



UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y AMBIENTAL
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**“DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALUMBRADO PÚBLICO CON
MONITOREO BASADO EN PANELES SOLARES
EN EL DISTRITO DE PARCONA – DEPARTAMENTO DE ICA”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR
EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES

**PRESENTADO POR EL BACHILLER
VILLAVICENCIO JIMENEZ, SERGIO CARLOS ANDRES**

Villa El Salvador

2016

DEDICATORIA

A mis Padres por su constante apoyo y sabios consejos que han sido base fundamental de mis estudios.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis Padres por su constante apoyo y sabios consejos que han sido base fundamental de mis estudios.

A mi novia Janeth por su apoyo incondicional durante mi carrera universitaria.

Mi agradecimiento al M.Sc. Ing. Orlando Ortega, asesor de la presente Trabajo de Investigación, por la colaboración con sus conocimientos y apoyo al desarrollo de todo el Proyecto.

A los Integrantes del Grupo de Robótica UNTELS que de una u otra manera aprendimos que solo con esfuerzo, sacrificio y perseverancia seremos Ganadores.

INDICE

| | |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN | 10 |
| CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 11 |
| 1.1 Descripción de la realidad problemática..... | 11 |
| 1.2 Justificación el Problema..... | 11 |
| 1.3 Delimitación de la Investigación..... | 12 |
| 1.3.1 Espacial..... | 12 |
| 1.3.2 Temporal..... | 12 |
| 1.4 Formulación del Problema..... | 12 |
| 1.5 Objetivos..... | 12 |
| 1.5.1 Objetivos Generales..... | 12 |
| 1.5.2 Objetivos Específicos..... | 12 |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO | 13 |
| 2.1 Antecedentes..... | 13 |
| 2.2 Bases Teóricas..... | 14 |
| 2.2.1 Energía Solar..... | 14 |
| 2.2.2 Angulo de Incidencia..... | 16 |
| 2.2.3 Efectos de la Radiación Incidente sobre Materiales..... | 17 |
| 2.2.4 Radiación Solar en el Perú..... | 17 |
| 2.2.5 Sistemas de Seguimiento Solar..... | 18 |
| 2.2.6 Paneles Solares..... | 20 |
| 2.2.7 Baterías de Ciclo Profundo..... | 21 |
| 2.2.8 Protocolo Zigbee..... | 21 |
| 2.2.9 Modulo XBee – PRO..... | 23 |
| 2.2.10 Microcontroladores..... | 24 |
| 2.3 Marco Conceptual..... | 26 |
| 2.3.1 Irradiancia..... | 26 |
| 2.3.2 Irradiación..... | 26 |
| 2.3.3 Modulación por Ancho de Pulso (PWM)..... | 26 |
| 2.3.4 LabView..... | 27 |
| 2.3.5 Led..... | 27 |
| 2.3.6 Panel Solar..... | 27 |

| | |
|---|-----------|
| 2.3.7 Sensor..... | 27 |
| 2.3.8 Sensorica..... | 27 |
| 2.3.9 Grados de Protección..... | 27 |
| CAPÍTULO III: DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALUMBRADO PÚBLICO..... | 28 |
| 3.1 Análisis del Modelo..... | 28 |
| 3.1.1 Análisis del Lugar de Estudio..... | 28 |
| 3.1.2 Requerimientos del Diseño..... | 30 |
| 3.1.3 Planteamiento de la Solución..... | 30 |
| 3.1.4 Diagramas del Sistema..... | 31 |
| 3.2 Control del Proceso..... | 32 |
| 3.2.1 Estrategia de Control..... | 33 |
| 3.3 Diseño Del Sistema..... | 36 |
| 3.3.1 Estimación del Consumo Energía..... | 36 |
| 3.3.2 Dimensionado de Paneles Solares..... | 38 |
| 3.3.3 Dimensionado de la Batería..... | 40 |
| 3.3.4 Dimensionado del Regulador..... | 42 |
| 3.3.5 Dimensionado del Farol LED..... | 43 |
| 3.3.6 Dimensionado del sistema de seguimiento Solar..... | 44 |
| 3.3.7 Diseño del Controlador del Sistema..... | 45 |
| 3.3.8 Diseño de la Interfaz Gráfica..... | 46 |
| 3.4 Simulación del Sistema..... | 48 |
| 3.4.1 Simulación en LabView..... | 48 |
| CONCLUSIONES..... | 50 |
| RECOMENDACIONES..... | 51 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 52 |
| ANEXOS..... | 53 |
| A. Diagrama de Flujo del Transmisor..... | 53 |
| B. Diagrama de Flujo del Receptor..... | 54 |
| C. Cuadro comparativo de la Familia XBEE..... | 55 |
| D. Características de Módulos RF XBEE Y XBEE PRO..... | 56 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 2.1: Ilustración de Radiación Difusa y Directa..... | 15 |
| Figura 2.2: Angulo de Incidencia..... | 16 |
| Figura 2.3: Incidencia Solar al Medio Día y Al Atardecer..... | 16 |
| Figura 2.4: Inclinação del Eje de rotación terrestre 23,5°..... | 19 |
| Figura 2.5: Eclíptica del Sol en invierno y verano..... | 19 |
| Figura 2.6: Ilustración de un arreglo de Paneles Monocristalinos..... | 20 |
| Figura 2.7: Topologías en la red Zigbee..... | 23 |
| Figura 2.8: Tipos de Módulos XBee – PRO..... | 24 |
| Figura 2.9: Esquema Básico de un microcontrolador..... | 25 |
| Figura 3.1: Mapa del Distrito de Parcona..... | 28 |
| Figura 3.2: Mapa Solar del Perú..... | 29 |
| Figura 3.3: Diagrama General del Prototipo..... | 31 |
| Figura 3.4: Diagrama del Regulador Cargador Solar..... | 32 |
| Figura 3.5: Diagrama de Bloques del Controlador a Medida..... | 32 |
| Figura 3.6: Diagrama de Bloques para el Control del Proceso..... | 33 |
| Figura 3.7: Control PID de una Planta | 33 |
| Figura 3.8: Ingreso de coordenadas del Distrito de Parcona..... | 37 |
| Figura 3.9: Panel TS150M..... | 39 |
| Figura 3.10: Batería YUASA NP65-12..... | 41 |
| Figura 3.11: Regulador Cargador Solar..... | 43 |
| Figura 3.12: Farol LED Modelo FH-LD30W..... | 43 |
| Figura 3.13: Detector tipo paraguas..... | 44 |
| Figura 3.14: Actuador Lineal Eléctrico..... | 44 |
| Figura 3.15: Diseño del Controlador con PIC18F4550..... | 45 |
| Figura 3.16: Interfaz de Monitoreo..... | 46 |
| Figura 3.17: Programación de la Interfaz de Monitoreo..... | 47 |
| Figura 3.18: Funcionamiento Diurno..... | 48 |
| Figura 3.17: Funcionamiento Nocturno..... | 49 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 2.1: Comparación entre protocolos inalámbricos..... | 22 |
| Tabla 2.2: Familia de Microcontroladores..... | 26 |
| Tabla 3.1: Tabla de Consumo de Energía..... | 36 |
| Tabla 3.2: Tabla de radiaciones Solares..... | 38 |
| Tabla 3.3: Características de la Batería YUASA NP65-12..... | 41 |

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación se denomina “Diseño de un prototipo de Alumbrado Público con Monitoreo basado en paneles solares en el Distrito de Parcona – Departamento de Ica”, para optar el título de Ingeniero Electrónico y Telecomunicaciones presentado por el bachiller Sergio Carlos Andres Villavicencio Jimenez.

En la actualidad la radiación solar es una de las fuentes de Energías Ecológicas virtualmente inagotable, esta puede transformarse en energía Eléctrica a través de paneles Fotovoltaicos. La aplicación de estos Paneles en las zonas urbanas y rurales es una alternativa sostenible que cada día cuenta con mayor presencia en nuestro país.

El diseño adecuado de sistemas Fotovoltaicos de acuerdo a la ubicación geográfica puede cubrir la demanda de suministro Eléctrico para la iluminación Publica en las zonas rurales más alejadas, convirtiéndose este en la base de estudio de nuestro proyecto, el cual busca diseñar un prototipo de alumbrado público con monitoreo basado en paneles solares el cual estudiaremos y aplicaremos en el distrito de Parcona – Departamento de Ica.

La estructura que hemos seguido en este proyecto se compone de tres capítulos. El Primer Capítulo comprende el Planteamiento del Problema, El Segundo Capítulo El Desarrollo del Marco Teórico y El Tercer Capítulo corresponde al diseño del proyecto.

Sergio Carlos A. Villavicencio Jimenez

CAPÍTULO I:

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

En la actualidad el uso de energías renovables toma mayor presencia en nuestro país, la utilización de Energía Solar, como fuente alternativa ecológica sostenible, tales como los sistemas con paneles solares cuya aplicación eficiente cubre la demanda de suministro eléctrico para la iluminación Pública en zonas urbanas y rurales. Considerando el Distrito de Parcona situado en Provincia de Ica del Departamento de Ica, que posee un clima cálido desértico de tipo subtropical seco, de acuerdo a su ubicación geográfica cuenta con un índice de radiación solar promedio anual de 5.9 KW h/m² el cual permite obtener las condiciones necesarias para la aplicación de nuestro trabajo de Investigación.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La necesidad de buscar nuevas opciones de fuentes de energía ecológicas, con llevan al uso de sistemas basados en paneles solares como fuente de energía eléctrica alternativa, en tal sentido podemos utilizar en la iluminación pública eficientemente en el Distrito de Parcona. Estos sistemas de alumbrado público basado en paneles solares se encuentran monitoreados remotamente las cuales se obtienen parámetros sensoricos, que permiten realizar ajustes en el control del sistema mejorando el desempeño en su funcionamiento. El interés investigativo de proponer una posible solución sobre la problemática planteada,

es una alternativa viable debido a que en el Distrito de Parcona cuenta con todas las condiciones necesarias del trabajo de investigación.

1.3 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Espacial: Se realizará el estudio en el Distrito de Parcona, Provincia de Ica, Departamento Ica

1.3.2 Temporal: Comprende el periodo de Setiembre 2014 – Febrero 2015

1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

De qué manera el diseño de un prototipo de Alumbrado Público con monitoreo influyen al uso de Paneles Solares en Distrito de Parcona – Departamento de Ica.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivos Generales

Explicar un diseño de un Prototipo de Alumbrado Público con monitoreo basado en Paneles Solares en el distrito de Parcona – Departamento Ica.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Dimensionamiento del Alumbrado Público basado en paneles solares.
- Diseño un sistema de monitoreo y control integrado.

CAPÍTULO II:

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

En los últimos años el uso de energías ecológicas han venido aplicándose recientemente, uno de estos es la aplicación de paneles Solares en la Iluminación Pública. Estudios recientes realizados por Investigadores de la Universidad de Piura, a través de su investigación denominada:

“Alumbrado Público con Energía Renovables en la Universidad de Piura” en el que se menciona “Que una de las Energías Renovable con mayor aprovechamiento es la energía fotovoltaica, uso de paneles mono cristalinos, que presentan una disposición simétrica del material que permite una mayor eficiencia entre 15% y 18%”.

El Magister Oscar Tacza Casallo en su trabajo de investigación denominado:

“Energía Solar Fotovoltaico en el Distrito de Orcotuna Región Junín” presentado en Universidad Nacional de Callao precisa en su resultado “Que es posible proporcionar la energía eléctrica para iluminar 65 viviendas con energía solar mediante placas fotovoltaicas que están formado por materiales de tipo semiconductores”.

Existen trabajos de investigación que se encuentra relacionados con el estudio de la iluminación pública basado en paneles solares como la tesis de Néstor José Lazo Flores denominado:

“Diseño de un Sistema con Paneles Solares para Cargar Baterías y Energizar Motores de Picadoras en una Comunidad Agrícola” de la Pontificia Universidad Católica del Perú en el que menciona “El índice de incidencia Solar debido a la ubicación en el mapa de la comunidad agrícola Micaela Batidas, favorece a la obtención de suficiente energía para alimentar al motor de picadora de 5HP y el controlador de carga. Sistema, en general, es capaz de suministrar hasta 6528W de potencia”.

La Investigación de Frank Roger Loauza Ochoa tesis de la Pontificia Universidad Católica del Perú denominada:

“Diseño e Implementación de un Seguidor Solar para el control Electrónico de un Reflector Scheffler”, en su análisis de resultados menciona “Durante la evaluación del Seguidor Solar se puede constatar que el viento puede llevar a un estado de inestabilidad al mecanismo de giro, esto no se tuvo en cuenta al momento del diseño y su construcción, pero deja abierto un tema a discutir en sistemas de seguimiento solar con control realimentado. La fuerza del viento (como variable perturbadora) debe ser eliminada. El seguidor solar de este proyecto presenta un modelo de control a lazo abierto. Un modelo de control a lazo cerrado eliminaría las perturbaciones”.

2.2 BASES TEÓRICAS

En este capítulo se brindará conceptos y teorías que se utilizará para desarrollar el trabajo de Investigación.

2.2.1 Energía Solar

La energía solar es un tipo de energía renovable que se obtiene de las radiaciones que emite el Sol, aprovechando tanto la luz como el calor. Actualmente es una de las más desarrolladas a nivel mundial.

La energía solar es una de las energías renovables más abundantes en la Tierra, actualmente la energía total consumida es equivalente a la cuarta parte de la energía emitida por el sol en un año. Es por esta razón que presenta todo un abanico de diversas aplicaciones.

La radiación solar se clasifican de acuerdo al fenómeno de procedencia en:

- Radiación directa: Es la proveniente del disco solar sin sufrir variaciones en su dirección original. Se caracteriza porque produce sombra y puede concentrarse mediante lentes o redirigirse por medio de espejos, esta radiación es la única aprovechable.
- Radiación difusa: Es la proveniente de cualquier dirección del cielo, exceptuando el disco solar. No produce sombras ni puede enfocarse con instrumentos ópticos.

A la suma de ambas se la conoce como radiación global. La distribución de la radiación entre directa y difusa depende de las condiciones de la atmósfera. En días muy claros, la radiación directa puede llegar a ser del 85%, mientras que en días cubiertos la radiación difusa supone el 100% de la radiación global.

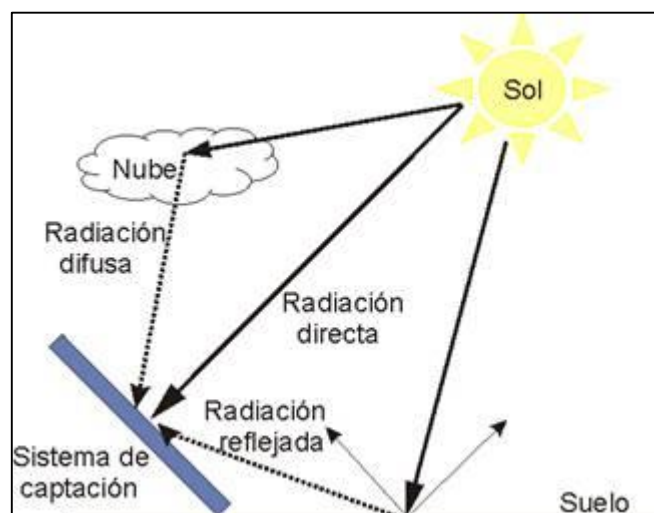


Figura 2.1: Ilustración de Radiación Difusa y Directa

2.2.2 Angulo de Incidencia

El ángulo de incidencia es el formado por la normal a la superficie y la dirección de propagación de la radiación solar. Éste ángulo influye en dos aspectos:

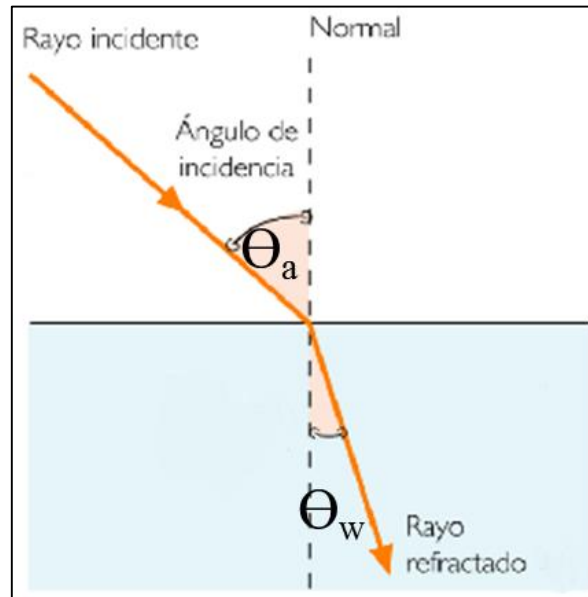


Figura 2.2: Angulo de incidencia

- La radiación solar es menos intensa cuando el ángulo de incidencia es mayor. Al mediodía, cuando los rayos solares caen perpendicularmente a la superficie terrestre (su ángulo de incidencia es nulo) son más intensos que al atardecer (ángulo de incidencia máximo).

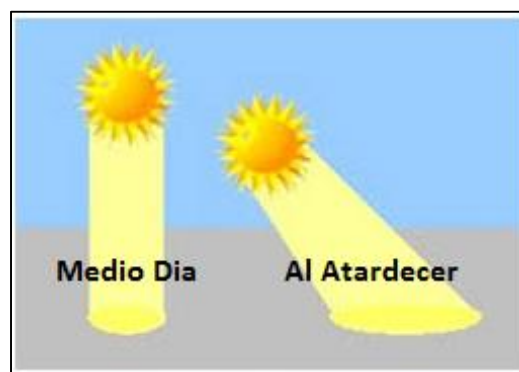


Figura 2.3: Incidencia Solar al Medio Día y Al Atardecer

- La cantidad de atmósfera que atraviesa la radiación también depende del ángulo de incidencia.

2.2.3 Efectos de la Radiación Incidente sobre Materiales

Se producen tres efectos de la radiación Incidente sobre los Materiales:

- Absorción: el material absorbe la radiación.
- Reflexión: el material rechaza y devuelve la radiación.
- Refracción: la radiación traspasa el material, pudiendo variar su dirección según el ángulo de incidencia. Si la radiación incide perpendicularmente al material, ésta no variará su dirección.

2.2.4 Radiación Solar en el Perú

Nuestro País está considerado entre los 6 países con mayor incidencia de energía solar en el planeta. Al encontrarse entre el paralelo $0^{\circ} 08'$ Latitud Norte y $18^{\circ} 13'$ Latitud Sur, dentro de los trópicos, dispone de energía solar con poca variación anual, en comparación con latitudes medias y altas.

Los valores extremos de radiación solar, son en promedio de 340 y 150 W/m² durante los meses de verano e invierno, respectivamente; esto es ignorando la presencia de la capa atmosférica. Esta poca variación se atribuye al hecho que en estas latitudes los rayos solares son casi perpendiculares a la superficie terrestre durante todo el año, dando lugar a una máxima incidencia de la radiación solar por unidad de área y tiempo.

La presencia de la atmósfera reduce considerablemente la radiación solar incidente sobre la superficie de la tierra, puesto que la atmósfera, en función a sus constituyentes gaseosos y aerosoles presentes en ella, tiene la capacidad de absorber, dispersar y reflejar la radiación solar. Así por ejemplo, las cifras antes citadas, se reduce aproximadamente a 240 y 100 W/m², si se considera que la atmósfera transmite solo un 70% de la radiación solar. La cantidad de radiación transmitida por la atmósfera es menor si mayor es la concentración de

Ozono, vapor de agua, dióxido de carbono y aerosoles en la atmósfera. La concentración y cantidad de los 3 últimos disminuye con la altitud; por esta razón en el Perú, debido a su orografía la radiación solar incidente aumenta considerablemente en la Sierra peruana. Esta región se encuentra principalmente entre los 2000 y 3000 metros de altitud y ocupan un 30 % del territorio nacional. En las zonas de mayor altitud; como la Meseta Titicaca y las Pampas de Junín, la radiación incidente es mucho mayor.

La intensidad y cantidad de radiación solar incidente sobre la superficie es también controlada por la clase y cantidad de nubes presentes durante el día, y aquellas predominantes durante el año. En la costa peruana, específicamente en Pisco -Ica y Costa Norte, el cielo está despejado casi todo el año permitiendo una mayor incidencia de radiación solar. En el resto de la costa baja, la radiación solar incidente aumenta marcadamente de invierno a verano por efectos estacionales y la disminución de la nubosidad. En la sierra ceja de selva, la nubosidad es mínima o nula en el invierno y la cantidad de vapor de agua es muy pequeña. Las nubes predominantes en la Sierra y Selva son de corta vida durante el verano, lo cual no disminuye mucho la radiación incidente sobre la superficie.

2.2.5 Sistemas de Seguimiento Solar

Se clasifican en dos tipos según su grado de libertad:

- **Sistemas de seguimiento solar en un eje:** Este tipo de sistemas es el más usado, debido a que la máxima variación entre Sol y panel ocurre en azimut, la variación en elevación se desprecia por considerarse de poca repercusión en términos de energía y porque se encarecen los costos de desarrollo. Sin embargo, la elevación se realiza en forma manual cada 6 meses, para temporada de invierno y verano, o bien se puede fijar en la mitad, para ambas estaciones.
- **Sistema de seguimiento solar en dos ejes:** Este tipo de sistemas es poco común, pueden seguir el Sol tanto en dirección como en elevación, lo que

implica tener dos actuadores, para variar la inclinación del panel en forma horizontal y vertical.

La variación de la elevación del Sol se produce por la inclinación del eje de rotación terrestre, de $23,5^\circ$ aproximadamente con respecto al plano de la órbita que describe alrededor del Sol y da origen a las estaciones del año.

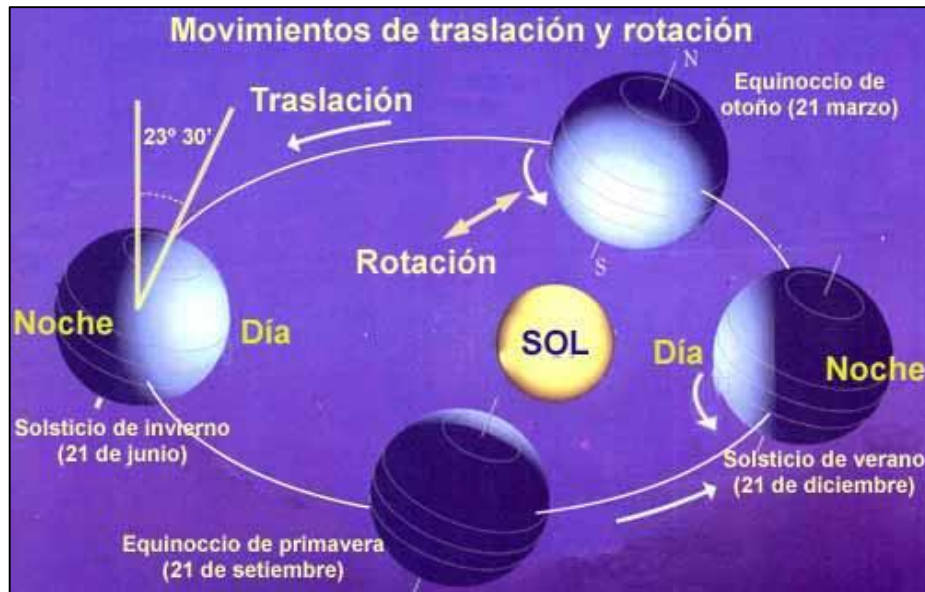


Figura 2.4: Inclinación del Eje de rotación terrestre $23,5^\circ$

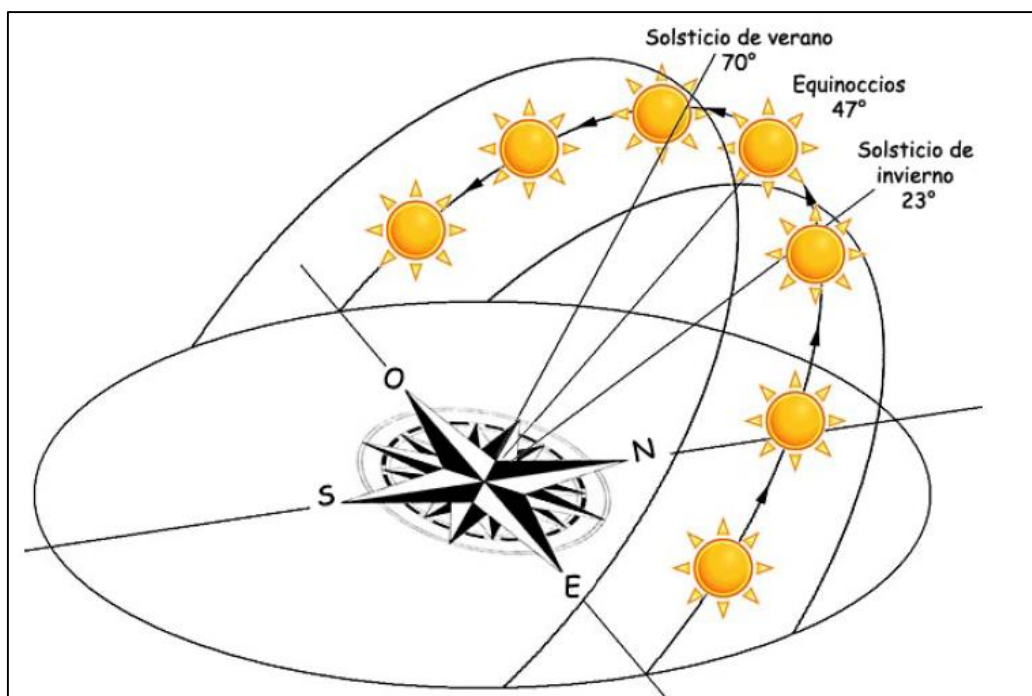


Figura 2.5: Eclíptica del Sol en invierno y verano

2.2.6 Paneles Solares

También conocidos como Paneles Fotovoltaicos, estos aprovechan la energía de la radiación solar a la que son expuestos para generar electricidad. Un panel solar se encuentra constituido por distintas celdas en las cuales incide la luz y ésta se convierte en electricidad, tratándose de una tecnología limpia que no compromete al medio ambiente.

Existen 2 tipos de paneles usados:

- Paneles Monocristalinos: Formados por sólo un tipo de cristal de silicio, esto se logró controlando el crecimiento el cristal para que se formara en una única dirección, obteniendo de esta manera un alineamiento bastante perfecto de los componentes.
- Paneles Policristalinos: Formado por un conjunto de cristales muy distintos entre sí pero unidos, debido a que el cristal de silicio no es controlado, con lo cual este crece en diversas direcciones.

Los paneles monocristalinos por su estructura vienen a ser los más eficientes, pues de toda la energía solar que incide, únicamente entre el 15% - 18% se convierte en energía convencional.



Figura 2.6: Ilustración de un arreglo de Paneles Monocristalinos

2.2.7 Baterías de Ciclo Profundo

Se conoce como batería o acumulador, a aquel dispositivo recargable que almacena la energía por un determinado periodo de tiempo para luego devolver a un sistema la gran parte de esta energía guardada. Repitiendo este ciclo por un número finito de veces.

Existen diversos tipos de baterías según su naturaleza interna, entre las cuales tenemos: Baterías de Plomo – Ácido, Baterías de Níquel – Hierro, Baterías de Níquel – Cadmio, Baterías de Níquel – Hidruro Metálico, Baterías de Iones de Litio, Baterías de Polímero de Litio.

Se reconocen dos variaciones de baterías:

- Baterías de Ciclo Profundo
- Baterías de Ciclo Corto

Las últimas mencionadas, son conocidas también como baterías automotrices, proveen grandes cantidades de corriente en un período corto de tiempo, esta cantidad de corriente se usa para arrancar el motor y luego que el motor enciende es trabajo del alternador proveer la energía restante; lo que indica que este tipo de batería gasta su vida sólo descargándose cerca del 20% de su capacidad total. Específicamente se hace uso de las primeras pues se encuentran diseñadas para proporcionar una cantidad constante de corriente durante un periodo largo de tiempo, de esta manera, pueden descargarse hasta un 80% de su carga total funcionando el tiempo que se necesite, ya sea de forma consecutiva. Su vida útil suele ser de 10 a 12 años y medio aproximadamente.

2.2.8 Protocolo Zigbee

Las redes basadas en el protocolo Zigbee, en similitud con las que usan Bluetooth, son tecnologías inalámbricas de área personal que buscan un ahorro de energía sacrificando otros recursos del sistema como es el Ancho de Banda. Comparando los distintos grados de ahorro de energía entre estas 2 últimas tecnologías, Zigbee tendría un menor consumo energético. Esto se debe a que

el sistema Zigbee permanece la mayor parte del tiempo dormido, mientras que en una comunicación Bluetooth siempre se está transmitiendo o recibiendo. Para este tipo de tecnología se usa el estándar IEEE 802.15.4 que puede transmitir hasta 250Kbps. Por ejemplo, redes de sensores. A diferencia de WiFi que permite un máximo de 32 nodos y de Bluetooth que permite un máximo de 7 nodos, Zigbee permite la creación de redes de hasta 65000 nodos.

| Estándar | WI-FI (802.16) | Wimax (802.11) | Bluetooth (802.15.1) | Zigbee (802.15.4) |
|----------------------------|--------------------------|--------------------------|---|---------------------------------------|
| Aplicación Principal | WLAN | WMAN | WPAN (sustituir cable entre 2 dispositivos). | WPAN (control y monitorización) |
| Vida de Batería (días) | 0.5 - 5 | - | 1 - 7 | 100 – 1000+ |
| Tamaño Red (nodos) | 32 | escalable | 7 | 65000 |
| Velocidad (Kbps) | 54Mbps | 70Mbps | 720Kbps | 20 – 250 Kbps |
| Cobertura (metros) | 100 | 74000 | 10 | 1 - 100 |
| Parámetros más importantes | Velocidad y flexibilidad | Velocidad y flexibilidad | Coste y perfiles de aplicación | Fiabilidad, bajo consumo y bajo coste |

Tabla 2.1: Comparación entre protocolos inalámbricos

Una red Zigbee la forman básicamente 3 tipos de elementos. Un único dispositivo Coordinador, dispositivos Routers y dispositivos finales (end points).

- El Coordinador: Es el nodo de la red que tiene la única función de formar una red. Es el responsable de establecer el canal de comunicaciones y del PAN ID (identificador de red) para toda la red. Una vez establecidos estos parámetros, el Coordinador puede formar una red, permitiendo unirse a él a dispositivos Routers y End Points. Una vez formada la red, el Coordinador hace las funciones de Router, esto es, participar en el enrutado de paquetes y ser origen y/o destinatario de información.
- Los Routers: Es un nodo que crea y mantiene información sobre la red para determinar la mejor ruta para transmitir un paquete de información. Lógicamente un router debe unirse a una red Zigbee antes de poder actuar como Router retransmitiendo paquetes de otros routers o de End points.

- End Device: Los dispositivos finales no tienen capacidad de enrutar paquetes. Deben interactuar siempre a través de su nodo padre, ya sea este un Coordinador o un Router, es decir, no puede enviar información directamente a otro end device. Normalmente estos equipos van alimentados a baterías. El consumo es menor al no tener que realizar funciones de enrutamiento.

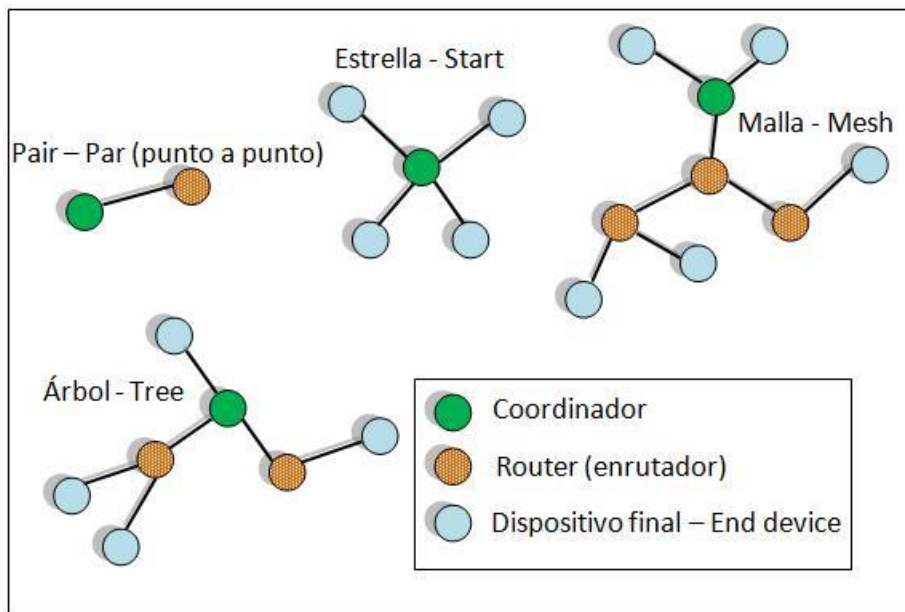


Figura 2.7: Topologías en la red Zigbee

2.2.9 Modulo XBee - PRO

Los módulos XBee son módulos de radio frecuencia que trabajan en la banda de 2.4 GHz con protocolo de comunicación 802.15.4

Son utilizados en automatización de casas, sistemas de seguridad, monitoreo de sistemas remotos, aparatos domésticos, alarmas contra incendio y todo tipo de aplicación que se requiera.

Los módulos XBEE-PRO tienen un alcance en interiores de hasta 100 metros y en exteriores el alcance es de hasta 1500 metros cuenta con una antena dipolo.

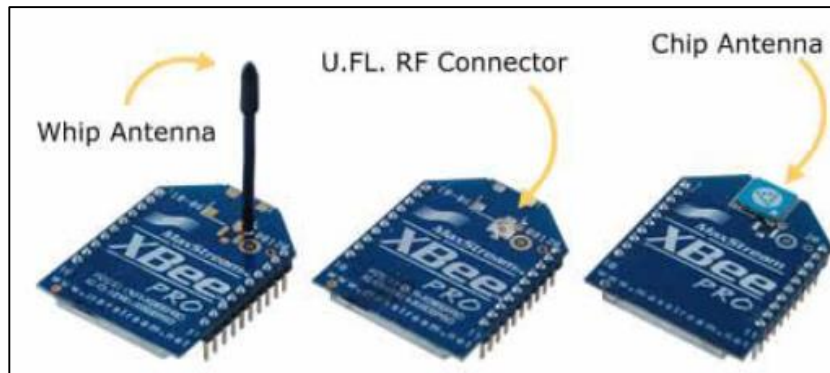


Figura 2.8: Tipos de Módulos XBee – PRO

Dimensiones:

Ancho: 24.38 mm

Largo: 32.94mm

Alto de antena: 25 mm

Los módulos tienen 6 convertidores analógico-digital y 8 entradas digitales además de RX y TX. Generan una red propia a la que puedes conectarte o desconectarte. Entre otras características a tener en cuenta hay que decir que son módulos micro procesados con lo cual tienes solucionados los problemas de fallo de trama, ruidos. Se comunican con un dispositivo RS232 a niveles TTL con lo cual la comunicación necesita un adaptador intermedio en el caso de un PC, pero pueden conectarse directamente a una placa de desarrollo. Ofrecen una velocidad de comunicación desde 1200 hasta 115.200 baudios pasando por todos los valores convencionales, también disponen de varias I/O que pueden ser configuradas para diferentes funciones.

La programación de estos módulos XBee pueden ser a través de una hyperterminal y una interface serial con un MAX3232, y una serie de comandos llamados AT. El fabricante de los módulos también facilita al usuario un software de programación llamado X-CTU

2.2.10 Microcontroladores

Es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales

cumplen una tarea específica. Un microcontrolador incluye en su interior las tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada y salida.

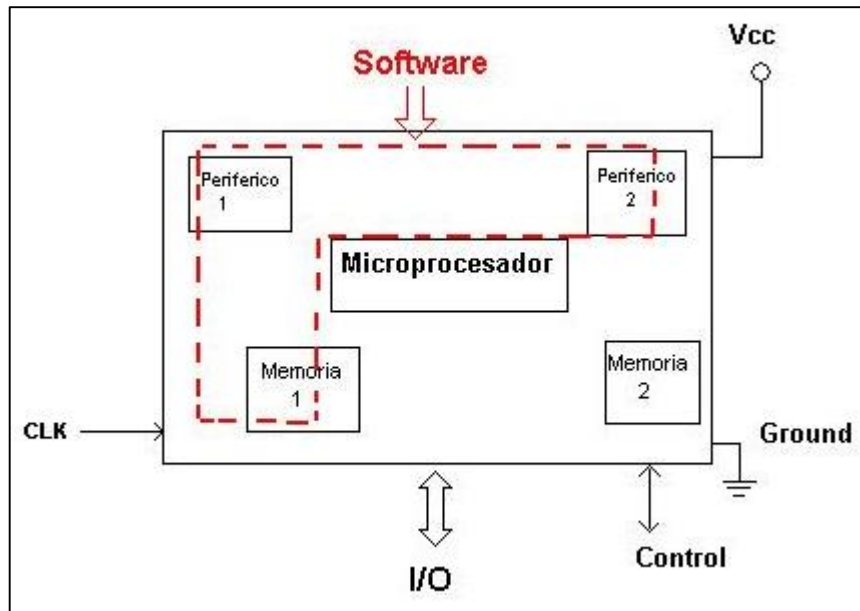


Figura 2.9: Esquema Básico de un microcontrolador

Algunos microcontroladores pueden utilizar palabras de cuatro bits y funcionan a velocidad de reloj con frecuencias tan bajas como 4 kHz, con un consumo de baja potencia (mW). Por lo general, tendrá la capacidad para mantener la funcionalidad a la espera de un evento como pulsar un botón o de otra interrupción, el consumo de energía durante el estado de reposo (reloj de la CPU y los periféricos de la mayoría) puede ser sólo nanovatios, lo que hace que muchos de ellos muy adecuados para aplicaciones con batería de larga duración. Otros microcontroladores pueden servir para roles de rendimiento crítico, donde sea necesario actuar más como un procesador digital de señal (DSP), con velocidades de reloj y consumo de energía más altos.

Cuando es fabricado el microcontrolador, no contiene datos en la memoria ROM. Para que pueda controlar algún proceso es necesario generar o crear y luego grabar en la EEPROM o equivalente del microcontrolador algún programa, el cual puede ser escrito en lenguaje ensamblador u otro lenguaje para microcontroladores; sin embargo, para que el programa pueda ser grabado en la memoria del microcontrolador, debe ser codificado en sistema numérico

hexadecimal que es finalmente el sistema que hace trabajar al microcontrolador cuando éste es alimentado con el voltaje adecuado y asociado a dispositivos analógicos y discretos para su funcionamiento.

| Empresa | 8 bits | 16 bits | 32 bits |
|---|---|---|---|
| Atmel | AVR (mega y tiny), 89Sxxxx familia similar 8051 | | SAM7 (ARM7TDMI), SAM3 (ARM Cortex-M3), SAM9 (ARM926), AVR32 |
| Freescale (antes Motorola) | 68HC05, 68HC08, 68HC11, HCS08 | 68HC12, 68HCS12, 68HCSX12, 68HC16 | 683xx, PowerPC, ColdFire |
| Holtek | HT8 | | |
| Intel | MCS-48 (familia 8048) MCS51 (familia 8051) 8xC251 | MCS96, MXS296 | x |
| National Semiconductor | COP8 | x | x |
| Microchip | Familia 10f2xx Familia 12Cxx Familia 12Fxx, 16Cxx y 16Fxx 18Cxx y 18Fxx | PIC24F, PIC24H y dsPIC30FXX, dsPIC33F con motor dsp integrado | PIC32 |
| NXP Semiconductors (antes Philips) | 80C51 | XA | Cortex-M3, Cortex-M0, ARM7, ARM9 |
| Renesas (antes Hitachi, Mitsubishi y NEC) | 78K, H8 | H8S, 78K0R, R8C, R32C/M32C/M16C | RX, V850, SuperH, SH-Mobile, H8SX |
| STMicroelectronics | ST 62, ST 7 | | STM32 (ARM7) |
| Texas Instruments | TMS370 | MSP430 | C2000, Cortex-M3 (ARM), TMS570 (ARM) |
| Zilog | Z8, Z86E02 | | |

Tabla 2.2: Familia de Microcontroladores

2.3 MARCO CONCEPTUAL

Definiciones o conceptos del problema de estudio.

2.3.1 Irradiancia

Es la potencia de la radiación solar (W) por m²: W/m².

2.3.2 Irradiación

Es la energía solar por m² durante un tiempo determinado (día, mes, año).
Unidades más frecuentes:

$$\text{Joules/m}^2 = W \cdot \text{s/m}^2$$

$$\text{KWh/m}^2 = 3.6 \cdot 10^6 \text{ Joules/m}^2$$

2.3.3 Modulación por Ancho de Pulso (PWM)

Es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica, ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga.

2.3.4 LabView

Es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico.

2.3.5 Led

Un led (de la sigla inglesa LED: Light-Emitting Diode, “diodo emisor de luz”) es un diodo semiconductor que emite luz.

2.3.6 Panel Solar

Es un dispositivo que aprovecha la energía de la radiación solar, se basan en el efecto fotovoltaico, que se produce cuando sobre materiales semiconductores, convenientemente tratados, incide la radiación solar produciendo electricidad.

2.3.7 Sensor

Es sensor es un dispositivo eléctrico o mecánico que convierte magnitudes físicas (Intensidad Lumínica, aceleración, temperatura, etc.) en valores medibles.

2.3.8 Sensorica

Hace referencia a diferentes tipos sensores para múltiples aplicaciones en la industria e investigación, pueden ser de señal analógica y señal Discreta.

2.3.9 Grados de Protección IP

Es un estándar internacional IEC 60529, utilizado en los datos técnicos de equipamiento eléctrico o electrónico.

CAPÍTULO III:

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ALUMBRADO PÚBLICO

3.1 ANALISIS DEL DISEÑO

3.1.1 Análisis del Lugar de Estudio

Para el análisis de nuestro lugar de estudio se ha considerado el Distrito de Parcona el cual se encuentra ubicado en la parte este del cercado de Ica, a 3 Kilómetros de la misma ciudad. Cuenta con una superficie de 17.39 km².

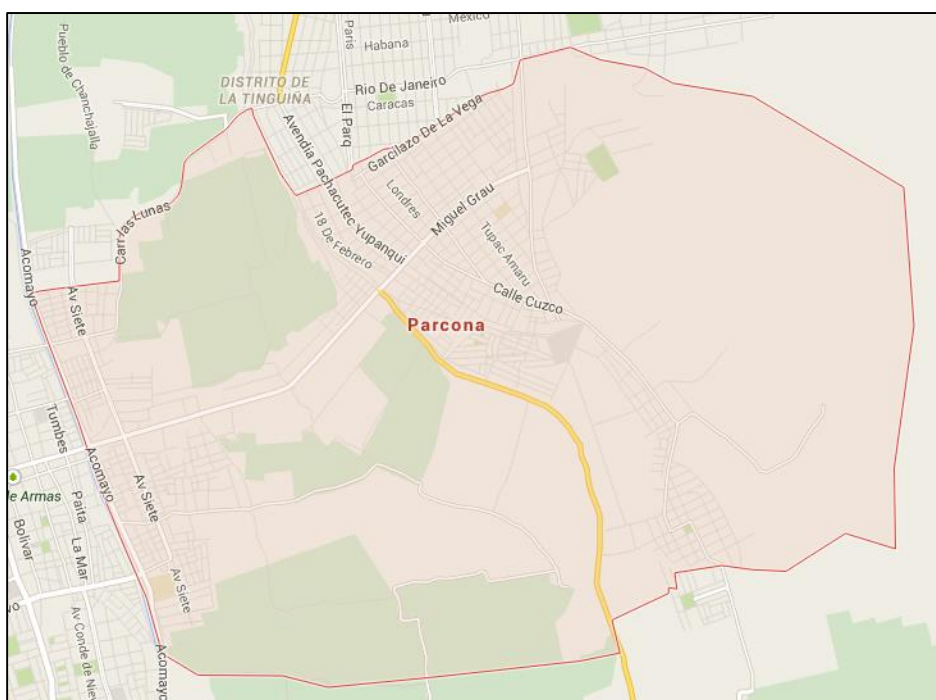


Figura 3.1: Mapa del Distrito de Parcona

De acuerdo a su ubicación geográfica cuenta con un índice de radiación solar promedio anual comprendido entre valores de 5.5 – 6.5 KW h/m², esto permite obtener la radiación necesaria para nuestro diseño el cual desarrollaremos.



Figura 3.2: Mapa Solar del Perú

3.1.2 Requerimientos del Diseño

Para el diseño de un prototipo de alumbrado público con monitoreo basado en paneles solares debemos tener las siguientes consideraciones:

- Sistema debe poseer un almacenador de energía de 12 voltios DC, las cuales debe soportar descargas profundas y suministrar la corriente necesaria para un funcionamiento promedio de 12 horas continuas.
- Para el Alumbrado se debe requiere compatibilidad con fuente 12 VDC y de gran iluminación y bajo consumo de corriente.
- Poseer un panel fotovoltaico capaz de recargar al almacenador de energía por completo en un día promedia con brillo solar.
- Poseer un actuador de bajo consumo de corriente y alto desempeño que permita posicionar los paneles fotovoltaicos con la mayor intensidad de radiación solar.
- Poseer Sensorica que permita obtener información para un óptimo desempeño (Sensor de seguimiento Solar, Sensores de Corrientes, Sensores de Luz y Sensor de movimiento).
- Poseer un Regulador y Cargador Solar de máxima Eficiencia.
- Poseer un Controlador a medida para el sistema y un trasmisor con la capacidad de enviar la información a larga distancia permitiendo un monitoreo desde un sitio remoto mediante una interfaz gráfica en un ordenador.

3.1.3 Planteamiento de la Solución

Se realizará un diseño basado en un Farol LED de 30w, para la cual usaremos baterías seca de Ciclo Profundo de 12V de 65AH, un panel Fotovoltaicos de 150W las cuales tendrán un sensor de seguimiento solar que nos permitirá posicionar este en la mayor intensidad de radiación del sol ya que en la base poseerá un articulador Eléctrico Lineal permitiendo un movimiento 1 GL. El panel Fotovoltaico posee adicionalmente un sensor de movimiento, un acelerómetro con el cual determinaremos la posición de este en el tiempo.

Se utilizará un Regulador y Cargador Solar de 20 A el cual cuenta con un control de corriente de carga y voltaje.

Se realizará el diseño de un Controlador a medida basado en microcontrolador PIC18F4550 y un transmisor XBEE los cuales nos realizar un control autónomo del sistema y enviar la información de los sensores a una etapa de recepción los cuales se podrá procesar y visualizar en una Interfaz Gráfica en LabVIEW.

3.1.4 Diagramas del Sistema

Nuestro diseño un prototipo de alumbrado público con monitoreo basado en paneles solares se encuentra representado con el siguiente diagrama, en el cual se señala representativamente las características de su composición.

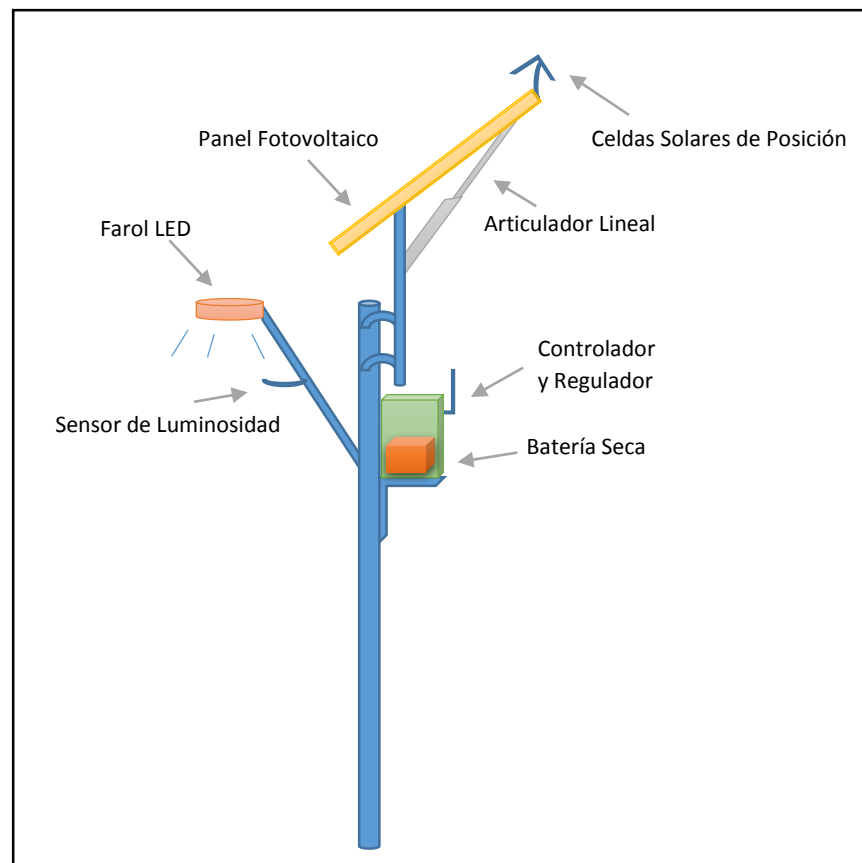


Figura 3.3: Diagrama General del Prototipo

En este diagrama representamos del regulador cargador solar las conexiones respectivas y la sensorica a utilizar para su monitorización.

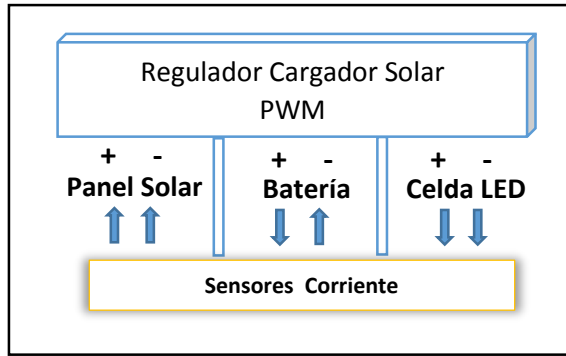


Figura 3.4: Diagrama del Regulador Cargador Solar

En siguiente diagrama de bloques representamos el diseño del controlador a medida, en la cual se utilizó un microcontrolador que nos permite gobernar la sensorica, el transmisor y drives de potencia que controla la intensidad luminosa de los faroles LED y la velocidad con que el actuador lineal se va a desplazar.

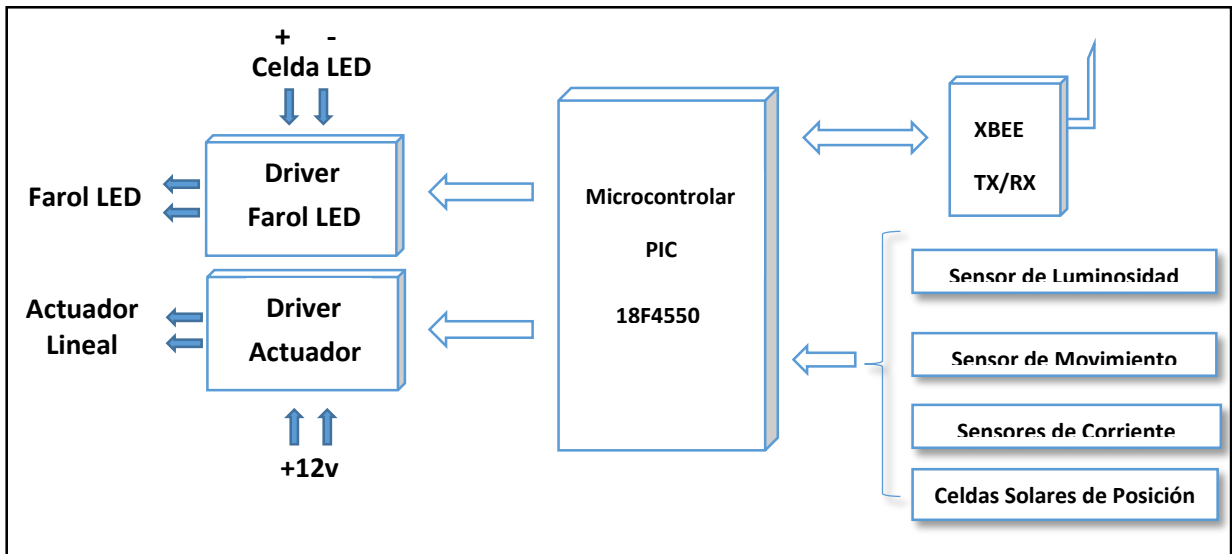


Figura 3.5 – Diagrama de Bloques del Controlador a Medida

3.2 CONTROL DEL PROCESO

La orientación del panel será accionado mediante un actuador lineal el cual cuenta con una etapa de potencia, lo que permitirá controlar la velocidad, el mismo que será continuamente monitoreado por un sensor de movimiento, que a su vez será el elemento de realimentación para el sistema de lazo cerrado.

La intensidad del Farol LED es realizada a través de una segunda etapa de potencia, el cual permite variar la luminosidad según el requerimiento, siendo monitoreado por un Sensor de depresión de Lúmenes en el tiempo. Logrando así que el proceso sea más eficiente. A continuación se muestra un diagrama de bloques para el control del proceso.

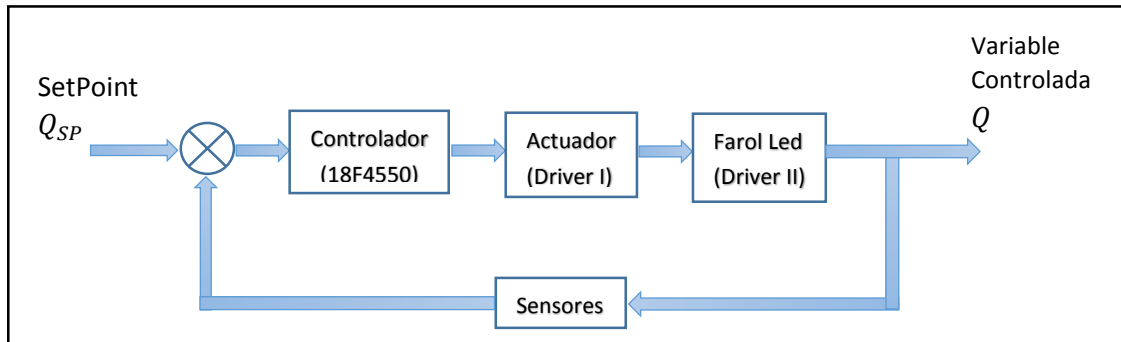


Figura 3.6 – Diagrama de Bloques para el Control del Proceso

3.2.1 Estrategia de Control

El diagrama mostrado en la figura 3.6 propone un sistema de lazo cerrado con realimentación de los sensores, para este sistema el controlador debe ejecutar una acción de control PID, a continuación se explica el control PID.

Control PID

Consideremos un lazo de control de una entrada y una salida de un grado de libertad tal como muestra en la siguiente figura.

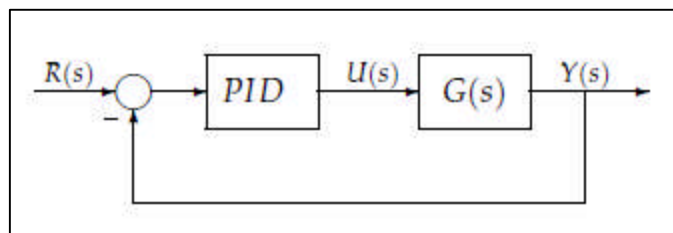


Figura 3.7 – Control PID de una Planta

Los controladores PID, incluyen tres acciones: proporcional (P), integral (I) y Derivativa (D). Estos controladores son los denominados P, I, PI, PD y PID.

P: Acción de control proporcional; da una salida del controlador que es proporcional al error, cuya señal de control es:

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

Función de transferencia:

$$C_p(s) = K_p$$

Donde K_p es una ganancia proporcional ajustable. Un controlador proporcional puede controlar cualquier planta estable, pero posee desempeño limitado y error en régimen permanente (off-set).

I: Acción de control integral; da una salida del controlador que es proporcional al error acumulado, lo que implica que es un modo de controlar lento. Su señal de control es:

$$u(t) = K_i \int_0^t e(\tau) \cdot d(\tau)$$

Función de transferencia:

$$C_I(s) = \frac{K_I}{s}$$

La señal de control $u(t)$ tiene un valor diferente de cero cuando la señal de error $e(t)$ es cero. Por lo que se concluye que dada una referencia constante, o perturbaciones, el error en régimen permanente es cero.

PI: Acción de control proporcional-integral; se define mediante la señal de control:

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

Donde T_i se denomina tiempo integral y es quien ajusta la acción integral. La función de transferencia resulta:

$$C_{PI}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s} \right)$$

PD: Acción de control proporcional-derivativa; se define mediante la señal de control:

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

Donde T_d es una constante denominada tiempo derivativo. Esta acción tiene carácter de previsión, lo que hace más rápida la acción de control, aunque tiene la desventaja importante que amplifica las señales de ruido y puede provocar saturación en el actuador.

La acción de control derivativa nunca se utiliza por sí sola, debido a que sólo es eficaz durante períodos transitorios. La función transferencia de un controlador PD resulta:

$$C_{PD}(s) = K_p + s \cdot K_p \cdot T_d$$

PID: Acción de control proporcional-integral-derivativa; esta acción combinada reúne las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales. La ecuación de un controlador con esta acción combinada se obtiene mediante:

Señal de control:

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

Función de transferencia:

$$C_{PID}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s} + T_d \cdot s \right)$$

3.2 DISEÑO DEL SISTEMA

3.2.1 Estimación del Consumo Energía

Para nuestro prototipo de alumbrado público basado en paneles solares se toman en cuenta las siguientes cargas DC de acuerdo a la siguiente tabla:

| Unidades | Carga (DC) | Potencia Unitaria (Watt) | Horas de Funcionamiento al Día (Horas) | Total Energía (Wh) | Total Energía (Wh) x 20% Margen de Seguridad |
|----------|-----------------------------------|--------------------------|--|--------------------|--|
| 01 | Farol Led | 30W | 12 Horas | 360 Wh | 432 Wh |
| 01 | Actuador Lineal | 18W | 01 Hora | 18 Wh | 21.6 Wh |
| 01 | Otros (Sensores, C.I. y Potencia) | 3W | 24 Horas | 72 Wh | 86.4 Wh |
| | | | | 450 Wh/Día | 540 Wh/Día |

Tabla 3.1: Tabla de Consumo de Energía

Con los datos obtenemos el consumo medio diario de la instalación al que se le ha aplicado un 20% como margen de seguridad recomendado. Debemos también tener en cuenta que en la instalación habrá pérdidas por rendimiento de la batería y esto influye en la energía necesaria final. Para fines de cálculo de dimensionamiento, tomaremos un rendimiento de la batería de un 95% y de los conductores un 100%.

Calculo de los Consumos medios diarios (L_{md}) consideramos la siguiente expresión.

$$L_{md} = \frac{L_{md.DC} + \frac{L_{md.AC}}{n_{inv}}}{n_{bat} * n_{con}}$$

Siendo (L_{md}) el consumo medio de energía diario, ($L_{md.DC}$) el consumo medio de energía diario de las cargas en continua y ($L_{md.AC}$) el de las cargas en alterna (En nuestro diseño no cuenta con cargas alternas $L_{md.AC}=0$).

$$L_{md} = \frac{L_{md.DC} + \frac{L_{md.AC}}{n_{inv}}}{n_{bat} * n_{con}} = \frac{540 + \frac{0}{0.90}}{0.95 * 1} = 568.42 \text{ Wh/día}$$

Calculo del consumo de energía medio en Ah/día:

$$Q_{Ah} = \frac{L_{md}}{V_{BAT}} = 47.37 \text{ Ah/día}$$

Se determina que el consumo medio diario real es ligeramente superior al nominal, pues como se mencionaba, hemos tomado en cuenta las pérdidas que se pueden producir en algunos de los elementos de la instalación y el margen de seguridad del 20%.

Calculó del consumo total anual (LT) y medio anual (L_{ma}):

$$LT = L_{md} * 365 \text{ días} = 207473.3 \text{ Wh/año}$$

$$L_{ma} = LT/365 = 568.42 \text{ Wh/día}$$

En este caso el consumo medio anual (L_{ma}) coincide con el Consumos medios diarios (L_{md}), puesto que el consumo que se ha estimado es constante en todo el año.

Considerando la ubicación del Distrito de Parcona con las coordenadas Latitud -14.055 y Longitud -75.7, obtenemos la radiación solar por cada mes de acuerdo a la página web “<http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/>” del centro de investigación Langley de la Nasa las cual recopila datos científicos de la Tierra.

| ATMOSPHERIC SCIENCE DATA CENTER | | NASA Surface meteorology and Solar Energy: RETScreen Data | |
|--|------|---|--|
| Latitude -14.055 / Longitude -75.7 was chosen. | | | |
| | Unit | Climate data location | |
| Latitude | °N | -14.055 | |
| Longitude | °E | -75.7 | |
| Elevation | m | 1460 | |
| Heating design temperature | °C | 11.39 | |
| Cooling design temperature | °C | 22.91 | |
| Earth temperature amplitude | °C | 13.86 | |
| Frost days at site | day | 0 | |

Figura 3.8: Ingreso de coordenadas del Distrito de Parcona

| Month | Air temperature | Relative humidity | Daily solar radiation - horizontal | Atmospheric pressure | Wind speed | Earth temperature |
|-----------------|-----------------|-------------------|------------------------------------|----------------------|------------|-------------------|
| | °C | % | kWh/m ² /d | kPa | m/s | °C |
| January | 17.7 | 79.3% | 6.68 | 85.9 | 3.5 | 20.9 |
| February | 18.2 | 80.0% | 6.70 | 85.9 | 3.4 | 21.0 |
| March | 18.3 | 78.6% | 6.64 | 85.8 | 3.3 | 21.1 |
| April | 18.2 | 72.4% | 5.92 | 85.8 | 3.4 | 21.2 |
| May | 17.8 | 58.6% | 5.12 | 85.9 | 3.6 | 20.8 |
| June | 16.8 | 51.6% | 4.32 | 86.0 | 3.8 | 19.5 |
| July | 16.4 | 47.7% | 4.29 | 86.0 | 4.0 | 19.1 |
| August | 16.9 | 47.0% | 4.78 | 86.0 | 3.9 | 20.2 |
| September | 17.3 | 49.0% | 5.79 | 86.0 | 3.9 | 21.6 |
| October | 17.6 | 53.4% | 6.59 | 85.9 | 3.7 | 22.7 |
| November | 17.4 | 62.3% | 6.92 | 85.9 | 3.7 | 22.2 |
| December | 17.6 | 71.2% | 7.00 | 85.9 | 3.6 | 21.7 |
| Annual | 17.5 | 62.6% | 5.90 | 85.9 | 3.6 | 21.0 |
| Measured at (m) | | | | | 10.0 | 0.0 |

Tabla 3.2: Tabla de radiaciones Solares

Se aprecia la radiación solar mínima en el mes de Julio de 4.29 KW h/m² y máxima en el mes de Diciembre de 7.00 KW h/m².

3.2.2 Dimensionado de Paneles Solares

Cálculo del número total de Paneles Solares necesarios:

$$N_T = \frac{L_{mdcrit}}{P_{MPP} * HPS_{crit} * PR}$$

Donde:

- (L_{mdcrit}) Es el consumo medio diario mensual para el mes crítico (en este caso, es siempre el mismo [568.42 wh/día], puesto que el consumo diario es constante todo el año)
- (P_{MPP}) La potencia pico del módulo en condiciones estándar, estamos utilizando un panel monocristalino de alta eficiencia de 150 wattios de potencia pico.
- (HPS_{crit}) Son las horas de sol pico del mes crítico calculado a partir de la "Tabla de Radiaciones", es decir: Irradiación del mes crítico (Julio) = 4.29 HPS
- (PR) el factor global de funcionamiento que varía entre 0.65 y 0.90. Usaremos 0.90 por defecto.

$$N_T = \frac{L_{mdcrit}}{P_{MPP} * HPS_{crit} * PR} = \frac{568.42}{150 * 4.29 * 0.90} = 0.98147 \approx 1$$

Calculo de la cantidad de paneles fotovoltaicos en serie y paralelo (Considerando el voltaje máximo del panel $V_{max} = 18.90 \text{ volt}$)

$$N_{SERIE} = \frac{V_{BAT}}{V_{max}} = \frac{12}{18.90} = 0.635 \approx 1$$

$$N_{PARALELO} = \frac{N_T}{N_{SERIE}} = 1$$

Considerando las formulas anteriores para cubrir la energía requerida [568.42 wh/dia] se necesita un panel fotovoltaico monocristalino de alta eficiencia de 150W de 12 voltios.

Para nuestro diseño se elige el Panel TS150M.

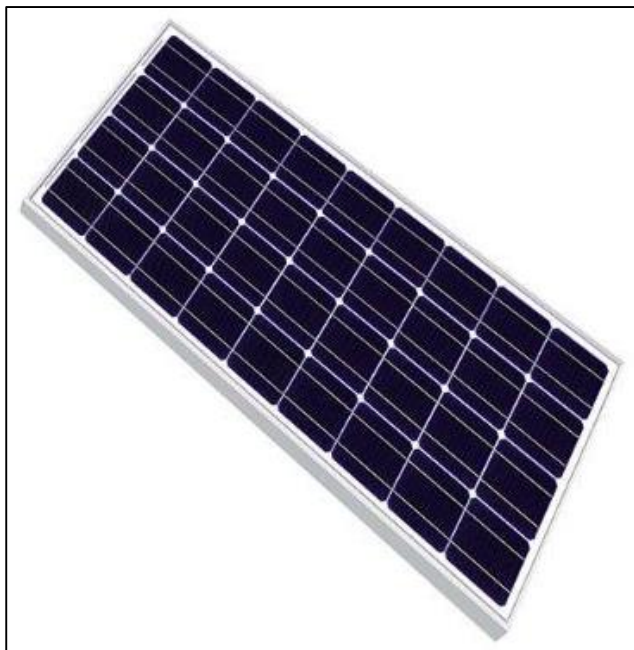


Figura 3.9: Panel TS150M

Características:

- 150Wp de potencia
- 12v de tensión nominal

- Tolerancia: $\pm 3\%$
- Tensión a pleno rendimiento: 18,99v
- Intensidad a pleno rendimiento: 7,90A
- Tensión en circuito abierto: 22,42v
- Intensidad de cortocircuito: 8,45A
- N° de celdas: 36 (4x9)
- Tamaño de célula: 156x156
- Tipo de célula: Mono-cristalina
- Peso: 12Kg
- Dimensiones de 1485x668x35 milímetros

3.2.3 Dimensionado de la Batería

Para nuestro dimensionado se considera la capacidad nominal de la batería en función a la descarga máxima estacional (C_{ne}).

$$C_{ne}(Wh) = \frac{L_{md} * N}{P_{Dmax.e} * F_{CT}}$$

Donde:

- ($P_{Dmax.e}$) Profundidad de Descarga Máxima Estacional de 70 %.
- (N) Números de días de Autonomía.
- (L_{md}) El consumo medio de energía diario.
- (F_{CT}) Factor de Corrección de Temperatura.

$$C_{ne}(Wh) = \frac{L_{md} * N}{P_{Dmax.e} * F_{CT}} = \frac{568.42 * 1}{0.7 * 1} = 812.029 Wh$$

Expresando Capacidad nominal en Ah:

$$C_{ne}(Ah) = \frac{C_{ne}(Wh)}{V_{BAT}} = \frac{812.029}{12} = 67.67 Ah \approx 65Ah$$

Para la elección de nuestra acumulador de energía consideraremos un valor de comercial de la capacidad de la batería de 65 Ah, se elige ese valor menor próximo ya que se considera márgenes de sobre dimensionamiento en todos los cálculos y esto será compensado con la eficiencia del seguimiento solar.

Para nuestro diseño se elige la Batería YUASA NP65-12 el cual soporta descargas profundas.



Figura 3.10: Batería YUASA NP65-12

| Nominal Capacity (Ah) | NP65-12 |
|------------------------------|----------------|
| 20hr to 1.75vpc 30°C | 65 |
| 10hr to 1.75vpc 20°C | 60.5 |
| 5hr to 1.70vpc 20°C | 55.3 |
| 1hr to 1.60vpc 20°C | 39 |
| Voltage | 12 |
| Energy Density (Wh.L.20hr) | 77 |
| Specific Energy (Wh.kg.20hr) | 34 |
| Int. Resistance (m.Ohms) | 5 |
| Maximum discharge (A) | 500 |
| Short Circuit current (A) | 800 |
| Dimensions (mm) | |
| Length | 350 |
| Width | 166 |
| Height overall | 174 |
| Weight (Kg) | 23 |
| Terminal | G |
| Layout | 2 |
| Terminal Torque Nm | 4.76 |

Tabla 3.3: Características de la Batería YUASA NP65-12

3.2.4 Dimensionado del Regulador

Se calculara la máxima corriente que debe soportar el regulador, a su entrada y a su salida.

Corriente de Entrada:

$$I_{entrada} = 1.25 * I_{MOD.CC} * N_P$$

Donde:

- ($I_{MOD.CC}$) Es la corriente unitaria del módulo fotovoltaico en condiciones de cortocircuito la cual se tendrá encuentra para evitar pérdidas en el rendimiento es de 8.45 Amperios.
- (N_P) Numero paneles fotovoltaicos en paralelo.
- (1.25) Es el factor de seguridad para evitar daños ocasionales al regulador.

$$I_{entrada} = 1.25 * I_{MOD.CC} * N_P = 1.25 * 8.45 * 1 = 10.56 A$$

Corriente de Salida:

$$I_{salida} = \frac{1.25 * P_{DC}}{V_{BAT}}$$

Donde:

- (P_{DC}) Potencia de cargas continuas.
- (V_{BAT}) Voltaje de Batería.

$$I_{salida} = \frac{1.25 * P_{DC}}{V_{BAT}} = \frac{1.25 * 51}{12} = 5.31 A$$

El regulador debería soportar una corriente, como mínimo 10.56 Amperios a su entrada y a su salida 5.31 Amperios

Para nuestro diseño usamos el valor comercial de 20 Amperios y 12V, se elige el MPPT Cargador regulador solar modelo CMTPO2.



Figura 3.11: Regulador Cargador Solar

Este Regulador Cargador Solar de tipo MPPT puede aumentar la eficiencia en un 10% - 30%.

3.2.5 Dimensionado del Farol LED

Para nuestro diseño de Alumbrado Público utilizaremos un Farol LED de 30W 12VDC el cual debe contar con grado de protección IP65 (Protección fuerte contra polvo y chorros de agua).



Figura 3.12: Farol LED Modelo FH-LD30W

Características:

- Voltaje nominal: DC 12V
- Potencia nominal: 30W
- Salida del lumen: 3325 lm (Lumen tolerancia +/- 5%)
- Material: Aluminio
- Grado de protección: IP65
- Vida útil: ≥ 50.000 horas

3.2.6 Dimensionado del sistema de seguimiento Solar

Nuestro diseño de alumbrado público se implementará un seguimiento solar de un grado de libertad, debido a que la máxima variación entre Sol y panel ocurre en azimut de la tierra, la variación en elevación se desprecia por considerarse de poca repercusión en términos de energía y encarecen los costos de implementación. Sin embargo, la elevación se realiza en forma manual cada 6 meses para cada temporada de invierno y verano, o se puede fijar en la mitad, para ambas estaciones. Tendremos un sensor que nos indicará cual es el punto en el cielo más luminoso al que se debe apuntar.



Figura 3.13: Detector tipo paraguas

Se elige un Sensor de luz tipo paraguas, el cual se compone de dos células de silicio Epoxy sobre una estructura de metal de acero inoxidable permitiendo ajustar el ángulo de dirección y calibrar la orientación, una estructura de metal. Utilizando un actuador lineal Eléctrico nos permite posicionar nuestro panel solar donde el sensor indique.



Figura 3.14: Actuador Lineal Eléctrico

Características:

- Longitud de carrera: 300 mm
- Voltaje: 12V
- Capacidad de carga: 1500N = 150KG
- Velocidad: 5,7 mm / s
- Grado de protección: IP65

3.2.7 Diseño del Controlador del Sistema

Se realiza un diseño de un controlador a medida basado en el microcontrolador PIC18F4550, el cual nos va a realizar un control autónomo del sistema y enviar la información de las células solares, sensores de corrientes, sensores de depreciación de lúmenes y Sensor de movimiento a una etapa de recepción los cuales se podrá procesar y visualizar en una Interfaz Gráfica.

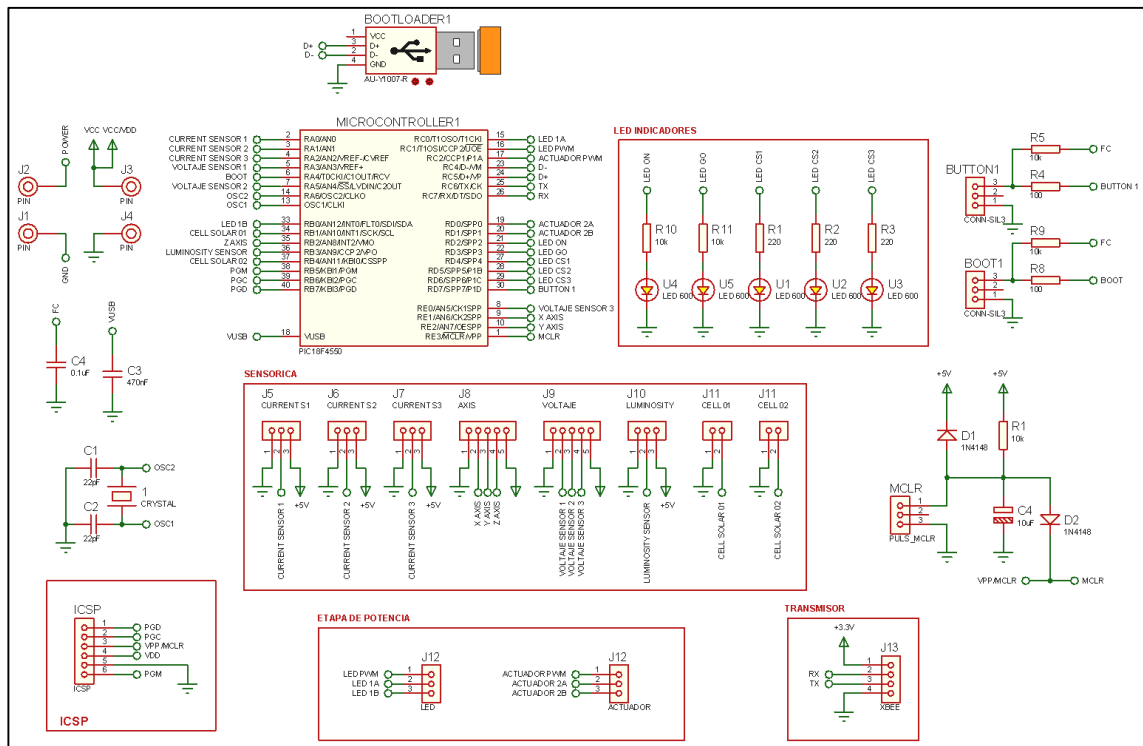


Figura 3.15: Diseño del Controlador con PIC18F4550

Este diseño controlará dos etapas de potencia siendo la primera del Farol LED el cual, mediante la generación de PWM, podremos variar la intensidad de Luz de acuerdo a las necesidades y la segunda del Actuador Lineal Eléctrico que

variaremos la velocidad del motor consiguiendo posicionar nuestro panel con la mayor precisión que solicitemos.

El microcontrolador PIC18F4550 nos permite implementar un bootloader por el puerto USB, facilitando la descarga de programación, realizar los ajustes que con lleve la calibración de manera rápida y eficiente.

3.2.8 Diseño de la Interfaz Grafica

Se diseñó una interfaz de monitoreo en LabView que es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico (lenguaje G).



Figura 3.16: Interfaz de Monitoreo

En nuestra interfaz de monitoreo se visualiza toda la sensorica de nuestro diseño de alumbrado Público, como el sensor de movimiento que nos permite visualizar

la posición del panel solar y las perturbaciones que podría aparecer proveniente de ráfagas de vientos. Con los sensores de corriente obtenemos lecturas del Panel, batería y del Farol LED en tiempo real. Podemos variar la intensidad del Farol y la velocidad del motor del actuador. Se visualiza la intensidad de Luz por medio de un sensor de luminosidad y por último se selecciona el farol a evaluar.

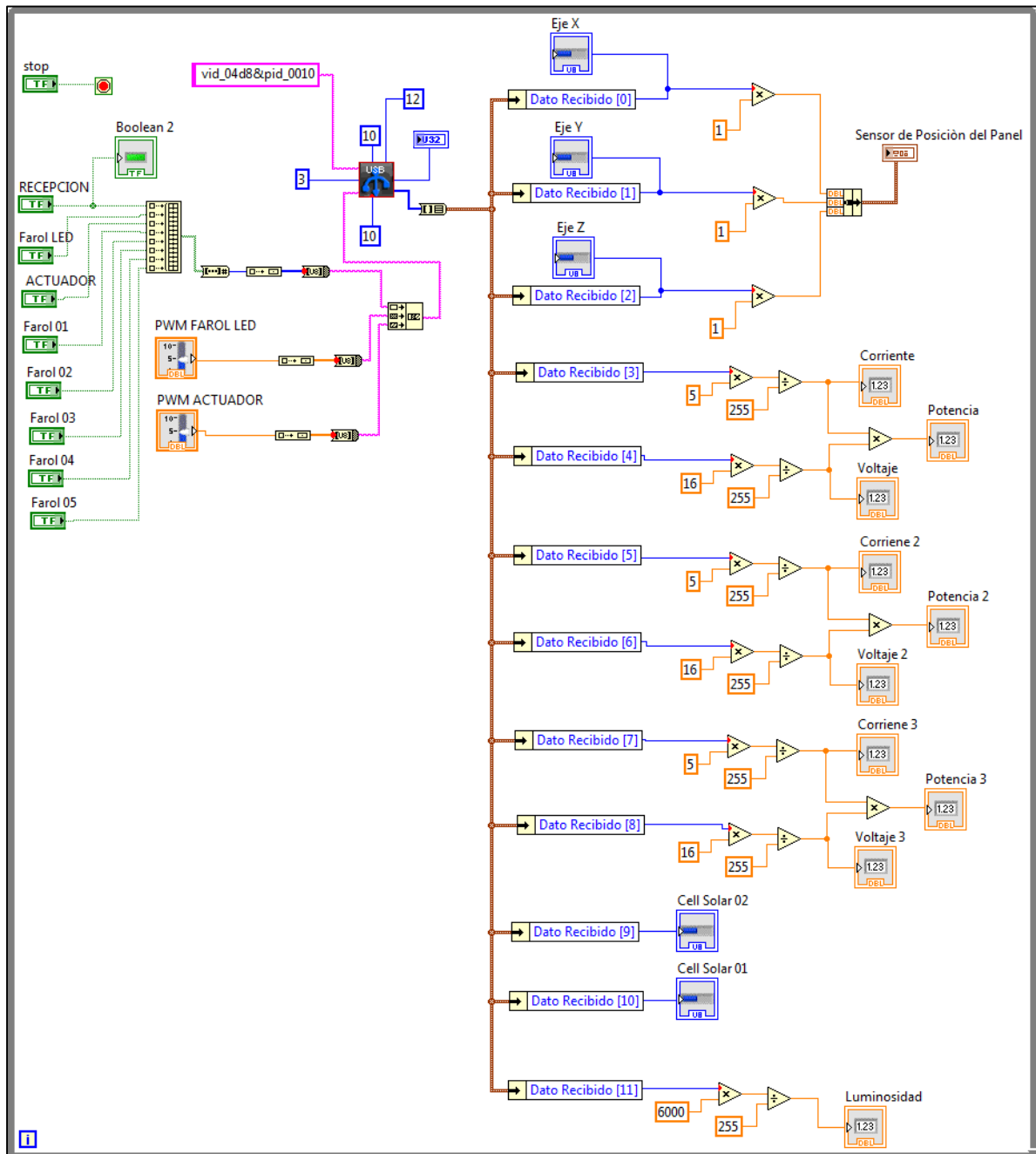


Figura 3.17: Programación de la Interfaz de Monitoreo

Se visualiza en la programación de la interfaz de monitoreo la recepción de 10 Bytes para visualizar las lecturas de los sensores y él envió de 3 Bytes las cuales para el control y selección.

3.3 SIMULACION DEL SISTEMA

3.3.1 Simulación en LabView

Nuestro prototipo de alumbrado público en el día el panel solar proporciona la energía necesaria para cargar la nuestra batería obteniendo lecturas de voltaje y corrientes de carga.

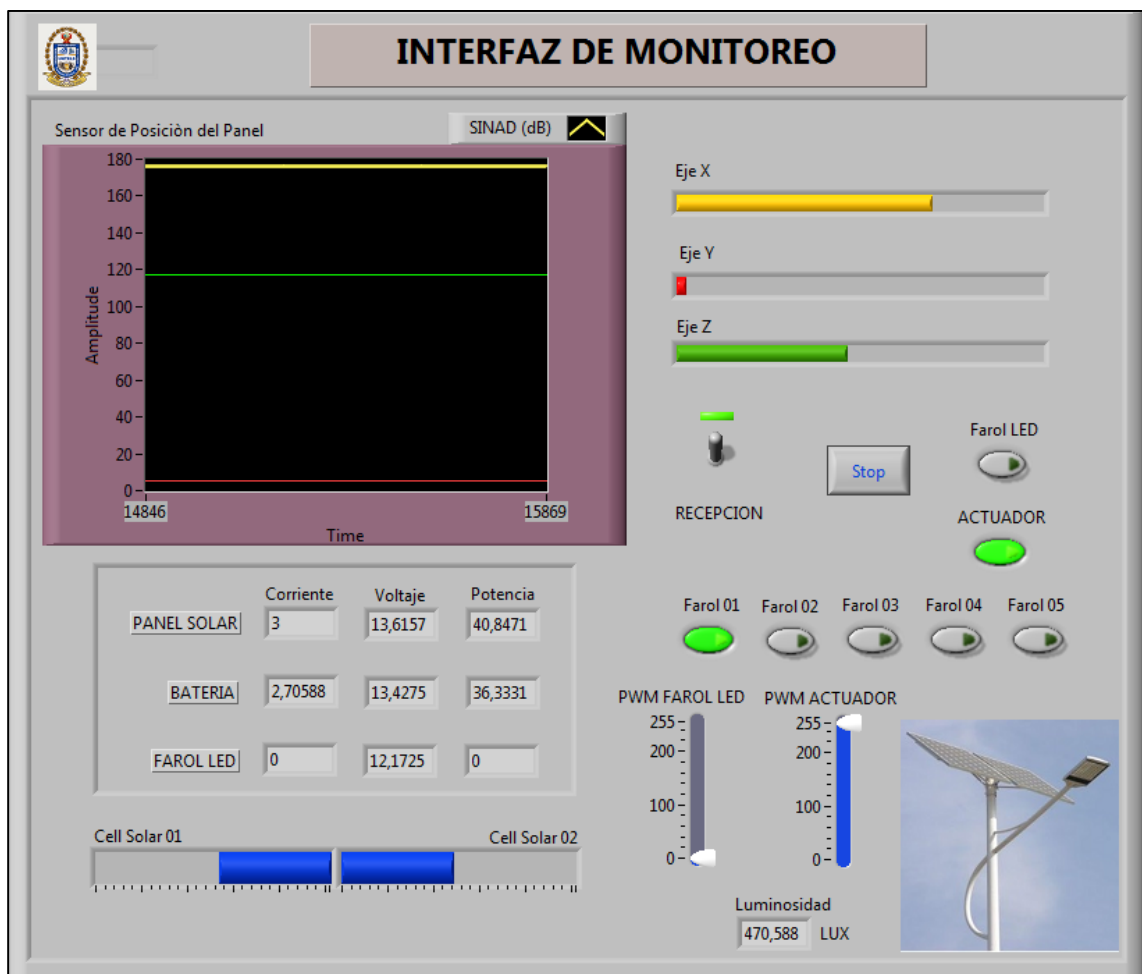


Figura 3.18: Funcionamiento Diurno

Podemos regular la velocidad del actuador afinando los grados de posición del panel solar.

Se aprecia que las barras de la Células Solares de Posición son homogéneas esto indicando que se encuentra apuntando a la mayor cantidad de radiación, si estas barras varían nuestro actuador se activará y se posicionará en el panel para obtener en los valores de la células nuevamente iguales.

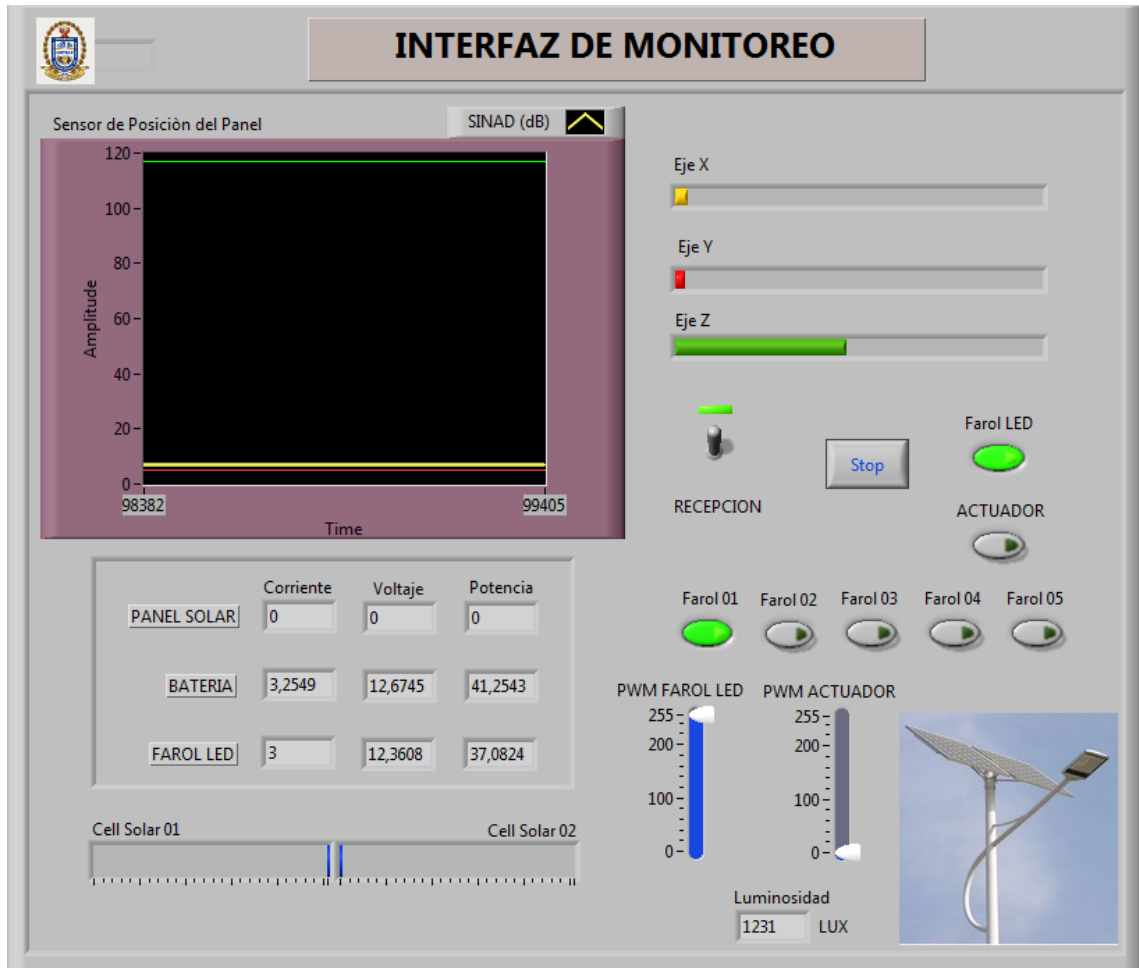


Figura 3.19: Funcionamiento Nocturno

Al ocultarse el sol se enciende el Farol LED obtenemos lecturas de corriente y voltaje de funcionamiento, podemos variar la intensidad de luz si en el momento se requiera.

CONCLUSIONES

- Se concluye de que podemos obtener la suficiente energía solar en el distrito de Parcona durante todo el año para alimentar un Farol LED durante 12 horas diarias de funcionamiento.
- Mediante la sensoria se puede monitorear la captación y el consumo de energía, en la cual se interpretan las lecturas que nos permitirá realizar los ajustes necesarios para obtener la máxima eficiencia del sistema.
- Los paneles ideales para implementar el sistema, son los paneles de tipo monocristalinos, por su disposición simétrica, permite una mayor eficiencia entre 15% y 18%.

RECOMENDACIONES

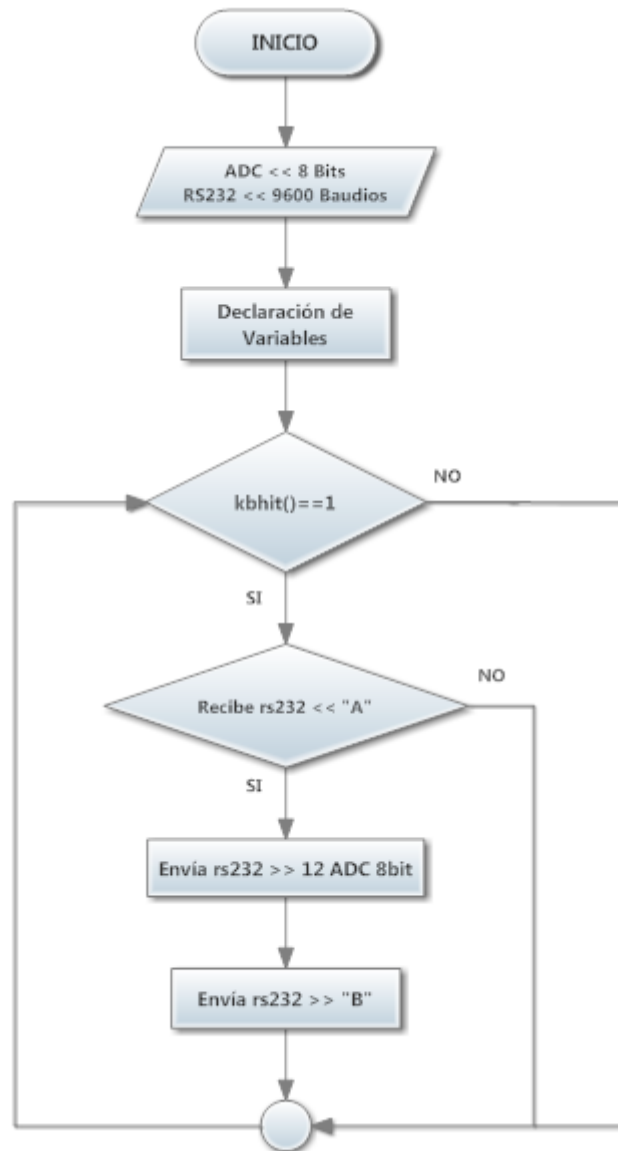
- Se recomienda aumentar el número de días de autonomía de la batería en función a la descarga máxima estacional si es requerido.
- Realizar ajustes de velocidad del actuador lineal para obtener grados de posición deseados del panel con respecto al sol, considerar fabricar una estructura rígida con la capacidad de resistir vientos de hasta 140 km/h.
- Para la elección de los paneles solares a utilizar en el proyecto se debe tener en cuenta que estos deben ser los de mayor tamaño puesto que con estos se obtiene una mayor eficiencia que con uno de tamaño menor.

BIBLIOGRAFÍA

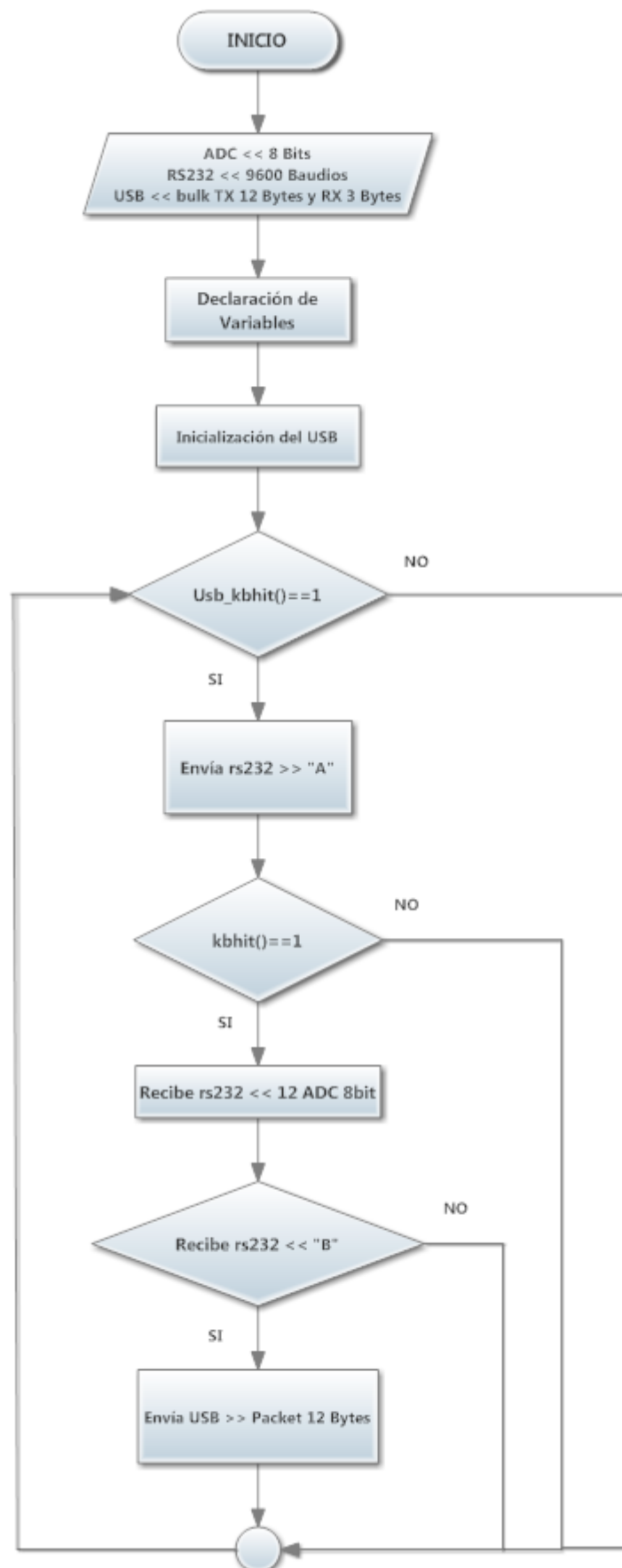
- García Breijo, Eduardo. Compilador C CCS y Simulador PROTEUS para Microcontroladores PIC. 2da edición. España. Marcombo. 2009.
- eosweb.larc.nasa.gov [Internet]. USA: Centro de investigación Langley; 2014 [actualizado 21 Feb 2015]. Disponible en: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?email=rets%40nrcan.gc.ca&step=1&lat=-14.0549&lon=-75.6998&submit=Submit>
- Lluís Prat Viñas. Dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos [Internet]. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, España; Disponible en: http://ocw.upc.edu/sites/default/files/materials/15014928/4b.dimensionado_sistema_fotovoltaico-4826.pdf

ANEXOS

A. Diagrama de Flujo del Transmisor



B. Diagrama de Flujo del Receptor



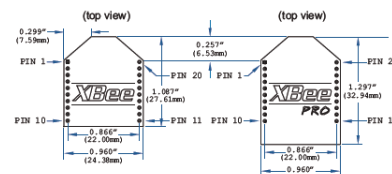
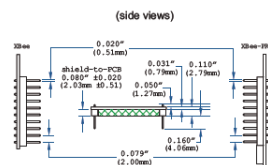
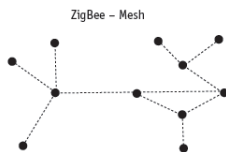
C. Cuadro comparativo de la Familia XBEE

| XBee® Family Features Comparison | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|---------------------|---------------------------|--|--|-------------------|-----------------|---------------------|--------------------|------------------------|------------------------|
| Protocol | Product | Frequency | Description | RF Line of Sight Range | Form Factor | MSRP | RF Data Rate | Current Draw Tx/Rx | Hardware | Certified Regions |
| IEEE 802.15.4 | XBee® Wi-Fi | 2.4 GHz | Wi-Fi 802.11b/g/n with easy provisioning, native Device Cloud features | N/A | Through-hole, SMT | \$35.00 | 1 to 72 Mbps | 309 mA / 100 mA | S6B | US, CA, EU, AU, JP |
| | XBee-PRO® 802.15.4 | 2.4 GHz | Best way to get started with point-to-multipoint device connectivity | 300 ft / 90 m | Through-hole | \$19.00 | 250 Kbps | 45 mA / 50 mA | S1 | US, CA, EU, AU, BR, JP |
| | | XBee-PRO® 802.15.4 | 2.4 GHz | Point-to-multipoint extended range version | | 1 mile / 1.6 km | \$32.00 | 250 Kbps | 215 mA / 55 mA | S1 |
| | 2.4 GHz | | International/"J" variant | 2500 ft / 1 km | | \$32.00 | 250 Kbps | | S1 | US, CA, EU, AU, BR, JP |
| Multipoint Proprietary | XBee-PRO® XSC | 900 MHz | Long-range proprietary multipoint connectivity | 9 miles / 14.5 km | Through-hole | \$39.00 | 10 Kbps or 20 Kbps | 215 mA / 26 mA | S3B | US, CA, AU |
| | XBee-PRO® 868 | 868 MHz | Long-range multipoint for Europe | 25 miles / 40 km | | \$45.00 | 24 Kbps | 500 mA / 65 mA | S5 | EU |
| ZigBee® PRO Feature Set | XBee® ZB SMT | 2.4 GHz | ZigBee mesh networking, low-cost, low-power, surface mount | 4000 ft / 1.2 km | SMT | \$17.50 | 250 Kbps | 45 mA / 28 mA | S2C | US, CA, EU, AU, BR, JP |
| | XBee-PRO® ZB SMT | 2.4 GHz | Extended-range ZigBee, surface mount | 2 miles / 3.2 km | | \$28.50 | 250 Kbps | 100 mA / 31 mA | S2C | US, CA, AU, BR |
| | XBee® ZB | 2.4 GHz | ZigBee mesh, low-cost, low-power, through-hole | 400 ft / 120 m | Through-hole | \$17.00 | 250 Kbps | N/A | S2 | US, CA, EU, AU, BR, JP |
| | XBee-PRO® ZB | 2.4 GHz | Extended-range ZigBee, through-hole | 2 miles / 3.2 km | | \$28.00 | 250 Kbps | 205 mA / 47 mA | S2B | US, CA, AU, BR |
| 2.4 GHz | | International/"J" variant | 5000 ft / 1.5 km | \$28.00 | | 250 Kbps | | S2B | US, CA, EU, AU, BR, JP | |
| DigiMesh® Proprietary | XBee-PRO® 900HP | 900 MHz | Extended-range peer-to-peer mesh, sleeping routers (900 MHz) | 9 miles / 14.5 km | Through-hole | \$39.00 | 10 Kbps or 200 Kbps | 215 mA / 29 mA | S3B | US, CA, AU, BR |
| | XBee® 865/868LP | 865 MHz or 868 MHz | Low-power peer-to-peer mesh for India (865 MHz) or Europe (868 MHz) | 2.5 miles / 4 km | SMT | \$23.00 | 10 Kbps or 80 Kbps | 48 mA / 27 mA | S8 | India, EU |
| | XBee® DigiMesh® 2.4 | 2.4 GHz | Low-cost, low-power peer-to-peer mesh, sleeping routers | 300 ft / 90 m | Through-hole | \$19.00 | 250 Kbps | 45 mA / 50 mA | S1 | US, CA, EU, AU, BR, JP |
| | | XBee-PRO® DigiMesh® 2.4 | 2.4 GHz | Extended-range peer-to-peer mesh, sleeping routers (2.4 GHz) | | 1 mile / 1.6 km | \$32.00 | 250 Kbps | 250 mA / 55 mA | S1 |
| | 2.4 GHz | | International/"J" variant | 3200 ft / 1 km | | \$32.00 | 250 Kbps | 150 mA / 55 mA | S1 | US, CA, EU, AU, BR, JP |



D. Características de Módulos RF XBEE Y XBEE PRO

| Platform | XBee® ZB | XBee-PRO® ZB | Programmable XBee-PRO® ZB |
|----------------------------------|---|--|---|
| Performance | | | |
| RF Data Rate | 250 Kbps | | |
| Indoor/Urban Range | 133 ft (40 m) | 300 ft (90 m) | |
| Outdoor/RF Line-of-Sight Range | 400 ft (120 m) | 2 miles (3200 m) / Int'l 5000 ft (1500 m) | |
| Transmit Power | 1.25 mW (+1 dBm) / 2 mW (+3 dBm) boost mode | 63 mW (+18 dBm) / Int'l 10 mW (+10 dBm) | |
| Receiver Sensitivity (1% PER) | -96 dBm in boost mode | -102 dBm | |
| Features | | | |
| Adjustable Power | Yes | | |
| I/O Interface | 3.3V CMOS UART, ADC, DIO | | 3.3V CMOS UART, SPI, I2C, PWM, DIO, ADC |
| Configuration Method | API or AT commands, local or over-the-air | | |
| Frequency Band | 2.4 GHz | | |
| Interference Immunity | DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) | | |
| Serial Data Rate | 1200 bps - 1 Mbps | | |
| ADC Inputs | (4) 10-bit ADC inputs | | |
| Digital I/O | 10 | | |
| Antenna Options | Chip, Wire Whip, U.FL, RPSMA | PCB Embedded Antenna, Wire Whip, U.FL, RPSMA | |
| Operating Temperature | -40° C to +85° C, 0-95% humidity non-condensing | | |
| Programmability | | | |
| Memory | N/A | | 32 KB Flash / 2 KB RAM |
| CPU/Clock Speed | N/A | | HCS08 / Up to 50.33 MHz |
| Networking & Security | | | |
| Encryption | 128-bit AES | | |
| Reliable Packet Delivery | Retries/Acknowledgments | | |
| IDs and Channels | PAN ID, 64-bit IEEE MAC, 16 channels | PAN ID, 64-bit IEEE MAC, 15 channels | |
| Power Requirements | | | |
| Supply Voltage | 2.1 - 3.6VDC | | 2.7 - 3.6VDC |
| Transmit Current | 35 mA / 45 mA boost mode @ 3.3VDC | 205 mA | 220 mA |
| Receive Current | 38 mA / 40 mA boost mode @ 3.3VDC | 47 mA | 62 mA |
| Power-Down Current | <1 uA @ 25° C | 3.5 uA @ 25° C | 4 uA @ 25° C |
| Regulatory Approvals | | | |
| FCC, IC (North America) | Yes | | |
| ETSI (Europe) | Yes | | |
| C-TICK (Australia) | Yes | | |
| TELEC (Japan) | Yes | Yes (int'l unit only) | |



Visit www.digi.com for part numbers.

DIGI SERVICE AND SUPPORT - You can purchase with confidence knowing that Digi is here to support you with expert technical support and a one-year warranty. www.digi.com/support

Digi International
877-912-3444
952-912-3444
info@digi.com

Digi International France
+33-1-55-61-98-98
www.digi.fr

Digi International KK
+81-3-5428-0261
www.digi-intl.co.jp

Digi International (HK) Limited
+852-2833-1008
www.digi.cn

Digi m2m Solutions India Pvt. Ltd
+91-80-4287-9887
info@digi.com



91001471
D3/511

BUY ONLINE • www.digi.com

© 2008-2011 Digi International Inc.

All rights reserved. Digi, Digi International, the Digi logo, the Making Wireless M2M Easy logo, ConnectPort, XBee and XBee-PRO are trademarks or registered trademarks of Digi International Inc. in the United States and other countries worldwide. All other trademarks are the property of their respective owners. All information provided is subject to change without notice.

