

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA

DE MEXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGON

**CREACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS
PARA UN PROTOTIPO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA LIMPIA FOTOVOLTAICA**

TESIS PROFESIONAL

para obtener el título de

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

AREA

Eléctrica Electrónica

PRESENTA:

TONATIU EMILIO OLIVO PABLO

DIRECTOR DE TESIS

M. en D. U. Julio Bernal Vázquez



FES Aragón



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE

	PAGINA
INTRODUCCIÓN	5
OBJETIVO	6
Capitulo Primero. BÓVEDA CELESTE Y ENERGÍA SOLAR.	7
1. Antecedentes.	
1.1. La bóveda Celeste.	
1.2. Coordenadas celestes.	
1.2.1. Sistemas basados en coordenadas cartesianas.	
1.2.2. Sistemas basados en coordenadas esféricas.	
1.2.3. Coordenadas Horizontales.	
1.2.4. Coordenadas Ecuatoriales.	
1.3. La tierra.	
1.4. El sol.	
1.4.1. Radiación solar.	
1.4.2. Radiación diaria y anual.	
1.4.3. Medida de radiación directa.	
Capitulo Segundo. SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA FOTVOLTAICA	27
2. Antecedentes.	
2.1. Conceptos básicos.	
2.2. Conductores y Semiconductores.	
2.3. Generador Termoiónico.	
2.4. Efecto foto-eléctrico.	
2.4.1. Generador fotoemisor.	
2.4.2. Generador fotoeléctrico.	
2.5. La célula solar.	
2.6. Manufactura de celdas solares.	
2.7. Potencia y costos.	
2.8. Sistemas de seguimiento solar.	
Capítulo Tercero. TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.	41
3. Antecedentes.	
3.1. Conceptos básicos de circuitos.	
3.2. Amplificador Operacional.	
3.2.1. Seguidor de Tensión.	
3.3. Representaciones numéricas.	
3.4. Sistemas digitales.	
3.4.1. Sistemas de numeración.	
3.5. Algebra Booleana y compuertas lógicas.	
3.5.1. Compuerta And.	
3.6. Comunicación Serial.	
3.7. USB.	
3.8. El microprocesador.	
3.8.1. Sistema mínimo.	
3.8.2. Buses del sistema.	
3.8.3. Unidad de memoria.	
3.8.4. Unidad central de proceso (CPU).	
3.8.5. Unidad de control.	
3.8.6. Unidad de proceso.	
3.8.7. Interfaz o módulo de E/S.	
3.9. Microcontroladores.	

- 3.9.1. Aplicaciones de los microcontroladores.
- 3.9.2. El mercado de los microcontroladores.
- 3.9.3. Arquitectura básica.
- 3.9.4. El procesador.
- 3.9.5. Memoria.
- 3.9.6. Puertos de entrada y salida.
- 3.9.7. Recursos especiales.
- 3.10. Microcontroladores PIC.
 - 3.10.1. Características.
 - 3.10.2. Gamas.
 - 3.10.3. Herramientas para el desarrollo de aplicaciones.
- 3.11. Microcontrolador PIC18f4550.
 - 3.11.1. Configuración del oscilador.
 - 3.11.2. Módulo USB.
 - 3.11.3. Módulo ADC.
- 3.12. Adquisición de datos.
 - 3.12.1. Definiciones.
 - 3.12.2. Factores clave.
- 3.13. Sistemas de conversión de un solo canal.

Capítulo Cuarto. LABVIEW NOCIONES BÁSICAS.

73

4. Introducción.

- 4.1. Descripción del software.
- 4.2. Lenguaje G.
- 4.3. Ventajas de Labview sobre otros sistemas.
- 4.4. Entorno de programación.
 - 4.4.1. Controles.
 - 4.4.2. Funciones.
- 4.5. Creación de programas.
 - 4.5.1. VI y subVI.
 - 4.5.2. Depuración del código.
 - 4.5.3. Opciones.
- 4.6. Ventana de navegación.
- 4.7. Ejemplos.
- 4.8. Estructuras.
 - 4.8.1. Estructura repetitiva “Mientras Que” (While Loop).
 - 4.8.2. Estructura repetitiva “Para” (For Loop).
 - 4.8.3. Estructura “Secuencia de apilamiento” (Stacked Sequence Structure).
- 4.9. Tipos de datos.
 - 4.9.1. Booleano (Boolean).
 - 4.9.2. Numérico.
 - 4.9.3. Cadena de caracteres (Strings).
 - 4.9.4. Generación de Reportes (Report Generation).
- 4.10. Comunicación serie.
- 4.11. Descripción de los Vis.
 - 4.11.1. Configuración y conexión serie.
 - 4.11.2. VI Configuración del Puerto Serie VISA (VISA Configure Serial Port VI).
 - 4.11.3. VI Función de Escritura VISA (VISA Write Function).
 - 4.11.4. VI Función de Lectura VISA (VISA Read Función).
 - 4.11.5. VI Función de Cierre del Recurso VISA (VISA Close Function).
- 4.12. Captura, procesamiento y visualización de datos.
 - 4.12.1. VI Función de convertir datos de cadena a un arreglo de Bytes (String To Byte Array Function).
 - 4.12.2. VI Función índice de arreglos (Index Array Function).
 - 4.12.3. VI Convertidor de número a arreglo de Booleanos (Number To

- Boolean Array Function).
- 4.12.4. VI Función convertidor de precisión simple a número flotante (To Single Precisión Float Function).
- 4.12.5. VI Arreglos o matrices (Array).
- 4.13. Implementación del tiempo.
 - 4.13.1. VI Función de formato de cadena Fecha/tiempo (Format Date/Time String Function).
 - 4.13.2. VI Función Cadena de Subconjunto (string Subset Function).
 - 4.13.3. VI Función de conversión de cadena decimal a número (Decimal String To Number Function).
 - 4.13.4. VI Función de obtener Fecha / hora en segundos (Get Date/Time In Seconds Function).
 - 4.13.5. VI Función de Booleano a (0, 1) (Boolean To (0,1) Function).
 - 4.13.6. VI Función Y (And Function).
- 4.14. Generación del reporte.
 - 4.14.1. VI Función de obtener fecha / hora en cadena (Get Date/Time String Function).
 - 4.14.2. VI Función de nuevo Reporte (New Report).
 - 4.14.3. VI Añade Texto al Informe (Append Report Text VI).
 - 4.14.4. VI Borrador de reporte (Clear Report VI).
 - 4.14.5. VI de Insertar grafica en Word (Word Insert Graph VI).
 - 4.14.6. VI Opciones de fuente del Grafico en Word (Word Set Graph Font VI).
 - 4.14.7. VI Salir de la Grafica en Word (Word Quit Graph VI).
 - 4.14.8. VI Traer al frente a Word (Word Bring to Front VI).
 - 4.14.9. VI Dispone el Reporte (Dispose Report VI).
- 4.15. Otros programas.
 - 4.15.1. Pcw ccs picc compiler.
 - 4.15.1.1. Estructura de programa.
 - 4.15.1.2. Declaraciones.
 - 4.15.1.3. Operadores.
 - 4.15.1.4. Tipos de variables.
 - 4.15.1.5. Funciones.
 - 4.15.1.6. ADC (Convertidor Analógico Digital).
 - 4.15.1.7. USB (Bus Serie Universal).
 - 4.15.2. PICKID 3.
 - 4.15.2.1 Entorno de programación
 - 4.15.3. Eagle Layout Editor 5.11.

Capitulo Quinto. RESULTADOS.

119

- 5.1. Introducción.
- 5.2. Diseño del circuito.
- 5.3. Atenuación de la señal.
- 5.4. Acondicionamiento de la señal.
- 5.5. Procesamiento de las señales (ADC).
- 5.6. Interface USB.
- 5.7. El Microcontrolador.
- 5.8. Programación del PIC18F4550.
- 5.9. Instalación del Hardware "Tarjeta de Adquisición de Datos".
- 5.10. Programa en Lenguaje G de Labview.
- 5.11. Ejecución del programa.
- 5.12. Adquisición de datos.

CONCLUSIONES

143

BIBLIOGRAFÍA

144

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto describe, desarrolla y reporta un sistema de adquisición de datos para un prototipo de generación de energía eléctrica a partir de celdas solares. Se utiliza para este fin un microcontrolador de gama media marca microchip modelo 18F4550, el software de National Instruments "Labview", una computadora personal, un panel solar fotovoltaico, un inversor de corriente, un cargador de baterías y la batería misma.

Se realiza un acondicionamiento y atenuación del voltaje generado del panel solar a valores soportados por el microcontrolador y así obtener una conversión analógica-digital (ADC). Estos datos digitales se transmiten físicamente vía USB a una computadora personal para su posterior procesamiento con el software de National Instruments Labview y su almacenamiento de los mismos con el software de Microsoft Office Word.

El sistema de adquisición de datos guarda el valor numérico del voltaje que se genera durante todo el día proveniente del panel fotovoltaico, con un lapso de tiempo entre cada captura de 60 min. El horario de adquisición se obtiene del registrado en la computadora en cuestión, por lo que no importa la hora en que se ponga en funcionamiento el sistema, siempre se tendrá un registro real del tiempo.

Para la elaboración de este proyecto se abordan temas desde los más básicos de electrónica hasta los más avanzados como es la programación de microcontroladores en lenguaje C, así como también todo un capítulo destinado a la importancia de generación de energía eléctrica limpia a través de paneles fotovoltaicos.

En el capítulo 1 se describe las principales características del sol como fuente de energía, la alineación solar mediante coordenadas horizontales y ecuatoriales, los instrumentos de medición para la radiación solar así como también los movimientos importantes del planeta tierra.

Para el capítulo 2, se presenta la manera de generar energía eléctrica a través de paneles solares. La transformación de energía solar a energía eléctrica, tipos de paneles solares y composiciones.

En el capítulo 3, se hace mención de los conceptos y teorías básicas de los circuitos, la importancia de un sistema de adquisición de datos, sus componentes principales para acondicionar la señal a los valores usados por los dispositivos digitales así como también las consideraciones que se toman en cuenta al desarrollar un sistema como este.

El capítulo 4, expone los conceptos básicos del software de National Instruments "Labview", así como su utilización en la adquisición de datos.

En el último capítulo número 5, se reporta la Aplicación y los resultados del sistema de adquisición de datos, se describe mediante módulos como registrar en una PC vía USB la tensión generada de un panel fotovoltaico y por otra parte el diseño del circuito mismo.

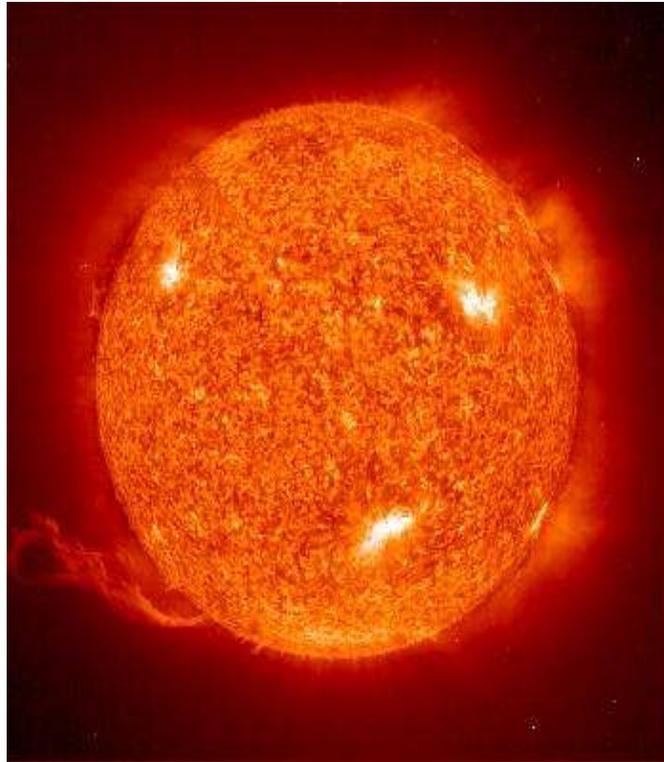
OBJETIVO.

En la actualidad y sobre todo en México el 90% de la energía que se consume proviene principalmente de los hidrocarburos. Por ello, es de vital importancia generar nuevas formas de generar energía eléctrica limpia, renovable y eficaz.

Una alternativa para la disminuir la contaminación atmosférica del planeta y sobre todo al uso desmedido de combustibles fósiles o cualquier otro que promueve el cambio climático, es la energía solar. En el Laboratorio de Medición e Instrumentación del Centro Tecnológico de la Facultad de Estudios Superiores Aragón (UNAM), se está desarrollando un sistema de generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos, por lo que es necesario cuantificar la tensión generada del mismo durante todo día y así tener una historia del comportamiento del panel durante el año. Este es el objetivo del proyecto "CREACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA UN PROTOTIPO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA LIMPIA FOTOVOLTAICA". Y con esto pasar a la siguiente etapa de desarrollo del sistema.

Capitulo Primero.

BÓVEDA CELESTE Y ENERGÍA SOLAR.



1. Antecedentes.

Atmósfera

Se denomina atmósfera a la mezcla de gases y pequeñas partículas líquidas o sólidas que envuelven a la tierra. Se compone de varias capas que se denominan: troposfera, estratosfera e ionosfera (figura1) tiene un espesor de 10 000km y cerca del 95% de su masa se encuentra en los primeros 19Km.

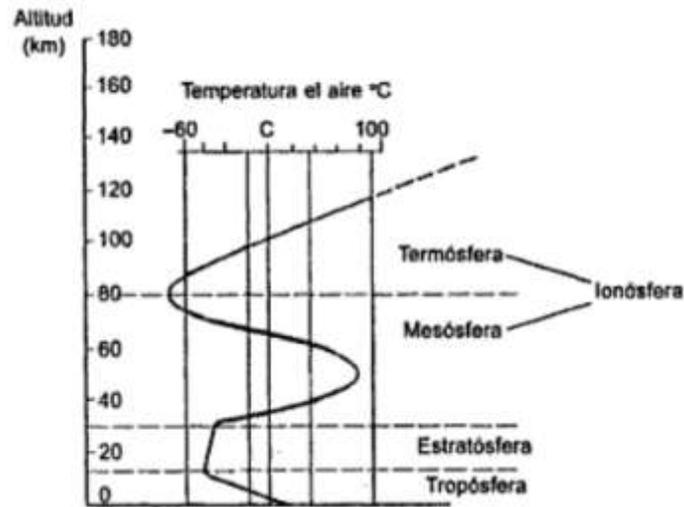


Figura 1. Capas que componen la atmósfera

Clasificación de los contaminantes

Según su origen se clasifican en naturales y antropogénicos. En los primeros no interviene el hombre y en el segundo sí.

Otra clasificación existente es en primarios y secundarios, según sean arrojados a la atmósfera.

Una última clasificación agrupa los principales contaminantes en las siguientes familias:

- Compuestos inorgánicos del carbono
- Compuestos derivados del azufre
- Hidrocarburos
- Compuestos del nitrógeno
- Oxidantes fotoquímicos
- Metales
- partículas

Las características principales de los contaminantes más peligrosos en la atmósfera se enuncian a continuación.

Compuestos inorgánicos del carbono

Monóxido de carbono, CO.

Gas, incoloro, tóxico y sin sabor. Se forma durante las malas combustiones, por lo que existe en concentraciones muy altas en los gases productos de la combustión del carbono, el gas natural o el petróleo. Las fuentes de monóxido carbono se clasifican en:

- | | |
|--------------|---|
| Naturales | <ul style="list-style-type: none">○ Oxidación natural del metano○ Respiración de los seres vivos○ Incendios accidentales |
| Artificiales | <ul style="list-style-type: none">○ Combustión de fuentes fijas○ Procesos industriales○ Disposición de desechos sólidos○ Combustión de transportes |

Entre sus efectos principales se encuentra la disminución en la capacidad de concentración y el rendimiento intelectual, debido a la limitación de oxigenación celular. Exposiciones a concentraciones de 120 ppm (partículas por minuto) durante una hora (concentraciones alcanzadas en un cuarto de fumadores) producen dolor de cabeza mareo y pesadez.

Para concentraciones en el aire de 70 ppm, el corazón aumenta su actividad en 44%, se disminuye la agudeza visual y la visión nocturna.

La principal fuente de este contaminante en la Ciudad de México es de origen vehicular. El máximo se presenta en las mañanas alrededor de las 9:00am. El segundo valor más elevado ocurre desde las 18:00 hasta las 21:00 hrs.

Dióxido de carbono CO₂

Es un gas incoloro inodoro e insaboro utilizado en extinguidores y bebidas gaseosas. Es uno de los productos de la combustión de la materia orgánica debida al proceso de respiración o a las combustiones artificiales completas. También es una de las materias primas de la fotosíntesis. No es toxico pero puede producir asfixia por el desplazamiento del oxígeno.

El clima

Se define el clima como el “tiempo medio”, sus principales variables son: la temperatura, la precipitación y el viento, pero en un sentido más amplio, el tiempo es una descripción del estado del sistema climático.

El sistema climático se compone de: la atmósfera, los océanos, la biosfera terrestre y marina, la criosfera (hielo marino, cubierta de nieve estacional, glaciares de montaña y capas de hielo a escala continental), y la superficie terrestre. Al interactuar unos con otros, determinan el clima de la superficie de la Tierra. Lo que mueve el sistema climático es la entrada de energía solar, equilibrada por la emisión de energía infrarroja hacia el espacio. La energía solar es la fuerza conductora más importante de los movimientos de la atmósfera y el océano, de los flujos de calor y agua y de la actividad biológica. La Figura 2 es una representación esquemática del sistema

climático y muestra algunas interacciones clave entre los diversos componentes y las propiedades de los componentes que pueden cambiar. Los componentes del sistema climático influyen en el clima regional y mundial de varias maneras diferentes: a) en la composición de la atmósfera de la Tierra, por lo que modulan la absorción y transmisión de la energía solar y la emisión de energía infrarroja que se devuelve al espacio; b) alteran las propiedades de la superficie y la cantidad y naturaleza de la nubosidad, lo que repercute sobre el clima a nivel regional y mundial; y c) distribuyen el calor horizontal y verticalmente, desde una región hacia otra mediante los movimientos atmosféricos y las corrientes oceánicas¹.

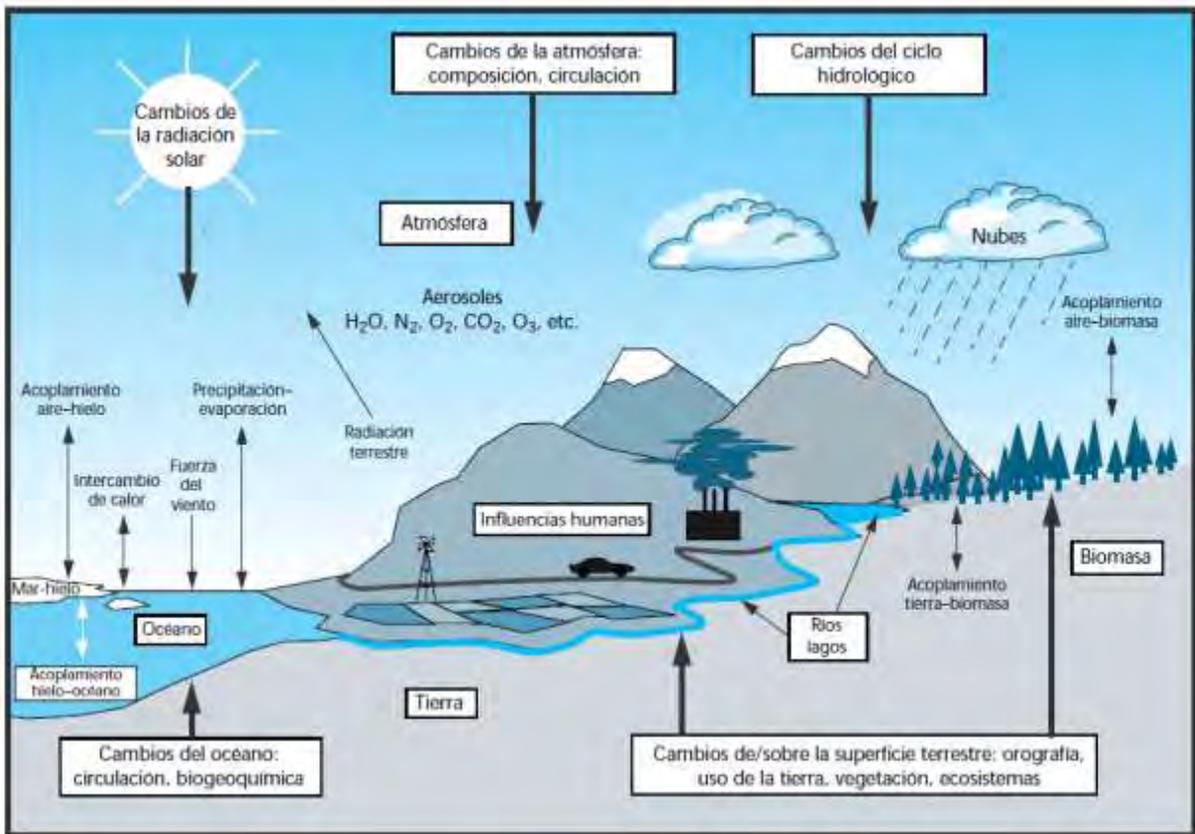


Figura 2. Visión esquemática de los componentes del sistema climático mundial

Efecto invernadero

Debido al uso creciente del petróleo y carbón, el nivel de CO₂ ha ido aumentando en la atmósfera, con una tasa de producción derivado de fuentes de energía en México de 374 millones de toneladas, Inegi 1993. De esta forma y aumentando las emisiones de todos los países se ha rebasado la capacidad de asimilación del Co₂ del planeta por medio de la fotosíntesis o por disolución en el océano.

Esto ha provocado un fenómeno denominado EFECTO INVERNADERO. El dióxido de carbono y el agua retienen las radiaciones infrarrojas provenientes de la radiación de la luz solar, ver figura 3 (la

¹ Houghton J. T., Ding Y., Griggs D. J., Noguera M., Van der Linden P. J. y Xiaosu D. (2001). *Cambio climático*

superficie de la tierra emite su energía de vuelta al espacio exterior en forma de ondas térmicas (conocidas también como radiación de onda larga) por parte de la tierra teniendo como consecuencia la elevación de la temperatura ambiente. Se calcula que el 18% de aumento de CO_2 atmosférico provocaría un aumento global de 0.5°C en la temperatura promedio del planeta y aquello provocaría el derretimiento del hielo de los polos.

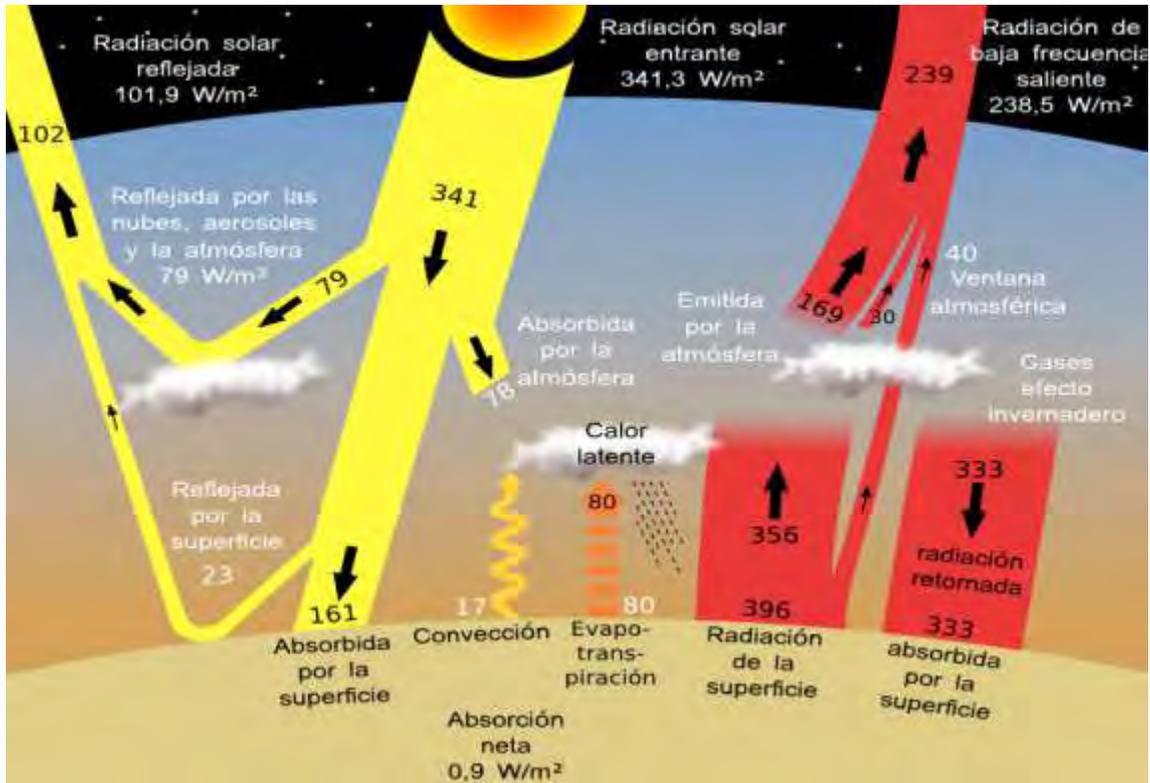


Figura 3. Efecto invernadero²

El aumento de temperatura en un invernadero se debe a la presencia de una barrera física que impide al aire caliente subir y escapar debido a la existencia de ciertos gases, denominados gases de efecto invernadero. Si el efecto invernadero no existiera de manera natural, la temperatura media de la tierra sería de -180°C .

Estos gases se clasifican en dos grandes grupos que son: naturales y generados por el hombre.

Los gases de efecto invernadero naturales son:

- vapor de agua (H_2O)
- Dióxido de carbono (CO_2)
- Metano (CH_4)
- Óxido nitroso (N_2O)
- Ozono

² Imagen tomada de la página web: www.ipcc.ch/Sun_climate_system_alternative

Gases de efecto invernadero generados por el hombre:

- Dióxido de carbono (CO₂)
- Metano (CH₄)
- Óxido nitroso (N₂O)
- Perfluorometano (CF₄)
- Perfluoroetano (C₂F₆)
- Hidrofluorocarbonos
- Hexafluoro de azufre

Efectos en el cambio climático

Dichos cambios, sobre todo el aumento de las temperaturas en algunas zonas, han afectado a la estación de la reproducción de animales y plantas y/o la de la migración de los animales, a la extensión de la estación de crecimiento, a la distribución de las especies y el tamaño de sus poblaciones, y a la frecuencia de las plagas y brotes de enfermedades. Algunos ecosistemas costeros también se han visto afectados por los cambios en el clima regional. Se estima que la temperatura media de la superficie terrestre ascienda entre un 1,4 y un 5,8°C para finales del siglo XXI, que las zonas terrestres experimenten un calentamiento más alto que los océanos, y que las latitudes altas se calienten más que los trópicos. Se estima que la elevación del nivel del mar asociada con dicho cambios esté comprendido entre 0,09 a 0,88 m. En general, se espera un aumento en las precipitaciones en latitudes altas y en zonas ecuatoriales, y que disminuyan en zonas subtropicales aunque aumenten las fuertes precipitaciones. Se espera que el cambio climático afecte directamente a organismos individuales, a poblaciones, a la distribución de especies, y al funcionamiento de los ecosistemas.

El efecto general del cambio climático estimado provocado por el hombre muestra que los hábitats de muchas especies se desplazará hacia los polos o hacia altitudes mayores respecto a sus emplazamientos actuales.

Cambios en la frecuencia, intensidad, extensión y emplazamiento de las alteraciones van a afectar la forma y el régimen a la que los ecosistemas actuales se van a ver reemplazados por nuevos.

En todo el mundo, cerca del 20 por ciento de los humedales costeros se podrían perder hacia el año 2080, como consecuencia de la elevación del nivel del mar³.

Hay indicios preliminares de que algunos sistemas humanos han sido influenciados por aumentos recientes de inundaciones y sequías. Sin embargo, tales sistemas están también influenciados por modificaciones de factores socioeconómicos tales como desplazamientos demográficos y cambios en la utilización de los terrenos.

Entre otros posibles impactos, previstos sobre la base de modelos y otros estudios, se incluyen los siguientes:

- Una reducción general del rendimiento posible de las cosechas en la mayoría de las regiones tropicales y subtropicales por razón de la mayoría de los aumentos previstos de la temperatura.

³ James J. McCarthy, Osvaldo F. Canziani, Neil A. Leary, David J. Dokken y Kasey S. White. (2001). *Cambio Climático 2001: Impactos, adaptación y vulnerabilidad Parte de la contribución del Grupo de trabajo II al Tercer Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)*

- Una disminución general, con algunas variaciones, del rendimiento posible de las cosechas en la mayoría de las regiones de latitud media por razón de aumentos del promedio anual de temperatura de más de unos pocos ° C.
- Disponibilidad menor de aguas para poblaciones en muchas regiones con escasez de agua, particularmente en las regiones subtropicales.
- Un aumento del número de personas expuestas a enfermedades transmitidas por vectores (p.ej., paludismo) y en aguas pantanosas (p.ej., cólera), y un aumento de la mortalidad por la tensión del calor.
- Un aumento extendido del riesgo de inundaciones para muchos asentamientos humanos (decenas de millones de habitantes en los asentamientos estudiados) como consecuencia de sucesos crecientes de precipitación fuerte y subida del nivel del mar. Aumento de la demanda de energía para acondicionamiento de locales debido a mayores temperaturas estivales.

Es de vital importancia entonces implementar sistemas de generación de energía limpia y renovable para minimizar los efectos de la contaminación atmosférica.

Hasta ahora no ha existido preocupación por los problemas que puedan surgir a causa de la desaparición de los combustibles tradicionales. Una escasez de energía trae como consecuencia miseria e injusticia. Es tarea de los ingenieros prever las necesidades materiales de la humanidad.

La totalidad de estos combustibles se han quemado junto con el oxígeno del aire, empleándose su energía química como calefacción en viviendas, edificios públicos y fábricas, o para hacer funcionar maquinas en las que la última instancia el calor se convierte en trabajo.

En KWH, esta cifra representa una estimación aproximada del trabajo real desempeñado por las maquinas fabricadas por el hombre, junto con la energía utilizada en los procesos químicos y en la calefacción. A esto se le llama DEMANDA DE LA ENERGÍA; para satisfacer la demanda, el suministro ha de ser mucho mayor, por la ineficacia con que se realiza el proceso de transformación a través del cual se satisface la demanda.

Energías renovables

Mediante el calentamiento del aire, del mar y de la tierra, proporciona la energía necesaria para mantener el movimiento de la atmósfera y de los océanos y para evaporar agua, que volverá en forma de lluvia.

En las zonas altas de la atmósfera, la intensidad de la radiación solar, es de 1.3 KW por metro cuadrado. Hay muchas regiones de la tierra en la que la energía total incidente sobre una superficie horizontal sobrepasa los 2 kwh/m² al año (equivalente a una intensidad media de ,6kwh/m² durante nueve horas) De esta forma, una región de 80 Km² recibirá tanta energía como la que utiliza en la actualidad la humanidad, y una de 300km² podría satisfacer la demanda mucho mayor, que se puede producir en el futuro.

La energía solar es muy difusa para el nivel de la técnica normal. La baja intensidad de la energía solar es uno de los mayores obstáculos para el aprovechamiento económico, sin embargo es la única fuente de energía lo suficientemente grande como para satisfacer la demanda del hombre.

El aprovechamiento de la energía solar es una alternativa para necesidades locales. Se cuenta con ella siempre que se necesite, con un suministro seguro e inextinguible.

A continuación se presentan las formas de energía solar más utilizadas.

Energía Termo solar

Consiste en el aprovechamiento de la energía del Sol para producir calor que puede aprovecharse para cocinar alimentos o para la producción de agua caliente destinada al consumo doméstico, ya sea agua caliente sanitaria, calefacción, o para producción de energía mecánica y, a partir de ella, de energía eléctrica. Adicionalmente puede emplearse para alimentar una máquina de refrigeración por absorción, que emplea calor en lugar de electricidad para producir frío con el que se puede acondicionar el aire de los locales.

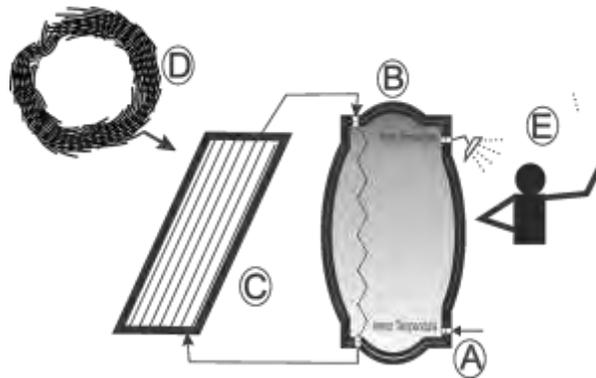


Figura 4. Ejemplo de energía termosolar.

En la figura 4, se ilustra una aplicación de la energía termosolar mediante una instalación de circuito cerrado en la que el agua fría proveniente de la red pública (A) se almacena dentro de un contenedor o tinaco (B), esta se transporta por una tubería secundaria hacia un captador solar (C) en la que el sol (D) provoca un aumento de temperatura del agua que atraviesa en ese momento por el captador solar y que a su vez regresa al mismo contenedor de almacenamiento, para que finalmente sea utilizado (E).

Energía fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es un tipo de electricidad renovable (energía eléctrica, -voltaica) obtenida directamente de los rayos del sol gracias a la foto-detección cuántica de un determinado dispositivo; normalmente una lámina metálica semiconductor llamada célula fotovoltaica, o una deposición de metales sobre un sustrato llamada capa fina. En el capítulo 2 se abordara a detalle este tema.

Energía solar activa

Para uso de baja temperatura (entre 35 °C y 60 °C), se utiliza en casas; de media temperatura, alcanza los 300 °C; y de alta temperatura, llega a alcanzar los 2000 °C. Esta última, se consigue al incidir los rayos solares en espejos, que van dirigidos a un reflector que lleva a los rayos a un punto concreto. También puede ser por centrales de torre y por espejos parabólicos.

Energía solar pasiva

Aprovecha el calor del sol sin necesidad de mecanismos o sistemas mecánicos.

Energía solar híbrida

Combina la energía solar con otra energía. Según la energía con la que se combine es una hibridación:

- Renovable: biomasa, energía eólica

No renovable: Combustible fósil.

1.1. La bóveda celeste.

Principalmente se tiene que definir geoméricamente los puntos más importantes sobre el movimiento del sol en la bóveda celeste que los astrónomos la consideran como una esfera imaginaria sobre la cual se proyectan todas las estrellas. En el centro de la bóveda celeste se encuentra el observador. Dado que no se tiene ninguna percepción directa de las distancias de los astros, éstos aparecen como si estuvieran fijos sobre la bóveda del cielo, limitada por el círculo del horizonte y de la cual nos sentimos el centro. Para establecer la posición de un astro en el cielo, los astrónomos lo imaginan proyectado sobre dicha esfera. No importa cuál sea la dimensión de esta esfera imaginaria que es inmensamente grande comparada con las distancias terrestres. Tan grande que en cualquier parte de la superficie terrestre en que uno se halle siempre se puede considerar en el centro de esta esfera. Esto se expresa diciendo que la esfera celeste tiene un radio infinitamente grande. La esfera celeste es un fenómeno óptico, pero los astrónomos utilizan este concepto para establecer sus sistemas de coordenadas. La sensación de que el cielo es realmente una esfera y que los astros se encuentran situada sobre ésta es tan fuerte, que la humanidad lo ha creído así durante muchos siglos hasta que el desarrollo de la ciencia y de la tecnología ha permitido medir las distancias que nos separan de los cuerpos celestes.

La línea recta sobre la cabeza del observador se define un punto fundamental de la bóveda: el zenit (Z), figura 1.1; y bajo los pies del mismo y en el polo opuesto al zenit se encuentra el nadir (na).

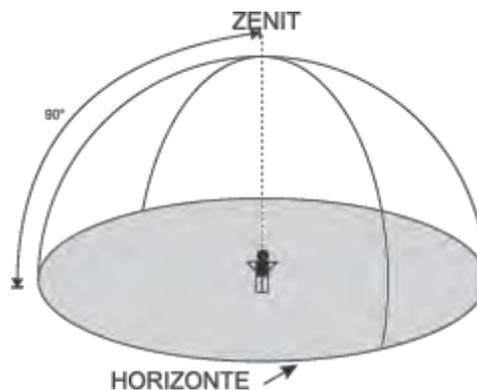


Figura 1.1. Zenit (Z)

A continuación se describen los principales sistemas de coordenadas.

1.2. Coordenadas Celestes.

Las coordenadas celestes son el conjunto de valores que, de acuerdo con un determinado sistema de referencia, dan la posición de un objeto en la esfera celeste. Existen diversas coordenadas celestes según cuál sea su origen y plano de referencia. Una primera clasificación, en dos grandes grupos, coordenadas cartesianas o coordenadas esféricas.

1.2.1. Sistemas basados en coordenadas cartesianas.

En las coordenadas rectangulares o cartesianas se toman tres ejes x , y , z ; perpendiculares entre sí, y que se cruzan en un punto origen que puede ser el Sol o la Tierra. Por ejemplo un punto P (x , y , z).

Se emplean en algunos casos para el Sistema Solar. Su unidad es la Unidad Astronómica UA o también el km.

1.2.2. Sistemas basados en coordenadas esféricas.

Las coordenadas esféricas son empleadas para superficies esféricas. La mayor parte de coordenadas celestes son coordenadas esféricas.

Otra clasificación es atendiendo Según su plano de referencia que pueden ser coordenadas Horizontales y Ecuatoriales.

1.2.3. Coordenadas Horizontales.

Toman como plano de referencia el horizonte que corta ecuatorialmente a la bóveda, y por lo tanto es perpendicular al eje que va del zenit al nadir: Los planos que pasan por el zenit y nadir se les llaman coluros, cortan a la bóveda como círculos máximos, entendiendo por tales aquellos cuyos planos pasan por la posición central en que se encuentra el observador, también hay otros planos paralelos al horizonte, que definen círculos que no son máximos y que los árabes denominaron almicanteras.

Como la bóveda gira sobre un eje, este corta a la esfera en 2 puntos que se denominan polo norte y polo sur. Al coluro que contiene al P.N y P.S se llama meridiano.

Si el radio de la esfera celeste lo consideramos la unidad, entonces se necesitan 2 ángulos para tener las coordenadas que definen todos los puntos de la bóveda. Al ángulo determinado en el plano del horizonte, a partir del meridiano, se le llama azimut (A), y al ángulo que se traza elevándose desde el horizonte hasta el zenit se denomina altura (h). El azimut podría valer 0° a 360° , para la medida solar se mide de 0° a 180° comenzando en el punto sur (s) del horizonte hasta el este (E) y terminando en el punto norte (N) del mismo; y desde 0° hasta 180° , comenzando en el sur y dirigiéndose al norte por el oeste (W). La altura será positiva desde el horizonte, de altura 0° , hasta el zenit de altura 90° y se reserva la altura negativa para definir sucesos cuya posición este debajo del horizonte. La bóveda celeste es diferente según el punto de la tierra en que se encuentre el observador.

Con el movimiento de la bóveda, todos los astros, dan vuelta diurna de forma que muchos aparecen por la parte del horizonte que está cercana al este (orto del astro) y se ocultan por la parte del horizonte que esta hacia el oeste (ocaso del mismo). Existen algunos astros que están cercanos al polo y nunca desaparecen bajo el horizonte estos se llaman circumpolares. En la figura 1.2 se muestran los puntos y nombres de las coordenadas horizontales.

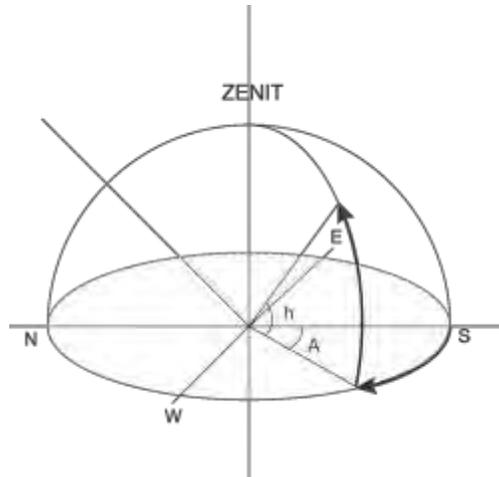


Figura 1.2. Coordenadas horizontales

1.2.4. Coordenadas Ecuatoriales.

Se toma como plano de referencia el círculo máximo que es perpendicular al polo norte-polo sur. Este plano es el ecuador celeste.

Al ángulo medido en ese plano se llama ángulo horario (w) y va de 0° a 360° o de 0 a 24 horas; por lo que cada hora corresponde a un giro de 15° . Se toma como origen en el plano del meridiano del lugar (que contiene al zenit, nadir y a los dos polos).

El otro ángulo, que se mide en el meridiano y que pasa por el astro concreto y que en el hemisferio norte se mide positivamente de 0° a 90° , y negativamente en el hemisferio sur, se llama declinación (d). La declinación se mide desde el PF, a lo largo del círculo de declinación.

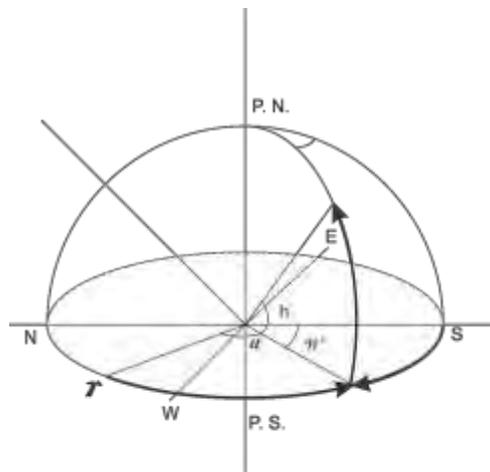


Figura 1.3. Coordenadas ecuatoriales

Otro valor importante, se toma como origen un punto que este fijo en el ecuador y que gire con la bóveda celeste. A este punto se le llama bóveda vernal o punto Aries (r). Al ángulo medido en el plano del ecuador a partir de r se le llama ascensión recta (α), y va desde 0° hasta 360° o también

de 0 a 24 horas, siendo positiva si se mide en sentido directo. En la figura 1.3 se ilustra las coordenadas ecuatoriales.

Cada vez que el punto Aries, considerado fijo en principio, pase por el meridiano comenzara un nuevo día que se llama sidéreo, día que está dividido en 24 horas sidéreas.

1.3. La tierra.

En el siglo XVII Newton afirma que la tierra tiene un achatamiento y las expediciones del siglo XVIII confirmaron, mediante la medida terrestre del grado meridiano en puntos cercanos a los polos y en puntos cercanos al ecuador que el achatamiento polar era un hecho.

La primera aproximación del tamaño de la tierra y que a la fecha todavía es válida fue la que afirmó Eratóstenes. Prescindiendo de las irregularidades (montañas, mares y valles), se define una figura geométrica consistente en un elipsoide de revolución (geoide).

Para algunas descripciones la tierra es una superficie esférica, y sobre su superficie se define dos coordenadas angulares para su localización de los puntos de la misma. Se llama *latitud* al ángulo central que subtiende al arco trazado desde el ecuador, perpendicularmente a este, hasta el punto en cuestión. Toma valores de 0° a 90° , si el punto es en el hemisferio norte, y de 0° a -90° si pertenece al hemisferio sur.

La otra coordenada se llama *longitud* y se mide de 0° a $+180^\circ$, denominada longitud Este. O de 0° a -180° , longitud Oeste. El acuerdo universal para la determinación del meridiano 0° ha sido tomar como tal el meridiano que pasa por Greenwich (figura 1.4).



Figura 1.4. Meridiano Greenwich y Línea Ecuatorial.

Los movimientos de la tierra fundamentalmente son 4: Rotación, Traslación, precesión y nutación.

Rotación: Es el movimiento de giro del geoide sobre un eje que va desde el polo norte al polo sur. Y que tiene una duración aproximada de 24 horas. En la figura 1.5 se ilustra este movimiento, indicando la desviación que tiene la tierra.

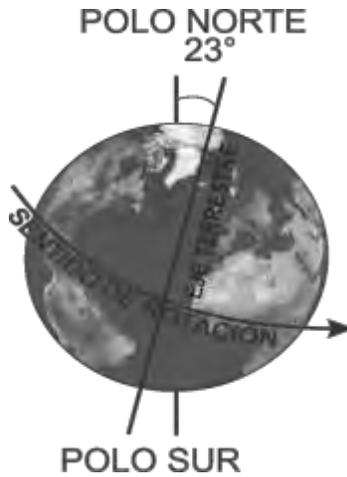


Figura 1.5. Movimiento de rotación

Traslación (figura 6): En la órbita en la que se mueve la tierra. Esta se traslada con un movimiento periódico que dura aproximadamente un año.



Figura 1.6. Movimiento de traslación

Precesión (figura 1.7): El eje de la tierra que defiende al geoide ambos polos, y sobre la bóveda celeste los puntos N.P. y P.S., no apunta en dicha bóveda siempre en la misma dirección. El movimiento del eje describe sobre ella una especie de círculo de 23° de radio, realizándose una vuelta completa en unos 26000 años. Al movimiento del punto vernal se le llama en astronomía precesión de los equinoccios.

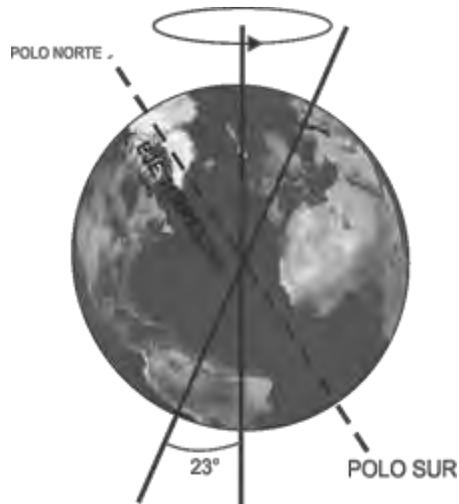


Figura 1.7. Movimiento de precesión

Nutación :La traza del eje de la tierra sobre la bóveda celeste es un círculo festoneado, es decir la composición de dos movimientos, uno más amplio que corresponde del círculo y otro menos amplio que constituye una elipse y que responderá del festoneo. Este segundo movimiento se llama nutación.

1.4. El sol.

El sol es un elemento de las estrellas de la llamada SECUENCIA PRINCIPAL, nombrado así por la región del diagrama de Hertzsprung-Russell en la que se encuentran la mayor parte de las estrellas.

Pertenece a la categoría de estrellas de enanas amarillas. El Sol se formó hace 4.650 millones de años y tiene combustible para 5.500 millones más. Después, comenzará a hacerse más y más grande, hasta convertirse en una gigante roja. Finalmente, se hundirá por su propio peso y se convertirá en una enana blanca, que puede tardar un billón de años en enfriarse. Su diámetro es de 1.39 millones de kilómetros, y está compuesto por capas concéntricas con temperaturas decrecientes hacia el exterior. La más extensa se denomina “fotosfera” y está compuesta por gases ionizados a una temperatura aproximada de 6000 grados kelvin, valor que caracteriza la calidad de energía que irradia el sol. Las demás capas exteriores son transparentes a la radiación.

Esta energía está compuesta por ondas electromagnéticas de longitudes de onda en la zona ultravioleta, visible e infrarroja del espectro. El conocimiento del espectro del sol es de suma importancia para el desarrollo de aplicaciones solares.

Se constituyó a partir de nubes de gas y polvo, en la cual los movimientos aleatorios del material originaron ciertas regiones con mayor densidad que otras. Por lo que la materia empieza a centrarse en torno a estas regiones por la acción de la gravedad. A este proceso se le llama AGLOMERACIÓN EN FRIO.

Las fuerzas gravitatorias actuantes entre las partículas de la nube hacen que se agrupen entre sí, y conforme las partículas se atraen, su velocidad es mayor. Al variar la energía del campo gravitatorio (energía cinética de las partículas) se eleva el estado general de agitación de las partículas de la nube (aumentado la temperatura). En cierto momento la temperatura se eleva lo

suficiente para que se produzcan reacciones nucleares. Los fenómenos que a continuación se desarrollen dependen de la naturaleza y cantidad del material, en el caso del sol entra en un periodo de relativa estabilidad, donde la concentración se realiza muy lentamente, al estar casi equilibradas las fuerzas que tienden acercar las partículas y la presión hacia afuera que ejerce la radiación.

En las proximidades del centro del sol, se calcula que la temperatura es alrededor de diez millones de grados centígrados y que el consiguiente movimiento de la materia están elevado que no se puede mantener la ordenada estructura de átomos y moléculas. Se convierte en un plasma, en el que los núcleos de los átomos se mueven con independencia de sus correspondientes electrones.

La temperatura en la superficie visible es 5500°C aproximadamente. A partir de las bandas de emisión y absorción en el espectro solar, características de los átomos que allí se encuentran, dos tercios de los elementos que hay en la tierra, están presentes también en el sol. El más abundante es el hidrogeno. Constituye un 80% de la materia solar; el resto, casi en su totalidad está compuesto por helio. Por lo que se considera que la fuente principal de la energía radiante del sol es la fusión (cambio de estado físico de solido a liquido por acción del calor) de los núcleos de hidrogeno que produce la formación de helio. Los núcleos de hidrogeno son partículas aisladas llamadas PROTONES, con carga eléctrica positiva. Las partículas se aproximan unas con otras por acción de la temperatura, hasta el punto en que entra en acción las fuerzas de atracción a corta distancia, pudiéndose producir la fusión. El resultado final de la cadena de fenómenos siguientes es la transformación de cada cuatro núcleos de hidrogeno en uno de helio, con la liberación de dos partículas llamadas NEUTRINOS (partículas subatómicas con masa muy pequeña que su interacción con las demás partículas es mínima por lo que pasan a través de la materia ordinaria sin apenas perturbarla) y radiación gamma (radiación electromagnética formada por fotones). En el proceso global, hay una pérdida neta de masa de alrededor del .75% de la materia que interviene. Como resultado la masa del sol disminuye a la velocidad de cuatro millones de toneladas por segundo, pero con su tamaño puede continuar en el estado actual durante varios miles de millones de años.

Para aplicaciones fotovoltaicas es importante conocer que cantidades de energía hay contenidas en el espectro solar por encima o por debajo de una determinada longitud de onda. El 80% de energía que envía el sol corresponde a longitudes de onda de la radiación menores de 1.5µm. La energía de los fotones se mide en ev (electrón-volt). Entre las longitudes de onda, λ (lambda) y la energía de los fotones, existe la relación:

$$hv = \frac{1.2406}{\lambda},$$

Ecuación 1.1. Energía del fotón

Esta cantidad de energía se distribuye por la acción de diferentes mecanismos como el albedo (luz reflejada 34%), energía absorbida por la atmosfera (19%) y absorción de la superficie terrestre (19%). Todas estas variables dependen de la nubosidad, el lugar geográfico, etc. Solo se puede conocer la energía del sol que se recibe en algún lugar del planeta mediante lecturas directas efectuadas durante periodos de tiempo suficientemente largos.

Las medidas de la radiación solar son importantes para:

- Estudiar las transformaciones de la energía en sistemas Tierra-atmósfera.
- Analizar las propiedades y distribución de la atmosfera, los elementos que la constituyen.

- Estudiar la distribución y variaciones de la radiación incidente, reflejada y total.
- Satisfacer las necesidades derivadas de las actividades de la biología, de la medicina, de la agricultura, de la arquitectura, de la ingeniería y de la industria relacionada con la radiación.

La radiación solar incidente de la atmosfera terrestre se denomina radiación solar extraterrestre ; EL 97% de la misma está contenida dentro del intervalo espectral comprendido entre 290 y 3000nm. Y se denomina radiación de onda corta. Parte de esta radiación solar extraterrestre penetra a través de la atmosfera.

En meteorología, la suma de las clases de radiaciones se denomina Radiación Total.

La luz es la radiación que resulta visible al ojo humano (ver figura 1.9). El intervalo espectral de la radiación visible se define por el rendimiento luminoso espectral. El 99% de la radiación visible está comprendida entre 400 y 730nm. La radiación cuya longitud de onda es inferior a 400nm se denomina ultravioleta y la de la longitud superior a 730 nm, infrarroja. El intervalo de la radiación ultravioleta se define en tres:

UVA: 315-400nm

UVB: 280-325nm

UVC: 100-280nm

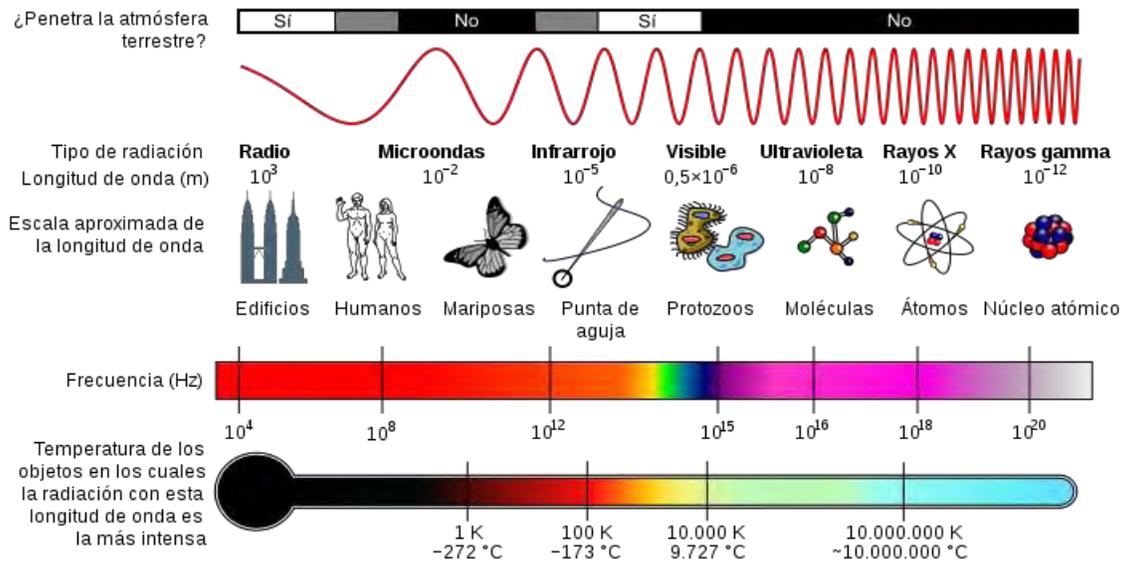


Figura 1.9. Espectro electromagnético de la luz

La radiación solar incidente tiene una componente directa (procedente en línea recta del sol) y otra difusa. El conocimiento de cada una de las componentes es importante ya que algunos convertidores solares, llamados de concentración dinámica, utilizan solo la componente directa.

Las reacciones nucleares origen de la radiación solar se producen en un núcleo central, como ya se mencionó con anterioridad. El material circundante de un espesor de 500,000km, modifica la radiación liberada, que comenzó en forma de radiación gamma. La radiación gamma tiene la longitud de onda más pequeña que se conoce (del orden de una cienmillonésima de milímetro). Los fotones (radiación existente en forma de partículas discretas) de radiación gamma poseen gran cantidad de energía por su pequeña longitud de onda. A medida que se alejan del centro del sol, chocan con núcleos o con electrones, o son desviados cuando la colisión no se llega a producir. En estos fenómenos, parte de la energía pasa a las partículas con las que choca, y los fotones resultantes al tener menor energía que antes, tendrá una longitud de onda mayor. La radiación gamma se debilita, convirtiéndose en rayos-x, con longitudes de onda de millonésima de milímetro. Cerca de la superficie del sol, donde la temperatura ha disminuido, existe otro mecanismo con el que se debilita la radiación, en el cual, el fotón, al chocar, hace que un electrón se traslade desde una órbita interior a una exterior. El electrón, al volver de ese estado de excitación, a su lugar normal, desprende energía de radiación, de una frecuencia característica. Finalmente las colisiones dan a los átomos energía cinética adicional, que se difunde en el movimiento turbulento del gas en la superficie. La radiación que sale del sol y llega al espacio, se distribuye en una amplia serie de longitudes de onda, donde la mayor parte de la energía corresponde a las longitudes de onda entre diez milésimas de milímetro y una centésima de milímetro.

Unos ocho minutos después de abandonar la superficie del sol, su radiación, transmitiéndose a una velocidad de 300,000km por segundo, alcanza la órbita de la tierra. Aunque la tierra intercepta solo una fracción minúscula de energía solar, la que incide en la alta atmosfera durante un periodo dado es equivalente a decenas de miles de veces las necesidades actuales de energía para todo el mundo durante ese periodo.

En los niveles más altos (25km) de la superficie, se desarrolla un proceso en que se elimina la radiación ultravioleta (letal para el ser humano). La cantidad de nubes de la tierra ocupa alrededor del 50% de su superficie, este es un mecanismo importante para la disminución de la energía solar.

Otra barrera, es la absorción real que se produce en las moléculas de vapor de agua, dióxido de carbono y otros elementos.

Estas interacciones con la atmosfera reducen la intensidad de la radiación solar en la superficie de la tierra a poco más de la mitad de su intensidad en la alta atmosfera. Así como también producen variaciones en la distribución espectral de la energía, por absorción, y en la dirección en que la energía llega a la superficie, por difusión. Estos efectos dependen de la composición local de la atmosfera variando en forma muy significativa por la contaminación.

Existen posiciones del sol muy importantes cuando se trata de aplicaciones con la radiación del mismo son los llamados solsticios y equinoccios. Los solsticios son aquellos momentos del año en los que el Sol alcanza su máxima posición meridional o boreal, es decir, una máxima declinación norte (+23° 27') y máxima declinación sur (-23° 27') con respecto al ecuador terrestre. Solsticio de verano, el 22 de julio; el solsticio de invierno, el 22 de diciembre. Existen dos puntos neutros entre estos dos periodos los equinoccios, que se producen el 21 de marzo y el 23 de septiembre, el día y la noche tienen igual duración. Se denomina equinoccio al momento del año en que los días

tienen una duración igual a la de las noches en todos los lugares de la Tierra, excepto en los polos. En la figura 1.10 se ilustran estos puntos clave en la posición del sol.

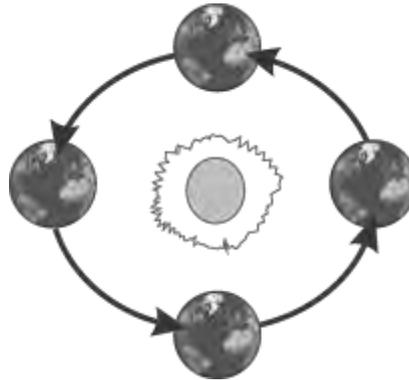


Figura 1.10. Equinoccios y solsticios

1.4.1. Radiación Solar.

Los dos factores que influyen en la radiación solar que incide directamente sobre una superficie, son la oblicuidad de los rayos en relación al plano de la superficie y la longitud de la trayectoria de los rayos a través de la atmósfera. Estos factores dependen de la altura solar.

La atmósfera terrestre es muy delgada en comparación con su radio. Solo para alturas solares pequeñas toma importancia la curvatura de la tierra. Se relaciona la longitud de la trayectoria con la MASA DE AIRE de forma que a una trayectoria radial le corresponde una masa de aire=1. La difusión y adsorción que sufre un rayo solar es proporcional a la masa de componentes atmosféricos que encuentra a su paso.

La reducción de la intensidad y la modificación de la distribución espectral de la energía solar por absorción y difusión dependen de la longitud de trayectoria a través del aire o de la masa de aire. La reducción general se debe a la difusión, y los quiebros, a la absorción de vapor de agua y el dióxido de carbono. Para alturas solares de 90°, 30°, 20°, 12°, La intensidad de energía I es aproximadamente 900, 750, 600 y 400 watts en atmósfera despejada.

La energía solar que incide sobre una superficie es mayor. Está formada no solo de la componente de DIRECTA, que es la que se acaba de considerar; si no también por la componente difusa, que es la radiación que ha sido difundida por los elementos de la atmósfera, dirigiéndose de nuevo a la superficie de la tierra. La radiación difusa se llama también SKYLIGHT, representa una fracción del total, sobre todo para alturas solares pequeñas.

1.4.2. Radiación Diaria y Anual.

Para calcular la energía total que incide en una superficie en un determinado tiempo, se debe sumar la energía que incide directamente a través de una trayectoria cuya dirección y masa de aire correspondiente cambian con el tiempo, y la componente de difusa.

La mejor forma de hallar los valores requeridos es medir la intensidad en periodos largos de tiempo. En la actualidad hay estaciones meteorológicas que llevan un registro permanente de la intensidad sobre una superficie principal, en este proyecto se lleva un censo de Soleamiento de manera indirecta. Los valores mayores de insolación se producen cerca de la latitud a 40 °.

Los emplazamientos preferentes se proponen para las centrales de energía solar son las grandes zonas desérticas, ya que los vientos llevan muy poca humedad. En la figura 1.11 se muestra una central solar instalada en la segunda región de Chile⁴.



Figura 1.11. Central solar

Alrededor de un 80% de la población mundial vive en paralelos de latitud 40°. En la mayor parte de esos territorios se asegura una insolación de 1500Kwh/m² por año.

Se ha mejorado la precisión de las medidas de la radiación. Por ello se ha definido una Referencia Radiométrica Mundial a partir de los resultados obtenidos con la realización de comparaciones de 15 pirheliómetros absolutos individuales.

La WRR se considera representativa de las unidades físicas de irradiancia total con una precisión superior a +/- 0-3%. Fue adoptada por el congreso de la organización meteorológica mundial (O.M.M.) en 1979 y se crea El Grupo Mundial de Normalización (WSG), como WSG se utiliza por lo menos un grupo de cuatro pirheliómetros absolutos de distrito diseño. Los instrumentos del grupo se comparan entre sí al menos una vez al año.

Instrumentos de medida de la radiación:

Se clasifican según sus criterios empleados: el tipo de variable que se pretende medir, el campo de visión, la respuesta espectral, el destino especial que se destina, etc.

- Pirheliómetro Absoluto-----Radiación solar directa como patrón
- Pirheliómetro-----Radiación solar directa
- Fotómetro solar-----Radiación solar directa en bandas espectrales
- Piranómetro-----Radiación solar global, difusa y reflejada
- Pirgeómetro-----Radiación de onda larga descendente o ascendente
- Pirradiómetro-----Radiación Total

Los sensores de radiación no son absolutos y deben de calibrarse con un instrumento absoluto. La precisión del instrumento viene dada por:

⁴ Primera planta de energía eléctrica en la Segunda Región de Chile, con el nombre Calama Solar I y una inversión de 40 millones de dólares, tendría una capacidad de producción de 9 MW.

- La resolución.
- Las desviaciones a largo plazo de la sensibilidad.
- Las variaciones de la sensibilidad debidas a alteraciones de las variables ambientales.
- La desviación de la respuesta bidireccional (respuesta coseno).

1.4.3. Medida de la radiación directa.

La radiación solar directa se mide por medio de Pirheliómetros. Por lo que se usan obturadores, solamente se mide la radiación procedente del sol y de una región anular cielo muy próxima al astro. En los instrumentos modernos, esta última abarca un semiángulo de 2.5° a partir del centro del sol.

EL aparato tiene un visor en el que un punto luminoso coincide con una marca situada en el centro del mismo cuando la superficie receptora se halla en posición exactamente perpendicular al haz solar directo.

Por lo que todos los pirheliómetros tienen que ir montados sobre un mecanismo que le permita un seguimiento del sol.

Los pirheliómetros se clasifican en patrones primario y patrones secundarios:

- a) Pirheliómetros patrones primarios: también llamado pirheliómetro absoluto, es un instrumento susceptible de medir la irrancia total sin recurrir a fuentes de referencia. Utilizan receptores de cavidad y medidores diferenciales de flujo calorífico calibrados eléctricamente.
- b) Pirheliómetros patrones secundarios: son Pirheliómetros de precisión, pero que siempre deben calibrarse por comparación con el patrón primario.

Otra clasificación es la de Pirheliómetros de primera y segunda clase los cuales utilizan termopilas como detectores. Se emplean para un registro continuo de la radiación solar y con frecuencia están montados sobre un sistema de seguimiento automático. También deben de calibrarse por comparación con uno absoluto, utilizando el sol como fuente.

Capitulo Segundo.

SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA FOTOVOLTAICA.



2. Antecedentes.

En el Centro Tecnológico Aragón (FES Aragón, UNAM), la investigación de alternativas para generar el energía eléctrica limpia es uno de las principales temas en desarrollo. En el laboratorio de Medición e Instrumentación del mismo, se llevan a cabo experimentos con un panel fotovoltaico que en capítulos siguientes se describe a detalle. Estas investigaciones están orientadas principalmente al desarrollo de sistemas de generación de energía eléctrica mediante paneles solares, su eficiencia con respecto al uso en casa habitación y adaptación en el mismo.

2.1. Conceptos básicos.

La conversión fotovoltaica de la energía solar es una de las formas más evolucionadas de aprovechamiento de este recurso energético. Esta conversión es directa en energía eléctrica sin pasos de transformación intermedios. Se aprovecha de forma eficiente el efecto fotovoltaico. Este fenómeno se convirtió en un sistema de vital importancia que provee de energía eléctrica a los satélites y demás tecnologías espaciales.

A continuación se estudian los conceptos fundamentales de la electricidad.

La electricidad es una manifestación física que tiene que ver con las modificaciones que se dan en el átomo y más concretamente en el electrón. Los electrones giran alrededor del átomo y estos son los que le dan a un material la propiedad de ser conductores, superconductores o aislantes.

La representación convencional de un flujo de electricidad a través de un circuito consiste en el paso de una corriente por la acción de una tensión. Una corriente eléctrica consiste en el movimiento de electrones.

La asignación de un signo (positivo o negativo) a una magnitud es arbitraria. La primera asignación en el campo de la electricidad fue hecha por FRANKLIN (1747)⁵, al decidir que la carga eléctrica adquirida por una varilla de cristal, cuando se le frotaba con seda, tendría signo positivo. La formulación hecha por COULOMB (1785)⁶ de forma experimental que da nombre a ley del mismo nombre y que da la fuerza electrostática que ejercen entre si dos cuerpos pequeños cargados eléctricamente. Si las cargas de dos objetos son q_1 y q_2 , y la distancia entre ellos es x , se tiene que la fuerza es proporcional en la ecuación 2.1:

$$F = \frac{q_1 q_2}{x^2}$$

Ecuación 2.1. Ley de Coulomb.

Siendo una fuerza de atracción si las cargas son de signo opuesto, y de repulsión si son del mismo. La unidad de carga como la que tiene cada uno de los dos cuerpos pequeños de igual

⁵Benjamin Franklin (Boston, 17 de enero de 1706 - Filadelfia, 17 de abril de 1790) fue un político, científico e inventor estadounidense. Fue uno de los Padres Fundadores de Los Estados Unidos. 1747 se dedicó principalmente al estudio de los fenómenos eléctricos. Enunció el Principio de conservación de la electricidad. De sus estudios nace su obra científica más destacada, Experimentos y observaciones sobre electricidad.

⁶ Charles-Augustin de Coulomb (Angulema, Francia, 14 de junio de 1736 - París, 23 de agosto de 1806) fue un físico e ingeniero francés. Se recuerda por haber descrito de manera matemática la ley de atracción entre cargas eléctricas.

carga situados a una distancia convenida y que ejercerán entre si una fuerza dada. A la unidad de carga así definida se le llama coulombio.

La existencia del electrón se manifiesta por primera vez en los “rayos catódicos” que emitía un electrodo negativo, o cátodo, en un tubo de descarga. Midiendo la energía de estos rayos y como eran desviados por las fuerzas electrostáticas, J.J. THOMSON⁷(1897), considero que eran unas partículas minúsculas con carga equivalente a 1.6×10^{-19} coulomb, y con signo negativo según el convenio de Franklin. Hay carga eléctrica negativa siempre que haya electrones en exceso de los correspondientes a los átomos (eléctricamente neutros). Los electrones provienen de átomos y moléculas, de forma que si ha habido electrones que han pasado a un cuerpo y le han dotado de carga negativa, los átomos o moléculas de donde procedían quedarán con un número insuficiente de electrones. A estos, se les llama IONES.

Para que exista movimiento de electrones debe de existir una diferencia de cargas entre los materiales, si se une estos dos materiales mediante un conductor los electrones con carga negativa serán atraídos con fuerza por los electrones de carga positiva, esto sucede hasta que la diferencia de cargas deje de existir. Al movimiento de electrones que se establece por el conductor eléctrico se denomina **corriente eléctrica**. Por otro lado a la diferencia de cargas que existe entre los dos cuerpos cargados eléctricamente, y que es el causante del movimiento de electrones se le conoce como **tensión** o **diferencia de potencial**.

La unidad de medida para la corriente eléctrica es el **Amper** (A). Cuando en un circuito se mueve una carga de un coulomb en un tiempo de un segundo, se dice que la corriente tiene una intensidad de un Amper.

A la fuerza necesaria para trasladar los electrones desde el polo positivo al negativo, y así crear una diferencia de cargas se le denomina **fuerza electromotriz (f.e.m.)**, esta magnitud se mide en **Volts**.

Cuando se realiza el movimiento de cargas en un circuito existe un fenómeno llamado resistencia eléctrica, en el que se presenta una oposición en mayor o menor grado al flujo de electrones, esta magnitud se mide en **Ohm (Ω)**.

El físico Ohm, basándose en un experimento, determino que la intensidad de la corriente que recorre un circuito eléctrico es directamente proporcional a la tensión aplicada, e inversamente proporcional a la resistencia eléctrica.

$$I = VR$$

Ecuación 2.2. Ley de Ohm

La potencia eléctrica es la cantidad de trabajo que se realiza en una unidad de tiempo, el trabajo se produce gracias a la energía. En electricidad la potencia se calcula conforme a la siguiente expresión 2.3.

$$P = IV = I^2R = \frac{V^2}{R}$$

⁷ Joseph John "J.J." Thomson, nació el 18 de diciembre de 1856 y murió el 30 de agosto de 1940. Fue un científico británico y descubridor del electrón, de los isótopos, e inventor del espectrómetro de masa. En 1906 fue galardonado con el Premio Nobel de Física.

2.2. Conductores y Semiconductores.

Algunas sustancias dependiendo de su banda de energía (banda de valencia y banda de conducción) varían su capacidad de conducir electricidad (movilidad de electrones). En la siguiente figura 2.1 se muestra las dos bandas de energía más altas de tres sustancias en estado sólido. Entre el nivel más alto de la banda inferior y el nivel más bajo de la banda superior, aparece un espacio, la BANDA PROHIBIDA, es la diferencia de energía entre la parte superior de la banda de valencia y la parte inferior de la banda de conducción. En este espacio no hay niveles y no puede haber electrones que tengan una energía que caiga dentro de ese campo. La anchura de este espacio, llamada SEPARACIÓN ENERGÉTICA es diferente para los distintos materiales.

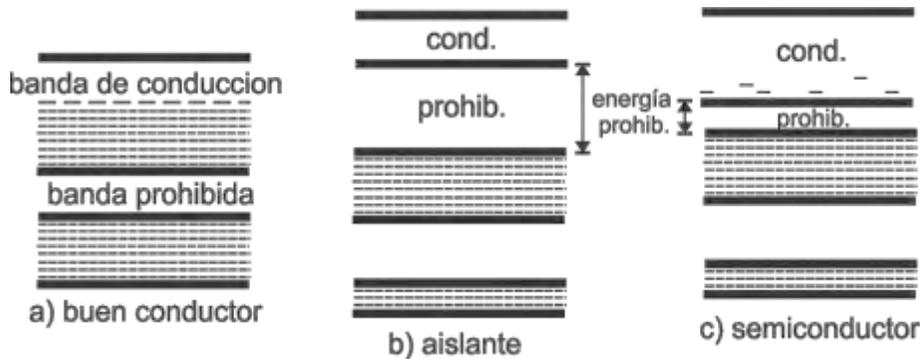


FIGURA 2.1. Bandas Prohibidas de los diferentes materiales

a) La sustancia está formada de modo que están ocupados todos sus niveles de energía de una banda permitida, pero los niveles de banda siguiente más alta únicamente están ocupados parcialmente. Por encima del nivel más alto de energía que este ocupado por electrones hay muchos más niveles cuya diferencia de energía es muy pequeña. Los electrones de esta banda, ELECTRONES DE CONDUCCIÓN, no tendrán un estado fijo, pudiéndose mover de un nivel a otro. Estas son las características de un buen conductor, como el cobre o plata, aunque el mejor es el oro.

b) y c) Se muestran unas sustancias en las que la banda más alta está totalmente llena. Los electrones de esta banda de valencia, tienen unos niveles de energía fijos, ya que no hay otros niveles a los que se puedan trasladar más fácilmente. Por lo que las sustancias que tengan esta característica no son buenas conductoras. La única forma en que los electrones se pueden hacer móviles es si adquieren energía para cruzar la banda prohibida y llegar a la banda siguiente donde hay muchos niveles de energía libre.

Una sustancia que es aislante se convierte en conductor cuando sobre ella incide una radiación. A una temperatura alta, los electrones adquieren suficiente energía para poder cruzar la separación de las bandas llegando a la banda de conducción, de este modo la sustancia se vuelve conductor.

Existen sustancias que con poca temperatura los electrones cruzan las bandas. Estas por consiguiente al aumentar la temperatura aumentan también su conductividad, el germanio (Ge) y el silicio (Si) tienen esta propiedad y más propiamente dicho reciben el nombre de

SEMICONDUCTORES INTRÍNSECOS que son cristales de silicio o Germanio que forma una estructura tetraédrica similar a la del carbono mediante enlaces covalentes entre sus átomos.

2.3. Generador Termoiónico.

Se basa en la EMISIÓN TERMOIÓNICA, descubierto por EDISON en 1833. Cuando uno de los electrodos (CÁTODO), se calienta a una temperatura suficiente, los electrones adquieren energía para abandonar la superficie. El otro electrodo (ÁNODO) recoge esos electrones, el ánodo se conecta a un circuito exterior con el cátodo. Entonces se produce un flujo de electrones, que constituye una corriente, para lo cual realiza un trabajo. En la siguiente figura 2.2, el consumo de esa energía se representa por la resistencia R.

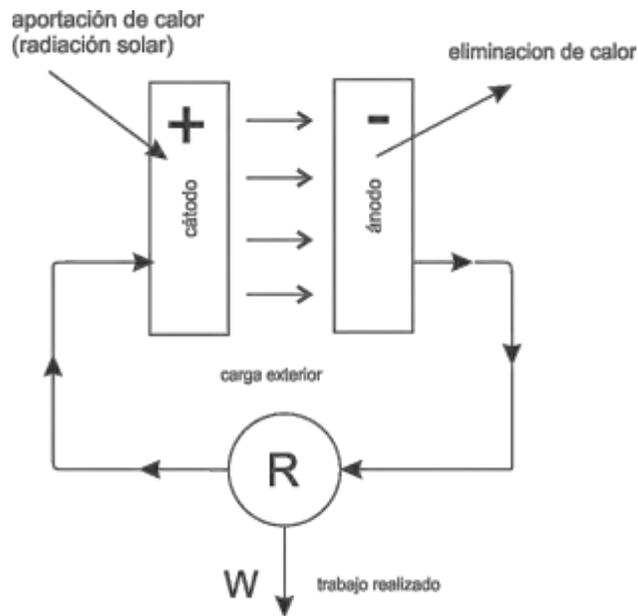


Figura 2.2. Diagrama del generador termoiónico y consumo de energía R.

Esta conversión de energía solar en trabajo no se consigue sin pérdidas. Los electrones solo podrán salir del cátodo si este se calienta, por consiguiente se perderá energía por radiación. Parte de esa radiación recae sobre el ánodo, el cual si se deja que se caliente emitirá también electrones. Para mantener frío el ánodo, ha de hacerse también que pierda energía por radiación o mediante otro mecanismo de enfriamiento.

Para obtener el tipo de temperaturas para las que la emisión termoiónica es intensa y si el calor aportado proviene del sol, ha de hacerse por medio de un concentrador, el cual como su nombre lo indica es capaz de concentrar la energía solar en un área reducida aumentando la intensidad de energía.

2.4. Efecto fotoeléctrico.

El efecto fotoeléctrico se le atribuye a HERTZ en 1887, el cual indica, que la interacción de un fotón de luz con un electrón le da a esta última suficiente energía para escapar del metal de que procedía. Si esto se hace con un número considerable de electrones, se puede recoger en otra superficie metálica haciéndoles recorrer en un circuito exterior para volver a la superficie donde fueron emitidos.

Este efecto es el resultado de la interacción luz-materia consistente en la aparición de una corriente eléctrica en el exterior de un dispositivo cuando este es expuesto a la luz.

2.4.1. Generador fotoemisor.

La figura 2.3 muestra los electrodos de un generador fotoemisor. Los fotones de radiación llegan al cátodo después de pasar por el ánodo, que aquí está representado por una red de cables

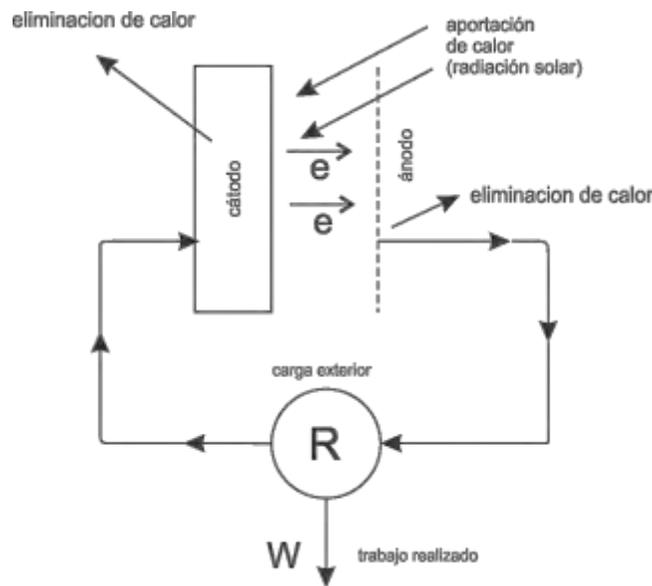


Figura 2.3. Generador fotoemisor

Cuando un fotón llega al cátodo, este puede ser absorbido por un electrón, con lo cual alcanza un estado energético mayor. Si el aumento de energía es superior al trabajo de salida del material del cátodo, el electrón puede abandonar su superficie.

2.4.2. Generador fotoeléctrico.

El funcionamiento del generador fotoeléctrico se basa en el paso de los electrones de los materiales semiconductores a un estado situado en la banda de conducción, por la energía obtenida en la absorción de fotones de la luz del sol. En buen funcionamiento de estos generadores consiste en hacer que los electrones en estado de excitación abandonen el material semiconductor depositando su exceso de energía de forma aprovechable en un circuito exterior.

Para hacer un cálculo aproximado de la mayor proporción de energía solar que se puede convertir en energía eléctrica mediante un generador fotoeléctrico ideal. Depende de la distribución de energía en relación con la longitud de onda en el espectro solar, el cual varía según la latitud y las condiciones meteorológicas.

La manera de generar energía eléctrica mediante paneles solares se basa principalmente en la conversión directa de la radiación solar en energía eléctrica usando la conversión fotovoltaica; esto se logra a través de unos dispositivos llamados células solares.

2.5. La célula solar.

Célula solar está formada por tres elementos; un semiconductor tipo n (exceso de carga negativa), una unión pn y un semiconductor tipo p (exceso de carga negativa). La luz del sol que llega a la superficie, posee energía suficiente, libera electrones y crea una diferencia de potencia entre ambos semiconductores que, cuando se cierra externamente el circuito, es capaz de hacer circular una corriente eléctrica.

Las características de una célula solar en la oscuridad coinciden con las de un diodo de unión, por lo anterior se analiza utilizando las ecuaciones de transporte de portadores de un semiconductor.

Como semiconductor el elemento más utilizado es el silicio contaminado artificialmente (dopado). El elemento tipo n se dopa con fósforo u otra sustancia elemental similar, en tanto que el elemento tipo p se dopa con boro o similar.

Según la estructura cristalina del silicio se clasifican en policristalinos, monocristalinos y amorfos.

La evolución de la tecnología para las células solares ha experimentado importantes novedades desde su invención. Como el 98% de la energía solar extraterrestre se encuentra en banda de $.25\mu\text{m} <\lambda> 3\mu\text{m}$, y teniendo en cuenta los factores de limitación del rendimiento⁸, la banda de energía resulta de .7eV a 2.2eV.

Las células fotovoltaicas o solares son muy delgadas, del orden de 200 a 400 micras. Por lo que también son muy transparentes, y esta característica se ha aprovechado para construir paneles compuestos por un colector fotovoltaico y otro fototérmico, uno debajo del otro, con lo que se consigue un mejor aprovechamiento de la radiación solar. Estos paneles se construyen con un formato con el cual se instalan integrados en la cubierta de los edificios y cumplen la doble función de tejado y colector solar.

Como la corriente eléctrica generada por las células fotovoltaicas es continua y solo se produce cuando el sol ilumina el panel solar, cualquier instalación debe de disponer de: un sistema de acumulación de energía eléctrica (baterías o acumuladores), equipos de conversión continua-alterna si alimenta una demanda convencional en corriente alterna, un sistema de control de la instalación y un equipo de conexión a la red, en la figura 2.4 se muestra un diagrama a bloques con los principales componentes de un sistema de generación de energía eléctrica a través de células solares.

⁸ Castañer-Muñoz L., (1994), *Energía solar fotovoltaica*, (pag. 53). Universitat Politècnica de Catalunya: UPC.

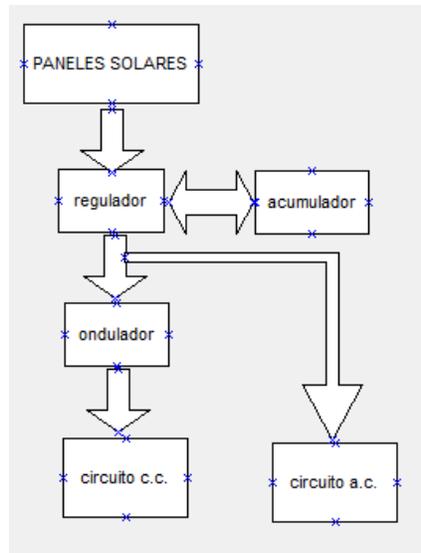


Figura 2.4. Esquema de los elementos principales de que consta un equipo fotovoltaico

- Paneles solares: El subsistema fotovoltaico compuesto por la configuración serie-paralelo de módulos o células solares y sus protecciones.
- Regulador: Es el elemento que regula la inyección de corriente desde los paneles a la batería. El regulador interrumpe el paso de energía cuando la batería se halla totalmente cargada evitando así los negativos efectos derivados de una sobrecarga. En todo momento el regulador controla el estado de carga de la batería para permitir el paso de energía eléctrica proveniente de los paneles cuando esta empieza a bajar.
- Batería: subsistema de almacenamiento de la energía de las células solares para los momentos en que no hay sol, o para los momentos en que las características de la energía proporcionada por los paneles no es suficiente o adecuada para satisfacer la demanda (falta de potencia al atardecer, amanecer, días nublados). Compuesto por la configuración serie-paralelo de baterías.
- Inversores u ondulatorios- El elemento que transforma las características de la corriente de continua a alterna. La mayoría de los aparatos eléctricos funcionan con corriente alterna y tanto los paneles como las baterías suministran energía eléctrica en forma de corriente continua. Es por ello que se hace necesario este elemento que modifique la naturaleza de la corriente y la haga apta para su consumo por muchos aparatos.
- Subsistema de monitorización y registro: equipo de medida y registros necesarios para el seguimiento del funcionamiento del conjunto, que es el principal objetivo de este proyecto de investigación.

Los paneles fotovoltaicos de silicio mono y policristalino, son las células solares más producidas industrialmente. El material semiconductor absorbe una fracción importante del costo de la célula por lo que existen intensos esfuerzos por conseguir silicio multicristalino con el que se pudieran producir células solares de rendimientos muy altos. Las acciones para pasivar las zonas de alta recombinación y mejorar el tiempo de vida son las siguientes:

- Mejora de la tensión del circuito abierto
- Mejora de la corriente de corto circuito
- Mejora del fill factor (factor de forma) usado para la eficacia de la célula solar.

Toda celda solar moderna consta usualmente de los siguientes componentes (figura 2.5):

Placa de vidrio, que permite ingresar la luz, pero protege a los semiconductores en la celda de los elementos.

Plancha de semiconductores tipo n y tipo p. El tipo n tiene una concentración de electrones mucho más alta que la del tipo p, y ambos están contaminados a propósito con átomos de otros elementos como el boro y el galio.

Trayectoria por donde pueden circular los electrones para ir del semiconductor tipo n al tipo p. Esto es usualmente dos capas que rodean a la plancha de semiconductores, que actúan como un conductor de electrones entre las dos capas de semiconductores.

Finalmente, usualmente se le agrega una capa anti-reflectiva entre la placa de vidrio y el semiconductor, para minimizar la pérdida de luz por reflejo.

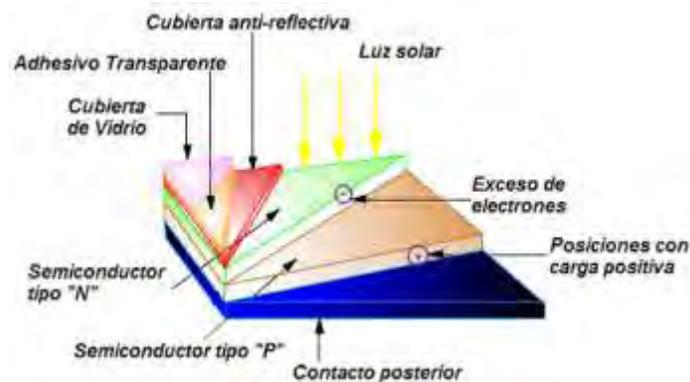


Figura 2.5. Materiales que componen una celda solar

2.6. Manufactura de celdas solares

En la actualidad, la mayoría de celdas solares se construyen en módulos rígidos de 36 celdas o más, conectadas en serie y en paralelo, para generar el voltaje y corriente que se necesita. Al mismo tiempo, después de la capa de vidrio, se le pone una capa antirreflejo al silicón, lo que minimiza la luz desperdiciada por el reflejo. Finalmente, alrededor de ambas capas de silicón, se ponen los contactos que componen los polos positivo y negativo de la celda solar.

Aunque este diseño funciona muy bien para edificios y terrazas, que es donde usualmente se colocan estas celdas, es un problema cuando se intentan adaptar a botes y/o vehículos, por lo que actualmente se trabaja también en celdas solares flexibles, incluso existen paneles resistentes al agua, las cuales puedan adaptarse fácilmente a las curvas aerodinámicas de automóviles y barcos.

Estos también podrían hacer menos frágiles las celdas planas, minimizando el riesgo de dañarse, y bajando sus costos de instalación.

Los paneles fotovoltaicos se dividen en:

- **Cristalinas**
 - **Monocristalinas:** se componen de secciones de un único cristal de silicio (reconocibles por su forma circular u octogonal, donde los 4 lados cortos, si se observa, se aprecia que son curvos, debido a que es una célula circular recortada), (figura 2.6). En laboratorio se han alcanzado rendimientos máximos del 24,7% para éste tipo de paneles siendo en los comercializados del 16%.



Figura 2.6. Panel solar monocristalino

- **Policristalinas:** ver figura 2.7, los materiales son semejantes a los del tipo anterior aunque en este caso el proceso de cristalización del silicio es diferente. Los paneles policristalinos se basan en secciones de una barra de silicio que se ha estructurado desordenadamente en forma de pequeños cristales. Son visualmente muy reconocibles por presentar su superficie un aspecto granulado. Se obtiene con ellos un rendimiento inferior que con los monocristalinos (en laboratorio del 19.8% y en los módulos comerciales del 14%) siendo su precio también más bajo.



Figura 2.7. Panel policristalino

- Amorfos (TFS): cuando el silicio no se ha cristalizado. Paneles de este tipo son habitualmente empleados para pequeños dispositivos electrónicos (Calculadoras, relojes) y en pequeños paneles portátiles. Su rendimiento máximo alcanzado en laboratorio ha sido del 13% siendo el de los módulos comerciales del 8%.
 - Teluro de cadmio, Rendimiento en laboratorio 16% y en módulos comerciales 8%
 - Arseniuro de Galio- Uno de los materiales más eficientes. Presenta unos rendimientos en laboratorio del 25.7% siendo los comerciales del 20%
 - Diseleniuro de cobre en indio- con rendimientos en laboratorio próximos al 17% y en módulos comerciales del 9%

Existen también los llamados paneles Tándem (figura 2.8) que combinan dos tipos de materiales semiconductores distintos. Debido a que cada tipo de material aprovecha sólo una parte del espectro electromagnético de la radiación solar, mediante la combinación de dos o tres tipos de materiales es posible aprovechar una mayor parte del mismo. Con este tipo de paneles se ha llegado a lograr rendimientos del 35%. Teóricamente con uniones de 3 materiales podría llegarse hasta rendimientos del 50%

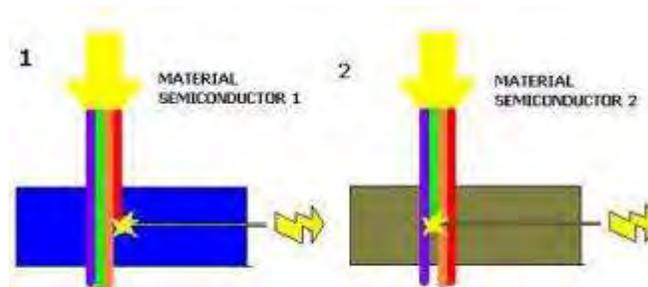


Figura 2.8. Panel tándem

(1).Célula con material semiconductor 1, solo aprovecha una parte del espectro electromagnético de que está compuesta la luz solar (2) La célula con el material semiconductor 2 aprovecha otra parte del espectro electromagnético de la luz diferente al del material semiconductor 1 (3) en la célula Tándem se combinan ambos tipos de materiales, con lo que se aprovecha la parte del espectro electromagnético de ambos tipos de materiales son capaces de transformar en energía eléctrica. El rendimiento total será en teoría la suma de los rendimientos de ambos tipos de células por separado.

Paneles de formato “teja o baldosa (figura 2.9)”. Estos paneles son de pequeño tamaño y están pensados para combinarse en gran número para así cubrir las grandes superficies que ofrecen los tejados de las viviendas. Aptos para cubrir grandes demandas energéticas en los que se necesita una elevada superficie de captación.



Figura 2.9. Panel formato teja

Paneles bifaciales (figura 2.10): Basados en un tipo de panel capaz de transformar en electricidad la radiación solar que le recibe por cualquiera de sus dos caras. Para aprovechar convenientemente esta cualidad se coloca sobre dos superficies blancas que reflejan la luz solar hacia el reverso del panel.

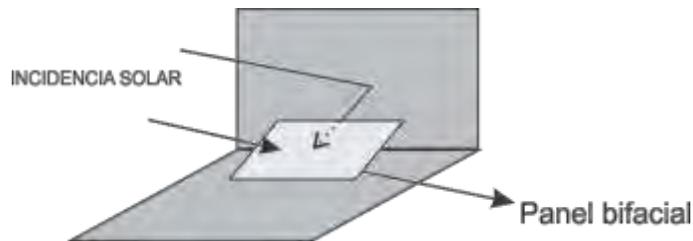


Figura 2.10. Paneles bifaciales

2.7. Potencia y costos.

La corriente generada por la célula solar es proporcional a su superficie, por lo contrario la tensión no depende de la superficie si no del número de dispositivos. Cada unidad añadida contribuirá con medio voltio aproximadamente.

Una típica asociación serie de células solares se representa en la figura 2.11.

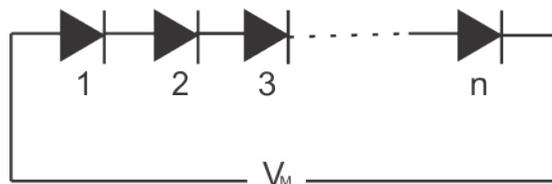


Figura 2.11. Circuito equivalente de células solares

Se observa que la corriente que circula por cada uno de los dispositivos es la misma, mientras que la tensión que se desarrollara será la suma de las tensiones individuales. Esta configuración permite el escalado de la tensión y no de la corriente, lo que la hace adecuada para un módulo de células de determinado tamaño.

Un aspecto importante en la ingeniería de los módulos fotovoltaicos consiste en poder identificar el funcionamiento bajo riesgo, que tiene que ver con la formación de puntos calientes por distribución no uniforme de corriente o por disipación no excesiva.

En un día soleado, el Sol irradia alrededor de 1 kW/m^2 a la superficie de la Tierra. Considerando que los paneles fotovoltaicos actuales tienen una eficiencia típica entre el 12%-25%, esto supondría una producción aproximada de entre $120\text{-}250 \text{ W/m}^2$ en función de la eficiencia del panel fotovoltaico.

Por otra parte, están produciéndose grandes avances en la tecnología fotovoltaica y ya existen paneles experimentales con rendimientos superiores al 40%.

A latitudes medias y septentrionales, teniendo en cuenta el ciclo diurno y las condiciones atmosféricas, llegan a la superficie terrestre 100 W/m^2 de media en invierno y 250 W/m^2 en verano. Con una eficiencia de conversión de, aproximadamente, 12%, se puede esperar obtener 12 y 30 vatios por metro cuadrado de celda fotovoltaica en invierno y verano, respectivamente.

Con los costes actuales de energía eléctrica, $0.08 \text{ \$/kWh}$ (USD), un metro cuadrado generará hasta $0.06 \text{ \$/día}$, y un km^2 generará hasta 30 MW, o $50,000 \text{ \$/ (km}^2\text{.día)}$. Para comparar, el Sahara despoblado se extiende por 9 millones de km^2 , con menos nubes y un mejor ángulo solar, pudiendo generar hasta 50 MW/km^2 , o 450 TW (teravatio) en total. El consumo de energía actual de la población terrestre está cercano a $12\text{-}13 \text{ TW}$ en cualquier momento dado (incluyendo derivados del petróleo, carbón, energía nuclear e hidroeléctrica).

El verdadero problema con los paneles fotovoltaicos es el coste de la inversión, requiriendo hasta más de 10 años (de una vida útil de 40 años o más) para recuperar el coste inicial y generar ganancias. El precio actual de los módulos fotovoltaicos, oscila entre los 3.5 y los $5.0 \text{ \$/W}$ (USD), de capacidad de producción, en función de la cantidad que se compre y la procedencia. Los más baratos vienen de China y se debe ser muy prudente con la calidad y garantías de los mismos. El precio de $8 \text{ \$/W}$, aunque algo barato, es el precio completo de una instalación fija: módulos, estructuras de soporte, ondulatorios, protecciones, sistemas de medición, costes del proyecto, instalación y permisos administrativos. Un precio normal está entre 8.6 y $9.0 \text{ \$/W}$. Si la instalación es con seguidores de sol de dos ejes, el coste puede rondar los $10.60 \text{ \$/W}$, aunque la producción eléctrica obtenida es del orden de un 30% superior que en una fija.

2.8. Sistemas de seguimiento solar.

En los sistemas solares fotovoltaicos existe la posibilidad de emplear elementos seguidores del movimiento del Sol que favorezcan y aumenten la captación de la radiación solar.

Existen tres tipos de soporte para las células solares:

- Colocación sobre soporte estático. Soporte sencillo sin movimiento, dependiendo de la latitud de la instalación y de la aplicación que se quiera dar se dotan a los paneles de la inclinación más adecuada para captar la mayor radiación solar posible. Es el sistema más habitual que se encuentra en las instalaciones
- Sistemas de seguimiento solar de 1 eje. Estos soportes realizan un cierto seguimiento solar. La rotación del soporte se hace por medio de un solo eje, ya sea horizontal, vertical u oblicuo. Este tipo de seguimiento es el más sencillo y el más económico resultando sin embargo incompleto ya que sólo podrá seguir o la inclinación o el azimut del Sol, pero no ambas a la vez.

- Sistemas de seguimiento solar de dos ejes. Con este sistema ya es posible realizar un seguimiento total del sol en altitud y en azimut y siempre se conseguirá que la radiación solar incida perpendicularmente obteniéndose la mayor captación posible. Existen tres sistemas básicos de regulación del seguimiento del sol por dos ejes.
 - Sistemas mecánicos. El seguimiento se realiza por medio de un motor y de un sistema de engranajes. Dado que la inclinación del Sol varía a lo largo del año es necesario realizar ajustes periódicos, para adaptar el movimiento del soporte
 - Mediante dispositivos de ajuste automático. El ajuste se realiza por medio de sensores que detectan cuando la radiación no incide perpendicular al panel corrigiéndose la posición por medio de motores.
 - Dispositivos sin motor- Sistemas que mediante la dilatación de determinados gases, su evaporación y el juego de equilibrios logran un seguimiento del Sol.

Se estima que con estos sistemas se puede lograr un aumento de entre el 30% y el 40% de la energía captada. Se hace necesario evaluar el costo del sistema de seguimiento y la ganancia derivada del aumento de la energía para determinar su rentabilidad. En la actualidad es posible realizar estos dispositivos sencillamente y a muy bajo costo implementando microcontroladores, fotorresistencias y motores de cd.

Capítulo Tercero.

SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.



3. Antecedentes.

En los sistemas de control, investigación y monitorización, es de vital importancia el almacenamiento de distintas variables físicas, de las que se requiere un histórico de esos datos para su posterior análisis y llevar así una toma de decisiones o acciones.

Un Sistema de Adquisición de Datos es un equipo electrónico cuya función es el control o simplemente el registro de una o varias variables de un proceso cualquiera. A continuación se estudian los conceptos básicos que se necesita para la creación de un sistema de adquisición de datos o señales de bajo coste.

3.1. Conceptos básicos de circuitos.

Un equipo eléctrico se representa mediante un circuito constituido por elementos de dos terminales conectados en serie y paralelo. El análisis del circuito permite conocer el comportamiento del equipo eléctrico. Los elementos activos son fuentes de tensión o de intensidad capaces de proporcionar energía a la red. Los resistores, inductores y capacitores son elementos pasivos y toman energía de las fuentes para transformarla en otro tipo de energía o acumularla en forma de campo magnético o eléctrico.

En la figura 3.1 se representan 7 elementos básicos de los circuitos. Los elementos *a* y *b* son fuentes de tensión y los elementos *b* y *d* son fuentes de intensidad, *e*, *f* y *g* representan a los resistores, capacitores e inductores

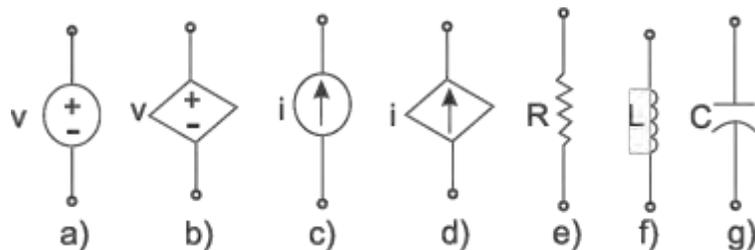


Figura 3.1. Elementos básicos de los circuitos

Para completar las especificaciones de una fuente de tensión es necesario asignar una polaridad a sus extremos y una función para tensión entre los mismos. La polaridad se señala con + y -, dibujados en las proximidades del mismo.

Los elementos pasivos R, L y C, de los circuitos se definen a partir de la relación concreta entre la tensión y la intensidad en cada uno de ellos. En la tabla 3.1 se resumen estas relaciones.

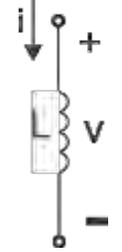
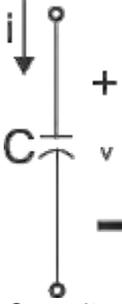
Elementos del circuito	Unidades	Tensión	Intensidad	Potencia
 Resistor	Ohmios (Ω)	$v = Ri$ (LEY DE OHM)	$i = \frac{v}{R}$	$p = vi = i^2R$
 Inductor	Henrios (H)	$V = L \frac{di}{dt}$	$i = \frac{1}{L} \int v dt + k_1$	$p = vi = Li \frac{di}{dt}$
 Capacitor	Faradios (F)	$v = \frac{1}{C} \int i dt + k_2$	$i = C \frac{dv}{dt}$	$p = vi = Cv \frac{dv}{dt}$

Tabla 3.1. Fórmulas para el cálculo de tensión e intensidad de los elementos pasivos

El esquema de un circuito puede representarse de múltiples formas. El esquema presentado inicialmente en un determinado problema puede no ser el más adecuado para sugerir el mejor método de solución del circuito. Por lo tanto debe estudiarse el primer esquema y volver a redibujar para ver más claramente la interconexión de los elementos.

En la figura 3.2, se representa el mismo circuito dibujado de diferentes maneras.

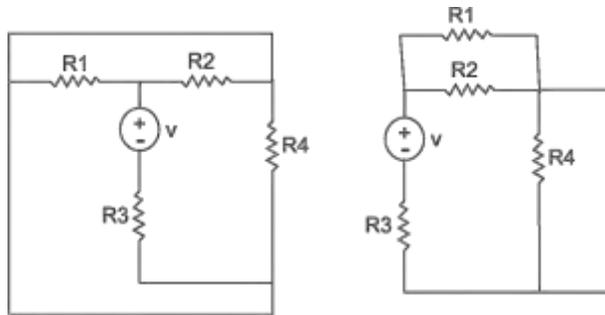


Figura 3.2. Representación de un circuito con las mismas conexiones.

El circuito debe tener al menos una fuente de tensión o una fuente de intensidad.

Para el análisis de los circuitos se utilizan comúnmente dos leyes fundamentales que son: *LEY DE KIRCHHOFF*⁹ para TENSIONES y la *LEY DE KIRCHHOFF* para CORRIENTES.

La primera establece que la suma algebraica de las tensiones es cero. Algunas de las tensiones serán debidas a las fuentes y otras debidas a la existencia de elementos pasivos, entonces se habla de caídas de tensión.

La unión de dos o más elementos de un circuito constituye una conexión denominada *nodos*. La unión de dos elementos se llama nodo simple y en el no hay derivación de corriente. La unión de tres o más elementos se llama nodo principal, y en este caso si hay derivación de corriente. La ley de Kirchhoff para las intensidades establece que la sumatoria algebraica de las corrientes en un nodo es cero, esto se significa que la sumatoria de las intensidades que entran en un nodo es igual a la sumatoria de las intensidades que salen del mismo.

También es importante señalar que existen elementos en serie, párelo y serie-paralelo.

Un aspecto fundamental en este proyecto se aborda en el estudio de las DIVISIONES DE TENSIÓN, ya que con este se realiza un atenuador.

Un conjunto de resistencias en serie como las de la figura 3.3 se denomina divisor de tensión.

⁹ Gustav Robert Kirchhoff (Königsberg, 12 de marzo de 1824 - Berlín, 17 de octubre de 1887) fue un físico prusiano cuyas principales contribuciones científicas estuvieron en el campo de los circuitos eléctricos, la teoría de placas, la óptica, la espectroscopia y la emisión de radiación de cuerpo negro.

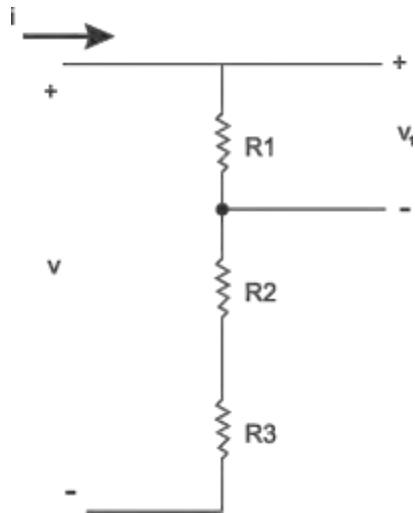


Figura 3.3. Divisor de Tensión en v_1

Puesto que $v_1 = iR_1$ y $v = i(R_1 + R_2 + R_3)$

$$v_1 = v \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} \right)$$

Ecuación 3.1 Divisor de Tensión

3.2. El amplificador operacional.

Otro dispositivo que es importante describir es el *AMPLIFICADOR OPERACIONAL*. Un amplificador operacional o amp-op es un amplificador diferencial de muy alta ganancia con una alta impedancia de entrada y baja impedancia de salida. Los usos típicos del amplificador operacional son proporcionar cambios en amplitud de voltaje (amplitud y polaridad), osciladores, circuitos de filtro y muchos tipos de circuitos de instrumentación. Un amp-op contiene varias etapas de amplificador diferencial para conseguir una muy alta ganancia de voltaje.

Este dispositivo tiene dos terminales de entrada denominados + y – o bien terminal no inversora e inversora respectivamente. El amp-op conecta también a una fuente de corriente continua +Vcc y –Vcc. La referencia común para la entrada esta fuera del amp-Op. Y se le llama tierra. En la figura 3.4, se representa un diagrama de un amplificador operacional.

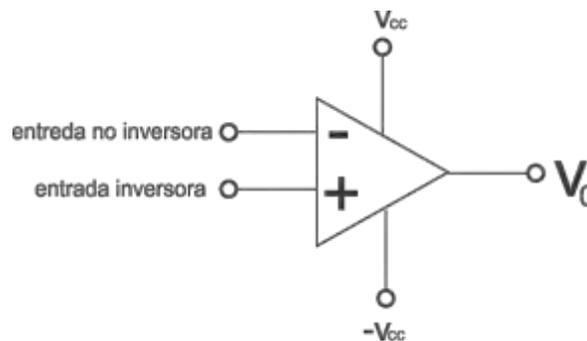


Figura 3.4. Diagrama del Amplificador operacional

3.2.1. Seguidor de Tensión.

Esta configuración (ver figura 3.5) es la más importante para este proyecto, debido a que se utiliza como acondicionador de la señal de entrada. Proporciona una ganancia unidad en amplificación, por lo que $v_2 = v_1$ ya que $v_1 = v^+$, $v_2 = v^-$ y $v^+ = v^-$. Dicho en otras palabras es aquel circuito que proporciona a la salida la misma tensión que a la entrada, por lo tanto se dice que funciona como *buffer*.

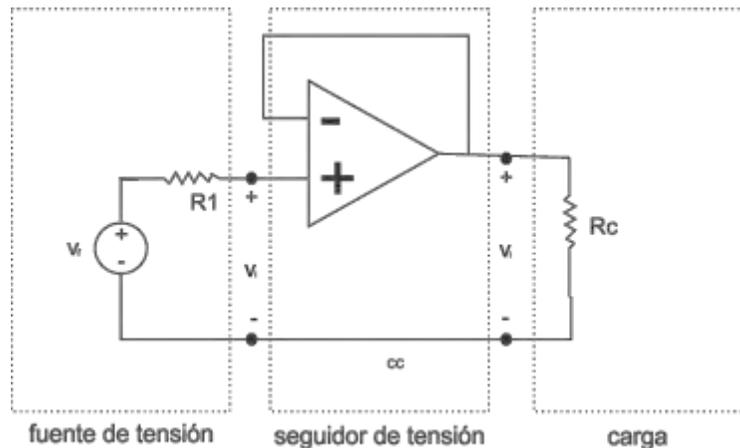


Figura 3.5. Seguidor de tensión

3.3. Representaciones numéricas.

Existen básicamente dos maneras de representar el valor numérico de las cantidades: la analógica y digital.

Analógica: Una cantidad se denota por medio de otra que es proporcional a la primera, estas pueden variar gradualmente sobre un intervalo continuo de valores.

Digital: En la representación digital se denotan por símbolos llamados *dígitos*, esta representación varía de manera discreta.

3.4. Sistemas digitales.

Un sistema digital es una combinación de dispositivos diseñada para manipular cantidades físicas o información que estén representadas en forma digital.

Sus ventajas en comparación con los sistemas analógicos, es el aumento en la aplicación en electrónica, son más fáciles de diseñar debido a que los circuitos empleados son circuitos en conmutación, donde no son importantes los valores exactos de corriente y voltaje, sino únicamente el rango en que estos se encuentran (alto o bajo). Facilidad para almacenar información, mayor exactitud y precisión, programación de la operación puesto que es sencillo diseñar sistemas digitales cuya operación este contralada por un grupo de instrucciones denominado *programa*, otra ventaja importante es que el ruido afecta en forma mínima a estos sistemas.

Su limitación primordial de las técnicas digitales existe solo un problema: *EL mundo es fundamentalmente analógico*, por tal motivo se emplean convertidores analógico-digital y/o convertidores digital-analógico. Para tal fin se siguen tres pasos primordiales:

- a) Convertir las entradas analógicas del “mundo real” a la forma digital.
- b) Procesar la información digital.
- c) Convertir de nuevo las salidas digitales a la forma analógica del mundo real.

La necesidad de conversión entre formas analógicas y digitales de información puede considerarse como un problema porque aumenta la complejidad y sobre todo los costos. Otro factor, es el tiempo que necesita llevar a cabo estas conversiones. En las tecnologías actuales estas técnicas han llegado hacer un proceso común, es por eso la importancia de los sistemas digitales.

3.4.1. Sistemas de numeración.

En la tecnología digital se emplean comúnmente los sistemas decimal, binario, octal y hexadecimal.

- Decimales: Se compone de diez símbolos o números: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9. Es también conocido como sistema base diez. El sistema decimal es un sistema de valor posicional en el cual el valor de un dígito depende de su posición.
- Binario: Solamente hay dos símbolos o posibles valores de dígitos, el 0 y el 1. Este sistema de base 2 se puede utilizar para representar cualquier cantidad. En general se necesitan muchos dígitos binarios para expresar una cantidad determinada. Este también es un sistema de valor posicional, en donde cada dígito binario tiene su valor propio expresado como potencia de dos, esto pensando en que se quiere representar un número decimal con valores binarios. El término dígito binario se abrevia como bit. El bit más significativo (MSB) es aquel que se ubica más a la izquierda y por tal motivo tiene mayor valor. El bit menos significativo (LSB) es aquel que está más a la derecha y tiene menor valor.
- Sistema octal: Este sistema tiene 8 símbolos: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8. Se le conoce también como sistema base 8.
- Hexadecimal: Comprende 16 símbolos diferentes: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E y F. También es conocido como sistema hex.

Es importante señalar que se necesita realizar conversiones entre los diferentes tipos de numeración antes mencionados, para tal fin se emplean técnicas bien establecidas. En la tabla 1 del anexo se muestran los sistemas de numeración con sus respectivos valores en números con base diferente.

Nótese que en la tabla 1 del anexo el valor decimal llega hasta 255 y se representa con 8 unos, esto quiere decir que se necesitan 8 bits para lograr representar los 255 valores decimales.

Existen también algunos códigos que son necesarios cuando se implementan sistemas digitales como el código ASCII, código BCD, etc.

3.5. Algebra Booleana y compuertas lógicas.

Álgebra de Boole¹⁰ (también llamada Retículas booleanas) en informática y matemática, es una estructura algebraica que esquematiza las operaciones lógicas Y, O, NO y Si (AND, OR, NOT), así como el conjunto de operaciones unión, intersección y complemento.

3.5.1. Compuerta AND.

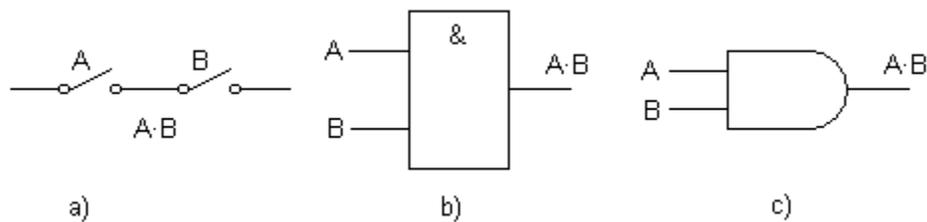


Figura 3.6. Símbolo de la función lógica Y: a) Contactos, b) Normalizado y c) No normalizado

La puerta lógica Y (figura 3.6) más conocida por su nombre en inglés *AND*, realiza la función booleana de producto lógico. Su símbolo es un punto (\cdot), aunque se suele omitir. Así, el producto lógico de las variables A y B se indica como AB, y se lee A y B o simplemente A por B.

Su tabla de verdad es la siguiente (tabla 3.2):

Entrada A	Entrada B	Salida
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Tabla 3.2. Tabla de verdad de la función lógica Y.

3.6. Comunicación serial.

Se llama serial por que los bits se transmiten uno de tras de otro o en "serie". Se necesitan dos dispositivos que realicen la comunicación serial uno que reciba y otro que transmita en las computadoras, esto se hace a través de la interface RS-232.

¹⁰ George Boole(2 de noviembre de 1815 - 8 de diciembre de 1864) fue un matemático y filósofo británico. Padre de las operaciones lógicas y del algebra que lleva su nombre.

La salida del transmisor produce una señal digital cuyo nivel de voltaje cambia a intervalos regulares, de acuerdo con el número binario que se está transmitiendo. Esta comunicación transmite un bit a la vez. Esta señal de información puede ser de la siguiente forma:

- a) Bit de inicio. Cuando el receptor detecta el bit de inicio se sabe que la transmisión ha comenzado y es a partir de entonces que debe leer la transmisión.
- b) Bit de parada: Indica la finalización de la transmisión de una palabra de datos. La palabra de datos es una cadena finita de bits que son manejados como un conjunto por la máquina. El tamaño o longitud de una palabra hace referencia al número de bits contenidos en ella.
- c) Bit de paridad: Con este bit se pueden descubrir errores en la transmisión. Esta puede ser par o impar.

Las UART o U(S) ART (Transmisor y Receptor Síncrono Asíncrono Universal) se diseñaron para convertir las señales que maneja la CP y transmitir las al exterior. Las UART deben resolver problemas tales como la conversión de voltajes internos, gobernar las señales de control, y realizar la transformación desde el bus de datos de señales en paralelo a serie y viceversa. Debe ser robusta y deberá tolerar circuitos abiertos, cortocircuitos y escritura simultánea sobre un mismo pin, entre otras consideraciones. Es en la UART en donde se implementa la interfaz.

Generalmente cuando se requiere conectar un microcontrolador (con señales típicamente entre 3.3 y 5 V) con un puerto RS-232 estándar se utiliza un driver de línea, típicamente un MAX232 o compatible, el cual mediante dobladores de voltaje positivos y negativos permite obtener la señal bipolar (típicamente alrededor de +/- 6V) requerida por el estándar.

Para los propósitos de la RS-232 estándar, una conexión es definida por un cable desde un dispositivo al otro. Hay 25 conexiones en la especificación completa, pero es muy probable que se encuentren menos de la mitad de éstas en una interfaz determinada. La causa es simple, una interfaz *full duplex* puede obtenerse con solamente 3 cables.

3.7. USB.

El *Universal Serial Bus* (bus universal en serie), abreviado comúnmente USB, es un puerto que sirve para conectar periféricos a un ordenador. Fue creado en 1996 por siete empresas (que actualmente forman el consejo directivo): IBM, Intel, Northern Telecom, Compaq, Microsoft, Digital Equipment Corporation y NEC.

El USB puede conectar varios tipos de dispositivos como pueden ser: mouse, teclados, escáneres, cámaras digitales, teléfonos móviles, reproductores multimedia, impresoras, discos duros externos entre otros ejemplos, tarjetas de sonido, sistemas de adquisición de datos y componentes de red. Para dispositivos multimedia como escáneres y cámaras digitales, el USB se ha convertido en el método estándar de conexión. Para impresoras, el USB ha crecido tanto en popularidad que ha desplazado a un segundo plano a los puertos paralelos porque el USB hace mucho más sencillo el poder agregar más de una impresora.

Algunos dispositivos requieren una potencia mínima, así que se pueden conectar varios sin necesitar fuentes de alimentación extra. La gran mayoría de los concentradores incluyen fuentes de alimentación que brindan energía a los dispositivos conectados a ellos, pero algunos dispositivos consumen tanta energía que necesitan su propia fuente de alimentación. Los concentradores con fuente de alimentación pueden proporcionarle corriente eléctrica a otros dispositivos sin quitarle corriente al resto de la conexión (dentro de ciertos límites).

Los dispositivos USB se clasifican en cuatro tipos según su velocidad de transferencia de datos:

- Baja velocidad (1.0): Tasa de transferencia de hasta 1,5 Mbps (192 KB/s). Utilizado en su mayor parte por dispositivos de interfaz humana.
- Velocidad completa (1.1): Tasa de transferencia de hasta 12 Mbps (1,5 MB/s) según este estándar, pero se dice en fuentes independientes que habría que realizar nuevamente las mediciones. Ésta fue la más rápida antes de la especificación USB 2.0, y muchos dispositivos fabricados en la actualidad trabajan a esta velocidad. Estos dispositivos dividen el ancho de banda de la conexión USB entre ellos, basados en un algoritmo de impedancias LIFO.
- Alta velocidad (2.0): Tasa de transferencia de hasta 480 Mbps (60 MB/s) pero por lo general de hasta 125Mbps (16MB/s). Está presente casi en el 99% de los PC actuales. El cable USB 2.0 dispone de cuatro líneas, un par para datos, una de corriente y un cuarto que es el negativo o retorno.
- Súper alta velocidad (3.0): Tiene una tasa de transferencia de hasta 4.8 Gbps (600 MB/s). La velocidad del bus es diez veces más rápida que la del USB 2.0, debido a que han incluido 5 conectores extra, desechando el conector de fibra óptica propuesto inicialmente, y será compatible con los estándares anteriores. usa un cable de 9 hilos. En Octubre de 2009 la compañía taiwanesa ASUS lanzó la primera placa base que incluía puertos USB3, tras ella muchas otras le han seguido y se espera que en 2012 ya sea el estándar de facto.

A continuación se abordan las características de los microprocesadores ya que más adelante son las mismas que contiene un microcontrolador.

3.8. El microprocesador.

Es un circuito de alta escala de integración, compuesto de muchos circuitos más simples como son los Fip-flops, contadores, registros, decodificadores, comparadores, etcétera; todos ellos en un mismo encapsulado, de modo que el microprocesador puede ser considerado un dispositivo lógico de propósito general o universal. Todos los componentes que llevan a cabo físicamente la lógica y operación del microprocesador se denominan hardware. Además existe una lista de instrucciones –con las que se forman programas- que puede ejecutar; éstas constituyen el lenguaje del microprocesador o software.

Los pines o terminales de un microprocesador sacan del encapsulado las líneas de sus buses de direcciones, datos y control, para permitir la conexión con memorias, módulos E/S, reloj y alimentación.

3.8.1. Sistema mínimo.

Un microprocesador por sí mismo no es capaz de realizar tarea alguna, es necesario hardware de soporte; los elementos mínimos que requiere son:

- Una fuente de alimentación
- Un circuito de reloj
- Dispositivos de memoria
- Interfaz o módulo de entrada y salida (E/S)

La implementación de todo este hardware constituye lo que se conoce como sistema mínimo, el siguiente diagrama corresponde a un sistema basado en la estructura de Von Newman. Sus bloques básicos son los que se muestran en la figura 3.7:

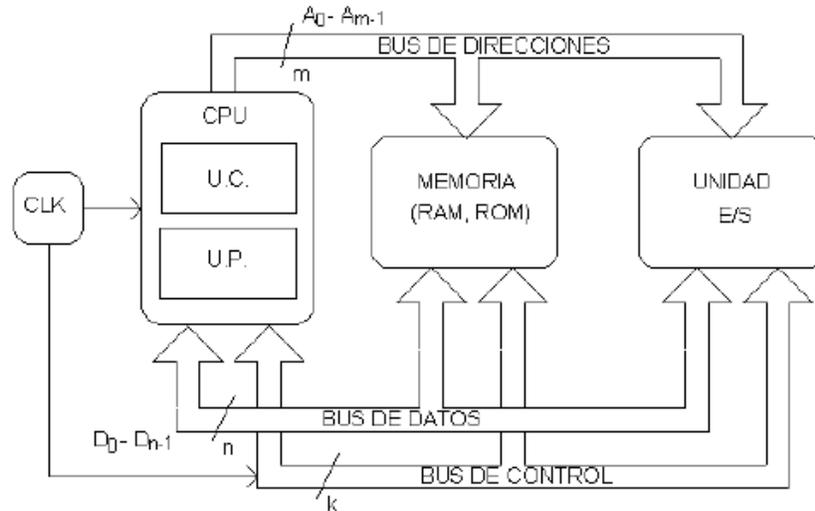


Figura 3.7. Bloques básicos del modelo Von Newman

Microprocesador o CPU (Central Process Unit), formado por los bloques principales: Unidad de Control y Unidad de Proceso.

Memoria, dispositivos o circuitos donde residen los códigos de las instrucciones del programa y los datos.

Módulos E/S, dispositivos o circuitos encargados de recibir y entregar información entre el CPU y la aplicación.

Los tres módulos están conectados entre sí por medio de los *Buses del sistema*. Un bus está formado por un conjunto de conductores por los cuales se transmite la información digital en forma de pulsos eléctricos.

3.8.2. Buses del sistema.

Bus de direcciones: $A_0 - A_{m-1}$: Es el empleado por la CPU para *seleccionar* la dirección de memoria o el dispositivo de E/S con el cual va a intercambiar información. Es por tanto *unidireccional* y su tamaño, o número de conductores que lo constituyen, determina la *capacidad de direccionamiento* de la CPU, que es el máximo número de posiciones de memoria y dispositivos E/S a los que la CPU puede acceder. Para m líneas la capacidad de direccionamiento será: 2^m localidades.

Bus de datos: $D_0 - D_{n-1}$: Es el conjunto de conductores a través del cual el μP intercambia información con la unidad de memoria o E/S seleccionado mediante el bus de direcciones.

Características:

- Bidireccional: la información puede viajar en los dos sentidos.
- Número de líneas (N): representa la cantidad de bits que se pueden transmitir simultáneamente. Suele denominarse la *Palabra* del μP .
- Triestado: las líneas del bus de datos deben ser triestado. Las líneas triestado son aquellas capaces de tener tres estados:
 - Estado alto (High, H)
 - Estado bajo (Low, L)
 - Estado de alta impedancia (High Impedance, Hi-Z)

En la siguiente figura 3.8 se ilustran los tres estados de las líneas.

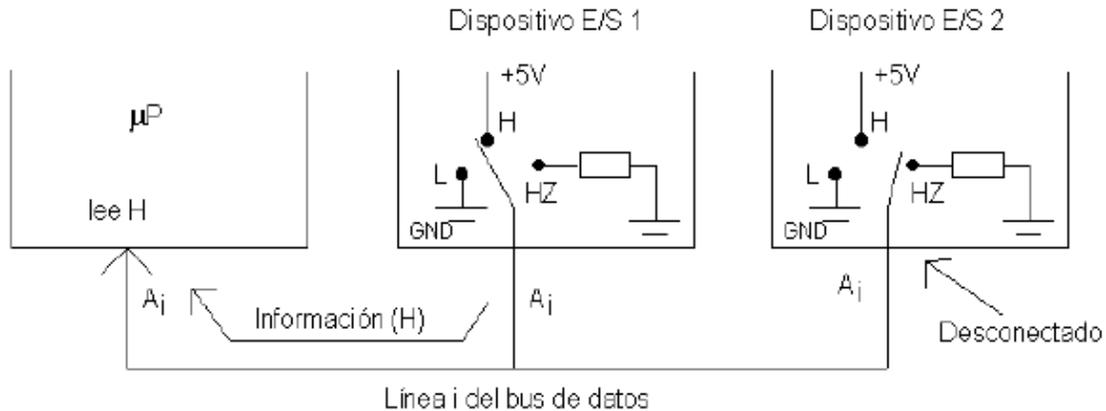


Figura 3.8. Líneas triestado

Mientras el μP se está comunicando con el dispositivo E/S 1, sólo estos dos dispositivos pueden disponer del bus de datos.

- Por lo que el resto de dispositivos conectados físicamente al bus de datos deben permanecer con sus líneas en alta impedancia (Dispositivo E/S 2), para evitar cortocircuitos, alteración de la información, etc.
- La Unidad de Control de la CPU es la que decide qué elemento envía la información y qué elemento la recibe, así como los elementos que deben desconectarse del bus y ponerse en alta impedancia.

Bus de control: Está formado por un conjunto de líneas por las que circulan las señales auxiliares de gestión y sincronización del sistema. Las líneas existentes dependen del fabricante del μP y de las funciones que desee implementar. Algunas señales típicas en todos los sistemas son:

- Señal de reloj de sincronización
- Señal de RESET o inicialización
- Señal de lectura/escritura en memoria, etc.

3.8.3. Unidad de Memoria.

La memoria se emplea para dos funciones básicas:

- Almacenamiento de las instrucciones que constituyen el programa. Las instrucciones se codifican mediante su *Código de Operación (OPC)*, formado por uno o varios Bytes.
- Almacenamiento de los datos y variables del programa. Normalmente agrupados en paquetes de 8 bits (Byte), 16 bits (Word) o 32 bits (Long Word). La velocidad (tiempo de respuesta) de la memoria debe ser compatible con el μP empleado. Normalmente se emplean memorias basadas en semiconductores:
 - RAM, memorias de lectura/escritura para almacenamiento de variables y datos del programa. Son volátiles.
 - ROM (EPROM, EEPROM), memorias de sólo lectura para almacenamiento de programas fijos (aplicaciones, rutinas básicas de sistemas operativos, etc.) y constantes. Son no volátiles.

El diagrama a bloques de la figura 3.9. Indica el orden y dirección en que los datos viajan a través del bus llegando a la memoria.

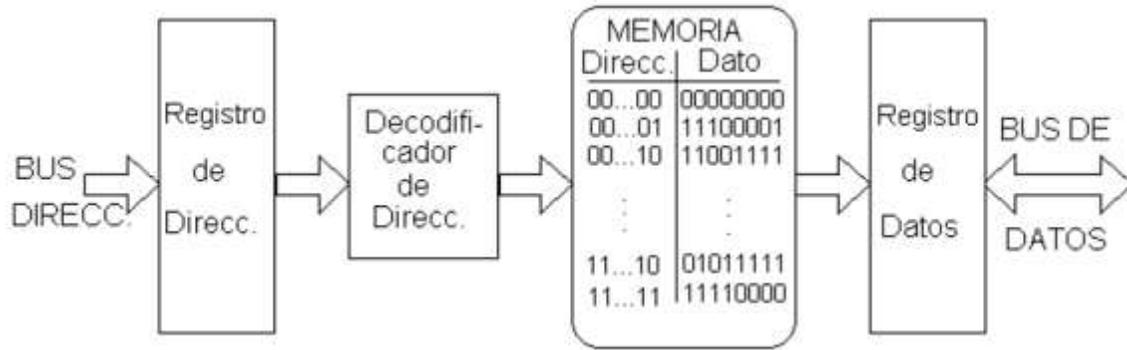


Figura 3.9 .Diagrama de flujo de datos

3.8.4. Unidad Central de Proceso (CPU).

Está formada por los siguientes bloques:

- Registros internos
- Unidad de Control
- Unidad de Proceso u Operativa

Los registros pueden escribir, leer e intercambiar información entre ellos por medio de los *Buses Internos de la CPU*. Con estructuras adecuadas se puede intercambiar información entre registros, cargar registros, descargarlos, etc.

Registros Internos de la CPU.- Los registros de la CPU son bloques de biestables que permiten el almacenamiento de los datos básicos con los cuales va a trabajar la CPU durante la ejecución de cada instrucción. Ver figura 3.10.

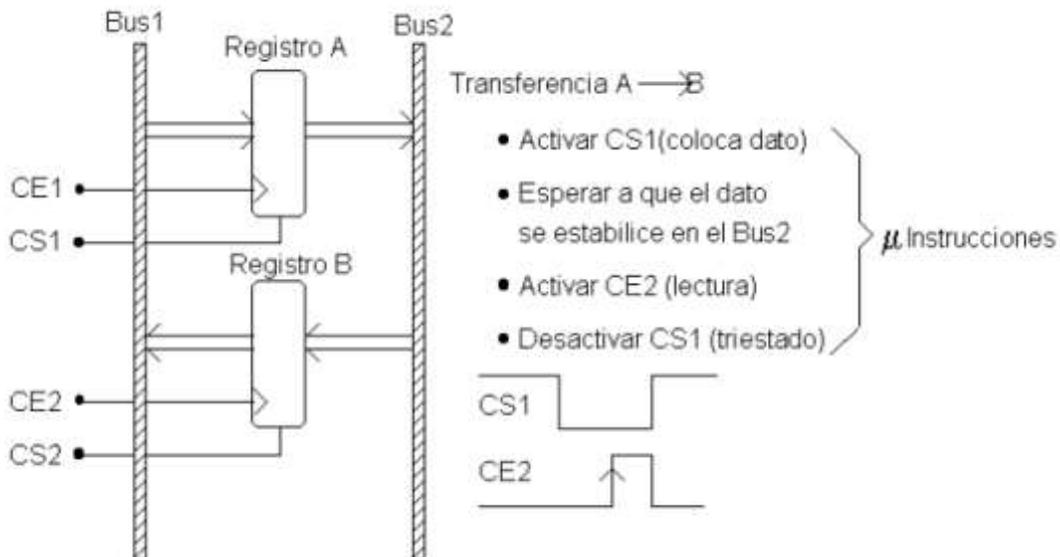


Figura 3.10. Flujo cuando se ejecuta una instrucción

Las señales CS1 y CE2 son gestionadas por la unidad de control de la CPU instruida por el código de la instrucción de transferencia A→B. Los datos que están almacenados en los registros de la

CPU tienen un tiempo de acceso muy bajo, muy inferior del correspondiente a los datos que se encuentran en memoria externa. Existen diferentes tipos de registros que permiten realizar diferentes funciones:

- De Desplazamiento, empleando biestables D encadenados. Permiten hacer rotaciones y desplazamientos de bits (x2, %2, E/S serie, etc.)
- Contadores, con biestables T encadenados. Permiten medir tiempos, temporizar, etc.

Registros Índices o de Direcciones, permiten el acceso estructurado a datos de memoria

- Registros de datos, para almacenamiento de variables del programa
- Registros especiales, contador de programa (Program Counter, PC), puntero de pila (Stack Pointer, SP).

3.8.5. Unidad de Control.

Su misión principal consiste en *decodificar* (interpretar y ejecutar) las instrucciones que le llegan desde la memoria ver figura 3.11:

- El código binario de la instrucciones en curso se recibe por el bus de datos y se almacena en el Registro de Instrucciones (IR).
- El Decodificador de Instrucciones selecciona las posiciones que corresponden a esa instrucción en una memoria ROM interna de la CPU. En ella se almacenan las diferentes instrucciones elementales o μ instrucciones que componen esa instrucción.
- Estas μ instrucciones hacen que el Secuenciador active las señales correspondientes para ejecutar la instrucción.
- El Contador de Programa (PC) es un registro que contiene la dirección de memoria donde está la siguiente instrucción del programa a ejecutar. Una de las primeras acciones del secuenciador antes de ejecutar una instrucción es incrementar el PC para que *apunte* a la instrucción siguiente.
- Existen instrucciones que permiten modificar el PC o incrementarlo en más de una unidad, permitiendo la realización de saltos en la secuencia del programa.

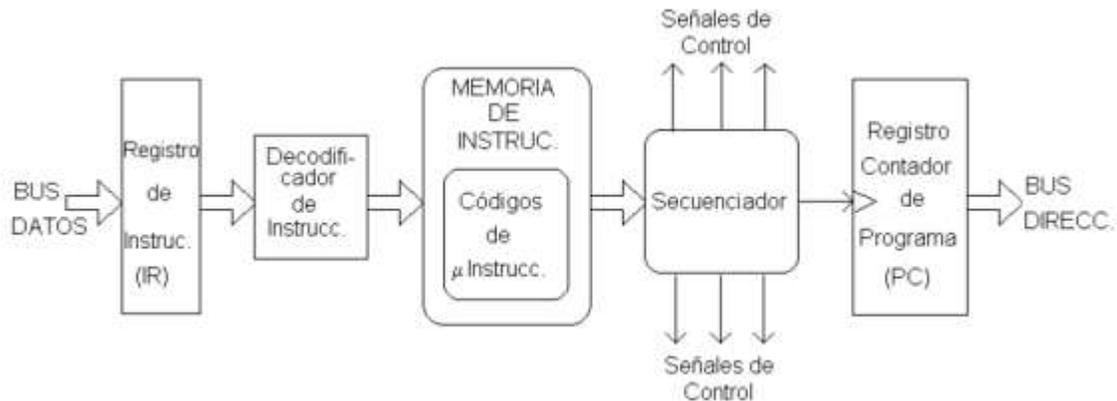


Figura 3.11. Secuencias de la Unidad de Control

3.8.6. Unidad de Proceso.

Su bloque principal es la ALU o Unidad Lógico-Aritmética, que permite realizar las operaciones aritméticas y lógicas indicadas por las instrucciones del programa. Figura 3.12.

- El secuenciador, instruido por el código de la instrucción en curso, activa las líneas de selección de la ALU para realizar la operación.

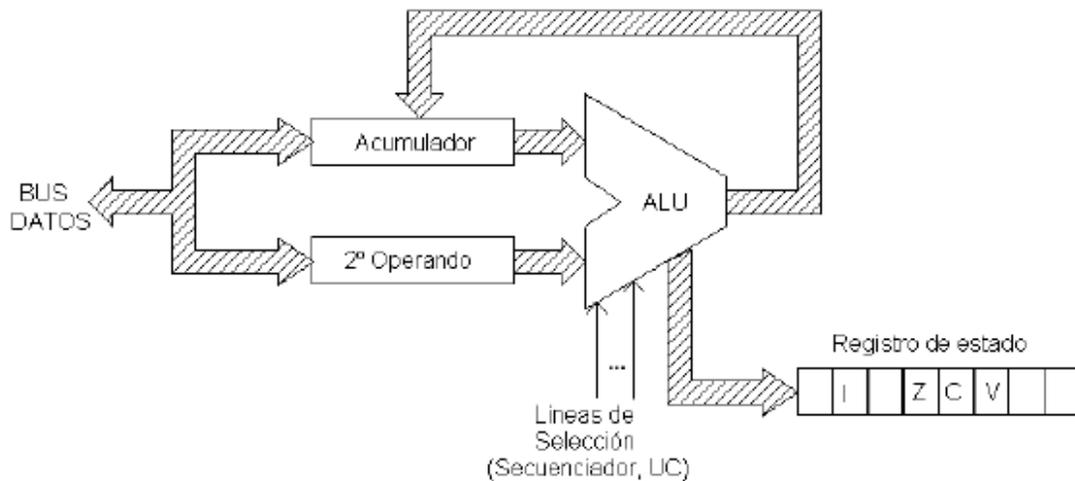


Figura 3.12. Secuencias de la ALU

3.8.7. Interfaz o módulo de E/S.

Permite la comunicación del sistema μP con el exterior, ver figura 3.13. Los dispositivos de E/S se denominan habitualmente *periféricos*, ejemplos son: controladores, teclado, pantalla, impresora, unidades de disco, etc. Cualquier periférico necesita un módulo adicional que permite realizar la conexión del mismo con los buses del μP .

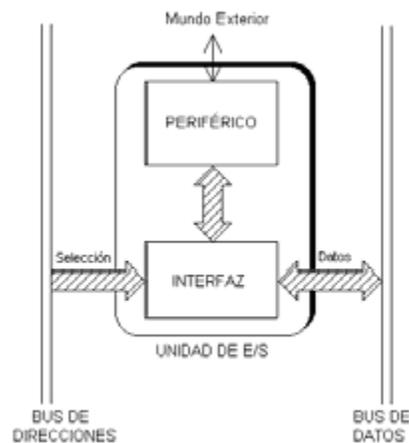


Figura 3.13. Módulo E/S

Existen varios métodos para manejar los dispositivos de E/S:

- Mediante *instrucciones específicas de E/S*, que se emplean en el programa para acceder al periférico.
- Con *Acceso Directo a Memoria (DMA)*. La CPU pone en triestado los buses de direcciones y de datos. Un dispositivo controlador de DMA toma el control de los buses y pasa los datos directamente entre el dispositivo E/S y la memoria.

- A través de *Técnicas de Interrupción*. El periférico activa las líneas de interrupción de la CPU, que detienen el programa en ejecución y trasladan el contador de programa a la dirección de inicio de otro programa (la dirección del contador de programa se almacena en la Pila –Stack-) creado especialmente para atender al periférico que solicita la interrupción. Suele denominarse a este programa *rutina de servicio de interrupción*.
- Mediante el *tratamiento de E/S como posiciones de memoria*. Permite el empleo de las mismas instrucciones para acceso a memoria y a E/S. Una zona del mapa de memoria es reservada para los dispositivos de E/S. Estas posiciones se llaman Puertos de E/S o registros mapeados en memoria. Escribir o leer en uno de estos puertos equivale a hacerlo en el periférico.

En la figura 3.14, se ilustra la arquitectura de un microprocesador de 8 bits.

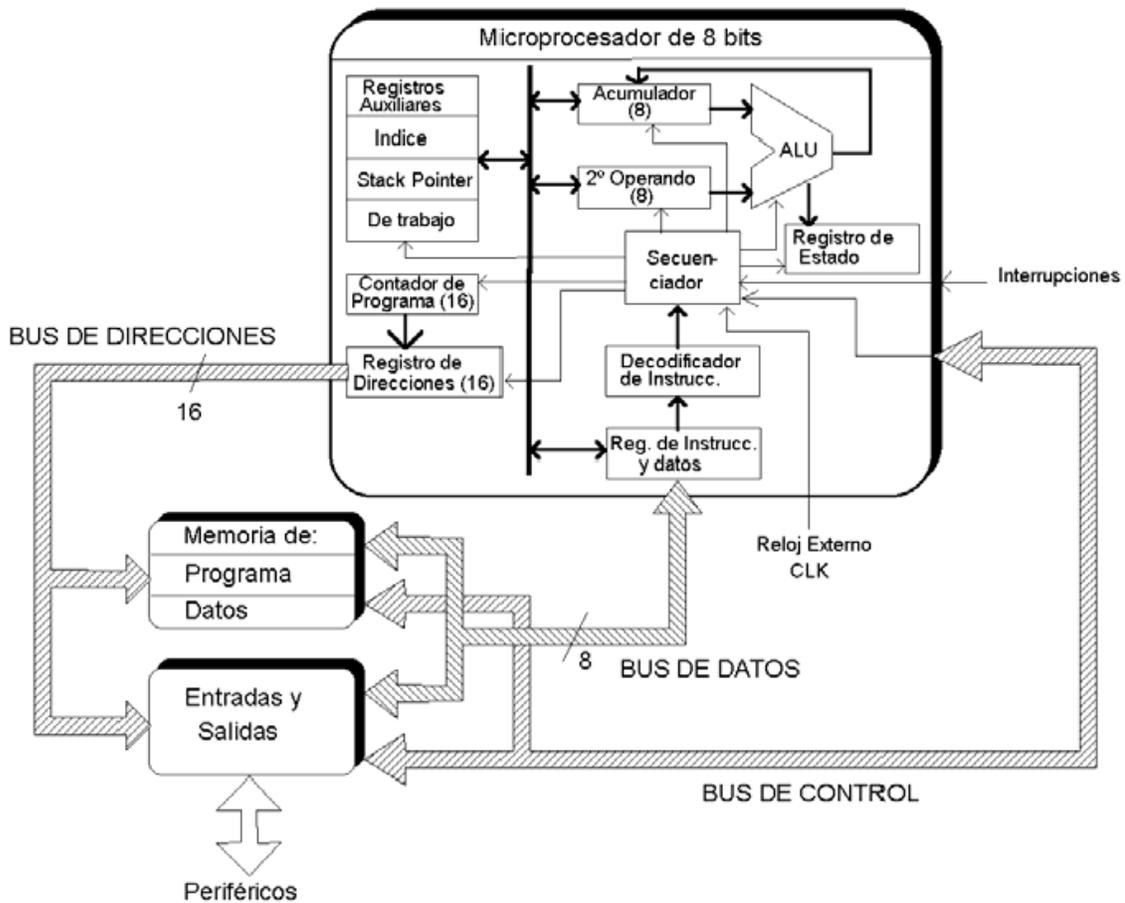


Figura 3.14. Microprocesador de 8 bits.

3.9. Microcontroladores.

Un microcontrolador es un sistema completo (microprocesador + E/S + memoria + otros periféricos), que está contenido en el chip de un circuito integrado programable y se destina a

gobernar una sola tarea con el programa que reside en su memoria. Sus líneas de entrada/salida soportan el conexionado de los sensores y actuadores del dispositivo a controlar.

Si sólo se fabricara un modelo de microcontrolador, éste debería tener muy potenciados todos sus recursos para poderse adaptar a las exigencias de las diferentes aplicaciones. Esta potenciación supondría en muchos casos un gasto innecesario. En la práctica, cada fabricante de microcontroladores oferta un elevado número de modelos diferentes, desde los más sencillos hasta los más potentes. Es posible seleccionar la capacidad de las memorias, el número de líneas de E/S, la cantidad y prestaciones de los elementos auxiliares, la velocidad de funcionamiento, etc.

Por todo ello, un aspecto muy destacado del diseño es la selección del microcontrolador a utilizar.

3.9.1. Aplicaciones de los microcontroladores.

Cada vez existen más productos que incorporan un microcontrolador con el fin de aumentar sustancialmente sus prestaciones, reducir su tamaño y costo, mejorar su fiabilidad y disminuir el consumo energético. Los microcontroladores están siendo empleados en multitud de sistemas presentes en nuestra vida diaria, como pueden ser: juguetes, hornos de microondas, refrigeradores, televisores, computadoras, impresoras, módems, computadoras de viaje para automóviles, etc. Una aplicación típica podría emplear varios microcontroladores para controlar pequeñas partes del sistema. Estos pequeños controladores podrían comunicarse entre ellos y con un procesador central, probablemente más potente, compartir la información y coordinar sus acciones, como de hecho, ocurre ya habitualmente en cualquier PC.

3.9.2. El mercado de los microcontroladores.

Aunque en el mercado de la informática la mayor atención la acaparan los desarrollos de los microprocesadores, lo cierto es que se venden cientos de microcontroladores por cada procesador.

Existe una gran diversidad de microcontroladores. Quizá la clasificación más importante sea entre microcontroladores de 4, 8, 16 ó 32 bits. Aunque las prestaciones de los microcontroladores de 16 y 32 bits son superiores a los de 4 y 8 bits, la realidad es que los microcontroladores de 8 bits dominan el mercado. La razón de esta tendencia es que los microcontroladores de 4 y 8 bits son apropiados para la gran mayoría de las aplicaciones, lo que hace absurdo emplear micros más potentes y consecuentemente más caros.

Recursos comunes a todos los microcontroladores: Al estar todos los microcontroladores integrados en un chip, su estructura fundamental y sus características básicas son muy parecidas. Todos deben disponer de los bloques esenciales: Procesador, memoria de datos y de instrucciones, líneas de E/S, oscilador de reloj y módulos controladores de periféricos. Sin embargo, cada fabricante intenta enfatizar los recursos más idóneos para las aplicaciones a las que se destinan preferentemente.

3.9.3. Arquitectura básica.

Aunque inicialmente todos los microcontroladores adoptaron la arquitectura clásica de von Neumann, en el momento presente se impone la arquitectura Harvard. La arquitectura de von Neumann se caracteriza por disponer de una sola memoria principal donde se almacenan datos e instrucciones de forma indistinta. A dicha memoria se accede a través de un sistema de buses único (direcciones, datos y control). La arquitectura Harvard dispone de dos memorias independientes, una que contiene sólo instrucciones y otra sólo los datos. Ambas disponen de sus

respectivos sistemas de buses de acceso, siendo posible realizar operaciones de acceso (lectura o escritura) simultáneamente en ambas memorias.

3.9.4. El procesador.

Es el elemento más importante del microcontrolador y determina sus principales características, tanto a nivel hardware como software. Existen tres orientaciones en cuanto a la arquitectura y funcionalidad de los procesadores actuales.

- CISC: Un gran número de procesadores usados en los microcontroladores están basados en la filosofía CISC (Computadores de Juego de Instrucciones Complejo). Disponen de más de 80 instrucciones máquina en su repertorio, algunas de las cuales son muy sofisticadas y potentes, requiriendo muchos ciclos para su ejecución. Una ventaja de los procesadores CISC es que ofrecen al programador instrucciones complejas que actúan como macros.
- RISC: Tanto la industria de los computadores comerciales como la de los microcontroladores, están decantándose hacia la filosofía RISC (Computadores de Juego de Instrucciones Reducido). En estos procesadores el repertorio de instrucciones máquina es muy reducido y simple, generalmente se ejecutan en un ciclo. La sencillez y rapidez de las instrucciones permiten optimizar el hardware y el software del procesador.
- SISC: En los microcontroladores destinados a aplicaciones muy concretas, el juego de instrucciones, además de ser reducido, es "específico", o sea, las instrucciones se adaptan a las necesidades de la aplicación prevista. Esta filosofía se ha bautizado con el nombre de SISC (Computadores de Juego de Instrucciones Específico).

3.9.5. Memoria.

En los microcontroladores la memoria de instrucciones y datos está integrada en el propio chip. Una parte debe ser no volátil, tipo ROM, y se destina a contener el programa de instrucciones que gobierna la aplicación. Otra parte de memoria será tipo RAM, volátil, y se destina a guardar las variables y los datos. Hay dos peculiaridades que diferencian a los microcontroladores de las PCs: No existen sistemas de almacenamiento masivo como disco duro o disquetes, y como el microcontrolador sólo se destina a una tarea en la memoria ROM, sólo hay que almacenar un único programa de trabajo.

- La RAM: En estos dispositivos es de poca capacidad, pues sólo debe contener las variables y los cambios de información que se produzcan en el transcurso del programa. Por otra parte, como sólo existe un programa activo, no se requiere guardar una copia del mismo en la RAM pues se ejecuta directamente desde la ROM. Los usuarios de computadoras personales están habituados a manejar Megabytes de memoria, pero los diseñadores con microcontroladores trabajan con capacidades de RAM comprendidas entre 20 bytes y 1 Kbytes.

Según el tipo de memoria ROM que dispongan los microcontroladores, la aplicación y utilización de los mismos es diferente. Se describen cinco versiones de memoria no volátil que se pueden encontrar en los microcontroladores del mercado.

- ROM con máscara: Es una memoria no volátil de sólo lectura cuyo contenido se graba durante la fabricación del chip. El elevado coste del diseño de la máscara sólo hace aconsejable el empleo de los microcontroladores con este tipo de memoria cuando se precisan cantidades superiores a varios miles de unidades.
- ROM OTP (One Time Programmable): El microcontrolador contiene una memoria no volátil de sólo lectura "programable una sola vez" por el usuario, es él quien puede escribir el

programa en el chip mediante un grabador controlado por un programa desde una PC. La versión OTP es recomendable cuando es muy corto el ciclo de diseño del producto, o bien, en la construcción de prototipos y series muy pequeñas. Tanto en este tipo de memoria como en la EPROM, se suele usar la encriptación mediante fusibles para proteger el código contenido. EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory): Los microcontroladores que disponen de memoria EPROM pueden borrarse y grabarse muchas veces. La grabación se realiza, como en el caso de los OTP, con un grabador gobernado desde una PC. Si posteriormente se desea borrar el contenido, disponen de una ventana de cristal en su superficie por la que se somete a la EPROM a rayos ultravioleta durante varios minutos. Las cápsulas son de material cerámico y son más caros que los microcontroladores con memoria OTP que están hechos con material plástico.

- EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory).- Se trata de memorias de sólo lectura, programables y borrables eléctricamente. Tanto la programación como el borrado, se realizan eléctricamente desde el propio grabador y bajo el control programado de una PC. Es muy cómoda y rápida la operación de grabado y de borrado. No disponen de ventana de cristal en la superficie. Los microcontroladores dotados de memoria EEPROM, una vez instalados en el circuito, pueden grabarse y borrarse cuantas veces se quiera sin ser retirados de dicho circuito. Para ello se usan "grabadores en circuito" que confieren una gran flexibilidad y rapidez a la hora de realizar modificaciones en el programa de trabajo. El número de veces que puede grabarse y borrarse una memoria EEPROM es finito, por lo que no es recomendable una reprogramación continua. Son muy idóneos para la enseñanza y la Ingeniería de diseño. Se va extendiendo en los fabricantes la tendencia de incluir una pequeña zona de memoria EEPROM en los circuitos programables para guardar y modificar cómodamente una serie de parámetros que adecúan el dispositivo a las condiciones del entorno. Este tipo de memoria es relativamente lenta.
- FLASH: Se trata de una memoria no volátil, de bajo consumo, que se puede escribir y borrar. Funciona como una ROM y una RAM, pero consume menos y es más pequeña. A diferencia de la ROM, la memoria FLASH es programable en el circuito. Es más rápida y de mayor densidad que la EEPROM. La alternativa FLASH está recomendada frente a la EEPROM cuando se precisa gran cantidad de memoria de programa no volátil. Es más veloz y tolera más ciclos de escritura/borrado.

Las memorias EEPROM y FLASH son muy útiles al permitir que los microcontroladores que las incorporan puedan ser reprogramados "en circuito", es decir, sin tener que sacar el circuito integrado de la tarjeta. Así, un dispositivo con este tipo de memoria incorporado al control del motor de un automóvil permite que pueda modificarse el programa durante la rutina de mantenimiento periódico, compensando los desgastes y otros factores tales como las adaptaciones, la instalación de nuevas piezas, etc. La reprogramación del microcontrolador puede convertirse en una labor rutinaria dentro de la puesta a punto.

3.9.6. Puertos de Entrada y Salida.

La principal utilidad de las terminales que posee la cápsula que contiene un microcontrolador es soportar las líneas de E/S que comunican al μ procesador con los periféricos exteriores. Según los controladores de periféricos que posea cada modelo de microcontrolador, las líneas de E/S se destinan a proporcionar el soporte a las señales de entrada, salida y control.

Reloj principal: Todos los microcontroladores necesitan de un circuito oscilador que genera una onda cuadrada de alta frecuencia, que configura los impulsos de reloj usados en la sincronización de todas las operaciones del sistema. Generalmente, el circuito de reloj está incorporado en el microcontrolador y sólo se necesitan unos pocos componentes exteriores para seleccionar y estabilizar la frecuencia de trabajo. Dichos componentes suelen consistir en un cristal de cuarzo junto a elementos pasivos o bien un resonador cerámico o una red R-C. Aumentar la frecuencia de reloj supone disminuir el tiempo en que se ejecutan las instrucciones pero lleva aparejado un incremento del consumo de energía; además la frecuencia de reloj tiene un límite máximo permitido.

3.9.7. Recursos Especiales.

Cada fabricante ofrece numerosas versiones de una arquitectura básica de microcontrolador. En algunas amplía la capacidad de las memorias, en otras incorpora nuevos recursos, en otras reduce las prestaciones al mínimo para aplicaciones muy simples, etc. La labor del diseñador es encontrar el modelo mínimo que satisfaga todos los requerimientos de su aplicación. De esta forma, reducirá el costo, el hardware y el software.

Los principales recursos específicos que incorporan los microcontroladores son:

- **Temporizadores (Timers):** Se emplean para controlar periodos (temporizadores) y para llevar la cuenta de acontecimientos que suceden en el exterior (contadores). Para la medida de tiempos se carga un registro con el valor adecuado, y a continuación dicho valor se va incrementando o decrementando a la frecuencia de los impulsos de reloj o algún múltiplo hasta que se desborde y llegue a cero, momento en el que se produce un aviso. Cuando se desean contar acontecimientos que se suceden por cambios de nivel o flancos en alguna de las terminales del microcontrolador, el mencionado registro se va incrementando o decrementando a la frecuencia de dichos pulsos.
- **Perro guardián (Watchdog):** Cuando una computadora personal se bloquea por un fallo del software u otra causa, se pulsa el botón del reset y se reinicializa el sistema. Pero un microcontrolador funciona sin el control de un supervisor y de forma continua las 24 horas del día. El Perro guardián consiste en un temporizador que, cuando se desborda y pasa por cero, provoca un reset automáticamente en el sistema. Se debe diseñar el programa de trabajo que controla la tarea de forma que refresque o inicialice al Perro guardián antes de que provoque el reset. Si falla el programa o se bloquea, no se refrescará al Perro guardián y, al completar su temporización, enviará una señal "ladrará" para provocar el reset
- **Protección ante fallo de alimentación (Brownout):** Se trata de un circuito que reinicia al microcontrolador cuando el voltaje de alimentación (VDD) es inferior a un voltaje mínimo ("brownout"). Mientras el voltaje de alimentación sea inferior al de brownout el dispositivo se mantiene reseteado, comenzando a funcionar normalmente cuando sobrepasa dicho valor de voltaje.
- **Estado de reposo o de bajo consumo (Sleep o Idle):** Son abundantes las situaciones reales de trabajo en que el microcontrolador debe esperar, sin hacer nada, a que se produzca algún acontecimiento externo que le ponga de nuevo en funcionamiento. Para ahorrar energía, (factor clave en los aparatos portátiles), los microcontroladores disponen de una instrucción especial (Sleep en algunos modelos), que les pasa al estado de reposo o de bajo consumo, en el cual los requerimientos de potencia son mínimos. En dicho estado se detiene el reloj principal y se "congelan" sus circuitos asociados, quedando el microcontrolador en un profundo "sueño". Al activarse una interrupción ocasionada por el acontecimiento esperado, el microcontrolador se "despierta" y reanuda su trabajo.

- Conversor A/D: Los microcontroladores que incorporan un CAD pueden procesar señales analógicas, tan abundantes en las aplicaciones. Suelen disponer de un multiplexor que permite aplicar a la entrada del CAD varias señales analógicas desde las terminales del circuito integrado.
- Conversor D/A: Transforma los datos digitales obtenidos del procesamiento en su correspondiente señal analógica, y que saca al exterior por una de las terminales de la cápsula. Existen muchos actuadores que trabajan con señales analógicas.
- Comparador analógico: Algunos modelos de microcontroladores disponen internamente de un Amplificador Operacional, que actúa como comparador entre una señal fija de referencia y otra variable que se aplica por una de las terminales de la cápsula. La salida del comparador proporciona un nivel lógico 1 ó 0 según una señal sea mayor o menor que la otra. También hay modelos de microcontroladores con un módulo de tensión de referencia que proporciona diversas tensiones de referencia que se pueden aplicar en los comparadores.
- Modulador de anchura de pulsos (PWM): Son circuitos que proporcionan en su salida pulsos de anchura variable, que se muestran al exterior a través de las terminales del encapsulado.
- Puertos de E/S digitales: Todos los microcontroladores destinan algunas de sus terminales a soportar líneas de E/S digitales. Por lo general, estas líneas se agrupan de ocho en ocho formando Puertos. Las líneas digitales de los Puertos pueden configurarse como Entrada o como Salida cargando un 1 ó un 0 en el bit correspondiente de un registro destinado a su configuración.
- Puertos de comunicación: Con objeto de dotar al microcontrolador de la posibilidad de comunicarse con otros dispositivos externos, otros buses de microprocesadores, buses de sistemas, buses de redes y poder adaptarlos con otros elementos bajo otras normas y protocolos; algunos modelos disponen de recursos que permiten directamente esta tarea, entre los que destacan:
 - UART, (Universal Synchronous Receiver Transmitter, Transmisor Receptor Asíncrono Universal), adaptador de comunicación serie asíncrona.
 - USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter, Transmisor Receptor Síncrono y Asíncrono Universal), adaptador de comunicación serie síncrona y asíncrona
 - PUERTO PARALELO ESCLAVO, para poder conectarse con los buses de otros microprocesadores.
 - USB (Universal Serial Bus, Bus serial Universal), es un moderno bus serie para las PC.
 - BUS I²C (Inter-IC bus, bus de intercambio de circuitos integrados), es una interfaz serie de dos hilos desarrollada por Phillips.
 - CAN (Controller Area Network, Área de Red Controlada), permite la adaptación con redes de conexión multiplexado desarrollado conjuntamente por Bosch e Intel para el cableado de dispositivos en automóviles. En EE.UU.

3.10. Microcontroladores PIC.

En 1965, la empresa GI creó una división de microelectrónica, GI Microelectronics División, que comenzó su andadura fabricando memorias EPROM y EEPROM, conformando las familias AY3-XXXX y AY5-XXXX. A principios de los años 70 diseñó el microprocesador de 16 bits CP1600, razonablemente bueno pero que no manejaba eficazmente las Entradas y Salidas. Para solventar

este problema, en 1975 diseñó un chip destinado a controlar E/S: el PIC (Peripheral Interface Controller). Se trataba de un controlador rápido pero limitado y con pocas instrucciones pues iba a trabajar en combinación con el CP1600.

La arquitectura del PIC, que se comercializó en 1975, era sustancialmente la misma que la de los actuales modelos PIC16C5X. En aquel momento se fabricaba con tecnología NMOS y el producto sólo se ofrecía con memoria ROM y con un pequeño pero robusto microcódigo.

La década de los 80 no fue buena para GI, que tuvo que reestructurar sus negocios, concentrando sus actividades en los semiconductores de potencia. La GI Microelectronics División se convirtió en una empresa subsidiaria, llamada GI Microelectronics Inc. Finalmente, en 1985, la empresa fue vendida a un grupo de inversores de capital de riesgo, los cuales, tras analizar la situación, rebautizaron a la empresa con el nombre de Arizona Microchip Technology, y orientaron su negocio a los PIC, las memorias EPROM paralelo y las EEPROM serie. Se comenzó rediseñando los PIC, que pasaron a fabricarse con tecnología CMOS, surgiendo la familia de gama baja PIC16CSX, considerada como la "clásica".

Una de las razones del éxito de los PIC se basa en su utilización. Cuando se aprende a manejar uno de ellos, conociendo su arquitectura y su repertorio de instrucciones, es muy fácil emplear otro modelo.

Microchip cuenta con su factoría principal en Chandler, Arizona, en donde se fabrican y prueban los chips con los más avanzados recursos técnicos. En 1993 construyó otra factoría de similares características en Tempe, Arizona. También cuenta con centros de ensamblaje y pruebas en Taiwán y Tailandia.

3.10.1 Características.

- La arquitectura del procesador sigue el modelo Harvard. En esta arquitectura, el CPU se conecta de forma independiente con buses distintos a la memoria de instrucciones y a la de datos.
- La arquitectura Harvard permite al CPU acceder simultáneamente a las dos memorias. Además, propicia numerosas ventajas al funcionamiento del sistema como se irán describiendo.
- Se aplica la técnica de segmentación ("pipe-line") en la ejecución de las instrucciones. La segmentación permite al procesador realizar al mismo tiempo la ejecución de una instrucción y la búsqueda del código de la siguiente. De esta forma se puede ejecutar cada instrucción en un ciclo (un ciclo de instrucción equivale a cuatro pulsos de reloj).
- El formato de todas las instrucciones tiene la misma longitud. Todas las instrucciones de los microcontroladores de la gama baja tienen una longitud de 12 bits. Las de la gama media tienen 14 bits y 16 bits las de la gama alta.
- Procesador RISC (Computador de Juego de Instrucciones Reducido)
- Los modelos de la gama baja disponen de un repertorio de 33 instrucciones, 35 los de la gama media y casi 60 los de la alta.
- Todas las instrucciones son ortogonales. Cualquier instrucción puede manejar cualquier elemento de la arquitectura como fuente o como destino.
- Arquitectura basada en un banco de registros. Esto significa que todos los objetos del sistema (puertos de E/S, temporizadores, posiciones de memoria, etc.) están implementados físicamente como registros.
- Diversidad de modelos de microcontroladores con prestaciones y recursos diferentes.
- Herramientas de soporte. La empresa Microchip y otras que utilizan los PIC, ponen a disposición de los usuarios numerosas herramientas para desarrollar hardware y software. Son muy abundantes los programadores, simuladores por software, emuladores en tiempo real, ensambladores, compiladores C, intérpretes y compiladores BASIC, etc.

3.10.2. Gamas.

Para resolver aplicaciones sencillas se precisan pocos recursos; en cambio, las aplicaciones grandes los requieren numerosos y potentes. Siguiendo esta filosofía, Microchip construye diversos modelos de microcontroladores orientados a cubrir las necesidades de cada proyecto. Así, hay disponibles microcontroladores sencillos y baratos para atender las aplicaciones simples, y otros complejos y más costosos para las de mucha envergadura.

Con las gamas de PIC se dispone de gran diversidad de modelos y encapsulados, pudiendo seleccionar el que mejor se acople a las necesidades de acuerdo con el tipo y capacidad de las memorias, el número de líneas de E/S y las funciones auxiliares precisas. Sin embargo, todas las versiones están construidas alrededor de una arquitectura común, un repertorio mínimo de instrucciones y un conjunto de opciones muy apreciadas, como el bajo consumo y el amplio margen del voltaje de alimentación.

3.10.3. Herramientas para el desarrollo de aplicaciones.

Uno de los factores que más importancia tiene al momento de seleccionar un microcontrolador entre todos los demás, es el soporte tanto de software como de hardware del que se disponga. Un buen conjunto de herramientas de desarrollo puede ser decisivo en la elección, ya que pueden suponer una ayuda inestimable en el desarrollo del proyecto. Las principales herramientas de soporte al desarrollo de software para sistemas basados en microcontroladores son:

- **Ensamblador.** La programación en lenguaje ensamblador puede resultar un tanto ardua para el principiante, pero permite desarrollar programas muy eficientes, ya que otorga al programador el dominio absoluto del sistema. Esta aplicación traduce las instrucciones en lenguaje ensamblador -en forma de mnemónicos y operando- a código máquina. Los fabricantes suelen proporcionar el programa ensamblador de forma gratuita y en cualquier caso siempre se puede encontrar una versión gratuita para los microcontroladores más populares.
- **Compilador.** La programación en un lenguaje de alto nivel (como el C o el Basic) permite disminuir el tiempo de desarrollo de un producto. No obstante, si no se programa con cuidado, el código resultante puede ser mucho más ineficiente que el programado en ensamblador. Las versiones más potentes suelen ser muy caras, aunque para los microcontroladores más populares pueden encontrarse versiones demo limitadas e incluso compiladores gratuitos.
- **Depurador.** Debido a que los microcontroladores van a controlar dispositivos físicos, los desarrolladores necesitan herramientas que les permitan comprobar el buen funcionamiento del microcontrolador cuando es conectado al resto de circuitos.
- **Simulador.** Son capaces de ejecutar en una PC los programas realizados para el microcontrolador. Los simuladores permiten tener un control absoluto sobre la ejecución de un programa, siendo ideales para la depuración de los mismos. Su gran inconveniente radica en la dificultad para simular la entrada y salida de datos del microcontrolador. Tampoco cuentan con los posibles ruidos en las entradas, pero al menos permiten el paso físico de la implementación de un modo más seguro y menos costoso, puesto que ahorraremos en grabaciones de chips para la prueba in-situ. **Sistemas de desarrollo.** Se trata de pequeños sistemas con un microcontrolador ya montado, y que suelen conectarse a una PC desde el que se cargan los programas que se ejecutan en el microcontrolador. Las placas suelen incluir visualizadores LCD, teclados, LEDs, fácil acceso a los pines de E/S, etc. El sistema operativo de la placa recibe el nombre de programa monitor. El

programa monitor de algunos sistemas de desarrollo, aparte de permitir cargar programas y datos en la memoria del microcontrolador, puede permitir en cualquier momento realizar ejecuciones paso a paso, monitoreo del estado del microcontrolador o modificar los valores almacenados en los registros o en la memoria.

- Emuladores en circuito. Se trata de un instrumento que se coloca entre la PC anfitrión y el zócalo de la tarjeta de circuito impreso donde se alojará el microcontrolador definitivo. El programa es ejecutado desde la PC, pero para la tarjeta de aplicación es como si lo hiciese el mismo microcontrolador que luego irá en el zócalo. Presenta en pantalla toda la información tal como sucederá cuando se coloque la cápsula.

3.11. Microcontrolador PIC18f4550.

Es un microcontrolador de la marca Microchip, de 44 pines, memoria flash mejorada, modulo USB con tecnología nanovatio. En la siguiente lista se describen sus principales características.

Características del Módulo USB

- Compatible con USB 2.0
- Baja velocidad de transmisión (1.5Mb/s) y alta velocidad (12Mb/s)
- Acceso dual a la RAM de 1Kb para USB
- Regulador de voltaje para USB
- Puerto paralelo (SPP) para la transferencia USB

Administración de la energía

- Run: CPU encendido, periféricos encendidos.
- Idle: CPU encendido, periféricos apagados
- Sleep: CPU apagado, periféricos apagados

Estructura del oscilador

- Cuatro modos de cristal
- Dos relojes externos de hasta 48Mhz
- Oscilador en bloque interno
- Oscilador secundario para TIMER1

Periféricos

- Tres interrupciones externas
- Cuatro módulos de TIMER
- Módulo PWM con una resolución de 1 a 10 bits
- Módulo USART
- Módulo MSSP
- Módulo ADC con 10 bits y hasta 13 canales

En la siguiente figura 3.15, se muestra el diagrama de pines del microcontrolador PIC18F4550.

40-Pin PDIP

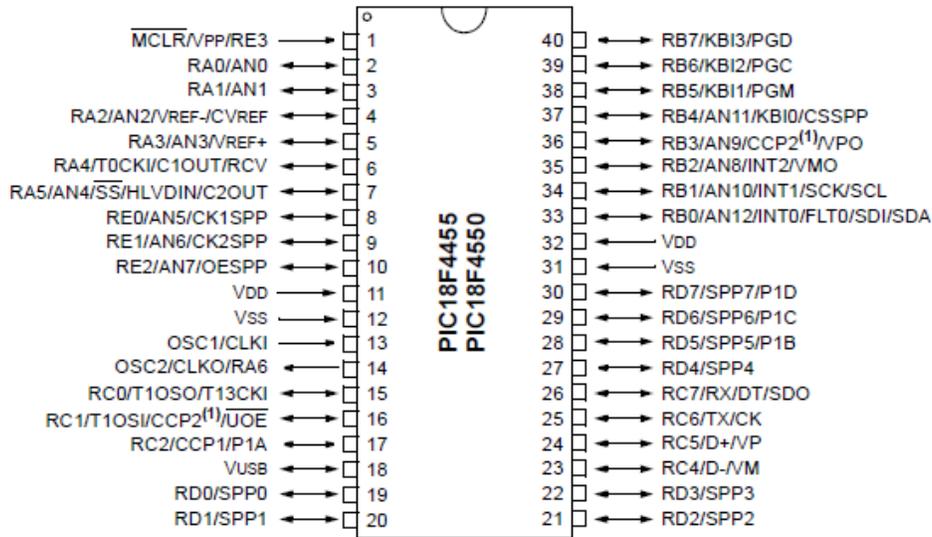


Figura 3.15. Diagrama de Pines del PIC18f4550

En la figura 3.16, se muestra el diagrama de configuración interna del PIC.

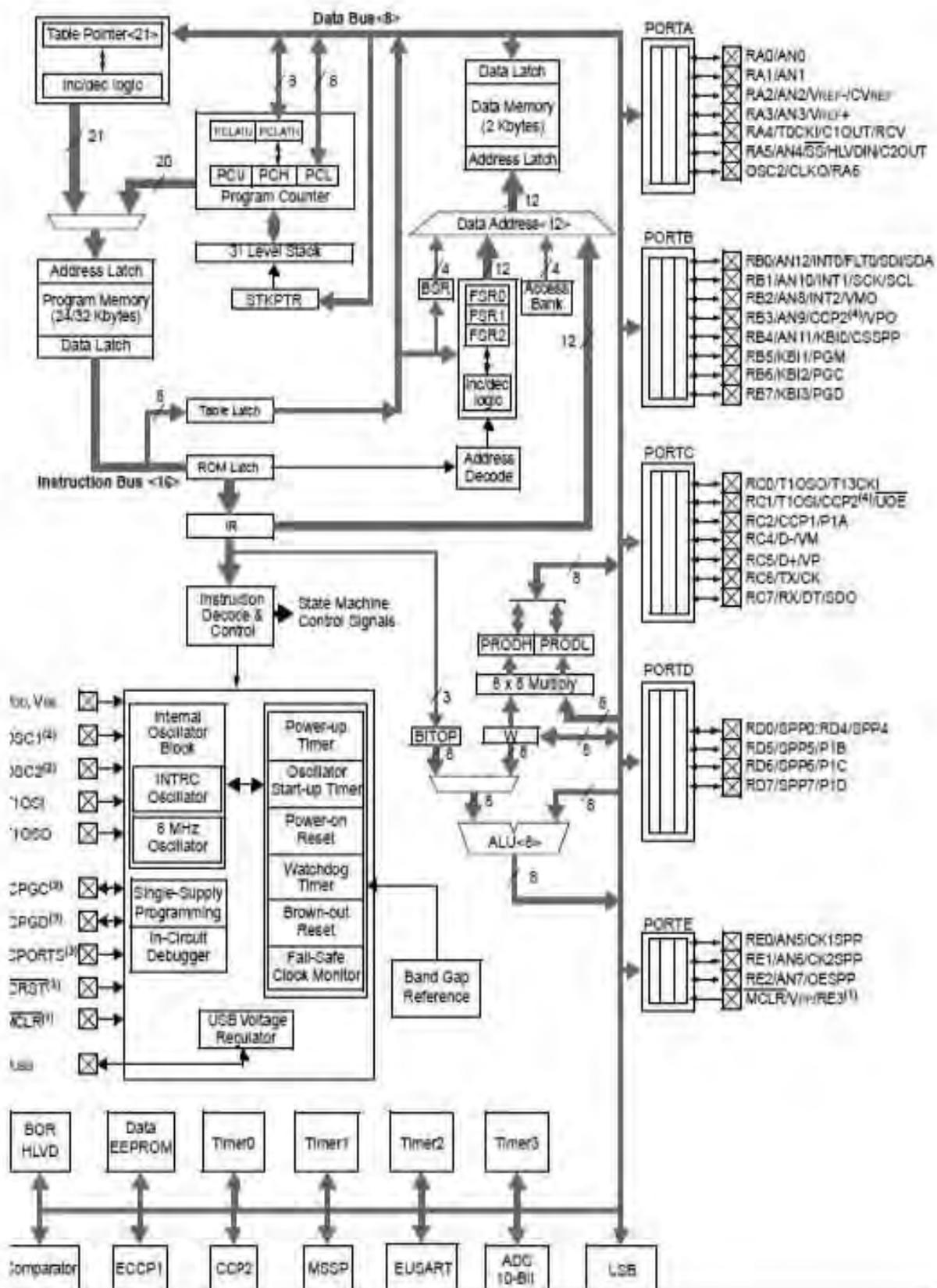
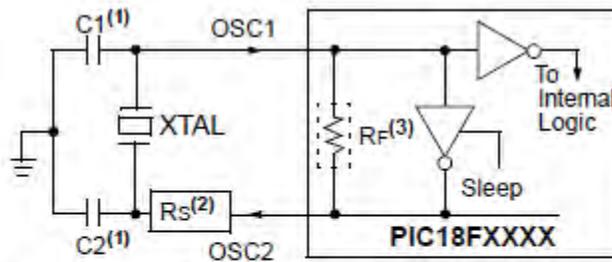


Figura 3.16. Configuración interna del PIC18F4550

3.11.1. Configuración del Oscilador

En la figura 3.17 se muestra un diagrama para la configuración del cristal.



Note 1: See Table 2-1 and Table 2-2 for initial values of C1 and C2.

2: A series resistor (R_s) may be required for AT strip cut crystals.

3: R_f varies with the oscillator mode chosen.

Figura 3.17. Configuración del cristal

El resistor R_s , no es necesario, para seleccionar XTAL (cristal), C1 y C2, se siguen las recomendaciones del fabricante que se muestran en la tabla 3.

Osc Type	Crystal Freq	Typical Capacitor Values Tested:	
		C1	C2
XT	4 MHz	27 pF	27 pF
HS	4 MHz	27 pF	27 pF
	8 MHz	22 pF	22 pF
	20 MHz	15 pF	15 pF

Capacitor values are for design guidance only.
 These capacitors were tested with the crystals listed below for basic start-up and operation. **These values are not optimized.**
 Different capacitor values may be required to produce acceptable oscillator operation. The user should test the performance of the oscillator over the expected V_{DD} and temperature range for the application.
 See the notes following this table for additional information.

Crystals Used:
4 MHz
8 MHz
20 MHz

Tabla 3 Selección de capacitores para el cristal.

3.11.2. Módulo USB

En la figura 3.18, se muestra un diagrama con la configuración interna y pines usados para el módulo USB.

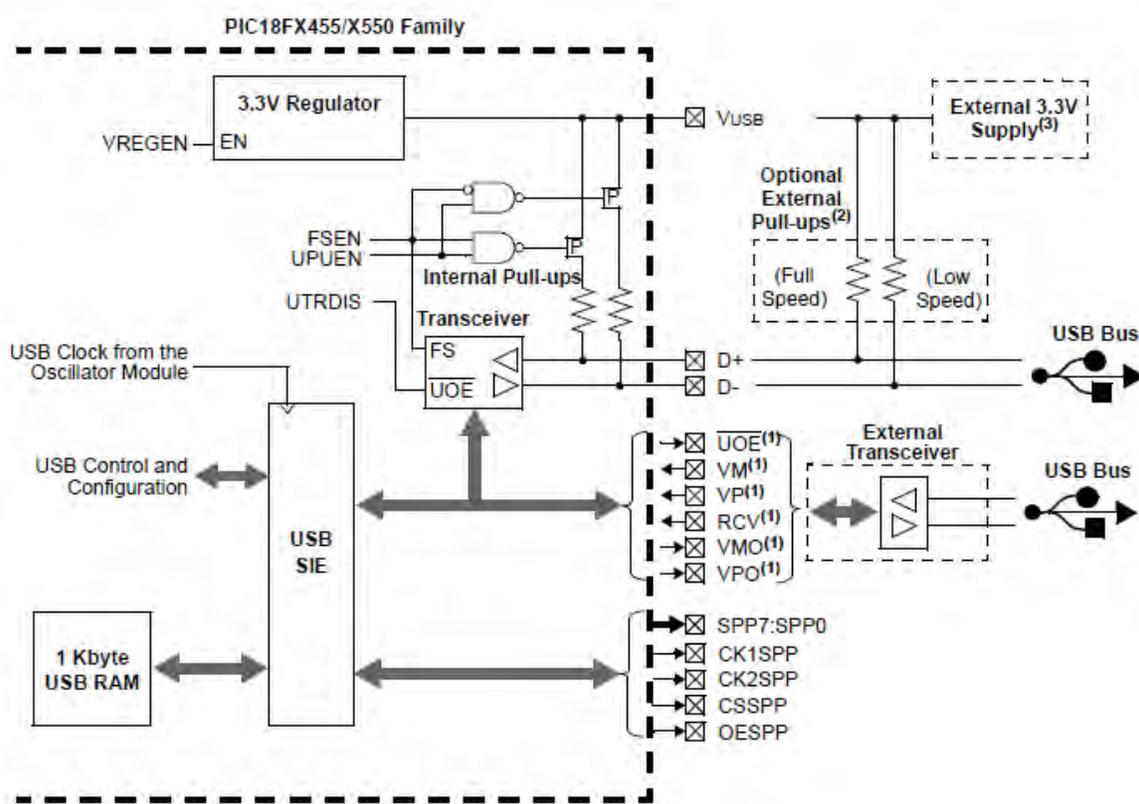


Figura 3.18. Diagrama interno del módulo USB y Pines asociados

Para este proyecto solo se usan los pines Vusb, D+, D-. Para que funcione este módulo se necesita conectar un capacitor de 470nf al pin Vusb.

3.11.3. Módulo ADC.

En la figura 3.19 se muestra el diagrama interno y sus respectivos nombres de los pines del módulo ADC.

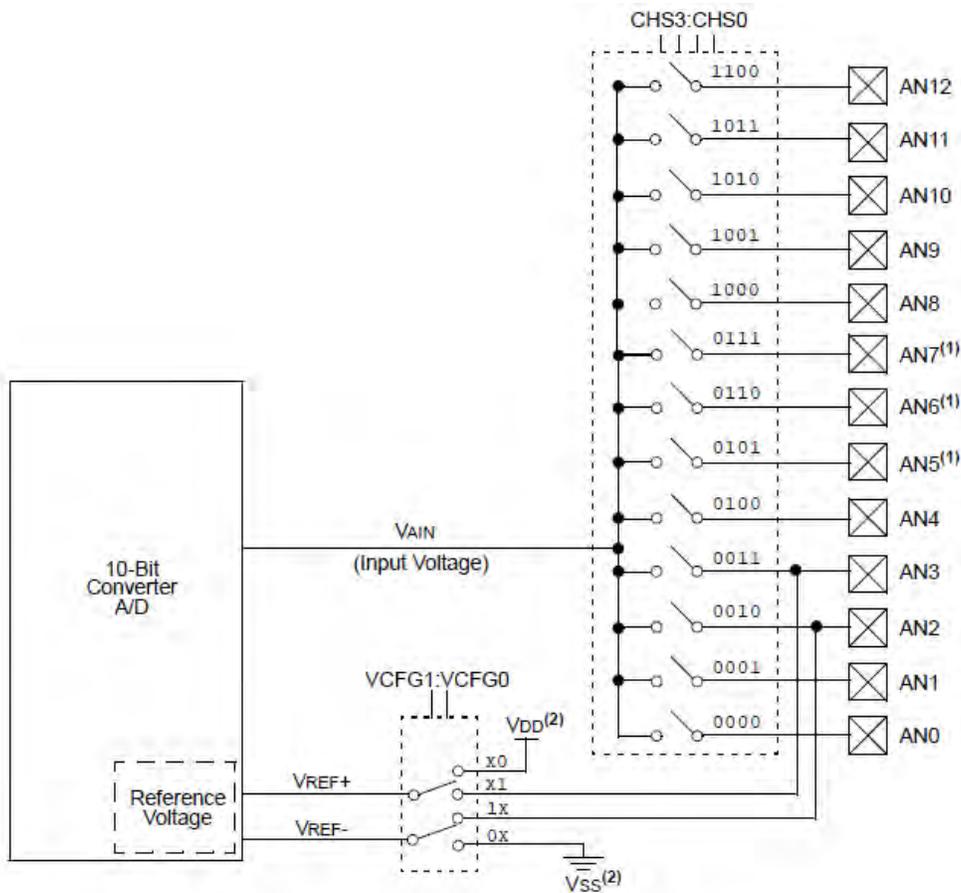


Figura 3.19 Diagrama interno y pines del módulo ADC

3.12. Adquisición de datos.

La adquisición de datos o adquisición de señales, consiste en la toma de muestras del mundo real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador u otras electrónicas (sistema digital). Consiste, en tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora. Se requiere una etapa de acondicionamiento, que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital. El elemento que hace dicha transformación es el módulo de digitalización o tarjeta de Adquisición de Datos.

3.12.1. Definiciones.

Dato: Representación simbólica (numérica, alfabética...), atributo o característica de un valor. No tiene sentido en sí mismo, pero convenientemente tratado (procesado) se puede utilizar en la relación de cálculos o toma de decisiones.

Adquisición: Recogida de un conjunto de variables físicas, conversión en voltaje y digitalización de manera que se puedan procesar en un ordenador.

Sistema: Conjunto organizado de dispositivos que interactúan entre sí ofreciendo prestaciones más completas y de más alto nivel. Una vez que las señales eléctricas se transformaron en digitales, se envían a través del bus de datos a la memoria del PC.

Bit de resolución: Número de bits que el convertidor analógico a digital (ADC) utiliza para representar una señal.

Rango: Valores máximo y mínimo entre los que el sensor, instrumento o dispositivo funcionan bajo unas especificaciones.

Teorema de Nyquist: Al muestrear una señal, la frecuencia de muestreo debe ser mayor que dos veces el ancho de banda de la señal de entrada, para poder reconstruir la señal original de forma exacta a partir de sus muestras.

Los datos analógicos son adquiridos a forma digital para cualquiera de los siguientes propósitos:

- Almacenamiento
- Transmisión
- Procesamiento
- Despliegue

Los datos en forma digital pueden almacenarse ya sea en forma discreta o procesada; pueden ser retenidos por periodos cortos, medianos o largos. Pueden transmitirse a través de grandes distancias o cortas. Los datos pueden ser impresos o plotter para una copia permanente o pueden desplegarse sobre un panel digital, pueden desplegarse en forma de conversación u otros sonidos o cualquier otra forma que estimule los sentidos humanos.

El procesamiento puede ser tan simple como una comparación o bien ser un conjunto de manipulaciones matemáticas complicadas. Puede usarse para propósitos de tales como recolectar información, convertir los datos a una forma útil, usar los datos para controlar un proceso físico, desarrollar cálculos repetidos con el fin de descubrir señales encubiertas en ruido, generación para displays, etc.

El instrumental básico para llevar a cabo esta tarea es el ADC. Este puede ser un chip de circuito integrado o un dispositivo sofisticado de alta resolución y de alta velocidad; este físicamente puede tener forma de una caja, una tarjeta, o un circuito integrado. Este puede estar separado o funcionalmente integrado a otros elementos como es el caso del pic18f4550.

El sistema mínimo que se necesita para diseñar tarjeta de adquisición de datos son: Atenuación y acondicionamiento de la señal, un convertidor analógico digital, dispositivo de almacenamiento y un sistema de despliegue de datos.

- Atenuadores y amplificadores: Para acomodar el voltaje de entrada a la relación de conversión específica, alguna forma de escalamiento y de acondicionamiento de la señal puede ser necesaria, realizada con un amplificador/atenuador.
- Acondicionamiento de la señal: Las salidas de los transductores deben de acondicionarse para proveer señales apropiadas para los sistemas ADC. Los accesorios de acondicionamiento de la señal amplifican las señales de bajo nivel y las filtran para producir señales de alto nivel para los sistemas de adquisición de señales.

- Convertidor analógico digital: Como se mencionó, para la tarjeta de adquisición de datos, se usa el modulo del pic 18f4550.
- Almacenamiento de datos: Se necesita un dispositivo para guardar los datos requeridos, con la finalidad de procesarlos, analizarlos, etc. En este proyecto se usa una computadora personal por la elevada capacidad de almacenamiento.
- Despliegue de datos: Es la interpretación y visualización de los valores, que provienen de la adquisición de señales y la conversión analógica digital.

3.12.2. Factores clave.

La adquisición de datos depende de un gran número de consideraciones críticas entre las cuales destacan:

- Resolución y precisión
- El número de canales analógicos que serán monitoreados
- Taza de muestreo del canal
- Requerimientos de acondicionamiento de la señal
- El costo de funcionamiento

Más que la selección de los niveles apropiados de desempeño de los componentes, el análisis cuidadoso de los factores antes mencionados, son necesarios para obtener la configuración del circuito de más bajo costo para obtener un desempeño global deseado.

3.13. Sistemas de conversión de un solo canal.

La figura 3.20, representa el sistema de digitalización más simple, un solo convertidor A/D llevando acabo conversiones repetitivas a una tasa determinada por el tiempo que tarda una conversión completa. Este tiene una entrada de señal analógica así como entradas de alimentación. Sus salidas son en palabras de código digital.

Los convertidores diseñados para aplicación de sistemas generalmente pueden recibir comandos externos para convertir o retener esa conversión. Para señales de baja frecuencia o de DC, el convertidor es generalmente de tipo pendiente dual.

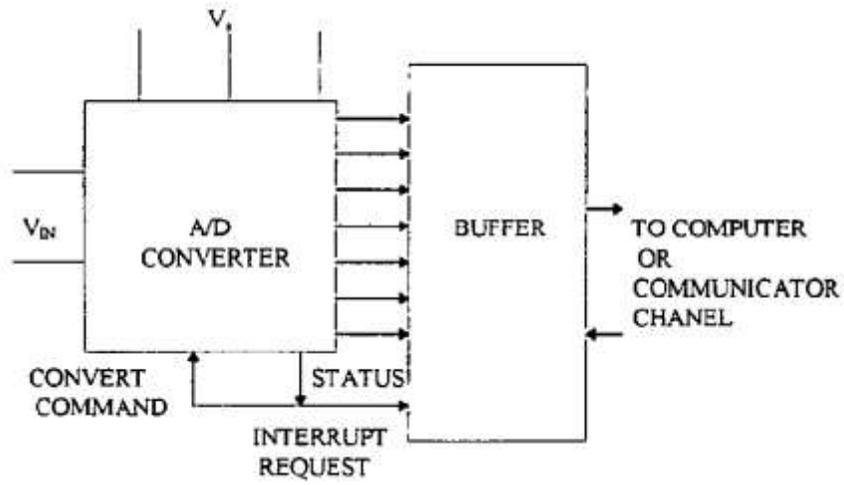


Figura 3.20. sistema de digitalización simple

En el capítulo 5, se crea una tarjeta de adquisición de datos con todos los dispositivos y aplicando teorías y leyes antes estudiadas.

Capitulo Cuarto.

LABVIEW NOCIONES BASICAS



4. Introducción.

El software Labview, proporcionado por National Instruments, es un entorno de programación grafica usado para desarrollar instrumentos de medición, de prueba y de control. Es una herramienta que contiene amplio campo de aplicación ya que con esta se puede lograr cualquier objetivo de control aplicado al área de electrónica.

4.1. Descripción del Software.

LabVIEW es el acronimo de *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*. Similar a los sistemas de desarrollo comerciales que utilizan el *lenguaje C* o *BASIC*. Sin embargo, LabVIEW se diferencia de dichos programas que se basan en líneas de texto para crear el código fuente del programa, mientras que LabVIEW usa la programación gráfica o *lenguaje G* para crear programas basados en diagramas de bloques.

Este proyecto se creó con una versión gratuita de 30 días del software distribuido por National Instruments Labview 2009, todas sus herramientas y funciones especiales estarán disponibles durante este periodo de prueba. Se necesita instalar completamente el software incluyendo todos los Kits de herramientas (Toolkid), sobre todo Report Generation Toolkit for Microsoft Office y Real Time Module.

Este proyecto se creó con fines de experimentación, **sin el objetivo de lucrar con el mismo**. La fuente de información para realizar la programación con este software fue obtenida de las asesorías en línea directamente del portal Web foro de NI (National Instruments) para Labview, así como también de los ejemplos y explicaciones que se incluyen en el menú ayuda del mismo software.

A continuación abordaremos con un poco de historia el tema de cómo se llegó a este lenguaje de programación.

4.2. Lenguaje G

En 1950 IBM creó una alternativa más práctica a la programación de la enorme computadora central IBM 704 en lenguaje ensamblador de bajo nivel, el más moderno idioma disponible en ese momento. El resultado fue FORTRAN, un lenguaje de programación más legible, cuyo propósito era acelerar el proceso de desarrollo.

Se demostró que FORTRAN generó programas corrió casi tan eficiente como los escritos en lenguaje ensamblador. Al mismo tiempo, reduce el número de instrucciones de programación necesarias en un programa por un factor de 20%, por lo que fue el primer lenguaje que se considera de alto nivel.

Durante mucho tiempo los Ingenieros han buscado una manera más rápida y fácil de programar computadoras. Es por esa razón, la tendencia hacia G desde su creación en 1986, representa un lenguaje de programación muy alto nivel, cuya finalidad es aumentar la productividad de sus usuarios durante la ejecución de casi a la misma velocidad que en niveles inferiores idiomas como el FORTRAN, C y C ++.

4.3. Ventajas de Labview sobre otros sistemas.

Las ventajas que proporciona el empleo de LabVIEW se resumen en las siguientes:

- Se reduce el tiempo de desarrollo de las aplicaciones al menos de 4 a 10 veces, ya que es muy intuitivo y fácil de aprender.

- Dota de gran flexibilidad al sistema, permitiendo cambios y actualizaciones tanto del hardware como del software.
- Da la posibilidad a los usuarios de crear soluciones completas y complejas.
- Con un único sistema de desarrollo se integran las funciones de adquisición, análisis y presentación de datos.
- El sistema está dotado de un compilador gráfico para lograr la máxima velocidad de ejecución posible.
- Tiene la posibilidad de incorporar aplicaciones escritas en otros lenguajes.

Para el empleo de LabVIEW no se requiere gran experiencia en programación, ya que se emplean iconos o botones, términos e ideas familiares a científicos e ingenieros, y se apoya sobre símbolos gráficos en lugar de lenguaje escrito para construir las aplicaciones. LabVIEW posee extensas librerías de funciones y subrutinas. Además de las funciones básicas de todo lenguaje de programación, LabVIEW incluye librerías específicas para la adquisición de datos, control de instrumentación VXI, GPIB y comunicación serie, análisis presentación y guardado de datos.

LabVIEW también proporciona potentes herramientas que facilitan la depuración de los programas.

4.4. Entorno de programación.

Como originalmente estaba orientado a aplicaciones de control de instrumentos electrónicos usadas en el desarrollo de sistemas de instrumentación, lo que se conoce como instrumentación virtual. Por esa razón los programas creados en esta aplicación se guardan o nombran VI y con la misma extensión, que significa instrumento virtual.

Sus dos ventanas principales se llaman panel frontal y diagrama a bloques; en la primera estarán los botones, pantallas, etc. En la segunda la circuitería y los bloques correspondientes en lenguaje G. En la figura 4.1 se ilustran estas dos pantallas.

El panel frontal y el diagrama a bloques están conectados mediante terminales (entradas o salidas de datos).

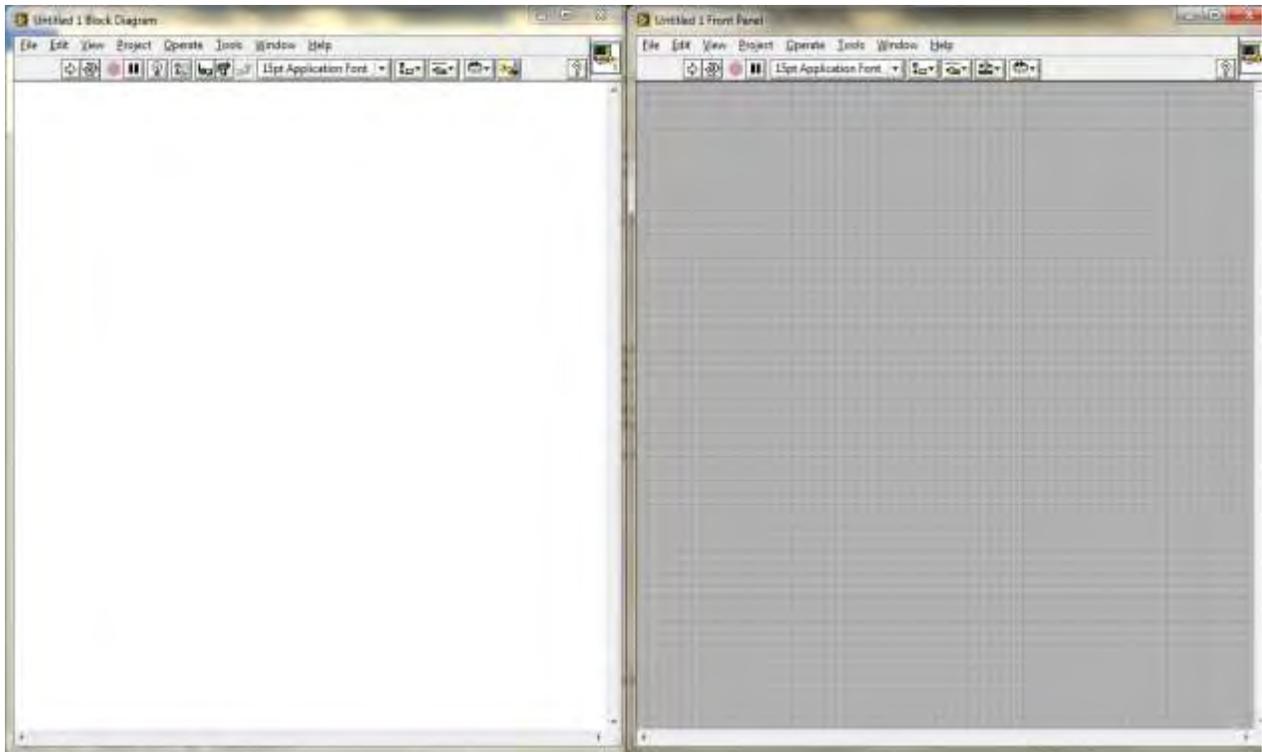


Figura 4.1. Diagrama a bloques y panel frontal respectivamente

En la parte superior de estas ventanas se sitúan un primer grupo de herramientas como el mostrado en la figura 4.2. En el diagrama a bloques se observan más.



Figura 4.2. Herramientas de ejecución del programa

Este grupo sirve para controlar la ejecución de un programa en Labview. El primer botón indica si existen errores en el programa, de no existir, ejecutara una vez el programa. El segundo botón sirve para ejecutar el programa en modo bucle o continuo. El tercer botón detiene o aborta la ejecución del mismo y el cuarto botón permite realizar una pausa.

El segundo grupo, ver figura 4.3 es utilizado para la depuración del programa.



Figura 4.3. Herramientas de depuración

La primera herramienta de este grupo es: **ejecución destacada (highlight execution)**, permite ver el flujo de ejecución del programa. La siguiente es **valores de los alambres retenidos (retain wire values)**. Se utiliza junto con el **probador (probe)**, muestra un dato anterior. Los tres siguientes se usan para ejecutar el programa paso a paso.

El menú desplegable mostrado en la figura 4.4 sirve para cambiar la forma y tamaño de la letra.



Figura 4.4 Menú para formatear fuente

El siguiente grupo (ver figura 4.5) sirve para alinear, distribuir, controlar el tamaño, agrupar t ordenar objetos.



Figura 4.5. Herramientas de control de objetos

Una de las herramientas fundamentales para lograr el aprendizaje de LabVIEW es el botón de ayuda figura 4.6, en él se encetra la descripción, funcionamiento y ejemplos de cada icono encontrado en las paletas. Con este botón también se lograr corregir la mayoría de los errores al momento de depurar un VI.



Figura 4.6 Botón de ayuda

Para colocar funciones en el diagrama de bloques y terminales en el panel frontal se tienen las paletas o menús flotantes, llamadas paletas de funciones y de controles respectivamente. Estas paletas aparecen haciendo clic con el botón derecho del mouse en una zona vacía de la pantalla, en la figura 4.7 se muestran estas paletas.

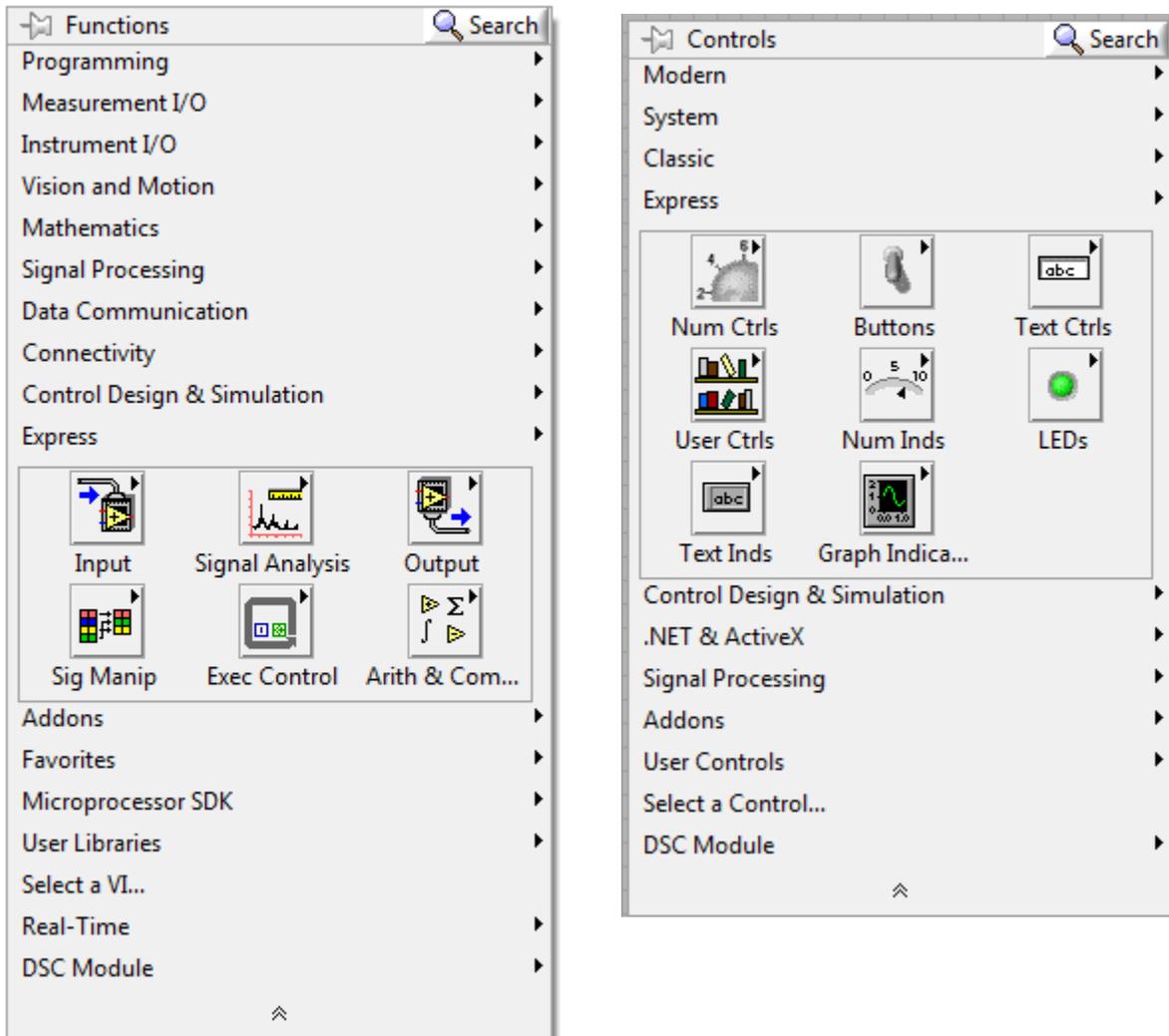


Figura 4.7 Paleta de funciones y controles correspondientemente

4.4.1. Controles.

Los terminales se dividen en controles e indicadores. Los controles son las entradas de datos y los indicadores las salidas de los mismos. Comúnmente se les nombra controles englobando a los indicadores y a los controles mismos. Están clasificados en varios grupos:

- Modernos (Modern)
- Sistema (System)
- Clásicos (Classic)
- Rápidos (Express)

Dentro de cada submenú hay otros menús que clasifican los controles por el tipo de dato. En el submenú modern corresponden a tipos de dato numérico, booleano, textos y tipos compuestos. En la figura 4.8 se observan estos controles.

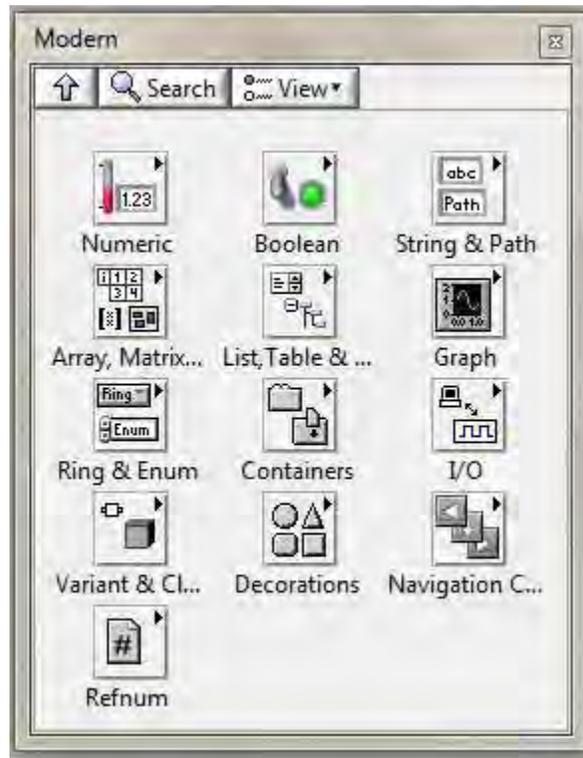


Figura 4.8. Submenú Modern

Para usar los controles hay que usar el terminal deseado y llevarlo algún lugar del panel frontal.

Los indicadores para graficas son sin duda la principal aplicación para la que fue diseñado este software por lo que existen diferentes tipos, dos de ellos son **grafica de forma de onda y trazo de forma de onda (Waveform graph y waveform chart)**, la principal distinción entre estos dos es que el primero dibuja íntegramente toda la gráfica al recibir nuevos datos y el segundo anexa los datos a la gráfica ya existente. Se puede decir que Waveform chart tiene memoria y el otro no.

Un aspecto fundamental para la buena programación es el uso de **etiquetas o Labels** para cada control o indicador que se use. Si es necesario en el panel frontal se puede usar **título y leyenda (Caption y tip)** para una mayor descripción.

Cabe mencionar que cada control o indicador contiene varias opciones dependiendo de la aplicación para el que se usara. Este se acceda dando click derecho al control o indicador usado en el panel frontal.

4.4.2. Funciones.

Esta paleta se muestra al trabajar sobre el Diagrama de bloques, en ella se puede acceder a las diferentes funciones, subsVIs y estructuras disponibles.

También hay varios submenús que se dividen dependiendo de la aplicación. La principal y más usada es la **estructuras de programación (Programming Structures)**. Contiene elementos que

corresponden a otros lenguajes de programación como las estructuras de C: CASE, WHILE, FOR, etc. En la figura 4.9 se muestra la paleta de funciones.



Figura 4.9. Paleta de funciones

Los demás menús y submenús de Programaing se deciden según el tipo de datos. Están los datos numéricos, booleanos y texto (string), además componentes como grupos (clusters) y arreglos (arrays). Cada uno de estos tiene funciones para trabajar con esos datos.

Los datos numéricos se dividen en enteros y flotantes, dentro de cada uno de ellos puede haber distintos tamaños. Los booleanos solo pueden tener dos valores: verdadero (true) o falso (false).

Los datos compuestos, están formados por otros datos, estos pueden ser por ejemplo arreglos de números o arrays de booleanos. Los arreglos son listas ordenadas de valores, mientras que los grupos son un conjunto desordenado de otros datos. Para indicar el tipo de dato basta con arrastrar el tipo de dato hacia el interior del arreglo o del grupo. En la figura 4.10 se visualizan estas funciones.

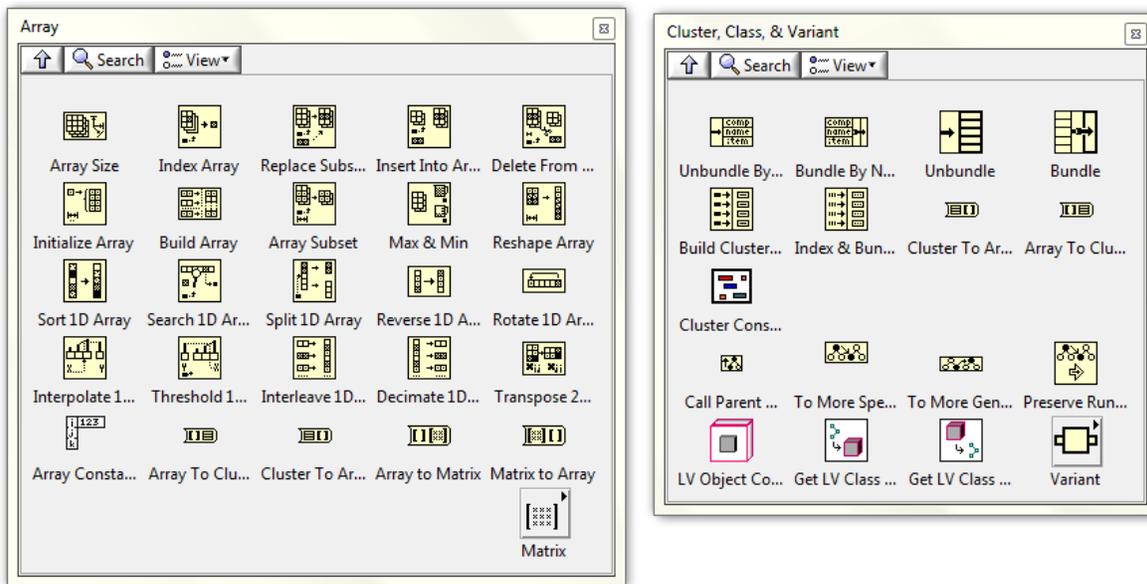


Figura 4.10 Funciones de Arreglos y Grupos.

La diferencia entre una función y un VI es que las funciones son objetos con una funcionalidad fija y sin panel frontal mientras que Vis son programas hechos en LabVIEW por National Instruments que si tienen panel frontal y se puede acceder a él haciendo doble clic sobre el VI.

Las funciones y los Vis operan sobre una o varias entradas y proporcionaran de igual forma una o más salidas. A las entradas se le conecta un dato del tipo requerido que puede provenir de un control, constante o salida de otro VI o función y a su salida se podrá conectar un indicador o una entrada de algún VI o función. En la figura 4.11 se ejemplifica la conexión de dos operaciones numéricas siendo el indicador la gráfica.

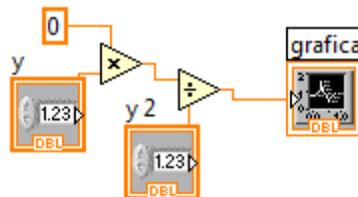


Figura 4.11 ejemplo de conexión.

4.5. Creación de programas.

En LabVIEW la programación se hace en el diagrama de bloques. Está formado por:

1. Controles; entrada para los datos.
2. Funciones, Vis y estructuras; realizan operaciones con los datos.
3. Indicadores; salida de los datos.

Los datos fluyen por el programa mediante cables; para realizar la conexión entre ellos basta con posicionar el puntero de mouse en la terminal del elemento y dar un clic, en este momento aparece un cable y se arrastra el puntero hacia la terminal de otro elemento finalizando con otro clic. Un

cable tendrá una única fuente y uno o varios destinos de tipos compatibles. Un buen hábito de programación radica en que el cableado debe de ser lo más corto posible.

4.5.1. VI y subVI.

Los archivos con los programas creados en LabVIEW se llaman VIs. Un VI puede contener a otro de forma que el segundo sería un subVI del primero.

Se puede crear un icono que represente al VI cuando se coloca en el diagrama de bloques de otro VI, para mayor información consulte el botón Help.

4.5.2. Depuración del Código.

Depurar es el proceso de encontrar y corregir errores en el programa. Labview dispone de varias herramientas para ayudar al programador en esta tarea.

La detección de errores de sintaxis del lenguaje es automático y consiste en impedir la ejecución del VI que contiene el error, para ello el botón **RUN** se sustituye por **lista de errores (List errors)** y se cambia el icono de la barra de herramientas por uno que simboliza una flecha rota, como el mostrado en la figura 4.12.



Figura 4.12. Botón Lista de Errores

Al presionar este botón aparece una **lista de los errores y advertencias (warnings)** del programa. Al seleccionar un error aparece una descripción en la parte inferior, y haciendo doble click o presionando el botón show error se traslada el foco del programa a la parte donde se ha producido el fallo.

4.5.3. Opciones.

Se puede acceder a las opciones de configuración de LabVIEW a través de Tools>Options. En esta ventana se pueden modificar parámetros del programa como:

- Caminos (Paths): Rutas del directorio de instalación de LabVIEW, el directorio temporal, etc.
- Panel Frontal (Front Panel): Opciones relacionadas con el panel frontal y los controles.
- Diagrama a Bloques (Block Diagram): Manejo automático de errores y otras ayudas al programador.
- Aligment Grid: Configurar alineamiento a las rejillas.
- Paletas Controles/ Funciones (Controls/Fuctions Palettes): formas de presentar las paletas de controles y funciones
- Fuente de control (Source Control): selección del servicio de versiones y configuración.
- Depuración (Debugging): opciones para depurar opciones
- Colores (Colors): cambia el color de varios elementos de LabVIEW.
- Fuente (Fonts): define las fuentes de aplicación, dialogo y sistema.
- Impresión (Printing): Opciones al momento de la impresión.
- Historia de Revision (Revision History): permite guardar información cada vez que se guarda un VI.
- Menú Atajos (Shortcuts): modifica y crea atajos de teclado para las opciones de los menús.
- Environment: opciones de configuración misceláneas.
- Seguridad (Security): permite restringir el acceso a LabVIEW.

- Motor de variable compartida (Shared variable Engine): ordenadores que ofrecen servicios para manejar variables compartidas.
- Servidor VI (VI server): configuración del servidor web que incorpora LabVIEW.

4.6. Ventana de navegación.

Es otra ventana flotante que permite ver toda la ventana activa de LabVIEW mediante un zoom automático. Se puede acceder a ella desde View>Navigation Window y puede ser útil cuando el diagrama de bloques tiene un tamaño superior a la pantalla.

4.7. Ejemplos.

Como ya se mencionó con anterioridad LabVIEW es una herramienta con propósitos autodidactas para el programador, se puede acceder al soporte tanto en línea como en el mismo programa. Dentro de la ayuda de LabVIEW, también dispone documentos explicando detalladamente cada aspecto del programa.

La colección de ejemplos se puede acceder desde HELP>Find Examples.

4.8. Estructuras.

En las estructuras en LabVIEW permiten a un programa ejecutar un código de forma condicional, bucle o repetirlo cierto número de veces. El submenú **Estructuras (structures)** se muestra en la figura 4.13, se encuentra en el menú programming > structures.

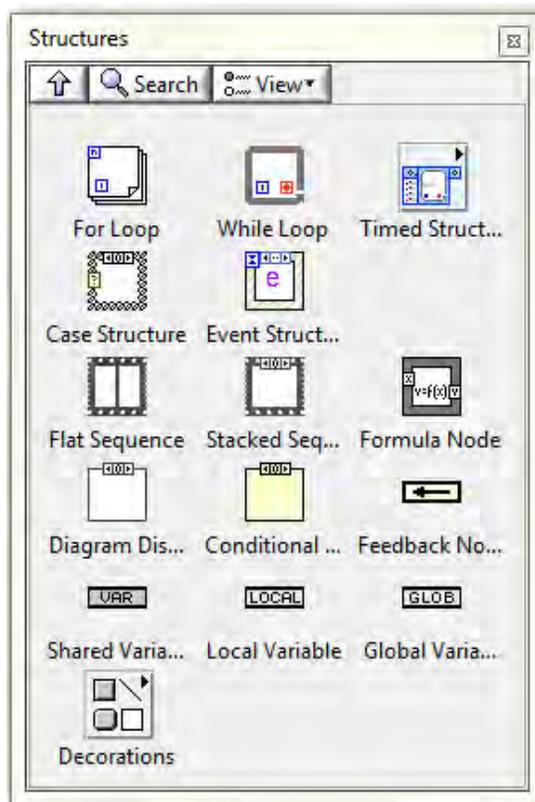


Figura 4.13. Submenú estructuras.

4.8.1. Estructura Repetitiva “Mientras Que” (WHILE LOOP).

Es un bucle que repetirá el código de su interior hasta que se cumpla una condición. En la figura 4.14 puede verse el aspecto de ese bucle.

- Terminal de iteración es el cuadro con el símbolo “i”. el valor de este terminal es un número entero que aumentara en una unidad por cada interacción del bucle, empezando desde cero.
- La condición de stop es el terminal de la esquina inferior derecha. Se le puede conectar un valor booleano, o un cluster de error.

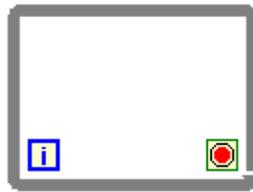


Figura 4.14. Estructura “Mientras que”.

También se le puede conectar un icono llamado **agregar registro de desplazamiento (Add Shift Register)**, el cual aparece al hacer clic derecho con el mouse en el borde izquierdo o derecho de la estructura “mientras que”. Esta herramienta añade dos terminales a cada lado de la estructura, estos sirven para transferir un valor desde una interacción del bucle a la siguiente. La figura 4.15 muestra el uso de un **registro de desplazamiento**.

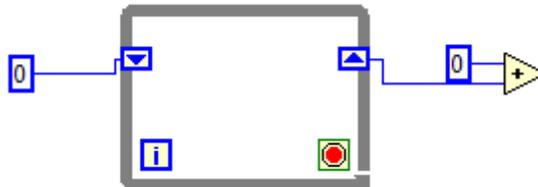


Figura 4.15 Registro de desplazamiento en una estructura “mientras que”.

4.8.2. Estructura repetitiva “Para” (For Loop).

También repite el código de su interior un número de veces, este número es fijado y no puede cambiarse una vez que empiece a ejecutarse. Puede apreciarse esta estructura en la figura 4.16. Consta de dos terminales numéricos:

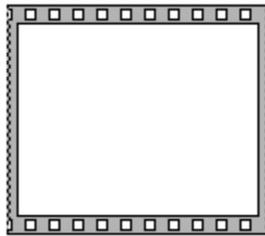
- Terminal de iteración es el cuadro con el símbolo “i”. el valor de este terminal es un número entero que aumentara en una unidad por cada interacción del bucle, empezando desde cero.
- El terminal de cuenta esta colocado en la esquina superior izquierda de la estructura simbolizada con “N”. en él se conectara un valor numérico que será el que fije el número de repeticiones del bucle.



En la figura 4.16. Se muestra la estructura “Para”.

4.8.3. Estructura “Secuencia de apilamiento” (Stacked Sequence Structure).

Consta de uno o más subdiagramas que se ejecutan de forma secuencial. Se hace clic derecho en el borde de la estructura para agregar o eliminar las secuencias. Se utiliza esta secuencia para ejecutar antes o después otro subdiagrama. En la figura 4.17 se ilustra esta estructura.



En la figura 4.17 Stacked Sequence Structure.

4.9. Tipos de datos.

Cuando se habla de tipo de datos se hace referencia a si son numéricos, cadenas de caracteres, booleanos, etc. El tipo de dato se representa en el diagrama de bloques por el color del terminal y del cable.

4.9.1. Booleano (boolean).

Como se mencionó con anterioridad estos datos solo pueden tener dos valores: verdadero o falso.

Cada dato booleano se almacena en memoria en un bite completo, si este bite tiene todos sus bites a cero, el dato tendrá el valor de falso y cualquier otro valor de bite arar que el dato pase a verdadero, para la finalidad de este proyecto estos datos se usan como interruptores o swich (ver figura 4.18.)



Figura 4.18. Dato booleano.

4.9.2. Numérico.

Se puede trabajar con números enteros, números racionales y complejos. Los primeros tienen asociado el color azul y puede elegirse su tamaño (8, 16, 32 o 64 bits), si se emplea un bit de signo y su representación (binario, Octal, decimal, hexadecimal).

En la figura 4.19. Pueden verse dos constantes, el símbolo que aparece a su izquierda es su representación, así como también sus respectivos indicadores.



Figura 4.19. Dato numérico

Los números racionales y complejos tienen asociado el color naranja, el tamaño es de 32 bits para los de precisión simple, 64 bits para los de doble precisión y el tamaño de los extendidos depende de la plataforma: 80 bits para Windows y Linux y 64 para macOS. Las conversiones entre tipos de datos numéricos suelen ser automáticas, representado por un punto de color rojo justo donde el cable se conecta al indicador.

Otro tipo de dato es el **tiempo** (time stamp) que es un conjunto de cuatro enteros los dos primeros indican el número de segundos desde la 1:00:00 del 01 de enero de 1940 y los otros dos las fracciones de segundo.

4.9.3. Cadena de caracteres (Strings).

Son cadenas de caracteres, se asocian con el color rosa, pueden ser leyendas o datos que se requieran para visualizar en pantalla después de algún proceso. En la figura 4.20 se muestra un dato del tipo strings.

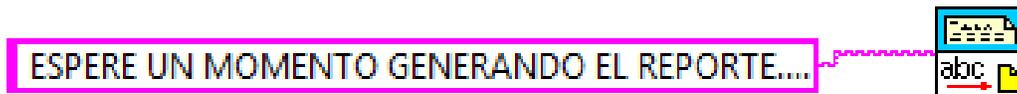


Figura 4.20. Dato tipo Cadena de caracteres

4.9.4. Generación de Reportes (Report Generation).

Los reportes son informes que pueden generarse con Labview, pueden ser guardados como ficheros HTML o enviados directamente a una impresora.

Su utilización consiste en abrir una referencia al informe e ir construyéndolo poco a poco. Para construirlo se añaden nuevos componentes, estos pueden ser textos, imágenes externas, graficas, imágenes de controles o indicadores, etc. En la figura 4.21 se muestra la paleta de Vis para generar reportes.

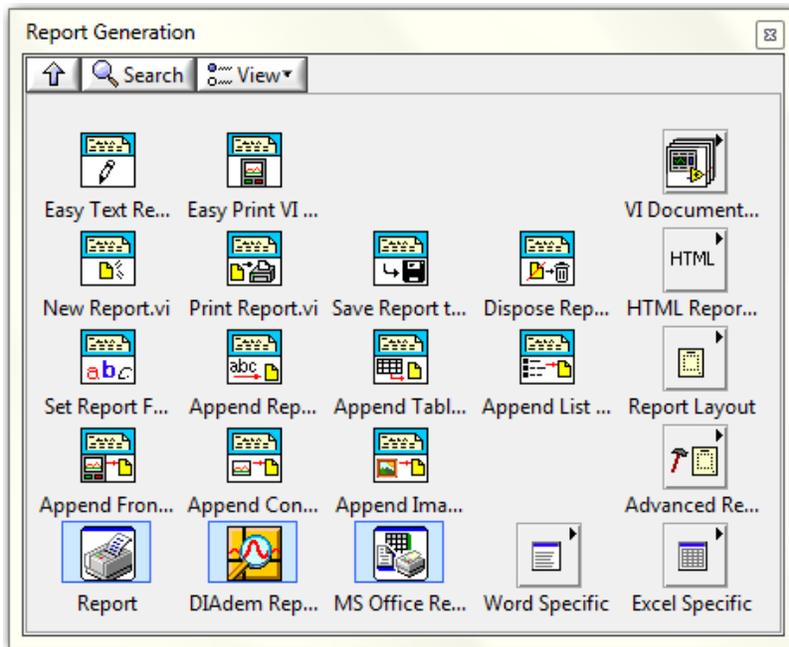


Figura 4.21 Paleta de Generación de Reportes

Existe otra paleta con VIs más avanzados, destinados fundamentalmente a programas de Microsoft Office como Word y Excel. Estos se encuentran en un módulo especial llamado Herramientas de Generación de Reportes de Office (Office Report Generation Toolkid). En la figura 4.22 se muestra un ejemplo de esta VI.



Figura 4.22 VI Herramientas de Generación de Reportes de Office

Al hacer clic sobre el icono de Herramientas de Generación de Reportes de Office aparece una ventana en la que se configura los parámetros de salida de datos, destino del archivo a guardar, programa de office a utilizar, etc.

4.10. Comunicación Serie.

Las comunicaciones que se pueden establecer con los dispositivos pueden clasificarse de acuerdo a muchos parámetros, desde el punto de vista de la forma de transmisión se tiene la comunicación serie (RS-232, USB o FireWire) o comunicación paralela (GPIB, VXI o PXI).

Por la finalidad de este proyecto se estudia la comunicación serie. Los sistemas serie transmiten a mayor distancia, menor costo y más sencillos en cuanto a realización del hardware necesario. Suelen ser comunicaciones punto a punto.

Como ya se estudió, son transmisiones asíncronas por lo que se delimitan los datos, para esto indican en principio un bit de inicio y el final con un bit de parada o alto; se puede además incluir bits de comprobación de errores.

Una trama son todos los bits transmitidos, desde el inicio hasta el alto. Las características de la trama son:

- La velocidad medida en Baudios. El baudio (en inglés *baud*) es una unidad de medida, usada en telecomunicaciones, que representa la cantidad de veces que cambia el estado de una señal en un periodo de tiempo, tanto para señales digitales como para señales analógicas.
- El número de bits de datos. En este caso serán 8 bits a transmitir.
- El tipo de paridad. Puede ser par o impar, esta es la manera más rápida para la detección de errores.

La paleta para el puerto serie en LabVIEW ver figura 4. 23.



Figura 4.23 Paleta de Herramientas para comunicación Serie

Se puede tener acceso a esta paleta mediante el submenú Instrument I/O>>Serial.

A continuación se describe cada uno de los VIs usados en este proyecto divididos en módulos.

4.11. Descripción de los VIs.

La programación en lenguaje G para la tarjeta de adquisición de datos se divide en 4 módulos:

1. Configuración y conexión serie.
2. Captura, procesamiento y visualización de datos.
3. Implementación del Tiempo.
4. Generación del reporte.

4.11.1. Configuración y conexión serie.

Para comenzar todo se hace dentro de un ciclo “mientras que” (while loop), debido a que la lectura y transmisión de datos se hace de forma continua, los principales VIs que se usan para la configuración, lectura y transmisión de datos de forma serial son los mostrados en la figura 4.24.

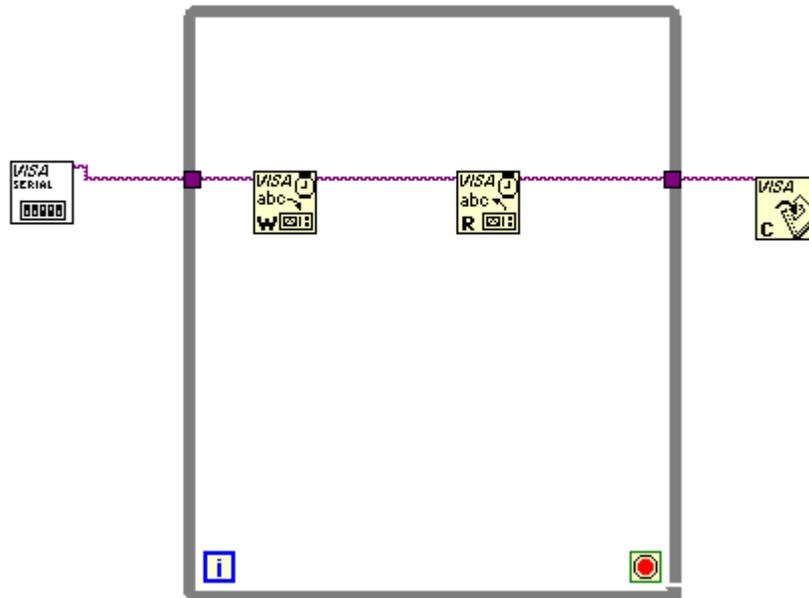


Figura 4.24 Ciclo Para Comunicación Serial

4.11.2 VI Configuración del Puerto Serie VISA (VISA Configure Serial Port VI).

Este VI Inicializa el puerto serie especificado por nombre de recurso VISA con la configuración especificada. Aquí se selecciona el número de puerto serie a leer, el número de bits de transmisión, etc. Ver figura 4.25. Por ejemplo si la PC utilizada tiene más de un puerto serie.

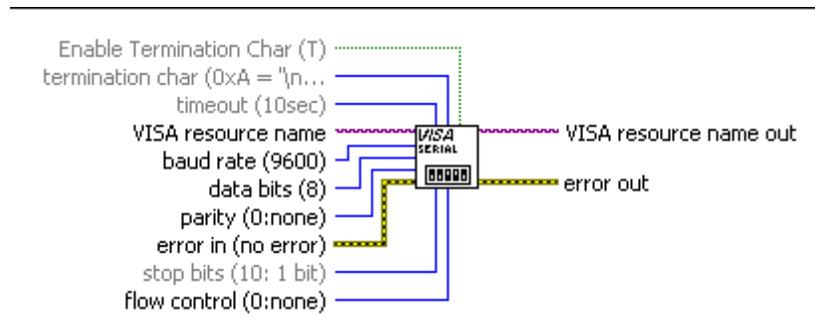


Figura 4.25. Instrumento Virtual de configuración Puerto Serie VISA

- **Habilitador de Terminación de caracteres (Enable Termination Char):** prepara el dispositivo serie a reconocer la terminación de caracteres (char). Si es verdadero (TRUE por defecto), está configurado para reconocer el carácter de terminación. Si es FALSO, el atributo está establecido en 0 y el dispositivo serie no reconoce los caracteres de terminación.
- **Terminación de caracteres (Termination char):** Llamadas para la terminación de operaciones de lectura, la operación de lectura termina cuando los caracteres de terminación se lee desde el dispositivo serie. 0xA es el equivalente hexadecimal de un carácter de nueva línea (\n).
- **Tiempo de espera (timeout):** se establece el valor de tiempo de espera, en milisegundos, para la escritura y lectura. El valor predeterminado es 10000.
- **Nombre de los recursos VISA (VISA resource name):** Especifica el recurso que debe ser abierto (puerto).
- **Tasa de baudios (baud rate):** velocidad de transmisión. El valor predeterminado es 9600.
- **Numero de bits (data bits):** es el número de bits en los datos entrantes. El valor de los bits de datos se realiza entre cinco y ocho. El valor predeterminado es 8.
- **Paridad Específica (parity specifies):** especifica la paridad utilizada para cada trama a transmitir o recibir. Esta entrada acepta los valores siguientes.
 - 0: no hay paridad, es definido por defecto.
 - 1: Paridad impar.
 - 2: Paridad par.
 - 3: Marcar paridad.
 - 4: Espacio de la paridad.
- **Entrada de error (error in):** describe las condiciones de error que ocurren antes de este nodo se ejecuta. Esta entrada proporciona el error estándar de funcionalidad.
- **Bit de parada (stop bits):** especifica el número de bits de parada que se utilizan para indicar el final de una trama, acepta las entradas siguientes.
 - 10: 1 bit de parada.
 - 15: 1.5 bits de parada.
 - 20: 2 bits de parada.
- **Control de flujo (flow control):** establece el tipo de control que utiliza el mecanismo de transferencia.
- **Nombre del recurso VISA de salida (VISA resource name out):** Devuelve las funciones de visa.

4.11.3. VI Función de Escritura VISA (VISA Write Function).

Este VI Sirve para escribir en la trama algún dato, sus terminales y diagrama se muestra en la figura 4. 26.



Figura 4.26. VI Función de Escritura VISA.

- Nombre del Recurso de VISA (VISA resource name): especifica que recurso se abre. El recurso de VISA de control también se especifica el nombre de la sesión y de clase.
- Escritura en la trama (write buffer): contiene los datos que se escriben en el dispositivo.
- Entrada de error (Error in): describe las condiciones de error que ocurren antes de este nodo se ejecuta. Esta entrada proporciona el error estándar de funcionalidad.
- Nombre del recurso de salida de VISA (VISA resource name out): es una copia del nombre del recurso VISA que devuelven las funciones.
- Recuento (Return count): contiene el número real de bytes escritos.
- Error de salida (error out): contiene información de error. Esta salida se produce el error estándar de funcionalidad.

4.11.4. VI Función de Lectura de VISA (VISA Read Function).

Este VI al contrario del anterior lee el dato del búfer. Lee el número especificado de bytes desde el dispositivo o interfaz especificada por el nombre del recurso VISA y devuelve los datos en el búfer de lectura. Sus conectores se muestran en la figura 4.27.

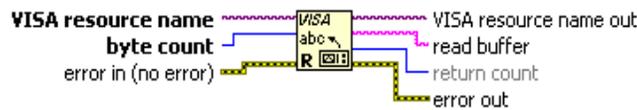


Figura 4.27. VI Función de Lectura de VISA.

- Nombre del Recurso de VISA (VISA resource name): especifica que el recurso se abre. El recurso de VISA de control también se especifica el nombre de la sesión y de clase.
- Cuenta de Bits (byte count): es el número de bytes a leer.
- Error de entrada (error in): describe las condiciones de error que ocurren antes de este nodo se ejecuta. Esta entrada proporciona el error estándar de funcionalidad.
- Nombre del Recurso de Salida de VISA (VISA resource name out): es una copia del nombre de recurso VISA que devuelve las funciones.
- Lectura del Búfer (read buffer): contiene los datos leídos desde el dispositivo.
- Recuenta (return count): contiene el número de bytes realmente leídos.
- Error de salida (Error out): contiene información de error.

4.11.5 VI Función de Cierre del Recurso VISA (VISA Close Function).

Cierra una sesión del dispositivo o un objeto de evento especificado por el nombre del recurso de VISA. Su representación y terminales se ilustran en la figura 4.28.

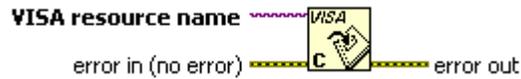


Figura 4.28. VISA Close Function

- Nombre del Recurso de VISA (VISA resource name): especifica que recurso se abre. El recurso de VISA de control también se especifica el nombre de la sesión y de clase.
- Error de entrada (error in): se describen las condiciones de error que ocurren antes de este nodo se ejecuta.
- Error de salida (error out): contiene información de error.

4.12. Captura, procesamiento y visualización de datos.

En este punto es importante señalar que existe VIs que convierte un tipo de dato a otro. Esto es importante porque LabVIEW necesita interactuar con cualquier tipo de elemento.

En este módulo Se procesan los datos recibidos de la trama-búfer, para su posterior análisis o despliegue. En la figura 4.29 se ilustran los VI usados para el procesamiento y visualización de datos en una gráfica conectados a los anteriores VIs.

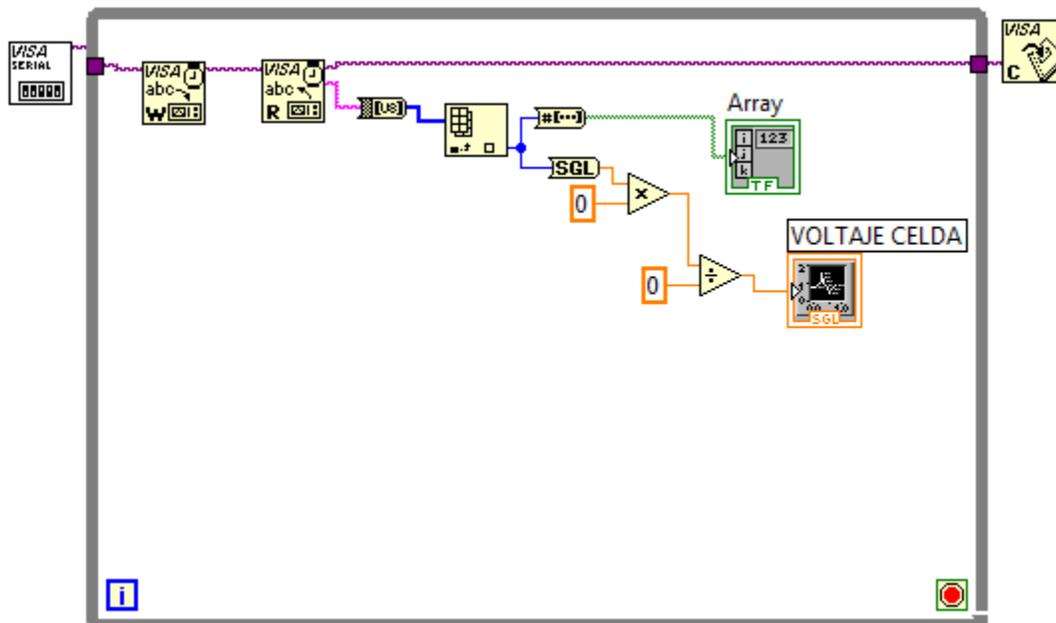


Figura 4.29. Modulo para Procesamiento y visualización de datos.

4.12.1. VI Función de convertir datos de cadena a un arreglo de Bytes (String To Byte Array Function).

Convierte una cadena de datos en un arreglo de bytes sin signo. Cada byte de la matriz tiene el valor ASCII del carácter correspondiente en la cadena. En la figura 4.30 se muestra este VI.



Figura 4.30. Convertidor de cadena a Bytes

- Cadena (string): es la cadena de entrada de la función convertir.
- Arreglo de Bytes sin signo (unsigned byte array): es la matriz de salida, el primer byte de la matriz tiene el valor ASCII del primer carácter en la cadena, el segundo byte tiene el valor de segunda, y así sucesivamente.

4.12.2. VI Función índice de arreglos (Index Array Function).

Devuelve el elemento o submatriz de la matriz de n-dimensiones en el índice. Se pueden agregar más canales para leer más datos o tramas. Ver figura 4.31.

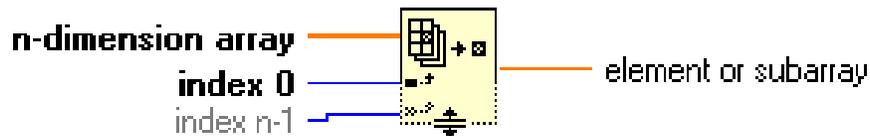


Figura. 4.31 VI Función índice de arreglos.

- Arreglo de n- dimensiones (n-dimensión array): puede ser una matriz n-dimensional de cualquier tipo. Si el arreglo n-dimensional es una matriz vacía de elementos, o subarreglo devuelve el valor predeterminado del tipo de datos definido por el arreglo.
- Índice 0 (index 0): El número de entradas de índice coincide con el número de dimensiones de matriz n-dimensiones.
- Índice n-1 (Index n-1): En el caso que exista otra entrada.
- Elemento de salida o subarreglo (element or subarray): tiene el mismo tipo que los elementos de la matriz de n-dimensiones.

4.12.3. VI Convertidor de número a arreglo de Booleanos (Number To Boolean Array Function).

Convierte un número entero o de punto fijo en una matriz de booleanos. Si lleva a un número entero a una matriz booleana, devuelve una matriz de 8, 16, 32, 64 o elementos, en función del número de bits en el número entero. Si lleva a cabo un número de punto fijo, el tamaño de la matriz que devuelve Boolean es igual a la longitud de la palabra del número de punto fijo. El elemento 0^a de la matriz corresponde con el bit menos significativo del complemento a dos de la representación binaria del entero. En la figura 4.32 se muestra este VI.



Figura 4.32 VI Function Numero a arreglo de booleanos.

- Número (number): puede ser un número entero.
- Arreglo de Booleanos (Boolean array): Matriz booleana puede tener 8, 16, 32 ó 64 elementos si el número es un número entero .Si el número es un número de punto fijo (fixed-point), puede tener entre 1 y 64 elementos.

4.12.4. VI Función convertidor de precisión simple a número flotante (To Single Precision Float Function).

Convierte un número de simple precisión a uno de punto flotante. Ver figura 4.33.



Figura. 4.33. VI Función convertidor de precisión simple a número flotante

- Número (Number): puede ser un número escalar, arreglo o cluster de números.
- Flotante de Simple precisión (single precisión float): la estructura es del mismo tipo de datos como el número de entrada.

4.12.5. VI Arreglos o matrices (Array).

Como se mencionó, anteriormente, se compone por datos de un mismo tipo, para lograr un array o arreglo de booleanos y que en el Panel Frontal se vea un arreglo con leds. Se procede de la manera siguiente.

Se accede a el panel Frontal menú Modern>>Arrays>>Array constant. Y obtendremos un VI como el mostrado en la figura 4.34.

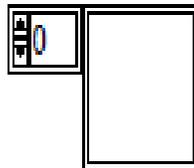


Figura 4.34. Arreglo de Constantes

Posteriormente en el mismo panel Frontal seleccionamos un indicador del tipo booleano con la siguiente secuencia: menú>>Modern>>Boolean>>Led. Ver figura 4.35.

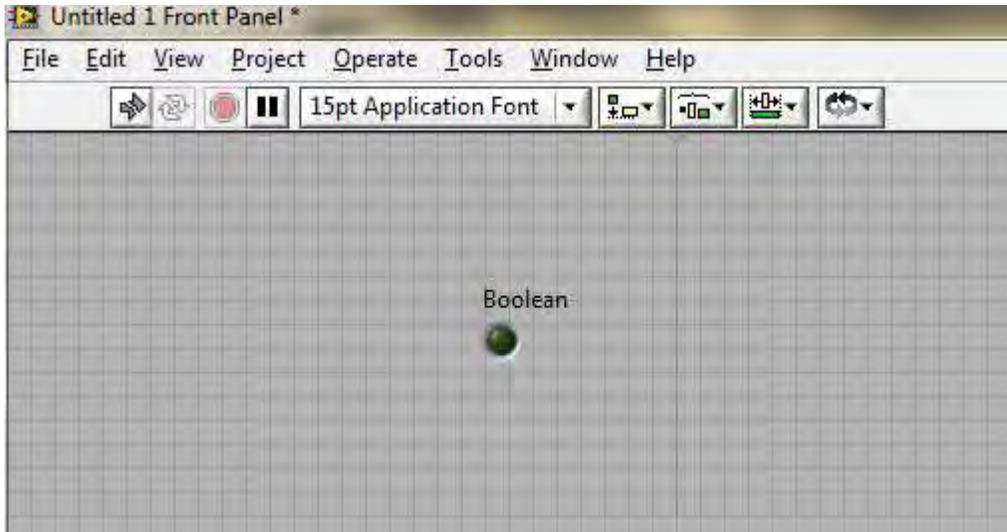


Figura 4.35. Boolean Led

En este momento en el panel frontal aparece un led, así como también aparece el VI de ese led en el Diagrama de Boques. Se arrastra el VI del dato boolean hacia dentro del array, obteniendo al final un arreglo de bits. Ver figura 4.36.

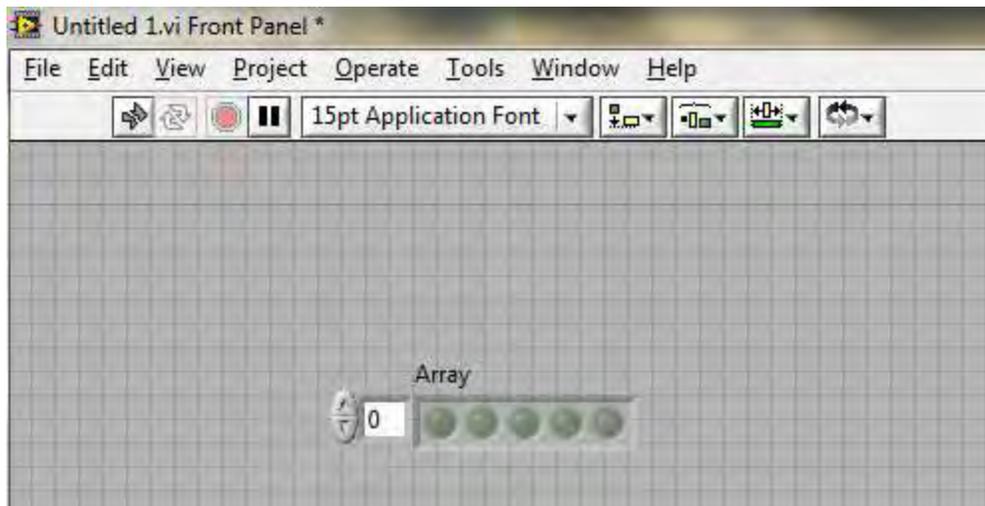


Figura 4.36. Arreglo de Leds

Para procesar los datos de manera que se grafiquen proporcionalmente de los datos de entrada se emplean VI de valores numéricos, los que se usan son los que tiene símbolo de multiplicación y división ver figura 4.29.

4.13. Implementación del Tiempo

Se usan VI que manipulan el tiempo. Para el proceso de adquisición de datos es necesario establecer el tiempo real en que se requiera generar el tiempo. Para esto se hace una comparación de datos. Empezando con un valor creado con fecha 01:00:00.00 pm, 31/12/1993, y otro tomado de los datos de la PC. Con la finalidad que cuando sean iguales ejecute una sentencia en nuestro programa. La figura 4.37 muestra el módulo de tiempo con los módulos anteriores.

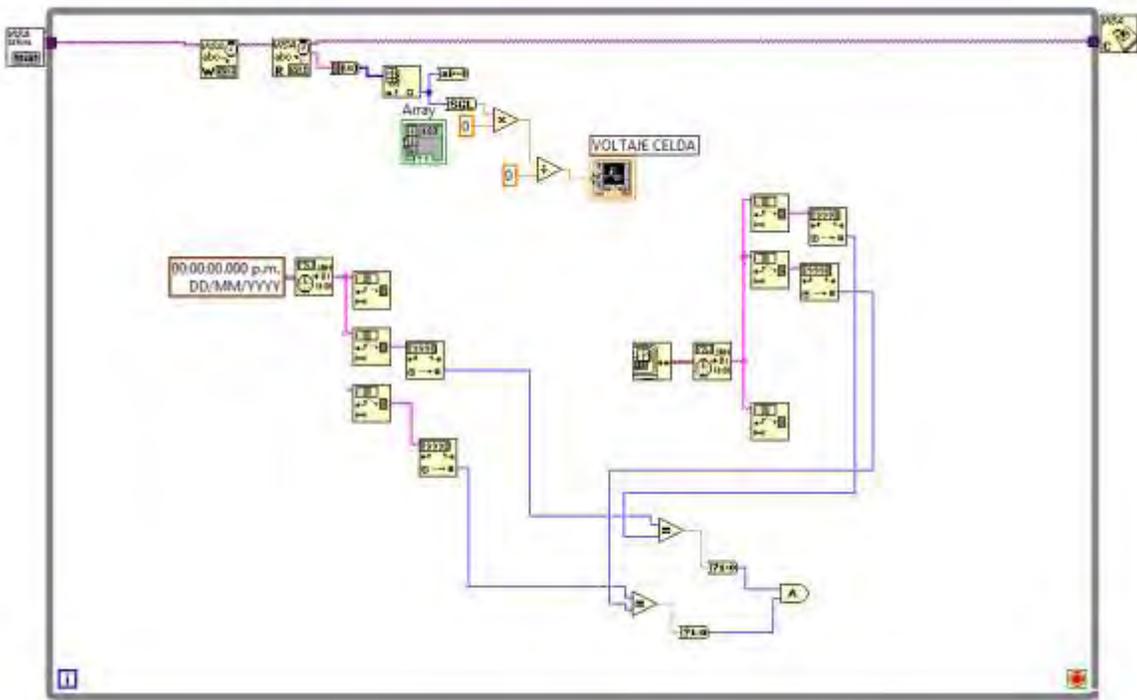


Figura 4.37. Módulo de Control de Tiempo

4.13.1. VI Función de formato de cadena Fecha/tiempo (Format Date/Time String Function).

Muestra un valor numérico de tiempo en el formato que se especifica mediante los códigos de formato de hora. Ver figura 4.38.

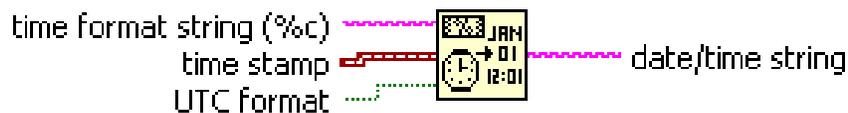


Figura 4.38 Formato de cadena Fecha/tiempo.

- Formato de cadena de tiempo (time format string): especifica el formato de la cadena de tiempo de salida. Los Códigos de formato de tiempo (a partir de%) no es reconocido por la función como un código de formato, por lo que devuelven el carácter con una letra. El código predeterminado es c%, que corresponde a la fecha / hora adecuada de la zona

horaria configurada para el equipo. Si la cadena de formato de tiempo es una cadena vacía, la función usa el valor por defecto.

- Sello de tiempo (time stamp): puede ser una indicación de la hora o numéricos. Si es numérico, este número es el número de zona horaria, independiente de los segundos que han transcurrido desde las 12:00 am, Viernes, 01 de enero 1904, hora universal. El valor por defecto es la fecha y hora actuales. Si el año es antes de 1904, marca de tiempo es negativo.
- Formato UTC (UTC format): especifica si la cadena de salida es en Tiempo Universal o en la zona horaria configurada para el equipo. Si es verdadero (TRUE), la cadena de fecha / hora es en Tiempo Universal. El valor predeterminado es falso (FALSE).
- Cadena de fecha / hora (date/time string): es el resultado fecha / hora que se entrega como cadena.

4.13.2. VI Función Cadena de Subconjunto (string Subset Function).

Devuelve la subcadena de la cadena de entrada empezando en el desplazamiento y que contiene el número de caracteres de longitud. En este caso se usa para mostrar en subcadena (substring) en dato requerido con un valor numérico.

El conector muestra los tipos de datos por defecto para esta función polimórfica. Ver figura 4.40

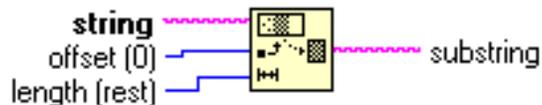


Figura 4.40. Función cadena de subconjunto.

- Cadena (string): cadena de entrada.
- Desplazamiento (Offset): es la posición inicial y debe ser numérico. El desplazamiento del primer carácter en la cadena es 0. Sin cables o si es inferior a 0, el valor predeterminado es 0.
- Longitud (Length): debe ser numérico, si la longitud se deja sin cables, el valor por defecto es la longitud de la cadena menos el desplazamiento.
- Subcadena (Substring): Es una subcadena vacía siempre y cuando el desplazamiento es mayor que la longitud de string o si la longitud es menor o igual a 0.

Este VI se usa varias veces en este módulo debido a que se necesitan comparar horas, minutos y segundos de los dos bloques.

4.13.3. VI Función de conversión de cadena decimal a número (Decimal String To Number Function).

Convierte los caracteres numéricos de la cadena, comenzando en el desplazamiento, a un entero decimal y lo devuelve en número. Se usa para obtener el dato requerido para hacer la comparación.

El conector muestra los tipos de datos por defecto para esta función polimórfica. Si desea que la función para devolver un producto entero de 64 bits, deba cablear un entero de 64 bits a la entrada por defecto. Ver Figura 4.41.

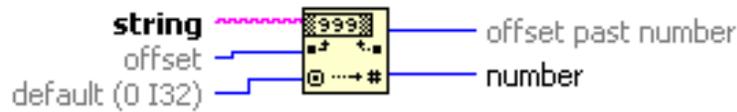


Figura 4.41. Función Cadena Decimal a Número.

- Cadena (String): puede ser una cadena, un grupo de cadenas, un arreglo de cadenas, o una serie de grupos de cadenas.
- Desplazamiento (Offset): es la posición inicial y debe ser numérico. El desplazamiento del primer carácter en la cadena es 0. Sin cables o si es inferior a 0, el valor predeterminado se vuelve 0.
- Default: es un objeto de representación numérica, El valor predeterminado es un valor de 32 bits entero con signo.
- Numero de desplazamiento pasado (offset past number): es el índice en la cadena del primer carácter después del número, refleja el valor de la última cadena si en la entrada hay un arreglo de cadenas.
- Número (Number): puede ser un número, un grupo o una matriz de números, en función de la estructura de la cadena. Si el número es un número entero, que puede desbordarse si la entrada está fuera de rango. En ese caso, el número se establece en el valor máximo o mínimo para el tipo de datos.

4.13.4. VI Función de obtener Fecha / hora en segundos (Get Date/Time In Seconds Function).

Genera la fecha y hora actual del sistema. LabVIEW calcula esta fecha y hora utilizando el número de segundos transcurridos desde las 12:00 am, Viernes, 01 de enero 1904, hora universal, el icono que representa esta función se observa en la siguiente figura 4.42

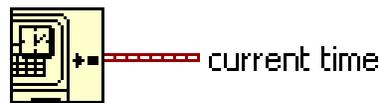


Figura 4.42. Obtiene fecha / hora en milisegundos

4.13.5. VI Función de Booleano a (0, 1) (Boolean To (0,1) Function).

Convierte un valor booleano verdadero o falso en un entero de 16 bits con un valor de 0 o 1, respectivamente. Se representa con la figura 4.43.



Figura 4.43. VI Función de Booleano a (0, 1).

- Booleano: puede ser un escalar, una matriz, un conjunto de valores booleanos, una serie de grupos de valores booleanos, y así sucesivamente.
- 0,1: es 0 si el booleano es falso (FALSE) y 1 si el booleano es verdadero (TRUE).

4.13.6. VI Función Y (And Function).

Calcula el AND lógico de las entradas. Ambas entradas deben ser valores booleanos o numéricos. Si ambas entradas son verdaderas, la función devuelve VERDADERO. De lo contrario, devuelve FALSE. Ver figura 4.44.

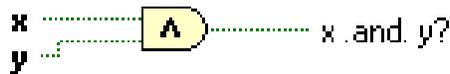


Figura 4.44. Función Y

- X: debe ser un valor booleano o un número. Puede ser un escalar, matriz o grupo de números o valores booleanos, gran variedad de grupos de números o valores booleanos, y así sucesivamente.
- Y: debe ser un valor booleano o un número. Puede ser un escalar, matriz o grupo de números o valores booleanos, las matrices de los grupos de números o valores booleanos, y así sucesivamente.

El último módulo se compone de varios Vis que a continuación se describen.

4.14. Generación del reporte.

Este módulo captura los datos en determinado tiempo, procesa sus opciones y genera el reporte en el software de Microsoft Office Word.

El diagrama de la figura 4.45, corresponde internamente al del mostrado en la figura 4.22, se creó de esta manera para fines de explicar cada uno de los VIs que lo integran.

Dentro de este ciclo se encuentra:

4.14.1. Función de obtener fecha / hora en cadena (Get Date/Time String Function).

Convierte un valor de hora (timestamp) o un valor numérico a una cadena de fecha y hora en el huso horario configurado para el equipo. Se usa para darle datos de fecha y hora al momento de generar el reporte. En la figura 4.47 se aprecia este VI.

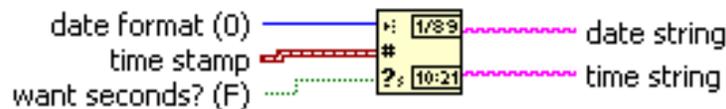


Figura 4.47. Función fecha / hora en cadena.

- Formato de Fecha (Date format): selecciona el formato de fecha, varía según la configuración del sistema.
 - 0: corto (short), ejemplo 1/21/94.
 - 1: largo (long), ejemplo viernes, enero 21, 1994.
 - 2: abreviado, ejemplo fri, jan 21, 1994.
- Hora (Time stamp): puede ser una indicación de la hora. Si es numérico, este es el número de zona horaria independiente de los segundos que han transcurrido desde las 12:00 am, Viernes, 01 de enero 1904, hora universal. El valor por defecto es la fecha y hora actuales. Si el año es antes de 1904, marca de tiempo es negativo.
- Cuantos segundos (Want seconds?): controla la visualización de los segundos en la cadena de tiempo.
- Fecha (Date string): es la cadena devuelta por la función de acuerdo con el formato de fecha especificado.
- Cadena de tiempo (time string): devuelve la cadena con formato de acuerdo a la zona horaria configurada para su equipo. quiero segundos? controla si la cadena incluye segundos.

La segunda parte de este módulo está formado por:

4.14.2. VI Función de nuevo Reporte (New Report VI).

Crea un nuevo reporte. Ver figura 4.48.

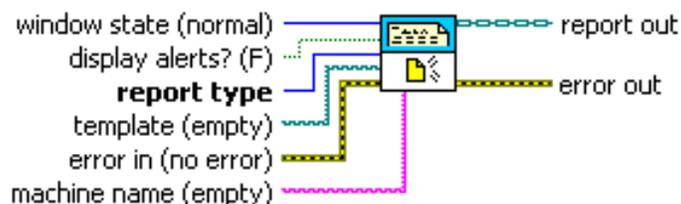


Figura 4.48. VI Nuevo reporte.

- Estado de la ventana (Window state): establece a Microsoft Word o Excel la forma para mostrar la ventana, puede ser: normal, minimizada o maximizada. El VI hace caso omiso de esta entrada para los informes HTML y estándar.
 - 0: maximizado
 - 1: minimizado
 - 2: normal
 - 3: Sin cambios
- Alertas (displays alerts): Determina si los mensajes y alertas aparecen en Microsoft Word o Excel. El valor predeterminado es Falso, que desactiva las alertas. El VI hace caso omiso de esta entrada para los informes HTML y estándar.
- Tipo de Reporte (Report type): es el tipo de informe que desea crear, como son:
 - Reporte estándar (Standard -report): Esta habilitado por default, crea un reporte y regresa una referencia en el reporte de salida, entonces se puede usar otro Vis de Generación de Reportes (Report Generation) o hacer una impresión del reporte.
 - HTML: Crea un reporte en formato HTML y regresa una referencia en el reporte de salida, este se puede modificar, guardar o imprimir.
 - Word (Report Generation Toolkid): Usa la herramienta de generación de reportes y crea un reporte, después retorna una referencia en el reporte de salida entonces se puede crear otro Vis Generador de reportes para modificar, guardar o imprimir.
- Plantilla (Template): especifica una ruta a un documento de Word o una hoja de Excel, que actúa como una plantilla de informe. Aquí se introduce la ruta a un documento de Word existente o una hoja de Excel para abrir y editar un informe existente en una plantilla. El VI hace caso omiso de esta entrada para los informes HTML y estándar.
- Entrada de error (Error in): describe las condiciones de error que ocurren antes de este nodo se ejecute. Esta entrada proporciona el error estándar de funcionalidad.
- Nombre de la PC (Machine name): especifica un equipo desde el que Microsoft Word o Excel ejecuta de forma remota.
- Reporte Generado (Report out): referencia al informe cuyo aspecto, los datos y la impresión que desea controlar. Puede conectar esta salida a la Generación de Informes de otros VIs.
- Salida de Error (Error out): contiene información de error, esta salida se produce el error estándar de funcionalidad.

4.14.3 VI Añade Texto al Informe (Append Report Text VI).

Añade el texto del informe seleccionado. Es un Cable de datos a la entrada de texto para determinar la instancia polimórfica de uso o seleccionar manualmente la instancia.

Se puede añadir el texto deseado a la posición actual del cursor en el informe o en una nueva línea. Ver figura 4.49.

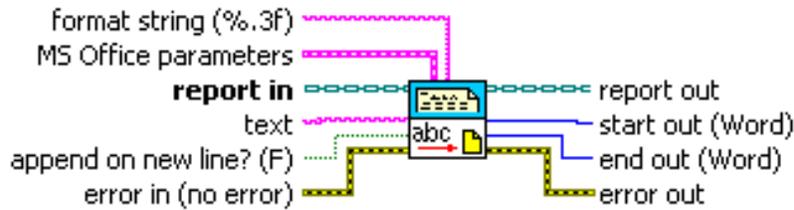


Figura 4.49 VI Añade Texto al Reporte

- Formato de Cadena (Format string): especifica el formato de números a utilizar en LabVIEW, cuando convierte los números a caracteres.
- Parámetros de Office (MS Office parameters): especifica un punto en el informe de Microsoft Word o Excel donde se desea que se produzca la inserción. Puede especificar un marcador en Word o un rango con nombre o las coordenadas de celda en Excel.
- Entrada del reporte (Report in): Es una referencia con respecto a los datos, aspecto y la impresión que se quiere controlar.
- Texto (Text): es la información que desee incluir en el informe.
- Agregar en una nueva línea? (append on new line?): agrega la información sobre una nueva línea en el informe si se establece en Verdadero. El valor predeterminado es Falso.
- Entrada de error (Error in): describe las condiciones de error que ocurren antes de este nodo se ejecuta. Esta entrada proporciona el error estándar de funcionalidad.
- Salida del Reporte (report out): es una referencia al informe cuyo aspecto, datos e impresión que desea controlar. Puede conectar esta salida a la Generación de Informes de otros VIs.
- Comienzo (Start out): representa el índice del carácter en el inicio del texto insertado en el documento de Microsoft Word. El VI hace caso omiso de esta entrada para los informes HTML y estándar.
- Pone fin (End out): representa el índice del carácter al final del texto insertado en el documento de Microsoft Word. El VI hace caso omiso de esta entrada para los informes HTML y estándar.
- Salida de Error (Error out): Esta salida produce el error estándar de funcionalidad.

4.14.4 VI Borrador de reporte (Clear Report VI).

Borra todo el texto, encabezados, pies de página, e información del formato del reporte. Ver figura 4.50.

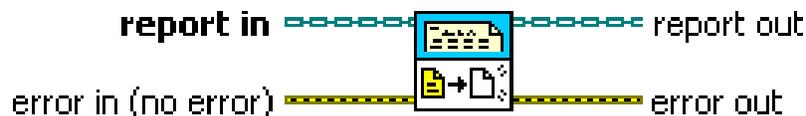


Figura 4.50. VI Borrador de Reportes

- Entrada de reporte (Report in): es una referencia al informe con respecto a los datos y a la impresión que desea controlar. Utilice el nuevo Informe VI para generar esta clase de objeto LabVIEW.

- Salida de Error (Error in): describe las condiciones de error que ocurren antes de este nodo se ejecuta. Esta entrada proporciona el error estándar de funcionalidad.
- Salida del reporte (report out): es una referencia al informe cuyo aspecto, los datos y la impresión que desea controlar. Puede conectar esta salida a la Generación de Informes VIs otros.
- Salida de Error (Error out): es una referencia al informe con respecto, a los datos y a la impresión que desea controlar. Puede conectar esta salida a la Generación de Informes VIs otros.

Como se aprecia en la figura 4.45 y 4.46, este VI se encuentra dentro de una estructura de Apilamiento de secuencias (Stacked Sequence Structure), con la finalidad de que se cree un nuevo reporte cada que se ejecute esta parte del programa.

4.14.5 VI de Insertar grafica en Word (Word Insert Graph VI).

Inserta un nuevo gráfico en el documento actual. Ver figura 4.51.

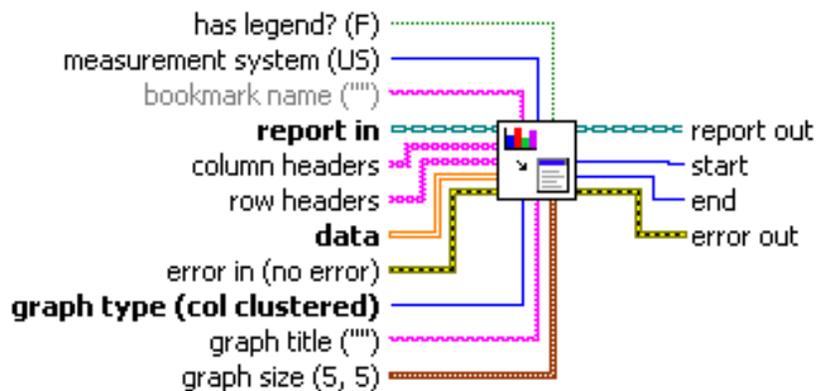


Figura 4.51. VI de Insertar grafica en Word.

- Tiene leyenda? (Has legend?): muestra u oculta la leyenda del gráfico. El valor predeterminado es FALSE, en la que el VI no se muestra la leyenda del gráfico.
- Sistema de Medición (Measurement system): muestra u oculta la leyenda del gráfico. El valor predeterminado es Falso, en la que el VI no se muestra la leyenda del gráfico.
 - 0: (por defecto)-Medidas en pulgadas.
 - 1: Medidas de tamaño en centímetros.
- Nombre del marcador (bookmark name): se puede utilizar para especificar el marcador desde el cual se inserta el gráfico. Si no hay ningún marcador, se inserta el gráfico VI al final del documento.
- Entrada del reporte (Report in): es una referencia al informe con respecto a los datos y la impresión que desea controlar. Utilice el nuevo Informe VI para generar esta clase de objeto LabVIEW.
- Encabezados de columna (Column headers): especifican las etiquetas del texto en las columnas en el gráfico. Si se no se conectan los cables el grafico se crea con XY.

- Encabezados de fila (Row headers): especifica el texto de las etiquetas de fila en el gráfico. Si se no se conectan los cables el grafico se crea con XY.
- Datos (Data): contiene los datos numéricos que el VI utiliza para crear el gráfico. Microsoft Office devuelve un error si se dibuja más de 3.999 puntos por fila o columna.
- Entrada de Error (Error in): se describen las condiciones de error que ocurren antes de que se ejecute este VI.
- Tipo de grafica (Graph type): establece el tipo de gráfico que el VI crea. El valor predeterminado es un gráfico de columnas. Puede seleccionar uno de los 65 tipos de gráficos, incluyendo XY (dispersión), de líneas, barras, superficie tridimensional, circulares y gráficas de área.
- Título de la Grafica (Graph title): Inserta un título a la gráfica.
- Tamaño de la gráfica (Graph size): define el tamaño en las unidades del sistema de medición.
- Salida del Reporte (Report out): es una referencia al informe con respecto a los datos y a la impresión que desea controlar. Puede conectar esta salida a la Generación de Informes VIs otros.
- Inicio (Start): representa el índice del carácter anterior de la gráfica.
- Fin (End): representa el índice del carácter que sigue al gráfico.
- Salida del error (Error out): contiene información de error.

4.14.6 VI Opciones de fuente del Grafico en Word (Word Set Graph Font VI).

Establece el título y los atributos de la fuente de los ejes del gráfico. Por defecto, el VI se aplica a la última gráfica en el documento actual. Utilice la entrada de índice gráfico si desea dar formato a un gráfico específico en el documento actual. Figura 4.52.

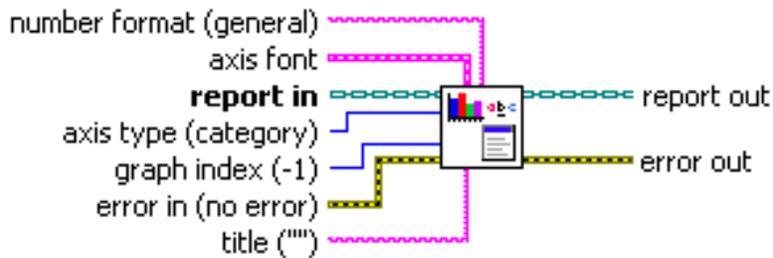


Figura 4.52 VI Opciones de fuente del Grafico en Word.

- Formato del número (Number format): describe el formato que se aplican al eje de la gráfica. Consulte la documentación de Microsoft Word para obtener más información sobre el formato de número.
- Fuente de ejes (Axisfont): establece los atributos de la fuente, de las etiquetas de los ejes y la leyenda.
- Reporte de entrada (Report in): es una referencia al informe con respecto a los datos y a la impresión que desea controlar. Utilice el nuevo Informe VI para generar esta clase de objeto LabVIEW.
- Tipo de ejes (Axis type): especifica el tipo de eje para formato. El valor predeterminado es xlCategory, que generalmente representa el eje X. También puede seleccionar xlValue, que generalmente representa el eje Y.

- 0: xlCategory escalas XY y gráficos de burbujas.
- 1: xlSeriesAxis no se puede utilizar con cualquier Excel o gráficos de Word o gráficos.
- 2: xlValue escalas de cualquier tipo de gráfico.
- Índice del Grafico (Graph index): especifica el índice de la gráfica que desea modificar. El valor predeterminado es -1, en el que el VI se modifica el último gráfico en el documento actual.
- Entrada de error (Error in): en él se describen las condiciones de error que ocurren antes de que VI o función se realicen. El valor predeterminado es ningún error.
- Titulo (Title): contiene el título del eje.
- Salida del Reporte (Report out): es una referencia al informe referente a los datos y a la impresión que desea controlar. Puede conectar esta salida a la Generación de Informes VIs otros.
- Salida del error (Error out): contiene información de error.

4.14.7. VI Salir de la Grafica en Word (Word Quit Graph VI).

Cierra todas las referencias relacionadas con ActiveX a un gráfico. Utilice esta VI después de insertar, actualizar o dar formato a un gráfico en Word. Ver figura 4.53.

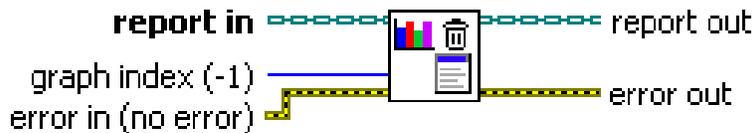


Figura 4.53. VI Salir de la Grafica en Word.

- Entrada del reporte (Report in): es una referencia al informe con respecto a los datos y a la impresión que desea controlar. Utilice el nuevo Informe VI para generar esta clase de objeto LabVIEW.
- Índice de la Grafica (Graph index): especifica el índice de la gráfica que desea modificar. El valor predeterminado es -1, en el que el VI se modifica el último gráfico en el documento actual.
- Entrada de Error (Error in): se describen las condiciones de error que ocurren antes de que funcione el VI o función.
- Reporte de salida (Report out): es una referencia al informe con respecto a los datos y a la impresión que desea controlar. Se puede conectar esta salida a la Generación de Informes VIs otros.
- Error de Salida (Error out): contiene información de error.

4.14.8. VI Traer al frente a Word (Word Bring to Front VI).

Cambia el estado de una ventana de Word en minimizar, maximizar, o normal.

Para acelerar el proceso de generación de informes, se llama al Report VI de la nueva ventana para reducirse al mínimo el tiempo. Después de que el informe es completado, se puede maximizar la ventana del documento con VI Traer al frente a Word (Word Bring to Front VI). Ver figura 4.54.

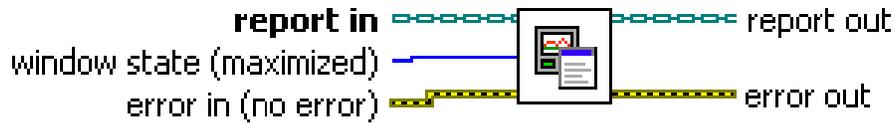


Figura 4.54. VI Traer al frente a Word.

- Entrada del Reporte (Report in): es una referencia al informe cuyo aspecto, los datos y la impresión que se desea controlar. Se Utiliza el nuevo Informe VI para generar esta clase de objeto en LabVIEW.
- Estado de la ventana (Window state): establece el tamaño de la ventana de Word.
 - 0: maximizado.
 - 1: minimizado.
 - 2: normal.
- Entrada de error (Error in): se describen las condiciones de error que ocurren antes de que se active el VI o función.
- Reporte de salida (report out): es una referencia al informe con respecto a los datos y a la impresión. Se puede conectar esta salida a la Generación de Informes VIs otros.
- Salida del reporte (Report out): contiene información de error.

4.14.9. VI Dispone el Reporte (Dispose Report VI).

Cierra el informe y notas de su interfaz, lo que ahorra memoria. Después de que el VI se ejecuta, no puede realizar operaciones sobre el informe. Ver figura 4.56.



Figura 4.56. VI Dispone el Reporte.

- Entrada del Reporte (Report in): es una referencia al informe con respecto a los datos y la impresión que desea controlar. Utilice el nuevo Informe VI para generar esta clase de objeto LabVIEW.
- Esperar a que la impresión este completa? (wait until printing completed?): especifica si el VI cierra el informe, si la impresión está en curso. El valor predeterminado es Verdadero, que especifica esperar para cerrar el informe hasta que se imprime el informe. El VI hace caso omiso de esta entrada para HTML, estándar, y los informes de Excel.

- Guardar cambios? (save changes?): especifica si el VI guarda los cambios en el reporte. El valor predeterminado es Falso, que especifica cerrar el informe sin guardar los cambios. El VI hace caso omiso de esta entrada si la entrada Cerrar es FALSO. El VI hace caso omiso de esta entrada para los informes HTML y estándar.

4.15. Otros Programas.

A continuación se describen los programas usados para crear el programa en C del microcontrolador, compilación y grabación del mismo así como el software para diseño del circuito

4.15.1. Pcw ccs picc compiler.

El estudio de los microcontroladores PIC no consiste solo en dominar su arquitectura interna, o el código máquina sino también en conocer programas auxiliares que faciliten el diseño en donde intervienen. Entre los programas más utilizados por su facilidad y potencia destacan, el PROTEUS VSM de Lab Center Electronic y el Compilador de C de Custom Computer Services Incorporated (CCS).

El programa PROTEUS es una herramienta de simulación que permite probar cualquier diseño. Permite verificaciones analógico-digitales de sistemas basados en microcontroladores.

El segundo programa y más importante es el CCS PICC COMPILER, ya que después de conocer y dominar el lenguaje ensamblador es muy útil y fácil aprender a programar con un lenguaje de alto nivel como es el caso de C. Este programa permite desarrollar programas en C enfocado a microcontroladores PIC con las ventajas que supone tener un lenguaje desarrollado específicamente para un microcontrolador en específico. Con este software se tiene la posibilidad de compilar las tres familias de gama baja, media y alta.

Dicho compilador genera ficheros en formato Intel-hexadecimal, que es el necesario para programar (utilizando un programador de PIC) un microcontrolador de 6, 8, 18 ó 40 patillas.

El compilador de C que se usa es el PCW de la casa CCS Inc. A su vez, el compilador se ejecuta en un entorno de desarrollo integrado (IDE) que permite desarrollar todas y cada una de las fases que se compone un proyecto, desde la edición hasta la compilación pasando por la depuración de errores. La última fase, es programar el PIC. Este "traduce" el código C del archivo fuente (.C) a lenguaje máquina para los microcontroladores PIC, generando un archivo en formato hexadecimal (.HEX). Además de éste, también genera otros seis ficheros, que sirven para el propio compilador para la comprobación de errores, advertencias y más.

Los ficheros u archivos que genera el PCW CCS PIC C son los que a continuación se enlistan.

.C: Este es el archivo que contiene el código fuente en C de usuario.

.H: Estos son los archivos de cabecera estándar o personalizado que se utiliza para definir configuraciones, registro, registro de bits, funciones y directivas del procesador.

.PJT: Este es el archivo de proyecto que contiene la información relacionada con el proyecto.

.LST: Este es el archivo de lista que muestra cada línea de código fuente C y el código ensamblador generado asociado a esa línea. Los elementos en el archivo. LST se puede seleccionar en PCW en Options>Project Options>File Formats.

Match: Incluye el código de operación HEX para cada instrucción.

SFR NAMES: En lugar de una dirección se utiliza un nombre.

Symbols: Muestra los nombres de variable en lugar de direcciones.

Interpret: Añade una interpretación pseudo-código a la derecha de las instrucciones de montaje para ayudar a comprender el funcionamiento.

.SYM: Este es el mapa que muestra el símbolo de cada registro de localización y las variables de programa que se almacenan en cada lugar.

.STA: El archivo de estadísticas muestra la memoria RAM, ROM, y el uso STACK. Proporciona información sobre los códigos fuente estructural y la complejidad textual con métricas Halstead y McCabe.

TRE: El archivo de árbol muestra el árbol de llamadas. En él se detallan todas las funciones y las funciones que llama junto con el uso de memoria RAM y ROM para cada función.

.Hex: El compilador genera archivos estándar HEX que son compatibles con todos los programadores.

.COF: Este es un código binario que contiene la máquina y la información de depuración.

.COD: Este es un archivo binario que contiene información de depuración.

.RTF: La salida del generador de documentación se exporta en un formato de archivo de texto enriquecido que puede ser visto con el editor de RTF o WordPad.

.RVF: El formato Rich View es utilizado por el Editor RTF en el IDE para ver el archivo de texto enriquecido.

.DGR: El archivo. DGR es la salida del fabricante de diagrama de flujo.

.ESYM: Este archivo se genera para los usuarios de IDE. El archivo contiene los identificadores y la información de comentario. Estos datos pueden ser utilizados para la generación automática de documentación y de los ayudantes IDE.

.OSYM: Este archivo se genera cuando el compilador está configurado para exportar un fichero objeto reubicable. Este archivo es un archivo. Símbolo de la unidad de un solo.

4.15.1.1.Estructura de programa.

Cada programa en C debe contener una función principal que es el punto de partida de la ejecución del programa. El programa se puede dividir en múltiples funciones según el propósito, las que se llaman principal y subfunciones. En un gran proyecto las funciones también se pueden colocar en diferentes archivos de C o ficheros de cabecera que se pueden incluir en el archivo C principal para agrupar las funciones relacionadas con su categoría. CCS C también requiere incluir el fichero de dispositivo apropiado utilizando la directiva # include para incluir la funcionalidad de los dispositivos específicos. También hay algunas directivas para el preprocesador como # fuses para especificar los fusibles para el chip y # use delay para especificar la velocidad de reloj. El

compilador también ofrece un gran número de bibliotecas estándar de C, así como otros controladores de dispositivos que se pueden incluir y utilizar en los programas. CCS también ofrece un gran número de funciones integradas para acceder a los distintos periféricos incluido en el microcontrolador PIC.

De forma generalizada, la estructura de un programa en C tiene el siguiente aspecto:

1. declaraciones globales

2. prototipos de funciones

3. main() {

variables locales;

bloque de sentencias;

llamadas a las funciones;

}

4. funcion_1() {

variables locales a funcion_1;

bloque de sentencias;

llamada a otra/s funciones;

}

funcion_n() {

...

}

Se pueden incluir comentarios en cada línea del programa, esto se hace y se recomienda para referencias posteriores del programador. Los comentarios se comienzan a escribir anteponiendo dos diagonales //, todo lo que este después de las diagonales el programa no lo toma en cuenta.

4.15.1.2.Declaraciones

Son las estructuras con las que se programa en C, en la siguiente tabla 4.1 se muestran las más importantes, su características y forma de edición.

Declaraciones	Ejemplo
if (expresion) stmt; [else stmt;]	if (x==25) x=1; else x=x+1;
while (expresión) stmt;	while (get_rtcc()!=0) putc('n');
do stmt while (expr);	do { putc(c=getc()); } while (c!=0);
for (expresión 1; expresión r2; expresión r3) stmt;	for (i=1;i<=10;++i) printf("%u\n",i);
switch (expresión) { case cexpr: stmt; //uno o más case [default:stmt] ... }	switch (cmd) { case 0: printf("cmd 0"); break; case 1: printf("cmd 1"); break; default: printf("bad cmd"); break; }
return [expresion];	return (5);
goto label;	goto loop;
label: stmt;	loop: l++;
break;	break;
continúe;	continúe;
expr;	i=1;
;	;
{[stmt]} Zero or more	{a=1; b=1;}

Tabla 4.1 Declaraciones en C.

4.15.1.3. Operadores.

La tabla 4.2, muestra los operadores más usados para el compilador.

-	Resta
+	Suma
++	Incremento
4*	Multiplicación
<	Menor que
<=	Menor o igual que
&&	Operador lógico Y
!	Negación lógica
	Operador OR

Tabla 4.2. Operadores

4.15.1.4. Tipos de variables.

Para crear variables en el programa primero se tiene que especificar el tipo de dato que se requiera y después nombrar a ese dato. En la tabla 4.3 se muestran algunos tipos de datos.

tipos	Tamaño	Rango en decimal		
		Sin asignación	Asignado	Dígitos
int1	1 bit	0 a 1	N/A	1/2
int8	8 bit	0 a 255	-128 a 127	2-3
int16	16 bit	0 a 65535	-32768 a 32767	4-5
int32	32 bit	0 a 4294967295	-2147483648 a 2147483647	9-10
float32	32 bit flotante	-1.5 x 10 ⁴⁵ a 3.4 x 10 ³⁸		7-8

Tabla 4.3. Tipos de variables

4.15.1.5. Funciones.

Estas opciones permiten configurar y utilizar los pines de E / S en el dispositivo. Afectan a los pines que se enumeran en el archivo de cabecera del dispositivo.

Output_high(pin): Establece el pin dado a estado alto.

Output_low(pin): Establece el pin dado al estado bajo.

Output_x(valor): Salidas de un byte completo en el puerto.

Output_bit(pin,valor): Se genera el valor especificado (0,1) a la E / S especificada por el pin.

Input(pin): La función devuelve el estado del pin indicado.

Input_state(pin): Esta función lee el nivel de un alfiler sin cambiar la dirección del pin como input() lo hace.

Set_tris_x(valor): Establece el valor del registro de la dirección de E / S del puerto. Un '1' es uno de entrada y '0' para la salida.

4.15.1.6. ADC (Convertidor analógico Digital).

Estas opciones permiten configurar y usar el módulo del convertidor analógico digital. Las opciones para las funciones directivas y varían dependiendo del chip y se enumeran en el archivo de cabecera del dispositivo.

Setup_adc(mode): opciones de reloj para el módulo adc del micro.

Setup_adc_ports(value): selecciona los puertos de entrada analógicos.

Set_adc_channel(canal): selecciona los canales del adc.

Adc_resolution: resolución en bits del adc

4.15.1.7.USB (Bus serie Universal).

Universal Serial Bus, o USB, se utiliza como un método para dispositivos periféricos y logren comunicarse con una computadora personal. CCS proporciona bibliotecas para la conexión de un PIC al PC mediante USB mediante el uso de un PIC con un periférico USB interno (como el PIC16C765 o la familia PIC18F4550) o mediante el uso de cualquier PIC con una unidad USB externa.

usb_init(): Inicializa el hardware USB. Entonces va a esperar en un bucle infinito para el periférico USB y ser conectado a la computadora.

usb_init_cs(): Al igual que `usb_init ()`, pero no espera a que el dispositivo se conecte al bus. Esto es útil si el dispositivo no está en bus y puede funcionar sin una conexión USB.

Usb_cdc_connected(): identifica cuando exista una conexión entre el microcontrolador y la computadora.

usb_task(): Si usa una conexión sensitiva y el `usb_init_cs ()` para la inicialización, entonces periódicamente debe llamar a esta función para comprobar la conexión. Cuando el PIC está conectado al bus, esta función prepara el periférico USB. Cuando el PIC está desconectado del bus, se restablecerá la pila USB y periféricos.

usb_enumerated(): Se vuelve verdadero el dispositivo ha sido enumerado por el PC, esto significa que está en el modo de funcionamiento normal y se puede enviar / recibir paquetes.

usb_cdc_getc (): lee y devuelve un carácter del búfer de recepción. Si no hay datos en el búfer de recepción se va a esperar indefinidamente hasta que un paquete se reciba.

usb_cdc_putc(): envía un carácter. En realidad, pone un carácter en el búfer de transmisión, y si el buffer de transmisión está lleno esperará indefinidamente hasta que haya espacio en el paquete.

read_adc(mode): opciones para comenzar o detener la lectura de los datos digitales provenientes de la conversión.

En el capítulo 5 se describe como crear un proyecto en este compilador.

4.15.2 PICKID 3.

Es una herramienta creada por Microchip, para programar los microcontroladores de la misma marca en la figura 4.57, se muestra el dispositivo. Antes de utilizar el grabador PICKID3 debe de instalarse los DRIVERS y la aplicación, estas dos se pueden adquirir directamente de la página de internet de Microchip.



Figura 4.57. PICKID 3

En el mercado existen muchos clones de este dispositivo, más baratos que realizan la misma función, sin embargo, no ofrecen el soporte técnico por parte de Microchip, como la actualización de librerías, ejemplos, asesorías en línea, etc.

La aplicación o software que fue diseñado para el PICKID3, se llama MPLAB, en donde se crean códigos en lenguaje ensamblador para los microcontroladores.

La ventaja del PICKID3 radica en que no importa en qué lenguaje se crean los códigos para microcontroladores PIC debido a que al momento de compilar el mismo, se genera un código hexadecimal con extensión *.HEX. Este archivo es el que contiene el mismo código en lenguaje máquina y por tal razón es el archivo que se escribe en los microcontroladores.

4.15.2. Entorno de programación.

La aplicación también del mismo fabricante y con nombre PICKID3 PROGRAMMER, proporciona una rápida programación del dispositivo, basta con seleccionar, abrir el archivo .hex, escribir y probar.

Se necesita un alambrado entre el PICKID3 y el microcontrolador en cuestión, la forma de conexión y el nombre de los pines del programador y del mismo microcontrolador se muestran en la figura 4.58. Este diagrama se puede visualizar mejor descargando el archivo desde el portal de internet de Microchip.

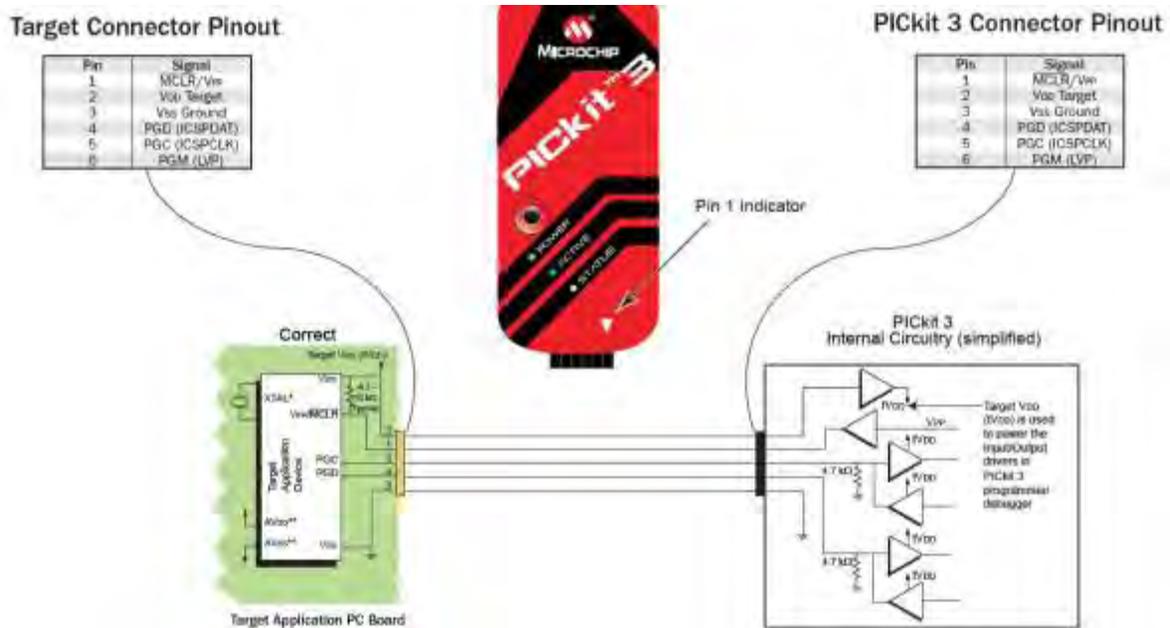


Figura 4.58. Interface entre el programador y el microcontrolador

Para programar un microcontrolador con este dispositivo se siguen los siguientes pasos:

1. Conectar PICKID3: solo es necesario el cable USB que proporciona el fabricante y conectarlo a un puerto USB de alguna computadora..
2. Abrir la aplicación pickid3 programmer. Ver figura 4.59..

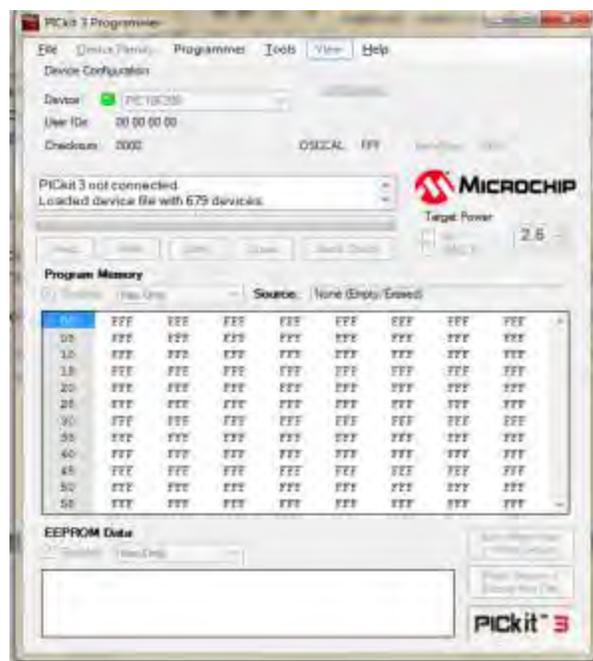


Figura 4.59. Programador PICKID3

3. Se comprueba la comunicación del dispositivo con la computadora haciendo clic el menú TOOLS>>CHECK COMMUNICATION. Si aparece en la ventana de dialogo una leyenda "FOUND PICKID3", indica que la comunicación sea detectado.
4. Selección del modelo de PIC, haciendo click en DEVICE FAMILY>>NUMERO DE SERIE DEL PIC.
5. Se abre el archivo .HEX, FILE>>IMPORT HEX>>SELECCIÓN DEL ARCHIVO *.HEX.
6. Se graba en el microcontrolador PIC, dando click en el botón WRITE.

A continuación se describe el funcionamiento de los botones más importantes:

READ: Lee la información del código grabado en el microcontrolador PIC.

VERIFY: Comprueba la comunicación del programador con el microcontrolador.

ERASE: Borra el archivo *.HEX, del microcontrolador.

BLANK CHECK: Comprueba que la memoria en donde se guarda el código del programa este en blanco.

Cabe mencionar que después de programar el PIC, se puede probar el funcionamiento de todo el circuito alimentándolo directamente desde el PICKID3, usando las opciones que se muestran en la figura 4.60, donde se puede cambiar el voltaje desde 0v a 5v, así como reiniciar el circuito.



Figura 4.60. Controles para alimentación de prueba del circuito

4.15.3. Eagle Layout Editor 5.11.

En este programa se pueden crear diseños para circuitos impresos rápida y eficazmente. Contiene muchas librerías de componentes activos, pasivos y programables, con la opción de crear nuevas librerías en caso de que no se encuentre el elemento. Se puede adquirir de manera gratuita una versión de prueba por 30 días. En la figura 4.61 se muestra el entorno del programa para la creación del esquemático.

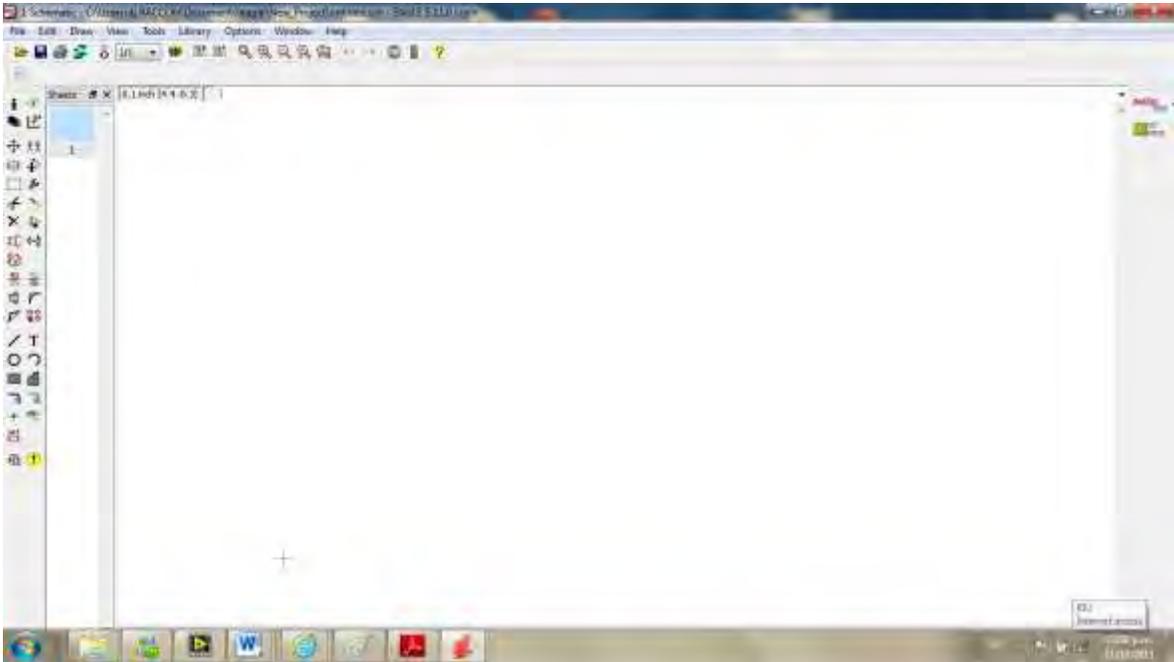


Figura 4.61. Entorno de Esquemático del programa EAGLE

Una vez alambrado todo el esquemático con sus componentes se crea el diseño de impresión. Ver figura 4.62.

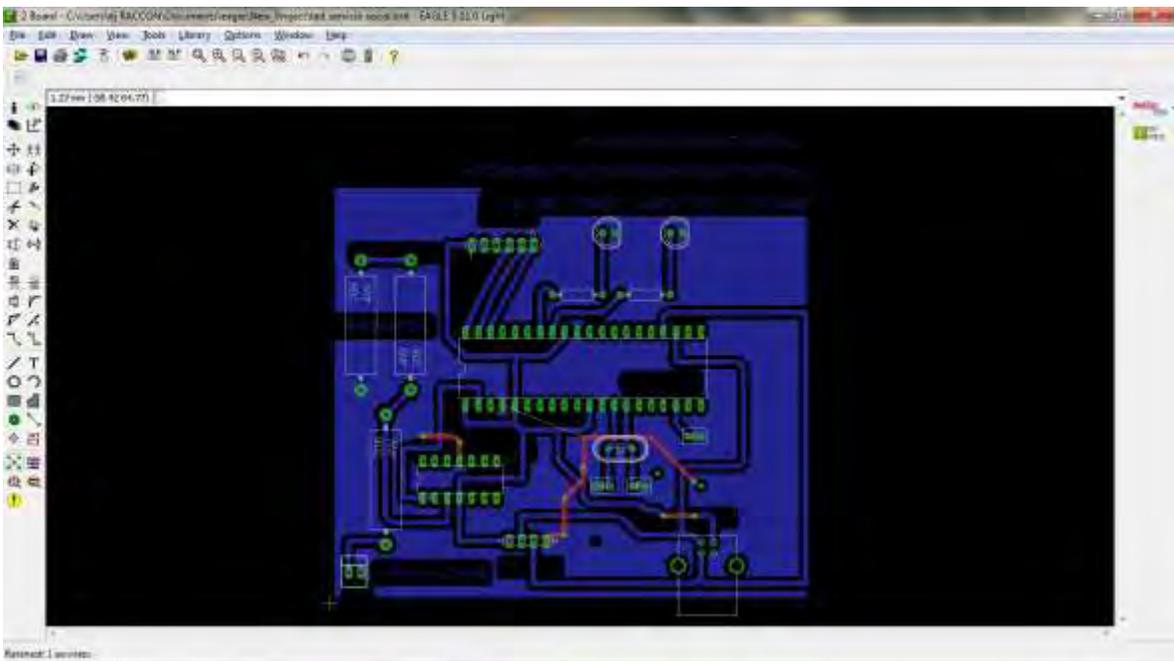
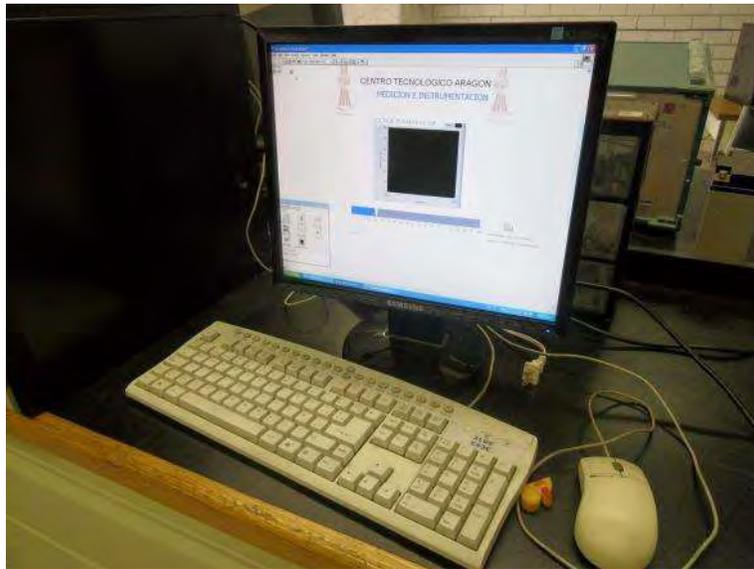


Figura 4.62. Diseño terminado para la impresión

Capítulo Quinto.
RESULTADOS



5.1. Introducción.

Este proyecto de CREACIÓN DE UNA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS corresponde solo a una parte del “PROTOTIPO DE SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PANEL FOTOVOLTAICO”.

Para este fin se implementa un microcontrolador de la marca Microchip modelo pic18f4550, programación en “C”, una computadora personal con puerto USB y software de Labview.

En la figura 5.1 se muestra los componentes del prototipo de generación de energía eléctrica.

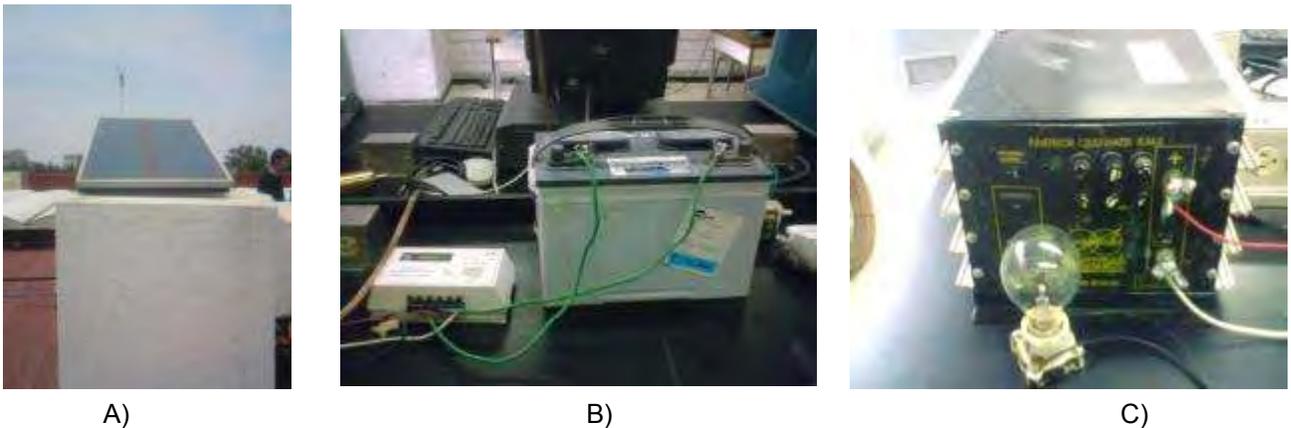


Figura 5.1. Componentes del Prototipo de Generación de Energía Eléctrica Atravez de un Panel Fotovoltaico. A) Panel, B) Cargador y batería, C) inversor y carga.

Los datos del panel Fotovoltaico se muestran en la tabla 5.1.

UNI-SOLAR® SOLAR ELECTRIC MODULE Bekaert EDC Solar System LLC Aubur Hills, MI	
ELECTRICAL RATINGS AT 1000W/m ² , AM 1.5, CEL TEMP. 25°C	
MAX POWER	64 W
CURRENT MAX POWER	3.88 A
VOLTAJE MAX POWER	16.5 V
SHORT CIRCUIT CURRENT	4.8 A
OPEN CIRCUIT VOLTAGE	23V
MODEL TYPE	US-64
MAX SYSTEM VOLTAGE	600 V
SERIES FUSE	8 A
MIN. BLEKINGE/BYPASS DIODE	8 A
FIELD WIRING	COPPER ONLY, 10-18 AWG

TABLA 5.1 DATOS DEL PANEL FOTOVOLTAICO

El cargador de la batería es de la marca GP con 20 A y 12V, su función es la de regular la tensión y corriente para mantener unos valores fijos en la batería y alimentar al inversor. En la figura 5.2 se muestra el cargador y su circuitería interna.



a)

b)

Figura 5.2. a) Cargador de la batería, b) Circuitería interna

La batería es de uso automotriz recargable de 12v, debido a sus componentes internos (plomo-acido) hace que sea eficaz para este prototipo, su función es la de almacenar el voltaje de la celda fotovoltaica y alimentar al inversor. En la figura 5.3 se muestra la batería.



Figura 5.3, batería de ácido-plomo

El inversor que se muestra en la figura 5.4 a), es usado para convertir las señales de DC en AC, genera una tensión de 127Vac, 60Hz y $1200W_{RMS}$, proveniente de una batería de 12V con la finalidad de polarizar los electrodomésticos u otro aparato eléctrico que funcione con una tensión de 127Vac y 60Hz. En la figura 5.4 b), se muestra su circuitería interna.



a)

b)

Figura 5.4. a) Inversor, b) circuitería interna

La carga, solo es un foco Tungsteno de 127Vac, 60w y 60Hz, de uso común. En la figura 5.5, se aprecia todo el sistema en funcionamiento.



Figura 5.5. Prototipo de generación de energía eléctrica a través de un panel fotovoltaico

5.2. Diseño del Circuito.

Es una Tarjeta de Adquisición de datos que introduce valores de voltaje provenientes del panel solar, generado durante todo el día a una computadora con la finalidad de monitorear y almacenar mediante graficas cuanto voltaje se está produciendo cada hora. Con la programación en lenguaje G de LabVIEW se puede observar en tiempo real la tensión proveniente del Panel con un lapso de tiempo de despliegue en pantalla de 1s a 10s.

El diagrama a bloques del proyecto es el siguiente, ver figura 5.6.

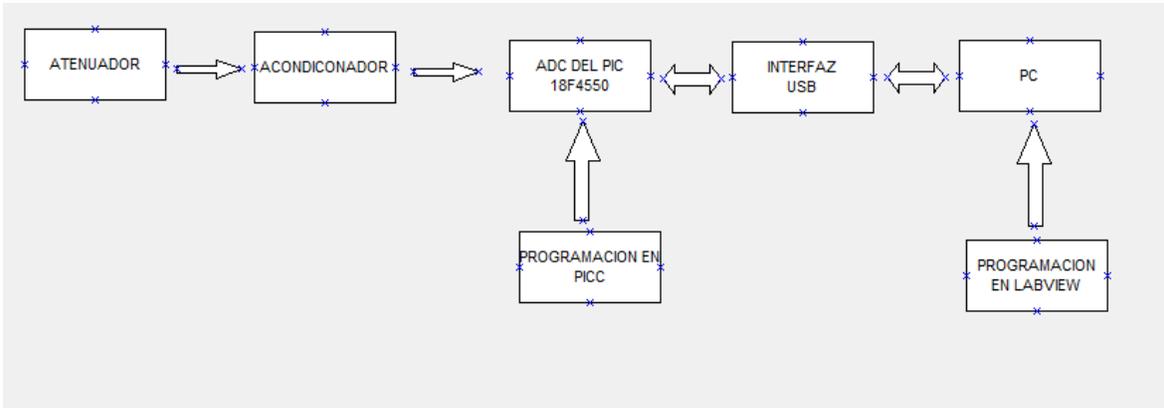


Figura 5.6. Diagrama a Bloques del Proyecto

5.3. Atenuación de la señal.

El panel fotovoltaico, genera una tensión de 23V cuando se encuentra a pleno sol, con el cielo despejado y a circuito abierto, por lo que el divisor usado se calcula con estos datos. En la figura 5.7, se muestra el circuito divisor de voltaje que se necesita para atenuar la señal con valores que soporta el microcontrolador.

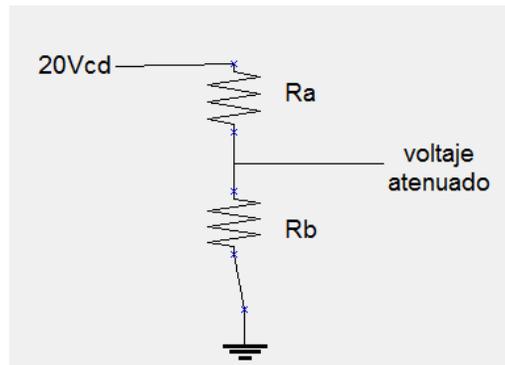


Figura 5.7. Diagrama del Circuito atenuador

Usando la fórmula de atenuación:

$$\text{factor de atenuacion} = \frac{\text{voltaje maximo}}{\text{voltaje del adc}} = \frac{23v}{5v} = 4.6$$

Para el cálculo de las resistencias de usa la expresión:

$$R_a = \left(\frac{V_{max}}{V_{adc}} - 1 \right) R_b$$

R_a se seleccionó de $39k\Omega$ a 2W por lo que la expresión queda.

$$R_b = \left(\frac{39k\Omega}{4.6 - 1} \right) = 10.83k\Omega$$

Las resistencias Ra y Rb tienen que ser de alta potencia debida a la tensión y corriente que genera el panel fotovoltaico.

En el mercado existen resistores de 39K Ω , 10K Ω y de .82 Ω . Como primera prueba de conectan en una protoboard. En la figura 5.8 se pueden ver estos resistores.

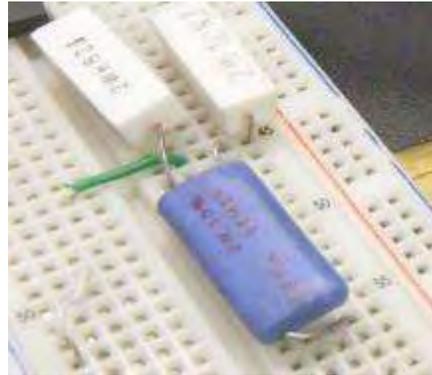
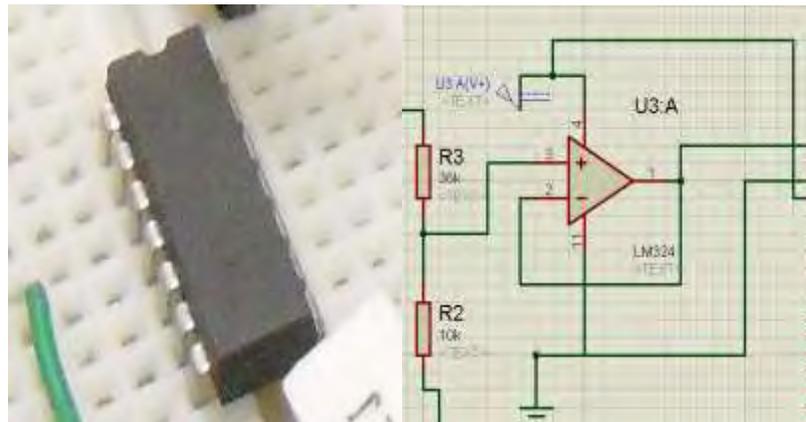


Figura 5.8. Resistores de 39K Ω , 10K Ω y de .82 Ω .

5.4. Acondicionamiento de la señal

Para acoplar la señal atenuada se utiliza un amplificador operacional en configuración seguidor de tensión, el dispositivo tiene un número de serie es LM34N, el cual se muestra en la siguiente figura 5.9.



a)

b)

Figura 5.9, Amplificador Operacional LM34N, a) elemento físico, b) configuración seguidor de tensión en un simulador.

El amp-op, se configura de esta manera para mantener constante la señal atenuada y minimizar el ruido, en la figura 5.9 b), se observan cómo deben de ir conectados los pines del dispositivo (ver figura 3.15). En la tabla 5.1, se muestran la relación de voltajes atenuados con el panel Fotovoltaico.

VOLTAJES ATENUADOS	
VOLTAJE MEDIDO (V)	VOLTAJE ATENUADO (V)
23	5
22	4.7826
21	4.5652
20	4.3478
19	4.1304
18	3.9130
17	3.6956
16	3.4782
15	3.2608
14	3.0434
13	2.8260
12	2.6086
11	2.3913
10	2.1739
9	1.9565
8	1.7391
7	1.5217
6	1.3043
5	1.0869
4	.8695
3	.6521
2	.4347
1	.2173
0	0

Tabla 5.2 Relación de Voltajes

La relación anterior, sirve de referencia al momento de realizar la conversión analógico –digital y viceversa.

5.5. Procesamiento de las señales (ADC).

Como se mencionó anteriormente se utilizó el módulo ADC del microcontrolador pic 18f4550. Para programar el mismo se creó el código del PIC en lenguaje C y para compilar el mismo se usó el CCS PIC C COMPILADOR. Se programó una resolución de 8bits, debido a que cada paquete de datos en la transmisión serial solo se envía y leen los mismos 8 bits. Aunque el módulo ADC del pic, es de hasta 10bits, no se requiere mucha precisión para el proyecto, ya que se obtienen 255 valores diferentes.

5.6. Interface USB.

El pic 18f4550, cuenta con un módulo USB, para esta tarjeta de adquisición de datos, se simula una conexión USB, que en realidad se está transmitiendo de manera serial. Esto se logra mediante el uso de las librerías y comandos del CCS PIC C COMPILER que se estudiaron en el capítulo anterior, con la finalidad de hacer una conexión USB de manera fácil y rápida. El protocolo USB para la transmisión y recepción de datos se puede realizar como tal en el microcontrolador 18f4550, pero es algo engorroso y difícil, por esa razón se usan las librerías del CCS PIC C COMPILER para usar la emulación del protocolo USB y controlar una transmisión serial con el microcontrolador.

Para la interface USB solo se necesitan conectar CUATRO cables, en la figura 5.10, se muestran los pines y nombres para este protocolo de comunicación.

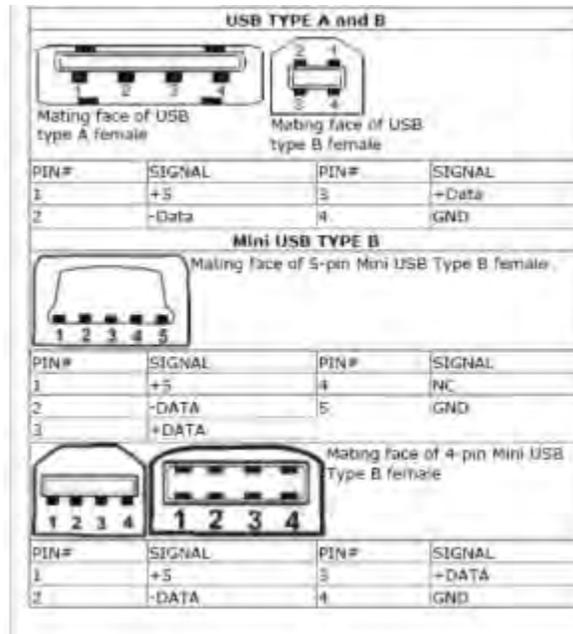


Figura 5.10. Nombres y Pines Para USB

También se deben de conectar los pines D+ y D-, y sus respectivos +5v y gnd, del microcontrolador PIC. La figura 5.11 muestra una captura en pantalla de la conexión del cable USB con el microcontrolador.

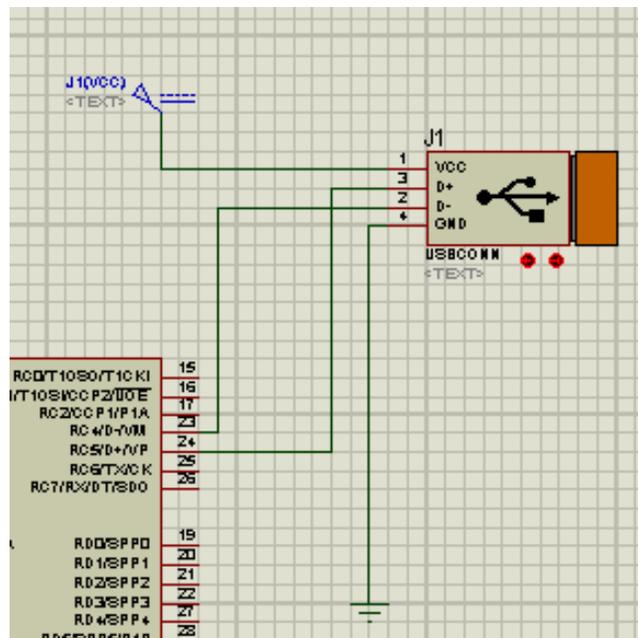


Figura 5.11 Conexión Microcontrolador-cable USB

En la actualidad este cable se vende en tiendas de electrónica, existen de muchos tipos y tamaños.

5.7. El Microcontrolador.

Se seleccionó este modelo de microcontrolador con la finalidad de su futura expansión en la captura de datos originarios de otras fuentes como lo son: sensores de temperatura, sensores de viscosidad, de presión, micrófonos, etc. Todo esto con el mismo pic y aumentando entradas y lecturas en la programación G en LabVIEW.

En el capítulo anterior se mencionó las características del microcontrolador pic 18f4550, aunque tiene muchas entradas analógicas, solo se necesita una para este proyecto. La figura 5.12, se ve la polarización del mismo, la configuración del oscilador como lo indica el manual del fabricante para un cristal de 20Mhz y el alambrado de todos los componentes:

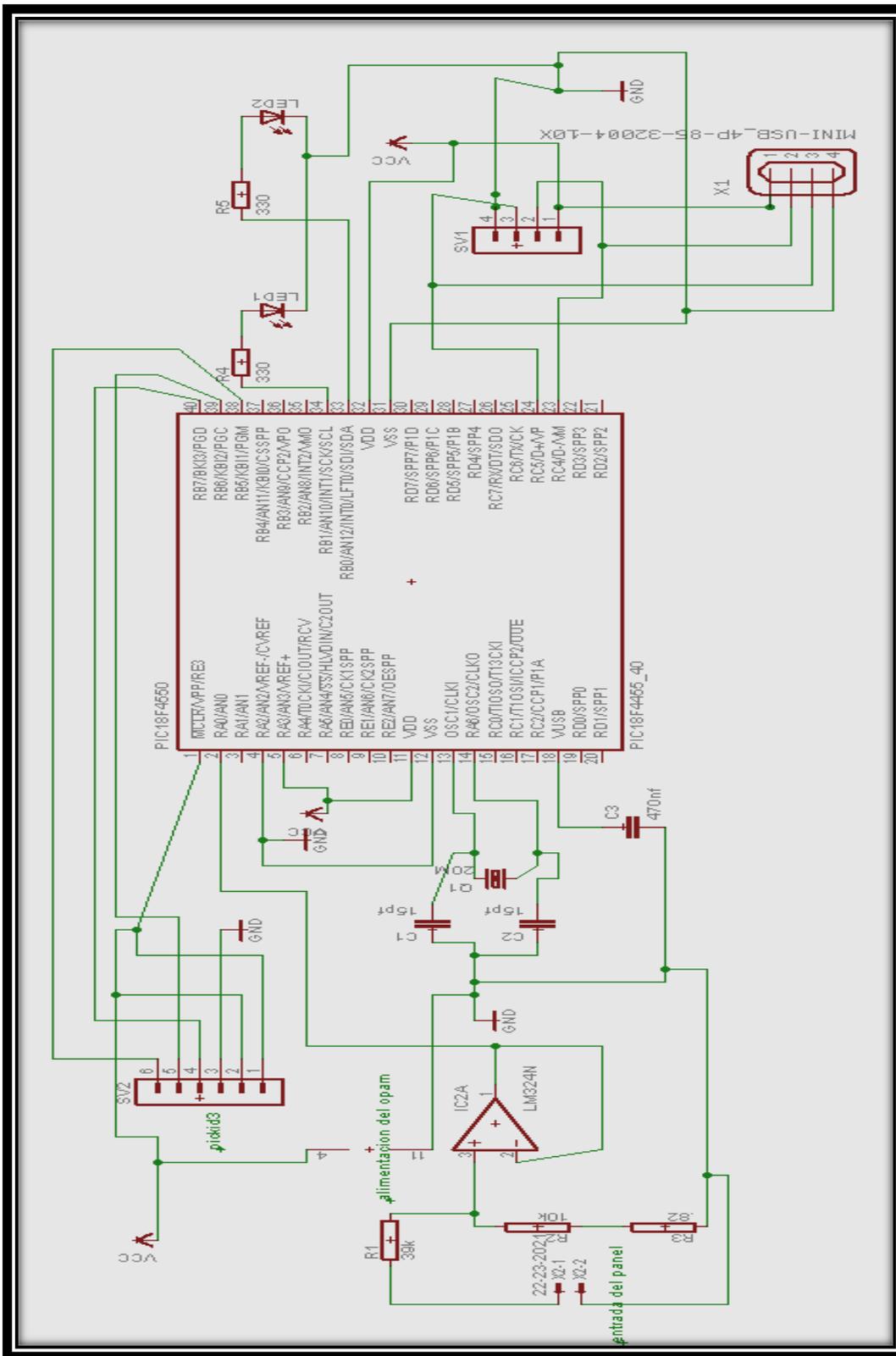


Figura 5.11. Diagrama del Circuito Con todos sus componentes

En la figura 5.12, se muestra el prototipo de la Tarjeta de Adquisición de Datos, con fines de prueba.

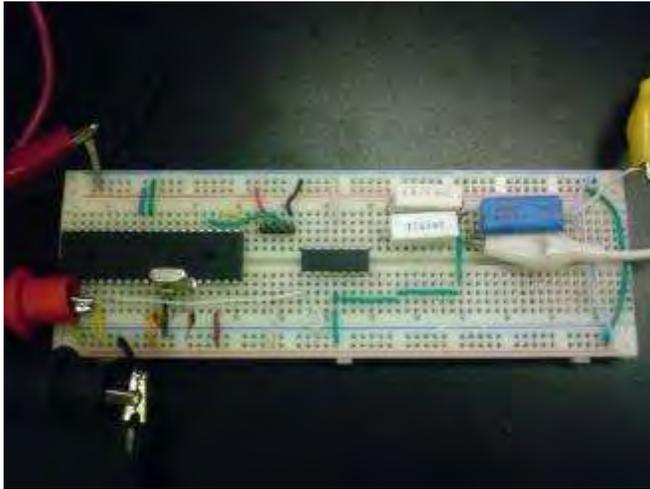


Figura 5.12. Prototipo de la Tarjeta de Adquisición de Datos

5.8. Programación del PIC18F4550.

Usando el CCS PIC C COMPILER, se creó el código, siguiendo diagrama a bloques mostrado en la figura 5.13.

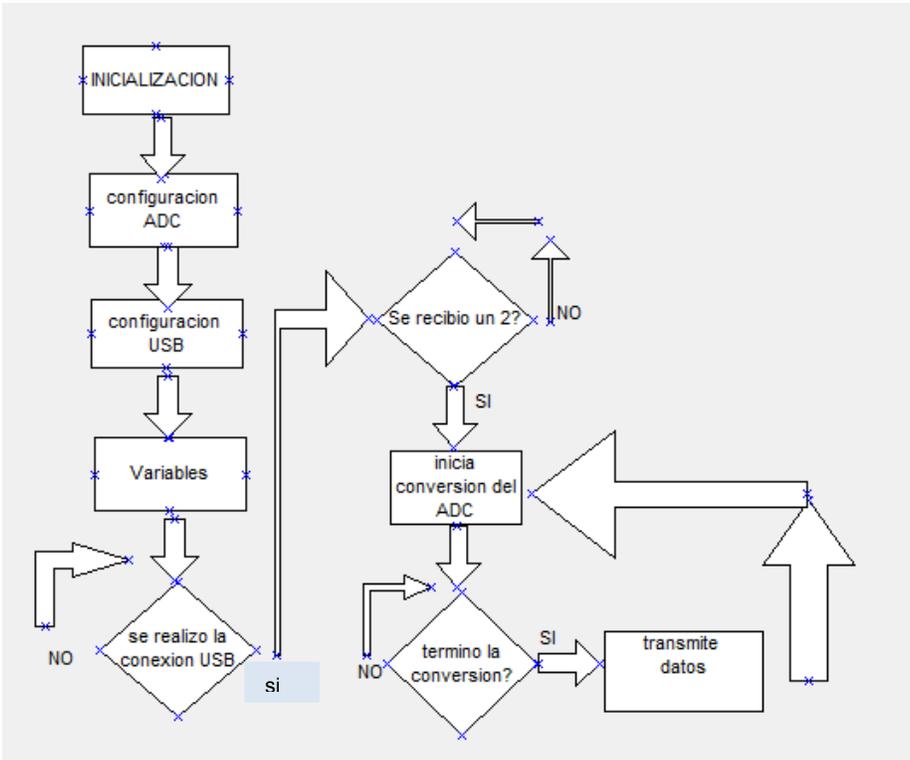


Figura 5.13. Diagrama de bloques del Programa

Enseguida se describen los pasos para la inicialización y configuración de los módulos y funciones del pic 18f4550, usando CCS PIC C COMPILER.

1. Se inicia el programa PIC C COMPILER. Ver figura 5.14

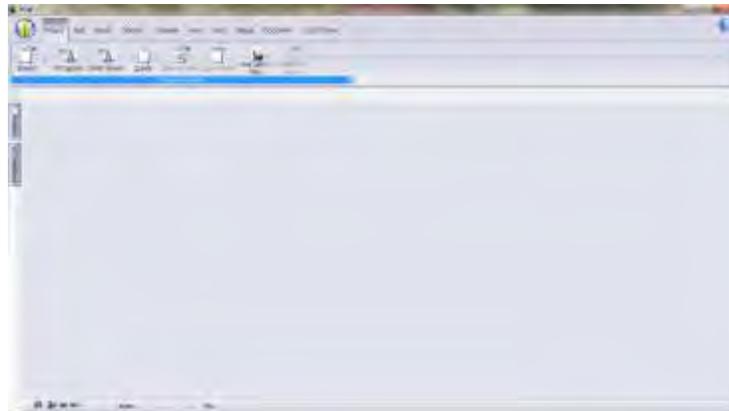


Figura 5.14. Entorno de la aplicación PIC C.

2. Se abre un nuevo proyecto, haciendo click en el icono de carpeta en el menú principal dando click en New>>Source File>>se nombra el proyecto>>save. Con esto se abrirá una pantalla en blanco como se ve en la figura 5.15, aquí es donde se captura todo el código empezando por las configuraciones globales para el pic, como se indica en el diagrama de la figura 5.13.

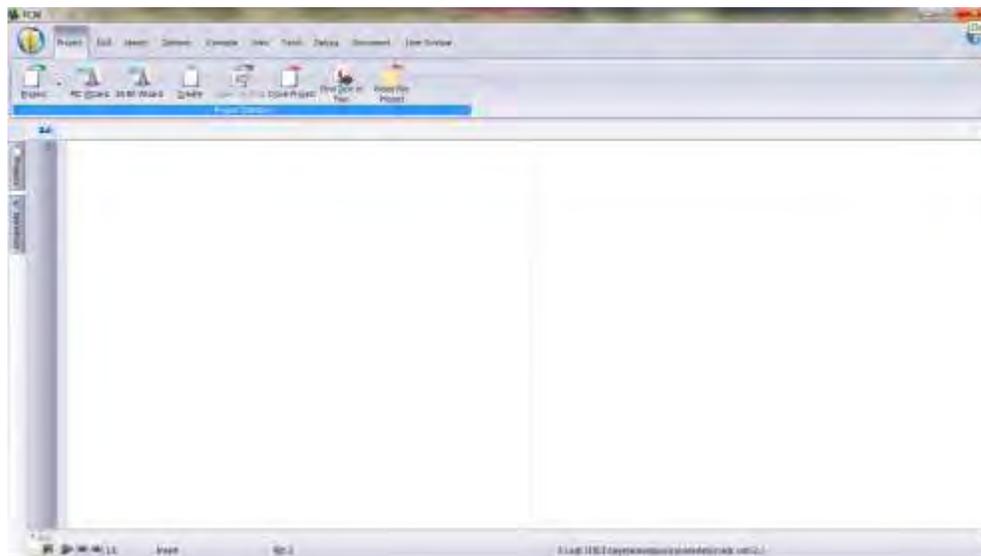
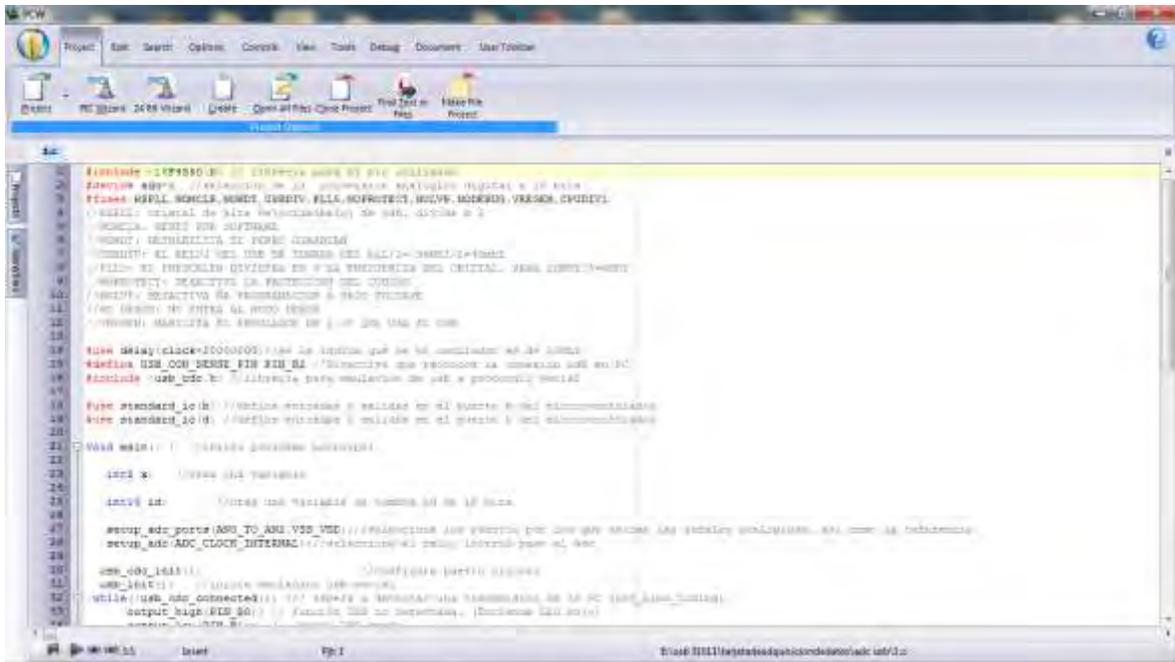


Figura 5.15. Ventana de captura de código en lenguaje C.

Captura del código fuente en lenguaje C. ver figura 5.16.



```

#use delay (clock=2000000)//se le indica que se le oscilador es de 20Mhz

#define USB_CON_SENSE_PIN PIN_B2 //Directiva que reconoce la conexión USB en PC

#include <usb_cdc.h> //librería para emulación de USB a protocolo serial

#use standard_io(b) //define entradas y salidas en el puerto b del microcontrolador

#use standard_io (d) //define entradas y salidas en el puerto b del microcontrolador

void main() { //inicia programa principal

    int8 x; //crea una variable

    int16 id; //crea una variable de nombre id de 16 bits

    setup_adc_ports (AN0_TO_AN2|VSS_VDD); //selecciona los puertos por los que entran las
    señales analógicas, así como la referencia

    setup_adc (ADC_CLOCK_INTERNAL); //selecciona el reloj interno para el adc

    usb_cdc_init (); //Configura puerto virtual

    usb_init (); //inicia emulación USB-serial

    While (!usb_cdc_connected()) { // espera a detectar una transmisión de la PC (Set_Line_Coding).
        output_high(PIN_B0); // Función USB no detectada. (Enciende LED )
        output_low(PIN_B1); // (Apaga LED )
    }

    output_high(PIN_B1); // Función USB detectada. (Enciende LED )
    output_low(PIN_B0); // (Apaga LED )

    do {

```

```

usb_task();

if (usb_enumerated()){          //Esta correctamente activado USB?

output_high(PIN_B2);//enciende el led blanco para indicar que se inició la transmisión de datos

id=usb_cdc_getc();//guarda en la variable id los datos de la transmisión USB

switch(id){

case 50://es el valor en decimal equivalente en código ASCII del número 2

set_adc_channel(0);           //Habilito canal 0

delay_us(60);//retardo para que termine la adc

x = read_adc();//guarda el resultado del adc en la variable x

usb_cdc_putc(x); //transmite a x en la transmisión USB

break;

}

}

}

while (TRUE);//bucle infinito

}

```

5.9. Instalación del Hardware “Tarjeta de Adquisición de Datos”.

Se necesitan unos drivers o controladores proporcionados por Microchip, los que deben de ser instalados en la computadora para que reconozca el circuito, el dispositivo ha sido instalado y probado en los siguientes sistemas operativos:

- Microsoft Windows XP pro Edition
- Microsoft Windows Seven Professional

Aunque los resultados son los mismos se obtuvo mejor respuesta en computadoras actualizadas con un sistema operativo Windows Seven instalado. Los driver se pueden encontrar en la página de Microchip <http://www.microchip.com>, y son los siguientes:

- cdc_NTXP: se recomienda copiarlo en el escritorio para una fácil localización.
- cdc_NTXPVista: necesita que se guarde en el escritorio

Estos drivers también se localizan en las librerías del PIC C COMPILER, en la carpeta Drivers.

Al realizar la conexión, en el monitor aparece una leyenda de se detectó un dispositivo USB nuevo y si se requiere conectar a internet para localizar el driver del dispositivo, seleccionamos la opción Buscar manualmente, procedemos a realizar la búsqueda del driver cdc_NTXPVista o cdc_NTXP y se instala el mismo.

En la figura 5.17, se muestra la conexión del prototipo y la computadora.

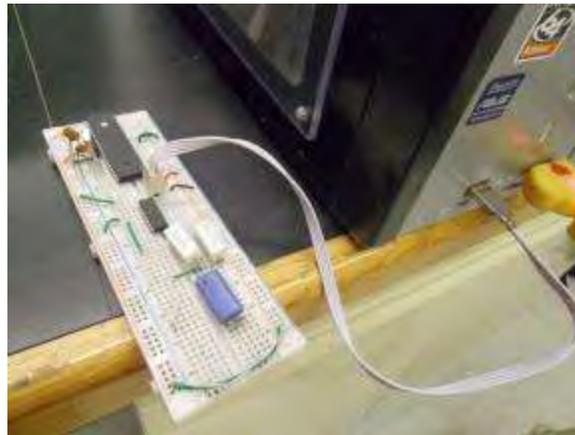


Figura 5.17. Conexión del prototipo.

Una vez reconocido el hardware se inicia el programa de LabVIEW. Esto se verifica porque en la Tarjeta de Adquisición de Datos prende un led de color blanco.

El circuito final creado con la técnica de "circuitos impresos". Es mostrado en la figura 5.18



Figura 5.18. Tarjeta de Adquisición de Datos

5.10. Programa en lenguaje G de LabVIEW

En la figura 5.19, se muestra el Diagrama de Bloques de programa que se realizó en LabVIEW.

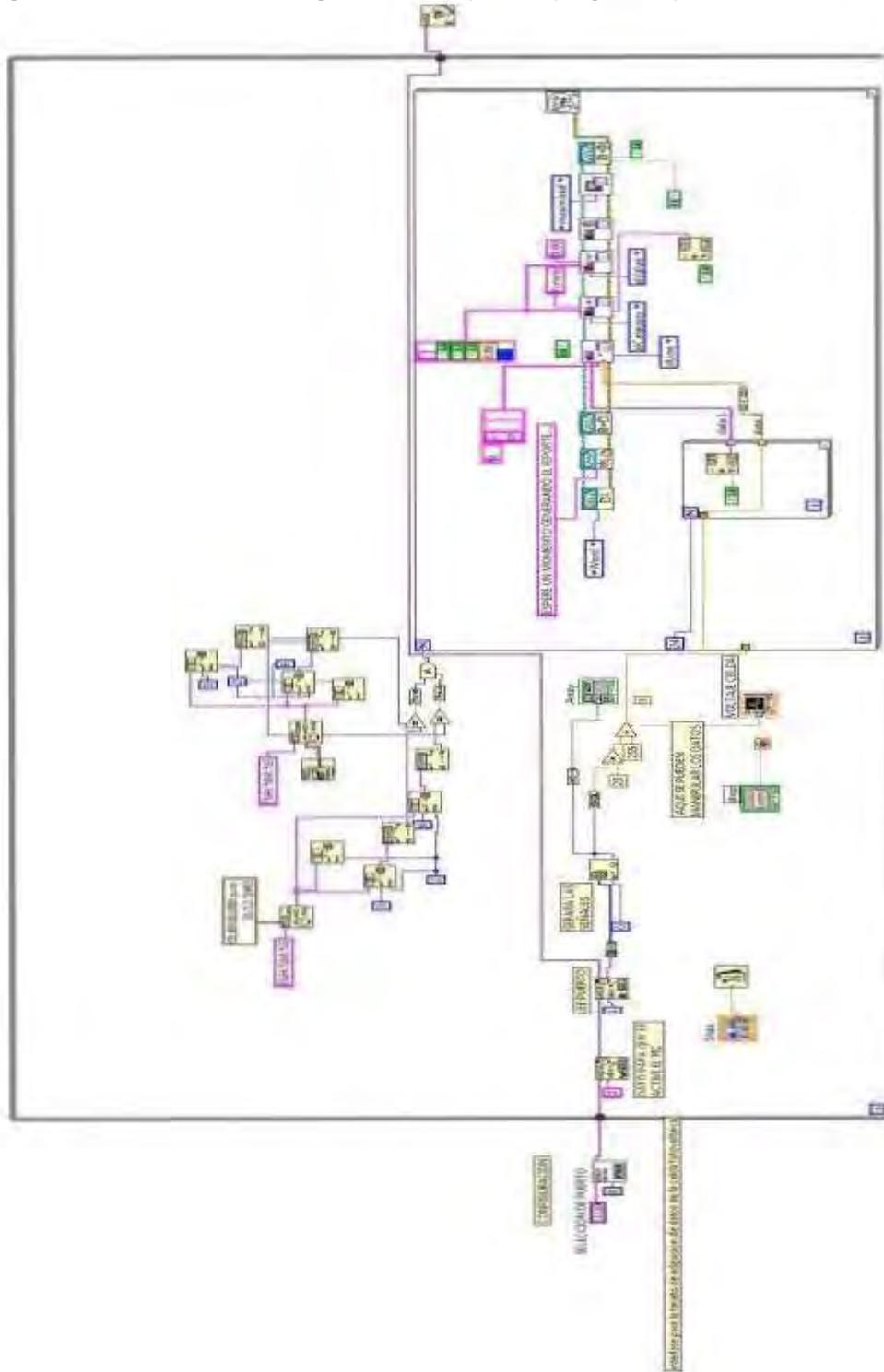


Figura 5.19. Programa en Lenguaje G de LabVIEW.

5.11. Ejecución del programa.

Se selecciona en el panel frontal de LabVIEW el puerto donde se realizó la conexión USB del circuito. Ver figura 5.20.

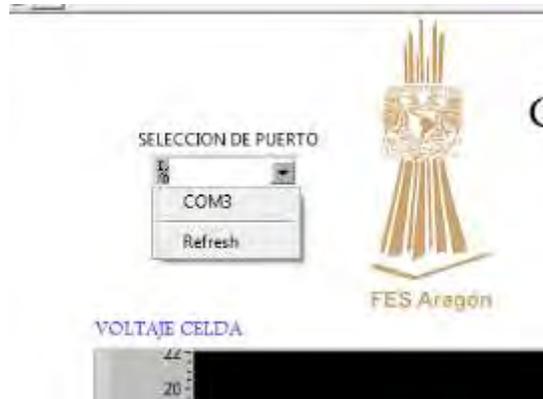


Figura 5.20. Selección del puerto Serie en el Panel Frontal

Se ejecuta el programa. En la tarjeta de Adquisición de datos debe de prender el led rojo, indicando que la transmisión se está llevando acabo.

Debajo de la gráfica hay un control deslizante, su función es solamente para aumentar la frecuencia de visualización de datos en tiempo real, no modifica la frecuencia de muestreo del microcontrolador. Ver figura 5.21.

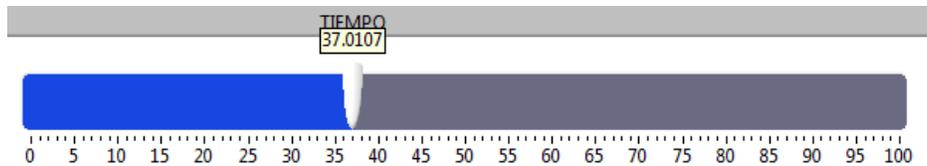


Figura 5.21. Control de tiempo de visualización de datos.

Para detener el programa solo se da un click en el botón de stop o en el botón de abort en el menú de controles de ejecución.

El programa fue diseñado para que grafique la señal adquirida en tiempo real en el panel frontal después de pasar por el proceso de conversión analógico-digital. En la figura 5.22 se puede ver que el programa se está ejecutando.

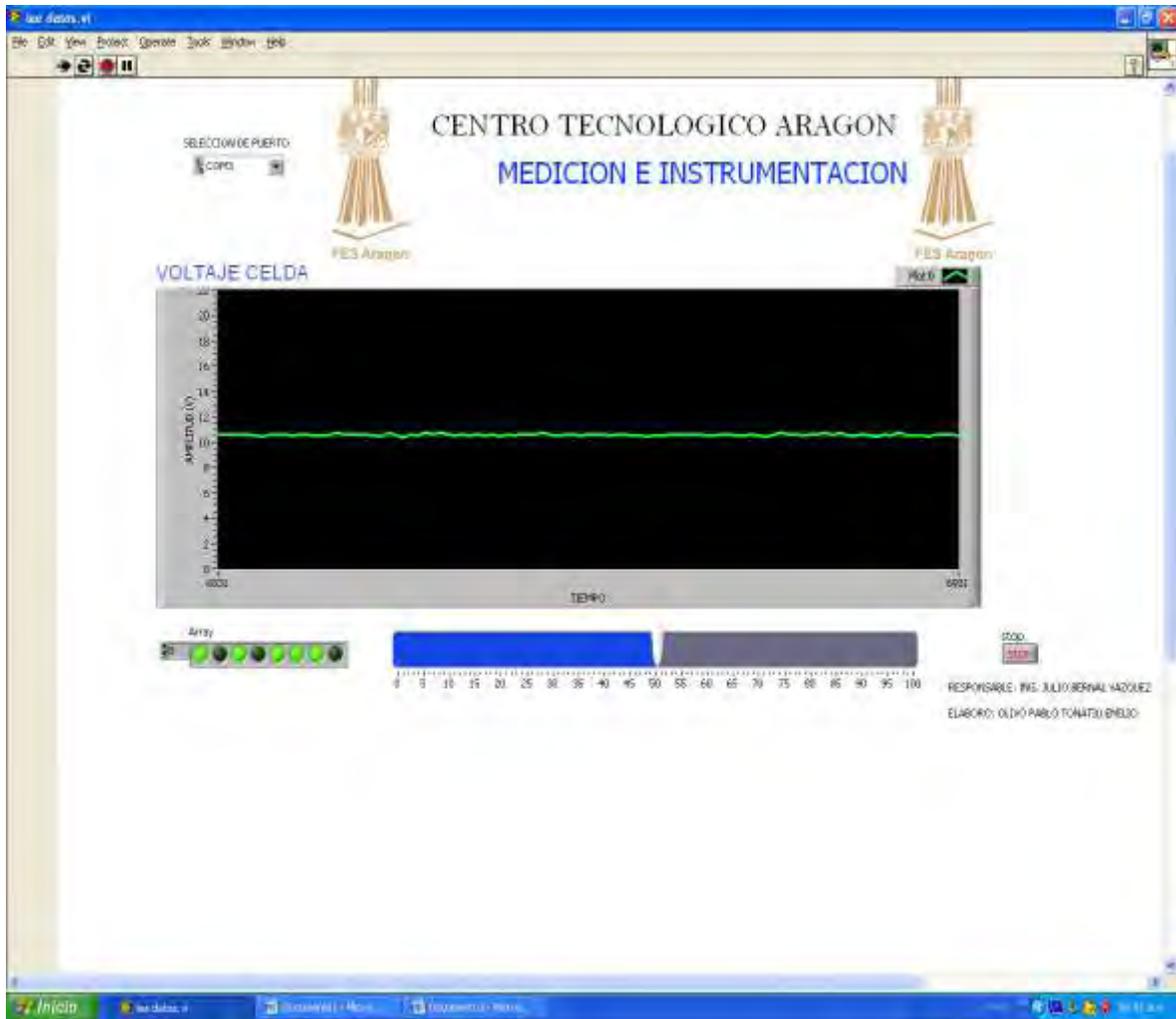
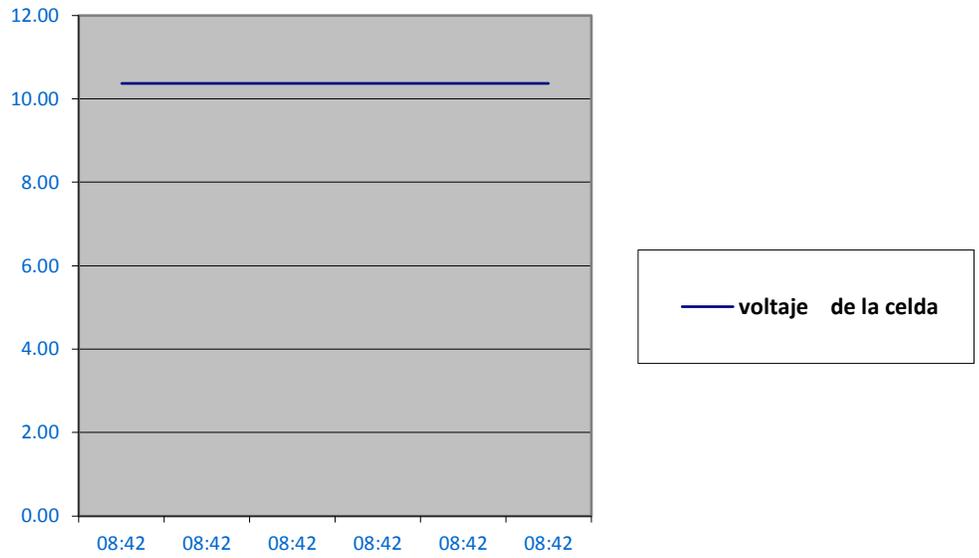


Figura 5.22. Ejecución del programa y graficado en tiempo real.

5.12. Adquisición de Datos.

Posteriormente en un archivo nuevo en Microsoft Office Word, se genera otra grafica con los datos de tiempo y voltaje adquiridos en ese momento. Esto se realiza cada hora, a partir de que se ejecute el programa.

A continuación se muestran los reportes generados por la Tarjeta de adquisición de datos y el programa en LabVIEW, en la aplicación de Microsoft Office Word, con datos reales. El mismo fue conectado desde las 8:30 am hasta las 6:00pm en un día con mucha nubosidad.



11/10/2011

Figura 5.23. Reporte a las 8:42 hrs

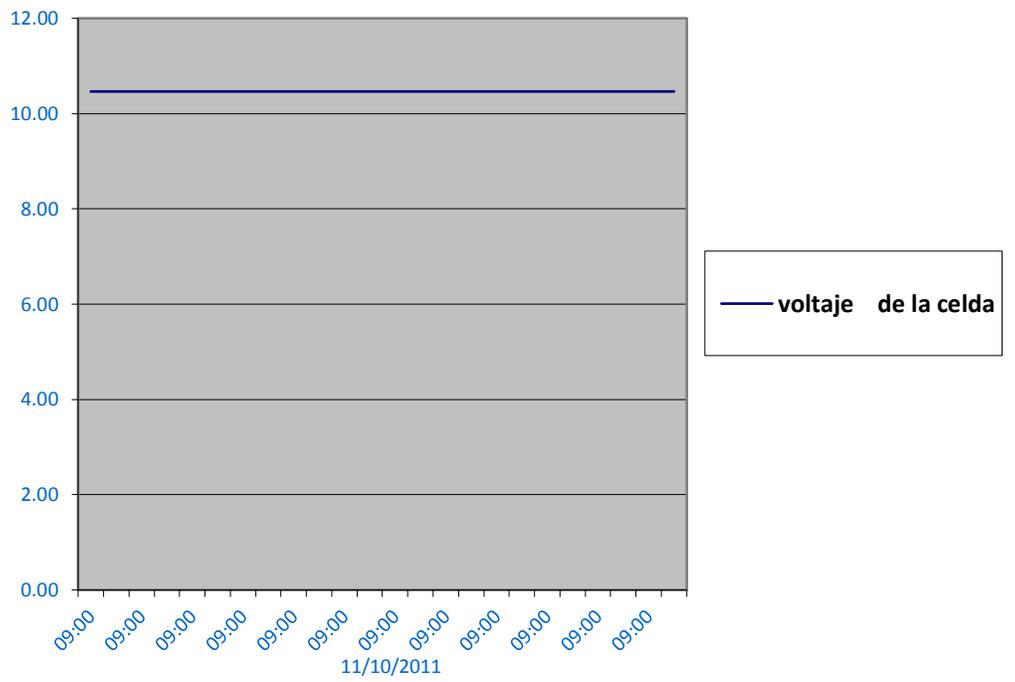


Figura 5.24. Reporte a las 9:00 hrs

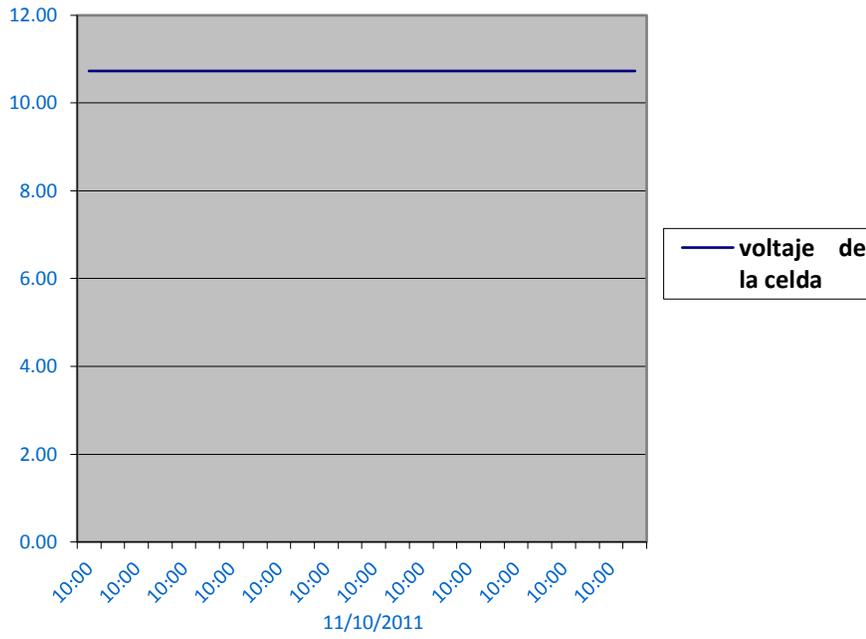


Figura 5.25. Reporte a las 10:00 hrs

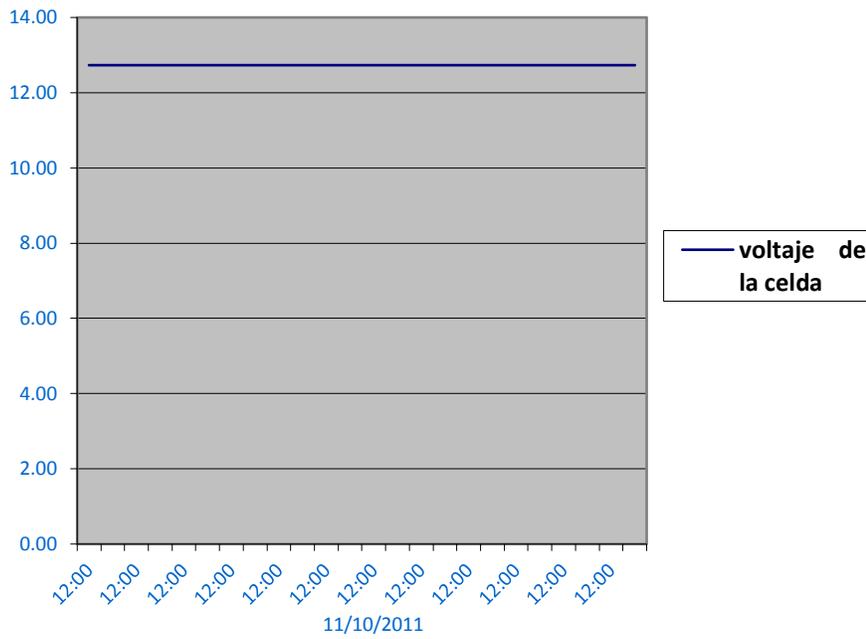


Figura 5.26. Reporte a las 12:00 hrs

CONCLUSIONES

Es importante hacer conciencia sobre los problemas que ocasiona el abuso desmedido de las fuentes de energía tradicionales, sobre todo las que generan CO₂. Por ese motivo el promover el uso de energías renovables y limpias es un factor primordial que debe adoptar la sociedad, como se dijo en capítulos anteriores, la energía fotovoltaica es una de las alternativas; aunque se están mejorando los métodos de generación de tensión de las células solares, todavía falta un camino largo por recorrer.

También es importante señalar, que el construir un sistema sustentable de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos para una casa habitación, aún tiene un costo muy elevado como para que una familia promedio en México lograra solventar la construcción de un sistema de este tipo. Por ese motivo se recomienda usar este sistema para aplicaciones en específico.

El lenguaje para microcontroladores basados en C, es más rápido de aprender y para aplicar a los dispositivos, el único inconveniente radica en que generan mucho código basura al momento de compilar, por lo que la capacidad de memoria se ve afectada considerablemente. Por esa razón se recomienda usar este tipo de programación en aplicaciones sencillas, donde no se necesite tener un control alto de los módulos y periféricos del pic.

La programación en G de LabVIEW, se considera de autoaprendizaje debido a que contiene librerías y archivos de ejemplo así como también asesorías en línea directamente con representantes de NI. LabVIEW es una herramienta que resuelve los problemas de control de prácticamente cualquier aplicación electrónica.

El sistema de adquisición de datos propuesto en este proyecto, es fácil de construir si se tienen conocimientos básicos en microcontroladores y de programación en C, haciendo un especial paréntesis en que este sistema se puede mejorar haciéndolo mucho más eficiente aplicando otros lenguajes de programación y/o dispositivos.

Esta tarjeta es de muy bajo costo, comparándolo con los sistemas Adquisición de Datos que se venden en el mercado.

Los resultados obtenidos del sistema en conjunto indican una buena precisión en el almacenamiento y procesamiento de datos, debido a que al hacer, una comparación de los datos con un multímetro digital de alta precisión, estos fueron muy aproximados a los reales, aclarando nuevamente que se puede aumentar la resolución del módulo ADC del PIC, como se dijo anteriormente solo se está trabajando con una resolución de 8bits aunque el microcontrolador tiene capacidad de 10bits.

Con el microcontrolador PIC18F4550, se puede crear una tarjeta de adquisición de datos de hasta 13 entradas analógicas diferentes, programando su tiempo necesario para la ADC y para la transmisión de los datos, es por eso que este proyecto queda abierto para dar pauta a mejorar el funcionamiento del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

Jutgla, L. (2004). *Energía solar*. Barcelona: Ceac.

Brinkworth, H. B. (1981). *Energía solar para el hombre*. Madrid: Herman Blume

Castañeda, L. (1994). *Energía solar fotovoltaica*. Universidad Politécnica de Catalunya: UPC

Jiménez, B. E. (2001). *La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. México: Limusa.

Alcalde. San Miguel, P (2010). *Electrónica Aplicada*. Madrid: Paraninfo S.A.

Meinel, A. B. y Meinel M.P. (1982). *Aplicaciones de la energía solar*. España: Reverte S. A.

Edminister, J. A. y Nahvi, M. (1997). *Circuitos eléctricos*. Shaum: Mc Graw Hill.

Guzman Bautista, I. (1996). *Diseño de un prototipo generador de energía eléctrica en base a celdas solares*. México: Tesis UNAM-FES Aragón.

Tapia Reyes, J. (1998). *Tarjeta de adquisición de datos utilizando el MC-805*. México: Tesis UNAM-FES Cuautitlán.

Boylestad, R. y Ashelsky, L. (2002). *Electrónica teoría de circuitos y dispositivos electrónicos, 8ª Ed.* México: Pearson Educación.

Valdez Pérez, F. y Pallas, R. (2007). *Microcontroladores: fundamentos, aplicaciones con pic*. España: Marcambo S. A.

Lara, J y Pelegri J. (2007). *Labview. Entorno Grafico de Programación*. México: Alfaomega.

Garcia Brijo, E. (2008). *Compilador C CCS y Simulador proteus para microcontroladores pic*. México: Alfaomega.

Cánovas, A. (2009). *Manual de usuario del compilador PCW de CCS C compiler para Microchip PICmicro MCUs*. España (inédito).

Manual *Pickid 3 User Guide 517958*. MICROCHIP INC.

Data Sheet *PIC18f2455/2550/4455/4550*. MICROCHIP INC.