 insulation characteristics table and your equipment level safety specification.
- c. This is a two-terminal measurement: pins 1–4 are shorted together and pins 5–8 are shorted together.

Typical Performance Plots

Unless otherwise noted, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{DD1} = 5\text{V}$, $V_{DD2} = 3.3\text{V}$.

Figure 3 Input Offset vs. Supply V_{DD1}

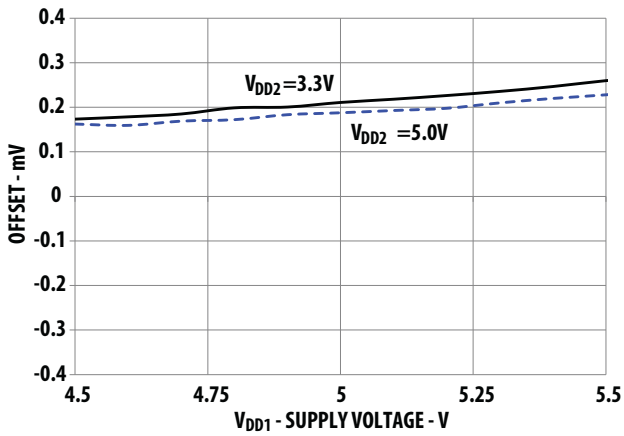


Figure 4 Input Offset vs. Supply V_{DD2}

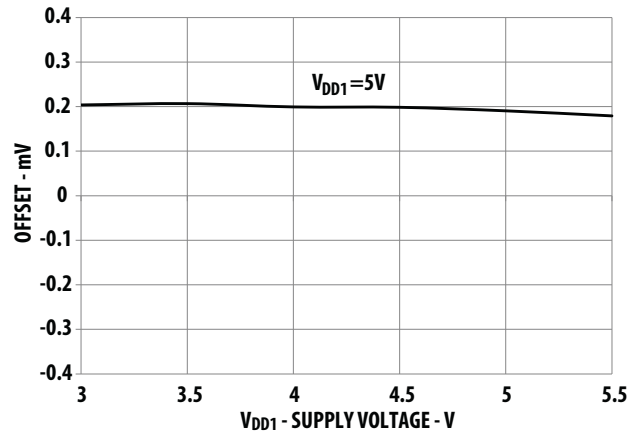


Figure 5 Input Offset vs. Temperature

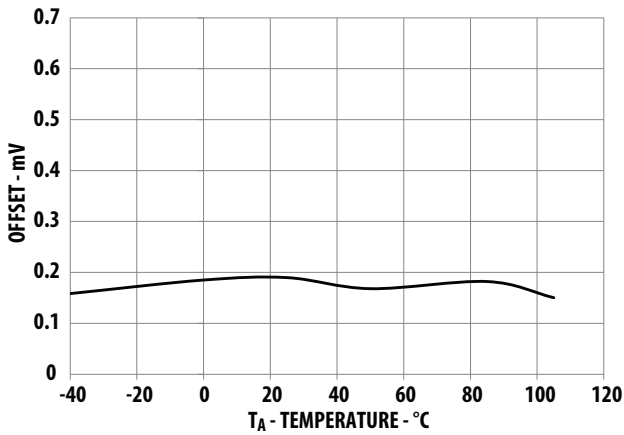


Figure 6 Gain vs. Supply V_{DD1}

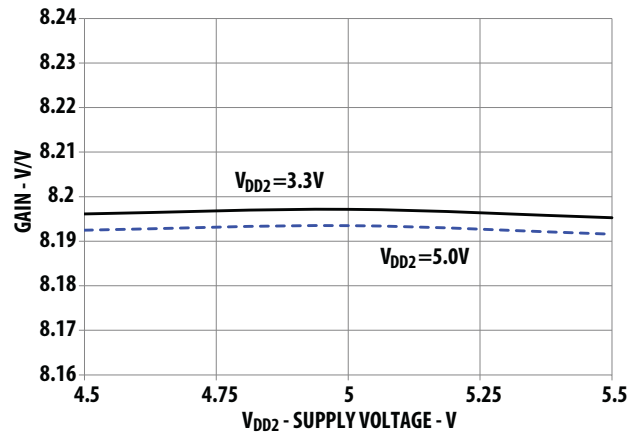


Figure 7 Gain vs. Supply V_{DD2}

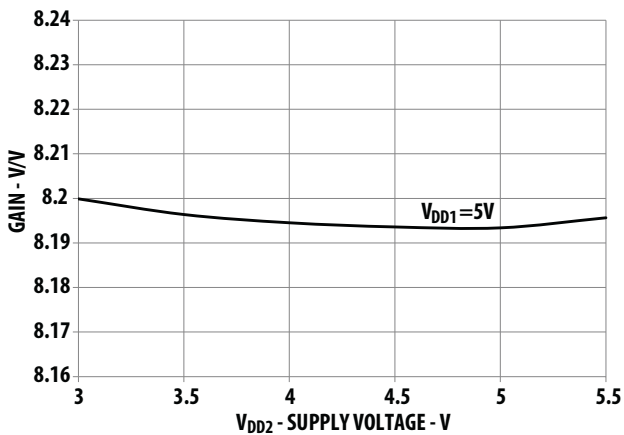


Figure 8 Gain vs. Temperature

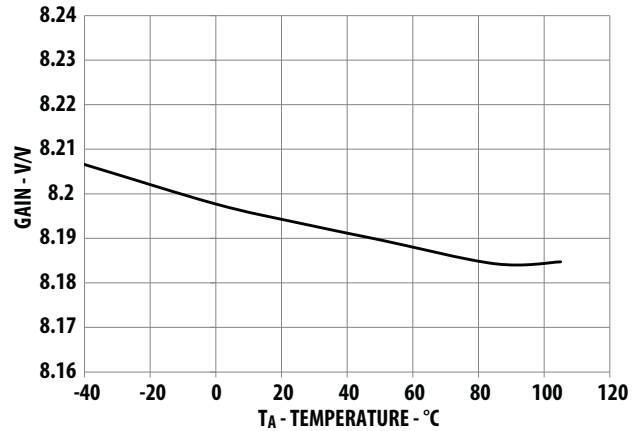


Figure 9 Nonlinearity vs. Supply V_{DD1}

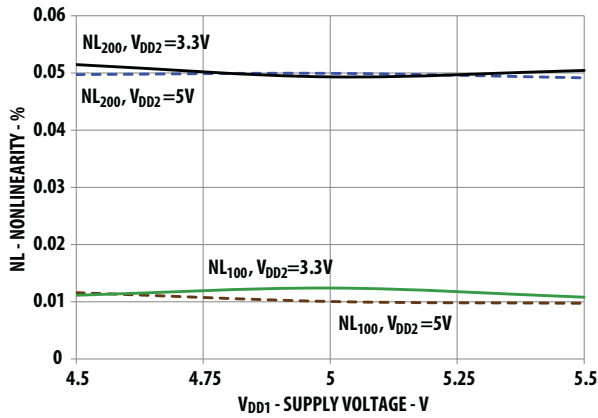


Figure 10 Nonlinearity vs. Supply V_{DD2}

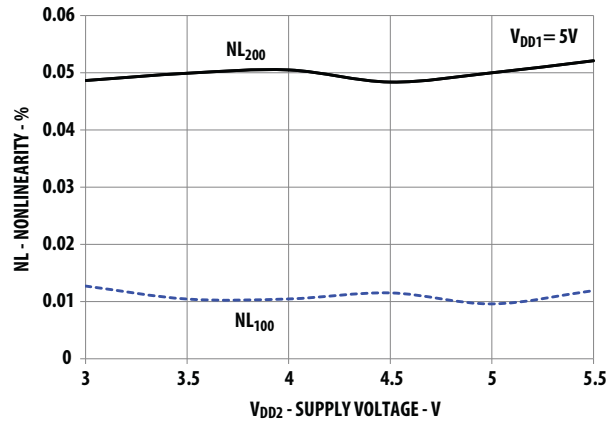


Figure 11 Nonlinearity vs. Temperature

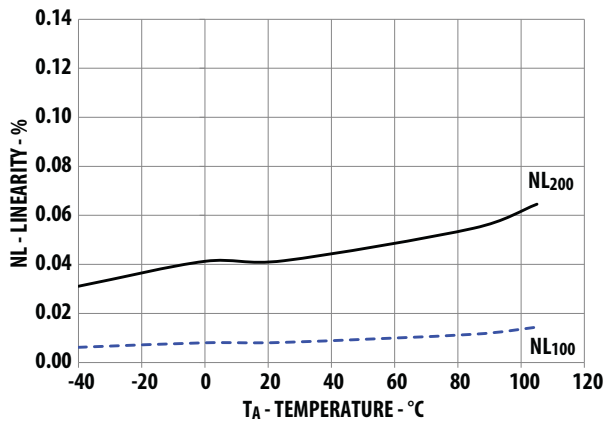


Figure 12 Output Voltage vs. Input Voltage

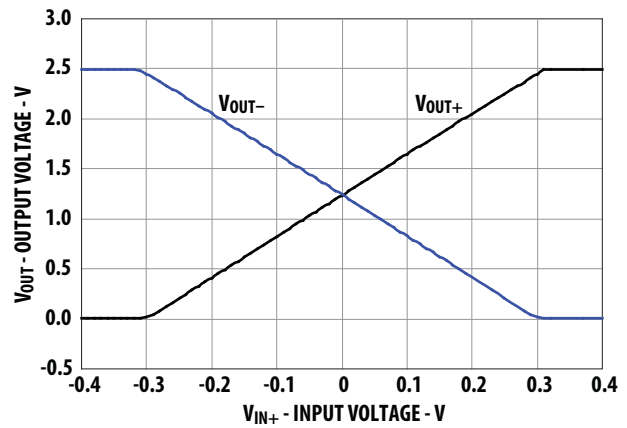


Figure 13 Input Current vs. Input Voltage

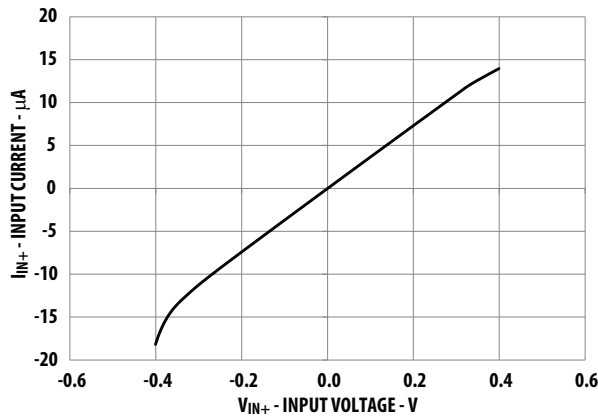


Figure 14 Input Impedance vs. Temperature

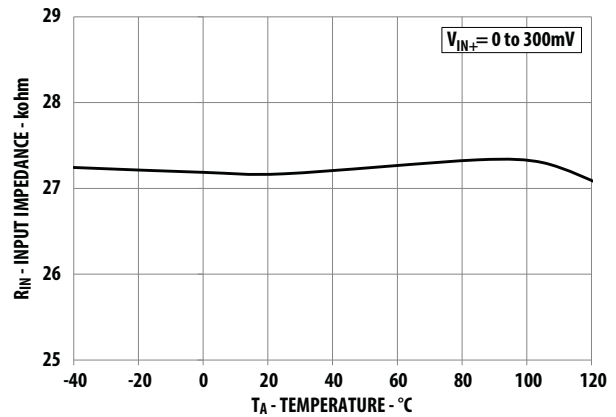


Figure 15 SNR, SNDR vs. Temperature

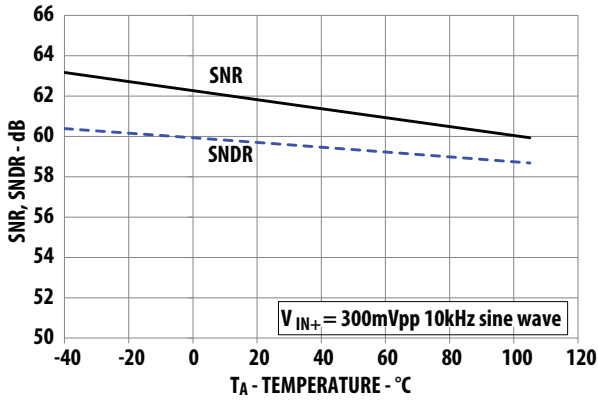


Figure 16 SNR, SNDR vs. Input Voltage

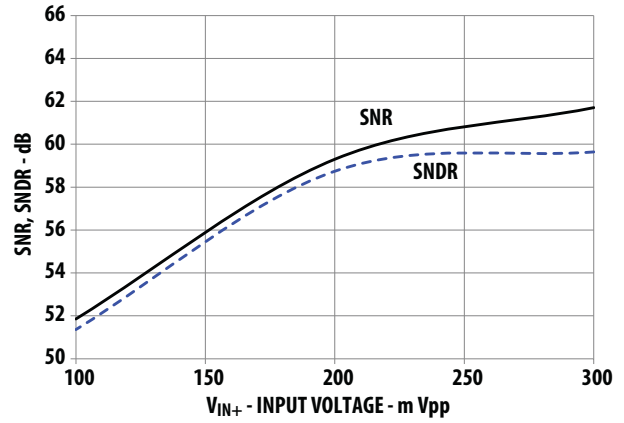


Figure 17 Gain Frequency Response

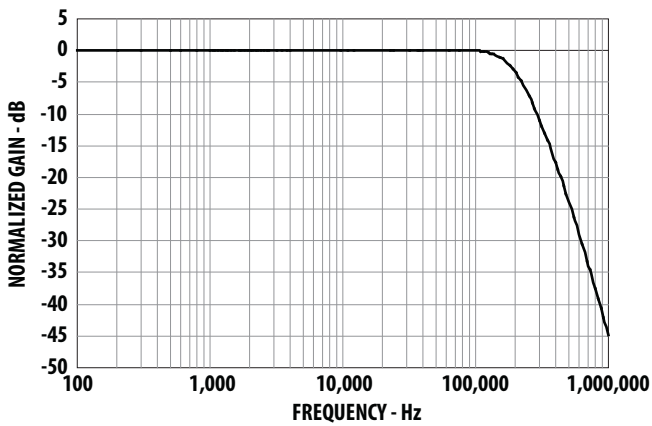


Figure 18 Phase Frequency Response

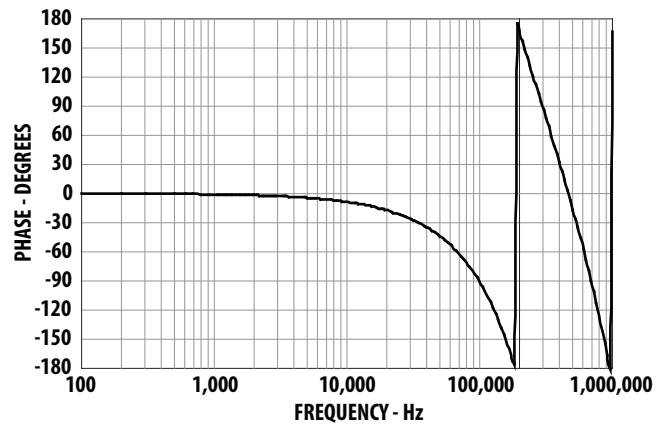


Figure 19 Propagation Delay, Output Rise/Fall Time vs. Temperature

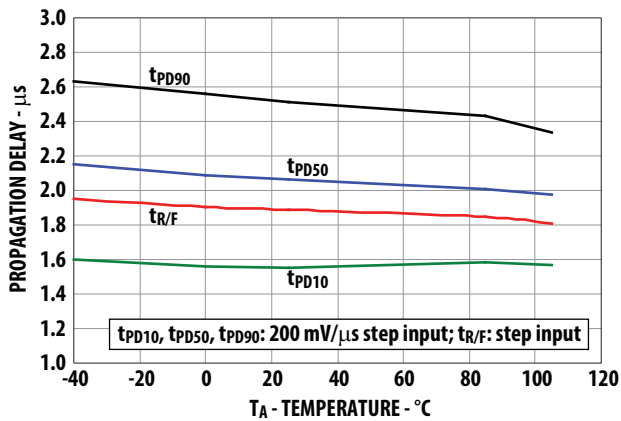
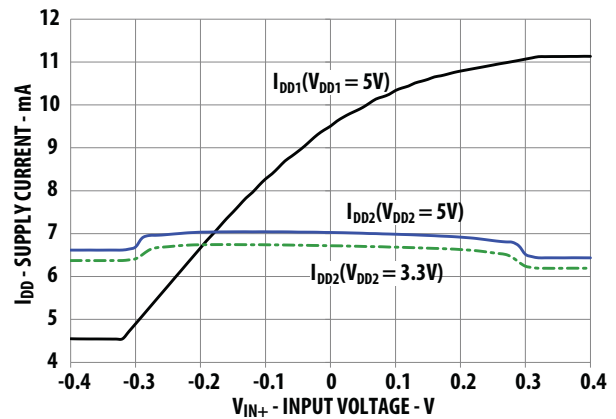


Figure 20 Supply Current vs. Input Voltage



Definitions

Gain

Gain is defined as the slope of the best-fit line of differential output voltage ($V_{OUT+} - V_{OUT-}$) vs. differential input voltage ($V_{IN+} - V_{IN-}$) over the nominal input range, with offset error adjusted out.

Nonlinearity

Nonlinearity is defined as half of the peak-to-peak output deviation from the best-fit gain line, expressed as a percentage of the full-scale differential output voltage.

Input DC Common Mode Rejection Ratio, $CMRR_{IN}$

$CMRR_{IN}$ is defined as the ratio of the differential signal gain (signal applied differentially between pins V_{OUT+} and V_{OUT-}) to the input side common-mode gain (input pins tied together and the signal applied to both inputs with respect to pin $GND1$), expressed in dB.

Common Mode Transient Immunity, CMTI, also known as Common Mode Rejection

CMTI is tested by applying an exponentially rising/falling voltage step on pin 4 ($GND1$) with respect to pin 5 ($GND2$). The rise time of the test waveform is set to approximately 50 ns. The amplitude of the step is adjusted until the differential output ($V_{OUT+} - V_{OUT-}$) exhibits more than a 200 mV deviation from the average output voltage for more than 1 μ s. The

ACPL-790B/790A/7900 will continue to function if more than 10 kV/ μ s common mode slopes are applied, as long as the breakdown voltage limitations are observed.

Power Supply Rejection, PSR

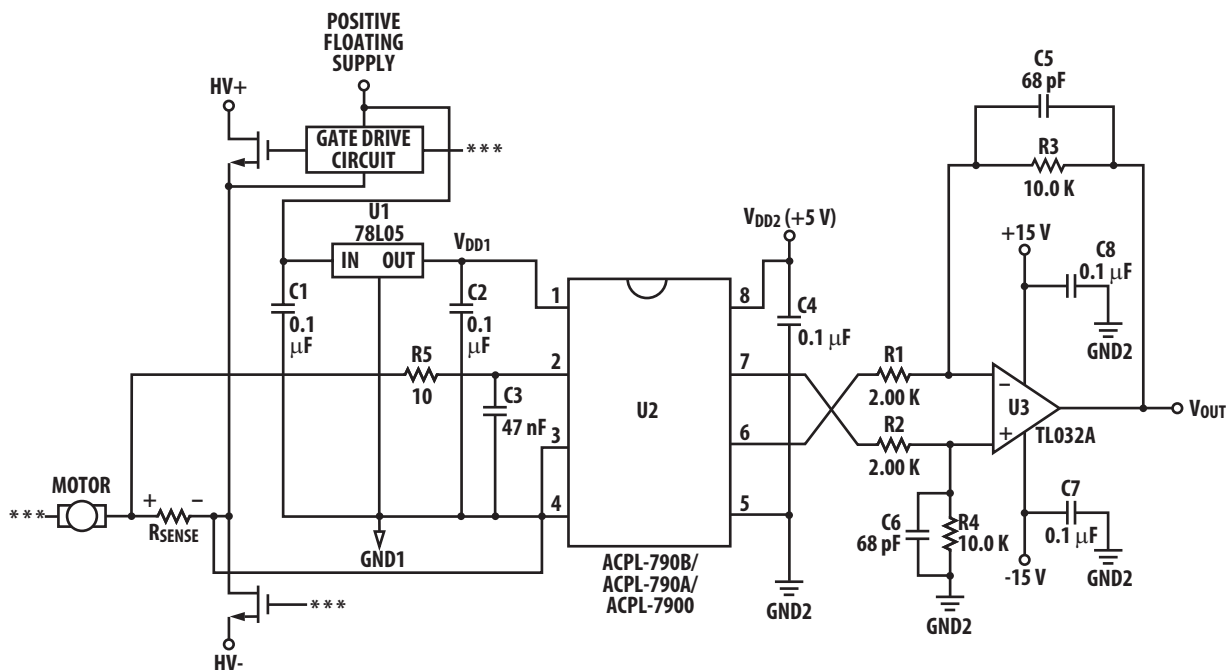
PSR is the ratio of differential amplitude of the ripple outputs over power supply ripple voltage, referred to the input, expressed in dB.

Application Information

Application Circuit

The typical application circuit is shown in Figure 21. A floating power supply (which in many applications could be the same supply that is used to drive the high-side power transistor) is regulated to 5 V using a simple three-terminal voltage regulator (U1). The voltage from the current sensing resistor, or shunt (R_{SENSE}), is applied to the input of the ACPL-790B/790A/7900 through an RC anti-aliasing filter ($R5$ and $C3$). And finally, the differential output of the isolation amplifier is converted to a groundreferenced single-ended output voltage with a simple differential amplifier circuit ($U3$ and associated components). Although the application circuit is relatively simple, a few recommendations should be followed to ensure optimal performance.

Figure 21 Typical Application Circuit for Motor Phase Current Setting



Power Supplies and Bypassing

As mentioned above, an inexpensive 78L05 three-terminal regulator can be used to reduce the gate-drive power supply voltage to 5 V. To help attenuate high frequency power supply noise or ripple, a resistor or inductor can be used in series with the input of the regulator to form a low-pass filter with the regulator's input bypass capacitor.

The power supply for the isolation amplifier is most often obtained from the same supply used to power the power transistor gate drive circuit. If a dedicated supply is required, in many cases it is possible to add an additional winding on an existing transformer. Otherwise, some sort of simple isolated supply can be used, such as a line powered transformer or a high-frequency DC-DC converter.

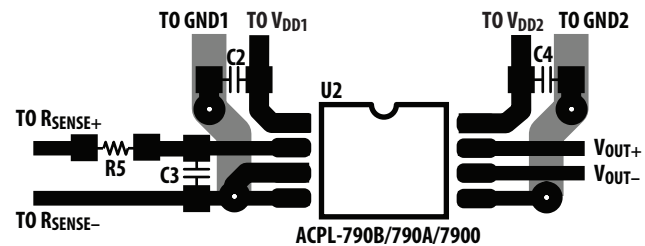
As shown in Figure 21, 0.1 μ F bypass capacitors (C2, C4) should be located as close as possible to the pins of the isolation amplifier. The bypass capacitors are required because of the high-speed digital nature of the signals inside the isolation amplifier. A 47 nF bypass capacitor (C3) is also recommended at the input pins due to the switched-capacitor nature of the input circuit. The input bypass capacitor also forms part of the anti-aliasing filter, which is recommended to prevent high-frequency noise from aliasing down to lower frequencies and interfering with the input signal. The input filter also performs an important reliability function – it reduces transient spikes from ESD events flowing through the current sensing resistor.

PC Board Layout

The design of the printed circuit board (PCB) should follow good layout practices, such as keeping bypass capacitors close to the supply pins, keeping output signals away from input signals, the use of ground and power planes, etc. In addition, the layout of the PCB can also affect the isolation transient immunity (CMTI) of the ACPL-790B/790A/7900, due primarily to stray capacitive coupling between the input and the output circuits. To obtain optimal CMTI performance, the layout of the PC board should minimize any stray coupling by maintaining the maximum possible distance between the input and output sides of the circuit and ensuring that any ground or power plane on the PC board does not pass directly below or extend much wider than the body of the ACPL-790B/790A/7900.

Figure 22 shows an example PCB layout.

Figure 22 Example Printed Circuit Board Layout



Note: Drawing not to scale

Shunt Resistor Selection

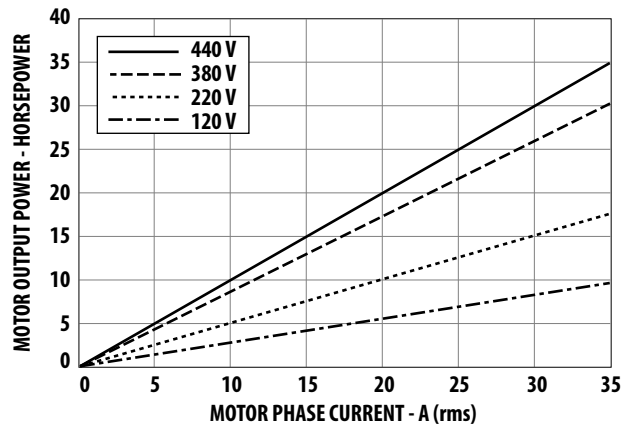
The current sensing resistor should have low resistance (to minimize power dissipation), low inductance (to minimize di/dt induced voltage spikes which could adversely affect operation), and reasonable tolerance (to maintain overall circuit accuracy). Choosing a particular value for the resistor is usually a compromise between minimizing power dissipation and maximizing accuracy. Smaller sense resistance decreases power dissipation, while larger sense resistance can improve circuit accuracy by utilizing the full input range of the ACPL-790B/790A/7900.

The first step in selecting a sense resistor is determining how much current the resistor will be sensing. The graph in Figure 23 shows the RMS current in each phase of a three-phase induction motor as a function of average motor output power (in horsepower, hp) and motor drive supply voltage. The maximum value of the sense resistor is determined by the current being measured and the maximum recommended input voltage of the isolation amplifier. The maximum sense resistance can be calculated by taking the maximum recommended input voltage and dividing by the peak current that the sense resistor should see during normal operation. For example, if a motor will have a maximum RMS current of 10 A and can experience up to 50% overloads during normal operation, then the peak current is 21.1 A ($= 10 \times 1.414 \times 1.5$). Assuming a maximum input voltage of 200 mV, the maximum value of sense resistance in this case would be about 10 m Ω .

The maximum average power dissipation in the sense resistor can also be easily calculated by multiplying the sense resistance times the square of the maximum RMS current, which is about 1 W in the previous example. If the power dissipation in the sense resistor is too high, the resistance can be decreased below the maximum value to decrease power dissipation. The minimum value of the sense resistor is limited by precision and accuracy requirements of the design. As the resistance value is reduced, the output voltage across the resistor is also reduced, which means that the offset and noise, which are fixed, become a larger percentage of the signal amplitude. The selected value of the sense resistor will fall

somewhere between the minimum and maximum values, depending on the particular requirements of a specific design.

Figure 23 Motor Output Horsepower vs. Motor Phase Current and Supply Voltage



When sensing currents large enough to cause significant heating of the sense resistor, the temperature coefficient (tempco) of the resistor can introduce nonlinearity due to the signal dependent temperature rise of the resistor. The effect increases as the resistor-to-ambient thermal resistance increases. This effect can be minimized by reducing the thermal resistance of the current sensing resistor or by using a resistor with a lower tempco. Lowering the thermal resistance can be accomplished by repositioning the current sensing resistor on the PC board, by using larger PC board traces to carry away more heat, or by using a heat sink.

For a two-terminal current sensing resistor, as the value of resistance decreases, the resistance of the leads become a significant percentage of the total resistance. This has two primary effects on resistor accuracy. First, the effective resistance of the sense resistor can become dependent on factors such as how long the leads are, how they are bent, how far they are inserted into the board, and how far solder wicks up the leads during assembly (these issues will be discussed in more detail shortly). Second, the leads are typically made from a material, such as copper, which has a much higher tempco than the material from which the resistive element itself is made, resulting in a higher tempco overall.

Both of these effects are eliminated when a four-terminal current sensing resistor is used. A four-terminal resistor has two additional terminals that are Kelvin connected directly across the resistive element itself; these two terminals are used to monitor the voltage across the resistive element while the other two terminals are used to carry the load current. Because of the Kelvin connection, any voltage drops across the leads carrying the load current should have no impact on the measured voltage.

When laying out a PC board for the current sensing resistors, a couple of points should be kept in mind. The Kelvin connections to the resistor should be brought together under the body of the resistor and then run very close to each other to the input of the ACPL-790B/790A/7900; this minimizes the loop area of the connection and reduces the possibility of stray magnetic fields from interfering with the measured signal. If the sense resistor is not located on the same PC board as the isolation amplifier circuit, a tightly twisted pair of wires can accomplish the same thing.

Also, multiple layers of the PC board can be used to increase current carrying capacity. Numerous plated through vias should surround each non-Kelvin terminal of the sense resistor to help distribute the current between the layers of the PC board. The PC board should use 2 or 4 oz. copper for the layers, resulting in a current carrying capacity in excess of 20 A. Making the current carrying traces on the PC board fairly large can also improve the sense resistor's power dissipation capability by acting as a heat sink. Liberal use of vias where the load current enters and exits the PC board is also recommended.

Shunt Resistor Connections

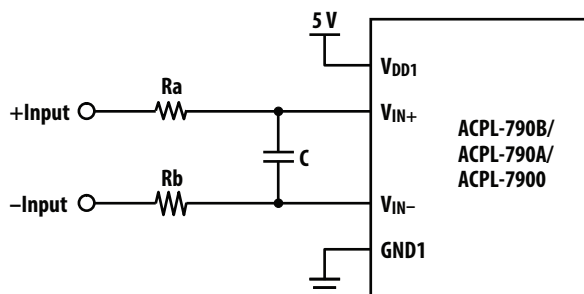
The typical method for connecting the ACPL-790-B/790A/7900 to the current sensing resistor is shown in Figure 21. V_{IN+} (pin 2) is connected to the positive terminal of the sense resistor, while V_{IN-} (pin 3) is shorted to GND1 (pin 4), with the power-supply return path functioning as the sense line to the negative terminal of the current sense resistor. This allows a single pair of wires or PC board traces to connect the isolation amplifier circuit to the sense resistor. By referencing the input circuit to the negative side of the sense resistor, any load current induced noise transients on the resistor are seen as a common-mode signal and will not interfere with the current-sense signal. This is important because the large load currents flowing through the motor drive, along with the parasitic inductances inherent in the wiring of the circuit, can generate both noise spikes and offsets that are relatively large compared to the small voltages that are being measured across the current sensing resistor.

If the same power supply is used both for the gate drive circuit and for the current sensing circuit, it is very important that the connection from GND1 of the ACPL-790B/790A/7900 to the sense resistor be the *only* return path for supply current to the gate drive power supply in order to eliminate potential ground loop problems. The only direct connection between the ACPL-790-B/790A/7900 circuit and the gate drive circuit should be the positive power supply line.

Differential Input Connection

The differential analog inputs of the ACPL-790B/790A/7900 are implemented with a fully-differential, switched-capacitor circuit. In the typical application circuit (Figure 21), the isolation amplifier is connected in a single-ended input mode. Given the fully differential input structure, a differential input connection method (balanced input mode as shown in Figure 24) is recommended to achieve better performance. The input currents created by the switching actions on both of the pins are balanced on the filter resistors and cancelled out each other. Any noise induced on one pin will be coupled to the other pin by the capacitor C and creates only common mode noise which is rejected by the device. Typical value for Ra and Rb is 10 Ω and 22 nF for C.

Figure 24 Simplified Differential Input Connection Diagram



Output Side

The op-amp used in the external post-amplifier circuit should be of sufficiently high precision so that it does not contribute a significant amount of offset or offset drift relative to the contribution from the isolation amplifier. Generally, op-amps with bipolar input stages exhibit better offset performance than op-amps with JFET or MOSFET input stages.

In addition, the op-amp should also have enough bandwidth and slew rate so that it does not adversely affect the response speed of the overall circuit. The postamplifier circuit includes a pair of capacitors (C5 and C6) that form a single-pole low-pass filter; these capacitors allow the bandwidth of the post-amp to be adjusted independently of the gain and are useful for reducing the output noise from the isolation amplifier.

The gain-setting resistors in the post-amp should have a tolerance of 1% or better to ensure adequate CMRR and adequate gain tolerance for the overall circuit. Resistor networks can be used that have much better ratio tolerances than can be achieved using discrete resistors. A resistor network also reduces the total number of components for the circuit as well as the required board space.

Voltage Sensing

The ACPL-790B/790A/7900 can also be used to isolate signals with amplitudes larger than its recommended input range with the use of a resistive voltage divider at its input. The only restrictions are that the impedance of the divider be relatively small (less than 1 k Ω so that the input resistance (22 k Ω and input bias current (0.1 A) do not affect the accuracy of the measurement. An input bypass capacitor is still required, although the 10 Ω series damping resistor is not (the resistance of the voltage divider provides the same function). The low-pass filter formed by the divider resistance and the input bypass capacitor may limit the achievable bandwidth.

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

www.avagotech.com

Avago Technologies and the A logo are trademarks of Avago Technologies in the United States and other countries. All other brand and product names may be trademarks of their respective companies.

Data subject to change. Copyright © 2010–2016 Avago Technologies. All Rights Reserved.

pub-005417 – July 19, 2016

AVAGO
TECHNOLOGIES



Mouser Electronics

Authorized Distributor

Click to View Pricing, Inventory, Delivery & Lifecycle Information:

[Broadcom Limited:](#)

[ACPL-790B-300E](#)

Arduino 1.0. The Uno and version 1.0 will be the reference versions of Arduino, moving forward. The Uno is the latest in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for a comparison with previous versions, see the [index of Arduino boards](#).

Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

Schematic & Reference Design

EAGLE files: [arduino-uno-Rev3-reference-design.zip](#) (NOTE: works with Eagle 6.0 and newer) Schematic: [arduino-uno-Rev3-schematic.pdf](#)

Note: The Arduino reference design can use an Atmega8, 168, or 328, Current models use an ATmega328, but an Atmega8 is shown in the schematic for reference. The pin configuration is identical on all three processors.

Power

The Arduino Uno 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 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.** This pin outputs a regulated 5V from the regulator on the board. The board can be supplied with power either from the DC power jack (7 - 12V), the USB connector (5V), or the VIN pin of the board (7-12V). Supplying voltage via the 5V or 3.3V pins bypasses the regulator, and can damage your board. We don't advise it.

- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

Memory

The ATmega328 has 32 KB (with 0.5 KB used for the bootloader). It also has 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno 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).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts: 2 and 3.** 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: 3, 5, 6, 9, 10, and 11.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** These pins support SPI communication using the [SPI library](#).
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

The Uno has 6 analog inputs, labeled A0 through A5, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the [analogReference\(\)](#) function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **TWI: A4 or SDA pin and A5 or SCL pin.** Support TWI communication using the [Wire library](#).

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.

See also the [mapping between Arduino pins and ATmega328 ports](#). The mapping for the Atmega8, 168, and 328 is identical.

Communication

The Arduino Uno has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega328 provides UART TTL

(5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An ATmega16U2 on the board channels this serial communication over USB and appears as a virtual com port to software on the computer. The '16U2 firmware uses the standard USB COM drivers, and no external driver is needed. However, [on Windows, a .inf file is required](#). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the USB-to-serial 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 Uno's digital pins.

The ATmega328 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation](#) for details. For SPI communication, use the [SPI library](#).

Programming

The Arduino Uno can be programmed with the Arduino software ([download](#)). Select "Arduino Uno from the **Tools > Board** menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#). The ATmega328 on the Arduino Uno comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It 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.

The ATmega16U2 (or 8U2 in the rev1 and rev2 boards) firmware source code is available . The ATmega16U2/8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by:

- On Rev1 boards: connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2.
- On Rev2 or later boards: there is a resistor that pulling the 8U2/16U2 HWB line to ground, making it easier to put into DFU mode.

You can then use [Atmel's FLIP software](#) (Windows) or the [DFU programmer](#) (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader). See [this user-contributed tutorial](#) for more information.

Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Uno 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 ATmega8U2/16U2 is connected to the reset line of the ATmega328 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 Uno 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 Uno. 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 Uno 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 Uno 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

The maximum length and width of the Uno PCB are 2.7 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Four 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.

LCD Keypad shield

- 1602 LCD and 6 AD buttons for Arduino

Overview



This Arduino 1602 LCD Keypad shield is developed for Arduino compatible boards, to provide a user-friendly interface that allows users to go through the menu, make selections etc. It consists of a LCD1602 white character blue backlight LCD. The keypad consists of 5 keys — select, up, right, down and left. To save the digital IO pins, the keypad interface uses only one ADC channel. The key value is read through a 5 stage voltage divider.

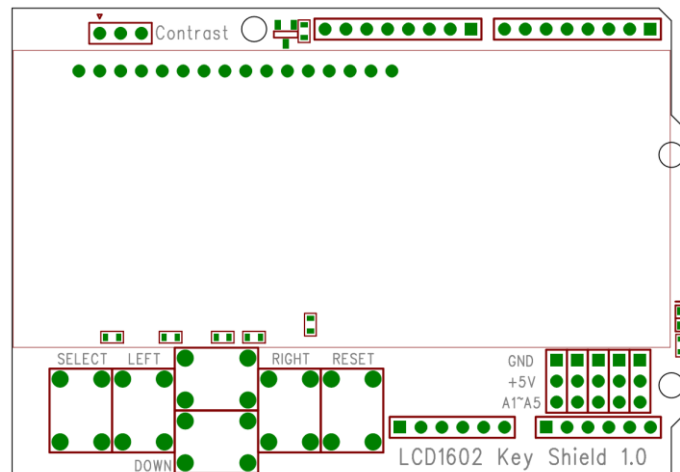
Specifications

PCB size	82.8mm X 56.6mm X 1.6mm
Power supply	5V DC
RoSH	Yes

Electrical Characteristics

Specification	Min	Type	Max	Unit
Power Voltage	4.5	5	5.5	VDC
Input Voltage	Target Voltage = 3.3V			V
VH	Target Voltage = 5V			
Input Voltage VL:	-0.3	0	0.5	V
Current Consumption	-	20	40	mA

Pins description



Pin	Function
A0	Button(select, up, right, down and left)
D4	DB4
D5	DB5
D6	DB6
D7	DB7
D8	RS(Data or signal display selection)
D9	LCD1602 Enable
D10	Backlight control

Revision History

Rev.	Description	Release date
v1.0	Initial version	6/23/2010

ANEXO B. Cotizaciones componentes

Commercial Invoice

Invoice No.: 90605831804128

Date: 26/Mar/18

Seller: does not apply

Buyer: Javier Munoz

Company Name: does not apply
Company Address: does not apply

Company Name: Javier Munoz
Company Address: K merced 437, Universidad de Talca, Curico
 Curico, Maule, Chile
Telephone: 97157XXXX
Zip Code: 3341717

Currency: US Dollar

Seller	Item Number	QTY Ordered (Lot)	Unit Price	Shipping Cost	Sub-Total
WuWuDian Store	1Pc UNO R3 ATMEGA16U2 Development Board With USB Cable For Arduino New	1	\$7.97	\$1.53	\$9.50
May ye's store	Wholesale ABS Plastic IP65 Waterproof Junction Box DIY Outdoor Electrical Connection box Cable Branch box 50*50	1	\$1.47	\$3.45	\$4.92
Lolita's New Home Fashion	7 Pcs 3 Pin 2 Position SPST Panel Slide Switch 0.5A 30V DC W Rocker Switch	1	\$0.86	\$0.16	\$1.02
Better Home&Better Life	10 x Black Plastic Cover 2.1x5.5mm Male DC Power Plug Jack Connector	1	\$0.97	\$0.16	\$1.13
GlyduinoRobot Store	LCD Keypad Shield LCD1602 LCD 1602 Module Display For Arduino ATMEGA328 ATMEGA2560 raspberry pi UNO blue screen For shipping	1	\$3.45	\$0.00	\$3.45
Koson Electronics	DC-DC Converter Step Up Boost Module 1-5V to 5V 500mA USB Charger for MP3/MP4	1	\$0.99	\$0.00	\$0.99
WAVGAT Store	Mini Digital LCD Thermometer Temperature Sensor Automatic Control Fridge Freezer Thermometer\	1	\$1.40	\$0.22	\$1.62
measuring instruments	Tenmars Split type Solar Power tester Detector Solar Radiation Meter TM-207	1	\$130.20	\$4.17	\$134.37
Total:		PCS			\$157.00

quote valid only for the day

I here certify that all information above is true and correct to the best of my knowledge