



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS
BASADO EN MICROCONTROLADOR Y SU APLICACIÓN A PANELES SOLARES**

Cristóbal Tezén Ixcajoc

Asesorado por el Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo

Guatemala, septiembre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS
BASADO EN MICROCONTROLADOR Y SU APLICACIÓN A PANELES SOLARES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CRISTÓBAL TEZÉN IXCAJOC

ASESORADO POR EL ING. ENRIQUE EDMUNDO RUIZ CARBALLO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
EXAMINADOR	Ing. Byron Odilio Arrivillaga Méndez
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS BASADO EN MICROCONTROLADOR Y SU APLICACIÓN A PANELES SOLARES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 7 de agosto de 2009.

Cristóbal Tezén Ixcajoc

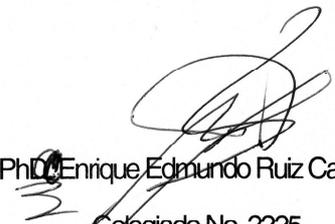
Guatemala, 28 de noviembre de 2011

Ingeniero
Carlos Guzmán
Coordinador Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Ingeniero Guzmán:

Por medio de la presente, le informo que he asesorado y revisado el trabajo de graduación con título: **PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS BASADO EN MICROCONTROLADOR Y SU APLICACIÓN A PANELES SOLARES**, desarrollado por el estudiante **Cristóbal Tezén Ixcajoc**, con carné 200413010. Después de revisar su contenido final considero que satisface el objetivo del mismo y lo apruebo como trabajo de graduación.

Al agradecer su amable atención y colaboración, me suscribo atentamente.


Ph.D. Enrique Edmundo Ruiz Carballo

Colegiado No. 2225

Enrique E Ruiz
INGENIERO ELECTRICISTA
COL No 2225

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Ref. EIME 05. 2012
Guatemala, 02 de FEBRERO 2012.

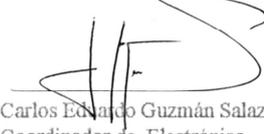
Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
**PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
ADQUISICIÓN DE DATOS BASADO EN MICROCONTROLADOR
Y SU APLICACIÓN A PANELES SOLARES,** del estudiante
Cristóbal Tezén Ixajoc, que cumple con los requisitos establecidos
para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑADA A TODOS


Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador de Electrónica

CEGS/sro



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 21. 2012.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; Cristóbal Tezén Ixcajoc titulado: **PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS BASADO EN MICROCONTROLADOR Y SU APLICACIÓN A PANELES SOLARES**, procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero

GUATEMALA, 25 DE ABRIL 2012.



Universidad de San Carlos
De Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG. 434-2012

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS BASADO EN MICROCONTROLADOR Y SU APLICACIÓN A PANELES SOLARES**, presentado por el estudiante universitario **Cristóbal Tezén Ixcajoc**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, Septiembre de 2012

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Porque este logro alcanzado es gracias a su voluntad.
Mis padres	Valerio Tezén y Casimira Ixcajoc (q.e.p.d.).
Mis hermanos	Joel, Silvestre, Pilar, Dominga, Nereyda y Verónica Tezén.
Mis familiares	Victor, William y Daniel Sactic. Estela Solloy, Lucinda Ixcajoc. Josué, Susan, Abigail y Samuel Tezén.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por tantas bendiciones, por estar siempre a mi lado y brindarme fuerza y sabiduría para culminar mi carrera.
- Mis padres** Valerio Tezén y Casimira Ixcajoc (q.e.p.d.). Porque con su esfuerzo y sacrificio me brindaron la oportunidad de estudiar y alcanzar esta meta.
- Mis hermanos** Joel, Silvestre, Pilar, Dominga, Nereyda y Verónica Tezén. Por el apoyo y cariño fraternal que siempre me han brindado.
- Mis compañeros de estudio** Juan Carlos González, Wilson Pérez, Manuel Solís, Pablo Tánchez, Oscar Castro, Manuel Lepe, Herick Suret, Mario Urias, Hermes Escobar, Luis Velásquez y Erick Samayoa. Por su constante apoyo y amistad.
- Mi asesor** Ing. Enrique Ruiz, por el apoyo, tiempo y atención que le dedicó a la revisión de este trabajo de graduación.

**Universidad de San Carlos
de Guatemala y la Facultad
de Ingeniería**

Por la educación que me brindaron, por el orgullo y el honor que han dado de ser parte de tan prestigiosa casa de estudios.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS (SAD)	1
1.1. Descripción de un SAD	1
1.2. Elementos que componen a un SAD.....	3
1.3. Clasificación de sistemas SAD	5
1.3.1. SAD monocanales	5
1.3.2. SAD multicanal	6
1.3.2.1. SAD multicanal con muestreo secuencial de canales	7
1.3.2.2. SAD multicanal con muestreo simultáneo de canales.....	8
1.3.2.3. SAD multicanal paralelo	9
1.4. Parámetros característicos de un SAD	10
2. SEÑALES Y SISTEMAS	13
2.1. Señales	13
2.2. Clasificación de señales	14
2.2.1. Señales analógicas.....	15
2.2.2. Señales digitales.....	15

2.3.	Operaciones con señales.....	17
2.3.1.	Amplificación de señales.....	17
2.3.2.	Suma de señales	18
2.3.3.	Multiplicación de señales	19
2.4.	Sistemas.....	20
2.4.1.	Sistemas de medición	20
2.4.2.	Sistemas básicos de control.....	21
	2.4.2.1. Sistema de lazo abierto	21
	2.4.2.2. Sistema de lazo cerrado.....	22
3.	MEDIDA Y ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES	29
3.1.	Sistemas de medida	29
3.2.	Sensores	30
3.3.	Características y criterios de selección de sensores.....	30
	3.3.1. Características estáticas	30
	3.3.2. Características dinámicas	33
3.4.	Amplificación de señales	34
	3.4.1. Selección de amplificadores operacionales.....	35
	3.4.2. Amplificador de instrumentación	36
3.5.	Filtrado de señales	40
	3.5.1. Filtros pasivos	42
	3.5.2. Filtros activos.....	45
3.6.	Multiplexación	49
	3.6.1. Multiplexor analógico	49
	3.6.2. Multiplexor digital	50
3.7.	Muestreo, cuantificación y codificación de señales	51
	3.7.1. Muestreo.....	52
	3.7.2. Cuantificación y codificación	53

4.	PANELES SOLARES.....	57
4.1.	Celdas solares.....	57
4.2.	Propiedades eléctricas del silicio	57
4.2.1.	Impurezas tipo P.....	59
4.2.2.	Impurezas tipo N.....	60
4.2.3.	Campo eléctrico interno	61
4.3.	Efecto fotoeléctrico	62
4.4.	Características de una celda solar.....	63
4.4.1.	Curva de potencia para una celda solar.....	65
4.4.2.	Efecto de diferentes intensidades de luz solar	66
4.4.3.	Efecto de la temperatura.....	67
5.	SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS BASADO EN MICROCONTROLADOR.....	69
5.1.	Descripción del sistema.....	69
5.2.	Componentes del sistema	70
5.2.1.	Sensor de temperatura	71
5.2.2.	Módulo MAXRS232	72
5.2.3.	Microcontrolador (PIC).....	75
5.2.4.	Configuración física del SAD propuesto.....	76
5.3.	Desarrollo del software de control del SAD	78
5.3.1.	Programación del microcontrolador	78
5.3.1.1.	Protocolo de comunicación	79
5.3.2.	Diseño de las hojas de Excel para la comunicación al PIC.....	81
5.3.3.	Análisis de resultados del SAD	85
	CONCLUSIONES	89
	RECOMENDACIONES.....	91

BIBLIOGRAFÍA.....	93
ANEXO	95

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama de bloques de un SAD genérico	3
2.	Diagrama de bloques de un SAD monocanal.....	5
3.	SAD multicanal con muestreo secuencial de canales	7
4.	SAD multicanal con muestreo simultáneo de canales.....	8
5.	Muestreo simultáneo.....	9
6.	SAD multicanal paralelo.....	10
7.	Representación gráfica de una señal.....	13
8.	Muestreo de señales (a) Señal continua (b) Señal muestreada	16
9.	Señal digital	16
10.	Amplificación de señales.....	18
11.	Suma de señales	19
12.	Sistema de medición.....	20
13.	Sistema de lazo abierto.....	22
14.	Sistema de lazo cerrado	24
15.	Ecuaciones para sistemas de lazo cerrado	25
16.	Sistema práctico de lazo cerrado.....	26
17.	Errores por no linealidad. (a) Saturación, (b) Banda/tiempo muerto, (c) Histéresis.....	33
18.	Amplificador de instrumentación	36
19.	Amplificador de instrumentación con un A.O.....	37
20.	Amplificador de instrumentación con dos A.O.....	38
21.	Amplificador de instrumentación con tres A.O.....	38
22.	Circuito convertidor de corriente a voltaje	39

23.	Puntos de operación de un filtro	41
24.	Filtro pasa bajo pasivo	43
25.	Filtro pasa alto pasivo	43
26.	Filtro pasa banda pasivo	44
27.	Filtro rechaza banda pasivo	45
28.	Filtro pasa bajo activo	46
29.	Filtro pasa alto activo	47
30.	Filtro pasa banda activo	48
31.	Filtro rechaza banda activo	48
32.	Diagrama del multiplexor analógico.....	50
33.	Multiplexor digital de 8 entradas.....	51
34.	Señal muestreada (PAM) (a) Señal continua (b) Señal muestreadora (c) Señal muestreada	53
35.	Cuantificación y codificación	54
36.	Estructura atómica del silicio	58
37.	Arreglo de un átomo de silicio	58
38.	Estructura del silicio con presencia de boro	60
39.	Estructura del silicio con presencia de fósforo.....	61
40.	Proceso del efecto fotovoltaico.....	63
41.	Circuito para determinar las características de una celda solar.....	64
42.	Curva corriente-voltaje (I-V) para una celda solar	64
43.	Corriente y potencia en función del voltaje	66
44.	Efecto de diferentes radiaciones solares	67
45.	Efecto de temperatura en celdas solares	68
46.	Diagrama de bloques de un SAD propuesto	70
47.	Encapsulado y configuración de pines del LM35.....	72
48.	Circuito integrado MAX232.....	73
49.	Circuito básico con el MAX232.....	74
50.	Vista del PIC desde el PIC Simulator IDE	75

51.	Circuito completo del SAD propuesto.....	77
52.	Conexión del puerto serial	78
53.	Diagrama de flujo del protocolo de comunicación	79
54.	Código del microcontrolador PIC16F877A	80
55.	Vista de hoja de Excel para la adquisición de datos.....	82
56.	Código para abrir el puerto serial	83
57.	Código para cerrar el puerto serial.....	83
58.	Código para adquisición de datos	84
59.	Código para limpiar las celdas de la hoja de Excel	85
60.	Gráfica de las mediciones de temperatura	86
61.	Gráfica de las mediciones de voltaje.....	86
62.	Gráfica de voltaje en función de la temperatura	87

TABLAS

I.	Niveles de voltaje TTL y RS232.....	73
----	-------------------------------------	----

GLOSARIO

Acondicionador	Dispositivo capaz de proporcionar una salida coherente de acuerdo con la entrada que recibe, perteneciendo ambas al mismo sistema de energía.
Amplificador	Circuito que a la entrada y la salida se relacionan de un modo lineal.
Celda solar	Dispositivo que capta energía contenida en la radiación solar y la transforma en una corriente eléctrica.
Filtro	Circuito diseñado para permitir el paso solamente de señales de una frecuencia determinada.
Ganancia	Razón entre la salida y la entrada de un amplificador.
Histéresis	Este término generalmente se emplea para describir ciertos comportamientos de materiales o instrumentos de muy variada naturaleza, pero que en todo caso responden a un retraso entre una causa externa y un efecto en sus propiedades.

LM35	Sensor digital de temperatura en grados Celsius.
MAX232	Circuito integrado capaz de adaptar niveles TTL a RS232 y viceversa.
Muestreo	Proceso mediante el cual una señal analógica continua en el tiempo, se convierte en una secuencia de muestras discretas en el tiempo de la señal, a intervalos regulares o irregulares.
Multiplexor	También llamado selector, es un circuito que recibe información de una línea de datos de entrada y la dirige a una línea de salida única. La selección de una línea de datos de entrada particular para la salida se determina por un conjunto de entradas de selección.
Resolución	Pequeña variación a la entrada que genera una variación perceptible a la salida.
SAD	Sistema de Adquisición de Datos
Sensibilidad	Grado de respuesta de un dispositivo a la magnitud de entrada.
Sensor	Dispositivo que captura la magnitud de una variable en un sistema. Usualmente también transforma la magnitud medida en una señal eléctrica.

Señal	Es una función de una o más variables físicas que contienen información acerca del comportamiento o la naturaleza de algún fenómeno. Este fenómeno puede ser representado de manera cuantitativa mediante una función continua o discreta en el tiempo.
Sistema	Es la combinación de dos o más elementos, subconjuntos y partes necesarias que manipulan las señales recibiendo, enviando, etcétera. para realizar una o varias funciones, produciendo de ese modo nuevas señales.
Tiempo de respuesta	Tiempo que tarda un dispositivo en alcanzar su salida nominal al ser excitado por una señal entrante.
Transductores	Dispositivo que cambia una forma de energía a una señal eléctrica.
TTL	Lógica Transistor a Transistor.

RESUMEN

La información acerca de un proceso es de gran importancia para la toma de decisiones, en ensayos típicos de paneles solares se considera indispensable la evaluación de la tensión, corriente y potencia, además de la eficiencia de los paneles en función de la temperatura y la intensidad lumínica.

En la actualidad existen varias herramientas que ayudan a obtener dicha información para llevar a cabo una representación clara y eficaz de la realidad del proceso, pero los costos de dichas herramientas son muy elevados. Por ello, se propone un sistema de adquisición de datos (SAD) basado en un microcontrolador, que será el encargado de sensar, digitalizar y almacenar los parámetros de medición concernientes a los paneles solares. Además económico y de fácil programación.

En general el trabajo consta de tres partes bien diferenciadas: fundamentos de sistemas de adquisición de datos (SAD), paneles solares y, desarrollo del sistema de adquisición de datos basado en microcontrolador. La primera aborda los contenidos relativos a tipos de señales, operaciones con señales, medida y acondicionamiento de señales y tipos de sistemas de adquisición de datos. En la segunda aborda los contenidos acerca de qué son los paneles solares, los orígenes, breve descripción del funcionamiento y sus aplicaciones. La tercera parte contiene los temas concernientes a la programación, recopilación, representación gráfica, análisis de datos y la aplicación del sistema de adquisición de datos a los paneles solares.

El sistema de adquisición de datos propuesto, consta de dos partes fundamentales, la primera es el hardware, constituido principalmente por los sensores y el microcontrolador que es el cerebro del sistema. La otra parte es la interfaz gráfica, esta es una macro de Excel, es decir, una aplicación que trabaja sobre y en la hoja de cálculo. Esto transforma a Excel en una poderosa herramienta para este tipo de aplicaciones, en especial en lo que se refiere a la creación sencilla de curvas y gráficas. El desarrollo de la programación para el manejo de la interfaz se hace utilizando el lenguaje *Basic*, ofreciendo así una interfaz práctica y amigable. Además, posee la ventaja que con conocimientos mínimos, puede ser modificado para otras aplicaciones.

OBJETIVOS

General

Proponer un sistema de adquisición de datos en tiempo real para la medición de voltaje en función de la temperatura en los paneles solares, basado en un microcontrolador.

Específico

1. Exponer los fundamentos de los sistemas de adquisición de datos.
2. Demostrar que la adquisición de datos en tiempo real permite llevar a cabo un control eficaz sobre los procesos.
3. Dar a conocer los diferentes tipos de sistemas de adquisición de datos y criterios de selección.
4. Demostrar que con la implementación de sensores apropiados, el microcontrolador se convierte en una potente herramienta de investigación.
5. Dar a conocer las ventajas y desventajas que se obtienen con un sistema de adquisición de datos basado en microcontrolador.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la energía ha pasado a ser parte importante para cualquier cosa que se realiza y cualquier cosa que se utiliza, todo necesita energía. Debido a este aumento de uso de energía muchas personas han optado por buscar energías alternativas y los paneles solares se están convirtiendo en una solución.

Los paneles solares son los encargados de transformar la energía solar en energía eléctrica y muchas veces resulta de vital importancia realizar ensayos sobre dichos paneles, ya sea para conocer su voltaje, corriente, potencia, temperatura, etcétera. Para llevar a cabo un control eficaz sobre dicho proceso, se hace necesario captar y almacenar una serie de datos para posteriormente, analizarlos, tratarlos y llevar a cabo una presentación clara y eficaz de la evolución del proceso, esto implica la necesidad de una serie de módulos electrónicos que permitan realizar dicha tarea en forma totalmente automática, y que además representen bajo costo comparado con los similares del mercado y dada la posibilidad de realizar ensayos en campo, el sistema debe ser de simple instalación y fácil traslado.

El avance de la tecnología ha propiciado la aparición de nuevos sistemas capaces de dar solución a problemas de monitoreo y control de procesos, estos son los llamados sistemas de adquisición de datos (SAD), estos equipos permiten tomar muestras del mundo real y convertirlas en datos.

Los beneficios proporcionados por estos sistemas son la posibilidad de realizar las tareas en tiempo real o en análisis posteriores, capacidad de almacenamiento de datos, rápido acceso a la información, adquisición de gran cantidad de datos para analizar. La obtención de datos precisos y fiables conlleva a mejorar la toma de decisiones y al éxito de los procesos.

Con base en lo expuesto anteriormente, se pretende implementar un sistema de adquisición de datos (SAD) que reúna las características antes mencionadas y que además brinde una interfaz amigable y práctica.

1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS (SAD)

1.1. Descripción de un SAD

En la actualidad, el creciente desarrollo de la electrónica ha permitido la creación de sistemas inteligentes que son capaces de resolver los más diversos problemas concernientes al monitoreo y control de procesos, estos son los llamados sistemas de adquisición de datos.

Un sistema de adquisición de datos o también llamado adquisición de señales es un equipo que permite tomar señales físicas del entorno y convertirlas en datos que posteriormente se pueden procesar y presentar, los datos son obtenidos básicamente de dos maneras:

- Aquellos que se originan a partir de la medición directa de cantidades eléctricas, que pueden incluir voltajes de cd y ca, frecuencia, resistencia entre otras; usualmente suelen hallarse en las áreas de prueba de componentes electrónicos, estudios ambientales y trabajos de control de calidad.
- Señales que se originan directamente de transductores, como galgas extensiométricas y termopares entre otros.

Generalmente, los datos o variables que se recolectan tienen un carácter analógico, mientras que su tratamiento, almacenamiento y análisis son mucho más eficaces cuando se hace digitalmente. Esto implica el uso de una serie de módulos electrónicos que permitan llevar a cabo una transformación de los datos desde el campo analógico al campo digital, sin que por ello se deban perder aspectos fundamentales para el proceso que se desea controlar.

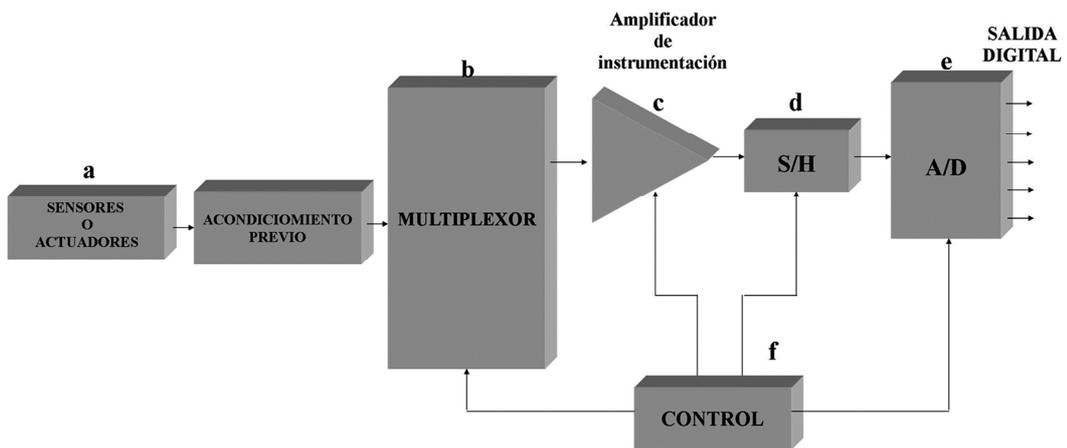
El diseño de un SAD implica considerar las partes que lo integran y sus tareas respectivas. La identificación de cada una de las partes que integran a un sistema electrónico se hace por medio de determinados niveles, que puede ser a nivel de transistor, de componentes, de circuito o de subsistema. El diseñador de circuitos integrados debe situarse a nivel de transistor; su sistema final es un circuito integrado. El diseñador de circuitos basados en elementos discretos se sitúa a nivel de componente; su sistema final es un circuito impreso. El diseñador de equipos electrónicos se sitúa a nivel de subsistemas en forma de circuitos impresos o módulos; su sistema final es el equipo o instrumento.

En un nivel superior están los diseñadores de sistemas de tratamiento de datos, comunicación, medida o control, quienes emplean elementos en forma de equipos o tarjetas de circuito impreso para realizar su trabajo. En el presente trabajo de graduación el objetivo es el análisis y el diseño de un SAD a nivel de componentes y subsistemas y para ello, es necesario conocer los componentes básicos de estos.

1.2. Elementos que componen a un SAD

Un Sistema de Adquisición de Datos no es más que un equipo electrónico cuya función es el control o simplemente el registro de una o varias variables de un proceso cualquiera, siendo su estructura general la mostrada en la figura 1.

Figura 1. Diagrama de bloques de un SAD genérico



Fuente: elaboración propia.

Algunos de los elementos que forman el diagrama de bloques del SAD, se estudiarán con más detalle en posteriores capítulos, aunque no está de más ofrecer a continuación una breve descripción de cada uno de los bloques.

- Sensores o transductores: son los encargados de convertir la variable física a medir en señal eléctrica. Esta señal eléctrica suele ser de muy bajo nivel, por lo que generalmente se requiere de un acondicionamiento previo, consiguiendo así, niveles de tensión o corriente adecuados para el resto de los módulos del SAD.

- Multiplexor: este módulo o circuito se encarga de seleccionar la señal de entrada que va a ser tratada en cada momento. En el caso de que solamente se desee tratar con una señal (SAD monocanal), este circuito no sería necesario.
- Amplificador de instrumentación: la función de este bloque es amplificar la señal de entrada del SAD para acoplarse de la mejor manera posible al convertidor A/D (ADC) consiguiéndose de esta forma máxima resolución.
- S&H (*Sample & Hold*, muestreo y retención): este circuito es el encargado de tomar la muestra del canal seleccionado (*sample*) y mantenerla (*hold*) durante el tiempo que dura la conversión. Este circuito será necesario siempre que la señal de entrada sufra variaciones apreciables durante el tiempo que dura la conversión. Si el ADC posee su propio circuito S&H, no será necesario añadirlo a su entrada.
- ADC (Convertidor A/D): se encarga de realizar la conversión analógico/digital, proporcionando un código digital de salida que representa el valor de la muestra adquirida en cada momento. Es uno de los módulos fundamentales en cualquier SAD y sus características pueden condicionar al resto de los módulos/circuitos del sistema.
- Control: circuitería encargada de controlar todo el flujo de datos entre los distintos bloques incluyendo la temporización de las conversiones del bloque A/D (ADC).

1.3. Clasificación de sistemas SAD

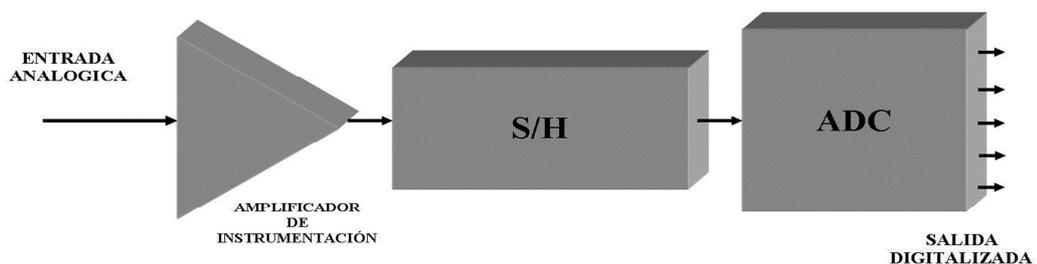
A partir del diagrama de bloques de un SAD genérico mostrado en la figura 1 se puede considerar diversas alternativas de organización cuando hay varios canales de entrada o salida o cuando exista la posibilidad de distribuir la capacidad de procesamiento (que determina, entre otras características, la velocidad del sistema).

De acuerdo con el número de canales de entrada o salida, los SAD pueden clasificarse en monocanales y multicanales.

1.3.1. SAD monocanales

La configuración más general corresponde al diagrama de bloques de la figura 2. La señal procedente de la fuente de información (cuya obtención se realizará por medio de sensores apropiados con sus correspondientes acondicionadores de señal) es aplicada a la entrada del circuito amplificador de instrumentación, el cual adaptará el nivel analógico de la entrada al margen dinámico del ADC.

Figura 2. Diagrama de bloques de un SAD monocal



Fuente: elaboración propia.

Como puede observarse en la figura 2, el SAD monocanal solamente puede adquirir una señal de entrada, lo que permite optimizar su configuración para un tipo concreto de entrada analógica. Para este tipo de sistema no es necesario un bloque de multiplexación.

1.3.2. SAD multicanal

Cuando hay varios canales de entrada, es frecuente que compartan un recurso común, por ejemplo, el procesador o varios recursos comunes, por ejemplo toda la cadena de bloques de medida excepto el sensor. Hace falta entonces un conmutador para ir asignando a cada canal, de forma secuencial o arbitraria, el recurso compartido. Normalmente se usa un multiplexor, que es un conjunto de interruptores que tienen una de sus terminales en común.

Entonces para un SAD multicanal la configuración a utilizar vendrá, en muchos casos impuesta por:

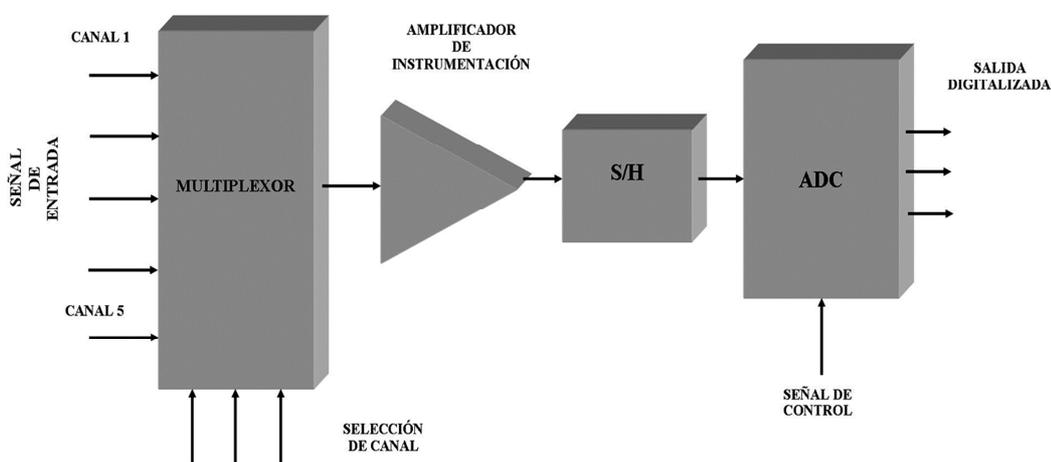
- Características de las señales analógicas de entrada (frecuencia, periodicidad, etcétera).
- Información que se desee obtener de las señales
- Velocidad de conversión
- Costo, etcétera

En un SAD multicanal pueden existir distintas configuraciones en función de cómo se realice la distribución de los módulos en el sistema. Esta distribución dependerá de las necesidades de cada aplicación en particular.

1.3.2.1. SAD multicanal con muestreo secuencial de canales

Es la configuración que menos componentes precisa y por consiguiente la más económica de entre los multicanal. Su estructura se muestra en la figura 3.

Figura 3. SAD multicanal con muestreo secuencial de canales



Fuente: elaboración propia.

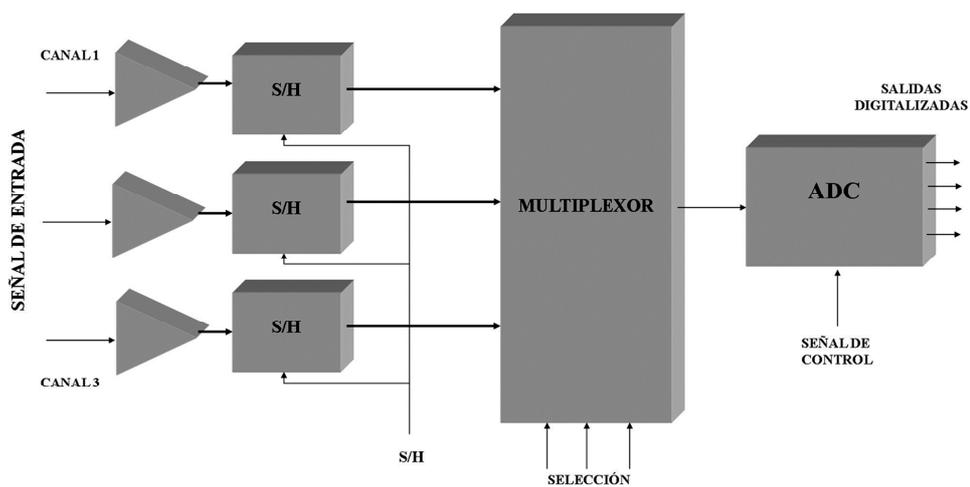
El funcionamiento del circuito es bastante sencillo, una vez que se selecciona el canal de entrada del multiplexor y se fija la ganancia del amplificador de instrumentación, el circuito muestreo-retención (S/H) pasa a modo muestreo hasta que adquiere una muestra de la señal, momento en el que pasa al modo retención, dándose al ADC la orden de inicio de conversión. Una vez transcurrido el tiempo de conversión el ADC lo indica mediante la señal fin de conversión, repitiéndose de nuevo todo el proceso anterior, ya sea con el mismo canal o bien con otro distinto.

Esta configuración permite que durante el tiempo de conversión de un canal, se puede estar seleccionando en el multiplexor, simultáneamente, el siguiente canal a muestrear. Así, el tiempo de establecimiento del multiplexor no influirá en la velocidad de adquisición final del SAD, siempre y cuando dicho tiempo sea menor que el tiempo de conversión del ADC.

1.3.2.2. SAD multicanal con muestreo simultáneo de canales

Esta configuración se muestra en la figura 4 y presenta la ventaja de que todos los circuitos muestreo-retención (S/H) de entrada conmutan simultáneamente a modo retención, manteniendo el valor de la muestra de cada señal de entrada hasta que el ADC pueda realizar la conversión, cosa que no es posible con el modelo de muestreo secuencial.

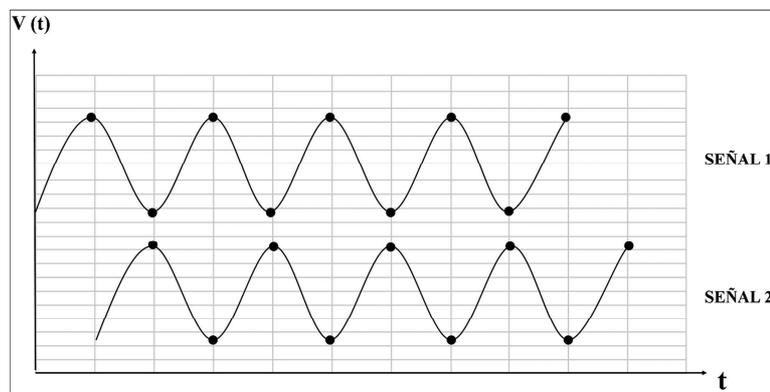
Figura 4. SAD multicanal con muestreo simultáneo de canales



Fuente: elaboración propia.

Las muestras se toman simultáneamente, ya que cada canal tiene su propia circuitería (n° de bloques S/H = n° de canales) esto representa un aumento en el costo. Un ejemplo de muestreo simultáneo se puede observar en la figura 5.

Figura 5. **Muestreo simultáneo**



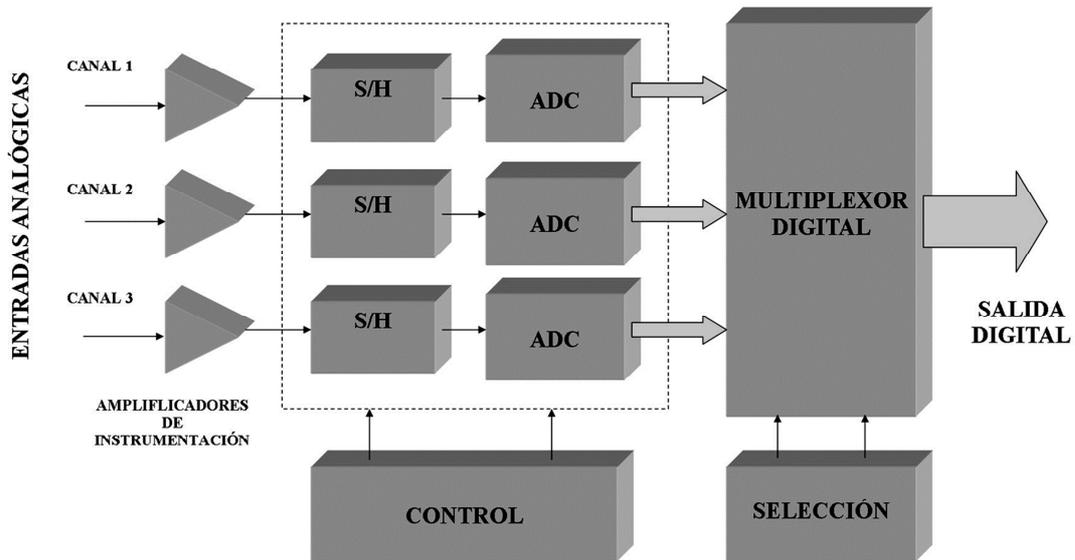
Fuente: elaboración propia.

1.3.2.3. **SAD multicanal paralelo**

En este caso se puede decir que cada canal constituye un SAD independiente con todos los elementos necesarios para realizar una conversión A/D completa, con la aclaración de que al utilizar, generalmente, un sólo canal digital de salida es necesario incluir un multiplexor digital.

La configuración de un SAD multicanal paralelo es la mostrada en la figura 6 y en ella se puede observar que ofrece una gran flexibilidad, ya que cada canal puede ser adaptado de forma independiente, según las necesidades requeridas por la señal a adquirir (ganancia del amplificador, velocidad de adquisición, etcétera).

Figura 6. **SAD multicanal paralelo**



Fuente: elaboración propia.

Otra ventaja adicional es que la velocidad del sistema se optimiza notablemente, ya que pueden realizarse simultáneamente varias conversiones. Como inconveniente fundamental cabe destacar su alto costo y el número de parámetros a controlar en cada instante.

1.4. **Parámetros característicos de un SAD**

Los parámetros que caracterizan a un SAD son básicamente tres: número de canales, exactitud de la conversión y velocidad de muestreo (número de muestras por unidad de tiempo, *throughput rate*).

- Número de canales: depende del número de señales a adquirir.

- Exactitud de la conversión: viene dada por los circuitos utilizados, es decir, multiplexores, amplificadores, muestreo-retención (S/H) y ADC, esencialmente. Así, cada uno de estos circuitos o módulos deben poseer de los requerimientos mínimos que a continuación se describen:
 - Multiplexor: debe poseer baja resistencia de conducción y constante en el margen de variación de las señales de entrada. Y una respuesta rápida.
 - Amplificador: tensiones y corrientes mínimas de *offset*. Tiempo de establecimiento pequeño, aún con altas ganancias. Amplio margen para programar la ganancia.
 - Muestreo-Retención: pequeña tensión *offset*. Máxima velocidad de caída en modo retención, siempre y cuando la tensión a la salida del muestreo-retención (S/H) esté constante el tiempo necesario para que el ADC la digitalice. Tiempos de apertura, de adquisición y de asentamiento mínimos.
 - ADC: alta resolución. Mínimo tiempo de conversión. Error de linealidad y de ganancias pequeños.
- Velocidad de muestreo (*throughput rate*): este parámetro especifica la velocidad a la que el SAD puede adquirir y almacenar muestras de las entradas. Las muestras pertenecerán a un único canal o a varios, según la configuración.

En general se debe identificar el *throughput rate* con el número de muestras por unidad de tiempo que pueden obtenerse de un canal. Los cuatro factores principales a tener en cuenta son, tiempo de:

- Establecimiento del multiplexor
- Establecimiento del amplificador
- Adquisición del muestreo-retención
- Conversión del ADC

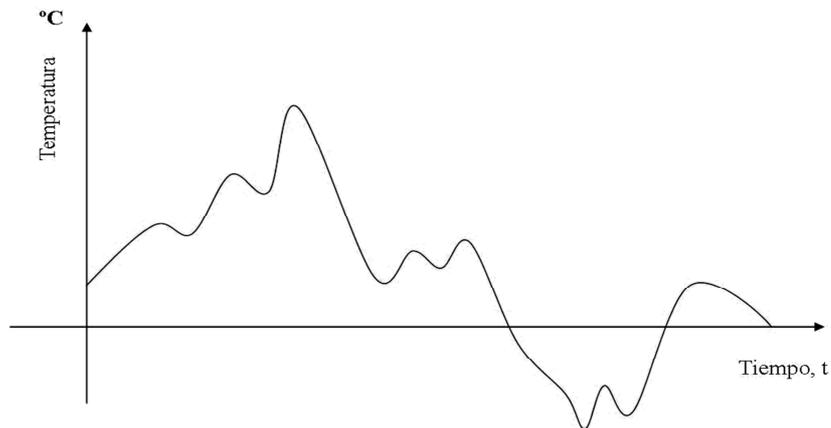
Hasta que la muestra adquirida llega al convertidor, pasa a través de un multiplexor, de un amplificador de instrumentación de ganancia programable y finalmente por un muestreo-retención. Cada elemento de esta cadena requiere un corto período de tiempo de establecimiento para conseguir su mejor precisión. Por tanto, cuando se calcula la máxima velocidad de muestreo del sistema, se debe incluir el efecto de todos estos elementos y no sólo el tiempo de conversión del ADC.

2. SEÑALES Y SISTEMAS

2.1. Señales

Una señal es cualquier fenómeno que puede ser representado de manera cuantitativa mediante una función continua o discreta. Las señales contienen información acerca de varias cosas y actividades del mundo físico, el contenido de información de la señal está representado por los cambios en su magnitud a medida que pasa el tiempo, entonces una señal es una cantidad que varía con el tiempo y que puede ser representada gráficamente como se ilustra en la figura 7.

Figura 7. Representación gráfica de una señal



Fuente: elaboración propia.

Como ejemplos de señales se pueden mencionar: la variación de la temperatura máxima tomada diariamente en una estación meteorológica, la velocidad y dirección del viento. La intensidad de luz y una multitud de otras fuentes de señales. De hecho, la lista de lo que constituye una señal es casi interminable.

Cuando la función depende de una sola variable, se dice que la señal es unidimensional. Una señal de voz es un claro ejemplo de una señal unidimensional cuya amplitud varía con el tiempo. Cuando la función depende de dos o más variables, se dice que la señal es multidimensional. Una imagen es un ejemplo de una señal bidimensional, representando con las coordenadas horizontal y vertical de la imagen con las dos dimensiones.

Las señales no tienen significado sin sistemas que las interpreten y los sistemas no son útiles sin señales que procesar. Para extraer la información necesaria a partir de un conjunto de señales, se necesita procesar las señales de alguna manera predeterminada. Este procesamiento de señales es ejecutado de modo más conveniente por sistemas electrónicos pero, para que esto sea posible, la señal debe ser convertida primero en una señal eléctrica, es decir, un voltaje o una corriente. Este proceso se realiza mediante dispositivos apropiados llamados transductores.

2.2. Clasificación de señales

La señal eléctrica se define como una variación de los valores de un voltaje o una corriente en el tiempo y para clasificar las señales eléctricas se toma en cuenta la manera en que se produce la variación y su respuesta gráfica.

En función de la manera en que se produce la variación, las señales eléctricas utilizadas para representar información se clasifican en analógicas y digitales.

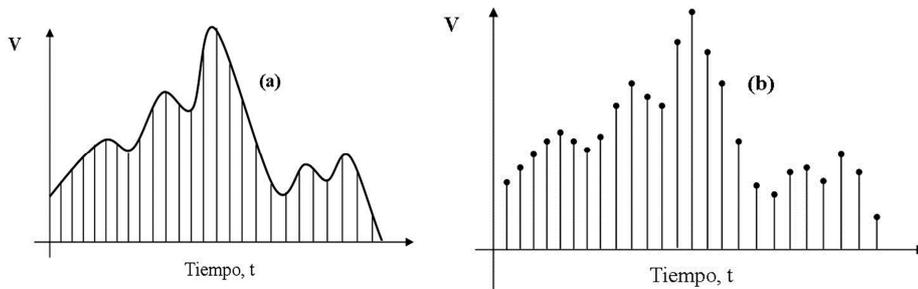
2.2.1. Señales analógicas

El nombre se deriva del hecho de que esta señal es análoga a la señal física que representa. Una señal $x(t)$ se dice que es una señal en tiempo continuo si está definida para todo tiempo t . La figura 7 representa un ejemplo de una señal en tiempo continuo cuya amplitud o valor varía continuamente con el tiempo. Las señales analógicas surgen naturalmente cuando una forma de onda física tal como una onda luminosa se convierte en una señal eléctrica, por ejemplo, una fotocelda convierte las variaciones de intensidad luminosa en las correspondientes variaciones de voltaje o corriente.

2.2.2. Señales digitales

Una forma alternativa de representación de señal es la de una secuencia de números, cada uno de los cuales representa la magnitud de la señal en un instante determinado. La señal resultante se denomina señal digital. Para ver como se puede representar una señal de esta forma, es decir, cuál es la forma en que las señales se pueden convertir de forma analógica a digital, ver la figura 8 (a). Aquí la curva representa una señal de voltaje con intervalos iguales a lo largo del eje del tiempo, en cada uno de estos instantes se mide la magnitud de la señal, proceso conocido como muestreo. En la figura 8 (b) es una representación de la figura 8 (a) en términos de sus muestras. La figura 8 (b) está definida sólo en los instantes de muestreo; ya no es una función continua de tiempo sino que, más bien, es una señal de tiempo discreta.

Figura 8. **Muestreo de señales (a) Señal continua (b) Señal muestreada**

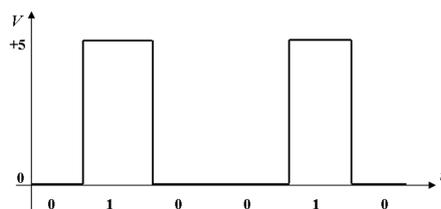


Fuente: elaboración propia.

Como quiera que sea, como la magnitud de cada muestra puede tomar cualquier valor en un intervalo continuo, la señal de la figura 8 (b) es todavía una señal analógica.

Ahora bien, si se representa la magnitud de cada una de las muestras de señal de la figura 8 (b) por un número que tenga un número finito de dígitos, entonces la amplitud de señal ya no será continua y se dice que está digitalizada. La señal digital resultante entonces es simplemente una secuencia de números que representa las magnitudes de las muestras sucesivas de la señal. En la figura 9 se muestra la variación de tiempo de tal señal digital.

Figura 9. **Señal digital**



Fuente: elaboración propia.

2.3. Operaciones con señales

Un aspecto de fundamental importancia en el estudio de señales y sistemas es el uso de sistemas para procesar o manipular señales.

Existe una gran diversidad de operaciones que se pueden aplicar a las señales tanto analógicas como digitales, pero, el propósito de esta sección consiste en presentar las ideas y los conceptos necesarios para que se entienda lo que es una señal y un sistema, así como la manera en que interactúan. En el capítulo de acondicionamiento de señales se verá con más detalle el tema de las señales. A continuación alguna de las operaciones básicas que se pueden aplicar a las señales:

2.3.1. Amplificación de señales

Considerando que $x(t)$ representa una señal en tiempo continuo. La $y(t)$ resultante de la amplificación de amplitud aplicado a $x(t)$ se define mediante

$$y(t) = C \cdot x(t) \quad (1)$$

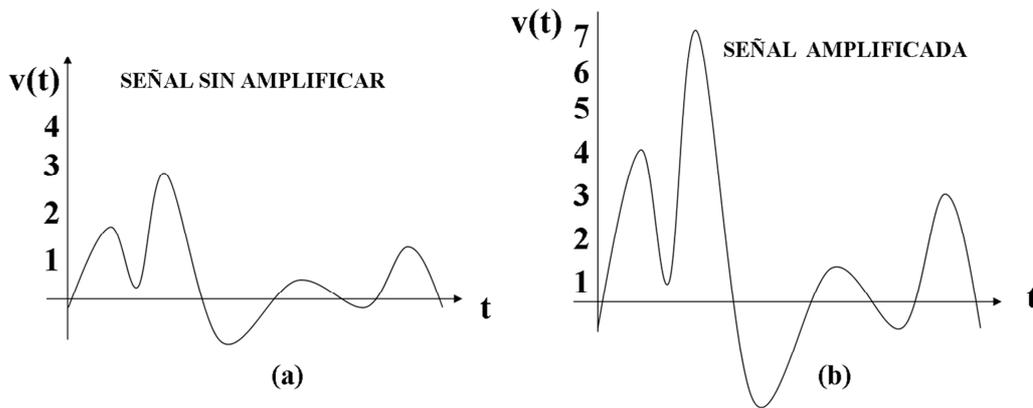
donde C es el factor de escala. De acuerdo con la ecuación (1), el valor de $y(t)$ se obtiene multiplicando el valor correspondiente de $x(t)$ por el escalar C . Un ejemplo físico de un dispositivo que realiza escalamiento de amplitud es un amplificador electrónico. Un resistor efectúa también escalamiento de amplitud cuando $x(t)$ es una corriente, C es la resistencia y $y(t)$ es el voltaje de salida.

De manera similar a la ecuación (1), para señales en tiempo discreto se escribe.

$$y[n] = cx[n] \quad (2)$$

En la figura 10 (a) se muestra una señal sin amplificar y la figura 10 (b) muestra una señal amplificada.

Figura 10. **Amplificación de señales**



Fuente: elaboración propia.

2.3.2. Suma de señales

Considere que $x_1(t)$ y $x_2(t)$ denotan un par de señales en tiempo continuo. La señal: $y(t)$ obtenida por la suma de $x_1(t)$ y $x_2(t)$ está definida por

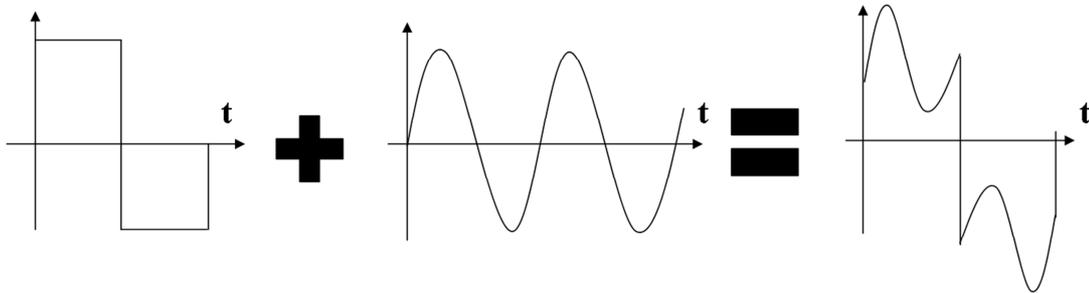
$$y(t) = x_1(t) + x_2(t) \quad (3)$$

Un ejemplo físico de un dispositivo que suma señales es un mezclador de audio, el cual combina señales de música y voz.

De modo similar a la ecuación (3), para señales en tiempo discreto se escribe.

$$Y[n] = x_1[n] + x_2[n] \quad (4)$$

Figura 11. **Suma de señales**



Fuente: elaboración propia.

2.3.3. **Multiplicación de señales**

Sean $x_1(t)$ y $x_2(t)$ un par de funciones de señales en tiempo continuo. La señal $y(t)$ resultante de la multiplicación de $x_1(t)$ y $x_2(t)$ está definida por

$$y(t) = x_1(t) \cdot x_2(t) \quad (5)$$

Es decir, en cada tiempo prescrito t el valor de $y(t)$ está dado por el producto de los valores correspondientes de $x_1(t)$ y $x_2(t)$. Un ejemplo físico de $y(t)$ es una señal de radio de AM, en que $x_1(t)$ consta de una señal de audio más una componente de dc, y $x_2(t)$ está compuesta por una señal senoidal llamada onda portadora.

De manera similar a la ecuación (5), para señales en tiempo discreto se escribe.

$$y[n] = x_1[n] \cdot x_2[n] \quad (6)$$

2.4. Sistemas

Se denomina sistema a la combinación de dos o más elementos, subconjuntos y partes necesarias para realizar una o varias funciones, produciendo de ese modo nuevas señales. Se debe pensar en un sistema como una caja que posee una entrada y una salida y de la cual no va a interesar su contenido, sino que únicamente la relación que existe entre la entrada y la salida. Las descripciones de las señales de entrada y salida dependen de la aplicación propuesta del sistema. En este trabajo se habla específicamente de los sistemas de medición y los sistemas de control.

2.4.1. Sistemas de medición

Un sistema de medición se podría considerar como una caja negra que se utiliza para medir. Su entrada es la magnitud que se desea medir y su salida es el valor correspondiente a dicha magnitud de entrada. Considerar como ejemplo un termómetro digital, la señal de entrada va ser la temperatura y su salida va ser un número en una pantalla que represente la magnitud de dicha temperatura. En general, puede decirse que los sistemas de medición están formados por tres elementos como se puede ver en la figura 12.

Figura 12. Sistema de medición



Fuente: elaboración propia.

2.4.2. Sistemas básicos de control

Los sistemas de control son aquellos dedicados a obtener la salida deseada de un sistema o proceso. En un sistema general se tienen una serie de entradas que provienen del sistema a controlar, llamado planta y se diseña un sistema para que a partir de estas entradas, modifique ciertos parámetros en el sistema planta con lo que las señales anteriores volverán a su estado normal ante cualquier variación. Existen dos principales tipos de sistemas de control, los sistemas de lazo abierto y los sistemas de lazo cerrado.

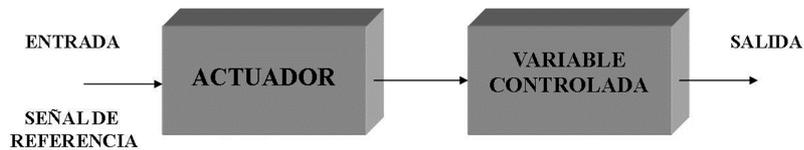
2.4.2.1. Sistema de lazo abierto

Es aquel sistema en que sólo actúa el proceso sobre la señal de entrada y da como resultado una señal de salida independiente a la señal de entrada, pero basada en la primera. Esto significa que no hay retroalimentación hacia el controlador para que este pueda ajustar la acción de control. Es decir, la señal de salida no se convierte en señal de entrada para el controlador. Estos sistemas se caracterizan por:

- Ser sencillos y de fácil concepto
- Nada asegura su estabilidad ante una perturbación
- La salida no se compara con la entrada
- Puede ser afectado por las perturbaciones
- La precisión depende de la previa calibración del sistema

La figura 13 representa un diagrama a bloques para un sistema de lazo abierto. Una señal entrada de referencia o señal de control, excita un actuador que opera sobre la variable controlada generando así una señal de salida.

Figura 13. **Sistema de lazo abierto**



Fuente: elaboración propia.

La magnitud en la señal de salida, depende de la magnitud de la señal de entrada de referencia. Aunque la señal de salida depende en forma directa de la entrada, la magnitud de salida puede estar variando debido a los cambios externos o internos del sistema.

Por ejemplo, en un sistema de calefacción para una habitación, el aumento constante de la temperatura que genera el calentador, producirán a su vez cambios en la temperatura de la habitación. Sin embargo, la temperatura real dependerá de la temperatura ambiente fuera de la habitación, es decir, si las puertas y ventanas de la habitación se encuentran abiertas o cerradas.

2.4.2.2. Sistema de lazo cerrado

Son los sistemas en los que la acción de control está en función de la señal de salida. Los sistemas de lazo cerrado usan la retroalimentación desde un resultado final para ajustar la acción de control. El control en lazo cerrado es necesario cuando se da alguna de las siguientes circunstancias:

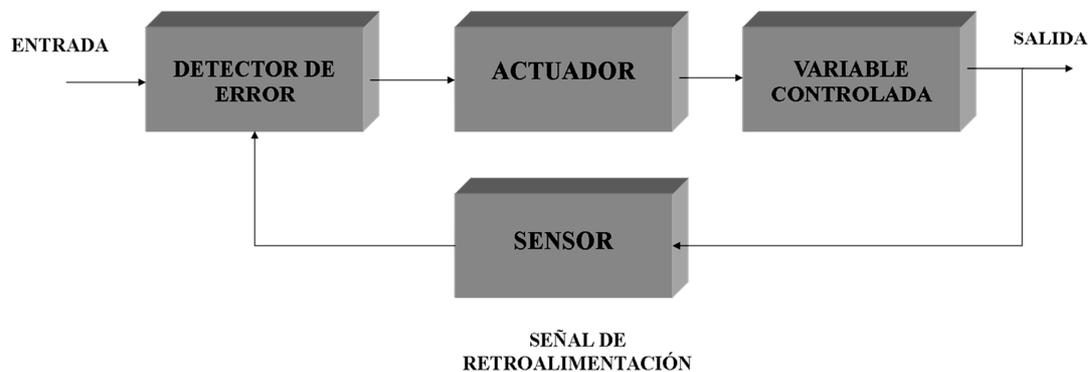
- Cuando un proceso no es posible de regular por el hombre.
- Una producción a gran escala que exige grandes instalaciones y el hombre no es capaz de manejar.
- Vigilar un proceso es especialmente duro en algunos casos y requiere una atención que el hombre puede perder fácilmente por cansancio o despiste, con los consiguientes riesgos que ello pueda ocasionar al trabajador y al proceso.

Las características de un sistema de lazo cerrado son:

- Ser complejos, pero amplios en cantidad de parámetros.
- La salida se compara con la entrada y ajusta la acción de control del sistema.
- Su propiedad de retroalimentación.
- Son más estables a perturbaciones y variaciones internas.

La figura 14 muestra un diagrama de bloques básico de un sistema de lazo cerrado, está construido de una cadena de eventos continuos y una cadena de retroalimentación.

Figura 14. Sistema de lazo cerrado



Fuente: elaboración propia.

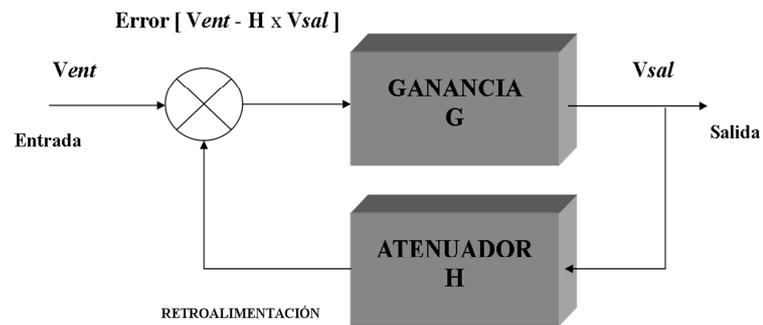
Este sistema compara el valor real de la señal de salida con el valor que se desea imponer, utilizando la diferencia (error) entre ellas para modificar la señal de salida en un sentido tal que la salida de error tienda a desaparecer.

De esta forma el sistema tiende a mantener una magnitud de salida constante para una señal de referencia fija. La señal de retroalimentación se resta de la señal referencia, obteniendo la señal de error, razón por la cual el sistema tiene una retroalimentación negativa.

La señal de referencia necesaria para una señal de salida deseada, deberá ser superior para que la operación correspondiente no genere una retroalimentación negativa, reduciendo así, la ganancia global del sistema.

A continuación se presenta un conjunto de ecuaciones que caracterizan a un sistema de lazo cerrado.

Figura 15. Ecuaciones para sistemas de lazo cerrado



Fuente: elaboración propia.

Factor de atenuación: H

Señal error: $E = V_{ent} - H \times V_{sal}$

Salida: $V_{sal} = G (V_{ent} - H \times V_{sal}) = G \times V_{ent} - G \times H \times V_{sal}$

$$\frac{V_{sal}}{V_{ent}} = \frac{G}{1+GH}$$

$$\text{Ganancia} = \frac{G}{1+GH}$$

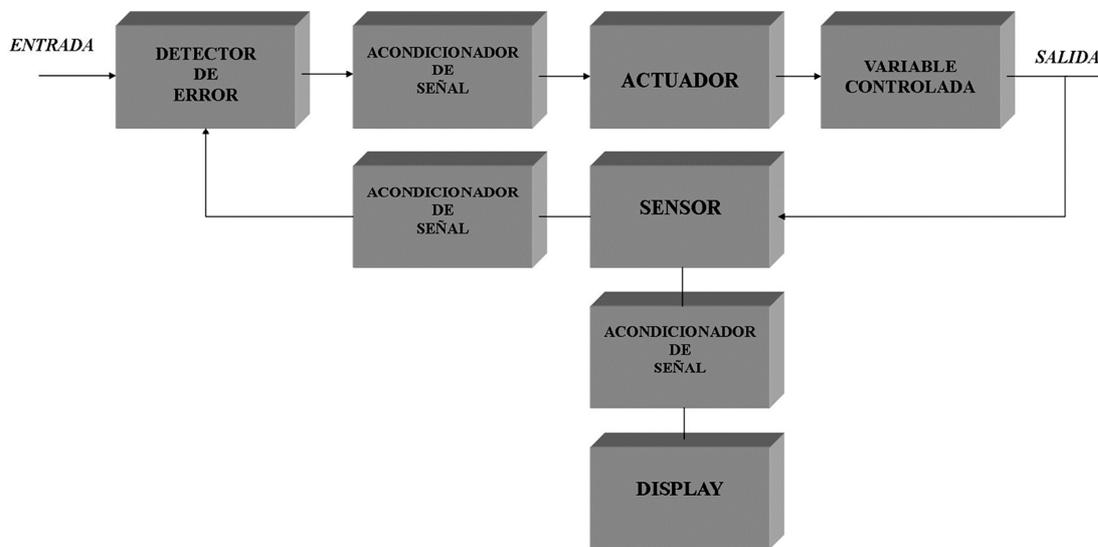
En caso de que la ganancia se haga muy grande, la ecuación resultante se reduce a:

$$\text{Ganancia} = \frac{G}{GH} = \frac{1}{H} \quad \text{Para } G \gg 1$$

Por tanto, la ganancia sólo depende del factor de atenuación H, en la retroalimentación.

La figura 16 muestra el diagrama a bloques de sistema práctico de lazo cerrado. Se aprecia el bloque acondicionador de señal en diversos puntos, por ejemplo, entre el detector de error y el actuador, entre el sensor de salida y el detector de error y entre el *display* y el sensor.

Figura 16. **Sistema práctico de lazo cerrado**



Fuente: elaboración propia.

La razón del acondicionador de señal es estos intervalos, es válida porque permite acoplar dichas etapas a través de amplificar, filtrar o convertir (analógico/digital AC/DC etcétera) su señal de salida, adecuándola a la siguiente entrada, con la finalidad de obtener mayor exactitud a la salida.

En particular, los procesos industriales pueden tener más de una variable controlada, como consecuencia, cada variable tendrá su propio sistema de control a lazo cerrado. La variable controlada puede ser:

- Posición (angular o lineal)
- Temperatura
- Presión
- Flujo de aire
- Humo
- Velocidad
- Aceleración
- Nivel de luminosidad

El sistema de control puede manejarse usando principios de neumática, hidráulica o eléctrica, valiéndose de sensores que midan la variable controlada y entreguen una señal de salida adecuada al sistema en uso.

Usualmente, debe realizarse una conversión entre los diversos sistemas de energía. El dispositivo capaz de realizar la conversión es el transductor que es un sensor de entrada y los actuadores son de salida.

3. MEDIDA Y ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES

3.1. Sistemas de medida

Un sistema de medida es una combinación de varios elementos ordenados de tal forma que puedan realizar la función de adquirir datos, procesar dicha información y presentarla de tal forma que puedan ser percibidos de una manera entendible, para ello, se necesita de elementos capaces de acondicionar la señal para las etapas en el sistema de medida.

Los acondicionadores de señal o adaptadores, en forma general, son los elementos del sistema de medida que ofrecen, a partir de la señal de salida de un sensor, una señal apta para ser presentada, registrada o que simplemente permita un procesamiento posterior. Estos elementos consisten normalmente en circuitos electrónicos que ofrecen, entre otras funciones, las siguientes:

- Amplificación
- Filtrado
- Adaptación de impedancias
- Multiplexación
- Cuantificación y codificación

3.2. Sensores

Un sensor es un dispositivo eléctrico o mecánico capaz de convertir magnitudes físicas a valores medibles de dicha magnitud, en el mundo de la electrónica existen infinidad de sensores y transductores, acá no se va a mencionar específicamente cada uno de ellos, sino que se van a tratar de forma general. Para conocer el funcionamiento de los sensores es necesario estudiar sus características generales, los siguientes términos se emplean para definir el funcionamiento de los sensores o transductores y, con frecuencia, el de los sistemas de medición como un todo.

3.3. Características y criterios de selección de sensores

La elección de un sensor va a depender en gran parte de las características de la magnitud a medir, así también las características (estáticas y dinámicas) del funcionamiento del sensor. Otro factor a considerar es el tipo de señal de salida proporcionada por el sensor, ya que va a condicionar las etapas siguientes del sistema.

3.3.1. Características estáticas

Las características estáticas definen el comportamiento en el régimen permanente de un sensor, es decir, son los valores obtenidos cuando se presentan condiciones de estado estable. Los siguientes términos se refieren a este tipo de estado.

- Rango y margen: el rango de un sensor define los límites entre los cuales puede variar la entrada. El margen son los valores máximos y mínimos para las variables de entrada y salida.

Por ejemplo, un sensor de temperatura, podría tener un rango de 0 grados Celsius a 100 grados Celsius y un margen de 100 grados Celsius.

- Error: es la diferencia entre el valor medido por el sensor y el valor verdadero de la cantidad que se mide.

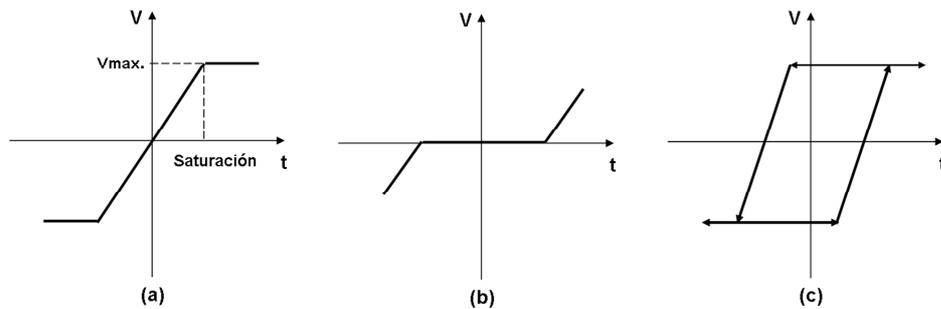
$$\text{Error} = \text{valor medido} - \text{valor real}$$

Por ejemplo, si un sistema de medición marca un valor de temperatura de 24 grados Celsius, cuando el valor real de la temperatura es de 25 grados Celsius, el error sería -1 grado Celsius, por el contrario si el valor real hubiera sido de 23 grados Celsius, entonces el error sería de +1 grado Celsius.

- Exactitud: la exactitud es el grado hasta el cual un valor producido por un sistema de medición podría estar equivocado. Es por lo tanto, igual a la suma de todos los errores posibles más el error en la exactitud de la calibración del sensor. Es común expresar la exactitud como un porcentaje de la salida a rango total o como una desviación a escala total. Por ejemplo, en el código de colores para las resistencias, la cuarta banda específica la exactitud, para una resistencia con la cuarta banda de color dorado posee una tolerancia de $\pm 5\%$, es decir, que el valor de la resistencia estará +5% y -5% del valor real.
- Sensibilidad: es la relación de cambio de la salida a cambios en la entrada. A menudo se define como la salida obtenida por unidad de entrada, es decir, salida/entrada.

- Error por no linealidad: para muchos sensores se supone que en su rango de funcionamiento la relación entre la entrada y la salida es lineal. Sin embargo, muchas veces esto no es así y la señal suele sufrir desviaciones respecto a la salida teórica lineal. Dentro de las no linealidades se pueden destacar las siguientes:
 - Saturación: este efecto se produce en determinados dispositivos en los que, una vez pasado un determinado valor de entrada, la salida deja de aumentar linealmente para estacionarse en un valor de saturación, como se muestra en la figura 17 (a).
 - Banda/tiempo muerto: la banda o espacio muerto de un sensor es el rango de valores de entrada durante los cuales no hay salida, como se muestra en la figura 17 (b).
 - Histéresis: los sensores pueden producir distintas salidas de la misma magnitud que se mide, si dicha magnitud se obtuvo mediante un incremento o una reducción de continuos. A este efecto se le conoce como histéresis, como se muestra en la figura 17 (c).
- Reproducibilidad: este término tiene el mismo significado que la repetitividad excepto que en este caso se utiliza cuando distintas medidas se realizan bajo condiciones diferentes.
- Estabilidad: es la capacidad de un determinado sensor de mostrar una misma salida en un rango en que la entrada permanece constante durante un período.

Figura 17. Errores por no linealidad. (a) Saturación, (b) Banda/tiempo muerto, (c) Histéresis



Fuente: elaboración propia.

- Resolución: cuando la entrada varía continuamente en todo el rango, las señales de salida de algunos sensores pueden cambiar a pequeños intervalos. La resolución es el cambio mínimo del valor de la entrada capaz de producir un cambio observable en la salida, es por lo tanto, la cantidad de medida más pequeña que se puede detectar.
- Impedancia de salida: cuando un sensor que produce una salida eléctrica se vincula con un circuito electrónico, es necesario conocer la impedancia de salida dado que esta se va a conectar en serie o en paralelo con dicho circuito. Al incluir el sensor, el comportamiento del sistema con el que se conecta podría modificarse de manera considerable.

3.3.2. Características dinámicas

Las características dinámicas se refieren al comportamiento entre el momento en que cambia el valor de estado estable.

Las características dinámicas se expresan en función de la respuesta ante determinadas señales de entrada. Dentro de las características dinámicas cabe mencionar las siguientes:

- Tiempo de respuesta: es el tiempo que tarda un dispositivo en alcanzar su salida nominal al ser excitado por una señal entrante.
- Constante de tiempo: es el 63% del tiempo de respuesta, es una medida de la inercia del sensor y de que tan pronto reaccionará a los cambios en su entrada; cuanto mayor sea la constante de tiempo más lenta será su reacción ante una señal de entrada variable.
- Tiempo de subida: es el tiempo que requiere la salida para llegar a un porcentaje especificado de la salida en estado estable. Es común que el tiempo de subida se refiera al tiempo que tarda la salida en subir de 10% a 90% o 95% del valor en estado estable.
- Tiempo de estabilización: es el tiempo que tarda la salida en estabilizarse a un porcentaje de un valor determinado, por ejemplo, 2% del valor en estado estable.

3.4. Amplificación de señales

Como habrá quedado claro, la primera tarea a realizar por el acondicionador de señal, será amplificar las señales débiles entregadas por el sensor, hasta niveles utilizables por el resto de la cadena de medida. El amplificador de señales que realice esta tarea será, por lo tanto, un componente fundamental del sistema de medición.

En la actualidad la mayoría de los amplificadores para sistemas de medición se realizan utilizando amplificadores operacionales (A.O.), por su versatilidad y sencillez de utilización.

Dada la complejidad de la aplicación, se debe tener en cuenta en lo sucesivo, algunas características no ideales de los amplificadores operaciones reales que determinan sus posibilidades de amplificación en sistemas de instrumentación electrónica.

3.4.1. Selección de amplificadores operacionales

Como se verá más adelante, los amplificadores operacionales deberán tener unas u otras características especiales en función del tipo de señales a amplificar. Una posible clasificación según características es la que se ofrece a continuación:

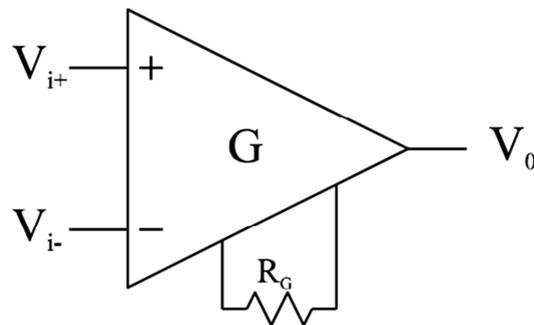
- Propósito general (bajo costo)
- Baja o muy baja corriente de polarización de entrada
- Precisión (tensión de *offset* de entrada y derivas reducidas)
- Alto ancho de banda
- Alta corriente de salida
- Bajo consumo

No obstante, es habitual que, además de las características señaladas sean necesarias otras en sistemas de instrumentación específicos.

3.4.2. Amplificador de instrumentación

Los amplificadores de instrumentación son dispositivos de precisión específicamente concebidos para la amplificación de señales de tensión diferencial débiles. La figura 18 muestra el circuito de un amplificador de instrumentación.

Figura 18. **Amplificador de instrumentación**



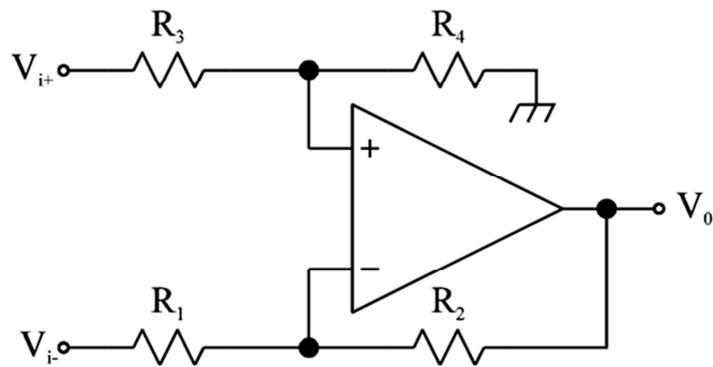
$$V_0 = G \times (V_{i+} - V_{i-})$$

Fuente: elaboración propia.

Un amplificador de instrumentación deberá reunir las siguientes características fundamentales:

- Alta impedancia de entrada
- Alto rechazo en modo común
- Precisión
- Ganancia fácilmente ajustable

Figura 19. **Amplificador de instrumentación con un A.O**



$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3} \Rightarrow V_0 = \frac{R_2}{R_1} (V_{i+} - V_{i-})$$

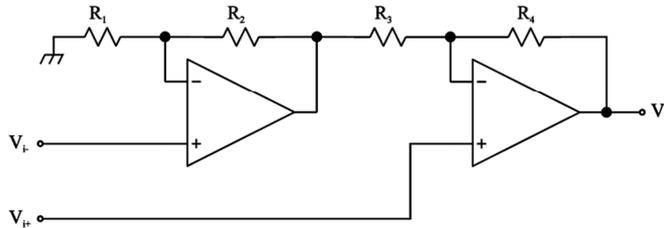
Fuente: elaboración propia.

En la figura 19 se muestra el circuito de un amplificador de instrumentación con un solo amplificador operacional. Este circuito es sencillo, pero sus características no son muy buenas:

- Impedancia de entrada media (según R1)
- Rechazo al modo común dependiente de la entrada
- Precisión, no muy buena
- La ganancia NO es fácil de ajustar

En la figura 20 se muestra el circuito de un amplificador de instrumentación basado en dos amplificadores operacionales. Utilizando dos amplificadores operacionales se puede eliminar el problema de la impedancia de entrada.

Figura 20. **Amplificador de instrumentación con dos A.O**

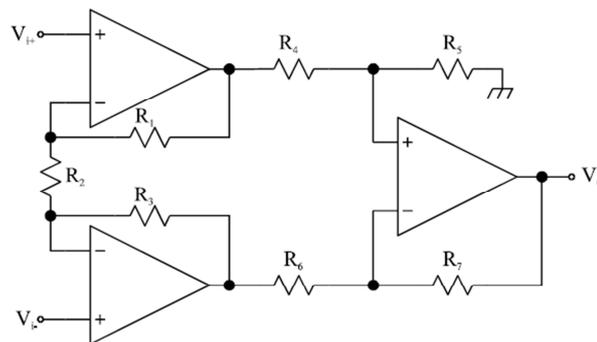


$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3} \Rightarrow V_o = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \times (V_{i+} - V_{i-})$$

Fuente: elaboración propia.

Por último, utilizando tres amplificadores operacionales, se consigue alta impedancia de entrada y la posibilidad de obtener fácilmente ganancias elevadas y variables.

Figura 21. **Amplificador de instrumentación con tres A.O**



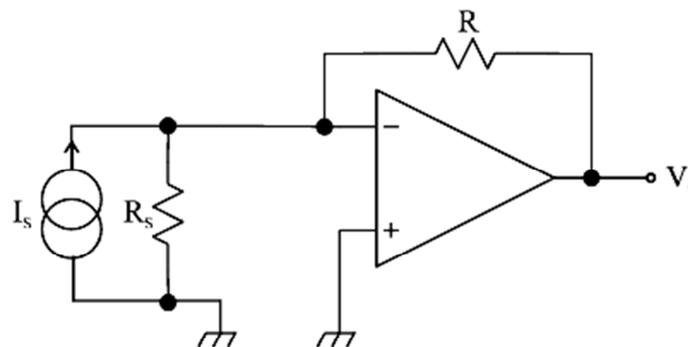
$$\frac{R_5}{R_4} = \frac{R_7}{R_6}, R_1 = R_3 \Rightarrow V_o = \frac{R_5}{R_4} \left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right) \times (V_{i+} - V_{i-})$$

Fuente: elaboración propia.

A menudo interesará utilizar los amplificadores operacionales como circuitos convertidores de señales, estos se utilizan en aquellos sensores que entregan una señal de corriente a su salida, con el fin de convertir esta señal de corriente en una señal de voltaje amplificado. Para ello, se utilizarán amplificadores de corriente activos, que deberán presentar las siguientes características.

- Baja impedancia de entrada
- Buena precisión
- Ganancia fácilmente ajustable

Figura 22. **Circuito convertidor de corriente a voltaje**



$$V_0 = -R \times I_s$$

Fuente: elaboración propia.

3.5. Filtrado de señales

Un filtro es todo dispositivo o subsistema que modifica señales, de acuerdo con su frecuencia. Los filtros se emplean para reducir interferencias, para reducir el ancho de banda del sistema, el ruido y además para atenuar determinadas señales en la entrada del sistema.

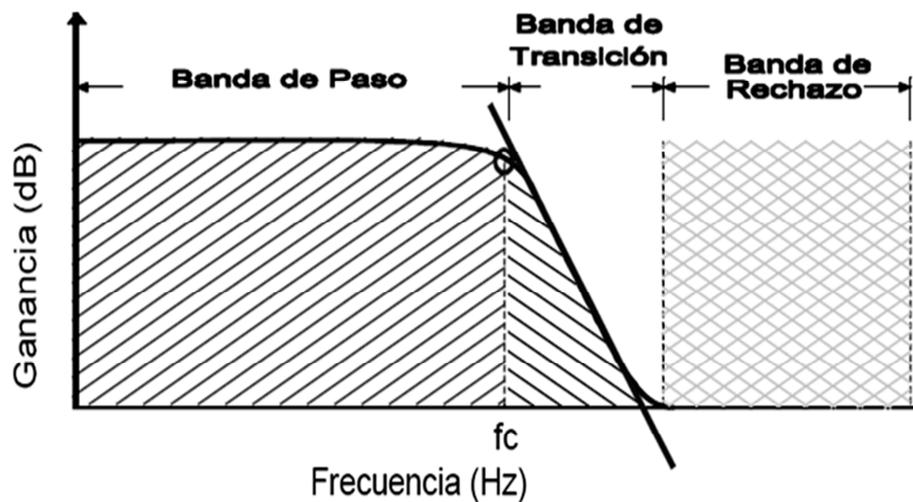
En forma general, existen dos tipos de filtros, los pasivos y los activos. El término pasivo describe un filtro en el cual sólo hay resistencias, capacitores e inductores. El término activo se refiere a un filtro en el que también hay un amplificador operacional. Los filtros pasivos tienen la desventaja de que la corriente que absorbe la siguiente etapa puede modificar la característica de frecuencia del filtro.

Antes de conocer los diferentes tipos de filtros, es necesario conocer algunas de sus características:

- Frecuencia de corte: la frecuencia de corte es el límite donde inicia o termina la efectividad de un filtro, se presenta al 70,7% del valor máximo de la banda de paso (considerando una respuesta plana al 100%). Expresado en decibeles, la frecuencia de corte está situada a 3 dB de la banda de paso.
- Banda de paso: la respuesta en frecuencia de un filtro consta básicamente de tres zonas, la zona de banda de paso, permite que las frecuencias comprendidas dentro de la misma pasen a través del filtro con atenuaciones que van desde 0 dB hasta 3 dB, siempre y cuando la respuesta de la banda se considere plana. (Figura 23).

- Banda de transición: la zona de banda de transición inicia precisamente en la frecuencia de corte y termina cuando el filtro alcanza su máxima capacidad de atenuación, este límite inferior puede variar dependiendo del diseño del filtro y de la orden del mismo. (Figura 23).

Figura 23. Puntos de operación de un filtro



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/86527509/04-Filtros-Activos>. Consulta: agosto de 2011.

- Pendiente de atenuación: la pendiente de atenuación se forma trazando una línea recta que se ajuste lo más posible a la curva descendente o ascendente (según sea el caso) que se forma en la banda de transición, esta pendiente mide la rapidez en la que atenúa el filtro y permite evaluar la eficacia del mismo y mientras más inclinada se encuentre esta, mejor será la selectividad del mismo.

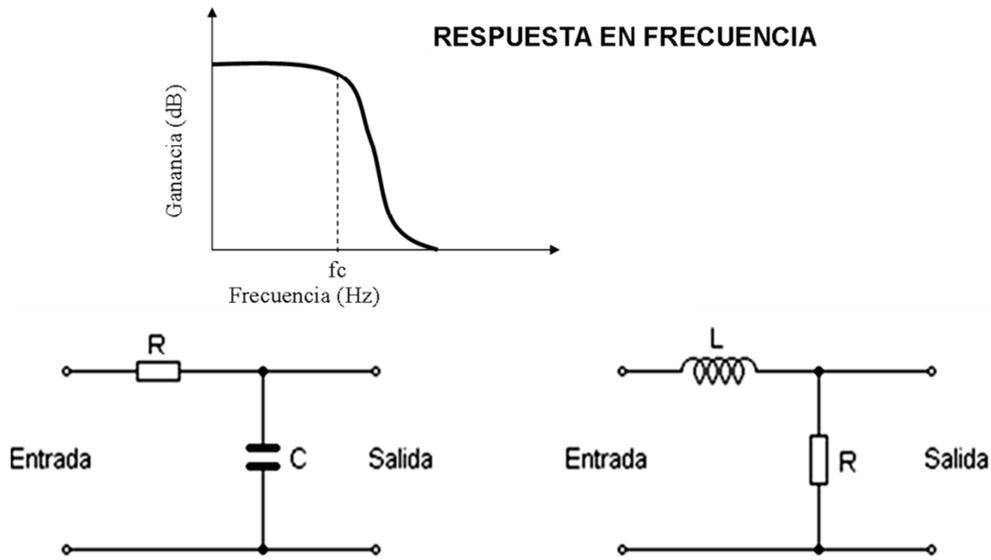
La pendiente de atenuación se mide en decibeles por octava (dB/oct) o en decibeles por década (dB/dec) y permite evaluar con que velocidad atenúa el filtro por cada octava transcurrida, en donde una octava es el doble de la frecuencia, es decir, la octava superior de 500 Hz sería 1 kHz y la octava inferior de 500 Hz sería 250 Hz. Cuando se mide en décadas se hace referencia a toda una escala logarítmica (1-10, 10-100, 100-1000,...).

- Banda de rechazo: en la zona de banda de rechazo el filtro no permite el paso de ninguna frecuencia, en teoría debería atenuar infinitamente, pero lo hace hasta un nivel donde la señal ya no es útil para el sistema. (Figura 23).

3.5.1. Filtros pasivos

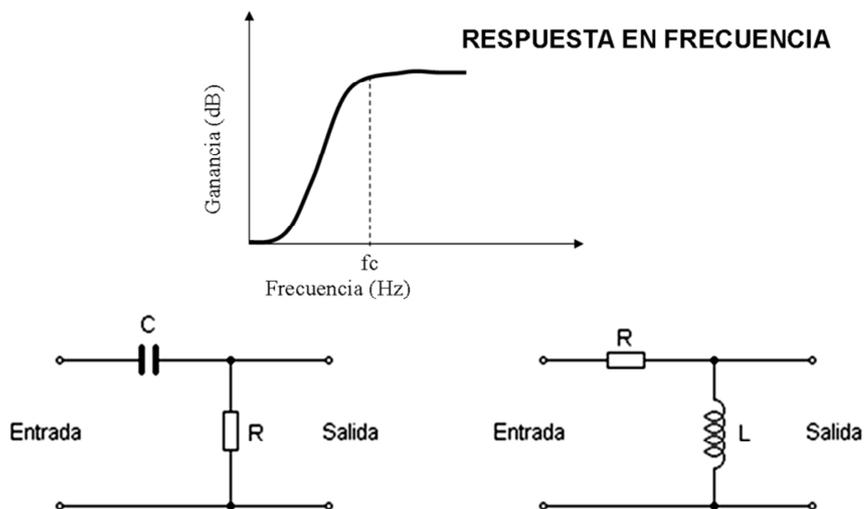
- Filtro pasa bajo pasivo: permite el paso de las frecuencias menores que cierta frecuencia f_c , denominada frecuencia de corte (o frecuencia superior de corte) y bloquea las mayores, la siguiente figura muestra la respuesta en frecuencia y el circuito del filtro pasa bajo. La respuesta y circuito se muestra en la figura 24.
- Filtro pasa alto pasivo: permite el paso de las frecuencias mayores que cierta frecuencia f_c , también denominada frecuencia de corte (o frecuencia inferior de corte) y bloquea las menores. La respuesta y circuito se muestra en la figura 25.

Figura 24. Filtro pasa bajo pasivo



Fuente: elaboración propia.

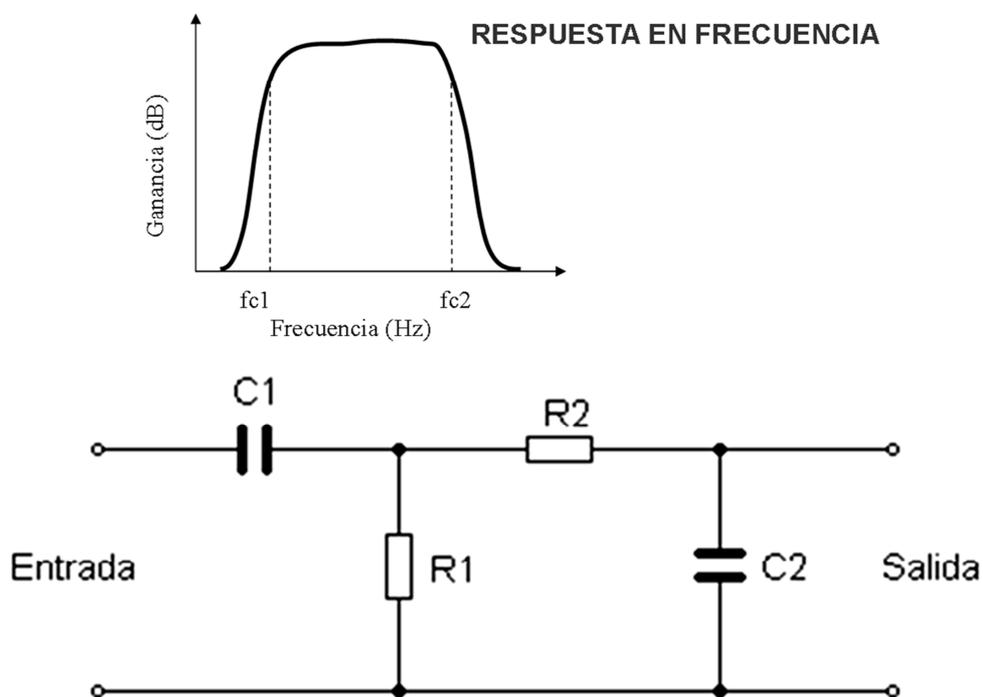
Figura 25. Filtro pasa alto pasivo



Fuente: elaboración propia.

- Filtro pasa banda pasivo: permite el paso de las frecuencias comprendidas entre dos frecuencias f_{c1} y f_{c2} ($f_{c1} < f_{c2}$), denominadas frecuencia inferior de corte y frecuencia superior de corte, bloqueando las restantes como se muestra en la figura 26.

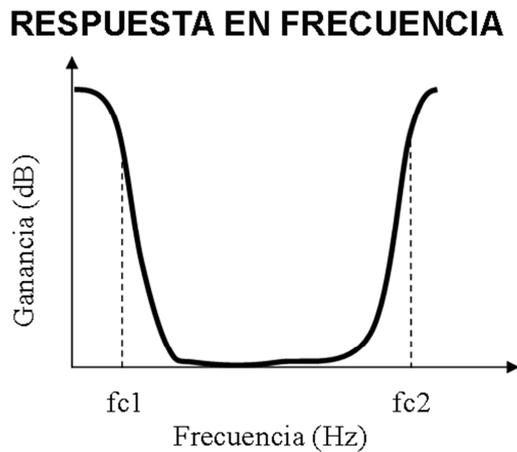
Figura 26. **Filtro pasa banda pasivo**



Fuente: elaboración propia.

- Filtro rechaza banda: bloquea las frecuencias comprendidas entre las frecuencias de corte f_{c1} y f_{c2} , dejando pasar las restantes. Su respuesta en frecuencia es como la que muestra la figura 27.

Figura 27. **Filtro rechaza banda pasivo**



Fuente: elaboración propia.

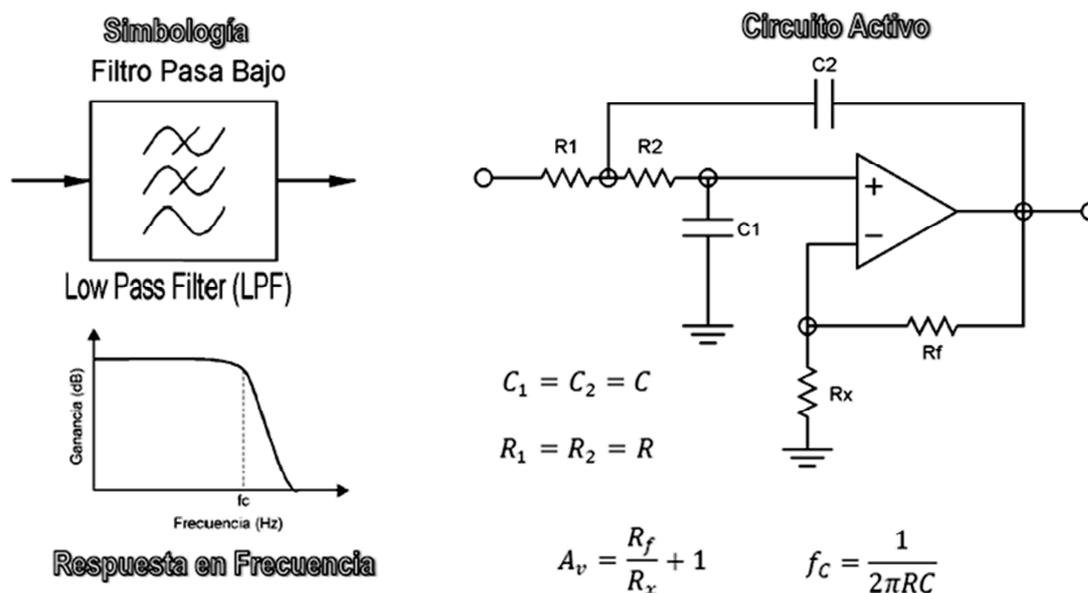
3.5.2. **Filtros activos**

Los filtros activos a diferencia de los pasivos, requieren un amplificador operacional que les permite tener el control de la ganancia (amplificar o atenuar la potencia de salida) del ancho de banda que filtran.

Un filtro pasivo sólo atenúa el voltaje de entrada e inclusive en menor parte hasta en la banda de paso.

- Filtro pasa bajo activo: la característica de este filtro es dejar pasar las frecuencias menores que la frecuencia de corte y bloquear las frecuencias mayores a esta. En la figura 28, se muestra el símbolo, la respuesta en frecuencia y el circuito de un filtro pasa bajo activo.

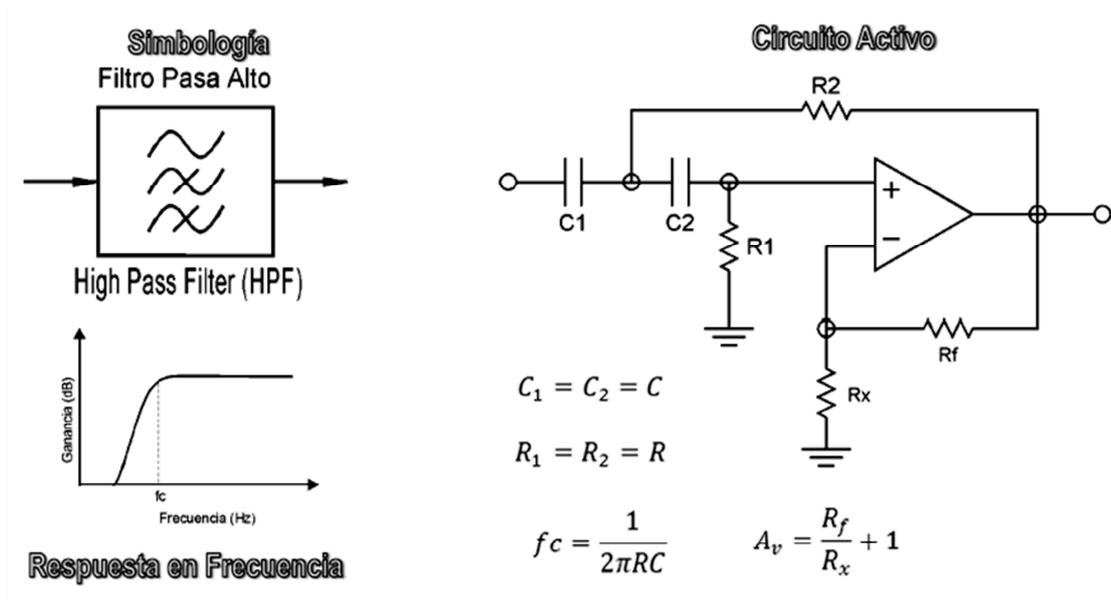
Figura 28. Filtro pasa bajo activo



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/86527509/04-Filtros-Activos>. Consulta: agosto de 2011.

- Filtro pasa alto activo: la característica de este filtro es contrario al filtro pasa bajo, permite el paso a las frecuencias mayores que la frecuencia de corte y bloquea las frecuencias menores a esta. En la figura 29, se muestra el símbolo, la respuesta en frecuencia y el circuito de un filtro pasa alto activo.

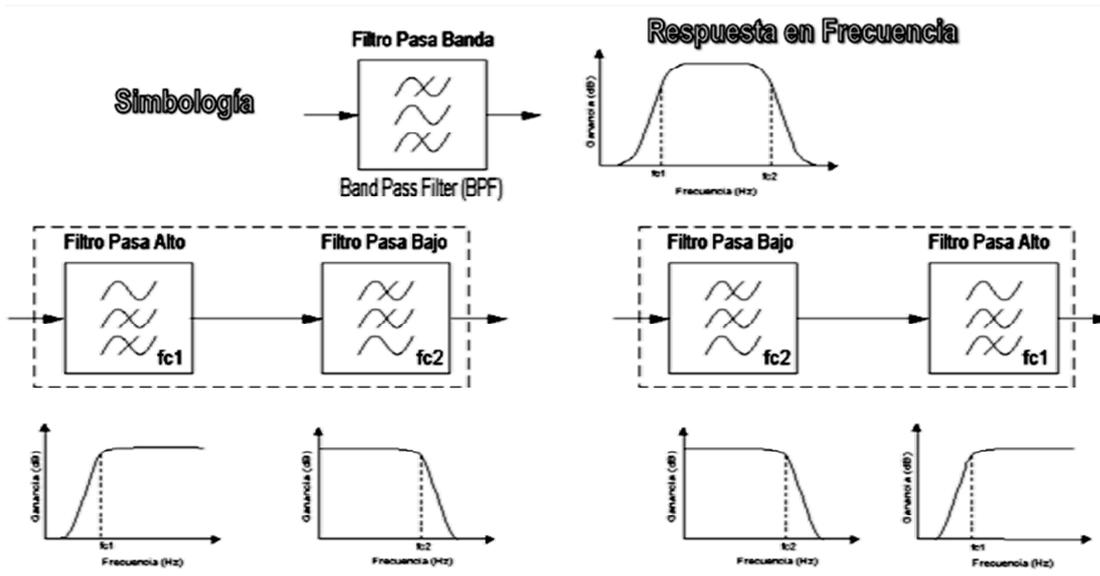
Figura 29. Filtro pasa alto activo



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/86527509/04-Filtros-Activos>. Consulta: agosto de 2011.

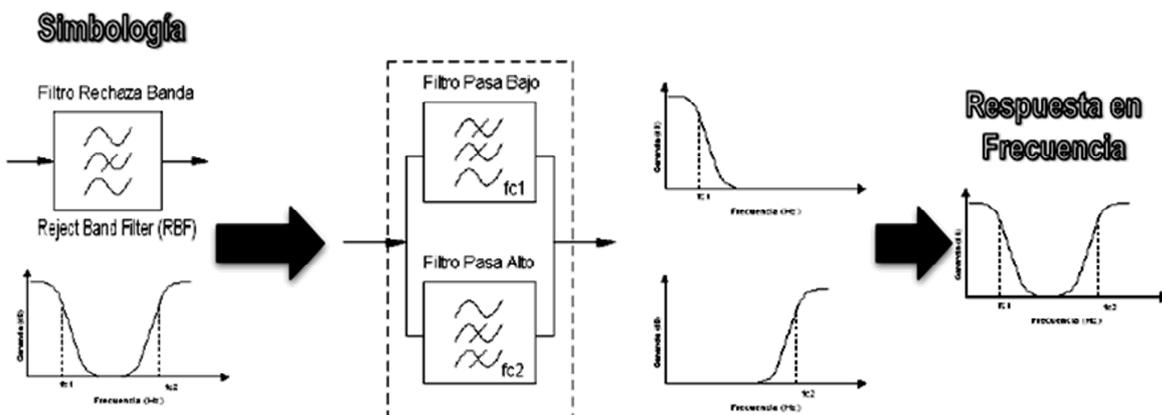
- Filtro pasa banda activo: los filtros pasa banda constan de dos frecuencias de corte, una banda de paso y dos bandas de rechazo. Se puede realizar uniendo en serie un filtro pasa alto y un filtro pasa bajo, no importa cuál de ellos se encuentre primero en la serie. En la figura 30, se muestra el símbolo, la respuesta en frecuencia y el circuito de un filtro pasa banda activo.
- Filtro rechaza banda activo: los filtros rechaza banda constan de dos frecuencias de corte, dos bandas de paso y una de rechazo. Se puede realizar uniendo en paralelo un filtro pasa bajo y un filtro pasa alto, estos circuitos no pueden operar en serie porque se cancelaría mutuamente.

Figura 30. Filtro pasa banda activo



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/86527509/04-Filtros-Activos>. Consulta: agosto de 2011.

Figura 31. Filtro rechaza banda activo



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/86527509/04-Filtros-Activos>. Consulta: agosto de 2011.

3.6. Multiplexación

Un multiplexor es un circuito que puede recibir datos provenientes de diversas fuentes para después, al seleccionar un canal de entrada, producir una salida correspondiente a un solo canal de entrada. En las aplicaciones en que se necesita hacer mediciones en diversas ubicaciones, en vez de utilizar un ADC y un microprocesador para cada medición que se realiza, se usa un multiplexor para seleccionar cada entrada en turno y conmutarlas a través de un solo ADC y un microprocesador. Existen dos tipos de multiplexores, entre los cuales se pueden mencionar los siguientes.

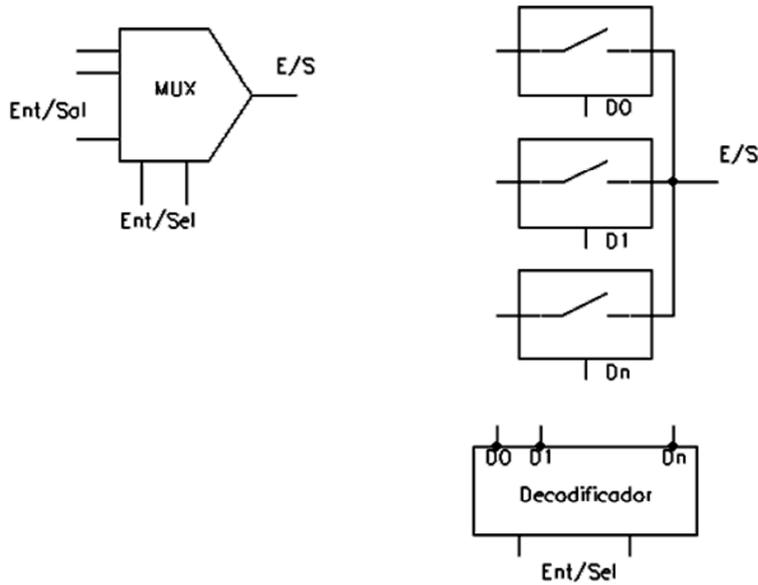
3.6.1. Multiplexor analógico

El multiplexor analógico está constituido por una serie de entradas/salidas conectadas a una línea común de entrada/salida. Unas entradas de selección determinan cuál es la entrada que se conectará a la salida. La figura 32 muestra el diagrama de un multiplexor analógico.

Desde el punto de vista interno el multiplexor está formado por un conjunto de interruptores analógicos, de tal manera que en cada instante sólo uno de ellos puede estar cerrado. Las entradas de selección actúan sobre un decodificador digital, cuyas salidas controlan los diferentes interruptores analógicos, de tal forma que en cada momento eligen el interruptor que debe ser cerrado.

La principal ventaja que presentan los multiplexores analógicos, frente a los digitales, es su carácter bidireccional, lo que le permite que cada terminal del multiplexor sea posible usarlo como entrada o como salida y el manejo de señales analógicas en vez de digitales.

Figura 32. Diagrama del multiplexor analógico



Fuente: elaboración propia.

3.6.2. Multiplexor digital

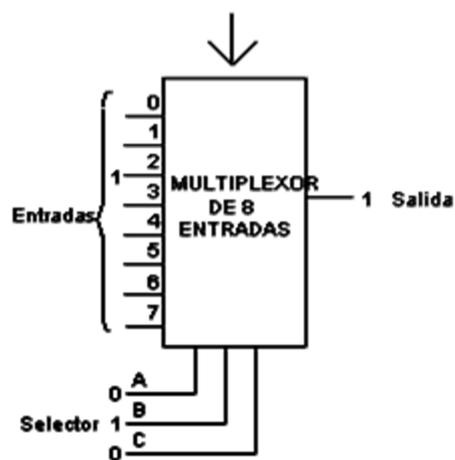
El multiplexor digital es un dispositivo que posee varias entradas, una salida y un control/selector, a diferencia del multiplexor analógico este dispositivo es unidireccional, la información fluye solamente desde las entradas (a la izquierda) hacia la salida (a la derecha). La figura 33 ilustra las entradas y salidas de un multiplexor de 8 entradas.

La cantidad de líneas de control que debe tener el multiplexor depende del número de canales de entrada, están determinadas por la siguiente fórmula:

$$\text{Número de líneas de entrada} = 2^n$$

Donde n es el número de líneas de control. Para un multiplexor de 4 canales de entrada, $n = \log_2 4 = 2$, si la cantidad de canales de entrada fuese 8, las líneas de control serían 3.

Figura 33. **Multiplexor digital de 8 entradas**



Fuente: <http://ladelec.com/teoria/electronica-digital/214-selectores-de-datos-multiplexores>.

Consulta: octubre de 2011.

3.7. **Muestreo, cuantificación y codificación de señales**

La señal de salida que produce la mayoría de los sensores en general es de tipo analógico. Cuando un microprocesador forma parte del sistema de adquisición de datos, es necesario convertir la salida analógica del sensor a una forma digital antes de enviarla al microprocesador. El proceso de convertir la señal analógica a digital requiere de tres etapas básicas que son: muestreo, cuantificación y codificación. A continuación se describe cada una de estas etapas.

3.7.1. Muestreo

Es el proceso mediante el cual una señal analógica continúa en el tiempo, se convierte en una secuencia de muestras discretas de la señal, a intervalos regulares. El teorema de muestreo establece que: una señal continua, de energía finita y limitada en banda, sin componentes espectrales por encima de una frecuencia f_{max} , queda descrita completamente especificando los valores de la señal a intervalos de $\frac{1}{2} f_{max}$ segundos. La señal así muestreada puede recuperarse mediante un filtro paso bajo. La frecuencia $2 f_{max}$ se designa como frecuencia de *Nyquist*.

Si una señal $x(t)$, limitada en banda, es decir, que no tiene componentes espectrales por encima de una cierta frecuencia f_{max} se multiplica por un tren de impulsos con intervalo constante T , dado por:

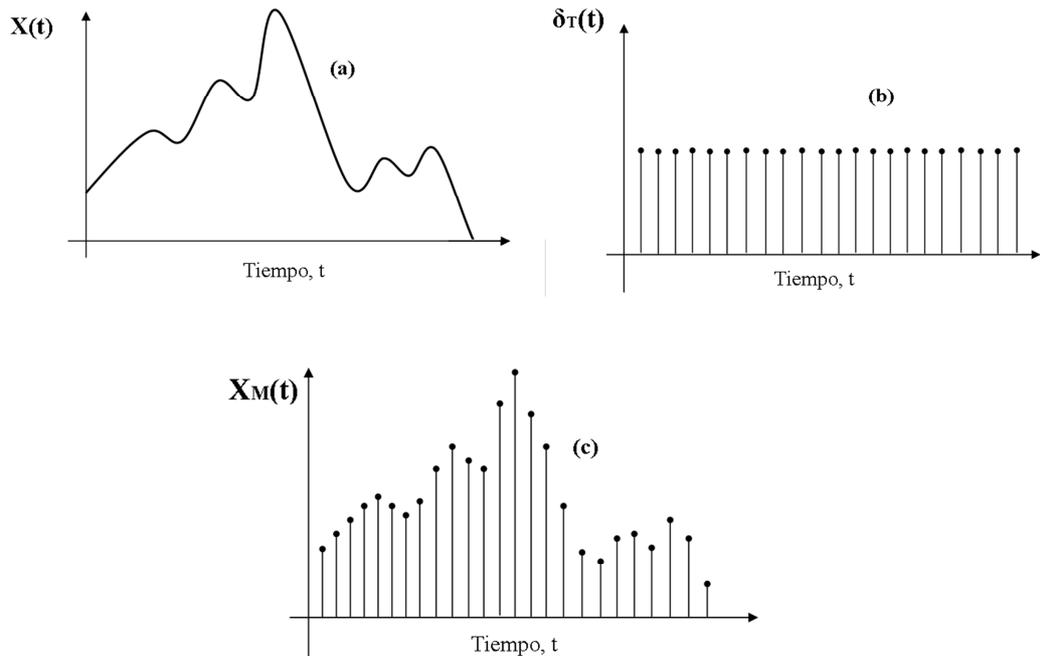
$$\delta_T(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT)$$

La señal muestreada resultante estará dada por:

$$x_M(n) = x(t)\delta_T(t) = x(t - nT)$$

En la ecuación anterior n representa ahora intervalos discretos de tiempo cada T segundos. La señal $x(t - nT)$ es, por tanto, una señal discreta como se muestra en la figura 34(c) y cuya amplitud corresponde a la de la señal original en los puntos de muestreo. Se dice también que la señal resultante está modulada por amplitud de pulsos (PAM).

Figura 34. **Señal muestreada (PAM) (a) Señal continua (b) Señal muestreadora (c) Señal muestreada**



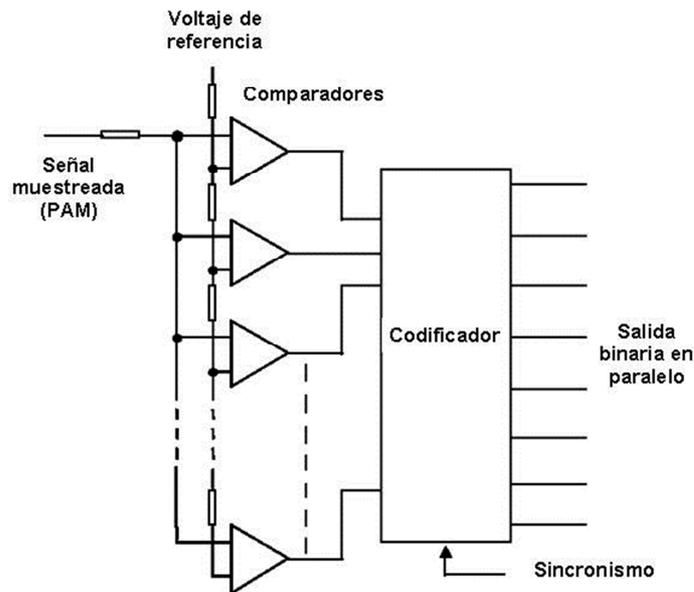
Fuente: elaboración propia.

3.7.2. Cuantificación y codificación

Para efectuar esta conversión, la señal muestreada (PAM) se aplica, a través de una cadena de divisores de voltaje, a una serie de comparadores, cuyo número es igual al de niveles de cuantificación, como se ilustra en la figura 35. La otra entrada a los comparadores procede de un voltaje de referencia preciso, aplicado a un divisor de voltaje similar al anterior, con tantas resistencias como niveles de cuantificación haya.

Así por ejemplo, para codificación a 8 bits se requieren $2^8 = 256$ niveles de cuantificación y, por tanto 256 comparadores. Debido a la acción de los divisores de voltaje, tanto para la señal como para el voltaje de referencia, los voltajes serán coincidentes a la entrada de uno solo de los comparadores de la cadena, el cual producirá una salida 1, en tanto que todos los restantes tendrán salida 0. Es decir, en cada punto de muestreo, solamente uno de los comparadores entregará una señal diferente a los demás, que corresponderá al nivel de cuantificación de la señal de entrada

Figura 35. **Cuantificación y codificación**



Fuente: elaboración propia.

Las salidas de los comparadores se aplican a un conversor de código con 256 entradas y 8 salidas, de modo que a la salida del codificador se tendrá una palabra o símbolo de 8 bits en paralelo, correspondiente al nivel de cuantificación en el punto de muestreo de la señal de entrada.

Todo el proceso anterior requiere de sincronismo preciso que debe ser proporcionado por un oscilador o reloj maestro, de modo que la señal de salida del codificador sea perfectamente identificable en el tiempo.

La señal de salida del conversor analógico-digital (ADC) es una señal digital, entonces se dice que la señal ha perdido completamente las características de la señal analógica y ya no puede identificarse como tal, excepto por la relación que guarda cada símbolo con la amplitud de aquella. Sin embargo, la correspondencia entre la amplitud de las muestras de la señal analógica y su representación binaria no es exacta, ya que en el proceso de cuantificación sólo se identifican niveles discretos y las amplitudes de las muestras no corresponden con exactitud a los valores de amplitud asignados a los niveles de cuantificación.

Así, a cada muestra se le asignará el nivel más cercano, introduciendo con ello un error en el proceso de cuantificación, al que se designa como ruido de cuantificación, que puede ser más o menos apreciable en la reproducción de la señal.

4. PANELES SOLARES

4.1. Celdas solares

Una celda solar o celda fotovoltaica es el componente que capta energía contenida en la radiación solar y la transforma en una corriente eléctrica, basado en el efecto fotovoltaico que produce una corriente eléctrica cuando la luz incide sobre algunos materiales.

Las celdas solares son hechas principalmente de un grupo de materiales semiconductores de los cuales el silicio es el más usado. El silicio se encuentra abundantemente en todo el mundo porque es un componente mineral de la arena, sin embargo, tiene que ser de alta pureza para lograr el efecto fotovoltaico lo cual encarece el proceso de la producción de las celdas solares.

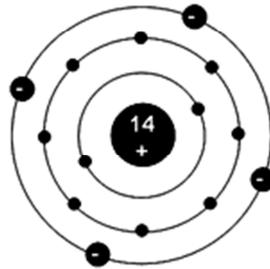
Por ser el silicio el material semiconductor más utilizado para la fabricación de celdas solares, se conocerá el principio bajo el cual funciona a nivel de átomos sin profundizar tanto en este tema.

4.2. Propiedades eléctricas del silicio

Cada átomo de silicio tiene cuatro electrones de valencia (que se encuentran en la órbita más alejada del núcleo) como se muestra en la figura 36.

Figura 36. **Estructura atómica del silicio**

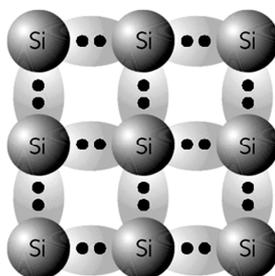
Átomo de Silicio (Si)



Fuente: <http://www.flickr.com/photos/metromon/5523828457/>. Consulta: septiembre de 2011.

Cada átomo de silicio comparte un electrón de valencia con el átomo vecino, de esta manera cada átomo parece tener 4 electrones adicionales, sumando un total de 8 electrones en su órbita de valencia, realmente los electrones ya no pertenecen a un solo átomo ya que se comparten por átomos adyacentes como se muestra en la figura 37.

Figura 37. **Arreglo de un átomo de silicio**



Fuente: <http://www.kalipedia.com/tecnologia/tema/electronica/semiconductores>.

Consulta: octubre de 2011.

Cuando se comparten electrones se forma un enlace químico, denominado covalente; los electrones de valencia son los enlaces covalentes que mantienen unido el cristal, dándole solidez.

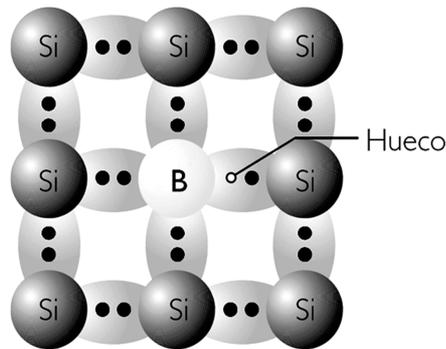
4.2.1. Impurezas tipo P

Una forma de aumentar la conductividad es mediante el aumento de impurezas, en este proceso se añaden átomos de impurezas a un cristal puro (cristal intrínseco), teniendo como objetivo añadir electrones o agujeros (ausencia de electrones) según sea el caso, cuando el cristal es dopado, este recibe el nombre de cristal extrínseco.

Los átomos de impurezas más utilizados para formar semiconductores tipo P en una celda solar son átomos de Boro, al mezclar estos átomos a un cristal de silicio lo que se logra es cambiar el número de electrones de valencia a 3, es decir, impurezas trivalentes. Al tener este átomo de impurezas y tener cuatro átomos de silicio puros, se logran siete electrones de valencia quedando un agujero.

Un electrón cercano de un átomo de silicio puede vibrar y emigrar hacia el sitio del agujero. Pero este deja atrás la ausencia de un electrón, un agujero, de donde viene originalmente. Existen muchos electrones que pueden llenar este agujero, dando como resultado una red de cargas positivas. A esto se le conoce como semiconductor tipo P (positivo).

Figura 38. Estructura del silicio con presencia de boro



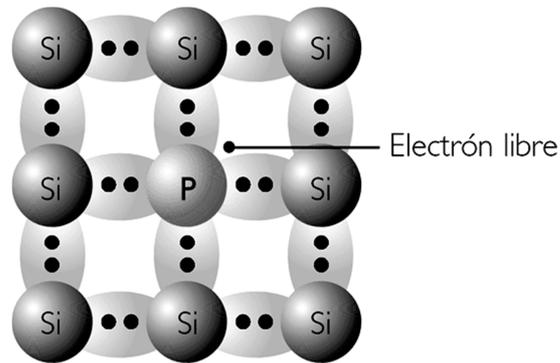
Fuente: <http://www.kalipedia.com/tecnologia/tema/electronica/semiconductores>.

Consulta: octubre de 2011.

4.2.2. Impurezas tipo N

Otro tipo de impurezas utilizadas con átomos de silicio es el fósforo. Cada átomo de fósforo tiene un electrón de valencia más que el silicio, es decir, cinco, a este tipo de impurezas se le conoce como impurezas pentavalentes, en la figura 39, se muestra un cristal de silicio con presencia de fósforo, en el centro se encuentra un átomo pentavalente (átomo de fósforo) rodeado por átomos de silicio, los átomos vecinos comparten un electrón con el átomo de fósforo. El quinto electrón puede moverse como una partícula negativa. A esto se le conoce como semiconductor tipo N (negativo).

Figura 39. Estructura del silicio con presencia de fósforo



Fuente: <http://www.kalipedia.com/tecnologia/tema/electronica/semiconductores>.

Consulta: septiembre de 2011.

4.2.3. Campo eléctrico interno

Cuando un cristal de silicio es impurificado con boro y también impurificado con fósforo se forma un diodo, el diodo semiconductor es básicamente una unión pn. En la práctica, tanto la región tipo p como la región tipo n son parte de un mismo cristal de silicio; es decir, la unión pn se forma dentro de un solo cristal de silicio al crear regiones con distintas impurezas (regiones p y n). Algunos electrones en la región tipo N (abundancia de electrones libres), cruzan y caen en algún agujero en la región tipo P (abundancia de agujeros) donde permanecerán.

Cada vez que un electrón traspasa la unión crea dos iones; cuando un electrón abandona el lado N, deja un átomo pentavalente al que le hace falta una carga negativa; este átomo se convierte en un ion positivo.

Cuando el electrón cae en un agujero en el lado P, el átomo trivalente que lo ha capturado se convierte en ion negativo. Dos equivalentes pero opuestas regiones cargadas crecen en uno u otro lado de la unión tipo N/tipo P, creando así un campo eléctrico interno.

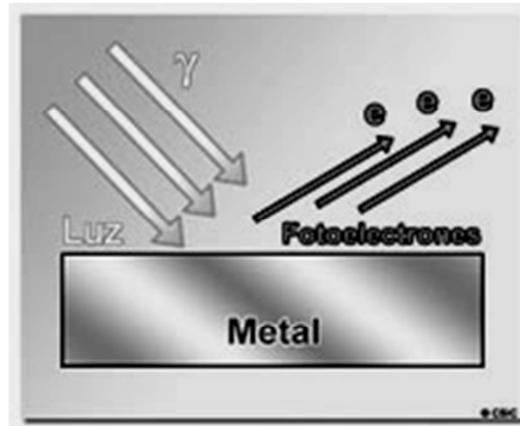
Cuando la luz penetra dentro del material semiconductor, de una celda solar, golpeando electrones libres y dándoles energía, los electrones se extravían hasta que son puestos por el campo eléctrico a través de la unión P/N. Estos son forzados a salir de la celda y en este momento están disponibles para el uso requerido.

En un módulo, cierto número de celdas están conectadas en serie, los electrones fluyen de una celda a un conductor y de este hacia la siguiente celda. En la siguiente celda serán colisionados una vez más por los fotones, dándoles más energía, forzándolos a salir de la celda hasta que puedan fluir hacia la carga donde se les necesita.

4.3. Efecto fotoeléctrico

Cuando la luz del sol cae sobre una celda solar, el material de la misma absorbe algunas de las partículas de luz, denominadas fotones. Cada fotón contiene una pequeña cantidad de energía. Cuando un fotón es absorbido, se da inicio a un proceso de liberación de un electrón en el material de la celda solar. Dado que ambos lados de una celda solar están eléctricamente conectados por un cable, una corriente fluirá en el momento en que el fotón es absorbido. La celda solar genera, entonces, electricidad, que puede ser utilizada inmediatamente o almacenada en una batería.

Figura 40. **Proceso del efecto fotovoltaico**



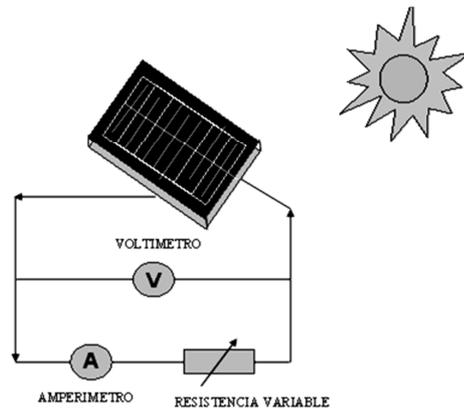
Fuente: <http://museovirtual.csic.es/salas/luz/luz33.htm>. Consulta: septiembre de 2011.

Mientras las celdas solares permanecen expuestas a la luz, este proceso de liberación de electrones continua y, por ende, el proceso de generación de electricidad. Los materiales capaces de generar este efecto fotovoltaico son los denominados semiconductores. En un proceso de producción especial, las celdas solares son fabricadas de estos materiales semiconductores.

4.4. Características de una celda solar

Para determinar las características de las celdas solares, se va a considerar el diagrama del circuito mostrado en la figura 41. Se asume que hay una radiación constante. En la situación del circuito abierto (resistencia infinita) un voltaje V_{oc} es medido, en este caso la corriente es cero. Cuando la resistencia decrece la corriente aumenta y al mismo tiempo el voltaje decrece, la máxima corriente (I_{sc}) es medida bajo una situación de cortocircuito (resistencia cero), en este punto, el voltaje será cero.

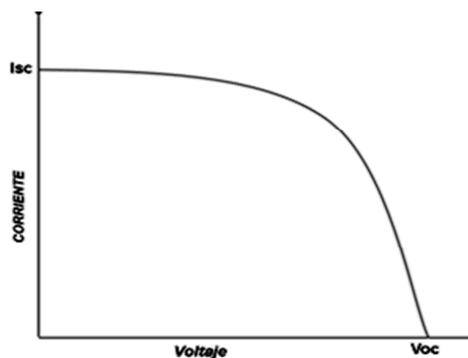
Figura 41. **Circuito para determinar las características de una celda solar**



Fuente: elaboración propia.

La figura 42 muestra una típica curva I - V para las celdas solares fotovoltaicas. Esta curva puede ser obtenida exponiendo la celda solar a una radiación solar constante y midiendo la corriente y el voltaje correspondiente a través de la celda.

Figura 42. **Curva corriente-voltaje (I-V) para una celda solar**



Fuente: elaboración propia.

El voltaje de circuito abierto (V_{oc}) y la corriente de cortocircuito I_{sc} son dos de las principales características de las celdas solares. Cada celda bajo cierta radiación solar y una temperatura ambiente, tiene sus propios valores para V_{oc} e I_{sc} .

4.4.1. Curva de potencia para una celda solar

La potencia producida por una celda solar depende del punto de operación a lo largo de la curva $I - V$. La potencia se calcula por medio de la siguiente ecuación:

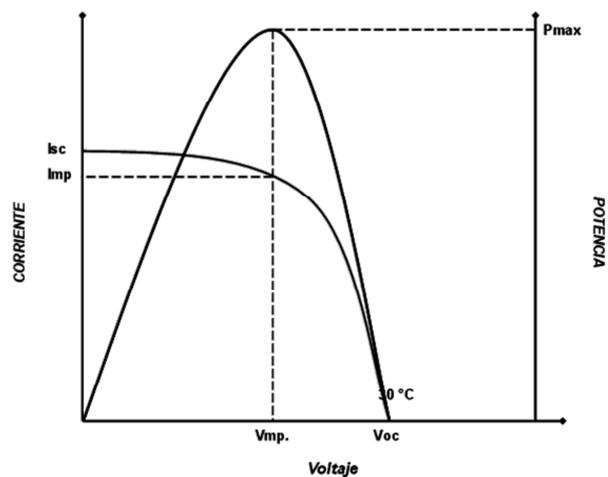
$$P (\text{Potencia})=V \times I$$

Donde P está dada en watts, V en voltios e I en amperios.

La potencia correspondiente al punto de circuito abierto tiene un valor de cero dado que la corriente es cero en este punto. Mientras la resistencia decrece, la corriente se incrementa y también la potencia. Después que el punto de potencia máxima es alcanzado, mayores decrementos de la resistencia resultarían en un decrecimiento de potencia. En el punto de cortocircuito, es producida la corriente máxima. En este punto el voltaje y la potencia tienen valor de cero. La curva de potencia a lo largo de la curva $I - V$ se muestra en la figura 43.

En la figura 43 se puede observar que solamente en un punto a lo largo de la curva $I - V$ se produce la máxima potencia P_{max} . Los valores correspondientes de corriente y voltaje son llamados V_{mp} e I_{mp} . En el diseño de sistemas fotovoltaicos será importante asegurarse que las celdas solares operen en el punto de máxima potencia.

Figura 43. Corriente y potencia en función del voltaje



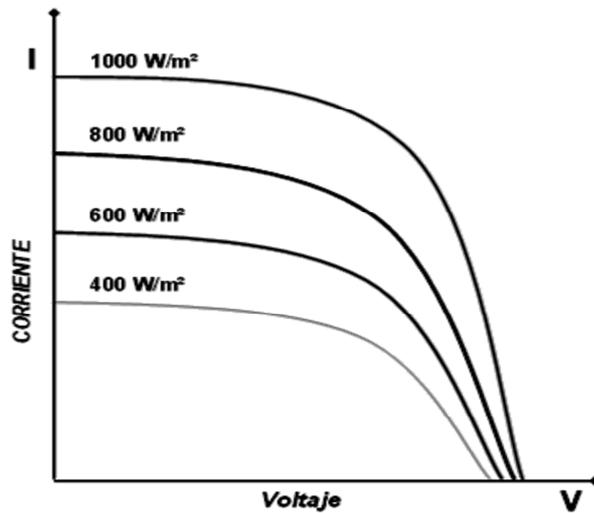
Fuente: elaboración propia.

4.4.2. Efecto de diferentes intensidades de luz solar

La intensidad de la radiación solar recibida por las celdas solares no es constante. En días claros, varía de un valor de cero al amanecer, a un máximo al medio día y cero de nuevo cuando se pone el sol. La intensidad de la radiación solar también cambia con las nubes y las estaciones. La salida de una celda solar bajo diferentes intensidades de luz se muestra en la figura 44.

Es interesante notar que el voltaje de circuito abierto (V_{oc}) se mantiene casi constante y no cambia con la intensidad de la luz, pero la corriente de cortocircuito (I_{sc}) varía casi linealmente con la radiación recibida.

Figura 44. Efecto de diferentes radiaciones solares



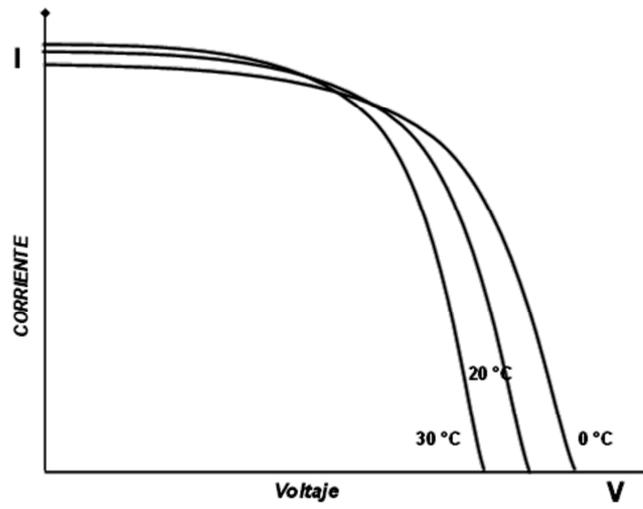
Fuente: elaboración propia.

4.4.3. Efecto de la temperatura

Las celdas solares están generalmente expuestas a temperaturas diferentes a la temperatura a la cual se realizaron las pruebas iniciales. Para predecir la eficiencia de una celda solar en diferentes ambientes, será esencial tomar en cuenta el efecto de la temperatura.

Generalmente, el voltaje de circuito abierto (V_{oc}) decrece con el incremento de la temperatura y la corriente de cortocircuito (I_{sc}) se incrementa levemente como se muestra en la figura 45.

Figura 45. Efecto de la temperatura en celdas solares



Fuente: elaboración propia.

5. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS BASADO EN MICROCONTROLADOR

5.1. Descripción del sistema

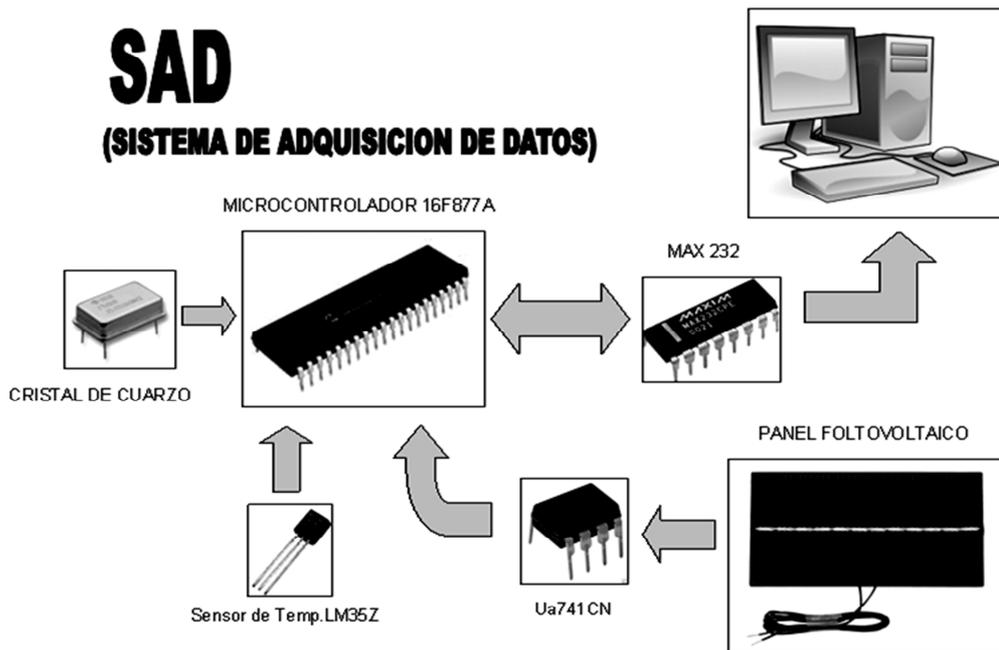
El presente capítulo se va a centrar en el desarrollo y la aplicación del sistema de adquisición de datos basado en el uso del microcontrolador 16F877A. Básicamente, este sistema de adquisición de datos consiste de 2 canales de entradas analógicas. El primer canal está dedicado para usarse con un sensor de temperatura digital, el segundo canal está dedicado para la medición de voltaje. Los datos obtenidos de dichos canales son enviados a una computadora por medio del puerto serial, para luego ser procesados y graficados en hojas de Excel utilizando macros. En el desarrollo de este capítulo se verán con más detalle cuáles son los componentes que forman parte de este sistema.

El sistema de adquisición de datos que se desarrollará estará orientado a la aplicación de los sistemas fotovoltaicos. Con el sistema de adquisición de datos se podrá:

- Recibir datos desde el PIC y enviarlos directamente a una hoja de cálculo (Microsoft Excel).
- Procesar la información obtenida.
- Graficar y analizar las curvas que surgen de los datos medidos.
- Guardar los datos obtenidos en la PC.

En la figura 46 se puede ver el diagrama esquemático del sistema de adquisición de datos propuesto.

Figura 46. Diagrama de bloques del SAD propuesto



Fuente: elaboración propia.

5.2. Componentes del sistema

Entre los componentes más importantes, el sistema de adquisición de datos incluye un sensor de temperatura LM35Z, un circuito integrado MAX232 y un microcontrolador 16F877A. Las características más importantes de estos componentes se describen a continuación.

5.2.1. Sensor de temperatura

Para medir la temperatura se hará uso del LM35, este es un sensor de temperatura con una precisión calibrada de 1 grado Celsius y un rango que abarca desde -55 grados Celsius a +150 grados Celsius.

Su tensión de salida es proporcional a la temperatura, en la escala Celsius. Funciona en el rango de alimentación comprendido entre 4 y 30 voltios.

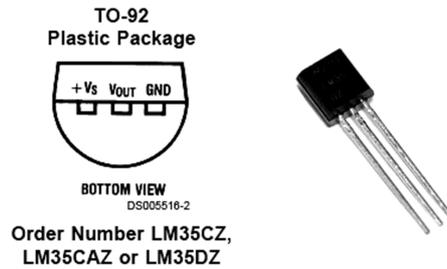
La salida es lineal y equivale a 10 mV/ °C por lo tanto:

- +1500 mV = 150 °C
- +250 mV = 25 °C
- -550 mV = -55 °C

La baja impedancia de salida, su salida lineal y su precisa calibración inherente hace posible una fácil instalación en un circuito de control.

El sensor se presenta en diferentes encapsulados pero el más común es el TO-92 de igual forma que un típico transistor con 3 patas, dos de ellas para alimentarlo y la tercera entrega un valor de tensión proporcional a la temperatura medida por el dispositivo. Con el LM35 sobre la mesa las patillas hacia la persona y las letras del encapsulado hacia arriba se tiene que de izquierda a derecha los pines son: VCC - Vout - GND. En la figura 47 se muestra la configuración de los pines del LM35.

Figura 47. **Encapsulado y configuración de pines del LM35**



Fuente: <http://www.national.com/ds/LM/LM35.pdf>. Consulta: agosto de 2011.

5.2.2. **Módulo MAXRS232**

Para establecer la comunicación entre el puerto serie de la computadora y el microcontrolador 16F877A, existe el inconveniente de que el microcontrolador trabaja con los niveles de voltaje TTL y el puerto serie de la computadora trabaja con niveles de voltaje, de acuerdo con la Norma RS232. Estas diferencias en los niveles de voltaje, hacen que sea imposible la conexión directa de un microcontrolador al puerto serie, por ello, es necesario construir un módulo adaptador de RS232 a TTL. En la figura 48 se pueden ver los niveles de voltaje TTL y RS232.

El circuito integrado MAX232 soluciona la conexión necesaria para lograr comunicación entre el puerto serie de una computadora y el microcontrolador, con funcionamiento con base en señales de nivel TTL/CMOS. Cambia los niveles TTL a los del estándar RS232 cuando se hace una transmisión y cambia los niveles RS232 a TTL cuando se tiene una recepción, es decir, es un circuito integrado que convierte los niveles de las líneas de un puerto serie RS232 a niveles TTL y viceversa.

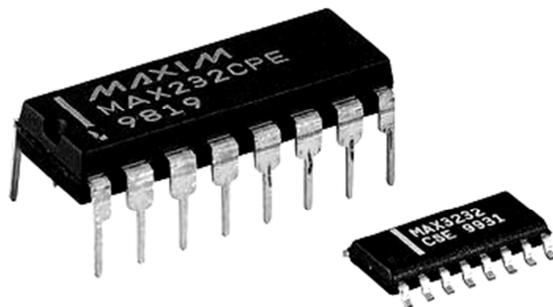
Este circuito integrado es muy popular debido a que sólo necesita de cuatro capacitores electrolíticos y una fuente de alimentación de 5V para un funcionamiento adecuado, ya que genera, internamente, algunas tensiones que son necesarias para el estándar RS232.

Tabla I. **Niveles de voltaje TTL y RS232**

TTL	Entrada	0	0V _ 0.8V
		1	2V _ 5V
	Salida	0	0V _ 0.4V
		1	2.4V _ 5V
RS232	Entrada	0	-3V _ -15V
		1	+3V _ +15V
	Salida	0	+5V _ +15V
		1	-5V _ -15V

Fuente: elaboración propia.

Figura 48. **Circuito integrado MAX232**



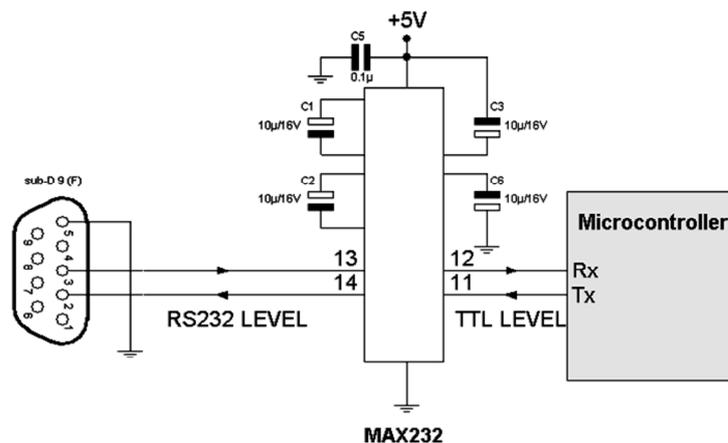
Fuente: <http://www.aliexpress.com/store/301140/210804782-429324637/MAX232-MAX232CPE-DIP16-NEW-Free-Shipping.html>. Consulta: octubre de 2011.

El circuito integrado posee dos fuentes convertidores de nivel TTL a RS232 y otros dos que, a la inversa, convierten de RS232 a TTL.

Estos convertidores son suficientes para manejar las cuatro señales más utilizadas del puerto serie de la computadora, que son TX, RX, RTS y CTS. TX es la señal de transmisión de datos, RX es la señal de recepción, RTS y CTS se utilizan para establecer el protocolo para el envío y recepción de los datos.

En la figura 50 se indican las terminales que deben ir conectadas al PIC16F877A. Además, en el otro extremo se tiene la conexión con un DB9-hembra, el cual se conecta a la computadora. En el diagrama se observa que no todas las terminales del circuito integrado están conectadas, esto debido a que sólo se utilizará la señal de la terminal 2 del conector DB9 (Rx) y la señal de la terminal 3 del conector DB9 (Tx), estas señales se utilizan para hacer la recepción y transmisión de datos respectivamente.

Figura 49. **Circuito básico con el MAX232**



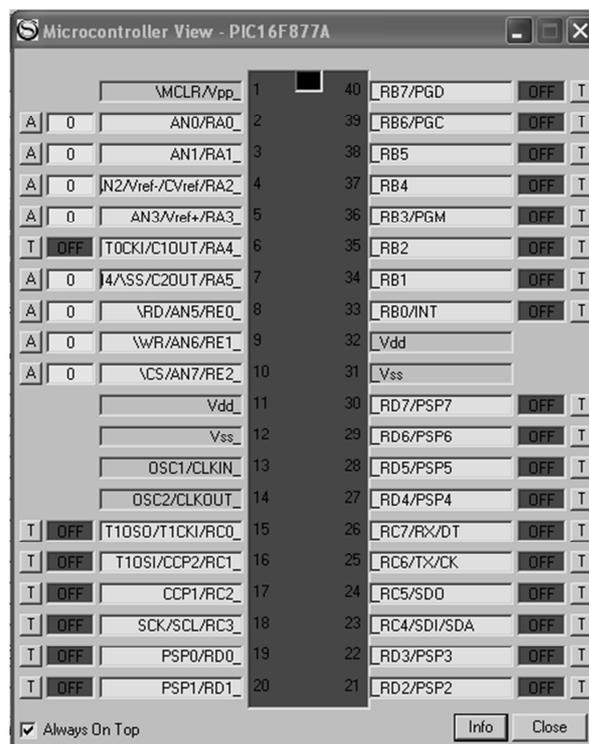
Fuente: <http://www.hwupgrade.it/forum/showthread.php?t=2069468>.

Consulta: octubre de 2011.

5.2.3. Microcontrolador (PIC)

Este será el encargado de sensor, digitalizar los datos y enviarlos a la computadora utilizando el puerto serial. La programación se desarrollará utilizando un programa de computación llamado PIC Simulator IDE de la empresa OshonSoft, este programa permite generar líneas de código que se pueden simular en varios modelos de microcontroladores virtuales para su comprobación. Además, posibilita el uso de varios periféricos como el puerto serial, pantalla de cristal líquido y varios puertos de entrada y salida. (El anexo muestra la ficha técnica del PIC utilizado).

Figura 50. Vista del PIC desde PIC Simulator IDE



Fuente: elaboración propia.

La figura 51 muestra el microcontrolador 16F877A con los puertos de entrada y salida. El puerto A contiene los puertos analógicos, el puerto B se utiliza para señales de salida y el puerto C se utiliza señales de entrada y salida como se lista a continuación:

- Puerto A (RA1=sensor de temperatura, RA2=celda fotovoltaica y RA4=interruptor de habilitación de lectura).
- Puerto B (RB0=indicador de habilitación de lectura).
- Puerto C (RC6=serial TX, RC7=serial RX).

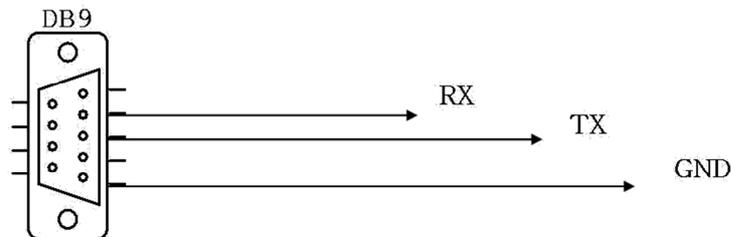
5.2.4. Configuración física del SAD propuesto

El diseño completo del circuito del SAD se compone de tres secciones, cada una con funciones diferentes: la primera sección se encarga del sensado de temperatura, la segunda del sensado de voltaje y la tercera es la interface con la computadora.

La figura 52 muestra el circuito completo del SAD, este usa un PIC 16F877A, un sensor de temperatura, un módulo MAX RS232, reguladores de voltaje 7 805 y, amplificadores operacionales, estos bloques fueron estudiados en las secciones anteriores.

Tensión de alimentación: el SAD fue diseñado para funcionar con una tensión de 5V, el regulador 7 805 permite que esta se mantenga en esos niveles para no causar daño a los componentes.

Figura 52. **Conexión del puerto serial**



Fuente: elaboración propia.

LEDs indicadores: el SAD posee dos LEDs uno conectado en el RB0 que indica que el PIC está listo para efectuar la medición y el otro LED indica que el circuito está alimentado. (Ver figura 52).

5.3. Desarrollo del software de control del SAD

El software de control para el sistema de adquisición de datos se ha dividido en 2 programas, el programa para el microcontrolador que es el encargado de recolectar y acondicionar los datos para enviarlos a la PC y el programa de la macro de Excel para procesar y graficar los datos recolectados.

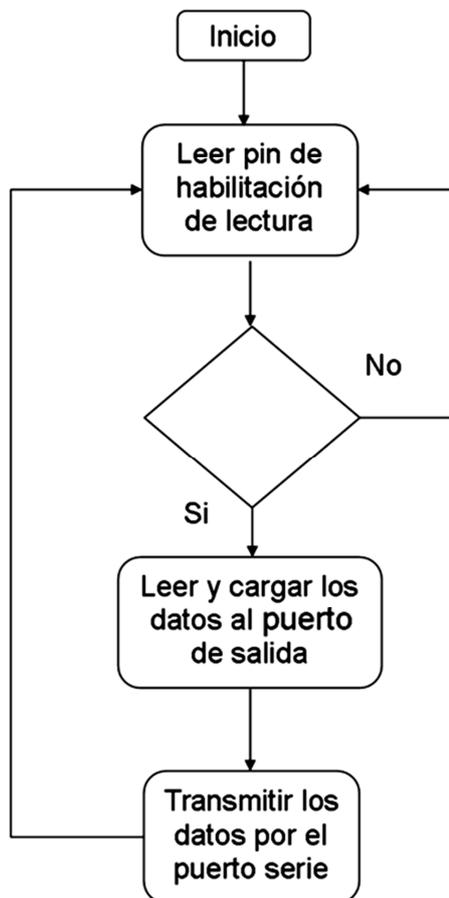
5.3.1. Programación del microcontrolador

Para la aplicación puede utilizarse cualquier microcontrolador que cuente con un puerto serial. En este caso en particular se hace uso de un PIC 16F877A. Para que el PIC pueda comunicarse con la computadora de una manera correcta y ordenada es necesario determinar el protocolo de comunicación.

5.3.1.1. Protocolo de comunicación

El protocolo utilizado para comunicar al microcontrolador con la computadora consiste en leer las entradas y actualizar las salidas cada 10 segundos de manera indefinida. El programa cargado en el microcontrolador se define por el algoritmo como lo muestra la figura 54.

Figura 53. Diagrama de flujo del protocolo de comunicación



Fuente: elaboración propia.

Los datos son enviados en el siguiente orden: el primer dato que se envía (en este caso el valor de la temperatura) va seguido del carácter que representa la coma, seguida a esta coma el segundo dato (en este caso el valor del voltaje generado por la celda fotovoltaica) y luego enviar. Los datos son transportados como bytes utilizando una comunicación serial asíncrona (9 600 baudios, sin paridad).

A continuación se muestra el programa cargado en el microcontrolador para llevar a cabo este algoritmo.

Figura 54. **Código del microcontrolador PIC 16F877A**

```
Dim t As Byte 'variable para la temperatura
Dim v As Byte 'variable para el voltaje

TRISA = 255 'declaramos todo el Puerto A como entrada
TRISE = 0 'declaramos todo el Puerto B como salida
ADCON1 = 0 'Habilitamos el modulo Analógico
Adcin 1, t
Adcin 2, v

Hseropen 9600 'Configuracion de velocidad de transmision
TRISC.6 = 0 'Serial TX
TRISC.7 = 1 'Serial RX
WaitMs 1000

control:
  If PORTA.4 = 1 Then
    PORTB.0 = 1 'LED Indicador
    Goto main
  Else
    Goto control
  Endif

main:
  Adcin 1, t 'Canal 1 (Sensor de Temp.)
  t = t * 2
  Adcin 2, v 'Canal 2 (Celda Fotovoltaica)
  Hserout #t, v, CrLf 'Envio de datos medidos
  WaitMs 10000
  PORTB.0 = 0 'LED Indicador
  Goto control
```

Fuente: elaboración propia.

5.3.2. Diseño de las hojas de Excel para la comunicación al PIC

Como se mencionó al principio de este capítulo, el sistema de adquisición de datos fue creado como una macro de Excel, es decir, como una aplicación que trabaja sobre y en la hoja de cálculo. Esto transforma a Excel en una poderosa herramienta para este tipo de aplicaciones, en especial en lo que se refiere a la creación sencilla de curvas y gráficas. En particular, esta Macro fue creada como una aplicación del trabajo desarrollado para la comunicación PIC-PC.

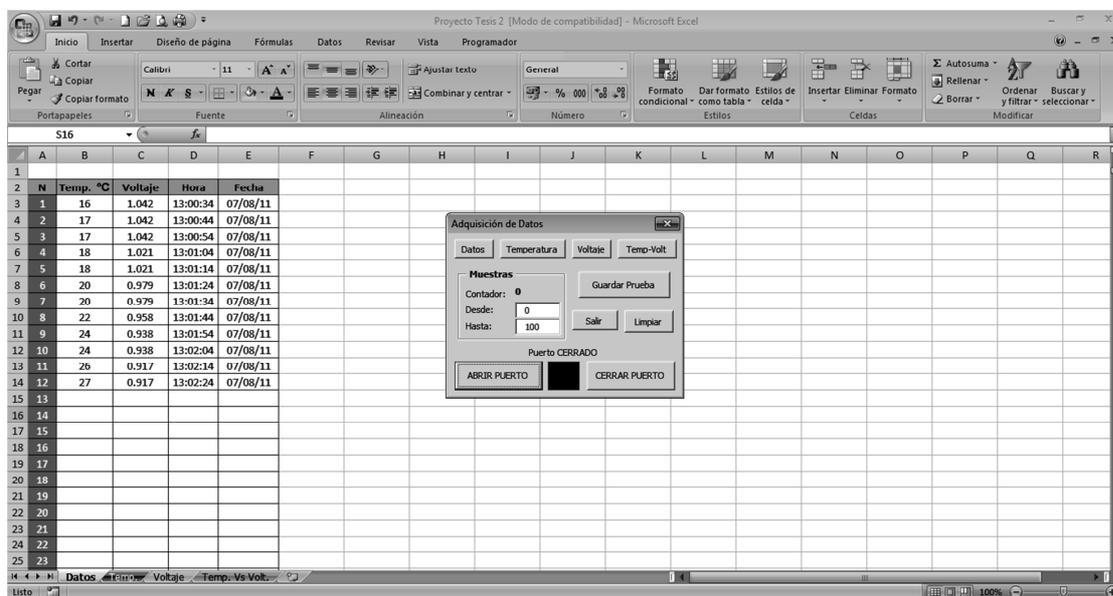
El diseño de las hojas de Excel para implementar la comunicación con el PIC es sencillo. Se basa en lo que cualquier persona, que ya ha utilizado Excel para trabajar hojas de cálculo conoce y, a conocimientos básicos de programación aplicados al lenguaje Visual Basic que Excel normalmente ya incluye.

Para este propósito se han diseñado cuatro diferentes hojas de Excel. Una tiene la finalidad de recibir los datos y colocarlos expresados en valores decimales en columnas separadas, es decir, el primer dato que recibe, lo coloca en la primera columna, el segundo en la segunda y así, va apilando las cadenas que va recibiendo desde el PIC y las otras se han hecho para desplegar en forma de gráficas los datos recibidos (temperatura, voltaje). A continuación se examinará con más detalle.

En la figura 56 se muestra como se ve la hoja diseñada para la adquisición de datos.

Se ve que esta hoja al estar en comunicación con el PIC, automáticamente tabula en la columna B y C la temperatura y voltaje respectivamente, de igual manera tabula en la columna D y E la hora y fecha en que se efectuó la medición. De esta forma se pueden tener los registros de las mediciones hechas.

Figura 55. Vista de la hoja de Excel para la adquisición de datos



Fuente: elaboración propia.

En las figuras 57, 58, 59 y 60 se incluye el código con comentarios del programa escrito en Visual Basic correspondiente a la macro de Excel para la comunicación PIC-PC.

Figura 56. Código para abrir el puerto serial

```
'ABRIENDO PUERTO SERIAL

On Error GoTo manejar_errores
MSComm1.CommPort = 1 'comando para elegir el # de puerto
MSComm1.Settings = "9600,n,8,1" 'configuracion de los parametros de comunicacion
MSComm1.PortOpen = True 'Intento abrir el puerto
lblEstado = "Puerto ABIERTO"
GoTo Salir 'Todo Ok, continuar.

manejar_errores:
MsgBox ("Error al intentar abrir COM")
MsgBox ("Error detectado por Visual Basic: " + Err.Description)
Resume Salir ' Resume me permite continuar con el programa.

Salir:

End Sub
```

Fuente: elaboración propia.

Figura 57. Código para cerrar el puerto serial

```
'CERRANDO EL PUERTO SERIAL

Private Sub cmdCerrar_Click() 'cierra un puerto serial
On Error GoTo manejar_errores 'Proteccion frente al error.

MSComm1.PortOpen = False 'intento cerrar un puerto

lblEstado = "Puerto CERRADO"
lblTest.BackColor = &HFF&
txtEntrada = ""
txtSalida = ""
txtDesde.Font.Bold = False
txtHasta.Font.Bold = False
Cont = 0
lblContador = "0"
GoTo Salir

manejar_errores:
MsgBox ("Error al intentar cerrar COM")
MsgBox ("Error detectado por Visual Basic: " + Err.Description)
Resume Salir

Salir:

End Sub
```

Fuente: elaboración propia.

Figura 58. Código para adquisición de datos

```
'ADQUISICION DE DATOS POR EL PUERTO

Private Sub MSComm1_OnComm()
'Aqui se interceptan los eventos que se producen durante la comunicación RS232.
'Cada vez que pasa algo relativo al puerto COM
'en uso, cambia el valor de la propiedad CommEvent

If MSComm1.CommEvent = comEvReceive Then
Cont = Cont + 1
lblContador = Cont

    cadena = MSComm1.Input 'lee el puerto y guarda los datos en la variable cadena

    If lblTest.BackColor = &HFF& Then
        lblTest.BackColor = &HFF00&
    Else
        lblTest.BackColor = &HFF&
    End If

If Cont >= Val(txtDesde) And Cont < Val(txtHasta) Then
txtDesde.Font.Bold = True
txtHasta.Font.Bold = True

    If chkColumna Then 'lee un solo valor
        'Cells(Fil, Col).Value = Mid$(cadena, 2, 1)
    Else
        Cells(Fil, Col).Value = Mid$(cadena, 1, 2) 'esta es la temperatura
        Cells(Fil, Col + 1).Value = (Asc(Mid$(cadena, 3, 1))) / 48 'esta es la tension
        Cells(Fil, Col + 2).Value = Time
        Cells(Fil, Col + 3).Value = Date
    End If
    Fil = Fil + 1
Else
    txtDesde.Font.Bold = False
    txtHasta.Font.Bold = False
End If
End If

End Sub
```

Fuente: elaboración propia.

Figura 59. **Código para limpiar las celdas de la hoja de Excel**

```
'LIMPIAR LAS CELDAS DE LA HOJA DE EXCEL  
  
Private Sub cmdLimpiar_Click()  
    Fil = 3  
    Col = 2  
    For i = Fil To 100  
        Cells(i, Col).Value = ""  
        Cells(i, Col + 1).Value = ""  
        Cells(i, Col + 2).Value = ""  
        Cells(i, Col + 3).Value = ""  
    Next  
  
End Sub
```

Fuente: elaboración propia.

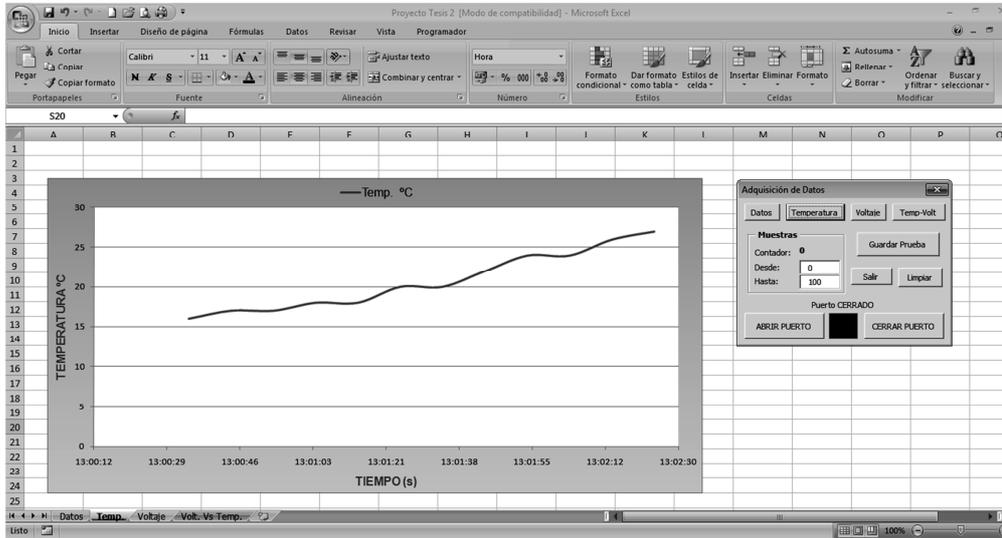
5.3.3. Análisis de resultados del SAD

Como se había mencionado en el capítulo anterior cuando una celda solar aumenta su temperatura de trabajo, su voltaje en circuito abierto (V_{co}) disminuye.

Para comprobar esto se han realizado las respectivas mediciones de voltaje y temperatura, se han repetido varias veces el experimento, hallando la media de los valores obtenidos para el análisis de resultados.

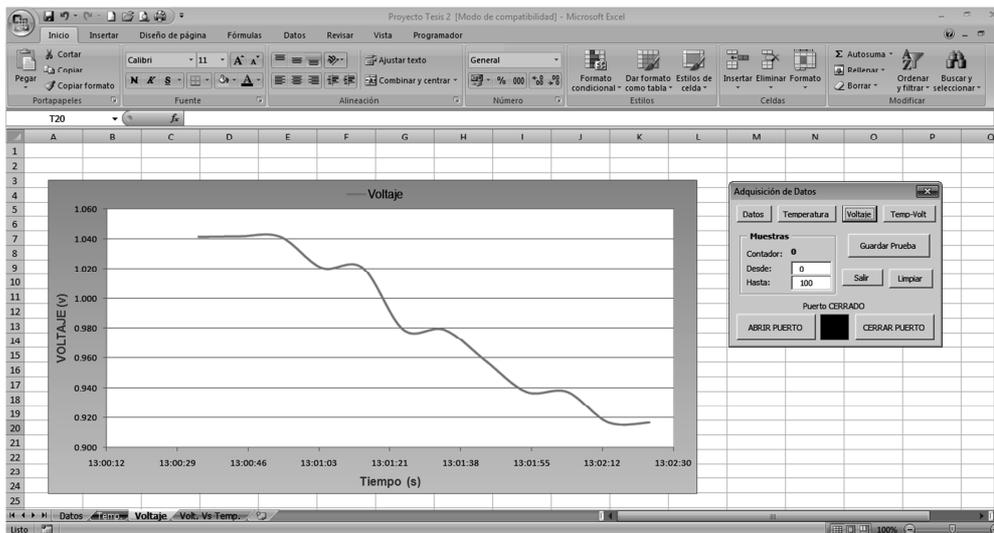
En las siguientes figuras se muestran los resultados de las variables de entrada cuando el sistema es puesto en marcha y se ve claramente como el voltaje de la celda solar disminuye cuando la temperatura de trabajo aumenta.

Figura 60. Gráfica de las mediciones de temperatura



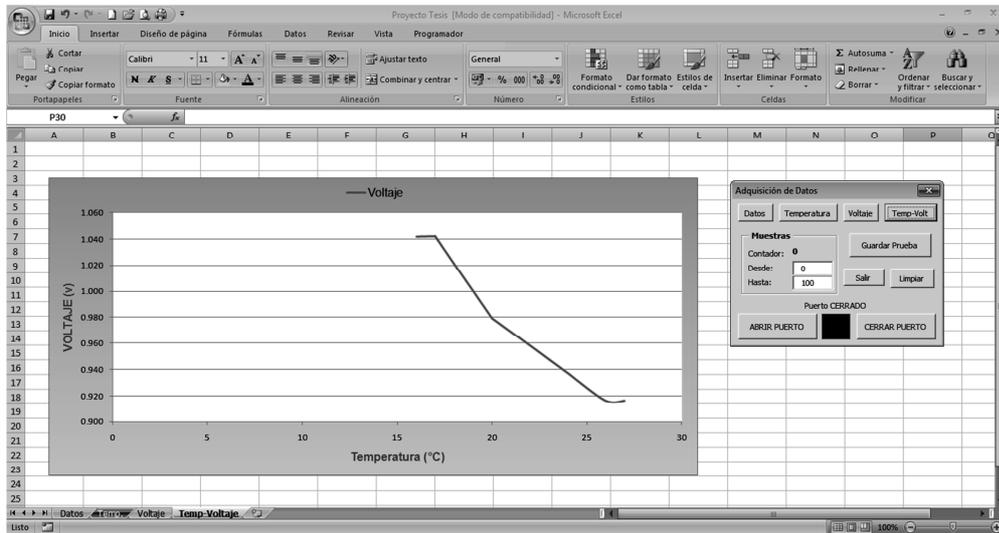
Fuente: elaboración propia.

Figura 61. Gráfica de las mediciones de voltaje



Fuente: elaboración propia.

Figura 62. Gráfica de voltaje en función de la temperatura



Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Conocer los fundamentos teóricos sobre sistemas de adquisición de datos y su criterio de selección permite llevar a cabo un control eficaz sobre los procesos.
2. Tradicionalmente, una herramienta de software, como Excel se limita a los cálculos matemáticos, pero, con el sistema de adquisición de datos basado en microcontrolador, Excel se convierte en una potente herramienta, que permite la visualización y adquisición de información.
3. Es factible desarrollar un sistema de adquisición de datos versátil, basado en microcontrolador, que contenga componentes de bajo costo, fácil operación y mantenimiento y además que brinde resultados confiables.
4. El contar con un sistema de adquisición de datos que proporcione información básica del proceso en tiempo real, permite mejorar la toma de decisiones correspondientes al rendimiento de los paneles solares.

RECOMENDACIONES

1. Debido al gran avance en la implementación de sistemas fotovoltaicos, es importante investigar e involucrarse más a profundidad para comprender la utilidad de la energía solar y no utilizarla de una forma ineficiente.
2. Es necesario crear programas en todos los niveles educativos para que el concepto de energía solar sea aceptado como de cultura general y no como un tema complicado y especializado como se ha manejado. Mientras mejor informados estén los estudiantes más posibilitados estarán para investigar e involucrarse con el desarrollo tecnológico.
3. Es importante implementar sistemas que permitan optimizar la conversión de la energía solar, para aprovechar al máximo los beneficios que esta fuente de energía otorga.
4. En el desarrollo del sistema de adquisición de datos basado en microcontrolador se ha hecho uso específico del PIC 16F877A, por ser este uno de los más populares en el desarrollo de proyectos, pero, no existe ningún problema al querer sustituirlo por otro, siempre y cuando cumpla con las características básicas mencionadas en este trabajo de graduación.

BIBLIOGRAFÍA

1. BOLTON, William. *Mecatrónica*. 3a. ed. México: Alfaomega, 2006. 17 p.
2. GARCÍA, Marcia; IGLESIAS, Manuel; AGUILERA, Sara. *Influencia de la temperatura en las características volt-ampéricas de fotodetectores de silicio*. Revista cubana de física, 1992. 183 p.
3. GONZÁLES, Amador; LUQUE, Raúl; MONTOYA, Enrique. *Celdas Solares de CdS/Cu₂S: Influencia de la temperatura de depósito, post-tratamiento con cobre* [en línea]. <http://www.uta.cl/charlas/volumen16/Indice/Ch-emontoya.pdf>. [Consulta: 8 de marzo de 2011].
4. KALIPEDIA. *Tecnología general* [en línea]. <http://kalipedia.com/tecnologia/tema/electronica/semiconductores>. [Consulta: 18 de septiembre de 2011].
5. LADELEC. *Selectores de datos: multiplexores* [en línea]. <http://ladelec.com/teoria/electronica-digital>. [Consulta: 03 de octubre de 2011].
6. MORENO VELASCO, Ignacio. *El amplificador de instrumentación* [en línea]. <http://www.unet.edu.ve/~ielectro/42-AmplificadorInstrumentacion.pdf>. [Consulta: 8 de septiembre de 2011].

7. MULKI AGUILERA, Luciano; DEL ESTEREO, Santiago. *Sistema de adquisición de datos en Excel*. [en línea]. http://fanaticodeelectronica.blogspot.com/2009/02/sistema-de-adquisicion-de-datos-en_19.html. [Consulta: 21 junio de 2011].
8. PALLÁS ARENY, Ramón. *Adquisición y Distribución de Señales*. España: Marcombo-Boixareu, 1993. 86 p.
9. ROSALES, Damián. *Curso de energías alternativas-fundamentos* [en línea]. <http://www.mailxmail.com/curso-energias-alternativas-fundamentos>. [Consulta: 15 de septiembre de 2011].
10. SEAGER, Clive. *DATALOGGER Sistema de Adquisición de Datos de 4 Canales*. Revista Saber Electrónica, 2006. 5 p.

ANEXO

Anexo 1. Hoja de especificaciones del microcontrolador



MICROCHIP

PIC16F87X

28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

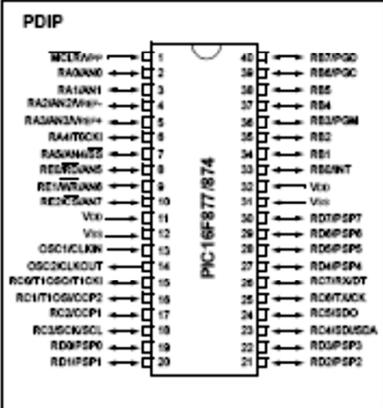
Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873
- PIC16F874
- PIC16F876
- PIC16F877

Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and
Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC
oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM
technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two
pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature
ranges
- Low-power consumption:
 - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
 - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
 - < 1 µA typical standby current

Pin Diagram



Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,
can be incremented during SLEEP via external
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master
mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address
detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with
external \overline{RD} , \overline{WR} and \overline{CS} controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for
Brown-out Reset (BOR)

© 2001 Microchip Technology Inc.
D830292C-page 1

Fuente: Microchip. Hoja de especificaciones PIC 16F87X. p. 1.

