



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**PROYECTO:
"DISEÑO DE CONTROL Y SUPERVISIÓN DE UN SISTEMA
HÍBRIDO DE SUMINISTRO ELÉCTRICO E HÍDRICO PARA UNA
VIVIENDA"**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**AUTORES:
PEDRO BUSTAMANTE SOLIZ.
DARIO CABRERA VITERI.**

**DIRECTOR:
ING. FRANCISCO VASQUEZ**

**CUENCA, ECUADOR
2010**

TRABAJO DE FIN DE CURSO DE GRADUACION

DISEÑO DE CONTROL Y SUPERVISIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE SUMINISTRO ELÉCTRICO E HÍDRICO PARA UNA VIVIENDA.

Resumen.

En el presente proyecto se expone el diseño de un sistema de generación eléctrica y aprovechamiento hídrico, cuyo objetivo es satisfacer las necesidades de estos servicios dentro de una vivienda sin acceso a los mismos.

Para la generación eléctrica se contempló la utilización de un sistema híbrido Eólico-Fotovoltaico, mientras que, para el sistema de agua, se diseñó un sistema SCAPT (Sistema de Captación de Agua Pluvial en Techos).

El elemento de control está diseñado para integrar los sistemas antes mencionados dentro una sola unidad centralizada, de tal manera que facilite su configuración y manejo por parte de cualquier usuario, en base a una interfaz simple que utiliza un microcontrolador, un teclado matricial y un display de cristal líquido.

Abstract.

The project here exposed shows the design of a system which focuses on electricity generation and the taking advantage of hydric resources. Its purpose is to satisfy the needs of these services in an area that hasn't access to them.

In order to generate electricity, the use of a hybrid Eolian - Photovoltaic system was considered, while, in the case of the water supply, a Rain Water Capture in Roofs System (SCAPT Spanish acronym) was designed.

The control unit was elaborated in such a way, so that it integrates both systems, previously mentioned, in one centralized element and eases the configuration and management of the system by any user. It's based in a simple interface which uses a microcontroller, a keyboard and a Liquid Cristal Display.

Resumen Ejecutivo

En la actualidad, tanto dentro del Ecuador como en el mundo entero, el consumo de energía es uno de los grandes medidores del progreso y bienestar de la sociedad en general. En los últimos tiempos ha ido apareciendo un nuevo concepto de "crisis energética", el cual hace referencia al agotamiento de las fuentes de energía de las que se abastece la sociedad. Un modelo económico como el actual, cuyo funcionamiento depende de un continuo crecimiento, exige también una demanda igualmente creciente de energía. Puesto que las fuentes de energía fósil y nuclear son finitas, es inevitable que en un determinado momento la demanda no pueda ser abastecida y todo el sistema colapse, salvo que se descubran y desarrollen nuevos métodos para obtener energía: éstas serían las energías alternativas.

Dentro de las energías alternativas existe una gran variedad de formas de aprovechar las mismas, desde las más complicadas a las más simples, desde las más costosas hasta las más económicas, pero sin duda los dos métodos con más desarrollo en la actualidad son la energía solar y la energía eólica. Las dos presentan una gran facilidad en su instalación y mantenimiento, en especial para pequeños sistemas de abastecimiento eléctrico, por ejemplo en viviendas, pequeñas comunidades y pueblos de poblaciones reducidas. En general estos dos tipos de energía han sido aprovechados por separado, pero en los últimos estudios se demuestra su gran complementariedad y aprovechamiento conjunto, debido a que disminuye el costo de instalaciones de almacenamiento de energía y brinda la opción de generación de energía continua a lo largo del día.

En el presente proyecto se aplicarán los conceptos de energías renovables con el fin de realizar un diseño adecuado para abastecer de electricidad a una vivienda sin acceso a este servicio básico, tomando en cuenta las necesidades particulares de demanda y diseño de la misma.

El diseño del sistema de abastecimiento de electricidad se lo realizara en base a un sistema Híbrido Fotovoltaico-Eólico, debido a que este método ayuda en gran manera a reducir costos en la parte de almacenamiento de energía y le brinda al sistema una gran flexibilidad al no depender únicamente de un método de generación eléctrica y claramente le brinda la posibilidad de tener energía en forma continua.

La primera etapa del sistema Híbrido consistirá en la parte solar, la cual será la principal fuente de abastecimiento de electricidad para la vivienda, debido a que cuenta con el mayor potencial de generación de energía eléctrica dentro del país en cuanto a energías renovables se refiere. Este sistema estará diseñado en base a paneles solares fotovoltaicos instalados en el techo de la vivienda tomando todas las características técnicas de los mismos y las especificaciones brindadas por el fabricante para obtener el máximo desempeño de esta etapa..

Al interior del sistema híbrido de generación de energía el sistema eólico será el complemento para el sistema solar, debido a que en las horas que no exista sol puede existir viento y viceversa. Esta etapa será diseñada en base a un aerogenerador situado a un costado de la vivienda de acuerdo a la altura y condiciones necesarias para obtener el máximo desempeño del mismo en las diferentes circunstancias que se puedan presentar al interior del proyecto.

Dentro del sistema híbrido se contemplarán tres etapas complementarias a las etapas de generación (Solar y eólico), es decir estas dos etapas compartirán los elementos de regulación, almacenamiento e inversión. Todo esto se debe a que su configuración pueda cumplir el objetivo de que los dos sistemas de generación sean totalmente complementarios. Dentro de estas tres etapas complementarias, la etapa de regulación será íntegramente diseñada a lo largo del proyecto, mientras que, las etapas de inversión y almacenamiento serán diseñadas en base a productos existentes en el mercado.

La etapa de regulación será diseñada como un regulador híbrido capaz de soportar los dos sistemas sin importar las características que estos tengan. El diseño de este regulador se encuentra descrito a lo largo de este proyecto, el mismo considera las necesidades de los dos sistemas de generación individualmente y del usuario.

Al igual que la necesidad de electricidad en la vivienda existe la necesidad de tener agua dentro de ella, es por eso que el proyecto también diseñara un sistema de recolección de agua lluvia en el tejado de la vivienda para poder cumplir con este servicio básico, de acuerdo a las necesidades presentes en la misma.

Dentro de dicha parte hídrica se contemplaran la etapa de recolección en el tejado mediante canaletas, un primer tanque que recolecta las primeras aguas recibidas de tal manera que cumpla la función de limpieza del tejado, la etapa de

filtrado y una etapa de almacenamiento para el futuro consumo dentro de la vivienda.

Para poder integrar todos los sistemas diseñados en la vivienda, tanto el de generación eléctrica como el de recolección de agua lluvia, es necesario contar con una unidad de control y supervisión central de ellos. Esta etapa de control será la última parte del proyecto, será diseñada en base a un microcontrolador y diferentes interfaces con el usuario, las diferentes características del mismo se encuentran desarrolladas a lo largo del proyecto.

Una vez diseñada la etapa de control y supervisión central, es necesario validar que cumpla con los objetivos planteados, es por eso que dentro del proyecto se simularán todas las partes del mismo con los diferentes parámetros planteados, en base a las condiciones y necesidades que pudiera implementar el usuario.

Como ultima parte del proyecto se realizará el estudio económico de todos los sistemas diseñados para comprobar su factibilidad y tener una idea clara del costo que pudiera tener el proyecto para su futura implementación.

1) Fundamentación del Proyecto

1.1 Planteamiento del tema y definición del alcance

Diseño de control y supervisión de un sistema híbrido de suministro eléctrico e hídrico para una vivienda

Definición del Alcance

El proyecto consta de tres partes principales, todas y cada una de éstas cuentan con características de menor impacto ambiental e independencia de otros sistemas convencionales, los sistemas que se diseñaran son los siguientes:

1) Diseño de un Sistema Híbrido de Generación Eléctrica.

Será diseñado mediante dos fuentes de energía, un generador solar y un generador eólico. Estos sistemas serán conectados en paralelo, es decir compartirán las etapas de transformación (de corriente continua a corriente alterna) y de almacenamiento (Banco de Baterías). Las partes del sistema se describen a continuación:

- Sistema de generación eléctrica mediante el uso de paneles solares fotovoltaicos. Este será el medio principal de abastecimiento de energía eléctrica a la vivienda, consta de tres partes fundamentales:

- Generación de energía eléctrica mediante paneles solares fotovoltaicos ubicados en el tejado de la vivienda.
- Almacenamiento de la energía generada mediante un banco de baterías conectado al sistema de generación de energía, la misma que, al tratarse de un sistema híbrido, estará compartida por el generador eólico.
- Conversión de corriente continúa a corriente alterna, mediante un inversor electrónico conectado al banco de baterías y al sistema de generación, lo cual, al formar parte de un sistema híbrido, estará compartida por el generador eólico.

- Sistema de generación eléctrica mediante el uso de un generador eólico. Este sistema se diseñará utilizando un aerogenerador, el mismo que se ubicará en un costado de la vivienda, analizando su

correcta posición con respecto al viento. Este sistema será conectado en paralelo al sistema de paneles solares, es decir, compartirá los sistemas de transformación y almacenamiento de energía de dicho sistema.

2) Sistema de recolección de agua lluvia.

En este sistema de almacenamiento se recolectará y procederá a eliminar las impurezas de agua lluvia que se acumula en el tejado de la vivienda, mediante un sistema en base a dos tanques de recolección y un conjunto de filtros para eliminar los diferentes tipos de basura de acuerdo a su tamaño y composición.

3) Sistema de control.

Este sistema encargado del control y supervisión de los subsistemas antes mencionados, lo cual se realizará mediante un micro controlador y diferentes tipos de sensores y actuadores. Las funciones que dicho sistema realizará, son las siguientes:

- Medidor de energía generada a partir de los paneles solares.
- Medidor de energía generada a partir del generador eólico.
- Medidor del porcentaje de carga del banco de baterías.
- Control de nivel del agua del sistema de recolección de agua lluvia.
- Control de carga para el sistema híbrido de generación eléctrica.
- Medidor y control del estado de los filtros de agua.

Todos los sistemas antes mencionados serán dimensionados de acuerdo a las necesidades de una familia promedio de 4 a 5 miembros. Para esto se utilizaran distintos medios, tales como datos estadísticos de consumo y generación, datos técnicos y datos económicos de los elementos que conforman cada uno de los sistemas.

Como ultima parte del proyecto se realizara un estudio económico, para determinar el costo aproximado de la implementación de estos subsistemas en una vivienda para dicha familia promedio, y de esta manera poder analizar la factibilidad de poner en marcha este proyecto de acuerdo al aspecto mencionado.

En la **Figura # 1** se muestra un mapa conceptual el cual ilustra la manera en la que están determinados y distribuidos cada uno de los sistemas dentro del proyecto.

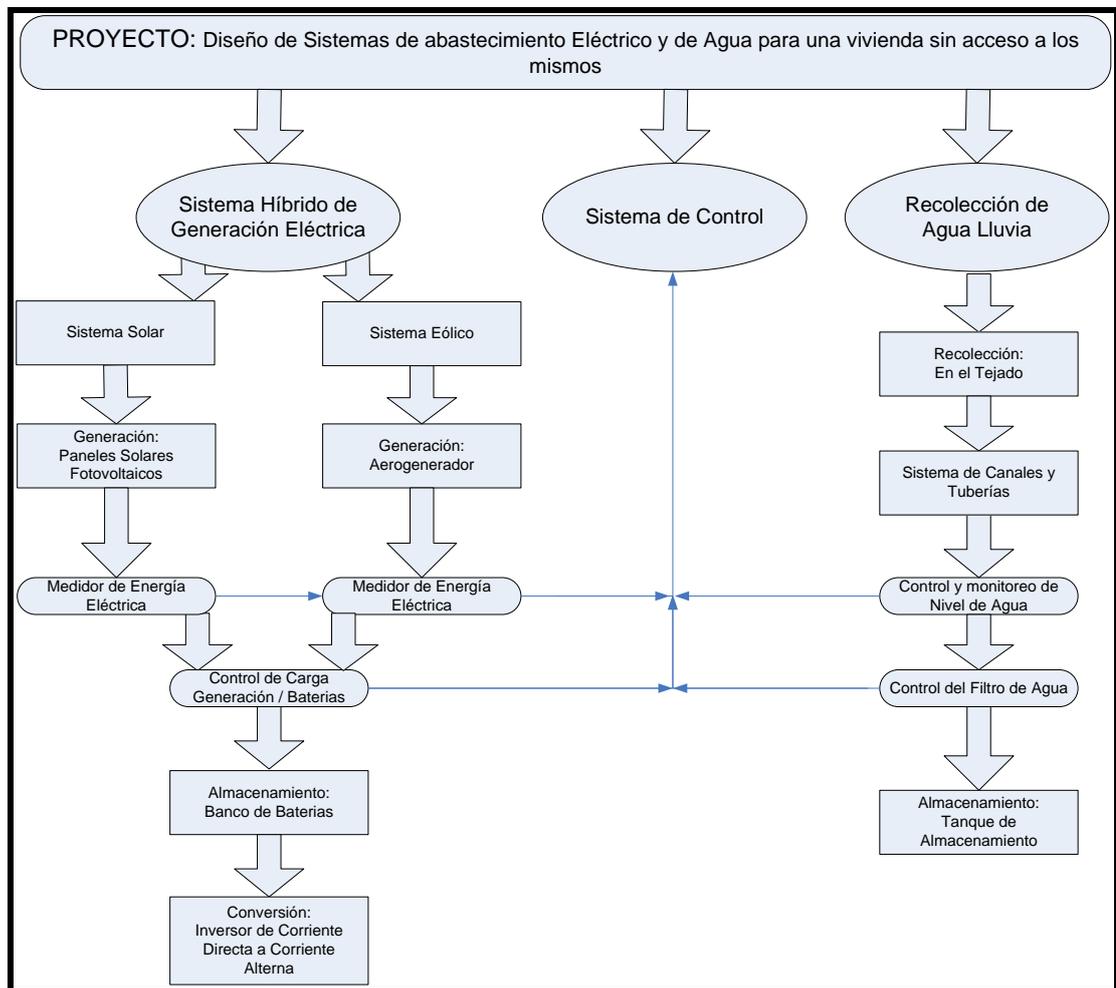


Figura # 1 Mapa Conceptual de la Composición de los Subsistemas dentro de la Vivienda

1.2 Antecedentes

En su conjunto, las energías renovables son aquellas que tienen un potencial inagotable. Las energías renovables han sido históricamente las primeras y más ampliamente utilizadas, al menos hasta la revolución industrial. A partir de la revolución industrial las energías renovables perderán importancia paulatinamente debido a la aparición de energías de mayor concentración obtenidas a partir de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y posteriormente la energía nuclear.

El consumo de energía en el mundo y por lo tanto en el Ecuador es cada vez mas alto, y debido a la dependencia de los combustibles fósiles, es cada vez un problema mayor. En la **Figura # 2** se muestra la utilización mundial de la energía primaria, la misma que evidencia una tendencia cada vez más pronunciada al consumo de energía y la dependencia de energías no renovables.

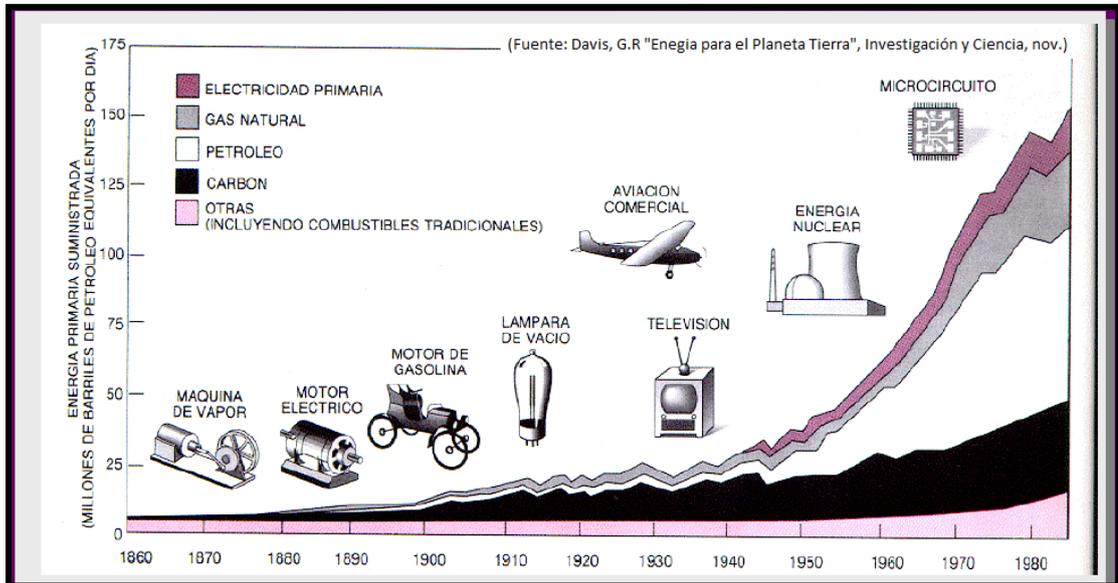


Figura # 2 Utilización mundial de Energía Primaria

Al igual que a nivel mundial, cada día son mayores las demandas de electricidad en el país, y menor la producción energética a grandes niveles. Según datos del CONECEL, la demanda energética en el Ecuador para el primer semestre del 2009 ha sido un 4,1 % superior a la del primer semestre de 2008.

Además de este déficit de energía, la dependencia de la generación de energía a partir de residuos fósiles, conlleva varios problemas que afectan de manera seria al medio ambiente, debido, tanto al consumo de dichos recursos como al proceso de extracción y transformación de los mismos. Entre los principales problemas que afectan al medio ambiente encontramos los siguientes:

- Contaminación atmosférica por utilización de combustibles.
- Degradación y contaminación de tierras
- Perjuicio a los cuerpos de agua.
- Destrucción de Ecosistemas
- Contaminación Térmica

Pero sin duda el mayor problema es el calentamiento global, el cual tiene tres efectos principales:

- El primero es el aumento en la temperatura promedio del planeta, el mismo que es igual a un incremento de 0.74°C entre 1906 y 2005.
- El aumento en el nivel de mares y océanos, debido al descongelamiento de los glaciares.
- Y por último el descongelamiento acelerado de los glaciares, tanto en el polo sur como en el polo norte

Uno de los requerimientos más importantes para el desarrollo integral del Ecuador, es el progreso de sus Regiones Rurales; zonas generalmente descuidadas y abandonadas, en donde la probabilidad de ser abastecidos de energía eléctrica con redes convencionales podrá ser o no una realidad dentro de los próximos 30 años.

En Ecuador, el 21% del sector rural carece de energía eléctrica. Las provincias de Orellana, Morona Santiago, Napo y Sucumbíos son las menos electrificadas en el país, según el Censo de Población y Vivienda de 2001.

1.3 Justificación del Problema

El Ecuador es un país con características topográficas muy variadas, de gran diversidad climática y condiciones únicas que forman un elevado potencial de energías renovables y limpias, de todos los tipos, ya sean: energía solar, energía eólica, energía generada por las mareas, energía geotérmica, etc. Las cuales no pueden quedar al margen de la Producción Eléctrica.

Según estadísticas, el Ecuador, por su privilegiada ubicación en el planeta, tiene cada día un promedio de 4.3 horas de 1000 WP/m² de radiación, siendo ésta la mejor radiación para los diferentes tipos de paneles solares. Esa es una fortaleza única en el Ecuador que incentiva al uso de esta energía como una alternativa favorable al medio ambiente y como opción para lugares donde la electrificación es insuficiente o nula.

En la **Figura # 3** se muestra el potencial de energía solar para las diferentes regiones dentro del Ecuador. Tomando en cuenta el gráfico, se puede obtener datos confiables para el diseño en las diferentes regiones del Ecuador, pero para diseños generales se pueden tomar en cuenta los siguientes datos del país:

- Valor máximo 5748 Wh/m²/día
- Valor mínimo 3634 Wh/m²/día
- Valor promedio 4574,99 Wh/m²/día

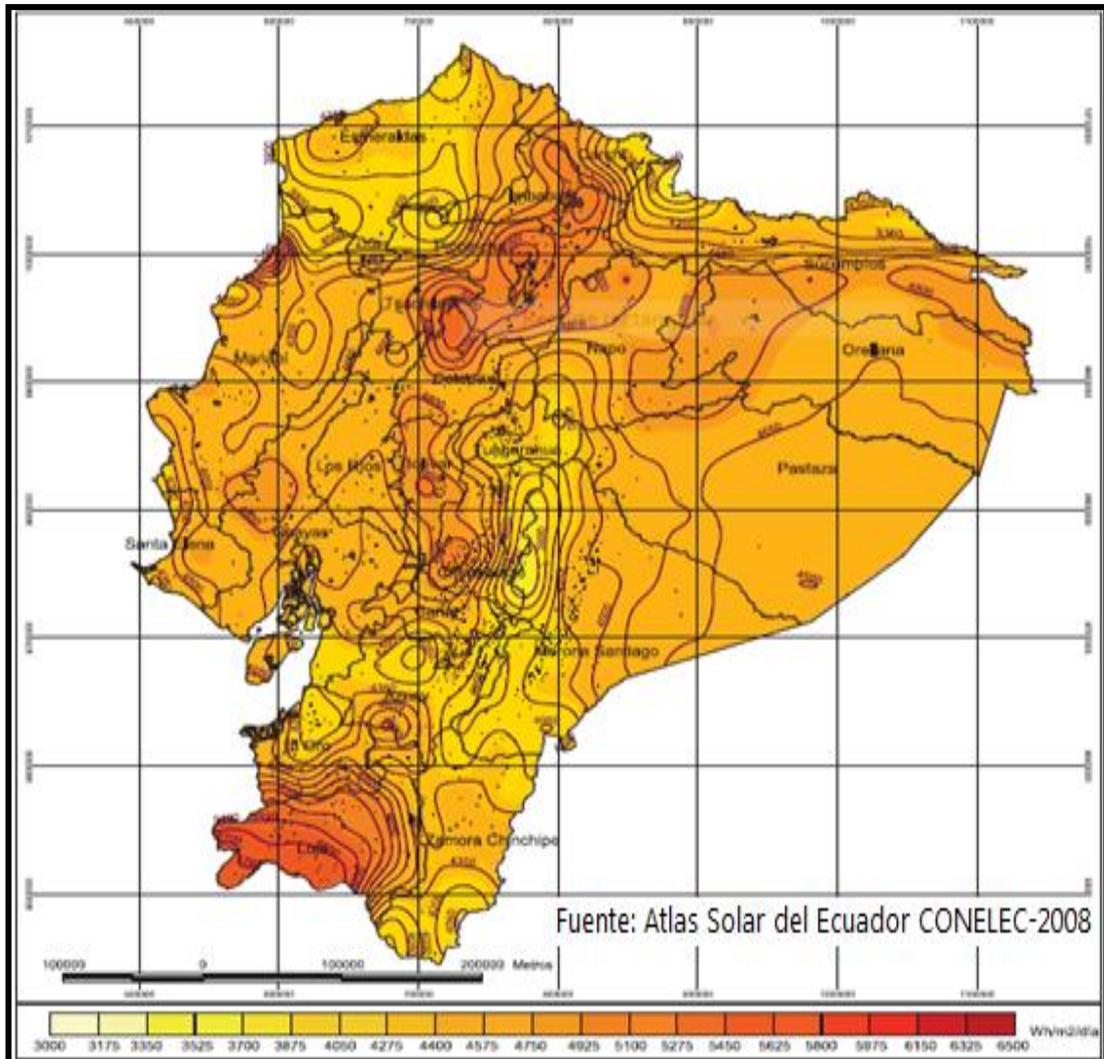


Figura # 3 Potencial de Energía Renovables - Solar en el Ecuador

Otro potencial de energía dentro del Ecuador es la energía eólica, o la energía generada por los vientos. En la actualidad existen muy pocas instalaciones de energía eólica dentro del país, pero se ha demostrado mediante muchos estudios científicos e instalaciones a nivel mundial que se trata de una energía más limpia y sencilla que la energía solar. Debido a su fácil implementación y mantenimiento se ha convertido en una salida muy limpia, económica y conveniente para los diferentes sistemas de generación eléctrica. En la **Figura # 4** se muestra el potencial de la energía eólica para las diferentes regiones dentro del Ecuador.

Se resaltan diferentes ventajas al utilizar estas variantes de energías renovables. La más importante es que se trata de fuentes inagotables de energía y ayudan a reducir el consumo de combustibles fósiles.

Además, las condiciones de cobertura de energía eléctrica, topología, geografía y satisfacción de la demanda que se presentan en la actualidad dentro del Ecuador, demuestran un estrecho vínculo entre dichas tecnologías con la electrificación y albergización rural especialmente.

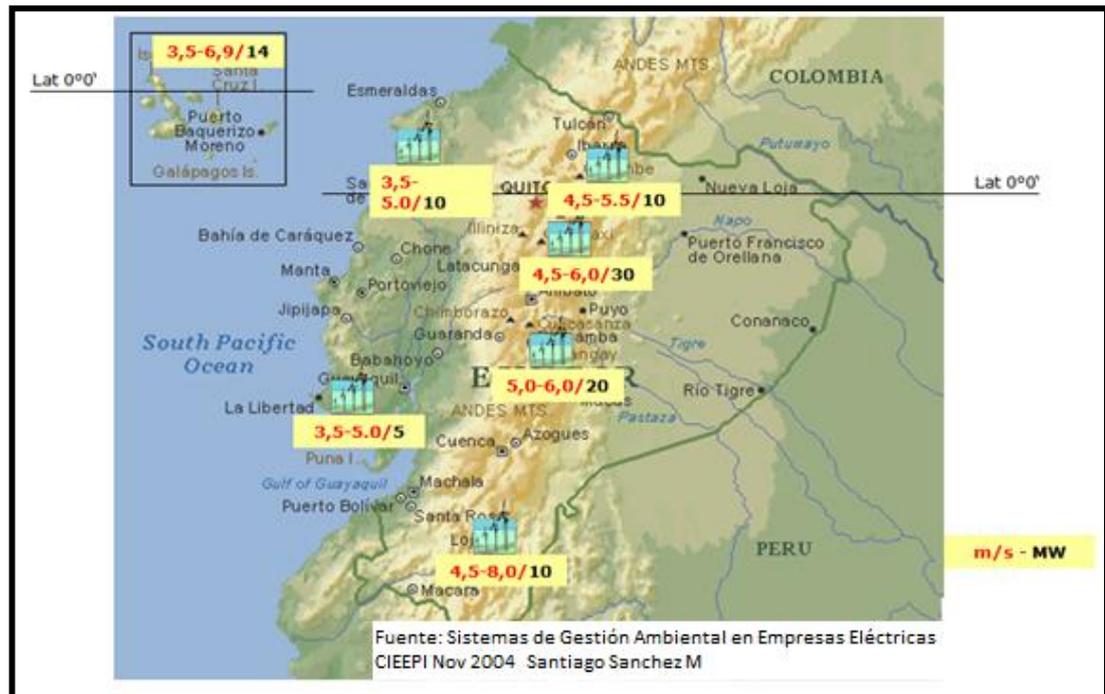


Figura # 4 Potencial de Energía Renovables - Eólica en el Ecuador

Conociendo el potencial individual tanto del sistema fotovoltaico como del sistema eólico en el Ecuador, también es necesario conocer que estos dos sistemas son totalmente complementarios, debido a que en ausencia de luz solar se tiene viento y viceversa. En la **Figura # 5** se muestra la relación entre la luz solar y el viento durante los meses del año, evidenciando que son claramente complementarios el uno con el otro, beneficiando de gran forma la instalación de un sistema híbrido.

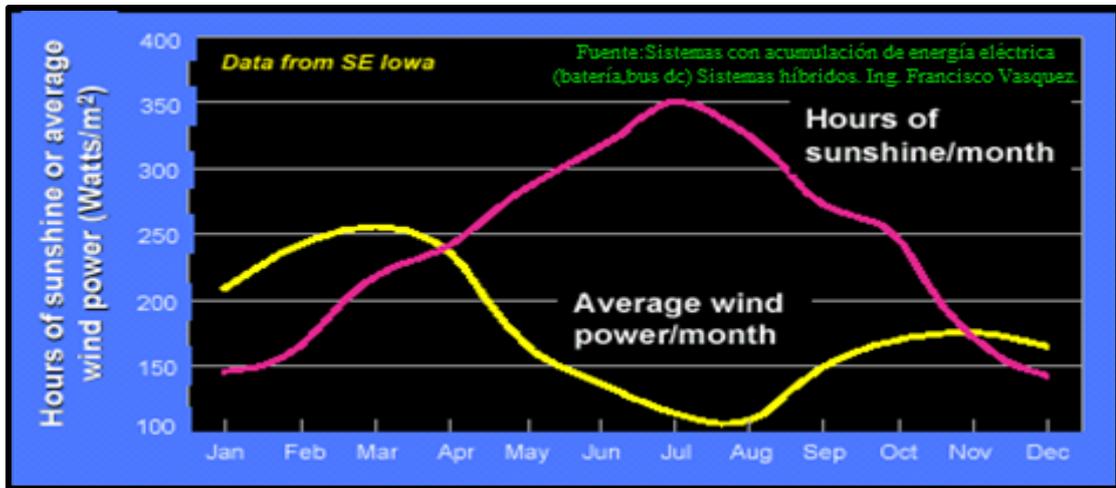


Figura # 5 Comportamiento de energía solar vs eólica.

Sabiendo el promedio de precipitación pluvial anual en cada región se puede pensar en una gran posibilidad de atender las necesidades de los habitantes de la vivienda en cuanto al consumo y utilización del agua. Los datos estadísticos en cada región son los siguientes:

Región	Precipitación Pluvial promedio anual (mm ³)
Sierra	1,115mm ³
Costa	500 mm ³
Oriente	4.500 mm ³

Tabla # 1 Precipitación Pluvial Promedio Anual

1.4 Objetivo general

Abastecer de servicios de electricidad y agua a una vivienda, mediante el diseño del sistema de control y supervisión para el suministro híbrido de electricidad y recolección de agua lluvia dentro de la misma.

1.5 Objetivos Específicos

- Realizar el estudio para la aplicación de estos sistemas en una vivienda.
- Agrupar las diferentes funcionalidades dentro de un control centralizado, para verificar su correcto desempeño.
- Realizar un estudio de factibilidad económica para la implementación de dicho diseño en la vivienda.

2) Marco Conceptual

2.1 Bases Teóricas

Energías Alternativas.

Las energías alternativas son fuentes de obtención de energía sin destrucción del medio ambiente. También se les llama energías renovables o verdes. De la misma forma, se considera como energía alternativa la que está libre de la quema de combustibles fósiles, por lo que son beneficiosas para el medio ambiente. Algunas de ellas son:

- Eólica: producida por el movimiento del viento.
- Solar: Utiliza la radiación solar.
- Geotérmica: Uso del agua que surge bajo presión desde el subsuelo.
- Biomasa: Utiliza la descomposición de residuos orgánicos.

Entonces una fuente de energía alternativa es aquella que puede suplir a las energías o fuentes energéticas actuales, ya sea por su menor efecto contaminante, o fundamentalmente por su posibilidad de renovación.

Importancia de las Energías Alternativas.

La importancia radica principalmente en las ventajas que poseen dichos tipos de energías, siendo primordial la generación eléctrica sin necesidad de quemar combustibles fósiles, ayudando de esta forma a proteger el medio ambiente. Otro factor relevante es que, al ser fuentes de energía "inagotables", éstas podrán ser utilizadas durante períodos mucho más largos.

Ventajas de las Energías Alternativas.

Entre las múltiples ventajas de las energías alternativas, se presentan las siguientes:

- Recursos Inagotables de Energía.
- El uso de fuentes de energía renovable, ya que las fuentes fósiles actualmente explotadas terminarán agotándose, según los pronósticos actuales, en el transcurso de este siglo XXI.
- El uso de fuentes limpias, abandonando los procesos de combustión convencionales y la fisión nuclear.
- La disminución de la demanda energética, mediante la mejora del rendimiento de los dispositivos eléctricos (electrodomésticos, lámparas, etc.)

2.2 Delimitaciones Conceptuales

Energía Solar

Concepto.

La energía solar es la radiación electromagnética emitida por el sol hacia la tierra, mientras que la **Energía solar disponible** es la cantidad de radiación solar promedio diaria mensual estimada estadísticamente. La energía solar es una de las llamadas energías renovables, particularmente del grupo no contaminante, conocido como energía limpia o energía verde.

La potencia de la radiación de la energía solar varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas y la latitud. Se puede asumir que en buenas condiciones de irradiación el valor es de aproximadamente 1000 W/m^2 en la superficie terrestre. A esta potencia se la conoce como "irradiancia". La radiación es aprovechable en sus componentes directa y difusa, o en la suma de ambas. La radiación directa es la que llega directamente del foco solar. La difusa es la emitida gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que no es posible concentrar la luz difusa que proviene de todas las direcciones. La irradiancia directa normal fuera de la atmósfera, recibe el nombre de "constante solar" y tiene un valor medio de 1354 W/m^2 .

Historia

El principio fotovoltaico fue descubierto por el físico Edmund Becquerel en 1839 al iluminar el electrodo de una célula electrolítica con electrolito poco conductor. Durante los años 1880, las primeras células fotovoltaicas eran fabricadas con Selenio. En la década 1940-50 se dio la obtención de monocristales de Silicio con la suficiente pureza para el desarrollo de células solares, esto gracias al desarrollo de transistores y diodos. Posteriormente para 1954 los investigadores de los Laboratorios Bell publican los resultados de su descubrimiento celdas solares de silicio con una eficiencia del 4,5%.

En 1955 se comercializa el primer producto fotovoltaico, con una eficiencia del 2% al precio de \$25 cada celda de 14 mW; sin embargo, no es hasta 1973 donde La Universidad de Delaware construye "Solar One", una de las primeras viviendas con Energía Fotovoltaica. Las placas fotovoltaicas instaladas en el techo tienen un doble efecto: generar energía eléctrica y actuar de colector solar. Para

1982 la producción mundial de Energía Fotovoltaica supera los 9.3 MW, pero para 1983 la producción mundial de Energía Fotovoltaica supera los 21.3 MW.

Energía Solar Fotovoltaica

Se denomina energía solar fotovoltaica a la forma de obtención de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos.

Los módulos fotovoltaicos o colectores solares fotovoltaicos (Paneles Solares Fotovoltaicos) están formados por un conjunto de celdas que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos. El parámetro estandarizado para clasificar su potencia se denomina potencia pico, y se corresponde con la potencia máxima que el módulo puede entregar bajo unas condiciones estandarizadas, que son: Radiación de 1000 W/m² y Temperatura de célula de 25 °C.

Las placas fotovoltaicas se dividen de acuerdo a la estructura que lo forman en tres tipos, los cuales son:

- **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).
- **Policristalinas:** Cuando están formadas por pequeñas partículas cristalizadas.
- **Amorfas:** Cuando el silicio no se ha cristalizado.

Su efectividad es mayor cuanto mayores son los cristales, pero también su peso, grosor y costo. El rendimiento de las primeras puede alcanzar el 20% mientras que el de las últimas puede no llegar al 10%, sin embargo su costo y peso es muy inferior.

El aprovechamiento de ésta, para producir energía eléctrica se basa en el siguiente fenómeno: Cuando la luz del sol incide sobre ciertos materiales llamados semiconductores, los fotones que la constituyen son capaces de transmitir su energía a los electrones de valencia del semiconductor para que rompan el enlace que los mantiene ligados a los átomos respectivos. Por cada enlace roto queda un electrón libre para circular dentro del sólido, este también puede desplazarse libremente en el interior del sólido, transfiriéndose de un átomo a otro debido al desplazamiento del resto de los electrones de los enlaces. La estructura física de los semiconductores crea un campo eléctrico que establece una trayectoria de los electrones liberados de manera que se genera una corriente eléctrica.

Energía Eólica

Concepto

Es la energía obtenida a partir del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire. El término eólico viene del latín *Aeolicus*, relativo a Eolo, dios de los vientos en la mitología griega. La energía eólica es un recurso abundante, renovable y limpio, por lo tanto se la considera una energía limpia o energía verde.

La energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire que se desplazan de áreas de alta presión atmosférica hacia áreas adyacentes de baja presión, con velocidades proporcionales al gradiente de presión. Los vientos son generados a causa del calentamiento no uniforme de la superficie terrestre por parte de la radiación solar, entre el 1 y 2% de la energía proveniente del sol se convierte en viento.

El potencial eólico está determinado por tres factores:

- La velocidad del viento, la generación de energía eólica disponible se incrementa exponencialmente, con el aumento de la velocidad del viento. La potencia disponible es proporcional al cubo de la velocidad.
- Las características del viento, Las formaciones geográficas, las estructuras artificiales pueden diferenciar el recurso eólico utilizable y uno que no lo es.
- La densidad del aire, las bajas temperaturas dan lugar a mayor densidad del aire, lo que significa mayor fluidez de las moléculas gaseosas sobre la pala de la turbina, lo que produce mayor rendimiento de potencia para una determinada velocidad.
- El potencial eólico, es decir la energía cinética del viento en una unidad de tiempo, se incrementa con el cubo de la velocidad del viento. por lo tanto de los tres parámetros antes citados, la velocidad del viento es el determinante.

La energía del viento es utilizada mediante el uso de máquinas eólicas (o aerogeneradores) capaces de transformar la energía eólica en energía mecánica de rotación utilizable. Para poder utilizar la energía del viento, es necesario que este alcance una velocidad mínima que depende del aerogenerador que se vaya a utilizar pero que suele empezar entre los 3 m/s (10 km/h) y los 4 m/s (14,4 km/h), velocidad llamada "cut-in speed", y que no supere los 25 m/s (90 km/h), velocidad llamada "cut-out speed".

Historia

Los primeros molinos de uso práctico fueron construidos en Sistán, Afganistán, en el siglo VII. Estos fueron molinos de eje vertical con hojas rectangulares. En Europa los primeros molinos aparecieron en el siglo XII en Francia e Inglaterra. Eran unas estructuras de madera, conocidas como torres de molino, que se hacían girar a mano alrededor de un poste central para levantar sus aspas al viento. Estos primeros ejemplares tenían una serie de características comunes. De la parte superior del molino sobresalía un eje horizontal. De este eje partían de cuatro a ocho aspas, con una longitud entre 3 y 9 metros. Las vigas de madera se cubrían con telas o planchas de madera. La energía generada por el giro del eje se transmitía, a través de un sistema de engranajes, a la maquinaria del molino emplazada en la base de la estructura. En Estados Unidos, se desarrollaron molinos de bombeo, reconocibles por sus múltiples velas metálicas. Las turbinas modernas fueron desarrolladas a comienzos de 1980, si bien, los diseños continúan en desarrollo. La industria de la energía eólica en tiempos modernos comenzó en 1979 con la producción en serie de turbinas de viento por los fabricantes Kuriant, Vestas, Nordtank, y Bonus. Aquellas turbinas eran pequeñas para los estándares actuales, con capacidades de 20 a 30 kW cada una.

En la actualidad, la energía eólica es utilizada principalmente para producir energía eléctrica mediante aerogeneradores. A finales de 2007, la capacidad mundial de los generadores eólicos fue de 94.1 gigawatios. Mientras la eólica genera alrededor del 1% del consumo de electricidad mundial, representa alrededor del 19% de la producción eléctrica en Dinamarca, 9% en España y Portugal, y un 6% en Alemania e Irlanda.

Sistemas Híbridos

Concepto

Los sistemas híbridos para la generación de electricidad pueden ser definidos como la asociación de dos o más fuentes de energía con el objetivo básico de generar energía eléctrica, para una determinada carga aislada de la red o integrada al sistema. Los sistemas híbridos son normalmente compuestos por fuentes renovables cuyos recursos son prácticamente inagotables y de ser necesario se complementan con grupos de generación con motores a combustión constituyéndose en una concreta opción, compatible a nivel medio ambiental y social.

Generalidades

Los sistemas híbridos nacen por la necesidad de mantener el suministro eléctrico dentro de la vivienda de forma constante, sin cortes en la misma. Inicialmente los sistemas híbridos eran diseñados a base de paneles solares fotovoltaicos y generadores alimentados por combustibles (Gasolina, Diesel o Bunker), pero éstos han ido perdiendo fuerza por el alto costo de los mismos y por la gran contaminación producida.

Actualmente, debido a que el precio de otros métodos de generación eléctrica alternativos ha ido disminuyendo, y la necesidad de tener bancos de baterías cada vez más pequeños para mantener el sistema siempre activo al menor costo posible; han aparecido nuevas variantes de sistemas híbridos, uno de los más populares es el sistema híbrido Eólico-Fotovoltaico, conformado por un aerogenerador y un grupo de paneles solares.

Recolección y tratamiento de Aguas Lluvia.

Definición

La captación de agua de lluvia es un medio fácil de obtención de agua para consumo humano. En muchos lugares del mundo con alta o media precipitación y en donde no se dispone de agua en cantidad y calidad necesaria para consumo humano, se recurre al agua de lluvia como fuente de abastecimiento. El sistema funciona cuando el agua de lluvia es interceptada, colectada y almacenada en depósitos para su posterior uso.

En la captación del agua de lluvia con fines domésticos se acostumbra a utilizar la superficie del techo como captación, conociéndose a este modelo como SCAPT (sistema de captación de agua pluvial en techos). Este modelo tiene un beneficio adicional y es que además de su ubicación minimiza la contaminación del agua. Adicionalmente, los excedentes de agua pueden ser empleados en pequeñas áreas verdes para la producción de algunos alimentos.

Características funcionales del sistema SCAPT.

La cosecha de agua se determina por la superficie captadora, entre mayor sea la superficie mayor será la captación pluvial, por lo general se utiliza la azotea. Las tuberías utilizadas para el desalojo de agua pluvial pueden ser utilizadas para los sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia.

El filtro es el componente más importante en un sistema de captación pluvial, dicho filtro debe de tener a capacidad de retener las partículas orgánicas y minerales encontradas en la superficie captadora y en la lluvia, su funcionamiento debe de ser auto-purgante para no requerir de mayor mantenimiento.

Ventajas y desventajas del sistema SCAPT.

La captación de agua de lluvia para consumo humano presenta las siguientes ventajas:

- Alta calidad físico química del agua de lluvia.
- Sistema independiente y por lo tanto ideal para comunidades dispersas y alejadas.
- Empleo de mano de obra y/o materiales locales.
- No requiere energía para la operación del sistema.
- Fácil de mantener
- Comodidad y ahorro de tiempo en la recolección del agua de lluvia.

Sistema de control.

Definición

Un sistema dinámico puede definirse como un ente que recibe acciones externas o variables de entrada, y cuya respuesta a estas acciones externas son las denominadas variables de salida. Un sistema de control es un tipo de sistema que se caracteriza por la presencia de una serie de elementos que permiten influir en el funcionamiento del sistema. La finalidad de un sistema de control es conseguir, mediante la manipulación de las variables de control, un dominio sobre las variables de salida, de modo que estas alcancen unos valores prefijados. La **Figura # 6** muestra los componentes principales de un sistema de control los mismos que serán detallados a continuación:

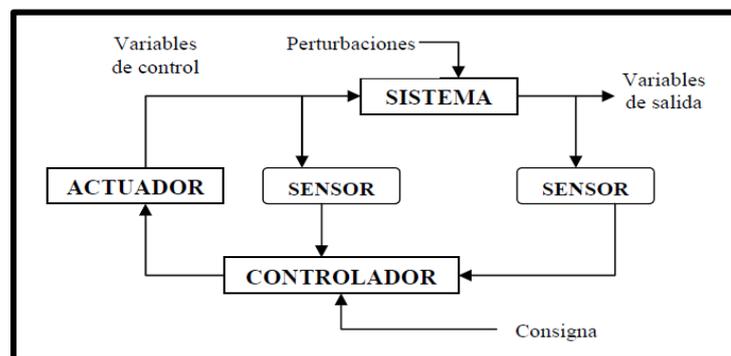


Figura # 6 Esquema general de un sistema de control.

Microcontrolador.

Es el encargado de controlar los procesos a realizarse y de recoger los datos que entreguen los sensores para que según la programación para la cual se la prepare, haga trabajar a los diferentes tipos de actuadores según las necesidades que se presenten.

Sensores.

Un sensor no es más que un dispositivo diseñado para recibir información de una magnitud del exterior y transformarla en otra magnitud, normalmente eléctrica, que se pueda cuantificar y manipular. Las variables de instrumentación dependen del tipo de sensor y pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, nivel de agua, presión, humedad. Una magnitud eléctrica obtenida puede ser una resistencia eléctrica, una capacidad eléctrica, una tensión eléctrica, una corriente eléctrica, etc. Normalmente estos dispositivos se encuentran realizados mediante la utilización de componentes pasivos (resistencias variables, PTC, NTC, LDR, etc... todos aquellos componentes que varían su magnitud en función de alguna variable), y la utilización de componentes activos.

Actuadores.

Los actuadores son dispositivos capaces de generar una fuerza a partir de líquidos, de energía eléctrica y gaseosa. El actuador recibe la orden de un regulador o controlador y da una salida necesaria para activar a un elemento final de control como son las válvulas. Existen tres tipos de actuadores:

- Hidráulicos.
- Neumáticos.
- Eléctricos.

Los actuadores hidráulicos, neumáticos y eléctricos son usados para manejar aparatos mecatrónicos. Por lo general, los actuadores hidráulicos se emplean cuando lo que se necesita es potencia y los neumáticos son simples posicionamientos. Sin embargo, los hidráulicos requieren demasiado equipo para suministro de energía, así como mantenimiento periódico. Por otro lado, las aplicaciones de los modelos neumáticos también son limitadas desde el punto de vista de precisión y mantenimiento. Los actuadores eléctricos también son muy utilizados en los aparatos mecatrónicos, como por ejemplo, en los robots. Los servomotores CA sin escobillas se utilizarán en el futuro como actuadores de posicionamiento preciso debido a la demanda de funcionamiento sin tantas horas de mantenimiento.

3) Levantamiento de Información Primaria y Secundaria.

3.1 Aspectos Metodológicos.

El presente proyecto presenta subsistemas de estudio, todos y cada uno de ellos compuestos por variables que conforman tanto el sistema de Generación Eléctrico Híbrido como el sistema de recolección de Aguas Lluvia. Siendo dichos subsistemas los siguientes:

- Sistema de Generación Eléctrica Híbrido combinando energía solar con energía eólica.
- Sistema de Generación Eléctrica Solar, mediante el uso de paneles solares Fotovoltaicos.
- Sistema de Generación Eléctrica Eólica, mediante el uso de un aerogenerador.
- Almacenamiento y utilización de energía en bancos de baterías.
- Sistema de control tanto para la Generación eléctrica como para el sistema de recolección de aguas lluvia.
- Sistema de recolección de aguas lluvia.

Sistema de Generación Eléctrico Híbrido.

Sabiendo que se puede combinar los tipos de energías alternativas que estamos presentando en dicho proyecto, el sistema de generación híbrido pretende optimizar la utilización de estas energías, garantizando con un buen sistema de control y un dimensionamiento correcto que los beneficiarios no tengan problema alguno por falta de energía Eléctrica.

Las variables a manejar en este subsistema son los niveles de tensión y corriente que va a proporcionar cada sistema de generación como también los niveles de tensión para el manejo del banco de baterías.

Sistema de Generación Eléctrica Solar.

Es de suma importancia pensar en los beneficios que nos puede presentar este tipo de energía y el aprovechamiento del mismo para la utilización de la energía en lugares donde es imposible llegar con el tendido eléctrico.

Las variables que se toman en cuenta en este subsistema son la incidencia solar y las necesidades energéticas de la vivienda, para así poder dimensionar el número de paneles solares a utilizar, así como también, desarrollar un buen sistema de control para proteger los paneles.

Sistema de Generación Eléctrico Eólico.

Al igual que la energía solar, la eólica es una energía limpia que no podemos dejar de lado para el aprovechamiento energético. El estudio presenta el dimensionamiento de las aspas del aerogenerador para tener una optimizada utilización de la corriente y voltaje que entrega dicho sistema, así como un sistema de control encargado de la protección y buen manejo de las cargas a utilizar.

Banco de Baterías.

Para garantizar la tranquilidad de los beneficiarios del estudio, el dimensionamiento del banco de baterías con un buen control de conmutación entre generadores y carga a utilizar, va a suplir de energía en los momentos en donde los generadores, por razones naturales no puedan alimentar de la energía necesaria. Las variables a tomar en cuenta en dicho sistema son los niveles de energía de las baterías sabiendo que entre marcas de baterías estos cambian; el estudio controla los rangos de carga y corte de las baterías y propone un control para los diferentes tipos de baterías al dar la posibilidad de variar dichos rangos.

Sistema de control.

Encargado de optimizar todas y cada una de las etapas o subsistemas que presenta dicho proyecto y dotar de inteligencia al mismo para que los beneficiarios disfruten de un sistema óptimo. En la parte de generación eléctrica va a ser el responsable de conmutar entre uno u otro tipo de energía manejando magnitudes de corriente, voltaje y potencia para compararlo y utilizar el que convenga en el momento. El control lo va a realizar el microcontrolador ayudado por sensores que nos indican los rangos de las magnitudes de estudio antes mencionadas y los actuadores que serán relés de conmutación entre los generadores y el banco de baterías. Para el sistema de recolección de Aguas Lluvia, el estudio garantiza tanto el llenado de tanques gracias a las electroválvulas que permiten el paso del agua como también de los sensores de nivel de agua así mismo el control del filtro indicando cuando haya algún problema en este se acuda a revisarlo.

Sistema de recolección de aguas Lluvia.

Analizando los tipos de sistemas de recolección se ha tomado como el sistema a utilizar en el presente proyecto, el llamado sistema de captación y almacenamiento pluvial en techos (SCAPT).

Las variables a utilizar en el sistema de captación de aguas lluvia son las magnitudes de mayor importancia para su cálculo como la precipitación pluvial en la

zona, que, junto a los cálculos de dimensionamiento según la necesidad de los habitantes de la vivienda y un sistema óptimo de control, permite garantizar la utilización tanto para el consumo humano gracias al filtro de potabilización del agua, así como utilizar el agua del tanque de primeras aguas para el riego de plantas.

Recursos

Recursos Humanos:

- Realizadores del proyecto, encargados de la recolección de la información, dimensionamiento de sistemas y diseñadores del proyecto.
- Especialistas en áreas presentadas, quienes dan asesoría y guías en cada uno de los temas que dominan.
- Director de proyecto, encargado de la revisión, control de avance del proyecto, asesoría y aprobación del proyecto en cada una de sus etapas.

Recursos Técnicos:

- Computadores portátiles.
- Módulo National Instruments.

Cronograma de trabajo.

A continuación se detalla el cronograma utilizada para la elaboración de este proyecto, donde se detallan cada una de las partes realizadas.

ACTIVIDADES	SEMANAS									
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10
Fundamentación del Proyecto	■	■								
Bases Teóricas			■	■						
Levantamiento de Información				■	■	■				
Cálculos, Simulaciones y Diseño					■	■	■	■		
Diseño Final y Conclusiones							■	■	■	■
Presentación Final									■	■

3.2 Actividades Realizadas.

Teniendo como propósito principal el diseño de un sistema óptimo y bien dimensionado de cada uno de los subsistemas antes mencionados, se ha recolectado y procesado la información necesaria para llegar a un diseño final,

pretendiendo de esta manera dar comodidad y un buen servicio tanto energético como de consumo y utilización de líquido vital a los beneficiarios del proyecto.

El proyecto parte de la recolección de información básica, analizando y organizando la información desde sus inicios, obteniendo de esta forma informaciones generales sobre lo que es un sistema híbrido, como combinar energías al igual que los tipos de energías que se van a fusionar en nuestro estudio. Por otra parte se analizó también el tema de recolección de aguas lluvia decidiendo el sistema SCAPT por su óptimo rendimiento.

Una vez que se tiene las ideas claras de qué es cada subsistema que se va a aplicar en el proyecto el segundo paso fue la recolección de información, el cual es el aspecto más importante para el diseño posterior. La recolección de la información se la hizo tomando en cuenta las necesidades básicas de la familia del estudio, sobredimensionando para posibles utilidades posteriores, y sabiendo que las necesidades energéticas serán con artefactos de cc y ca conociendo el consumo de cada uno de ellos, así como el consumo de líquido vital promedio en dicha familia y sin dejar de lado la incidencia de los medios naturales que van a ser aprovechados como aire, radiación solar y precipitación pluvial.

Con el fin de realizar un diseño optimizado y conociendo los datos técnicos de necesidades de los habitantes así como los datos estadísticos de incidencia de medios naturales y renovables a utilizar, el paso más importante del diseño es el dimensionamiento, el cual se realizó conociendo los materiales a utilizar, siendo los principales: paneles solares fotovoltaicos, aerogeneradores, tanques y canaletas de recolección. Con la utilización de fórmulas y cálculo sobredimensionado, demostrado anteriormente, se llegó a un dimensionamiento previsto para futuras utilidades adicionales.

El diseño del proyecto se lo hizo una vez que se conoció la cantidad de paneles solares fotovoltaicos, así como la longitud de las aspas del aerogenerador y las dimensiones de tanques de recolección de aguas lluvia. La parte a optimizar o dar inteligencia es la del control para la conmutación en la parte de generación eléctrica así como controles de nivel de agua en tanques de utilización y correcto funcionamiento del filtro de potabilización de agua. Para el control utilizamos el microcontrolador 16F877A de la empresa Microchip® que va a ser el encargado de conmutar entre los dos sistemas de generación así como del control de las baterías teniendo como actuadores relés de conmutación y de niveles de agua en tanques de recolección, comandando las electroválvulas.

Para comprobar los resultados del estudio realizado y garantizar a los beneficiarios el correcto funcionamiento del proyecto realizamos las simulaciones en el programa LabView 2009 de la compañía National Instruments® que arrojó los resultados esperados garantizando el normal funcionamiento y que los usuarios entiendan y sepan manejar dicho sistema de control.

El último paso fue dar a conocer los costos de los materiales dimensionados para la utilización en la vivienda en estudio, muchos de ellos no están a la venta en el país por lo que para asegurar precios se consultó en la página amazon.com como se muestra en el anexo número uno. Estos precios tienen ya la recarga de impuestos y envíos para importación, culminando así con el estudio del proyecto, pretendiendo que sea accesible para la persona que desea aplicarlo demostrando con cálculos que no existe desperdicio alguno, sino al contrario que es un sistema optimizado en costos y beneficios para el usuario en general.

4) Gestión de Productos.

4.1 Procesamiento de la Información Levantada.

Sistema Híbrido

Dimensionamiento del Sistema

Se denomina dimensionado o diseño de un sistema híbrido a una serie de procesos de cálculo que logran optimizar el uso y la generación de la energía eléctrica de origen solar y origen eólico, realizando un balance adecuado entre ellas, desde los puntos de vista técnico y económico. El primer aspecto que debemos considerar a la hora de realizar el diseño es el consumo racional de la energía.

Determinación del Consumo del Sistema.

Para conocer cuánta energía eléctrica se requiere en el objetivo de electrificar la vivienda, se deben tener en cuenta las características eléctricas de los equipos a alimentar y el tiempo de empleo por parte del usuario de dichos equipos. Es decir, se hace necesario conocer o estimar la corriente y la tensión o voltaje de trabajo de los equipos instalados y el número de horas diarias de trabajo, teniendo en cuenta las posibles ampliaciones que en el futuro se hagan en la instalación proyectada. Para este proceso es necesario realizar una división entre los elementos que trabajan en Corriente Continua (CC) y los elementos que funcionan mediante Corriente Alterna (CA).

En la **Tabla # 2** se muestra los elementos de Corriente Continua, y sus características eléctricas.

CALCULO DE LA ENERGÍA EN CORRIENTE DIRECTA					
Equipo	Potencia (W)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Horas de uso al día	Energía(Wh)
Lampara # 1	11	12	0,92	2	22,00
Lampara # 2	11	12	0,92	2	22,00
Lampara # 3	11	12	0,92	4	44,00
Lampara # 4	11	12	0,92	4	44,00
Refrigerador de CC	60	12	5,00	6,5	390,00
TOTAL					522,00

Tabla # 2 Consumo en Corriente Continua del Sistema.

En la **Tabla # 3** se muestra los elementos de Corriente Alterna, y sus características eléctricas. El factor 1,15 es para convertir el consumo de CA a CD al pasar por el inversor o convertidor de corriente continua en alterna; ya que los módulos o

paneles y las baterías electroquímicas solo producen este tipo de corriente. Este factor considera una eficiencia de 85 % en la conversión a plena carga del equipo.

CALCULO DE LA ENERGÍA EN CORRIENTE ALTERNA						
Equipo	Potencia (W)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Horas de uso al día	Rendimiento del Inversor de CC a CA	Energía(Wh)
Licudadora	100	110	0,91	0,16	1,15	18,40
Televisor 14"	50	110	0,45	5	1,15	287,50
Radio	25	110	0,23	5	1,15	143,75
Cargador	5	110	0,05	1,5	1,15	8,63
TOTAL						458,28

Tabla # 3 Consumo en Corriente Alterna del Sistema.

En la **Tabla # 4** se muestra el consumo total de energía proyectado para el sistema híbrido.

CONSUMO TOTAL DE ENERGIÁ	
Tipo de Consumo	Energía (Wh)
Corriente Continua	522,00
Corriente Alterna	458,28
TOTAL	980,28

Tabla # 4 Consumo Total de Energía del Sistema.

Una vez determinado el consumo de energía al interior de la vivienda es necesario determinar, la cantidad de paneles solares necesarios, las características del generador eólico y la capacidad, tipo y cantidad de baterías necesarias. Previo a estos procesos es necesario tomar en cuenta las siguientes condiciones, para mejorar la calidad del sistema:

- El consumo de energía será incrementado en un 20%, para compensar todas las pérdidas, en cables, paneles, conectores, etc. El nuevo valor de consumo será el siguiente:

$$\text{ConsumoTotal} = \text{ConsumoInicial} \times 20\% = 980,28 \times 1,2 = \mathbf{1176,33Wh}$$

- El Sistema Solar será diseñado para abastecer el 75% de la energía del sistema, es decir el mismo tendrá una capacidad de:

$$\text{EnergíaFV} = \text{ConsumoTotal} \times 0,75 = \mathbf{882,25 Wh}$$

- El Sistema Eólico al igual que el sistema solar será diseñado para abastecer el 45% de la energía del sistema, por lo cual el valor será:

$$\text{EnergíaEólica} = \text{ConsumoTotal} \times 0,45 = \mathbf{529,35Wh}$$

Sistema Solar

El proceso para determinar el número de paneles del sistema, comienza conociendo las características de la radiación solar en el lugar de instalación de los mismos, en este caso Ecuador. De acuerdo a datos estadísticos provistos por el CONELEC, en Ecuador, el mes más desfavorable en cuanto a radiación solar es el mes de Junio, en donde se tiene un promedio de 3.5 horas de 1000 WP/m² de radiación. Una vez conocida la cantidad de radiación en el Ecuador es necesario conocer las características de los paneles solares, los mismos que se sugieren en el sistema fotovoltaico son los módulos mono cristalinos de 100W con las siguientes características:

- Corriente máxima (pico): 5,72 A
- Tensión nominal: 12 V
- Potencia: 100W

Sistema Eólico

Cuando hablamos del dimensionamiento del aerogenerador lo primero a tomarse en cuenta es la velocidad promedio del viento en el lugar de la instalación. Según datos estadísticos de anemómetros instalados en el aeropuerto de Cuenca, se sabe que la dirección dominante del viento es la Nor-Oeste, y la velocidad promedio varía entre 1,76 m/s a 2,11 m/s, utilizando como dato estadístico para el cálculo el dato del mes más desfavorable que sería 1,4 m/s con un promedio de 3 horas diarias de viento a esta velocidad.

Sabiendo que la demanda de energía para el sistema eólico al considerar el 45% de la demanda total de la vivienda es de 529,35Wh y tomando en cuenta la constante de Bentz que indica que de la energía cinética del viento solo el 57% es convertida en energía mecánica y el rendimiento del dinamo que es de aproximadamente el 60% la energía que nuestro sistema va a necesitar será la siguiente:

$$EnergiaTotal = \frac{EnergiaInicial * cte.Bentz}{rend.dinamo} = \frac{529.35Wh * 1.754}{0.60} = \mathbf{1547.81Wh}$$

Una vez que se sabe las características del medio natural que va a producir la electricidad, podemos determinar el modelo de aerogenerador a utilizar, el cual será el siguiente:

- Energía nominal: 500w
- Energía máxima: 750W
- Diámetro del rotor: 2.7mm

- Velocidad del viento de arranque 1.2m/s
- Velocidad del viento nominal: 4m/s
- Voltaje nominal: 12V
- Velocidad de Corte: 10 m/s
- Rectificador de Onda Incorporado.

Una vez determinados el tipo de aerogenerador y la velocidad del viento en el mes más desfavorable, es necesario calcular el tamaño de las aspas que se van a instalar en el aerogenerador. Primero, al saber que se tiene una masa uniforme de aire m , con movimiento uniforme unidireccional de velocidad v , podemos trabajar con la expresión de la siguiente ecuación básica:

$$Ec = \frac{1}{2}mv^2$$

Si ρ es la densidad del aire de la corriente uniforme, la energía por unidad de volumen de esta masa es:

$$e = \frac{1}{2}\rho v^2$$

El flujo volumétrico Q a través de una superficie de control estacionaria de sección frontal A es:

$$Q = Av$$

El flujo de energía (flujo de aire que atraviesa la superficie que cubre un aerogenerador) o potencia eólica (potencia disponible en el aire) de la corriente a través de A es:

$$Ec = eQ = \frac{1}{2}\rho Av^3$$

En la **Figura # 7** se muestra el aerogenerador y su Área A barrida por el rotor de diámetro D y radio r .

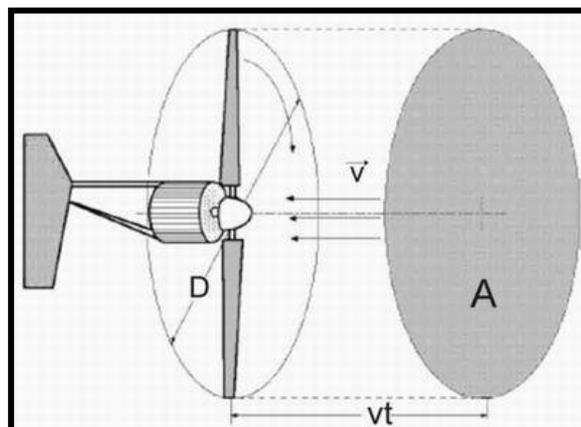


Figura # 7 Área A barrida por el rotor de diámetro D y radio r .

Banco de Baterías

Los módulos solares fotovoltaicos y el generador eólico constituyen el generador de electricidad, pero las baterías electroquímicas constituyen la base del funcionamiento del sistema es por esto la gran importancia del dimensionamiento de las mismas. Para lo cual es necesario considerar las siguientes características del sistema y del tipo de baterías que se vayan a utilizar dentro del sistema:

- Número de días de autonomía del sistema, es decir el número de días en los que el sistema no contara con sus fuentes de generación y dependerá únicamente del banco de baterías.
- Las pérdidas presentes en el regulador, los cables, los conectores y las baterías.
- El factor de rendimiento de las baterías en el ciclo de carga–descarga, en general en el orden del 85%
- Profundidad de descarga diaria permitida al banco de baterías electroquímicas, este dato varía de acuerdo al tipo de batería utilizada.

La fórmula para determinar la capacidad que deben tener las baterías del sistema es la siguiente, considerando que el sistema va a trabajar a 12V:

$$CB = \frac{EnergíaTotal}{12V} \times R \times PD \times DA$$

En donde:

CB: Capacidad de las Baterías

R: Factor de Rendimiento

PD: Profundidad de descarga.

DA: Número de días de autonomía del sistema

Sistema de Control

El sistema de control es el encargado de verificar el correcto funcionamiento de todas las partes del proyecto, estará dividido en dos partes principales: Control del Sistema Híbrido y Control del Sistema de Recolección de Agua. Se encontrarán controlados y supervisados por una unidad de control central, la misma que será un Microcontrolador PIC16f877A de MicroChip®, el mismo que tiene las siguientes características:

- Memoria de Programa tipo Flash 8Kx14.

- Memoria Datos 368 bytes.
- EEPROM 256 bytes.
- 33 pines de Entrada/Salida.
- Conversor A/D de 10-bits (8 canales).
- 2 Módulos CCP (Captura, Comparador, PWM).
- 1 USART (Puerto Serie)
- 2 Timers de 8 bits y un Timer de 16bits.

En la **Tabla # 5** se muestra la distribución de recursos del sistema de control, tanto la parte de control del Sistema Híbrido como la parte de control del Sistema de recolección de agua, distribuidos dentro del Microcontrolador, donde se incluye la funcionalidad de cada parte, número de pin y descripción de cada una de las partes que conforma el mismo.

Puerto	Denominación del pin.	Configuración	Pin #	Función
A	Ra0	Entrada Analógica (ADC)	2	Voltaje Paneles Solares
	Ra1	Entrada Analógica (ADC)	3	Voltaje Aerogenerador
	Ra2	Entrada Analógica (ADC)	4	Voltaje Baterias
	Ra3	Entrada Analógica (ADC)	5	Voltaje Sensor de Nivel
	Ra5	Salida Digital	7	Control LCD (RS)
	Ra6	Entrada Digital	8	Control Flotador Tanque 1
B	Rb0	Entrada Digital	33	Control Teclado Matricial
	Rb1	Entrada Digital	34	Control Teclado Matricial
	Rb2	Entrada Digital	35	Control Teclado Matricial
	Rb3	Entrada Digital	36	Control Teclado Matricial
	Rb4	Salida Digital	37	Control Teclado Matricial
	Rb5	Salida Digital	38	Control Teclado Matricial
	Rb6	Salida Digital	39	Control Teclado Matricial
	Rb7	Salida Digital	40	Control Teclado Matricial
C	Rc0	Salida Digital	15	Control LCD (E)
	Rc1	Entrada Digital	16	Control Flotador Filtro
	Rc2	Salida Digital	17	Electrovalvula # 1
	Rc3	Salida Digital	18	Electrovalvula # 2
	Rc4	Salida Digital	23	Control Relé Solar
	Rc5	Salida Digital	24	Control Relé Eólico
	Rc6	Salida Digital	25	Control Relé Baterias
	Rc7	Salida Digital	26	Control Relé Conmutador

D	Rd0	Salida Digital	19	Control LCD (Datos)
	Rd1	Salida Digital	20	Control LCD (Datos)
	Rd2	Salida Digital	21	Control LCD (Datos)
	Rd3	Salida Digital	22	Control LCD (Datos)
	Rd4	Salida Digital	27	Control LCD (Datos)
	Rd5	Salida Digital	28	Control LCD (Datos)
	Rd6	Salida Digital	29	Control LCD (Datos)
	Rd7	Salida Digital	30	Control LCD (Datos)

Tabla # 5 Distribución de Recursos del Sistema de Control dentro del

Control del Sistema Híbrido

Encargado del correcto funcionamiento del sistema híbrido de generación eléctrica, las características de este serán las siguientes:

- Sensor de Voltaje de los Paneles Solares.
- Sensor de Voltaje del Aerogenerador.
- Sensor de Voltaje del Banco de Baterías.
- Control de carga y descarga del Banco de Baterías.
- Control de conmutación entre el generador solar y el generador eólico.
- Control de conmutación del sistema eólico (Sistema de Protección)
- Control de conmutación del sistema solar. (Sistema de aprovechamiento de energía)

Control del Sistema de Recolección de Agua Lluvia

Encargado de la medición de parámetros y correcto funcionamiento del sistema de recolección de agua, tendrá las siguientes funciones:

- Medición de Nivel de Agua del Tanque de Almacenamiento.
- Control de Nivel de Agua del Tanque de Primeras Aguas.
- Control de Llenado y vaciado de los Tanques.
- Control del estado del filtro.

4.2 Aplicación y Análisis de Resultados.

Sistema Híbrido

Una vez determinadas las características principales que debe tener el sistema, se procede a dimensionar cada una de las partes que lo conforman de acuerdo a lo antes mencionado.

Dimensionamiento del Sistema Solar

Luego de determinar la energía producida por cada panel y las características de la radiación en el lugar de instalación, se toma el dato de radiación más desfavorable en el país, y el dato de catálogo de la energía generada por cada panel solar utilizado. La energía generada por cada panel es la siguiente:

$$EnergiaGenerada^{c/panel} = PP \times HR = 100W \times 3.5h = \mathbf{300Wh}$$

Conociendo que la demanda de energía del sistema fotovoltaico que es igual a 882.25Wh y que cada panel es capaz de generar 300Wh, es posible determinar el número de paneles necesarios para generar la energía prevista para el sistema solar, la misma que será igual a:

$$Número\ de\ Paneles = \frac{EnergiaTotalFV}{EnergiaGenerada^{c/panel}} = \frac{882.25}{300} = \mathbf{2.95\ Paneles}$$

En conclusión se necesitan **3 paneles** de las características antes mencionadas para cumplir con la condición de que el sistema solar genere el 75% de la energía total del sistema.

Dimensionamiento del Sistema Eólico

Una vez determinada la cantidad de energía que necesita generar el sistema eólico, es necesario calcular la potencia que debe poseer el aerogenerador para generar dicha energía, para esto se utiliza el tiempo promedio de viento que incide en la zona a una velocidad determinada durante un día, utilizamos como dato estadístico 3 horas en las que el viento sopla a 1.4m/s, obteniendo la potencia del aerogenerador.

$$PotenciaTotalRequerida = \frac{EnergiaTotal(Wh)}{\#Promedio\ de\ horas\ (h)} = \frac{1547.81Wh}{3h} = \mathbf{515.94W}$$

Una vez conocida la fórmula para determinar el área del aerogenerador, despejamos el área para luego obtener las dimensiones de las aspas del aerogenerador, quedando de la siguiente manera:

$$A = \frac{2Ec}{\rho v^3} = \frac{2 * 515.94}{1185 * (1.93)^3} = \mathbf{0.3173m^2}$$

Despejando de la fórmula del área el radio obtenemos la longitud de las aspas del aerogenerador.

$$A = \pi r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 0.3177m = \mathbf{31.77cm}$$

Se recomienda que para futuras ampliaciones del sistema se tome como referencia un 30% más del tamaño calculado de las aspas siendo el tamaño definitivo el siguiente:

$$longAspas = r. calculado * 30\% = \mathbf{41,31cm}$$

Por lo tanto la longitud de las aspas para el aerogenerador será de **42cm**, para obtener la energía y la potencia deseada del mismo a la velocidad del viento ya especificada.

Dimensionamiento del Banco de Baterías

Luego de determinar la expresión necesaria para el cálculo de la capacidad de las baterías se tomaron en cuenta los siguientes valores:

- Rendimiento de la Batería = 85%
- Profundidad de Descarga = 70%
- Número de Días de autonomía = 1.5 Días.
- Voltaje Nominal = 12V
- Energía total del sistema = 980.28

Por lo que obtenemos el siguiente cálculo y los resultados de la capacidad que deben tener las baterías:

$$CB = \frac{980.28 Wh \times 1.5}{12V \times 0.85 \times 0.7} = \mathbf{205.94 Ah}$$

Diseño Final y resumen del sistema híbrido Solar-Eólico.

En esta sección se muestra el diseño final del sistema Híbrido Fotovoltaico-Eólico, con todas y cada una de sus partes y sus características principales. En la **Figura # 8** se muestra el esquema de conexión del sistema híbrido conforman y su ubicación y función para la vivienda.

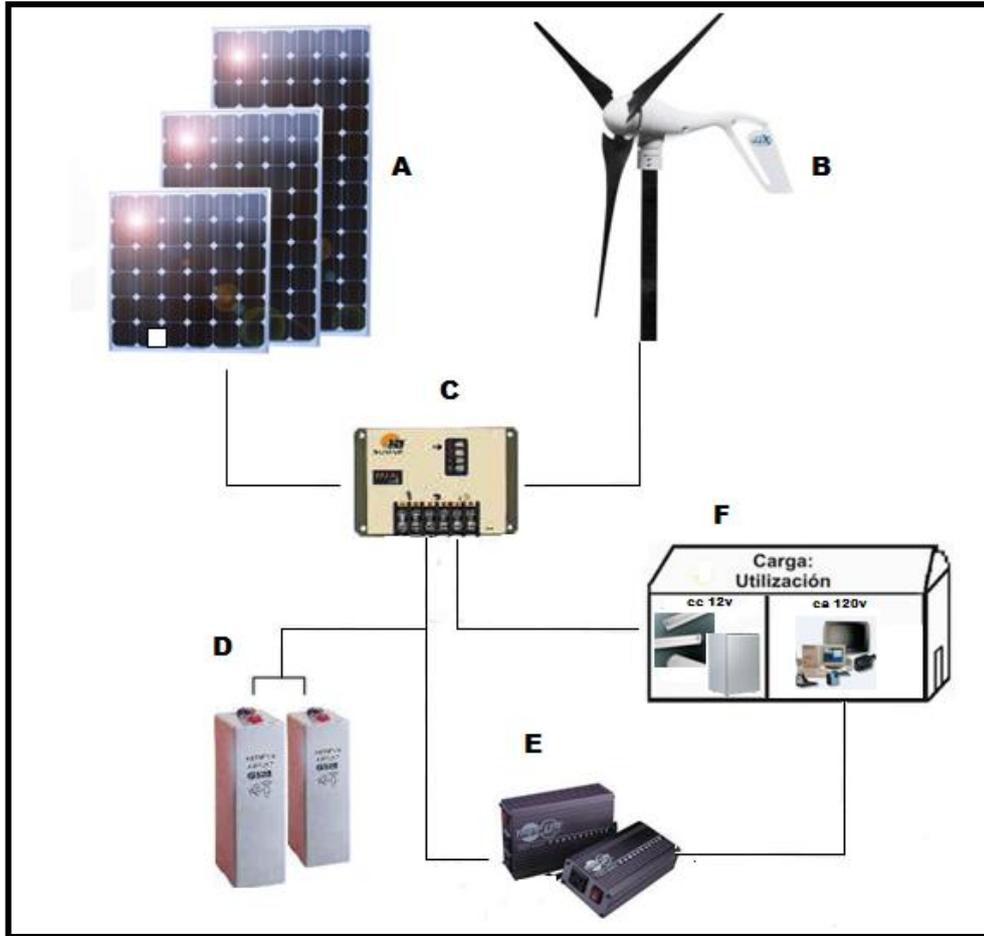


Figura # 8 Esquema del diseño del Sistema Híbrido de Generación Eléctrica

A) Paneles solares fotovoltaicos: En el diseño del sistema fotovoltaico el mismo cubre el 75% de la demanda total energética de la vivienda siendo esta:

$$Energia_{FV} = Consumo_{Total} \times 0.75 = 882.25 \text{ Wh}$$

Conociendo la demanda energética, la incidencia solar y datos de catálogo de los paneles se calculó que se necesitan **3 paneles solares de 100W** para cumplir con la condición de que el sistema solar fotovoltaico genere el 75% de la energía total del sistema.

B) Generador eólico: Este sistema será el encargado de cubrir el 45% de la demanda total energética de la vivienda siendo esta:

$$Energia_{eólica} = Consumo_{Total} \times 0.45 = 529.35 \text{ Wh}$$

Debido a la velocidad del viento en el mes menos favorable es de 1,4m/s y mediante cálculos físicos que consideran todas las variantes presentes en el aerogenerador y su comportamiento frente a las corrientes de aire, se determinó que la dimensión necesaria de las aspas del aerogenerador será de: **31,77cm** y

para futuras ampliaciones se calcula con el 30% más de la longitud calculada siendo esta:

$$longAspas = r. calculado * 30\% = 41,31cm$$

C) Regulador: El regulador tiene como función principal la protección de los acumuladores contra sobrecarga, otras funciones incorporadas pueden ser: la flotación (mantener los acumuladores cargados en una tensión media alta) control de consumidores (desconexión de consumidores cuando las baterías estén vacías). Todas las características serán consideradas para el diseño del mismo y así lograr su máximo rendimiento.

D) Banco de baterías: Es de gran importancia porque es el encargado de dar auto suficiencia a nuestro sistema, para su correcto dimensionamiento se tomaron en cuenta los siguientes factores:

- Número de días de autonomía del sistema
- Las pérdidas presentes en el regulador, los cables, los conectores y las baterías.
- El factor de rendimiento de las baterías en el ciclo de carga–descarga, en general en el orden del 85%
- Profundidad de descarga diaria permitida al banco de baterías electroquímicas, este dato varía de acuerdo al tipo de batería utilizada.

Considerando todos estos factores se obtuvo que la capacidad del banco de baterías será de **205.94Ah** con lo cual el sistema tendría una autonomía de 1.5 días.

E) Inversor de c.c. a c.a: Encargado de convertir la corriente continua entregada en corriente alterna necesaria para utilizar ciertos electrodomésticos de la vivienda del estudio, un factor que se debe tomar en cuenta es rendimiento del inversor el cual es del 85%.

Recolección y Almacenamiento de Agua Lluvia.

Diseño del Sistema

El sistema de recolección y almacenamiento de agua de lluvia en techos dentro de una vivienda está compuesto de los siguientes elementos:

- Captación.
- Recolección y Conducción.
- Interceptor.
- Filtrado.
- Almacenamiento.

En la **Figura # 9** se muestra las partes del sistema de agua lluvia y la ubicación que tendrán las mismas dentro de la vivienda

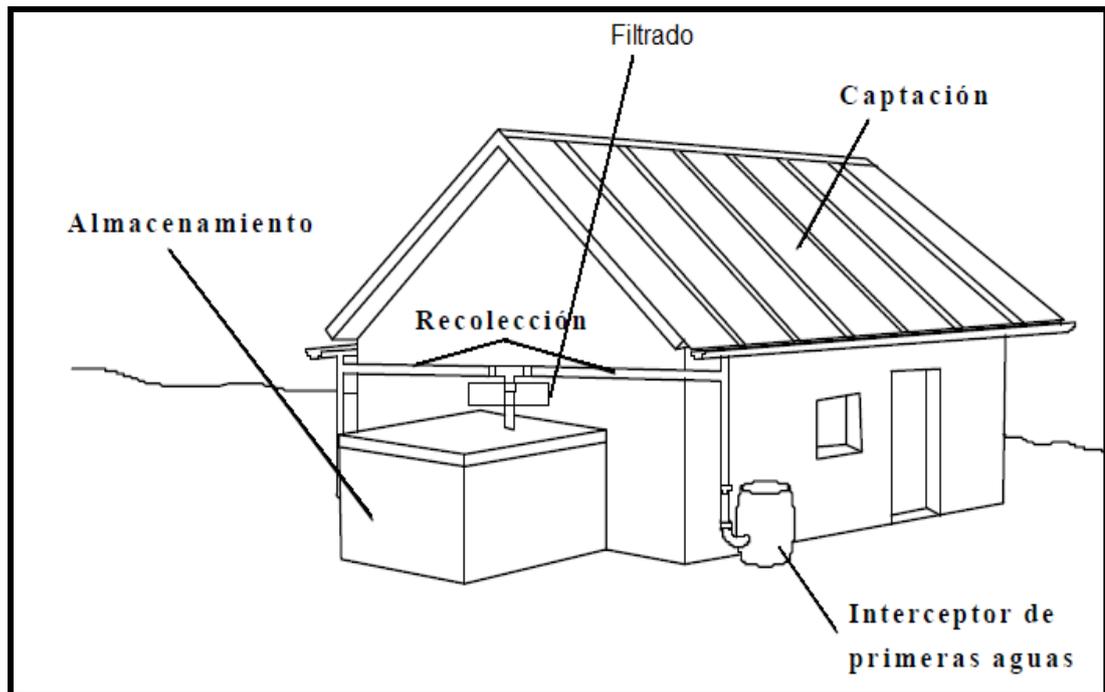


Figura # 9. SCAPT - Sistema de Captación de agua pluvial en techos.

Captación

Está conformado por el techo de la vivienda, el mismo que debe tener la superficie y pendiente adecuadas para que facilite el escurrimiento del agua de lluvia hacia el sistema de recolección. En el cálculo se debe considerar solamente la proyección horizontal del techo.

Los materiales empleados en la construcción de techos para la captación de agua de lluvia son la plancha metálica ondulada (planchas de zinc), tejas de arcilla, paja, tejados ondulados de cemento, etc.

Recolección y Conducción

Este componente es una parte esencial de los SCAPT ya que conducirá el agua recolectada por el techo directamente hasta el tanque de almacenamiento. Está conformado por las canaletas que van adosadas en los bordes más bajos del techo, en donde el agua tiende a acumularse antes de caer al suelo, en la **Figura # 10** se ilustra la posición y forma de instalación de los mismos.

El material de las canaletas debe ser liviano, resistente al agua y fácil de unir entre sí, a fin de reducir las fugas de agua. Al efecto se emplean materiales tales como el metal o PVC.

Por otra parte, es muy importante que el material utilizado en la unión de los tramos de la canaleta no contamine el agua con compuestos orgánicos o inorgánicos. En el caso de que la canaleta llegue a captar materiales indeseables, tales como hojas, excremento de aves, etc. el sistema debe tener mallas que retengan estos objetos para evitar que obturen la tubería montante o el dispositivo de descarga de las primeras aguas.

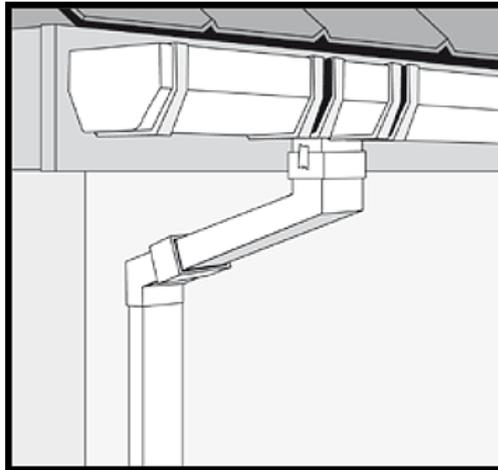


Figura # 10 Canaletas de recolección

Interceptor

Conocido también como dispositivo de descarga de las primeras aguas provenientes del lavado del techo y que contiene todos los materiales que en él se encuentren en el momento del inicio de la lluvia. Este dispositivo impide que el material indeseable ingrese al tanque de almacenamiento y de este modo minimizar la contaminación del agua almacenada y de la que vaya a almacenarse posteriormente, en la **Figura # 11** se ilustra la composición del mismo. En el diseño del dispositivo se debe tener en cuenta el volumen de agua requerido para lavar el techo y que se estima en 1 litro por m^2 de techo. El volumen de agua resultante del lavado del techo debe ser recolectado en un tanque de plástico. Este tanque debe diseñarse en función del área del techo.

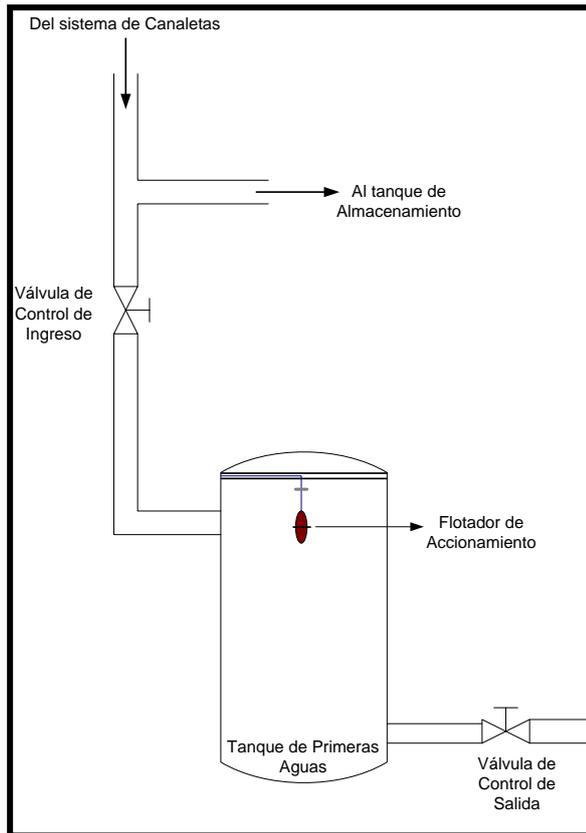


Figura # 11 Interceptor de Primeras Aguas

Almacenamiento

Es el tanque o cisterna destinada a almacenar el volumen de agua de lluvia necesaria para el consumo diario de las personas beneficiadas con este sistema. La unidad de almacenamiento debe ser duradera y al efecto debe cumplir con las especificaciones siguientes:

- Impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración.
- De no más de dos metros de altura para minimizar las sobre presiones.
- Dotado de tapa para impedir el ingreso de polvo, insectos y de la luz solar.
- Dotado de dispositivos para el retiro de agua y el drenaje.
- Estar ubicado a continuación del proceso de filtración del agua.

Filtrado

Es necesario que el agua retirada y destinada al consumo directo de las personas sea tratada antes de su ingesta. El tratamiento debe estar dirigido a la remoción de las partículas que no fueron retenidas por el dispositivo de intercepción de las primeras aguas, y en segundo lugar al acondicionamiento bacteriológico. El tratamiento puede efectuarse por medio de un filtro de carbono activado construido

en base de un recipiente plástico, el carbono y grava para el acople del mismo. Debe ir antes del tanque de almacenamiento y debe contener un sistema de lavado del mismo y un sistema de control para saber si está en su correcto funcionamiento, en la **Figura # 12** se muestra el diseño del filtro de carbono utilizado.

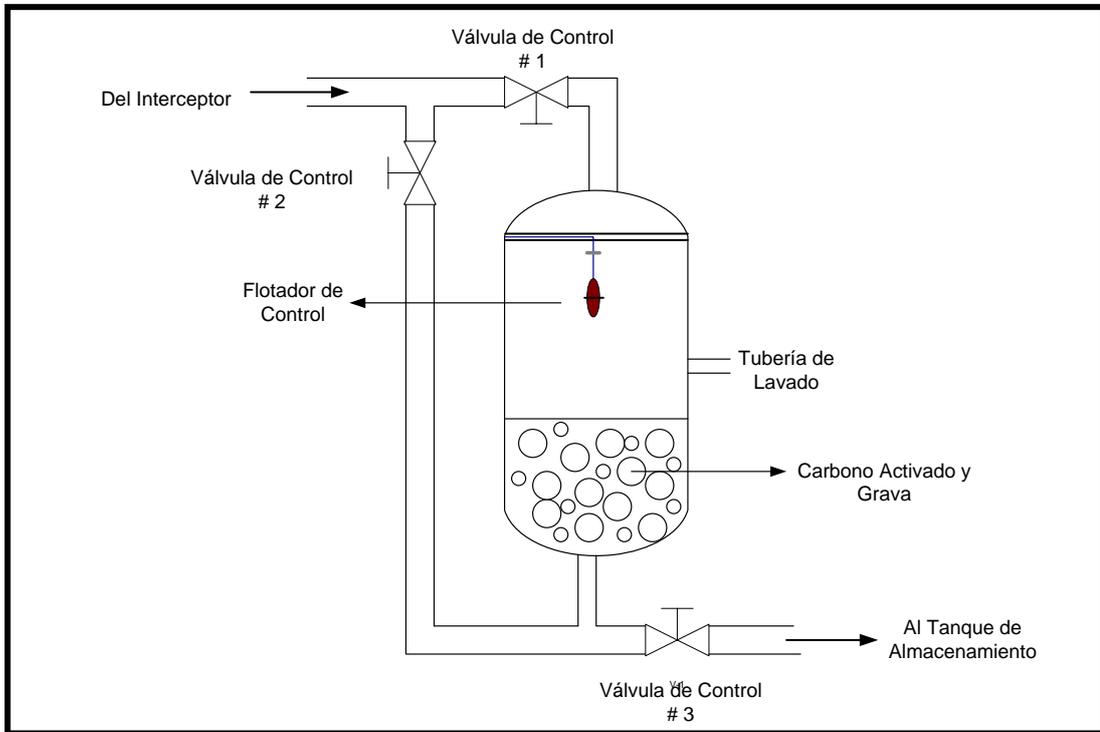


Figura # 12 Esquema del Filtro de Carbono Activado

Dimensionamiento del Sistema de Captación y Recolección.

Este método toma como base de datos la precipitación pluvial en la zona de ejecución. Mediante este cálculo se determina la cantidad de agua que es capaz de recolectarse por metro cuadrado de superficie de techo y a partir de ella se determina: el área de techo necesaria y la capacidad del tanque de almacenamiento y el volumen de agua y la capacidad del tanque de almacenamiento para una determinada área de techo.

Dimensionamiento del Tanque de Almacenamiento

Para determinar la capacidad del tanque de almacenamiento es necesario conocer con exactitud las características de recolección de la vivienda, es decir:

- Tipo de tejado de la vivienda.
- Precipitación anual en el lugar.
- Área del tejado.

Para los cálculos se considera un promedio anual de precipitación equivalente a 80mm³ por mes y la superficie del techo igual a 50 m², en dos divisiones de 25m². Y Considerando los diferentes tipos de tejados, ya que cada tejado tiene un Coeficiente de escorrentía distinto, se puede calcular el volumen del tanque de almacenamiento de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Volumen = PrecipitaciónAnual \times AreaTejado \times CoeficienteDeEscorrentía$$

En la **Tabla # 6** se puede observar el cálculo del tanque de almacenamiento para diferentes tipos de tejados, con sus respectivos coeficientes de escorrentía.

TANQUE DE ALMACENAMIENTO				
Tipo de Tejado	Coeficiente de Escorrentía	Área del Tejado (m ²)	Precipitación Mensual (mm ³)	Volumen del Tanque (Its)
Tejas Arcilla	0,8	50	80	3200
Paja	0,6	50	80	2400
Metalico	0,85	50	80	3400
Cemento	0,75	50	80	3000

Tabla # 6 Volumen del Tanque de Almacenamiento de acuerdo al tipo de Tejado

Dimensionamiento del Tanque de Primeras aguas.

Este dispositivo impide que el material indeseable ingrese al tanque de almacenamiento. En el diseño del dispositivo se debe tener en cuenta el volumen de agua requerido para lavar el techo y que se estima en 1 litro por m² de techo. El volumen de agua resultante del lavado del techo debe ser recolectado en un tanque de plástico, el mismo que de acuerdo a un techo de 50m² es igual a:

$$Volumen = AreaTejado \times 1litro = \mathbf{50Litros}$$

Dimensionamiento del Filtro

Para que el filtro obtenga los mejores resultados y sea fácil de mantener y lavar cuando se lo necesite el mismo debe tener las dimensiones que se muestran en la **Figura # 13**

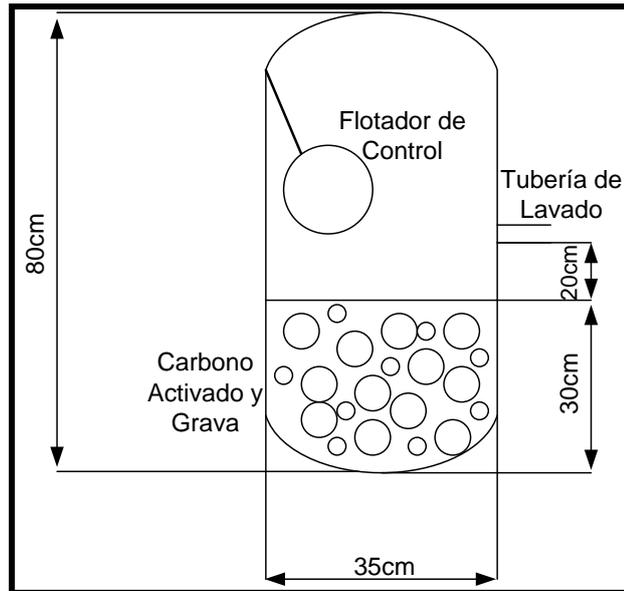


Figura # 13 Dimensiones del Filtro de Carbón Activado.

Sistema de Control

Control del Sistema Híbrido

El sistema de control es equivalente al regulador del sistema híbrido, es decir se encargará del control de la carga y descarga de las baterías como función principal, además de sensar los voltajes de las diferentes partes del sistema híbrido y calcular el porcentaje de carga de las baterías.

El control de carga y descarga del banco de baterías se realizará de la siguiente forma: mediante el voltaje medido del banco de baterías, el sistema de control conectará o desconectará el mismo de los sistemas de generación, solar o eólico, para cumplir con el ciclo de carga y descarga de catálogo de las mismas. Cuando las baterías se encuentren en su voltaje máximo se desconectarán y terminará su carga, a su vez cuando se encuentren descargadas se las conectarán para poder cargarlas para su funcionamiento. De esta manera cumpliendo con el ciclo de carga y descarga de las baterías.

El sistema también controla a que sistema de generación se encuentra conectado el banco de baterías de acuerdo a los voltajes generados por cada uno de ellos. El mayor voltaje medido entre ellos será el que se conectará al banco de baterías para asegurar la carga correcta de las baterías.

Como última función del sistema se encuentra la conmutación del sistema eólico cuando la velocidad del viento sea demasiado alta éste conmutará para proteger el resto del sistema. Esta conmutación puede ser hacia un banco de resistencias para calentar las mismas y así ocupar la energía generada de otra manera, como un generador térmico en el caso de las resistencias. El sistema de generación solar también tiene la opción de conmutar cuando el voltaje generado sea muy pequeño como para alimentar el sistema, para de igual manera aprovechar de una forma diferente esta energía generada.

Software del Control del Sistema Híbrido

El software del sistema será ejecutado por el Microcontrolador, y utilizará el modulo de Conversión Analógico Digital y las salidas digitales del mismo para el control y medición de parámetros de este sistema. En la **Figura # 14** se muestra el diagrama de flujo correspondiente al programa principal del regulador del sistema Híbrido, en el mismo se muestra las diferentes funcionalidades y etapas que poseerá el mismo.

El programa principal tiene tres subrutinas principales, las cuales son

- Configuración de Parámetros: Etapa en donde se configuran los valores dentro de los cuales funcionara el sistema, los valores a configurar son: Voltaje de carga y descarga de las baterías, voltaje de conmutación del sistema eólico y voltaje de conmutación del sistema solar.
- Regulador: Etapa en la cual funcionara el regulador del sistema híbrido, es decir, en donde se realizara la conmutación de cada uno de los sistemas, la medición de los voltajes de las diferentes partes del sistema híbrido.
- Configuraciones Iniciales: Etapa para las configuraciones iniciales necesarias para el correcto funcionamiento del Microcontrolador.
- Adquisición de Datos: Muestra la configuración del Conversor analógico digital y su forma de almacenar los diferentes datos obtenidos.

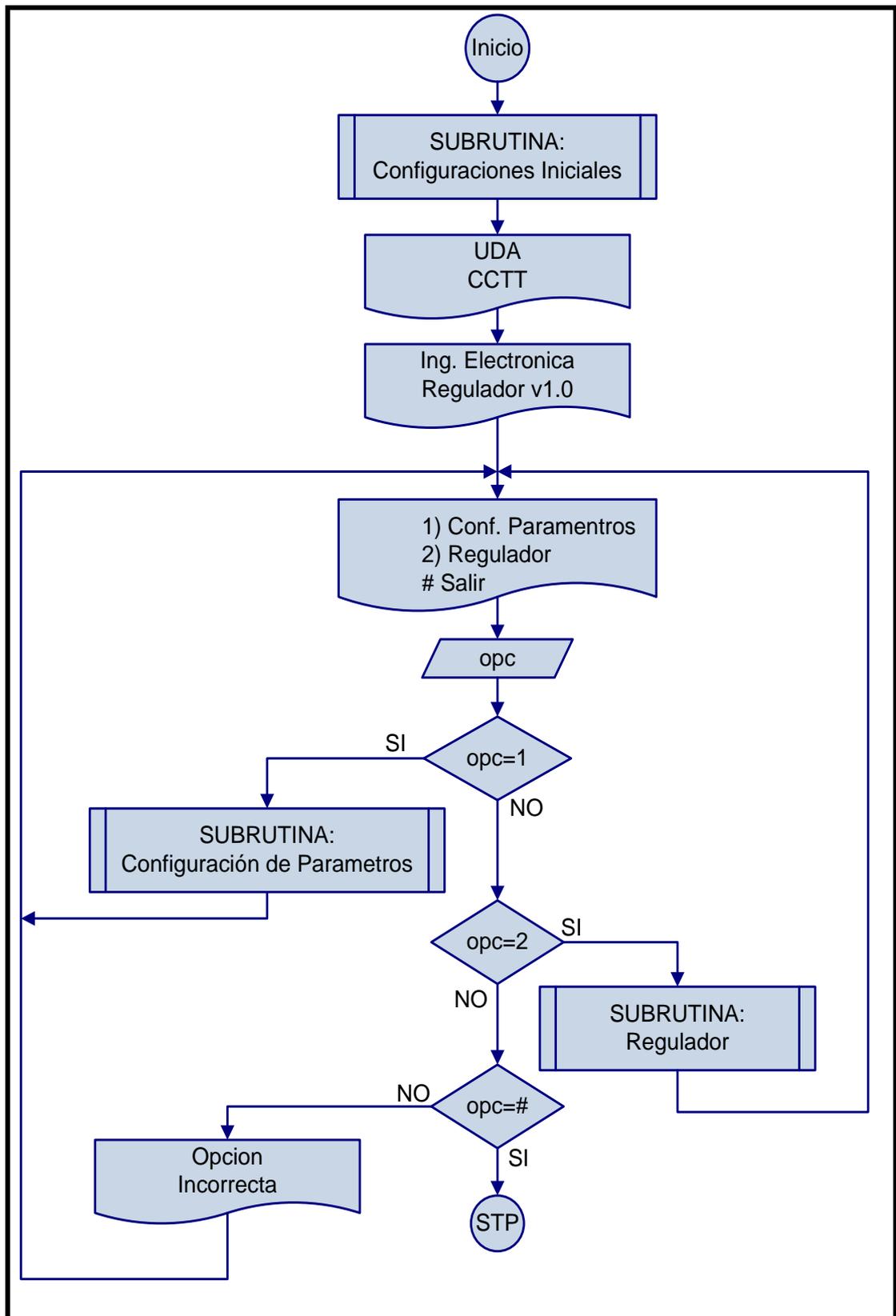


Figura # 14 Diagrama de Flujo Principal del Regulator Híbrido

En la **Figura # 15** se muestra el diagrama de flujo de la subrutina de configuración de parámetros del sistema de control del Sistema Híbrido.

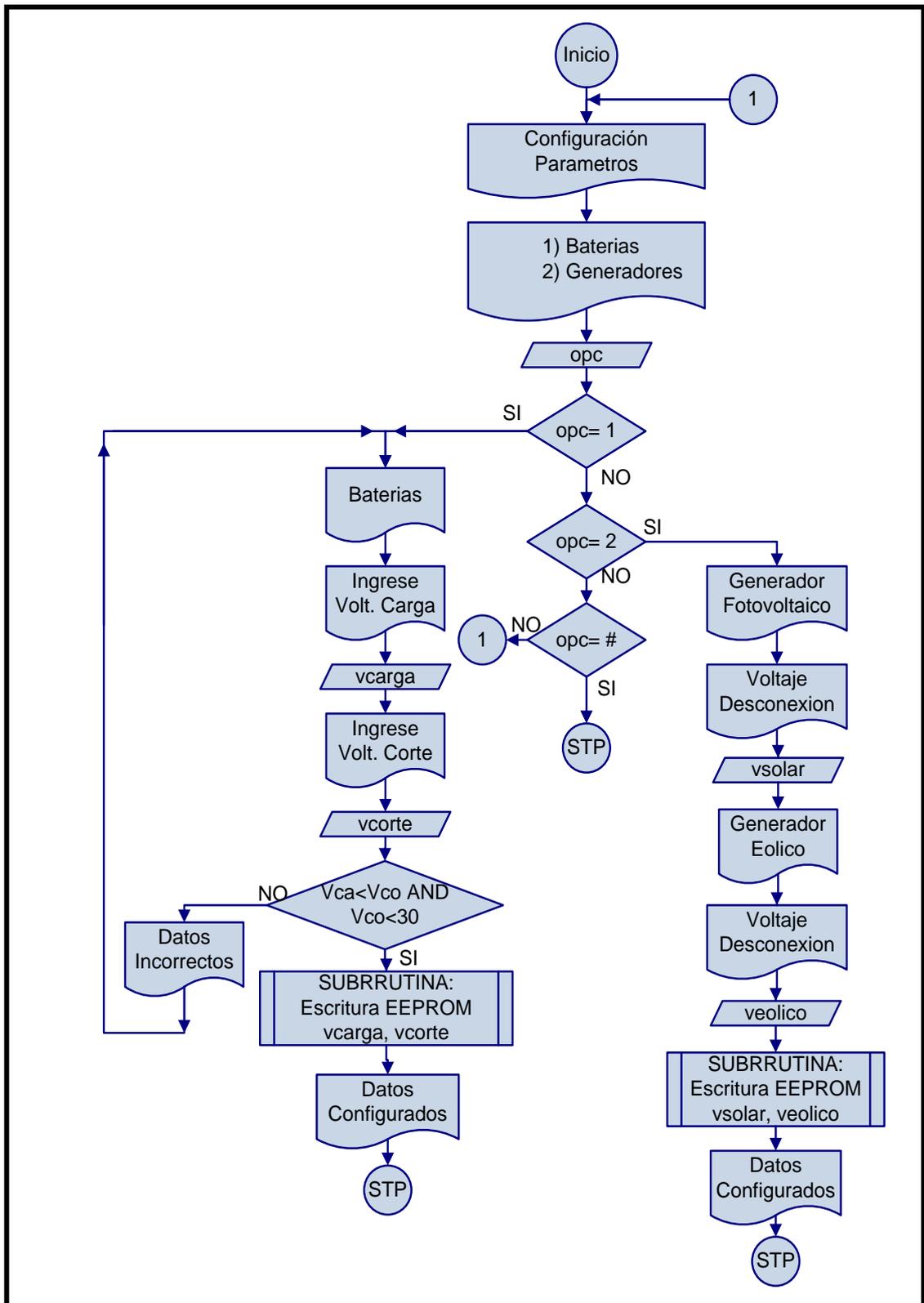


Figura # 15 Subrutina de Ingreso de Parámetros del Sistema de Control Híbrido

En la **Figura # 16** se muestra el diagrama de flujo de la subrutina de funcionamiento del regulador, perteneciente al sistema de control híbrido.

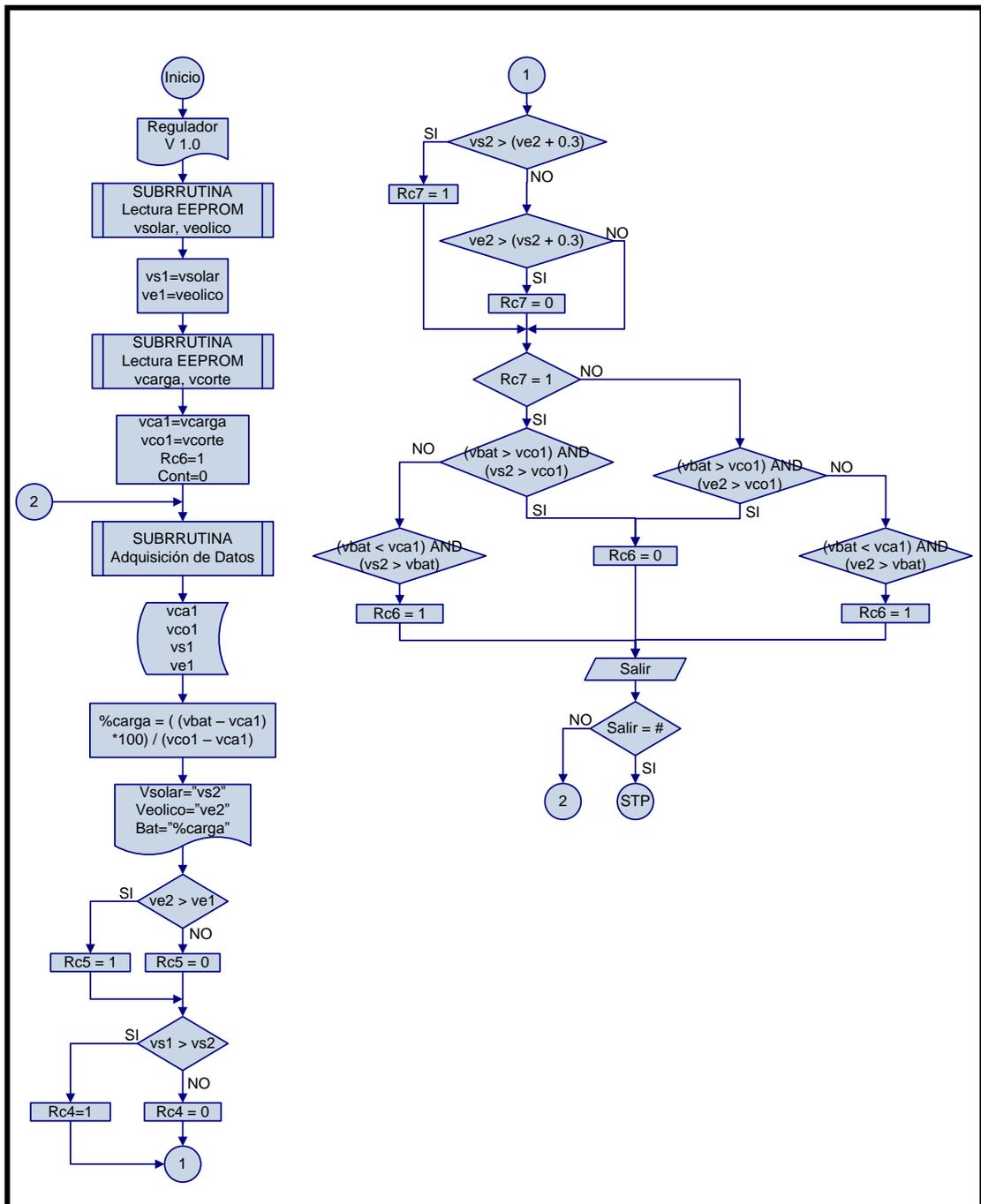


Figura # 16 Subrutina del Regulador del Sistema de Control Híbrido.

Los diagramas de flujo complementarios, correspondientes a las subrutinas de configuraciones iniciales y adquisición de datos del regulador se encuentran incluidos en los anexos, en el **Anexo # 2**, del proyecto, así como también los códigos de fuente para la lectura y escritura desde la memoria EEPROM del microcontrolador.

Hardware del Sistema de Control del Sistema Híbrido

El Hardware del Sistema Híbrido será el encargado de medir las señales de sus tres partes principales (Paneles Solares, Aerogenerador y Baterías) y actuar de

acuerdo a la variación de las mismas para completar su funcionamiento, es por eso que el mismo se divide en dos partes: Sensores y Actuadores.

Sensores

Ya que las variables que se adquirirán dentro del Sistema Híbrido son solo voltajes, para esta se utilizara únicamente el DAC del Microcontrolador como sensor, conectando así los paneles solares, el aerogenerador y las baterías a las tres primeras entradas del mismo. El DAC estará configurado de la siguiente manera.

- 8 Bits de Resolución.
- 5 canales analógicos.
- 3 canales digitales.
- Voltaje de referencia Vss y Vdd.
- Multiplicación de Canales
- Conversión por Encuesta.

Actuadores

El único actuador que se utilizara será de contacto seco, calculado para cada uno de las partes del sistema (Paneles Solares, Aerogenerador y Baterías), cuya función es conmutar en cada una de las partes del sistema híbrido. Este será accionado por medio de un Mosfet debido a la gran corriente generada por la bobina del relé, el cual a su vez será accionado por medio de un transistor configurado en conmutación, y a su vez activado por la salida digital del Microcontrolador. En la **Figura # 17** se muestra la configuración del relé para que cumpla con la función asignada por el Software en el Microcontrolador.

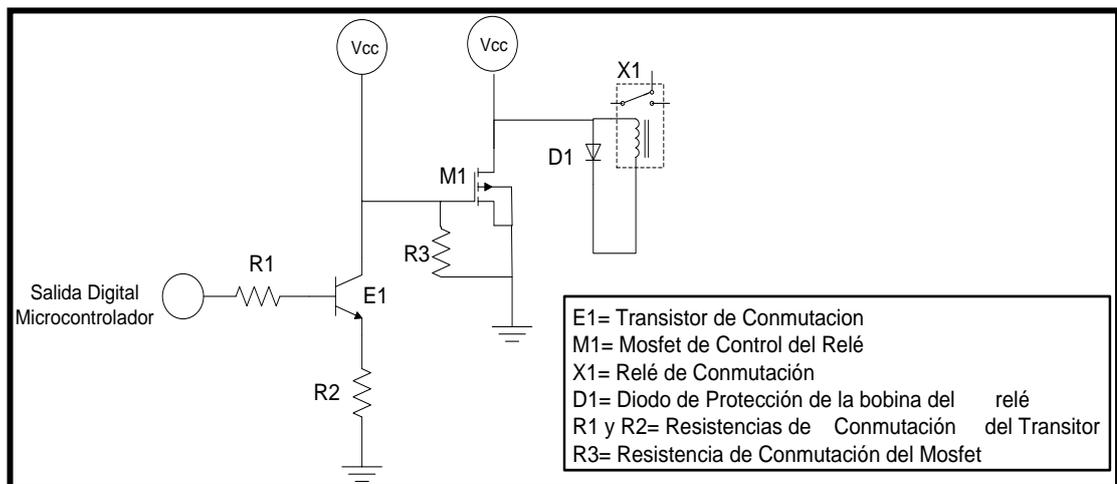


Figura # 17 Esquema de Conexión Relé de Conmutación

El regulador necesita también de elementos adicionales como diodos y fusibles de protección, el diagrama completo de la configuración y conexión planteada para el regulador del sistema puede observarse en los anexos del proyecto en el **Anexo # 3**, aquí se detallan cada uno de los elementos del regulador y su posición y conexión para su desempeño correcto.

Control del Sistema de Recolección de Agua Lluvia

El sistema de control funciona de la siguiente manera: una vez que comienza a llover se abre la primera electroválvula # 1, de manera que el agua lluvia va hacia el tanque de primeras aguas. Para lavar el techo, una vez lleno dicho tanque, la electroválvula # 1 se cierra, de tal manera que el agua comienza a llenar el tanque de almacenamiento con agua más limpia y pura. El porcentaje de agua que se encuentra en el tanque siempre será visualizado por el usuario para tener una noción del agua disponible en el tanque.

El control también contará con un sistema de protección en el caso de que ambos tanques se encuentren llenos y para que el agua no sobrepase la capacidad del tanque de almacenamiento, las dos electroválvulas se abrirán, de manera que el agua fluya hacia el exterior, evitando así que el agua se contamine con impurezas en el tanque de almacenamiento.

El control del estado del filtro se lo realizará mediante el nivel de agua que exista en el mismo, si el filtro está limpio el agua fluirá libremente pero en caso de no hacerlo se empozará y activará el flotador instalado en el filtro, dando de esta manera una señal al usuario para que lo limpie.

Como última función el sistema incluye el vaciado del tanque de primeras aguas en caso de requerirlo, de esta manera se puede utilizar esta agua para riego o alguna otra utilidad.

Software del Control del Sistema de Recolección de Agua Lluvia

El software del sistema será ejecutado por el Microcontrolador, al igual que el del sistema de control del Sistema Híbrido, y utilizará la primera entrada del módulo de Conversión Analógico Digital (Sensor de Nivel), dos salidas digitales (electroválvulas) y por último dos entradas digitales (Flotadores de control) del mismo para el control y medición de parámetros de este sistema.

En la **Figura # 18** se muestra el diagrama de flujo para el programa de control del Sistema de recolección de agua lluvia, donde se muestra todas las funcionalidades antes mencionadas que poseerá el sistema.

Este diagrama de flujo no contiene subrutinas o procesos adicionales, ya que comparte las subrutina de configuraciones iniciales del microcontrolador, desarrolladas e incorporadas en el sistema de control del sistema híbrido.

Además incorpora todas las funcionalidades descritas anteriormente en un solo programa, debido a que la velocidad del mismo no es una variante a considerar en este programa. La adquisición del dato del sensor de nivel del tanque de almacenamiento se realizará de igual manera en la subrutina de adquisición de datos utilizada por la otra parte del sistema de control (Control del Sistema Híbrido), y se la puede observar en los anexos del proyecto, al final del mismo, en el **Anexo # 2**.

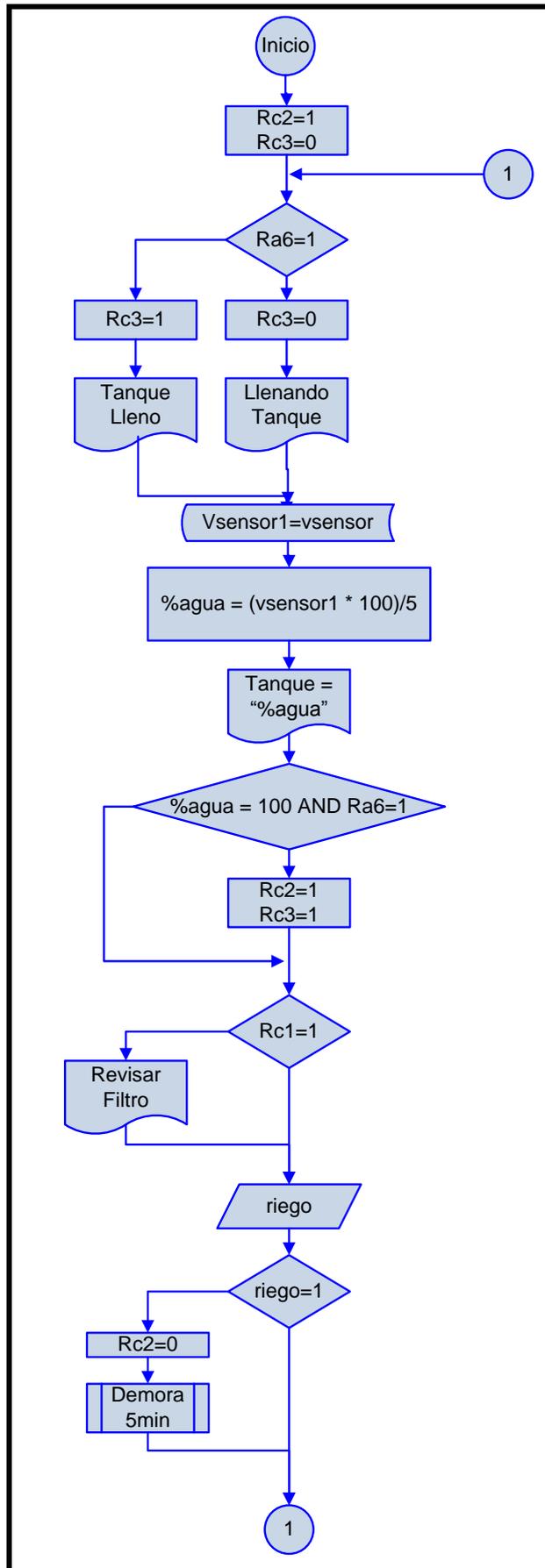


Figura # 18 Diagrama de Flujo de control del Sistema de Agua Lluvia.

Hardware del Control del Sistema de Recolección de Agua Lluvia

Al igual que para la otra parte del sistema de control (Control del Sistema Híbrido), éste estará dividido en dos partes: Sensores (encargados de la medición de parámetro) y Actuadores.

Sensores

Dentro del sistema se contemplan tres sensores para medir las diferentes variables del sistema de Agua: Flotador de Control y Sensor de Nivel de Agua.

Flotador de Control: Será utilizado en el filtro y en el tanque de primeras aguas, para generar una señal en cuanto cualquiera de ellos se encuentre lleno, y otra señal para cuando alguno de ellos se encuentre vacío. En la **Figura # 19** se ilustra la conexión del mismo y su ubicación dentro del tanque y el filtro.

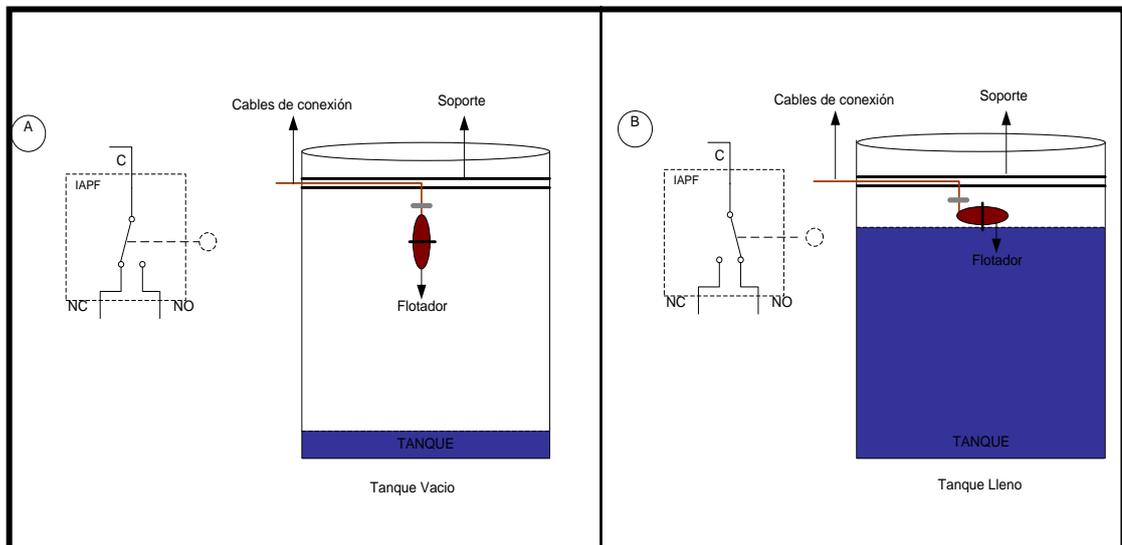


Figura # 19 Esquema del Funcionamiento del Flotador de Control

En la **Figura # 20** se muestra la conexión del flotador de control para su configuración y conexión con el microcontrolador, la conexión con este se realizara a una entrada digital del mismo, es decir recibirá únicamente valores booleanos.

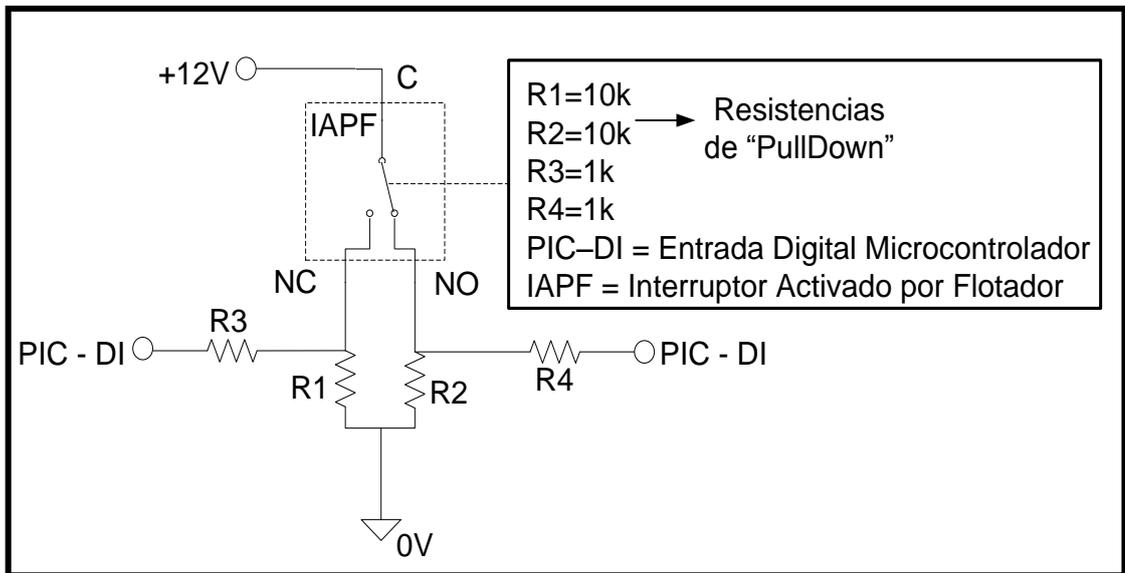


Figura # 20 Esquema de Conexión del Flotador de Control

Sensor de Nivel de Agua: Encargado de sensar la cantidad de agua disponible en el tanque de almacenamiento, sensor de tipo resistivo, conectado al microcontrolador a través de la entrada # 4 del DAC, configurado de igual manera que para el control del Sistema Híbrido. En la **Figura # 21** se muestra la ubicación y forma de instalación del sensor al interior del tanque de almacenamiento.

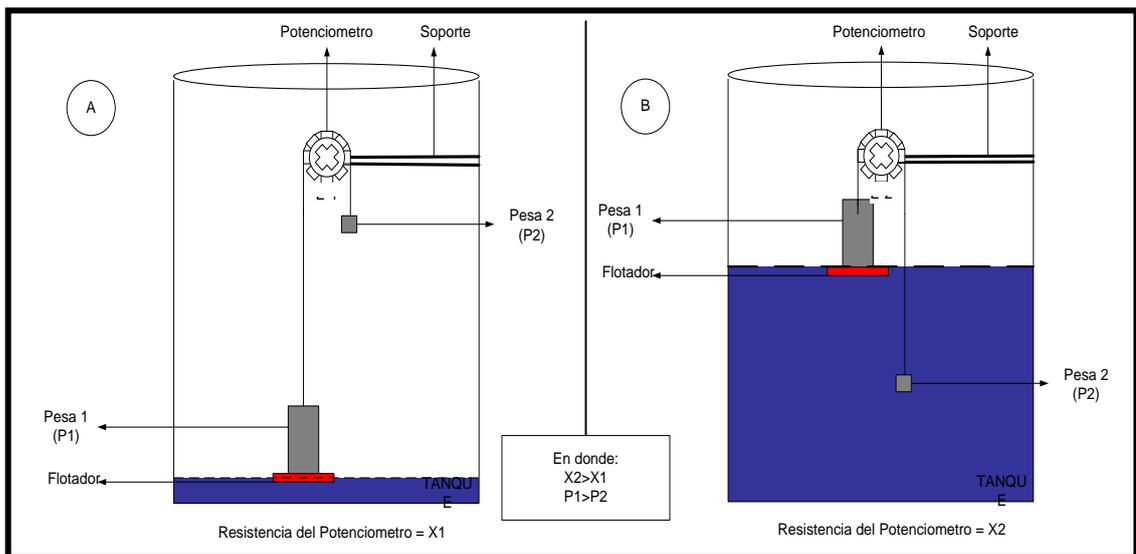


Figura # 21 Ubicación y conexión del Sensor de Nivel de agua.

En la **Figura # 22** se muestra la conexión del sensor de nivel de agua con respecto al microcontrolador.

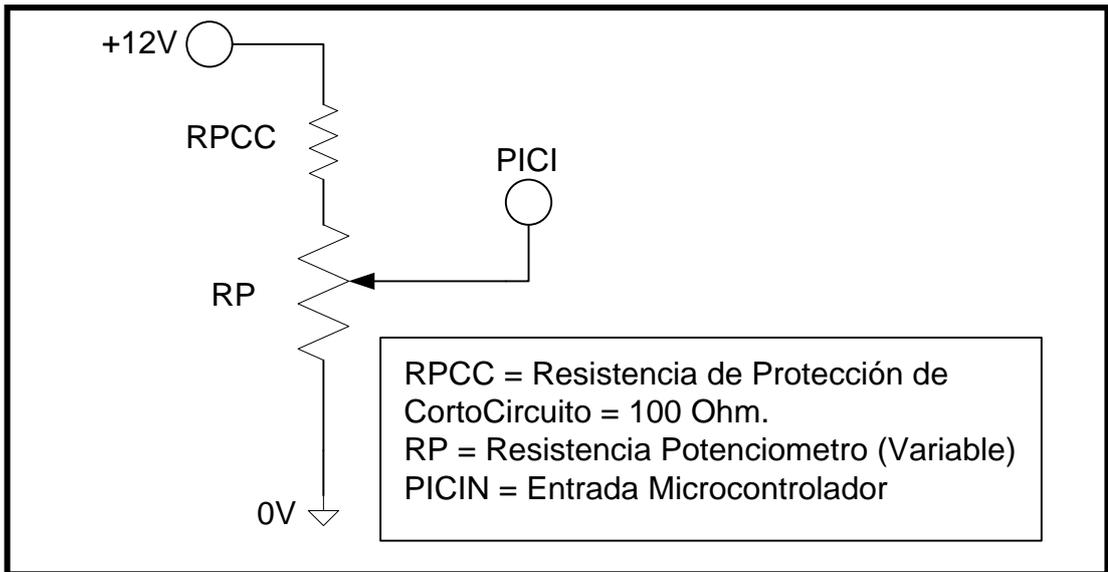


Figura # 22 Esquema de Conexión del Sensor de Nivel de Agua

Electroválvula: Encargado del control del sistema de llenado de los tanques de recolección de agua lluvia, está conectado y es comandado por el microcontrolador, hay varios tipos según el número de agujeros y posiciones, es como los interruptores. Se las nombra con números agujeros/posiciones, el que utilizaremos es 2/2 (es un grifo, una entrada y una salida y dos posiciones abierto y cerrado).

Mientras se le entrega corriente está abierta, cuando cortas la corriente se cierra, es la función que cumplirá el microcontrolador utilizando las salidas digitales Rc1 y Rc2 del microcontrolador.

En la **Figura # 23** se muestra la conexión de la electroválvula al microcontrolador.

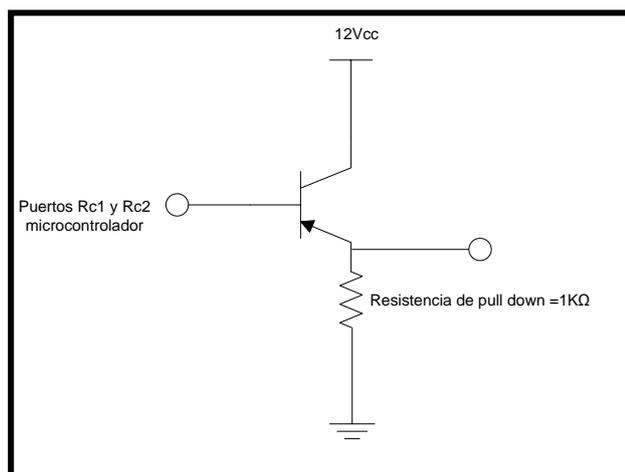


Figura # 23 Esquema de Conexión Electroválvula

Simulación de los Diagramas de Flujo

Para comprobar el correcto funcionamiento de los diagramas de flujo planteados en el capítulo anterior, correspondientes al sistema híbrido de generación eléctrica y al sistema de recolección de agua lluvia, se simuló dichos diagramas utilizando el software de National Instruments ® Lab View 2009 ®. Y también sirvió para comprobar que la interacción entre el usuario y el sistema fuese sencilla y clara, es decir que el interfaz grafico planteado llene las expectativas de los futuros usuarios del sistema.

En la **Figura # 24** se muestra la pantalla principal de la simulación, la cual corresponde al diagrama de flujo del programa principal.



Figura # 24 Pantalla Principal de la Simulación de los Diagramas de Flujo.

En la **Figura # 25** se muestra la pantalla correspondiente a la simulación del sistema de recolección de agua.

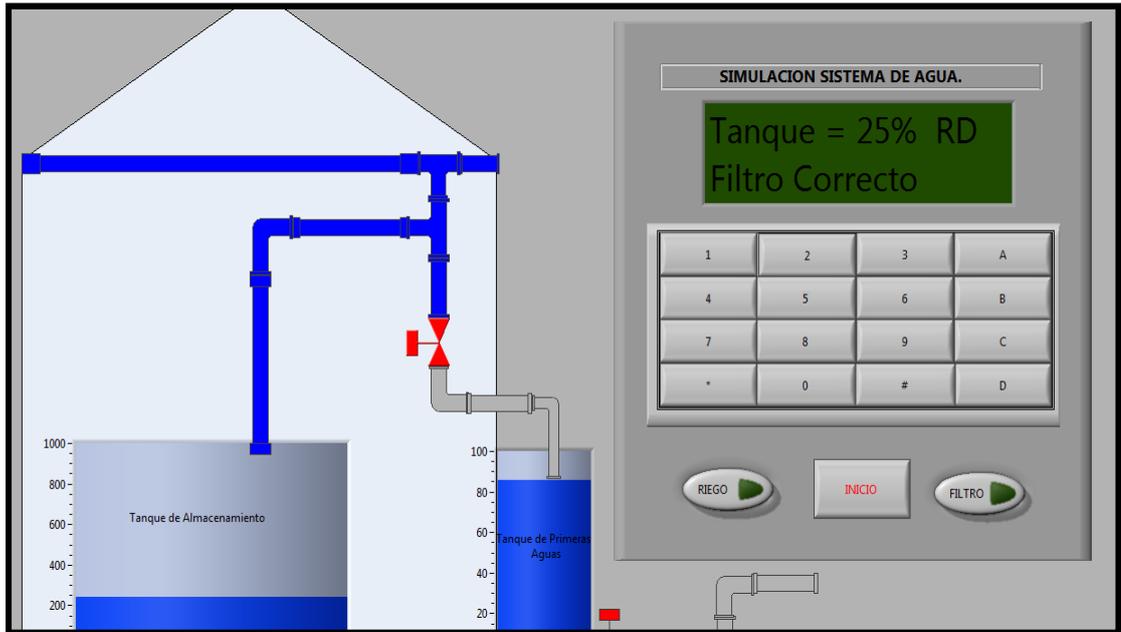


Figura # 25 Pantalla del Sistema de Recolección de Agua.

Análisis Económico del Proyecto

Una vez realizado el dimensionamiento del sistema, de esta manera teniendo claro la cantidad de material necesario para diseñar el sistema se elaboro un análisis económico, para conocer el costo exacto del sistema en todas sus partes, tanto en la parte de generación eléctrica como en el sistema de recolección de aguas lluvias. En la **Tabla # 7** se muestra el costo total de los dos sistemas antes mencionados. En el **Anexo # 1** del proyecto se encuentran las tablas detalladas de los dos sistemas.

Costo Total	
Sistema De Generación Electrico Híbrido	\$ 2.568,94
Sistema De Recoleccion De Aguas Lluvia	\$ 465,36
Costo total:	\$ 3.034,30

Tabla # 7 Costos Totales del Proyecto

5) Conclusiones y Recomendaciones.

Una vez analizada la problemática energética en el país, así como también el problema del abastecimiento de agua en las diferentes regiones que no tienen acceso a los mismos; y, a su vez conociendo el potencial aprovechable de energías renovables presente en nuestro medio, el cual no podemos dejar de lado, y por último teniendo en cuenta las variables que se tienen a favor y en contra, se diseñó el sistema Híbrido para suplir la necesidad de energía eléctrica y de agua dentro de una vivienda.

Analizando dichas características y condiciones podemos concluir que el Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico de baja potencia diseñado es un sistema de alta eficiencia, con resultados muy alentadores y positivos y, con un costo no muy elevado tomando en cuenta las ventajas que se tienen de él como para su futura implementación, pese a que todavía no se puede dar paso a escala comercial comparable a la dada en los sistemas aislados o en los interconectados a las redes nacionales.

Al ser consumidores dependientes del petróleo y consumidores excesivos de la energía generada a grandes escalas nos obliga a una reconversión energética; el sistema híbrido eólico-fotovoltaico cumple con este objetivo plenamente ya que rompe la dependencia económica de los proveedores de combustible por lo que ayuda a detener el consumo acelerado y desmesurado de combustibles fósiles, planteando una solución más limpia y económica.

También de esta forma el sistema diseñado podrá suplir las necesidades de una familia de cinco personas dentro de una vivienda sin acceso a los servicios básicos de electricidad y agua; sin dejar de lado que los usuarios o beneficiarios de dicho proyecto tengan control de los subsistemas con una interfaz sencilla y entendible al momento de interactuar con dichos sistemas.

Por otro lado una vez que se ha estudiado el sistema de recolección de aguas lluvia y su utilidad, y notando que el sistema SCAPT es el más eficiente como se indicó anteriormente, por la facilidad de implementación y servicio que presta tanto para el consumo humano como para regar sembríos, llegando a la conclusión de que se puede tener un sistema que garantice a los beneficiarios que el servicio diseñado es de gran utilidad y hecho para tener un máximo aprovechamiento sin desperdiciar recursos técnicos y naturales.

Para asegurar que el usuario va a tener la facilidad de comunicarse con los sistemas ofrecidos en el proyecto. El sistema de control es entendible y previsto de señalización para que en el momento de que exista un error, la persona que lo monitorea sepa a qué se refiere y qué tiene que cambiar, por lo que el sistema de control garantiza la facilidad de uso a más de dar un servicio eficiente en cualquier circunstancia natural o daño mecánico de los sistemas. A la vez que integra todos los sistemas instalados en la vivienda bajo una sola unidad de control y supervisión de los mismos que contará con todas las características que ya se mencionan a lo largo del proyecto.

Como última parte, el análisis de factibilidad económica demostró que el proyecto presentado a más de ofrecer los beneficios antes mencionados, está al alcance de las personas que sepan y estén conscientes de las ventajas que representa el aprovechamiento de las energías alternativas como una opción para suplir necesidades en zonas donde es imposible llegar con el tendido eléctrico. Cabe recalcar, que al utilizar este tipo de energías limpias y dejando de lado la dependencia de la quema de combustibles fósiles para la producción energética, se constituye un gran beneficio para la situación actual y futura del medio ambiente.

6) Fuentes de Información

McGRAW, Hill. 2001. Tecnologías energéticas e impacto ambiental, 1º Edición. Editorial McGraw Hill Profesional. Madrid-España.

FARRINGTON, Daniels. 2009. Uso directo de la energía solar. Editorial S.p.A. Madrid-España.

PALZ, Wolfgang. 1978. Energía solar, 2º Edición. Editorial Blume. España.

KUO, Benjamín. 2008. Sistemas de control automático, 7º Edición. Editorial Prentice Hall. Ciudad de México-México.

GIPE, Paul. 2008. Wind energy basics, 2º Edición. Editorial Chelsea Green Publishing Co. Estados Unidos.

VILLARUBIA, Miguel. 2001. Energía eólica, 1º Edición. Editorial CEAC. Barcelona-España.

NATIONAL INSTRUMENTS. 2003. Lab view user manual. National Instruments Corporation. Texas-Estados Unidos.

SANCHEZ, Santiago. 2004. Gestión ambiental en proyectos de energías renovables en Ecuador (en línea). Ecuador.

www.enepro.ec/Recursos/Presentaciones/ERYAMBIENTE.ppt. 15-03-2010.

CHAVEZ, Idalberto. 2002. Dimensionado o diseño de sistemas solares fotovoltaicos autónomos (en línea). Cuba.

<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia15/HTML/articulo03.htm>. 17-03-2010

TOLEDO, Pv. 2008. Fundamentos de la energía solar fotovoltaica (en línea). Toledo-España. <http://www.toledopv.com/fundamentos.htm>. 18-03-2010.

HERAS, Pedro. 2004. Desarrollo e implementación de energías renovables (en línea).

<https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3428/4/31530-23.pdf>. 24-03-2010.

DAVIS, Michael. 2009. How I built an electricity wind turbine (en línea). Estados Unidos. http://www.mdpub.com/Wind_Turbine/. 25-03-2010

Departamento de Energía. 2006. Sistemas eólicos pequeños para generación de electricidad (en línea). Estados Unidos.

http://www.windpoweringamerica.gov/pdfs/small_wind/small_wind_guide_spanish.pdf 25-03-2010

Universidad Nacional de la Plata. 2004. Control de estructura variable en sistemas híbridos de generación de energía (en línea). Argentina.

<http://biblioteca.universia.net/ficha.do?id=38295068>. 26-03-2010

CONELEC. 2009. Información temprana del funcionamiento del sistema nacional interconectado primer semestre de 2009 (en línea). Ecuador.

<http://www.conelec.gov.ec/> 13-03-2010.

INAMHI. 2009. Información sobre precipitaciones anuales a nivel nacional, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI (en línea). Ecuador.

<http://www.inamhi.gov.ec/html/inicio.htm>. 13-03-2010.

Unidad de Apoyo de Saneamiento Rural. 2003. Guía de captación para agua lluvia (en línea). Perú. <http://www.maslibertad.net/huerto/AguaLluvia.pdf>. 13-03-2010.

ANEXO # 1

**INFORME ECÓNOMICO DETALLADO DE LOS COSTOS DEL
PROYECTO**

COSTO TOTAL DEL SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA							
ITEM	DESCRIPCIÓN	MARCA	MODELO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Sistema Solar Fotovoltaico.							
1	Paneles Solares Fotovoltaicos (Inc. Soporte)	Mousepad	HQRP 100	U	3	\$ 431,69	\$ 1.295,06
2	Varios (Cables, Conectores, etc)	SunForce		U	3	\$ 49,00	\$ 147,00
Sistema de Generación Eólico							
3	Aerogenerador (Inc. Aspas)	ScumForce	44444	U	1	\$ 499,95	\$ 499,95
Regulador							
4	Microcontrolador	MicroChip	16F877A	U	1	\$ 7,00	\$ 7,00
5	Elementos Varios (reles, leds, transistores, etc)			U	1	\$ 175,00	\$ 175,00
Inversor							
6	Inversor	TrippLite Premiun	TrippLite Power verter 500	U	1	\$ 89,33	\$ 89,33
Banco de Baterías							
7	Baterías Plomo-Acido	Dara	PBA12v	U	4	\$ 88,90	\$ 355,60
						TOTAL	\$ 2.568,94

Tabla del Costo Total Correspondiente al Sistema Híbrido de Generación de energía eléctrica para una vivienda.

COSTO TOTAL DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE AGUA LLUVIA							
ITEM	DESCRIPCIÓN	MARCA	MODELO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Recolección de Aguas Lluvia							
1	Tanque de Recolección Primeras Aguas	Perdurit	100lts.	U	1	\$ 50,84	\$ 50,84
2	Tanque de Reserva	Perdurit	1000 lts.	U	1	\$ 158,24	\$ 158,24
3	Canaletas de Recolección Techo	Plastigama		m	10	\$ 6,00	\$ 60,00
4	Electrovalvula 1"	Krain	ProSeries100-7001	U	2	\$ 33,77	\$ 67,54
5	Flotadores	Zoeller	10-0055	U	2	\$ 39,37	\$ 78,74
6	Sensor de nivel			U	1	\$ 22,00	\$ 22,00
6	Varios (Tuberías, Acoples, etc)			u		\$ 50,00	\$ 50,00
						TOTAL	\$ 465,36

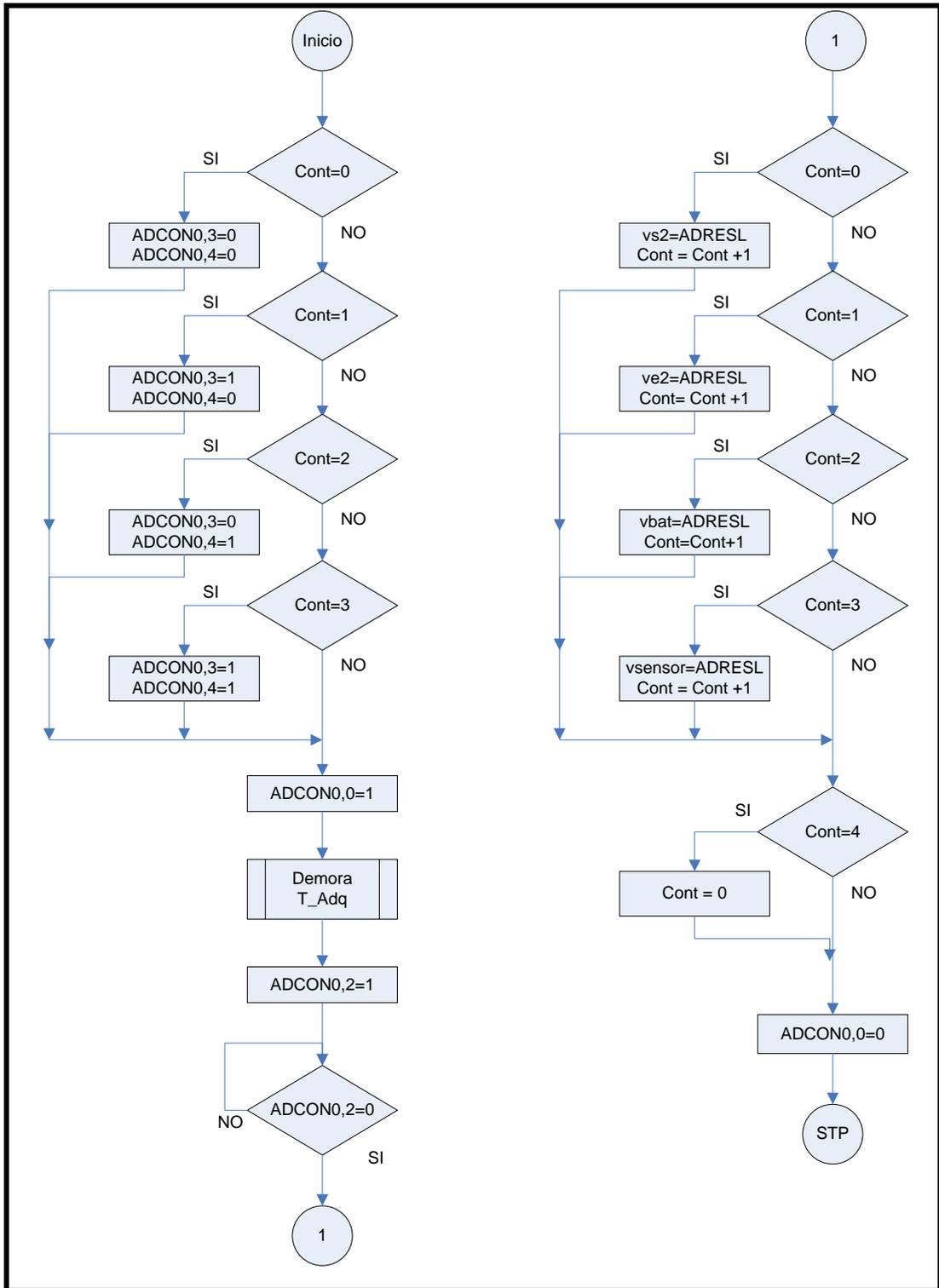
Tabla del Costo Total Correspondiente al Sistema de Recolección de Agua Lluvia en el tejado para una vivienda.

Costo Total	
Sistema De Generación Eléctrico Híbrido	\$ 2.568,94
Sistema De Recolección De Aguas Lluvia	\$ 465,36
Costo total:	\$ 3.034,30

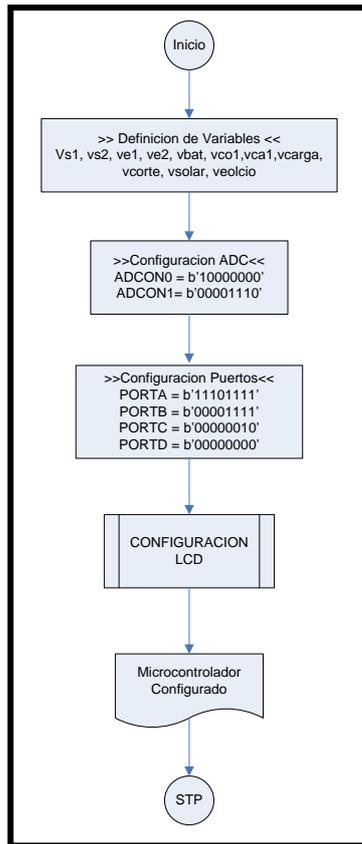
Tabla del Costo Total del sistema de abastecimiento de agua y electricidad para una vivienda.

ANEXO # 2

**DIAGRAMAS DE FLUJO Y CÓDIGOS DE FUENTE
COMPLEMENTARIOS.**



Subrutina de Adquisición de Datos del Regulador Híbrido y el Sistema de Control de Agua Lluvia.



Subrutina de Configuración del Microcontrolador

SIMBOLOGÍA	
	Impresión en LCD 16x2
	Ingreso de Datos Externos /Almacenamiento en Memoria (Teclado Matricial)
	Obtención de datos almacenados en Memoria
	Referencia (Inicio, Final, Continuación)
	Proceso Predefinido (Subrutina)
	Decisión (Estructura SI)
	Proceso

Simbología Utilizada en los Diagramas de Flujo

```
rmeeprom
```

```
    bsf    3,5  
    bsf    3,6  
    bsf    0x0c,7  
    bcf    3,5  
    movwf 0x0D  
    bsf    3,5  
    bcf    0x0C,7  
    bsf    0x0C,0  
    bcf    3,5  
    movf 0x0C,0  
    bcf 3,5  
    bcf 3,6  
    return
```

Código de fuente para la subrutina de lectura de la memoria EEPROM del Microcontrolador

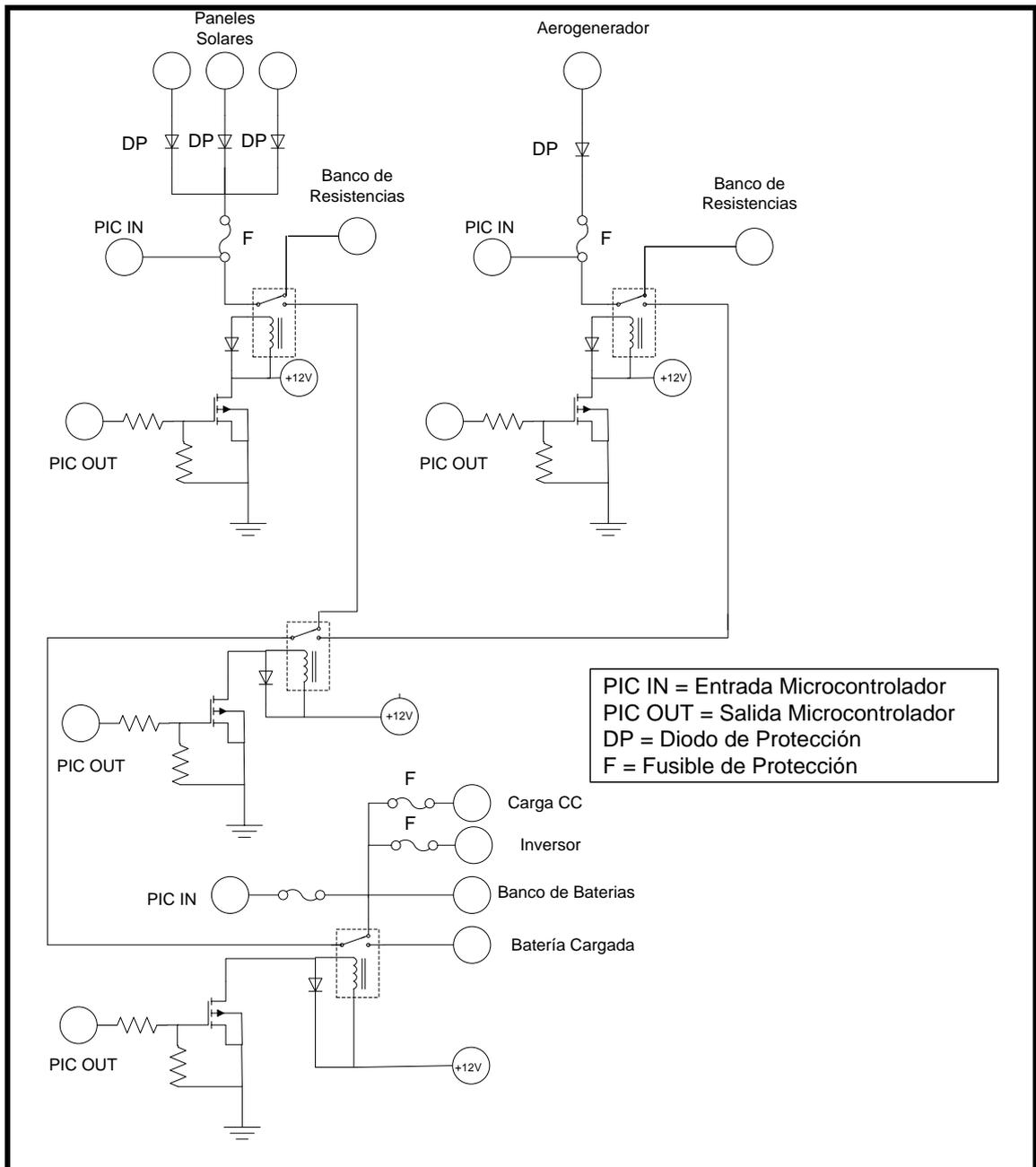
```
wmeeprom
```

```
    bsf 3,5  
    bsf 3,6  
    bsf 0x0C,7  
    bcf 3,5  
    movf dat,0  
    movwf 0x0C  
    movf dir,0  
    movwf 0x0D  
    bsf 3,5  
    bcf 0x0C,7  
    bsf 0x0C,2  
    movlw 0x55  
    movwf 0x0D  
    movlw 0xAA  
    movwf 0x0D  
    bsf 0x0c,1
```

Código de fuente para la subrutina de lectura de la memoria EEPROM del Microcontrolador

ANEXO # 3

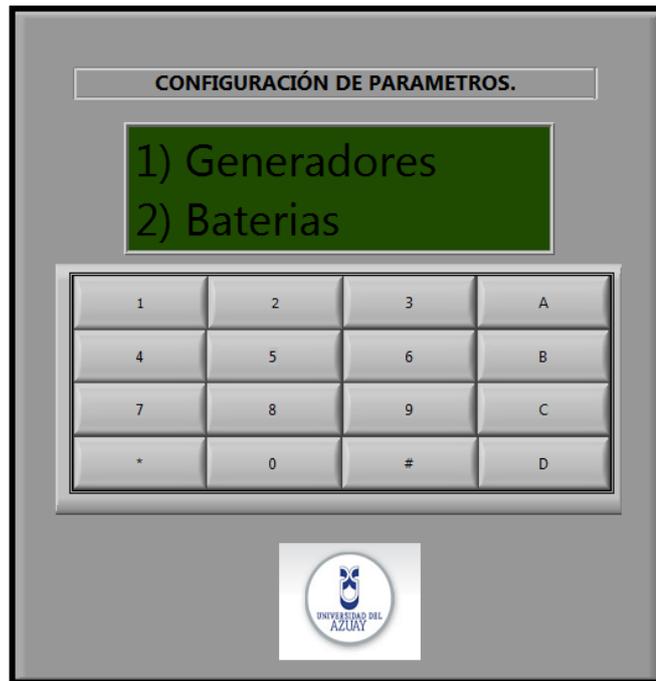
ESQUEMA DE CONEXIÓN DEL REGULADOR HÍBRIDO



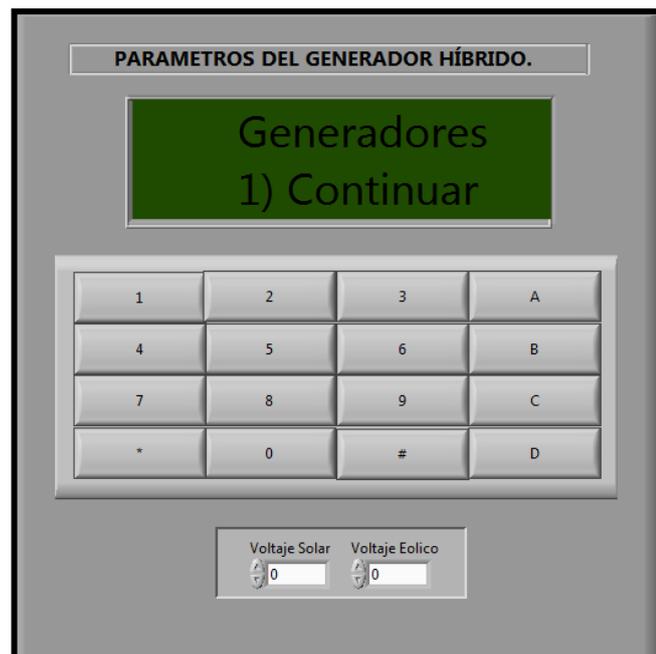
Esquema de Conexión eléctrica del Regulador del Sistema Híbrido de Generación Eléctrica.

ANEXO # 4

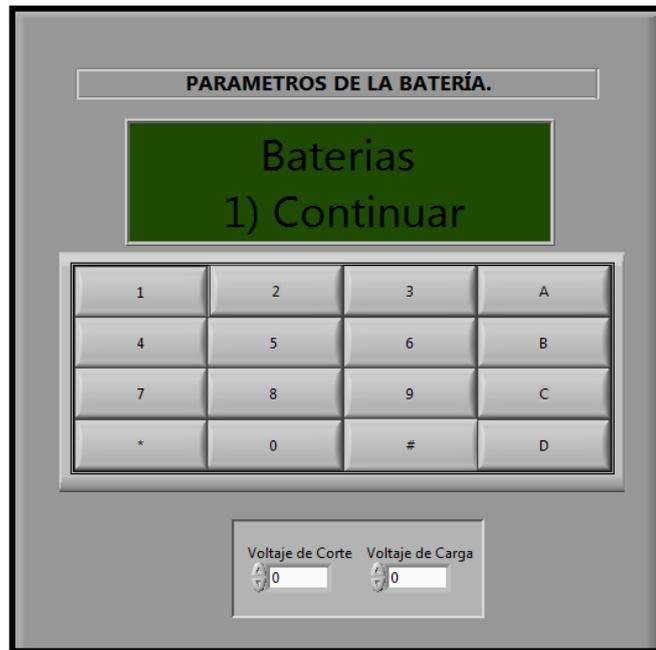
PANELES FRONTALES DE LA SIMULACIÓN DE LOS DISTINTOS DIAGRAMAS DE FLUJO PLANTEADOS



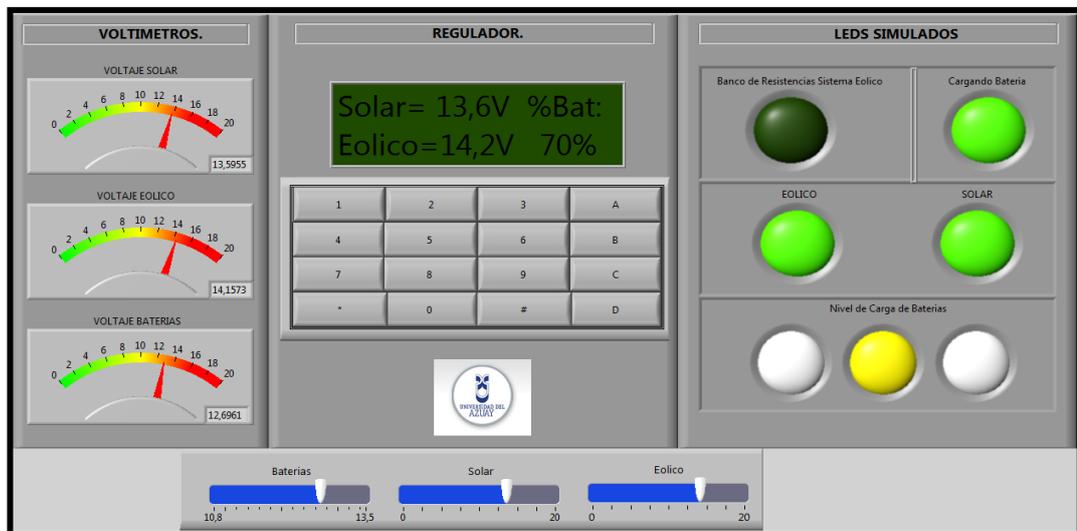
Panel Frontal correspondiente al Diagrama de Flujo de Configuración de Parámetros General



Panel Frontal correspondiente al Diagrama de Flujo de Configuración de Parámetros de los Generadores



Panel Frontal correspondiente al Diagrama de Flujo de Configuración de Parámetros de las Baterías



Panel Frontal correspondiente al Diagrama de Flujo del Regulador Híbrido

8. Índice.

Resumen	2
Abstract	2
Resumen Ejecutivo	3
1. Fundamentación del Proyecto	6
1.1 Planteamiento del Tema y Definición del Alcance	6
1.2 Antecedentes	8
1.3 Justificación	10
1.5 Objetivo General	13
1.6 Objetivos Específicos.....	13
2. Marco Conceptual	14
2.1 Bases Teóricas	14
2.2 Delimitación Conceptual	15
Energía Solar	15
Energía Eólica	17
Sistemas Híbridos	18
Recolección de Aguas Lluvias	19
Sistema de Control	20
3. Levantamiento de la Información Primaria y Secundaria	22
3.1 Aspectos Metodológicos	22
Recursos	24
Cronograma de Trabajo	24
3.2 Actividades Realizadas	24
4. Gestión de Productos	27

4.1 Procesamiento de la información levantada	27
Sistema Híbrido	27
Sistema de Control	31
4.2 Aplicación y análisis de resultados	34
Sistema Híbrido	34
Recolección y Almacenamiento de Agua Lluvia	37
Sistema de Control	43
Simulación de los Diagramas del Flujo	55
Análisis Económico del Proyecto	56
5. Conclusiones y Recomendaciones	57
6. Fuentes de Información	59
7. Anexos	61
Anexo 1	61
Anexo 2	63
Anexo 3	67
Anexo 4	69
8. Índice.....	72