

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERÍA**

**Diseño, implementación y evaluación de un sistema prototipo de respaldo
de energía eléctrica para las unidades de detección de fugas provocadas
por rupturas intencionales del poliducto Quito- Ambato de
PETROECUADOR**

Realizado por:

Vladimir Patricio Cantuña Cacuango

SANGOLQUÍ - ECUADOR

2007

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente proyecto de grado titulado “DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA PROTOTIPO DE RESPALDO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LAS UNIDADES DE DETECCIÓN DE FUGAS PROVOCADAS POR RUPTURAS INTENCIONALES DEL POLIDUCTO QUITO – AMBATO DE PETROECUADOR.”, fue realizado en su totalidad por el Sr. Vladimir Patricio Cantuña Cacuango, como requerimiento previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica.

Ing. Hugo Ortiz
Director

Ing. Wilson Yépez
Codirector

RESUMEN DEL PROYECTO DE GRADO

En el presente proyecto se desarrolla un sistema prototipo de respaldo de energía para la operación de los sistemas de transmisión de datos y sensamiento de fugas que forman parte del proyecto “ASIMILACIÓN Y ADAPTACIÓN TECNOLÓGICA PARA UN SISTEMA DE DETECCIÓN DE FUGAS EN EL POLIDUCTO QUITO-AMBATO”, proyecto desarrollado por la Unidad de Investigación y Desarrollo Tecnológico de PETROECUADOR.

El prototipo desarrollado consta de dos etapas. La etapa de generación esta conformada por dos paneles solares de 30 W, que recargan baterías de 12 V a través de un regulador de carga. La etapa de control, conformada por un controlador diseñado, mide los niveles de la energía primaria de los sistemas de detección de fugas y transmisión de datos, mediante las cuales se establece el momento de falla de los mismos, dejando operar la energía de respaldo para cada sistema, esto es 5V para interfaces, 12V para transmisión y 18V para el sensor. El sistema ha sido diseñado para alimentar a otros sistemas con valores positivos de voltaje únicamente.

El sistema ha mostrado ser operativo y funcional. Está en capacidad de operar por largos periodos de tiempo e inclusive la energía respaldo puede ser usada como la única alimentación a los sistemas complementarios.

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme dado la oportunidad de culminar una etapa de crecimiento y desarrollo en mi vida.

A familia por darme su apoyo incondicional en todo momento y en especial a mi querida madre que siempre estuvo a mi lado, aún cuando las circunstancias fueron adversas.

A mis profesores que me han brindado la oportunidad de crecer como persona, así como por haber compartido sus conocimientos conmigo,

A mis amigos y allegados que siempre me dieron el apoyo necesario para continuar y mejorar en cada momento, así como también, a aquel ser que todo hombre necesita para ser feliz, gracias a ti.

DEDICATORIA

Este trabajo es un reconocimiento a las personas que siempre me han apoyado, mi familia. Esta dedicado a mi padre por su apoyo, a mi linda hermanita por la alegría que me siempre me brinda, pero sobre todo a mi amada madre, que desde pequeño me enseñó el valor del sacrificio y del trabajo duro para llegar a alcanzar los sueños, es por eso que este trabajo ha llegado a su fin y motivo por el que considero que este logro le pertenece a ella también. Te felicito, madrecita. Todos siempre están en mis pensamientos y mi corazón.

De igual forma esta dedicado a la mujer que me ha inspirado seguir luchando en búsqueda de un futuro mejor y la felicidad, tú tendrás un pedacito de mi corazón por siempre.

PROLOGO

PETROECUADOR es el organismo responsable de velar por la explotación racional del recurso petrolero así como de la distribución y venta de los combustibles y sus derivados en el país, tiene como uno de sus objetivos el adoptar medidas eficientes de control sobre el sistema de poliductos, evitando pérdidas provocadas por colapsos o intervención humana.

Cabe señalar que en los últimos años la ESTATAL PETROLERA, ha perdido por concepto de robo de combustibles valores considerables de dinero, por lo que la implementación de un sistema control para la detección de fugas, minimizaría los riesgos generados por sabotajes que atentan directamente con el transporte y suministro de petróleo y sus derivados. Es así que, PETROECUADOR a través de su UNIDAD DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO IDT ha previsto desarrollar un proyecto para detección de fugas que consta de tres etapas: alimentación eléctrica y de respaldo para todos los sistemas, el sistema de detección de fugas y el sistema de transmisión de datos

En todas las industrias, la necesidad de energía es fundamental para una producción adecuada, esta razón es la que motiva a muchas empresas a invertir recursos en el desarrollo e implementación de sistemas de respaldo de energía, para garantizar una producción continua. Partiendo de lo anterior se ha desarrollado un sistema de respaldo de energía que está en capacidad de suministrar la energía necesaria para mantener operando los equipos que forman parte del sistema de detección de fugas. El sistema prototipo de respaldo de energía diseñado es inteligente y autónomo de tal forma que pueda operar sin supervisión alguna, de tal forma que pueda decidir el momento exacto en que deba entrar en operación la alimentación de respaldo. Adicionalmente está en capacidad de integrarse con otros sistemas para indicar su estado operativo.

El desarrollo del presente proyecto, pretende contribuir con una parte del proyecto de detección de fugas que PETROECUADOR busca implementar en su red de poliductos.

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN	ii
RESUMEN DEL PROYECTO DE GRADO	iii
AGRADECIMIENTO	iv
DEDICATORIA	v
PROLOGO	vi
ÍNDICE	viii

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Poliducto QUITO-AMBATO	3
1.4 Descripción del proyecto	7

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Generación eléctrica convencional	8
2.1.1 Introducción	8
2.1.2 Formas de generación eléctrica convencional	8
2.1.2.1. Electricidad térmica por acción de combustibles fósiles	9
2.1.2.2 Electricidad térmica por acción de energía nuclear	11
2.1.2.3 Electricidad por acción del agua	14
2.1.2.4. Electricidad por acción química	16

2.2 Generación eléctrica no convencional	21
2.2.1. Electricidad por Acción de la Luz	22
2.2.2 Electricidad Eólica por acción del viento	25
2.2.3. Electricidad por acción de biomasa	27

CAPITULO 3

SELECCIÓN DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA DE RESPALDO

3.1 Alternativas de suministro eléctrico	30
3.1.1 Zona Quito-Ambato	30
3.1.1.1 Condiciones físicas del poliducto Quito-Ambato	30
3.1.1.2 Condiciones Climatológicas de la zona Quito-Ambato	30
3.1.2 Características de suministro eléctrico de respaldo	35
3.1.3 Alternativas de suministro eléctrico	36
3.2 Análisis de las alternativas de suministro eléctrico	37
3.2.1 Condiciones para generar electricidad en base a las alternativas de suministro eléctrico	37
3.2.1.1 Condiciones para generar electricidad por acción de la luz.	37
3.2.1.2 Condiciones para generar electricidad por acción del viento	38
3.2.1.3 Condiciones para generar electricidad empleando combustibles fósiles	39
3.2.1.4 Condiciones para generar electricidad por acción química	39
3.2.2 Análisis de las alternativas de suministro eléctrico	40
3.3 Selección del sistema de energía eléctrica de respaldo	44

CAPITULO 4

INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE

4.1 Requerimientos del sistema de respaldo de energía	46
4.1.1 Sistemas UPS	46

4.1.1.1 UPS Stand by	47
4.1.1.2 UPS de Línea Interactiva	48
4.1.1.3 UPS Stand by-Ferro	49
4.1.1.4 UPS de Doble Conversión On-Line	50
4.1.1.5 UPS de Conversión On-Line Delta	51
4.1.2. Requerimientos eléctricos	52
4.2 Ingeniería básica del sistema prototipo de respaldo de energía	54
4.2.1. Subsistema de alimentación primaria	55
4.2.2. Subsistema de alimentación de respaldo	57
4.2.3. Subsistema de protección y acondicionamiento	58
4.2.4. Subsistema controlador	60
4.3 Ingeniería de detalle del sistema prototipo de respaldo de energía	62
4.3.1. Subsistema de alimentación primaria	62
4.3.2. Subsistema de alimentación de respaldo	65
4.3.3. Subsistema de protección y acondicionamiento	72
4.3.4. Subsistema controlador	76

CAPITULO 5

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA PROTOTIPO

5.1 Construcción	84
5.2 Puesta en marcha	89

CAPITULO 6

EVALUACIÓN DEL SISTEMA PROTOTIPO

6.1 Pruebas y resultados del sistema prototipo	93
6.1.1 Pruebas para definir funcionamiento del subsistema controlador (SC)	94
6.1.2 Pruebas para definir estabilidad de los niveles de alimentación	102
6.1.3 Pruebas para definir tiempo de reacción del sistema	109
6.2 Evaluación del sistema de respaldo de energía desarrollado	111

CAPITULO 7

ANÁLISIS ECONÓMICO

7.1 Costo de la construcción del controlador del sistema de respaldo de energía.	113
7.2 Costo de la implementación de las unidades de respaldo en el poliducto QUITO-AMBATO	115
7.3 Análisis costo beneficio del sistema prototipo de respaldo de energía	116

CAPITULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones	120
8.2 Recomendaciones	121

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXO 1

Código de programación, para ejecución de tarea de control del microcontrolador

ANEXO 2

Conexiones eléctricas entre panel solar, baterías y regulador

ANEXO 3

Diseño eléctrico del autómata diseñado para el sistema prototipo de respaldo de energía

ANEXO 4

Conexiones eléctricas del controlador diseñado para el sistema prototipo de respaldo de energía

ANEXO 5

Demostración del comportamiento eléctrico de bobinas y capacitares en DC

ÍNDICE DE FIGURAS	144
ÍNDICE DE TABLAS	147
GLOSARIO	150

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

PETROECUADOR al ser el organismo responsable de velar por la explotación racional del recurso petrolero así como de la distribución y venta de los combustibles y sus derivados en el país, tiene como uno de sus objetivos el adoptar medidas eficientes de control sobre el poliducto, evitando pérdidas provocadas por colapsos o intervención humana.

“Cabe señalar que en los últimos años la estatal petrolera pierde, por robo de combustibles, entre \$. 100 millones y 150 millones al año”, según declaraciones del ex-Ministro de Energía Carlos Arboleda, *Diario El Comercio* 2 de marzo del 2006.

La implementación de un sistema automático para la detección de fugas, contribuirá con el cumplimiento de los objetivos propuestos por PETROECUADOR. La empresa se ha mostrado interesada en desarrollar un proyecto que logre minimizar los riesgos de fugas provocadas por sabotajes que atentan directamente con el transporte y suministro de petróleo y sus derivados. Es así que, PETROECUADOR a través de su UNIDAD DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO ha previsto desarrollar un proyecto para detección de fugas que consta de tres etapas: alimentación eléctrica y respaldo de los subsistemas, sistema de detección de fugas y sistema de transmisión de datos; por tal motivo y tratando de dar cumplimiento a especificaciones requeridas por el proyecto, un sistema de alimentación eléctrica y su adecuado respaldo se convierte en un primer problema a ser

afrontado, de tal manera que el sistema completo brinde garantías y la oportunidad de implantarse a largo plazo.

La UNIDAD DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO de PETROECUADOR con la ayuda de estudiantes de la ESPE se halla ya ejecutando el proyecto: “Estudio y evaluación del método de análisis de vibraciones como alternativa para la detección de fugas causadas por rupturas intencionales en el poliducto Quito-Ambato de PETROECUADOR”, el cual es complementario al propuesto en este proyecto.

1.2 OBJETIVOS

General

Diseñar, implementar y evaluar un sistema prototipo de respaldo de energía eléctrica, para unidades de detección de fugas provocadas por rupturas intencionales del poliducto QUITO – AMBATO de PETROECUADOR.

Específicos

- Establecer las condiciones físicas, geográficas y climatológicas presentes en las zonas por las que atraviesa el poliducto Quito-Ambato.
- Determinar las fuentes de suministro eléctrico viables en la zona del poliducto Quito-Ambato.
- Seleccionar la fuente de suministro eléctrico más adecuado a usarse como respaldo de energía para las unidades de detección de fugas.
- Desarrollar la ingeniería básica y de detalle del sistema prototipo de respaldo de energía.
- Implementar el sistema prototipo.

- Realizar pruebas y evaluar los parámetros eléctricos y características de funcionamiento del sistema prototipo desarrollado.
- Analizar las viabilidades técnicas y económicas para la implementación a gran escala un sistema de respaldo de energía con las características adoptadas.

1.3 POLIDUCTO QUITO-AMBATO

Para el transporte de derivados se emplean los poliductos, gasoductos, buquetanques y auto-tanques. La política de transporte aplica el principio de abastecer a todas las zonas de influencia en el menor tiempo y al más bajo costo.

PETROECUADOR ha ejecutado la construcción de la red de poliductos de la costa, así como proyectos de ampliación y construcción de tanques para almacenamiento de derivados en diferentes depósitos y terminales. La red de poliductos y gasoductos que se encuentra en operación a nivel nacional incluye el poliducto Quito – Ambato (PQ-A), que se encuentra ubicado estratégicamente, como se puede apreciar en la figura 1.1, logrando la interconexión con la red de poliductos que atraviesan las tres regiones del Ecuador Continental.



Figura. 1. 1. Ubicación Geográfica del Poliducto Quito-Ambato.

El sistema del poliducto Quito – Ambato está formado por las estaciones mostradas en la tabla 1.1:

Tabla. 1. 1. Estaciones del Poliducto Quito-Ambato.

Estación de Bombeo	Ubicación	Altura (m)	Ubicación (km)
Beaterio, Estación Reductora y Terminal de Almacenamiento y Despacho	Quito	2950	0
Estación de Control	Latacunga	2850	68
Estación Reductora de Ambato y Terminal de almacenamiento y despacho	Ambato	2760	111

El poliducto alcanza la máxima altura en el lugar conocido como San Juan, con una altura aproximada de 3755 mts sobre el nivel del mar. Este sitio se encuentra en las faldas del monte Atacazo y a 33 Km de El Beaterio. Por este motivo las estaciones de El Beaterio, Latacunga y Ambato son reductoras. La caída de presión es aproximadamente de 52 Kg/cm² en el Beaterio a 13 Kg/cm² en Ambato. En la tabla 1.2. se puede apreciar un resumen de las características del poliducto.

Tabla. 1. 2. Características Técnicas del Poliducto Quito-Ambato

Longitud (km)	111
Diámetro de Tubería (pulg)	6
Capacidad Bombeo (bls/día)	12.000
Volumen Empaq. Línea (bls)	13.572
Caudal Máximo (bls/hora)	500
Productos	Gasolina Extra, Súper, Diesel 1 y Diesel 2

Este moderno poliducto transporta gasolina súper, gasolina extra, diesel 1 y diesel 2 hacia los terminales del sistema. En la figura 1.2. podemos apreciar el recorrido del poliducto desde el Beaterio hasta la estación Ambato.

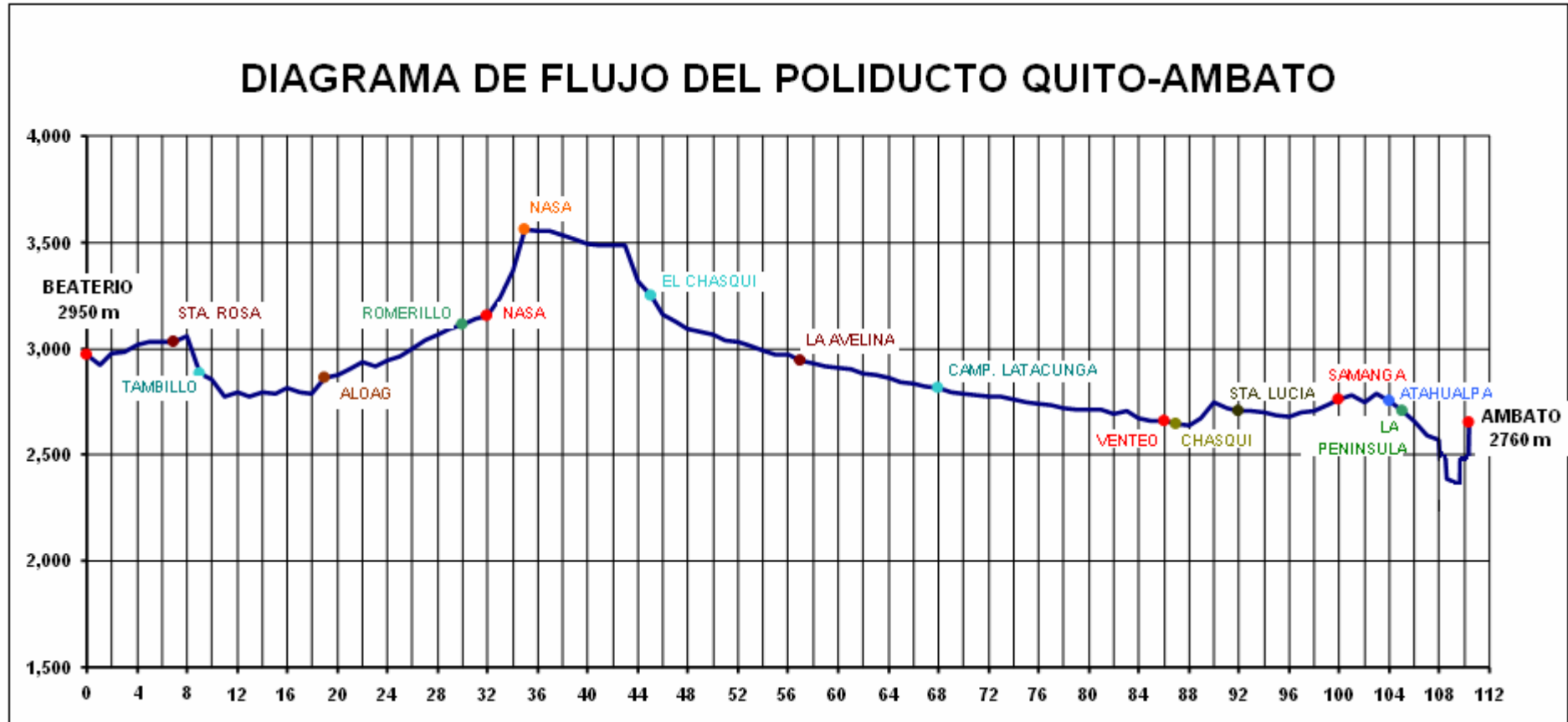


Figura. 1. 2. Diagrama de Flujo del Poliducto Quito-Ambato

Estos productos al ser bombeados, siguen una secuencia que no puede ser alterada por ningún motivo, que es la siguiente:

Gasolina Súper – Gasolina Extra – Diesel – Gasolina Extra – Gasolina Súper. Es necesario la separación entre cada producto bombeado a través de separadores mecánicos como esferas. Además, se colocan colorantes en la cabeza de cada partida para efectos de una mejor identificación. En la tabla 1.3. se muestra la producción registrada en el poliducto para el año 2005:

Tabla. 1. 3. Volumen de Combustible transportado por el Poliducto Quito-Ambato. Año 2005

	Gasolina (bls)				Total Poliducto (bls)
	Super	Extra			
Enero	20,137	112,341	304	106,426	239,208
Febrero	22,486	98,772	291	114,858	236,406
Marzo	16,048	106,676	284	103,642	226,651
Abril	20,647	114,218	237	122,247	257,350
Mayo	14,916	93,525	278	125,572	234,290
Junio	16,848	87,726	207	134,911	239,692
Julio	25,567	121,042	240	102,067	248,916
Agosto	17,339	111,177	381	146,074	274,971
Septiembre	16,324	90,920	182	102,367	209,792
Octubre	21,659	125,741	304	123,934	271,639
Noviembre	18,089	110,961	290	126,954	256,294
Diciembre	24,219	92,688	225	147,346	264,479
Total	234,280	1,265,788	3,222	1,456,397	2,959,687

1.4 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

La solución que se propone analizar en este proyecto, busca desarrollar el prototipo de un sistema de respaldo de energía, que sirva como base a su posible implementación en otros tramos del poliducto, en estaciones del oriente y costa ecuatoriana.

Para el efecto, el proyecto empieza con la recopilación de información sobre las condiciones físicas, geográficas y climatológicas del área a lo largo de la cual se halla el poliducto en la zona QUITO-AMBATO, zona que brinda las facilidades de simular algunos escenarios que podrían presentarse en el futuro, esto es el ambiente de costa u oriente. Se investiga el entorno físico, geográfico y climatológico del poliducto Quito-Ambato, determinándose las posibles opciones de suministro eléctrico de respaldo en la zona (generación solar, generación eólica u otras), así como también teniendo en cuenta factores para una implementación a mayor escala en el futuro, en base a lo cual se analiza y selecciona la mejor alternativa de suministro eléctrico de respaldo.

En base a la selección de una fuente de suministro eléctrico, capaz de ser implementada bajo cualquier circunstancia, se realiza el diseño del sistema prototipo de respaldo de energía eléctrica, con las etapas que esto involucre (diseño de las etapas de control, de protección, regulación y acoplamiento del sistema) y en base a la información generada se procede a la implementación del sistema; el sistema busca ser confiable, independiente, capaz de alternar automáticamente entre el sistema de alimentación de respaldo y el principal, así como de monitorear el estado de todo el sistema de alimentación y generar señales que indica el estado del sistema de suministro eléctrico en conjunto.

El diseño e implementación del sistema de respaldo de energía permite evaluar su funcionamiento, teniendo en cuenta criterios eléctricos de operación de otras etapas del proyecto general de detección de fugas, así como de aspectos económicos, criterios en base a los cuales se determina si el prototipo desarrollado brinda las garantías necesarias para ser implementado en un proyecto de detección de fugas a gran escala a futuro.

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 GENERACIÓN ELÉCTRICA CONVENCIONAL

2.1.1 Introducción

La generación de energía eléctrica de manera convencional, se refiere al uso de recursos no renovables tomando la energía de elementos contenidos en la corteza terrestre, como son en su gran mayoría distintos tipos de combustibles: el carbón, el petróleo, el gas, el uranio (combustible nuclear). Dentro de la generación convencional de energía eléctrica también se debe señalar a los acumuladores, dispositivo que almacena energía eléctrica por procedimientos electroquímicos y que la devuelve posteriormente casi en su totalidad.

El principal inconveniente del empleo recursos no renovables es que son limitadas y por ello su duración no se mantendrá indefinidamente a lo largo del tiempo; asimismo, su utilización en muchos casos produce impactos ambientales negativos.

2.1.2 Formas de generación eléctrica convencional

Los métodos que se analizan para producir energía eléctrica de forma convencional son:

- a. Electricidad térmica por acción de combustibles fósiles.
- b. Electricidad térmica por acción de energía nuclear.

- c. Electricidad por acción del agua.
- d. Electricidad por acción química.

2.1.2.1. Electricidad térmica por acción de combustibles fósiles.

La instalación en la que se genera electricidad a partir del vapor formado al hervir agua, se denomina central térmica, en donde la energía mecánica que se necesita para mover el rotor del generador y por tanto para obtener la energía eléctrica, se obtiene del vapor generado al hervir agua en una caldera, el mismo que tiene una gran presión y se hace llegar a las turbinas para que su expansión sea capaz de mover los alabes de las mismas.

Las denominadas termoeléctricas clásicas son de carbón, de fuel o gas natural. En dichas centrales la energía de la combustión del carbón, fuel o gas natural se emplea para hacer la transformación del agua en vapor.

Una central térmica clásica se compone de una caldera y de una turbina que mueve al generador eléctrico. Se puede producir desde los 5 hasta los 5000 kwatts.

Se puede conseguir vapor de muchas maneras: quemando carbón, petróleo, gas o residuos urbanos, incluso se puede producir vapor concentrando la energía del sol.

Producción de electricidad en la central térmica.

El proceso seguido en todas las centrales térmicas (convencionales) tiene cuatro partes principales:

1. Generador de calor (puede ser una caldera para quemar carbón, fuel, gas o residuos urbanos).
2. Circuito cerrado por donde circula el fluido que porta la energía cinética necesaria (agua en fase líquida y en fase de vapor). El generador de vapor tiene una gran superficie de contacto para facilitar la transferencia de calor de la caldera. (En las centrales de gas de ciclo combinado, el fluido es el propio gas en combustión).
3. Condensador o circuito de enfriamiento convierte el vapor “muerto” de baja densidad en

agua líquida de alta densidad, apta para ser convertida de nuevo en vapor “vivo”. El calor residual del vapor “muerto” se transfiere a otro medio (generalmente un río o un embalse).

4. La turbina convierte la energía cinética del vapor “vivo” en movimiento rotatorio. Las ruedas de paletas se disponen una tras otra, con diferentes configuraciones, para aprovechar toda la energía contenida en el vapor a presión a medida que se expande y pierde fuerza. El generador convierte el giro en corriente eléctrica, gracias al proceso de inducción electromagnética. En las siguientes figuras se puede apreciar una planta termoeléctrica y su funcionamiento:

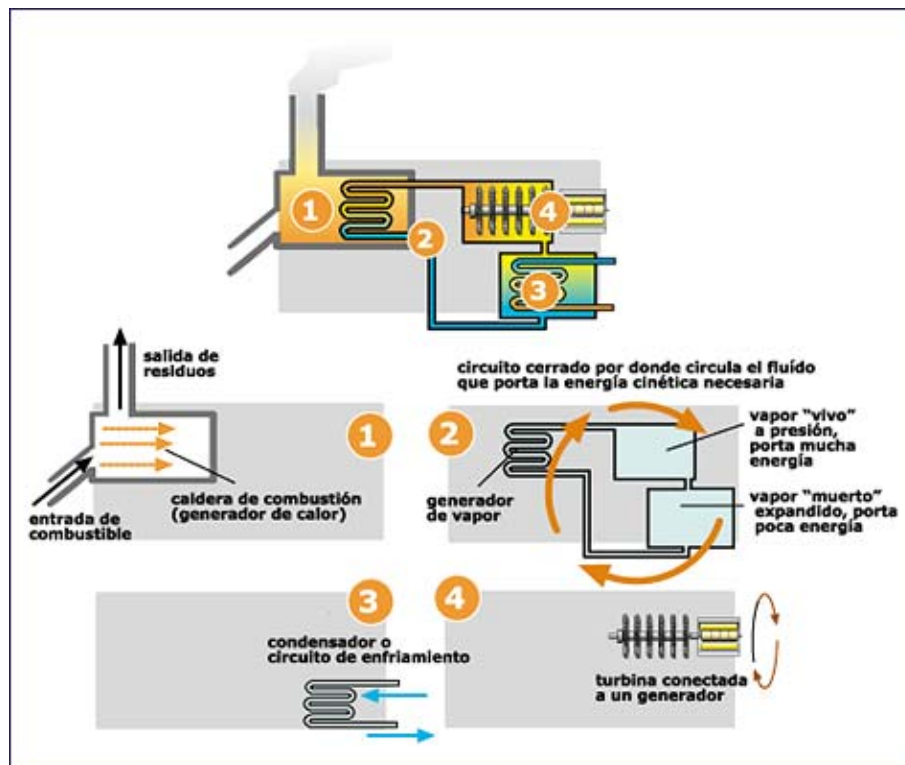


Figura. 2. 1. Generación de electricidad a partir de combustibles fósiles.



Figura. 2. 2. Foto de la Central Termoeléctrica Guangopolo.

A continuación se muestra en la tabla 2.1. las ventajas y desventajas de emplear combustibles fósiles para generar electricidad:

Tabla. 2. 1. Cuadro comparativo de usar combustibles fósiles para generar electricidad.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Facilidad de extracción ▪ Tecnología bien desarrollada ▪ Además de fuente de energía, en los procesos de separación, se proporcionan materias primas para la industria química, medicina, alimentación. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No renovable. Se estima que, al ritmo de consumo actual, las reservas se agotarán en menos de 100 años. ▪ Transporte caro ▪ Difícil almacenamiento ▪ Provoca graves problemas ambientales: efecto invernadero, lluvia ácida ▪ Es un desperdicio destinar a ser quemados materiales que son materias primas para la industria química, medicina, alimentación, etc.

2.1.1.2 Electricidad térmica por acción de energía nuclear.

La energía nuclear procede de reacciones de **fisión** o **fusión** de átomos en las que se liberan gigantescas cantidades de energía que se usan para producir electricidad.

En 1956 se puso en marcha, en Inglaterra, la primera planta nuclear generadora de electricidad para uso comercial. En 1990 había 420 reactores nucleares comerciales en 25 países que producían el 17% de la electricidad del mundo. Pero ya en la década de los 70 y especialmente en la de los 80 cada vez hubo más voces que alertaron sobre los **peligros de la radiación**, sobre todo en caso de accidentes. El riesgo de accidente grave en una central nuclear bien construida y manejada es muy bajo, pero algunos de estos accidentes, especialmente el de Chernobyl, URSS (1986), han hecho que en muchos países la opinión pública mayoritariamente se haya opuesto a la continuación o ampliación de los programas nucleares. Además ha surgido otro problema de difícil solución: el del almacenamiento de los **residuos nucleares** de alta actividad.

Obtención de energía por fisión nuclear convencional.

El sistema más usado para generar energía nuclear utiliza el **uranio** como combustible. En concreto se usa el isótopo 235 del uranio que es sometido a **fisión** nuclear en los reactores. En este proceso el núcleo del átomo de uranio (U-235) es bombardeado por neutrones y se rompe originándose dos átomos de un tamaño aproximadamente mitad del de uranio y liberándose dos o tres neutrones que inciden sobre átomos de U-235 vecinos, que vuelven a romperse, originándose una reacción en cadena.

El mineral del uranio contiene tres isótopos: U-238 (9928%), U-235 (0,71%) y U-234 (menos que el 0,01%). Dado que el U-235 se encuentra en una pequeña proporción, el mineral debe ser **enriquecido** (purificado y refinado), hasta aumentar la concentración de U-235 a un 3%, haciéndolo así útil para la reacción.

El uranio que se va a usar en el reactor se prepara en pequeñas pastillas de dióxido de uranio de unos milímetros, cada una de las cuales contiene la energía equivalente a una tonelada de carbón. Estas pastillas se ponen en varillas, de unos 4 metros de largo, que se reúnen en grupos de unas 50 a 200 varillas. Un reactor nuclear típico puede contener unas 250 de estas agrupaciones de varillas.

Producción de electricidad en la central nuclear.

Una central nuclear tiene cuatro partes:

1. El **reactor** en el que se produce la fisión
2. El **generador de vapor** en el que el calor producido por la fisión se usa para hacer hervir agua
3. La **turbina** que produce electricidad con la energía contenida en el vapor
4. El **condensador** en el cual se enfría el vapor, convirtiéndolo en agua líquida.

La reacción nuclear tiene lugar en el reactor, en el están las agrupaciones de **varillas de combustible** intercaladas con unas decenas de **barras de control** que están hechas de un material que absorbe los neutrones. Introduciendo estas barras de control más o menos se controla el ritmo de la fisión nuclear ajustándolo a las necesidades de generación de

electricidad. En la figura 2.3. se muestran un esquema de la generación eléctrica a partir de energía nuclear:

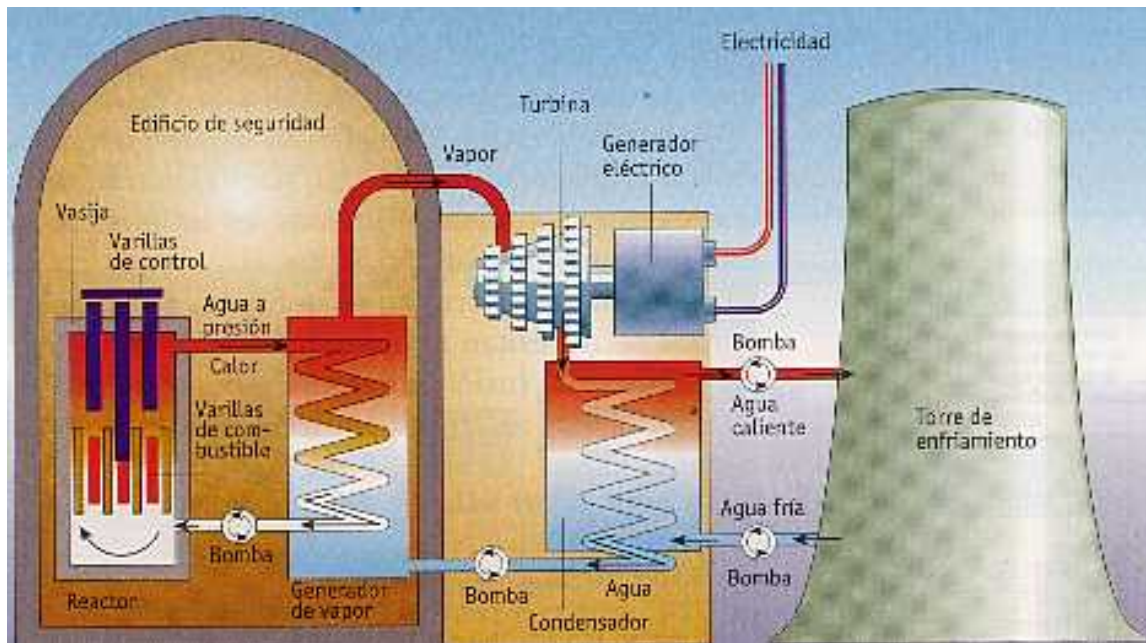


Figura 2. 3. Esquema de generación eléctrica a partir de energía nuclear.

En las centrales nucleares habituales hay un circuito primario de agua en el que esta se calienta por la fisión del uranio. Este circuito forma un sistema cerrado en el que el agua circula bajo presión, para que permanezca líquida a pesar de que la temperatura que alcanza es de unos 293°C.

Con el agua del circuito primario se calienta otro circuito de agua, llamado secundario. El agua de este circuito secundario se transforma en vapor a presión que es conducido a una turbina. El giro de la turbina mueve a un generador que es el que produce la corriente eléctrica.

Finalmente, el agua es enfriada en torres de enfriamiento, o por otros procedimientos.

En la tabla 2.2 se muestran las ventajas y desventajas de emplear energía nuclear para generar electricidad:

Tabla. 2. 2. Cuadro comparativo de usar energía nuclear para generar electricidad.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grandes reservas de uranio ▪ Tecnología bien desarrollada ▪ Gran productividad. Con pequeñas cantidades de sustancia se obtiene gran cantidad de energía. ▪ Aplicaciones pacíficas y médicas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alto riesgo de contaminación en caso de accidente ▪ Producción de residuos radiactivos peligrosos a corto y largo plazo ▪ Difícil almacenamiento de los residuos producidos ▪ Alto coste de las instalaciones y mantenimiento de las mismas ▪ Posibilidad de uso no pacífico

2.1.1.3 Electricidad por acción del agua.

La forma de producir electricidad en grandes cantidades es a través de la inducción magnética.

Su producción se basa en el hecho de que al mover un conductor (material con gran movilidad de electrones) en presencia de un imán (campo magnético) se produce en el conductor un movimiento ordenado de electrones, como consecuencia de las fuerzas de atracción y repulsión originadas por el campo magnético. En esta forma de producción de electricidad se basa el funcionamiento de los alternadores, motores y dínamos.

Cualquier central eléctrica, basa su producción de electricidad en el giro de turbinas unidas a ejes de alternadores. Este giro se producirá por la acción de la energía hidráulica existente en las caída de agua (central hidroeléctrica). La energía hidráulica es la energía asociada a los saltos de agua ríos y embalses

La forma de energía que posee el agua de los embalses es energía potencial gravitatoria, que se puede aprovechar conduciéndola y haciéndola caer por efecto de la gravedad. En la figura 2.4. se puede observar los embalses de agua empleados para producir energía eléctrica.



Figura. 2. 4. Represas Hidroeléctricas.

Funcionamiento de una central hidroeléctrica.

La clave del diseño de las centrales hidroeléctricas está en un diseño adecuado de la tubería que forza el agua, que aumentará su velocidad, y en la elección de la turbina más adecuada para que extraiga la mayor cantidad posible de energía del agua en movimiento. Uno de los modelos más utilizados es la turbina Kaplan, con eje vertical y provisto de paletas móviles, que le permiten adaptarse a las condiciones de presión del chorro de agua. En la figura 2.5. se muestra un esquema del funcionamiento de una planta de generación hidroeléctrica:

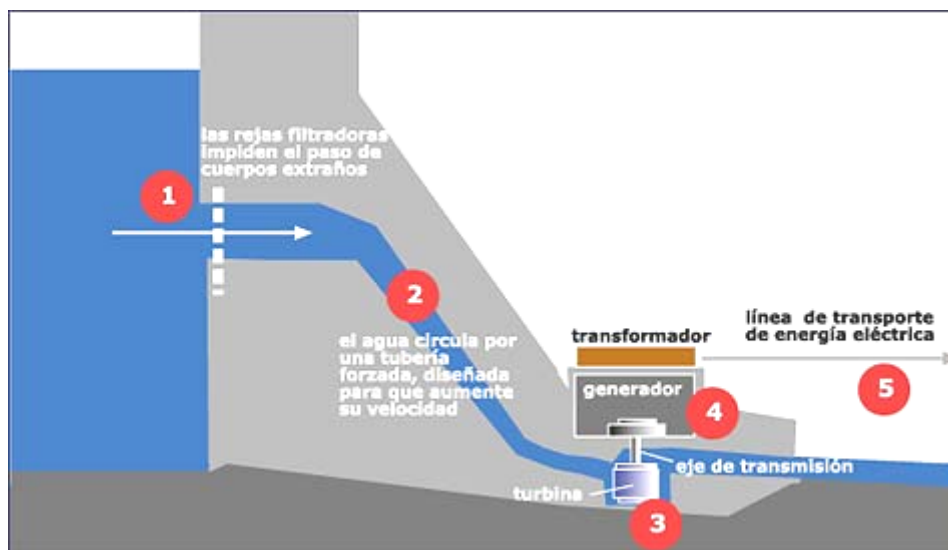


Figura. 2. 5. Funcionamiento de una represa hidroeléctrica

En la tabla 2.3. se aprecian las ventajas y desventajas de generar electricidad usando el agua:

Tabla. 2. 3. Cuadro comparativo de usar energía hidráulica para generar electricidad

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Es una energía limpia ▪ No contaminante ▪ Su transformación es directa ▪ Es renovable 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Imprevisibilidad de las precipitaciones ▪ Capacidad limitada de los embalses ▪ Impacto medioambiental en los ecosistemas ▪ Coste inicial elevado (construcciones de grandes embalses) ▪ Riesgos debidos a la posible ruptura de la presa

2.1.1.4. Electricidad por acción química.

Desde que se descubrió que a partir de procesos químicos se podía obtener electricidad este sistema ha ido mejorando continuamente, sin embargo se debe considerar que existen dos formas para hacerlo:

La primera forma se refiere a generar directamente la electricidad a partir de un proceso químico. Dentro de esta forma de obtener electricidad se hallan las **pilas**, dispositivos en las que el producto químico no puede volver a su forma original una vez que la energía química se ha transformado en energía eléctrica (es decir, cuando las pilas se han descargado), por lo que se les conoce como pilas primarias o voltaicas.

Otra forma para obtener electricidad por acción química, se refiere a almacenarla antes de usarla. Dentro de esta forma de obtener electricidad están las **baterías eléctricas**, **acumuladores eléctricos** o **acumuladores**, dispositivos que almacena energía eléctrica por procedimientos electroquímicos y que la devuelve posteriormente casi en su totalidad. Este ciclo puede repetirse determinado número de veces, siempre y cuando el producto químico que reacciona con los electrodos, pueda ser reconstituido al pasar una corriente eléctrica a través de él en sentido opuesto a la operación normal de una pila. Se trata de un generador eléctrico secundario, es decir, de un generador que no puede funcionar a no ser

que se le haya suministrado electricidad previamente mediante lo que se denomina proceso de carga.

Todas las pilas o acumuladores consisten en un electrolito (que puede ser líquido, sólido o gel), un electrodo positivo y un electrodo negativo. El electrolito es un conductor iónico; uno de los electrodos produce electrones y el otro electrodo los recibe. Al conectar los electrodos al circuito que hay que alimentar, se produce una corriente eléctrica.

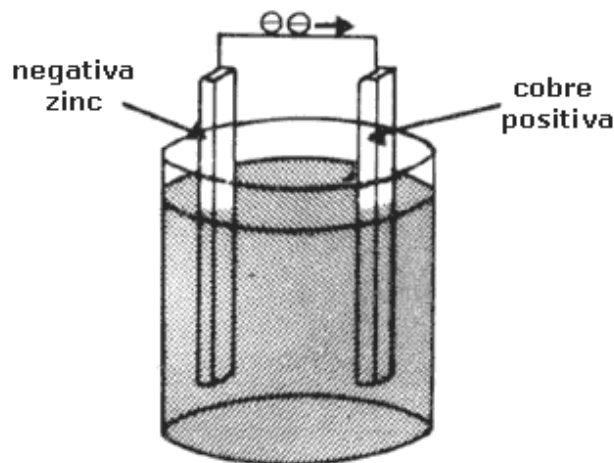


Figura. 2. 6. Esquema de un acumulador.

Principios de funcionamiento del acumulador.

El funcionamiento de un acumulador está basado esencialmente en algún tipo de proceso reversible, es decir, un proceso cuyos componentes no resulten consumidos ni se pierdan, sino que meramente se transformen en otros, que a su vez puedan retornar al estado primero en las circunstancias adecuadas. Estas circunstancias son, en el caso de los acumuladores, el cierre del circuito externo, durante el proceso de descarga, y la aplicación de una corriente, igualmente externa, durante el de carga.

Entre los extremos de los metales, fuera del electrolito, se genera una diferencia de potencial, o voltaje, que puede dar lugar a una corriente eléctrica. En el acumulador de la figura 2.6 el zinc adquiere carga negativa, mientras que el cobre adquiere cargas positivas. Al zinc se le llama cátodo y el cobre recibe el nombre de ánodo. Por un lado, el zinc adquiere un exceso de electrones, mientras que por el otro, el ácido con el cobre da lugar a cargas eléctricas positivas. Al unir el cobre con el zinc por medio de un alambre conductor,

los electrones del zinc se mueven a través del alambre, atraídos por las cargas del cobre y al llegar a ellas se les unen formando hidrógeno, así se tiene una fuente de electricidad distinta a la generada por fricción. Con este medio químico para obtener electricidad se abrieron nuevas posibilidades de aplicación práctica y experimental.

Tipos de acumuladores.

Por lo que a su naturaleza interna se refiere, se encuentran habitualmente en el comercio acumuladores de los siguientes tipos:

1. Acumulador de plomo.

Está constituido por dos electrodos de plomo que, cuando el aparato está descargado, se encuentra en forma de sulfato de plomo (PbSO_4 II) incrustado en una matriz de plomo metálico (Pb); el electrolito es una disolución de ácido sulfúrico. Durante el proceso de carga inicial el sulfato de plomo (II) es reducido a plomo metal en el polo negativo, mientras que en el ánodo se forma óxido de plomo (IV) (Pb O_2). En la descarga baja la concentración del ácido sulfúrico porque se crea sulfato de plomo y aumenta la cantidad de agua liberada en la reacción. Como el ácido sulfúrico concentrado tiene una densidad superior al ácido sulfúrico diluido, la densidad del ácido puede servir de indicador para el estado de carga del dispositivo.

Los acumuladores de este tipo que se venden actualmente utilizan un electrolito en pasta, que no se evapora y hace mucho más segura y cómoda su utilización, este tipo de acumulador se sigue usando aún en muchas aplicaciones, entre ellas en los automóviles.

2. Batería alcalina

También denominada de ferroníquel; sus electrodos son láminas de acero en forma de rejilla con panales rellenos de óxido níqueloso (NiO), que constituyen el electrodo positivo, y de óxido ferroso (FeO) el negativo, estando formado el electrolito por una disolución de potasa cáustica (KOH). Durante la carga se produce un proceso de oxidación anódica y otro de reducción catódica, transformándose el óxido níqueloso en níquelico y el óxido ferroso en hierro metálico. Esta reacción se produce en sentido inverso durante la descarga. Duran más porque el zinc no está expuesto a un ambiente ácido como el que provocan los iones amonio en la pila convencional. Como los iones se mueven más

fácilmente a través del electrolito, produce más potencia y una corriente más estable. Su mayor costo se deriva de la dificultad de sellar las pilas contra las fugas de hidróxido. Casi todas vienen blindadas, lo que impide el derramamiento de los constituyentes. Sin embargo, este blindaje no tiene duración ilimitada.

Las baterías alcalinas tienen una vida media mayor que la de las celdas secas comunes y resisten mejor el uso constante. El voltaje de una pila alcalina es cercano a 1,5 v. El ánodo está compuesto de una pasta de zinc amalgamado con mercurio (total 1%), carbono o grafito. Se utilizan para aparatos complejos y de elevado consumo energético. En sus versiones de 1,5 voltios, 6 voltios y 12 voltios se emplean, por ejemplo, en mandos a distancia (control remoto) y alarmas.

3. Baterías alcalinas de manganeso

Con un contenido de mercurio que ronda el 0,1% de su peso total. Es una versión mejorada de la pila anterior en la que se ha sustituido el conductor iónico cloruro de amonio por hidróxido potásico (de ahí su nombre de alcalina). El recipiente de la pila es de acero y la disposición del zinc y del óxido de manganeso (IV) es la contraria, situándose el zinc, ahora en polvo, en el centro. La cantidad de mercurio empleada para regularizar la descarga es mayor. Esto le confiere mayor duración, más constancia en el tiempo y mejor rendimiento. Por el contrario su precio es más elevado. También suministra una fuerza electromotriz de 1,5 V. Se utiliza en aparatos de mayor consumo como: grabadoras portátiles, juguetes con motor, flashes electrónicos. Una pila alcalina puede contaminar 175.000 litros de agua, que llega a ser el consumo promedio de agua de toda la vida de seis personas.

4. Baterías Níquel-Hidruro (Ni-H)

Utilizan un ánodo de hidróxido de níquel y un cátodo de una aleación de metal-hidruro. Cada célula de Ni-H puede proporcionar un voltaje de 1,2 V y una capacidad entre 0,8 y 2,3 Ah. Su densidad de energía llega a los 80 Wh/kg. Este tipo de baterías no se encuentran afectadas por el llamado *efecto memoria*: en el que en cada recarga se limita el voltaje o la capacidad (a causa de un tiempo largo, una alta temperatura, o una corriente elevada), imposibilitando el uso de toda su energía.

5. Baterías Níquel-Cadmio (Ni-Cd)

Utilizan un ánodo de hidróxido de níquel y un cátodo de un compuesto de cadmio. El electrolito es de hidróxido de potasio. Esta configuración de materiales permite recargar la batería una vez está agotada para su reutilización. Cada célula de NiCd puede proporcionar un voltaje de 1,2 V y una capacidad entre 0,5 y 2,3 Ah. Sin embargo, su densidad de energía es de tan sólo 50 Wh/kg, lo que hace que tengan que ser recargadas cada poco tiempo. También se ven afectadas por el efecto memoria.

6. Baterías Litio-Ion (Li-ion)

Las Baterías Litio-Ion (Li-ion) utilizan un ánodo de Litio y un cátodo de Ion. Su desarrollo es más reciente, y permite llegar a densidades del orden de 115 Wh/kg. Además, no sufren el efecto memoria.

7. Baterías Polímero de Litio (Li-poli)

Son una variación de las Baterías Litio-Ion (Li-ion). Sus características son muy similares pero permiten una mayor densidad de energía, así como una tasa de descarga bastante superior.

Parámetros de un acumulador.

- La tensión o potencial (en voltios) es el primer parámetro a considerar, pues es el que suele determinar si el acumulador conviene al uso a que se le destina.
- La corriente que puede suministrar el elemento, medida en amperios (A), es el segundo factor a considerar.
- La capacidad eléctrica se mide en la práctica por referencia a los tiempos de carga y de descarga en Ah. La unidad SI es el coulomb (C). $1 \text{ Ah} = 1000 \text{ mAh} = 3600 \text{ C}$; $1 \text{ C} = 1 \text{ Ah}/3600 = 0,278 \text{ mAh}$.
- La energía almacenada se mide habitualmente en Wh (watt-hora); la unidad SI es el joule (unidad). $1 \text{ Wh} = 3600 \text{ J} = 3,6 \text{ kJ}$; $1 \text{ J} = 0,278 \text{ mWh}$.
- La resistencia de los acumuladores es muy inferior a la de las pilas, lo que les permite suministrar cargas mucho más intensas que las de éstas, sobre todo de forma transitoria.

- Otra de las características importantes de un acumulador es su masa, y la relación entre ella y la capacidad eléctrica (Ah/kg) o la energía (Wh/kg) que puede restituir.
- El rendimiento es la relación porcentual entre la energía eléctrica recibida en el proceso de carga y la que el acumulador entrega durante la descarga.

En la tabla 2.4. se compara de los diferentes tipos de acumuladores:

Tabla. 2. 4. Cuadro comparativo entre los diferentes tipos de acumuladores.

Tipo	Energía / peso	Tensión por elemento (V)	Duración (número de recargas)	Tiempo de carga	Auto-descarga por mes (% del total)
Plomo	30-50 Wh/kg	2 V	200-300	8-16h	5 %
Ni-Cd	48-80 Wh/kg	1,25 V	1500	1h	20 %
Ni-H	60-120 Wh/kg	1,25 V	300-500	2h-4h	30 %
Li-ion	110-160 Wh/kg	3,6 V	500-1000	2h-4h	10 %
Li-Po	100-130 Wh/kg	3,6 V	300-500 (tres años de vida)	1h-1.5h	10 %

2.2 GENERACIÓN ELÉCTRICA NO CONVENCIONAL.

Las fuentes de generación no tradicional hacen referencia al empleo de recursos energéticos renovables que tienen como principal generador el sol y siguen un ciclo de recuperación tal que parecen renovarse incesantemente.

Las fuentes renovables comprenden principalmente la energía solar, fotovoltaica, eólica, biomasa. El principal inconveniente de algunos de estos tipos de energía es su poca “densidad energética” y sus principales ventajas son su carácter de renovable y su bajo impacto ambiental.

El consumo energético mundial es del orden de 6000 millones de T.E.P. (toneladas equiv. de petróleo), distribuidos de una manera nada uniforme entre los habitantes de la tierra. La contribución a dicho consumo de la generación mediante energías renovables aún es muy pequeña y según los entendidos no superará el 12% (incluso con un tratamiento bastante optimista hacia las llamadas energías blandas).

El ahorro energético y la eficacia energética contribuyen a disminuir el gasto energético y el impacto ambiental mucho más que todas las energías renovables juntas. Este es el motivo por el cual es muy importante impulsar la eficacia energética, que debe contribuir y ayudar a alcanzar objetivos a corto, medio y largo plazo para optimizar los recursos energéticos existentes y las técnicas de utilización de los mismos.

Los métodos comúnmente empleados para producir energía eléctrica de forma no convencional son:

- a. Electricidad por acción de la luz.
- b. Electricidad por acción del viento.
- c. Electricidad por acción de biomasa.

2.2.1. Electricidad por Acción de la Luz.

Es la energía asociada a la radiación solar. La forma de energía que posee el sol es energía nuclear interna que se transforma en la energía que emite mediante procesos de fusión, el sol emite sin cesar lo que se llama energía radiante o, simplemente, radiación.

Se puede generar electricidad a partir de la energía solar por varios procedimientos. En el sistema termal la energía solar se usa para convertir agua en vapor en dispositivos especiales. En algunos casos se usan espejos cóncavos que concentran el calor sobre tubos que contienen aceite. El aceite alcanza temperaturas de varios cientos de grados y con él se calienta agua hasta ebullición. Con el vapor se genera electricidad en turbinas clásicas.

La luz del sol se puede convertir directamente en electricidad usando el efecto fotoeléctrico. Las **células fotovoltaicas** poseen en la actualidad una eficiencia media de

entre 10 a 15%, aunque algunos prototipos experimentales logran eficiencias de hasta el 30%. Por este motivo es que se necesitan grandes extensiones si se quiere producir energía en grandes cantidades.

Uno de los problemas de la electricidad generada con el sol es que sólo se puede producir durante el día y es difícil y cara para almacenar. Para intentar solucionar este problema se están investigando diferentes tecnologías. Una de ellas usa la electricidad para disociar el agua, por **electrólisis**, en oxígeno e hidrógeno. Después el hidrógeno se usa como combustible para regenerar agua, produciendo energía por la noche.

La producción de electricidad por estos sistemas es más cara, en condiciones normales, que por los sistemas convencionales. Sólo en algunas situaciones especiales compensa su uso, aunque las tecnologías van avanzando rápidamente y en el futuro pueden jugar un importante papel en la producción de electricidad. En la figura 2.7 se puede apreciar como se aprovecha la energía solar en una edificación.

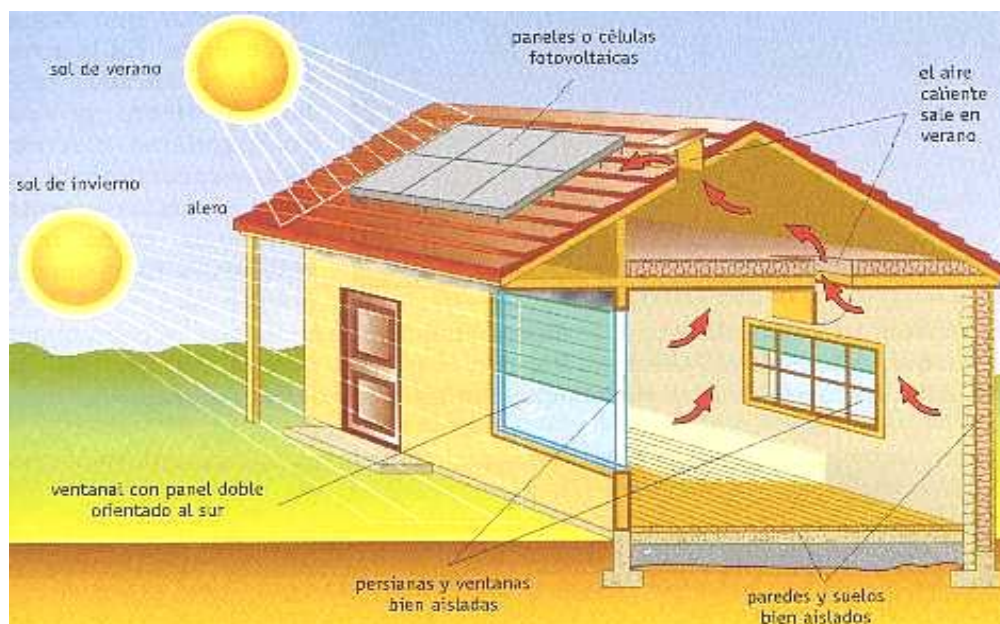


Figura. 2. 7. Esquema de una casa que aprovecha al máximo la luz solar.

Funcionamiento.

A medida que la luz solar se hace más intensa, el voltaje que se genera entre las dos capas de la célula fotovoltaica aumenta, como se aprecia en la figura 2.8.

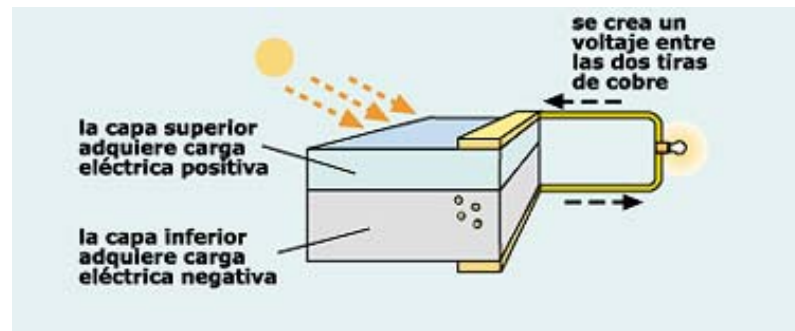


Figura. 2. 8. Esquema de funcionamiento de un panel solar.

En ausencia de luz, el sistema no genera energía, como se muestra en la figura 2.9.

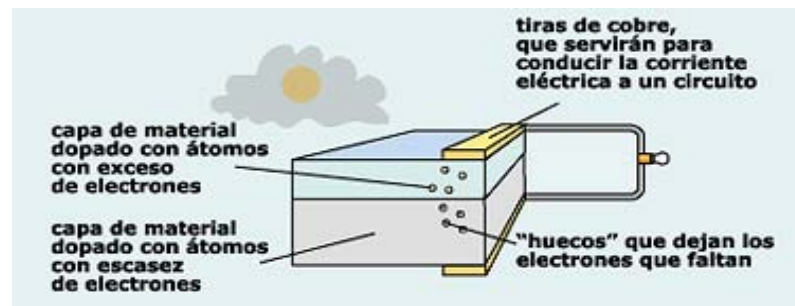


Figura. 2. 9. Esquema de elementos que conforman una celda solar.

Como se aprecia en la figura 2.10, cuando la luz solar incide sobre la placa, la célula empieza a funcionar. Los fotones de la luz solar interactúan con los electrones disponibles e incrementan su nivel de energía.

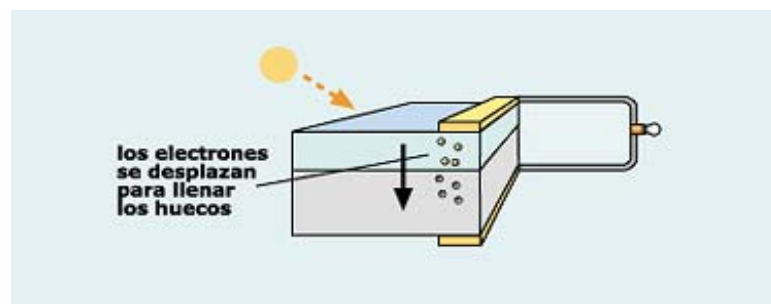


Figura. 2.10. Esquema de generación eléctrica en presencia de luz solar.

En la tabla 2.5 se muestra un cuadro comparativo entre las ventajas y desventajas de usar la energía solar para generar electricidad:

Tabla. 2. 5. Cuadro comparativo de usar energía solar para generar electricidad.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Limpia ▪ Sencillez de los principios aplicados ▪ Conversión directa ▪ Empieza a ser competitiva 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grandes variaciones en el tiempo de irradiación ▪ Es aprovechable sólo en algunas partes del planeta ▪ Necesidad de grandes superficies de captación para su aprovechamiento a gran escala ▪ Tecnología en desarrollo ▪ Dificultad de almacenamiento

2.2.2 Electricidad Eólica por acción del viento.

La forma de energía que se aprovecha del viento es la cinética, que al ser transformada por equipos denominados aerogeneradores, permiten obtener energía eléctrica para ser utilizada. El sol también es la causa del movimiento de grandes masas de aire desde zonas de alta presión a zonas de baja presión. Este viento se puede recoger por grandes hélices o molinos, conectados a un rotor.

La clave de la conversión de la energía contenida en el aire en movimiento giratorio está en un diseño muy cuidadoso, tanto de las palas de la hélice como del multiplicador, que convierte su rotación lenta en un giro muy rápido.

El viento choca contra las palas y provoca diferencias de presión entre sus dos caras, haciendo girar su estructura. Es un proceso idéntico al que hace avanzar un avión gracias al giro de la hélice. El engranaje multiplicador convierte el movimiento lento de la hélice en un giro rápido para activar el generador.

El tamaño de las palas también está en relación con la cantidad de energía que producirá el molino. El emplazamiento de los molinos debe ser elegido cuidadosamente. Los mapas de potencialidad eólica marcan las zonas más adecuadas para la instalación de

aerogeneradores que, por lo general, coinciden con las cumbres de montañas y sierras y con la costa.

Funcionamiento de un aerogenerador.

La eficiencia de conversión de la fuerza del viento en electricidad depende en gran medida del diseño de las palas de la hélice. Existen modelos muy diversos, con dos, tres y hasta seis palas. Deben soportar y aprovechar condiciones de presión del viento muy variables, por lo que su aerodinámica se diseña con tanto cuidado como la de un avión.

El engranaje multiplicador transforma el giro lento de las palas del molino en un giro muy rápido que alimentará el generador. Todos estos mecanismos están colocados en una navecilla situada a gran altura sobre el suelo por medio de un soporte. En las siguientes figuras se puede apreciar un esquema de los elementos que conforman un aerogenerador y un campo de generación eléctrica usando energía cólica.

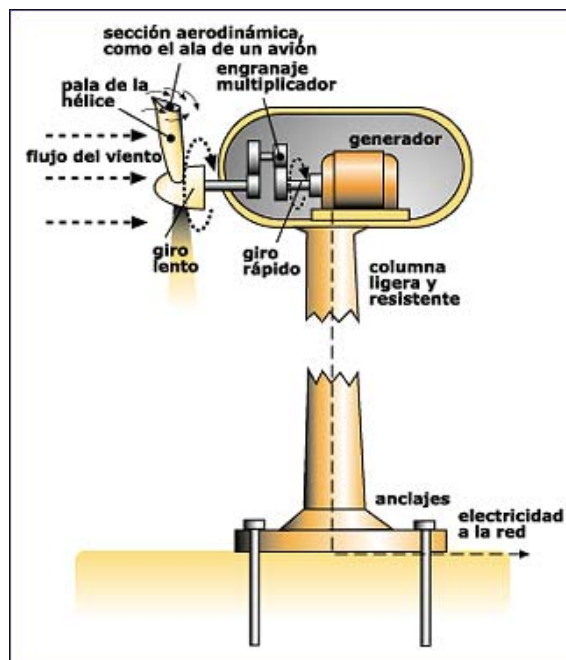


Figura. 2.11. Partes de un aerogenerador.



Figura. 2.12. Foto de un campo de generación eólica

En la tabla 2.6 se muestra un cuadro comparativo entre las ventajas y desventajas de generar electricidad empleando la energía eólica:

Tabla. 2. 6. Cuadro comparativo de emplear energía eólica para generar energía eléctrica.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Limpia ▪ Sencillez de los principios aplicados ▪ Conversión directa ▪ Empieza a ser competitiva 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Intermitencia de los vientos. ▪ Dispersión geográfica ▪ Impacto ambiental sobre ecosistemas ▪ Generación de interferencias ▪ Tecnología en desarrollo ▪ Dificultad de almacenamiento

2.2.3. Electricidad por acción de biomasa.

Es la energía asociada a los residuos orgánicos generados en la transformación de productos agrícolas, forestales y a los residuos sólidos urbanos. Se trata de aprovechar la energía interna de estos residuos y de su combustión se puede obtener energía eléctrica.

Existen muchas fuentes de energía clasificables bajo el concepto de biomasa, así como diversas técnicas para su conversión en energía limpia. Evidentemente, son estas formas modernas de aprovechamiento las que pueden ser utilizadas para la obtención de energía limpia, nada que ver con las formas tradicionales (leña, excrementos, etc.), en

muchos casos insostenibles, que todavía se emplean ampliamente en países empobrecidos, y que aún constituyen más del 10% del consumo mundial de energía primaria.

También se puede usar la biomasa para preparar **combustibles líquidos**, como el metanol o el etanol, que luego se usan en los motores. El principal problema de este proceso es que su rendimiento es bajo: de un 30 a un 40% de la energía contenida en el material de origen se pierde en la preparación del alcohol.

Otra posibilidad es usar la biomasa para obtener **biogás**. Esto se hace en depósitos en los que se van acumulando restos orgánicos, residuos de cosechas y otros materiales que pueden descomponerse, en un depósito al que se llama **digestor**. En ese depósito estos restos fermentan por la acción de los microorganismos y la mezcla de gases producidos se pueden almacenar o transportar para ser usados como combustible. En la figura 2.12 se puede apreciar un esquema de cómo opera una planta de generación eléctrica usando biomasa



Figura. 2.13. Esquema de una planta de generación eléctrica usando biomasa.

El uso de biomasa como combustible presenta la ventaja de que los gases producidos en la combustión tienen mucho menor proporción de compuestos de azufre, causantes de la lluvia ácida, que los procedentes de la combustión del carbono. Al ser quemados añaden CO₂ al ambiente, pero este efecto se puede contrarrestar con la siembra de nuevos bosques o plantas que retiran este gas de la atmósfera.

En la actualidad se están haciendo numerosos experimentos con distintos tipos de plantas para aprovechar de la mejor forma posible esta prometedora fuente de energía.

En la tabla 2.7 se presenta un cuadro comparativo entre las ventajas y desventajas de emplear la biomasa para generar electricidad:

Tabla. 2. 7. Cuadro comparativo de generar electricidad empleando biomasa.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Favorece el reciclaje de residuos urbanos. ▪ Contribuye a una mejor limpieza de los bosques y como consecuencia previene incendios forestales. ▪ Aprovecha ciertos terrenos que no son válidos para otros cultivos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Necesidad de grandes superficies de cultivo. ▪ Tecnología en desarrollo.

CAPITULO 3

SELECCIÓN DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA DE RESPALDO

3.1 ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO ELÉCTRICO

3.1.1 Zona Quito-Ambato

3.1.1.1 Condiciones físicas del poliducto Quito-Ambato.

El poliducto Quito-Ambato tiene una longitud de 113 Km con una tubería de diámetro de 6 plg, él cual esta en capacidad de transportar 12.000 Bls; empezando en Quito en la estación de bombeo del Beaterio y se extiende hacia el sur pasando por las poblaciones de Machachi, Latacunga, Laso, Salcedo y finalizando en la estación de bombeo Ambato. La ruta del poliducto incluye algunos lugares cerca de la carretera, a través de haciendas, cruzando riachuelos, bajo tendidos eléctricos de alta tensión pero en todos los casos la infraestructura montada esta visible en la mayor parte de su desplazamiento

3.1.1.2 Condiciones Climatológicas de la zona Quito-Ambato.

La zona que el poliducto se halla atravesando la conforman las provincias de Pichincha, Cotopaxi y Tungurahua, provincias que pertenecen a la región Interandina y en las cuales se registran las siguientes condiciones climatológicas:

Temperatura ambiente.

En lo referente a la temperatura a lo largo de la zona en donde se ubica el poliducto Ambato-Quito, podemos definir que en la provincia de Pichincha, su clima primaveral oscila entre los 13 y los 24 grados centígrados, en la zona central del país, la provincia de Cotopaxi tiene un clima que oscila entre 12 y 17 grados centígrados. Con un clima templado, húmedo y frío, la provincia de Tungurahua posee una temperatura media de 15°C. A continuación se puede ver en la tabla 3.1, las temperaturas promedio⁽¹⁾ de las ciudades capitales de las tres provincias que atraviesa el poliducto.

Tabla. 3. 1. Cuadro de las temperaturas de las ciudades por la que atraviesa el poliducto Quito-Ambato.

Provincia	Ciudad	Temperatura promedio °C
Pichincha	Quito	15
Cotopaxi	Latacunga	12
Tungurahua	Ambato	14,5

Precipitación de lluvias.

En la Región Interandina o Sierra el período lluvioso se inicia en el mes de octubre y finaliza en el mes de mayo, con dos valores de altas precipitaciones dentro de este periodo. El valor mayor o valor máximo se registra en los meses de marzo a abril, y el segundo valor mayor se presenta en los meses de octubre o noviembre; es decir es una distribución BIMODAL. Los valores registrados en las estaciones meteorológicas Olmedo-Pichincha (21.2 mm.) y Quito INAMHI (63.1 mm.) representan las precipitaciones promedio en ambas distribuciones.

En la figura 3.1, se puede apreciar el nivel máximo de lluvia promedio para los periodos lluviosos

(1) http://www.vivecuador.com/html2/esp/andes_es.htm, Provincias de los Andes del Ecuador

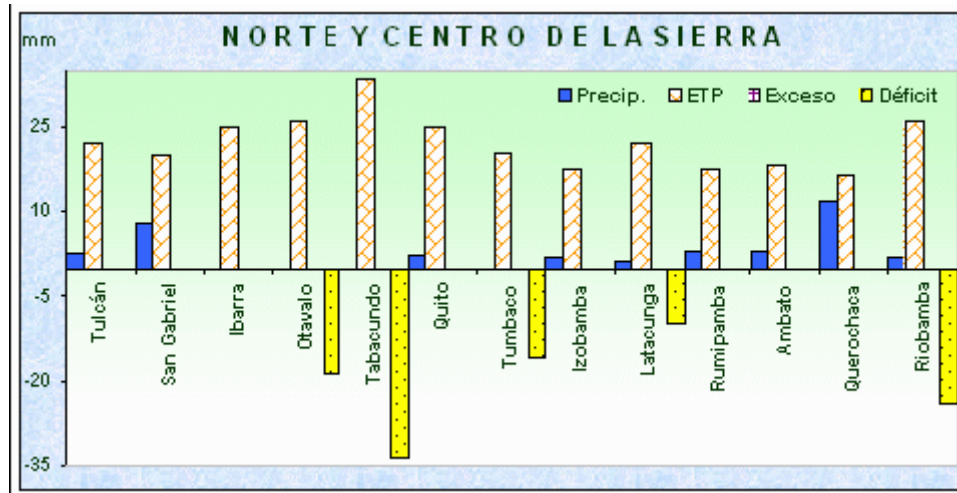


Figura. 3. 1. Gráfica del nivel de lluvias promedio en la el sector norte y centro de la sierra.

Velocidad del viento.

Por su ubicación en la zona ecuatorial, Ecuador no es un país donde prevalezcan vientos sostenidos y de alta velocidad. Daniel Satué, experto del Instituto Catalán de Energía (ICAEN), y Santiago Sánchez, experto en Energías Renovables, estiman que este recurso es más bien de carácter localizado, no obstante existen zonas de gran interés para su aprovechamiento como por ejemplo en la Región Interandina (2,4 – 8,0 m/s) y en el Litoral (brisas marinas > 3,5 m/s). La tabla 3.2 presenta un detalle de las localidades con potencial eólico⁽²⁾ en la región interandina:

Tabla. 3. 2. Potenciales eólicos en la región interandina.

Región	Provincia	Localidad	Velocidad Promedio (m/s)
Interandina Norte	Carchi	El Ángel	6,6
	Imbabura	Atuntaqui	4,5
		Salinas	7,0
Interandina Centro	Pichincha	Tabacundo	5,0
		Machachi	7,1
		Malchinguí	6,6
		Olmedo	5,3
	Cotopaxi	Páramo del Cotopaxi	5,9

Interandina Sur	Azuay	Huascachaca	7,9
	Loja	Saraguro	5,2
		Yangana	5,5
		Lucardi	5,6
		La Toma	4,8

En Ecuador no hay parques eólicos en operación; sin embargo, existen compañías privadas y gobiernos provinciales que están desarrollando e impulsando proyectos de mediana y pequeña escala. En la figura 3.2, se puede apreciar las condiciones de viento⁽³⁾ que existen en zonas que poseen potencial eólico.



Figura. 3. 2. Distribución geográfica del potencial eólico

(2), (3) <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=927722> , El MDL en Ecuador: retos y oportunidades

Radiación solar.

En Ecuador, existen pequeñas/micro instalaciones de aprovechamiento de energía solar, especialmente para aplicaciones térmicas y fotovoltaicas. En el primer caso, el objetivo es el calentamiento de agua y secado de productos agrícolas en áreas rurales, en el segundo caso, en aplicaciones de electrificación rural: centros de salud y escuelas, telecomunicaciones civiles y militares, compañías petroleras y destacamentos militares.

Por su ubicación geográfica, el país cuenta con un interesante potencial solar, la radiación promedio es del orden de $3,98 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$ (insolación 2.000 horas/año). En la zona referente a la que se halla el poliducto (región interandina) se registra una radiación solar media de $4,5 \text{ Kwh./m}^2 - \text{día}$. En la figura 3.3 se puede apreciar las zonas⁽⁴⁾ en las que existe un mayor potencial solar dentro del país.

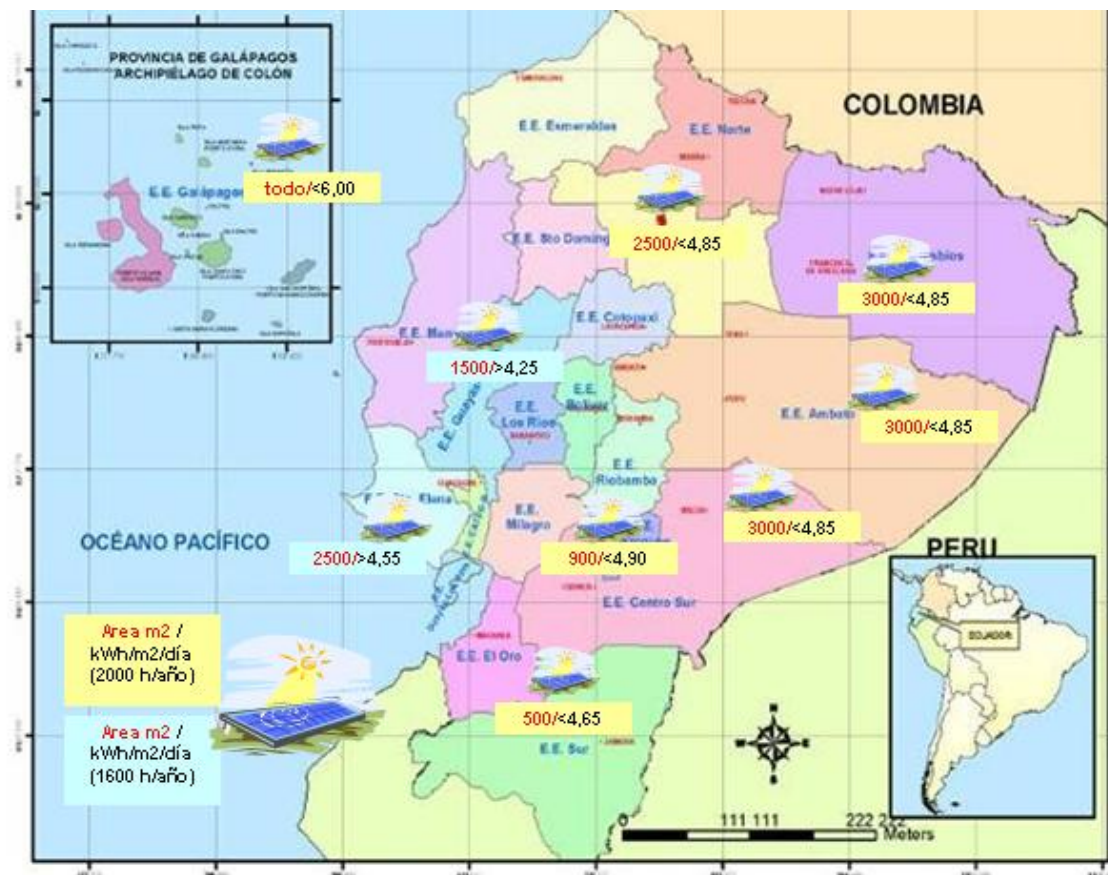


Figura. 3. 3. Distribución geográfica potencial solar

(4) <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=927722> , El MDL en Ecuador: retos y oportunidades

3.1.2 Características de suministro eléctrico de respaldo

El suministro eléctrico de respaldo debe estar en capacidad de brindar la energía suficiente para que se mantenga funcionando el sistema de detección de fugas, por un periodo de tiempo adecuado, ya que el sistema que se está pensando diseñar tan solo es un respaldo a la alimentación primaria. A continuación se definen las características más importantes que el sistema de respaldo de energía debe poseer:

Especificaciones eléctricas.

Para definir las características eléctricas que debe poseer el sistema de respaldo de energía se va a hacer referencia a las necesidades eléctricas en todas las etapas del proyecto de detección de fugas, para lo cual se tomará como punto de partida a los posibles dispositivos que se usarán en cada una de dichas etapas. Los dispositivos que se definen en la tabla 3.3, hacen referencia a los elementos que poseen un mayor consumo de energía dentro de cada etapa y los valores que estos muestran, tan solo servirán para tener una idea muy general de los parámetros que debería manejar el sistema de respaldo de energía, ya que en posteriores etapas a este capítulo se realiza un mayor análisis de los parámetros mostrados.

Tabla. 3. 3. Especificaciones de voltaje y corriente de los posibles subsistemas que conforman el proyecto de detección de fugas.

Etapa	Equipo	Especificaciones			
		Voltaje (Vdc)		Corriente (mA)	
		Nominal	Max	Nominal	Max
Sensamiento de vibraciones	Sensores de vibración	-24	-24.5	2	2
	Interfase	2.2	5.5	250	650
Transmisión de datos	Equipo de transmisión de datos	12	24	150	400
Respaldo de energía	Controlador	2.2	5.5	250	650

En virtud de las características de consumo mostradas en todas las etapas del sistema de detección de fugas, se puede definir de primera mano que la fuente de respaldo de energía deberá entregar voltaje positivo y negativo, por lo que si se realizaría un dimensionamiento en función de la suma de los valores máximos de consumo de voltaje de cada etapa, necesitamos una fuente que suministre en total 59 Vdc, y empleándose el mismo criterio anterior para el parámetro de corriente, se necesitaría un valor de 1702 mA. Estos valores son tan solo una referencia, mediante la cual se pretenden evaluar los sistemas de generación eléctrica y que en ningún momento representan los criterios de diseño finales, ya que los mismos se definen en un capítulo posterior.

Especificaciones de tamaño y seguridad.

En cuanto a las especificaciones de tamaño y seguridad se tiene que aclarar que el sistema de suministro eléctrico debe ser independiente, auto sostenido y emplear equipos de generación eléctrica pequeños. En el tema de seguridad, el sistema de respaldo de energía debe estar en capacidad de brindar una alimentación eléctrica constante y adecuada, en niveles de voltaje DC.

El sistema que provea la energía eléctrica de respaldo, debe presentar las seguridades eléctricas necesarias para proteger a los equipos que son alimentados con el sistema escogido, de igual manera dicho sistema debe estar en capacidad de proteger al poliducto, ya que todos los equipos serán colocados muy cercanos entre si y al poliducto.

3.1.3 Alternativas de suministro eléctrico

Teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas de la zona Quito-Ambato, de logística, las características que debe poseer el suministro de energía de respaldo y partiendo del fundamento teórico enunciado en el capítulo 2, sobre las forma de generación eléctrica, tentativamente se han escogido las siguientes:

- Electricidad por acción de la Luz
- Electricidad por acción del aire
- Electricidad por acción de combustibles fósiles.

- Electricidad por acción química.

De las opciones para generar electricidad definidas, dos corresponden a una manera no convencional y dos a una manera convencional. La selección de las no convencionales responde a que las condiciones presentes en la zona Quito-Ambato, ayudarían a desarrollar el sistema de respaldo de energía, basándose en el empleo de recursos renovables como son la electricidad por acción de la luz y la electricidad eólica. Cabe resaltar que cada una de estas opciones va a ser evaluada de acuerdo a las necesidades de energía que debe cumplir el sistema de respaldo de energía y teniendo en cuenta que la forma de generación eléctrica debe ser escogida con una visión a largo plazo, es decir que no solo sea apta para trabajar correctamente de acuerdo a las condiciones de la zona Quito-Ambato, sino que opere correctamente en cualquier situación ya que el presente proyecto de detección de fugas piloto pudiera ser implementado a nivel nacional.

3.2 ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO ELÉCTRICO

3.2.1 Condiciones para generar electricidad en base a las alternativas de suministro eléctrico

En el presente apartado se realiza una descripción de los requerimientos básicos que necesitan cada una de las opciones de generación eléctrica escogidas tentativamente, de tal forma que se tengan criterios para en lo posterior verificar si en la zona del poliducto se poseen los requisitos necesarios para utilizar o no una de las alternativas tentativamente seleccionadas para generar electricidad.

3.2.1.1 Condiciones para generar electricidad por acción de la luz.

Para generar electricidad a través de este método se necesitan dos elementos, obviamente luz solar y celdas fotovoltaicas. La celda solar representa el corazón de esta forma de generación eléctrica, por lo que técnicamente debe cumplir con los siguientes requerimientos⁽¹⁾ mínimos, mostrados en la tabla 3.4, para su correcto funcionamiento:

(1) Especificaciones de los paneles Fotovoltaicos Kyocera, modelos KC65T, KC85T Y KC130TM

Tabla. 3. 4. Relaciones entre tamaños y generación eléctrica producida por celdas solares.

Dimensiones		Características			
		Radiación mínima (KW/m ²)	Potencia (W)	Voltaje generado (V)	Corriente (A)
Largo (cm)	Ancho (cm)				
75.1	65.2	0.4	65	17.4	1.6
100.7	65.2	0.4	87	17.4	2.2
142.4	65.2	0.4	130	17.6	3.2

Para todos los casos mostrados en la tabla anterior, los datos han sido tomados con relación a una temperatura ambiente de 25 °C.

3.2.1.2 Condiciones para generar electricidad por acción del viento.

En general la energía eólica conjuntamente con otras fuentes de energía no convencionales, tendrá importancia en la contribución al suministro mundial de energía en el futuro, el cual deberá aprovechar todas las fuentes que sean razonablemente utilizables. Las principales dificultades que presenta el aprovechamiento de esta fuente son: las variaciones en la velocidad del viento y la incapacidad de asegurar un suministro regular o constante. Las mejores condiciones para la utilización de energía eólica son:

- Terrenos llanos, particularmente en regiones costeras donde existen cumbres planas o colinas solitarias sin laderas escarpadas.
- Valles planos y extensos, expuestos en la dirección del viento predominante.

La producción de energía eléctrica a partir del viento se fundamenta en el mismo principio que los molinos de viento. Consiste en una turbina eólica cuya energía es proporcional al cubo de la velocidad del viento, de allí que por pequeñas que sean las variaciones éstas se reflejan de manera significativa en la producción.

Los aerogeneradores tratan de aprovechar un mínimo de viento para empezar a mover sus palas (hélices), en los aerogeneradores de baja potencia esto se consigue con una velocidad del viento⁽²⁾ de alrededor de 3m/s y para mantener el movimiento se necesita una velocidad del viento que oscile entre 5 a 12 m/s, velocidad después de la cual se

(2) <http://www.bornay.com/es/descargas.html#aerogeneradores>, Descargas, Catalogo Aerogeneradores Inclín

necesita que los aerogeneradores dispongan de un sistema de protección (sistema de frenos o sistemas para desorientar las hélices), de tal forma que las altas velocidades no causen daños a las hélices y al generador en si. Con un promedio de vientos de 7 m/s⁽³⁾ se puede estimar que en un km² se obtiene una producción de 23 GWh/año. En 1 km² se pueden ubicar unas 16 turbinas medianas de 450-500 Kw. de capacidad. Por lo general las instalaciones eólicas en Europa se encuentran en sitios con promedios de vientos que apenas superan los 7m/s. En la Patagonia son muy comunes los sitios con promedios de vientos que rondan los 9 m/s.

3.2.1.3 Condiciones para generar electricidad empleando combustibles fósiles.

En el capítulo 2 se hablo de generar electricidad empleando combustibles fósiles, pero a gran escala en plantas generadoras que queman grandes cantidades de combustible para a través del uso de motores a combustión generar electricidad, si se quiere adaptar esta realidad a una escala en correspondencia al proyecto se tiene que hacer referencia a equipos pequeños que usan el mismo principio y están en capacidad de generar voltajes fijos de 110Vac, 220Vac o inclusive salidas de hasta 24 Vdc, equipos cuyo tiempo de funcionamiento esta limitado por la capacidad de combustible que pueden almacenar y por el combustible en si. Hay que tener en cuenta que se definieron parámetros a los que debería estar dimensionado el sistema de respaldo, por lo que la condición fundamental es encontrar un equipo que cumpla con los requerimientos que se necesitan o acoplar los valores generados a los requeridos.

Se debe considerar que estos equipos por su tamaño necesitan de instalaciones especiales que garanticen su seguridad y que se hallen lo suficientemente alejadas del poliducto para que este no se convierta en un peligro para la estructura.

3.2.1.4 Condiciones para generar electricidad por acción química.

La condición necesaria para obtener electricidad por acción química obviamente es el empleo de acumuladores o un conjunto de estos, que esté en capacidad de entregar los 59 Vdc con una capacidad de corriente de 1.2 A o mayor. Aunque esta condición es esencial,

(3) <http://www.ingenieroambiental.com/?ver=informes>

la misma debe estar en capacidad de durar durante largos periodos de tiempo por lo que es necesario realizar un escogitamiento adecuado de las baterías a usarse de tal forma que su tasa de descarga sea mínima y si es posible este en capacidad de ser recargables.

3.2.2 Análisis de las alternativas de suministro eléctrico

Con el fin de analizar las formas de generación eléctrica escogidas tentativamente, en función de sus requerimientos para operar, se procederá a resumir las características de cada forma de generación eléctrica para posteriormente evaluar cada una de las mismas, de tal forma que se pueda seleccionar una o un conjunto de las formas de generación, de manera adecuada. A continuación se muestra un conjunto de tablas que resume las características más importantes de cada una de las formas de generación seleccionadas tentativamente.

Tabla. 3. 5. Características de los recursos empleados.

Electricidad generada	Características de los recursos empleados para producir electricidad				
	Recurso aprovechado	Forma de generación	Nivel mínimo requerido	Nivel en la zona Quito Ambato	Costo del recurso
Acción de la Luz	Radiación solar	No convencional	0.4 kWh/m ²	4.5 kWh/m ²	Bajo
Acción del viento	Viento	No convencional	3 m/s	4.5 – 6 m/s	Bajo
Acción de combustibles fósiles	Combustibles fósiles	Convencional	-----	-----	Medio
Acción química	Energía química	Convencional	-----	-----	Medio

Como se puede apreciar en la tabla 3.5, se describen las formas de generación eléctrica convencionales y no convencionales en función de los recursos energéticos que emplean.

Tabla. 3. 6. Características de los equipos de generación eléctrica.

Electricidad generada	Características de los equipos empleados para generar electricidad				
	Equipo empleado	Equipos adicionales	Niveles de voltaje generados	Tamaño posibles equipos a emplearse (parte más grande)	Costo de los posibles equipos
Acción de la Luz	Paneles fotovoltaicos	Inversor, regulador y banco de baterías	12- 24 Vdc	Panel solar de 751 mm x 52 mm x 54 mm	US\$ 1.161.38
Acción del viento	Aerogeneradores	Inversor, regulador y banco de baterías	12- 24 Vdc	2 Hélices de 1.4m de diámetro	US\$ 7.535
Acción de combustibles fósiles	Plantas de generación	Inversor y regulador	12 Vdc	Unidad de 580 mm x 510 mm x 510 mm	US\$ 1.604
Acción química	Baterías	No equipos adicionales	12 Vdc	Todos los tamaños y formas	US\$ 11,50

En la tabla 3.6, se definen las formas de generación eléctrica en función de los equipos que generalmente son empleados para producir energía

La tabla 3.7, define las formas de generación eléctrica en función de parámetros adicionales como son mantenimiento, infraestructura y el riesgo que representa para el poliducto el empleo de cada forma de generación seleccionada tentativamente.

Tabla. 3. 7. Otras características para generar electricidad en la zona Quito-Ambato

Electricidad generada	Otras características necesarias para generar electricidad			
	Infraestructura adicional	Mantenimiento de infraestructura	Mantenimiento de equipos	Riesgo para el poliducto Quito-Ambato
Acción de la Luz	Soporte para paneles	Muy poco	Ocasionalmente	Medio
Acción del viento	Torre de soporte para aerogenerador	Nunca	Ocasionalmente	Medio
Acción de combustibles fósiles	Caseta para almacenamiento	Muy poco	Ocasionalmente	Alto
Acción química	No se necesita de infraestructura	Nunca	Ocasionalmente	Bajo

En base a las características definidas se procede a valorar cada una de las alternativas de generación eléctrica de acuerdo a la cuantificación mostrada en la tabla 3.8.

Tabla. 3. 8. Tabla para valoración de las fuentes de suministro eléctrico de respaldo.

Criterio	Puntos
Excelente / Innecesaria	6
Buena / Poco necesaria	4
Regular / Necesaria	2
Mala / Muy necesaria	0

A continuación se muestra la tabla 3.9, en la que se procede a evaluar las formas de generación escogidas tentativamente, tomando en cuenta las características de los equipos y tecnologías que se usan para generar electricidad:

Tabla. 3. 9. Tabla para cuantificar y valorar las fuentes de suministro eléctrico de respaldo.

GENERACIÓN ELÉCTRICA	CRITERIOS								VALORACIÓN
	Recursos		Equipos				Mantenimiento e Infraestructura		
	Disponibilidad	Costo de los recursos empelados	Disponibilidad en el mercado	Niveles de generación	Dimensiones de los equipos	Costo de los equipos	Infraestructura adicional	Mantenimiento de equipos e infraestructura	
Empleando luz solar	Buena	Excelente	Buena	Bueno	Regular	Bueno	Necesario	Necesario	28 Pts
Empleando el viento	Excelente	Excelente	Regular	Bueno	Bueno	Regular	Muy necesario	Poco necesario	28 Pts
Empleando combustibles fósiles	Regular	Buena	Mala	Regular	Bueno	Regular	Muy necesario	Necesario	16 Pts
Empleando baterías	Regular	Regular	Buena	Excelente	Excelente	Excelente	Poco necesario	Poco Necesario	34 Pts

En función de la valoración anterior, se puede apreciar que el empleo de baterías como una forma de generar electricidad, es muy buena en relación a las demás formas de generar electricidad sin embargo como las formas de generar electricidad empleando el viento o la luz solar no se queda atrás, una combinación de las mismas tendría un resultado excelente. Una alternativa poco atractiva resulta el hecho de emplear combustibles fósiles, ya que como queda mostrado en comparación a las otras alternativas esta requeriría de más recursos e infraestructura y no existen equipos disponibles en el mercado, que satisfagan nuestros requerimientos de manera directa para una correcta operación.

3.3 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE RESPALDO

En la sección anterior se realizó una valoración cuantificada sobre algunos criterios que se consideraron muy importantes y que están relacionadas directamente con las tecnologías y equipos necesarios para generar electricidad. En base a el cuadro de evaluación realizado, podemos definir que la opción más atractiva para generar electricidad resultaría en la combinación de la electricidad generada por los paneles fotovoltaicos o el aerogenerador, con las baterías y aprovechar la energía obtenida como una fuente de suministro de respaldo que sería casi inagotable, sin embargo teniendo en cuenta que el proyecto de Detección de Fugas en el Poliducto Quito- Ambato, es un plan piloto que debe ser terminado en el menor tiempo posible y que su éxito lo llevaría a ser implementado en el resto de poliductos, lleva a pensar que se debe prever que en otros lugares donde se hallan los demás poliductos esta opción no pudiere ser la más adecuada.

Adicionalmente a lo anterior, PETROECUADOR dentro del presupuesto destinado al proyecto de detección de fugas no tiene contemplado la compra de paneles fotovoltaicos en forma inmediata, sin embargo posee equipos de este tipo con los que se realizarán pruebas y se buscará una integración completa con los mismos, lo que permitirá ampliar el campo de acción del sistema prototipo que se ha de diseñar. En virtud de lo expuesto y tratando de dar una solución, se ha definido que la forma de generar electricidad por energía química, siendo en la práctica el uso de baterías, es la opción más viable al momento, partiendo de esto para el sistema prototipo de respaldo de energía y entendiéndose que por prototipo se refiere a cualquier tipo de máquina en pruebas, o objeto diseñado para una demostración de cualquier tipo, el desarrollo del sistema de automático

que controle y supervise los niveles de alimentación primaria y secundaria, es el que logre optimizar los rendimientos de las baterías que serán empleadas como respaldo de energía y garantiza una alimentación eléctrica de respaldo adecuada de los equipos que conforman el proyecto de detección de fugas. Adicionalmente a lo antes mencionado se buscará darle flexibilidad al equipo a ser diseñado, esto es que se lo concebirá de tal forma que si en un futuro se decide utilizar paneles fotovoltaicos exista la capacidad de conectarlos sin mayor adaptación o equipo externo al sistema de respaldo de energía. Por lo expuesto, se trabajará sobre dos puntos específicamente esto es la optimización de los recursos energéticos empleados y que maneja el sistema de respaldo, así como la capacidad de brindar flexibilidad al equipo para conectarse a un sistema de alimentación externo al mismo.

CAPITULO 4

INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE

4.1 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA DE RESPALDO DE ENERGÍA

Habiéndose seleccionado la fuente de energía de respaldo y antes de empezar con un diseño concreto, es necesario conocer las diferentes topologías existentes para sistemas de respaldo de energía, así como los requerimientos específicos que necesita el sistema de respaldo, de tal forma que se pueda diseñar y a su vez evaluar su funcionamiento y comportamiento a futuro.

Sistemas UPS

“En los últimos años, la seguridad y continuidad de servicio en el suministro de energía han dejado de ser exigencias exclusivas de los sistemas informáticos, haciéndose requerimientos imprescindibles para muchas aplicaciones no-informáticas. Los Sistemas de Alimentación Ininterrumpida (también conocida por SAI o UPS) han adquirido una gran relevancia, pues los mercados mineros e industriales necesitan protegerse contra fallas de suministro, fluctuaciones en la red, sobre tensiones y otras perturbaciones, incluso aquellas debidas al entorno ”.⁽¹⁾

Los variados tipos de UPS y sus atributos, a menudo causan confusión en la industria. Por ejemplo, suele creerse que sólo hay dos tipos de sistemas de UPS, llamados UPS stand By y UPS online. Estos dos términos comúnmente utilizados no describen correctamente muchos de los sistemas disponibles de UPS. Muchos malos entendidos acerca de los sistemas UPS son aclarados cuando las diferentes topologías de UPS son

(1) <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mv?xid=295&rank=1> Antonio Avila M., Product Manager de MGE UPS Systems, de Schneider Electric Chile S.A.

identificadas apropiadamente. La topología UPS indica la naturaleza básica del diseño del UPS. Varios fabricantes producen modelos rutinariamente con diseños o topologías similares, pero con características de desempeño muy diferentes. Aquí se realiza un acercamiento a los diseños más utilizados, incluyendo resúmenes de explicaciones sobre cómo trabaja cada topología. Los acercamientos de diseño más usuales son los siguientes:

- Stand by
- Línea Interactiva
- Stand by-Ferro
- Doble Conversión On-Line
- Delta Conversión On-Line

4.1.1.1 UPS Stand by

El UPS Stand by es el tipo más utilizado para computadoras personales. En el diagrama de bloques ilustrado en la Figura 4.1, el interruptor (switch) de transferencia está regulado para elegir entre la entrada AC filtrada, la cual es la fuente de energía primaria (dibujo en línea sólida) y alternar con la batería/conversor (inversor), siempre que la fuente de energía primaria falle. Cuando eso ocurre, el interruptor de transferencia debe operar para cambiar la carga de los equipos a la fuente de energía de respaldo de la batería/conversor. El conversor solo se enciende cuando la energía falla, por eso el nombre “Stand by”. Los principales beneficios de este diseño son: alta eficiencia, pequeño tamaño y bajo costo. Con un filtro apropiado y un circuito eléctrico de sobre tensión de corriente, estos sistemas también pueden proveer una filtración de ruido adecuada y supresión de sobre tensión.

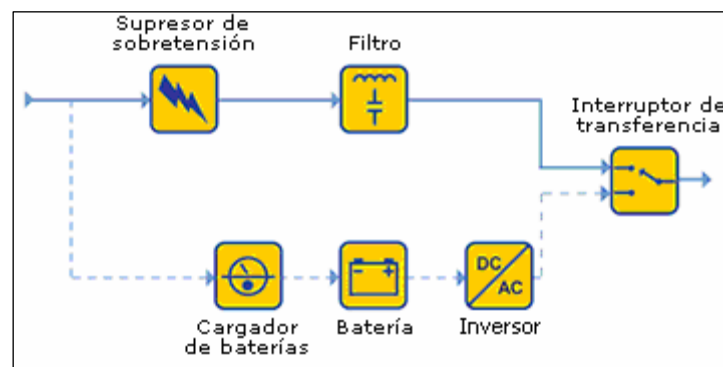


Figura. 4. 1. UPS Stand By.

4.1.1.2 UPS de Línea Interactiva

El UPS de Línea Interactiva, ilustrado en la figura 4.2, es el diseño más comúnmente utilizado para pequeños negocios Web y servidores departamentales. En este diseño, el conversor (inversor) de la batería a energía AC siempre está conectado a la salida del UPS. Si se mantiene el conversor operando al revés de tanto en tanto, cuando la entrada de energía AC es normal provee carga de batería. Cuando la entrada de energía falla, el interruptor de transferencia se abre y la energía fluye desde la batería a la salida de la UPS. Con el conversor siempre prendido y conectado a la salida, este diseño provee un filtrado adicional y produce alternaciones provisorias reducidas cuando se lo compara con la topología UPS Stand by.

Además, el diseño de Línea Interactiva usualmente incorpora un transformador “tap-changing”. Esto agrega regulación de voltaje, ajustando la toma de corriente de salida a medida que el voltaje de entrada varía. La regulación del voltaje es una característica importante cuando existen condiciones de bajo voltaje.

Este uso de la batería más frecuente puede causar fallas prematuras en la batería. De todos modos, el conversor también puede ser diseñado de manera tal que su falla, permita el flujo de energía de una entrada AC a la salida, lo cual elimina el potencial de falla de un único punto.

Alta eficiencia, pequeño tamaño, bajo costo y alta confiabilidad junto con la habilidad de corregir condiciones de voltaje de líneas bajas o altas, hacen de este el tipo dominante de UPS en rangos de energía de 0,5-KVA.

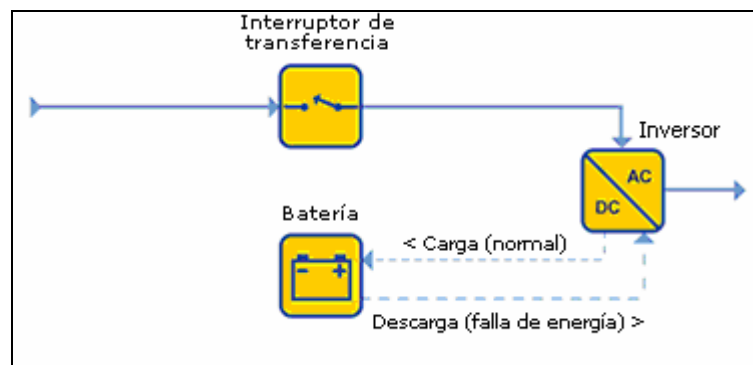


Figura. 4. 2. UPS de Línea Interactiva.

4.1.1.3 UPS Stand by-Ferro

En determinado momento, este tipo de UPS fue el dominante para el rango de 3-15KVA. Este diseño depende de un transformador de saturación especial que tiene tres bobinados (conexiones de energía).

El paso de energía primaria va desde la entrada AC hasta la salida, pasando a través del interruptor de transferencia y del transformador. En el caso de una falla de energía, el interruptor de transferencia se abre y el conversor toma la carga de salida. En el diseño Stand by-Ferro, el conversor está en modo stand by y es energizado cuando la entrada de energía falla y el interruptor de transferencia es abierto. El transformador tiene una capacidad especial “Ferro-resonant”, la cual provee regulación de voltaje limitado y una salida en forma de ola.

La energía AC aislada provista por el transformador Ferro es tan buena o mejor que cualquier otro filtro disponible. Pero el transformador Ferro en sí mismo crea serias distorsiones del voltaje de salida, lo cual puede ser peor que una conexión AC pobre. Aunque es un UPS Stand by por diseño, el Stand by-Ferro genera una gran distribución de calor, porque el transformador Ferro-resonant es inherentemente e ineficiente. Estos transformadores son también bastante grandes y pesados.

Los sistemas Stand by-Ferro UPS son frecuentemente representados como unidades On-Line, incluso cuando tienen un interruptor de transferencia, el conversor opera en el modo stand by y exhibe características de transferencia durante la falla de energía AC. La figura 4.3 ilustra esta topología Stand by-Ferro.

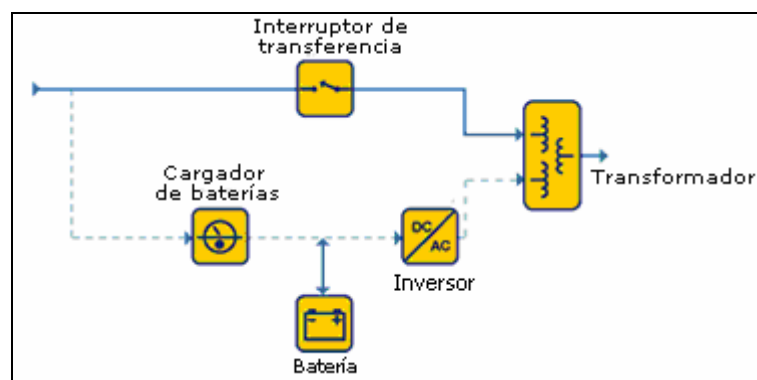


Figura. 4. 3. UPS Stand by-Ferro.

Las fortalezas de este diseño son: alta confiabilidad y excelente línea de filtrado. De todos modos, el diseño tiene muy baja eficiencia, combinada con inestabilidad cuando es usada con algunos generadores y modelos más modernos de factores de potencia corregidos de computadoras (power-factor corrected computers), disminuyendo significativamente la “popularidad” de este diseño.

La razón principal por la cual estos sistemas dejaron de ser los más utilizados es porque pueden ser fundamentalmente inestables cuando operan con una carga de provisión de energía de una computadora moderna.

Todos los servidores y routers grandes usan una fuente de energía “Power Factor Corrected” (Factor de Energía Corregido), la cual sólo provoca corriente sinusoidal desde el utilitario, muy parecido a una lámpara incandescente. Esta fina corriente provocada se consigue usando condensadores, mecanismos que “lideran” el voltaje aplicado. El sistema UPS Ferro resonante utiliza transformadores centrales pesados, los cuales tienen una característica inductiva, lo que significa que la corriente “retrasa” al voltaje. La combinación de estos ítems forma lo que es conocido como un circuito “tanque”. La resonancia en un circuito “tanque” puede causar altas corrientes, las cuales ponen en peligro la carga conectada.

4.1.1.4 UPS de Doble Conversión On-Line

Este es la UPS más usualmente utilizado sobre 10 KVA. El diagrama de bloques de este tipo, ilustrado en la Figura 4.4, es el mismo que el de stand by, excepto que el paso de la energía primaria es a través del convertor.

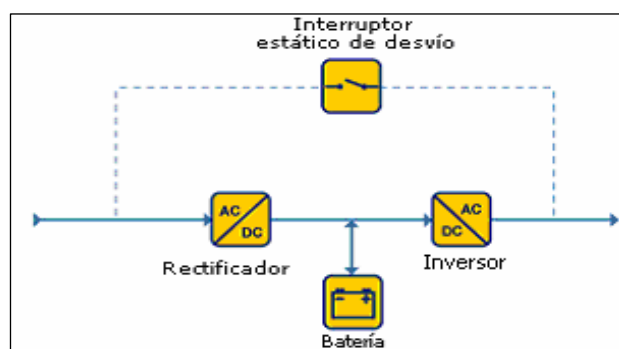


Figura. 4. 4. UPS de Doble Conversión On-Line.

En un diseño de Doble Conversión On-Line, la falla de entrada AC no activa el interruptor de transferencia debido a que la entrada AC está cargando la fuente de batería, la cual provee energía al convertor de salida. Por lo tanto, durante una falla de la energía AC de entrada, la operación on-line no tiene tiempo de transferencia.

El cargador de batería y el convertor convierten la carga total del flujo de energía, reduciendo la eficiencia y aumentando la generación de calor asociada.

El constante funcionamiento de todos los componentes de energía reduce la confiabilidad sobre otros diseños y la energía consumida por la ineficiencia de la energía eléctrica es una parte significativa del costo del ciclo de vida del UPS.

4.1.1.5 UPS de Conversión On-Line Delta

El diseño de esta UPS, ilustrado en la Figura 4.5, es uno de los más modernos, con tecnología de 10 años de antigüedad. Fue introducido para eliminar los inconvenientes del diseño de doble Conversión On-Line y está disponible en tamaños de rangos desde 5 KVA a 1,6 MW.

Similar al diseño de doble Conversión On-Line, mientras la red está presente el rectificador en conjunto con el transformador delta se encargan de mantener constante el nivel de tensión que alimenta a la carga, mediante la compensación (suma y resta) de tensión. Bajo condiciones de fallas o disturbios AC, este diseño exhibe un comportamiento idéntico al de doble Conversión On-Line.

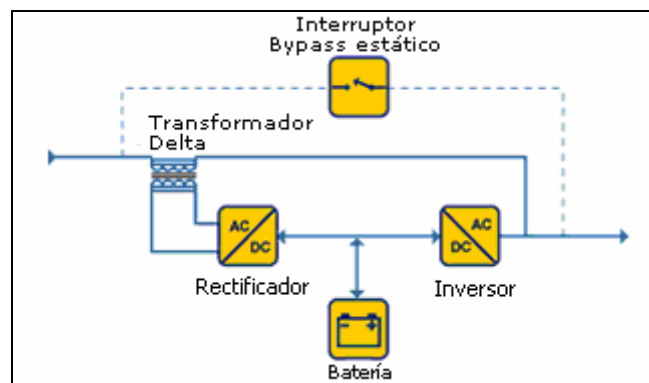


Figura. 4. 5. UPS de Conversión On-Line Delta.

Es interesante su aplicación en proyectos de gran porte del orden de los MVA, donde las pérdidas de energía propias del equipamiento son económicamente considerables y las penalidades por la reinyección de armónicos de corriente en esas potencias son importantes. La gama de aplicaciones es amplia.

Como desventaja son equipos que al igual que los ferro-resonantes cuenta con una relación directa con la red, es por esta razón que frente a variaciones de frecuencia dentro del 6% el equipo acompaña la frecuencia de salida con la misma variación y superado este rango desacopla la red de entrada y continua operando por baterías hasta que estas se agoten ó la frecuencia se restablezca dentro de los límites.

Requerimientos eléctricos

Se debe recordar que el presente estudio forma parte de un proyecto macro de detección de fugas que consta de tres sistemas y que en este punto necesita de las características eléctricas (voltaje y corriente) de los equipos que se usarán en los otros dos sistemas. Se debe recalcar que los equipos que posiblemente serán implementados en los otros sistemas complementarios al presente, han sido considerados sin ser aún definidos por lo que para diseñar en este proyecto el sistema, se trabajará teniendo en cuenta todos los equipos que han sido considerados, a partir de lo cual se establecen parámetros base que brinden la posibilidad de que el diseño funcione adecuadamente, sin importar los equipos que finalmente se consideren emplear en los otros dos sistemas. En la tabla 4.1 se puede apreciar los equipos que se han considerado emplear en los otros dos sistemas del proyecto macro de detección de fugas y que representan una mayor carga para el sistema de respaldo de energía.

Tabla. 4. 1. Características eléctricas de los sistemas que conforman el proyecto de detección de fugas.

Sistema	Equipo	Descripción	Especificación Nominal				Especificación de Diseño	
			Voltaje (Vdc)		Corriente (mA)		Voltaje (Vdc)	Corriente (mA)
			Min	Max	Min	Max		
Sensamiento de vibraciones	Sensores de vibración CTC	LP402-0P2-1 A	18	28	4	20	18	20
	Microcontrolador	16F877	2.2	7.5	25	200	5	200
	Amplificador	LM386	4	18	4	60	5	60
Transmisión de datos	Módulo RABBITCORE	RCM 3400	2.8	3.45	57	97	12	97
	Equipo RTU/GPRS	Willsa-Control 4	12	24	-----			
	NetBiter®	-----	9	32	50mA (24V)			
Respaldo de energía ⁽²⁾	Microcontrolador	16F877	2.2	7.5	25	200	5	200
	Rele x 3	NT73-2C	5	6.5	160		5	160

Como se puede apreciar en la tabla 4.1, se describen los equipos pertenecientes a cada una de los sistemas que conforman el proyecto macro de detección de fugas, en base a los cuales se han establecido valores base de consumo de energía y los cuales deberán ser suministrados adecuadamente por la fuente de energía de respaldo. En el caso de los microcontroladores se ha escogido un valor de operación de 5V que corresponde al valor de operación normalmente aceptado para el mismo. Para el sensor de vibraciones se ha escogido un valor mínimo de operación, esto es 18V. Como se puede apreciar para la etapa de transmisión de datos existen tres equipos que se ha pensado emplear, en función de los cuales se ha tomado como valor base 12V, valor que puede ser en dos de los tres equipos. Para todos los casos se ha tomado el valor de corriente máxima que los equipos en cada etapa necesitan y que la fuente de respaldo deberá estar en capacidad de suministrar si todos los equipos se hallarán funcionando a la vez.

Se debe acotar que los valores definidos para el diseño se consideran como los máximos con los que se alimentarán los equipos, en caso de trabajar con el respaldo de energía.

(2) Existen tres relés con el que se intercambian las fuentes de alimentación, cada uno consume 160Ma.

4.2 INGENIERÍA BÁSICA DEL SISTEMA PROTOTIPO DE RESPALDO DE ENERGÍA

En la sección anterior se describieron los parámetros y requisitos que debe manejar el sistema de respaldo de energía en función de lo cual ahora se tiene una mayor visión de a donde se quiere llegar.

El sistema prototipo de respaldo de energía, es un sistema ante nada de protección ante fallas o sabotajes de las fuentes de alimentación primarias de las unidades que detectan vibraciones y de la unidad de transmisión de datos, de tal forma que los mismos operen de manera continua, adecuada y cumplan con su fin.

Ahora que se conoce el fin de la unidad de respaldo de energía y los requerimientos que debe cumplir, es necesario definir premisas sobre las que se diseñará el sistema, siendo estas:

- El sistema prototipo de respaldo de energía, se basará en a un sistema UPS Stand by con sus respectivas diferencias, el mismo que tratará de tener el menor número de subsistemas, de tal forma que el sistema no sea complejo y su funcionamiento en conjunto sea óptimo y adecuado.
- El sistema prototipo de respaldo de energía, estará dimensionado en función de los valores de energía definidos para el diseño, sin embargo presentará la capacidad de poder ser recalibrado manteniendo el diseño original, brindando la oportunidad de trabajar con un amplio rango de equipos e inclusive otros diferentes a los definidos en las dos etapas complementarias al presente proyecto.
- El sistema prototipo de respaldo de energía, tendrá un consumo de energía interna muy bajo de tal forma que la mayor cantidad de energía se distribuya a los demás equipos que conforman el sistema completo de detección de fugas, con sus respectivas niveles y protecciones.
- El sistema prototipo de respaldo de energía, brindará la posibilidad de conectar equipos externos que mejoren el desempeño del mismo, en concreto de paneles fotovoltaicos.
- El sistema prototipo de respaldo de energía, brindará las facilidades para realizar el mantenimiento e intercambio de piezas necesarios.

En base a las premisas bajo las que se diseña el sistema prototipo de respaldo de energía, a continuación se muestra en la figura 4.6. un esquema con la estructura de los subsistemas que conforman la unidad de respaldo de energía

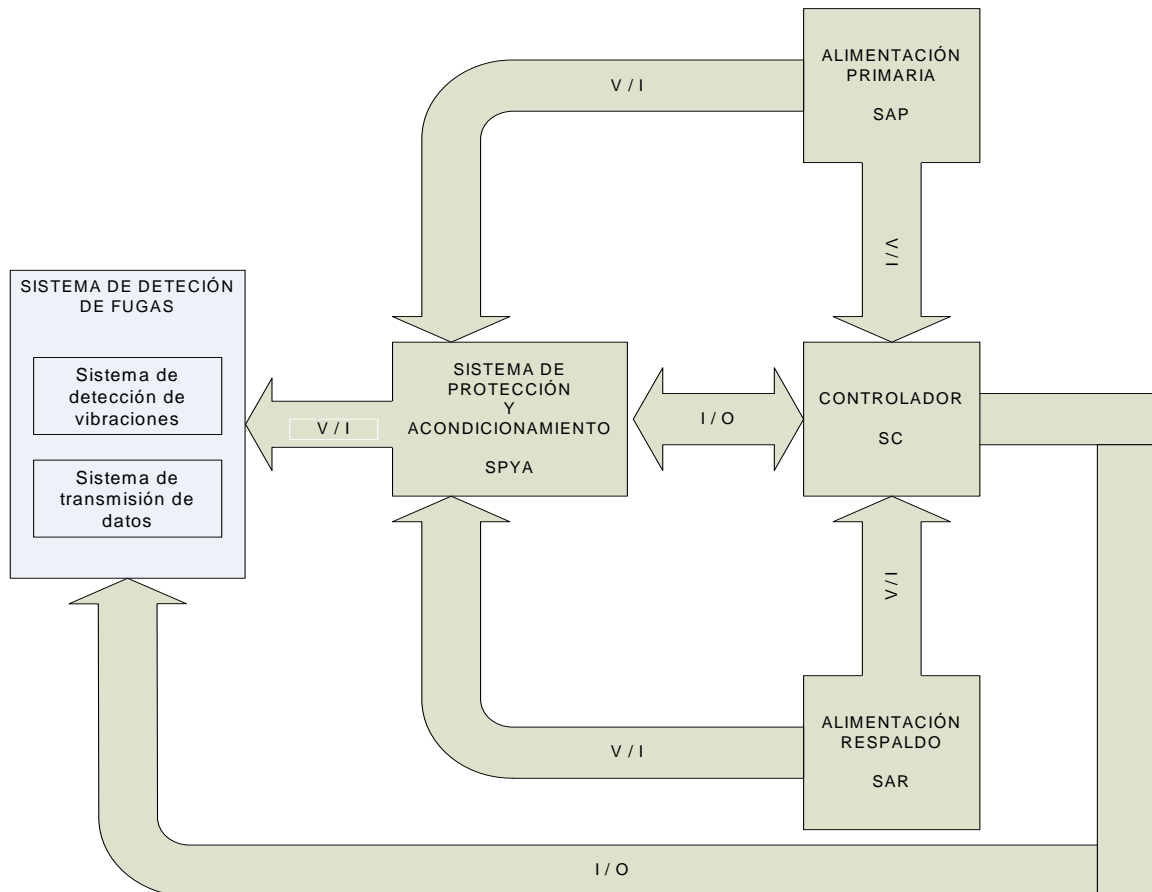


Figura. 4. 6. Subsistemas que conforman el sistema de respaldo de energía.

Como se puede apreciar en la figura 4.6 el sistema de respaldo de energía consta de 4 subsistemas, los mismos que a continuación se describen más detalladamente.

4.2.1 Subsistema de alimentación primaria.

El **subsistema de alimentación primaria (SAP)**, tan solo se encargará de acondicionar las señales que el subsistema controlador se encargara de censar. Este sistema no posee mayor ingerencia sobre la alimentación primaria; en virtud de lo anterior a continuación se muestra un diagrama de bloques en la figura 4.7, en el que se detallan las etapas y señales que componen a este subsistema.

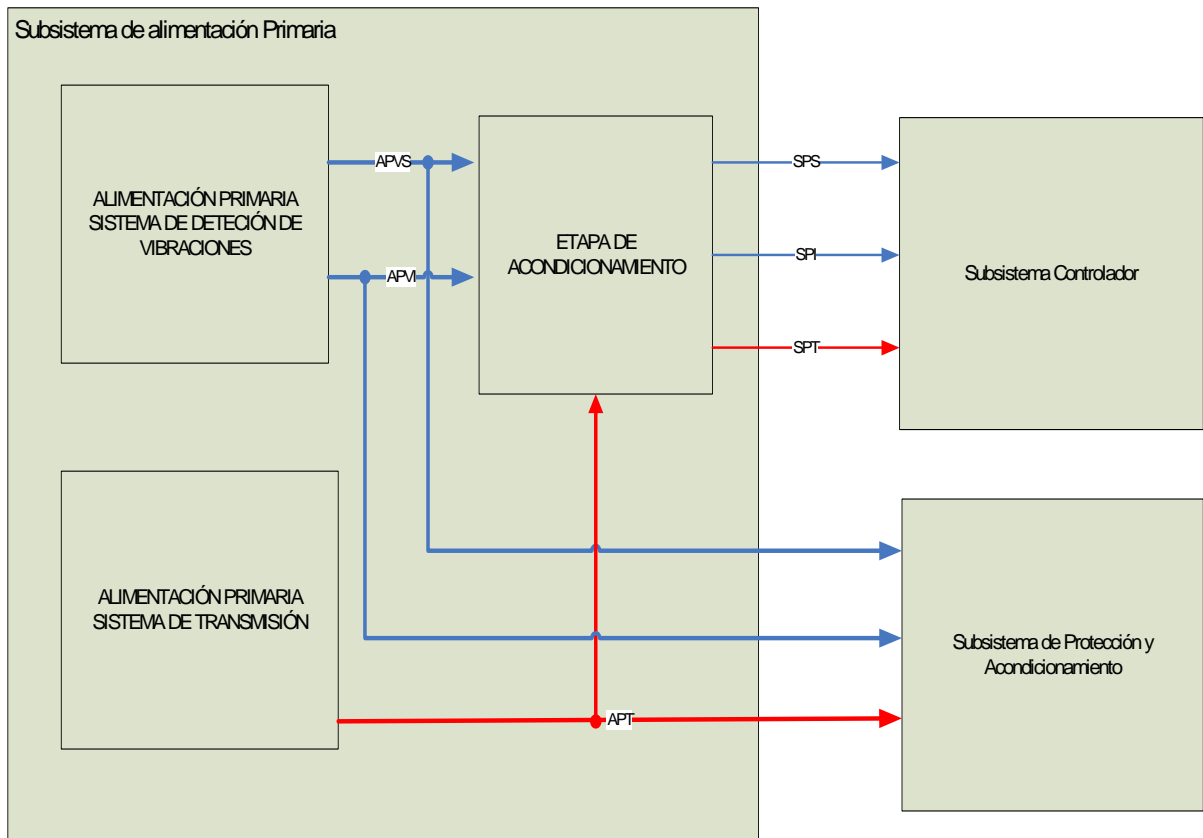


Figura. 4. 7. Señales del subsistema de alimentación primaria

Como se puede apreciar en la figura 4.7., dentro del SAP existe una etapa de acondicionamiento que es la que será diseñada y estará en función de las características eléctricas de la alimentación primaria con que se alimentan los equipos, las cuales son mostradas en la tabla 4.2 en la que se describen las condiciones de trabajo normales.

Tabla. 4. 2. Características eléctricas de la alimentación primaria de los equipos que conforman el proyecto de detección de fugas.

Sistema	Equipo	Condiciones de trabajo normal	
		Voltaje (Vdc)	Corriente (mA)
Sensamiento de vibraciones	Sensores de vibración CTC	24	20
	Interfase	5	260
Transmisión de datos	Equipo de transmisión	12	97
Respaldo de energía	Interfase	5	680

Debemos acotar que el controlador, perteneciente al sistema de respaldo de energía no posee una fuente de alimentación primaria, ya que su alimentación la tomará directamente del subsistema de alimentación de respaldo. En la tabla 4.3 se definen las características de las señales mostradas en el grafico 4.7:

Tabla. 4. 3. Características de las señales del subsistema de alimentación primaria.

Señal	Tipo	Voltaje (V)	Descripción:
APVS	Analógico	24 – 18	Voltaje entregado por la alimentación primaria del sistema de detección de vibraciones para el sensor
APVI	Analógico	5 – 3	Voltaje entregado por la alimentación primaria del sistema de detección de vibraciones para la interfase
APT	Analógico	12 – 9	Voltaje entregado por la alimentación primaria del sistema de transmisión
SPS	Analógico	4 – 0	Voltaje acondicionado de la energía del sensor del sistema de vibraciones
SPI	Analógico	4 – 0	Voltaje acondicionado de la energía de la interfase del sistema de vibraciones
SPT	Analógico	4 – 0	Voltaje acondicionado de la energía del sistema de transmisión

4.2.2 Subsistema de alimentación de respaldo.

El **Subsistema de alimentación de respaldo (SAR)**, es el que entrega la energía de respaldo a los sistemas de detección de vibraciones y transmisión de datos, es el subsistema encargado de alimentar directamente a todo el sistema de respaldo de energía y el que esta en capacidad de recargar y almacenar energía en caso de que estos estén muy bajos. En la figura 4.8 se puede observar el diagrama de bloques que compone a este subsistema.

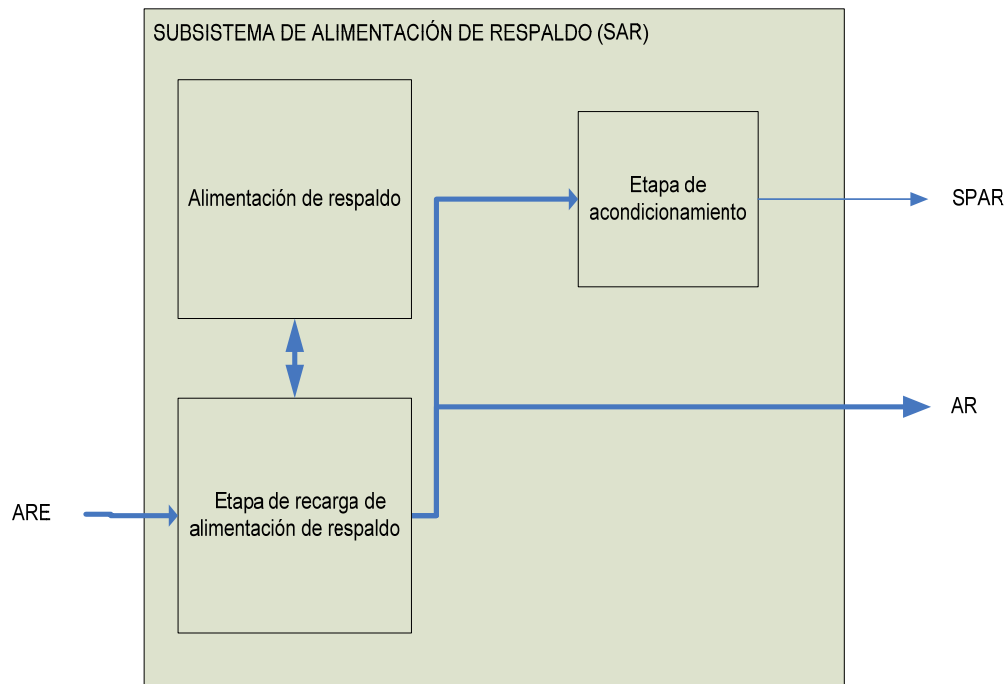


Figura. 4. 8. Señales del subsistema de alimentación de respaldo.

De acuerdo a la figura mostrada arriba, este subsistema lo componen la alimentación de respaldo, una etapa de recarga de la alimentación de respaldo y una etapa de acondicionamiento. La etapa encargada de recargar la alimentación de respaldo, realiza tres procesos simultáneos, el primero es recibir la energía proveniente de un sistema externo de energía alternativa (paneles fotovoltaicos), la segunda es la de recargar la alimentación de respaldo (baterías) y finalmente la tercera es la de entregar la energía (AR) necesaria en caso de fallas. La señal SPAR es una señal analógica que proviene de la etapa de acondicionamiento y es una señal que indica el correcto funcionamiento de la alimentación de respaldo.

4.2.3 Subsistema de protección y acondicionamiento.

El **subsistema de protección y acondicionamiento (SPYA)** está encargado de acondicionar los niveles de energía que servirán como respaldo a la alimentación primaria y soportar la conmutación entre la fuente de alimentación primaria y de respaldo; en el diagrama de bloques de la figura 4.9 se especifica todas las señales que ingresan y salen, de esta etapa.

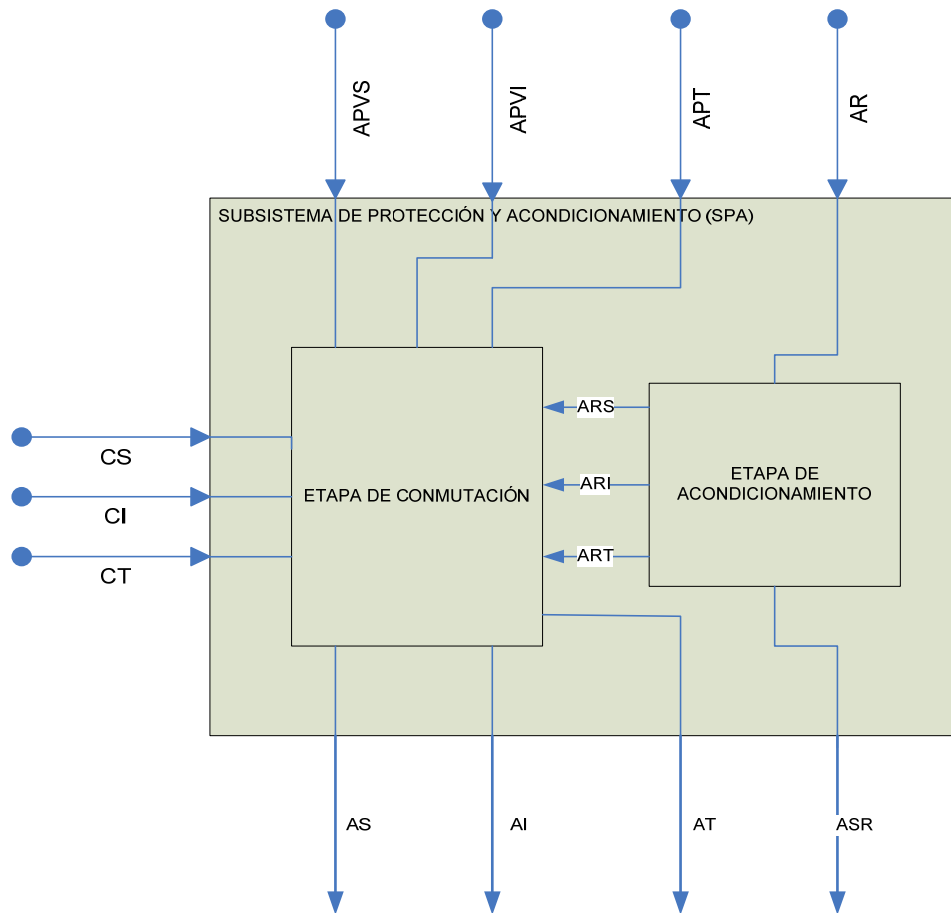


Figura. 4. 9. Señales del subsistema de protección y acondicionamiento.

Como se puede apreciar en la figura 4.9. existen 7 señales de entrada y 4 señales de salida que pasan por el subsistema, además de otras 3 señales que son internas. A continuación en la tabla 4.4 se detallan todas las señales con las que opera el SPYA:

Tabla. 4. 4. Características de las señales del subsistema de protección y acondicionamiento.

Señal	Tipo	Tipo	Descripción:
APVS	Analógico	Entrada externa	Voltaje entregado por la alimentación primaria para energizar el sensor del sistema de detección de vibraciones
APVI	Analógico	Entrada externa	Voltaje entregado por la alimentación primaria para energizar la interfase del sistema de detección de vibraciones
APT	Analógico	Entrada externa	Voltaje entregado por la alimentación primaria para energizar el sistema de transmisión
AR	Analógico	Entrada Externa	Voltaje entregado por la alimentación de respaldo

CS	Digital	Entrada externa	Señal que indica que debe entrar en funcionamiento la alimentación de respaldo para el sensor de vibraciones
CI	Digital	Entrada externa	Señal que indica que debe entrar en funcionamiento la alimentación de respaldo para la interfase del sistema de detección de vibraciones
CT	Digital	Entrada externa	Señal que indica que debe entrar en funcionamiento la alimentación de respaldo para el sistema de transmisión.
AS	Análogo	Salida externa	Voltaje de alimentación para el sensor de vibraciones.
AI	Análogo	Salida externa	Voltaje de alimentación para la interfase del sistema de detección de vibraciones.
AT	Análogo	Salida externa	Voltaje de alimentación del sistema de transmisión
ASR	Análogo	Salida externa	Voltaje de alimentación del sistema de respaldo.
ARS	Análogo	Señal interna	Voltaje de respaldo para energizar el sensor de vibraciones.
ARI	Análogo	Señal interna	Voltaje de respaldo para energizar el sistema de transmisión.
ART	Análogo	Señal interna	Voltaje de respaldo para energizar el sistema de transmisión.

4.2.4 Subsistema controlador.

El **subsistema controlador (SC)** es el que prácticamente controla todo el comportamiento del sistema prototipo de respaldo de energía, para tal efecto se ha optado por emplear un microcontrolador cuya programación determinará su funcionamiento. En la figura 4.10 se puede apreciar el diagrama de bloques de todas las señales que pasan a través de este subsistema.

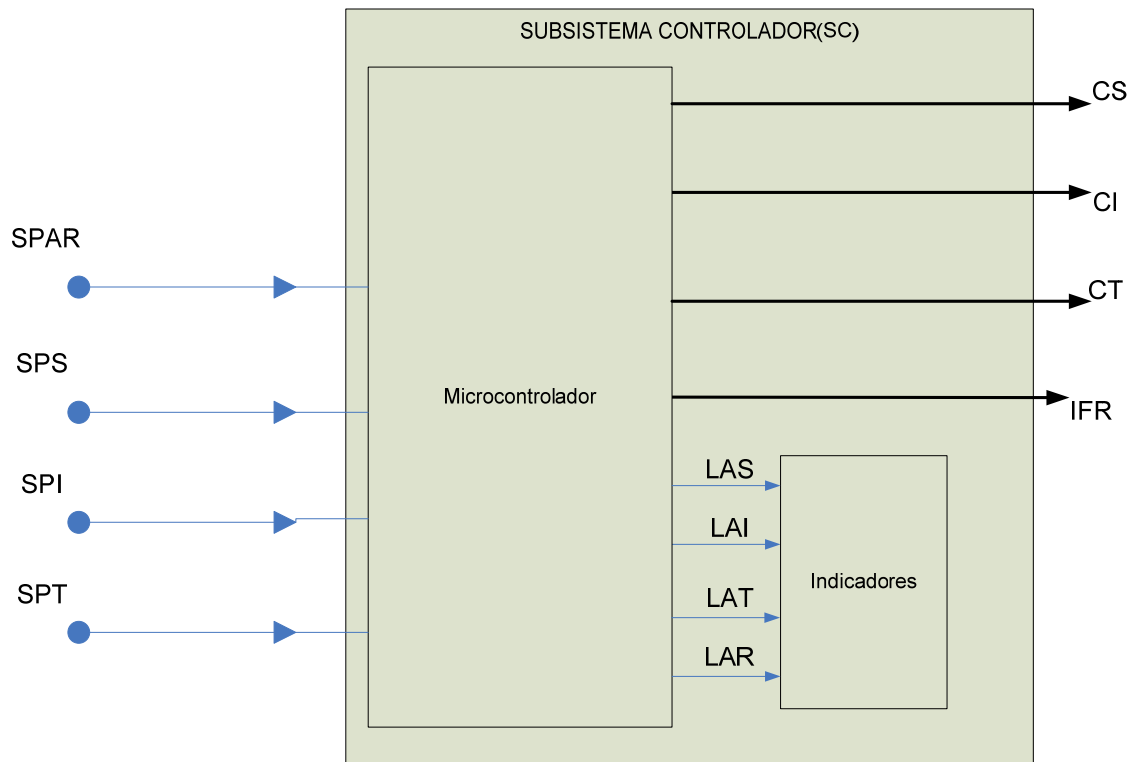


Figura. 4.10. Señales del subsistema controlador.

De acuerdo a la figura anterior en la tabla 4.5 se especifican las características de las señales que componen este subsistema

Tabla. 4. 5. Características de las señales del subsistema controlador.

Señal	Tipo	I / O	Descripción:
SPAR	Analógico	Entrada	Nivel de Voltaje de la alimentación de respaldo.
SPS	Analógico	Entrada	Nivel de Voltaje de la alimentación del sensor.
SPI	Analógico	Entrada	Nivel de Voltaje de la alimentación de la interfase.
SPT	Analógico	Entrada	Nivel de Voltaje de la alimentación del sistema de transmisión.
CS	Digital	Salida	Señal que indica que debe entrar en funcionamiento la alimentación de respaldo para el sensor de vibraciones
CI	Digital	Salida	Señal que indica que debe entrar en funcionamiento la alimentación de respaldo para la interfase del sistema de detección de vibraciones

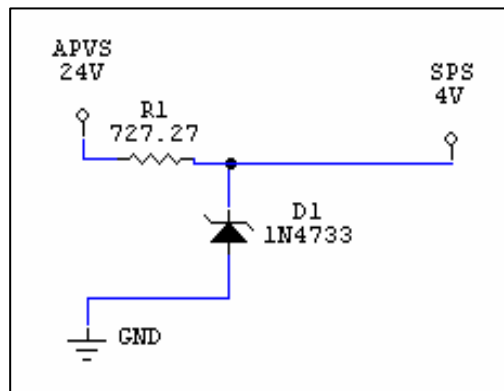
CT	Digital	Salida	Señal que indica que debe entrar en funcionamiento la alimentación de respaldo para el sistema de transmisión.
IFR	Digital	Salida	Señal que indica que existe falla de operación en el sistema de respaldo de energía.
LAS	Digital	Salida	Señal que indica el estado de la alimentación del sensor.
LAI	Digital	Salida	Señal que indica el estado de la alimentación de la interfase.
LAT	Digital	Salida	Señal que indica el estado de la alimentación del sistema de transmisión.
LAR	Digital	Salida	Señal que indica el estado de la alimentación de respaldo.

4.3 INGENIERÍA DE DETALLE DEL SISTEMA PROTOTIPO DE RESPALDO DE ENERGÍA.

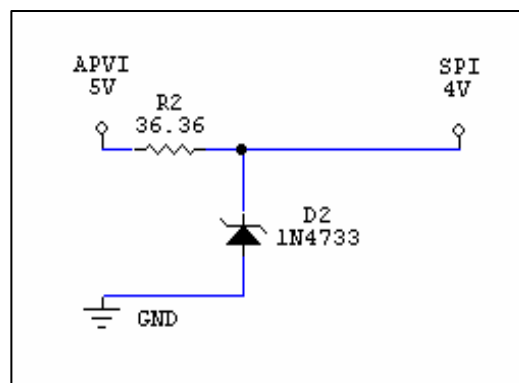
En la sección anterior se definieron algunos parámetros y la operación de cada uno de los subsistemas que conforman el sistema de respaldo de energía, esto en conjunto con las consideraciones y demás datos obtenidos hasta el momento ayudarán en esta sección a dimensionar y diseñar cada uno de los subsistemas mostrados, de manera adecuada.

4.3.1 Subsistema de alimentación primaria

Como se explica en la sección 4.2.1 el SAP se encarga de acondicionar tres señales de voltaje analógicas, que provienen de la alimentación primaria a los equipos del sistema de vibraciones y al equipo de transmisión de datos, en valores analógicos entre 0- 4 V que son medidos a su vez por el subsistema de control. En la figura 4.11 se muestra el circuito empleado para acondicionar los niveles de voltaje en la etapa de sensamiento de vibraciones y la figura 4.12 muestra el circuito empleado para acondicionar los niveles de voltaje en la etapa de transmisión.



a)



b)

Figura. 4.11. Acondicionamiento de la etapa de sensamiento de vibraciones a) Sensor b) Interfase.

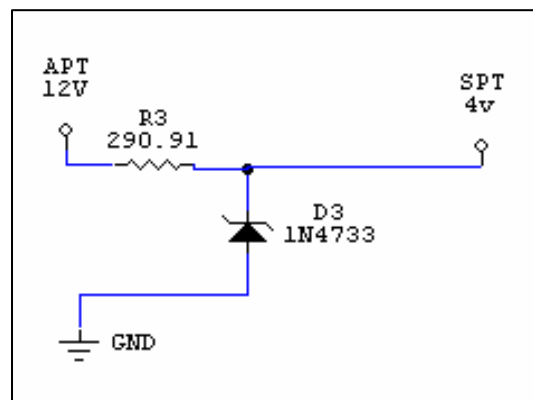


Figura. 4.12. Acondicionamiento de la etapa de transmisión.

Como se aprecia en la figuras anteriores las señales APVS y APT son valores de voltaje normal de trabajo de 24 y 12 Vdc respectivamente, por lo que el controlador del sistema de respaldo de energía correría el riesgo de fundirse, ese es motivo por el que se realiza un acondicionamiento de señal para lo cual se usa un regulador de voltaje usando

un diodo zener, con el que se que reducen las tensiones indicadas a 4 Vdc. Se debe señalar que se ha escogido los diodos zener 1N4733, que limitan el nivel de voltaje a un valor de 5.1 V máximo lo que equivale al voltaje de referencia que usa el microcontrolador en el subsistema controlador, para realizar la conversión ADC y de esa forma conocer el estado de la alimentación primaria. Como se puede apreciar en las figuras 4.11 y 4.12 el regulador de voltaje que se usa para acondicionar los niveles de voltaje, emplea una resistencia que limita la corriente que va hacia el zener y de esa forma el voltaje que cae en el mismo, pero puede darse el caso que por equivocación se conecte accidentalmente una fuente de alimentación primaria equivocada en un circuito de acondicionamiento, llevando al limite el nivel de voltaje que soportan los diodos zener escogidos, es por este motivo que se usa un factor de seguridad de 20% bajo el limite de voltaje máximo que soporta el zener, de ahí el hecho que los niveles de voltaje en todos los casos son regulados a 4 V ($5V - 0.2 * 5V = 4.08$), valor que es tomado en cuenta al momento de diseñar los circuitos de regulación de voltaje.

Partiendo del circuito mostrado en la figura 4.11-b y sabiendo que la corriente máxima que un pin del microcontrolador soporta es de 25mA; el voltaje al que queremos regular es 4V y considerando que la corriente que consume el diodo zener es un décimo de la corriente que necesita la carga, se puede establecer la siguiente ecuación:

$$V_{APVI} - R_2(I_{L_{\max}} + I_{D2}) - V_{D2} = 0$$

$$V_{APVI} - R_2(I_{L_{\max}} + \frac{1}{10} I_{L_{\max}}) - V_{D2} = 0$$

$$R_2 = \frac{V_{APVI} - V_{D2}}{1.1 * I_{L_{\max}}} \quad \text{Ec. 4.1}$$

Ecuación a partir de la cual, se puede definir el valor de R2, esto es:

$$R_2 = \frac{5V - 4V}{1.1 * 25mA}$$

Por lo tanto se establece $R_2 = 36.36\Omega$

Para los circuitos de la figuras 4.11-a y 4.12 se establece el mismo procedimiento anterior pudiéndose llegar a una ecuación similar a Ec. 4.1. En la tabla 4.6 se muestra los valores calculados para las resistencias mostradas en la figura 4.11 y 4.12

Tabla. 4. 6. Valores de elementos para circuitos del SAP.

Elemento	Valor	Potencia
R1	727.27 Ω	1 W
R2	36.36 Ω	1/2W
R3	290.91 Ω	1 W
DI, D2, D3	5.1 V	1 W

Como podemos apreciar los valores calculado no son de uso comercial, por lo que para todos los valores establecidos se realiza una calibración usando potenciómetros de precisión.

4.3.2 Subsistema de alimentación de respaldo

La etapa de alimentación de respaldo la componen tres partes, estas son: la alimentación de respaldo, la etapa de recarga de la alimentación de respaldo y la etapa de acondicionamiento. Como ya se mencionó a finales del capítulo 3, se ha optado por emplear una combinación entre paneles fotovoltaicos y baterías de tal forma que sirvan como una fuente de respaldo. En la figura 4.13 se muestra un esquema de los equipos que componen este subsistema.

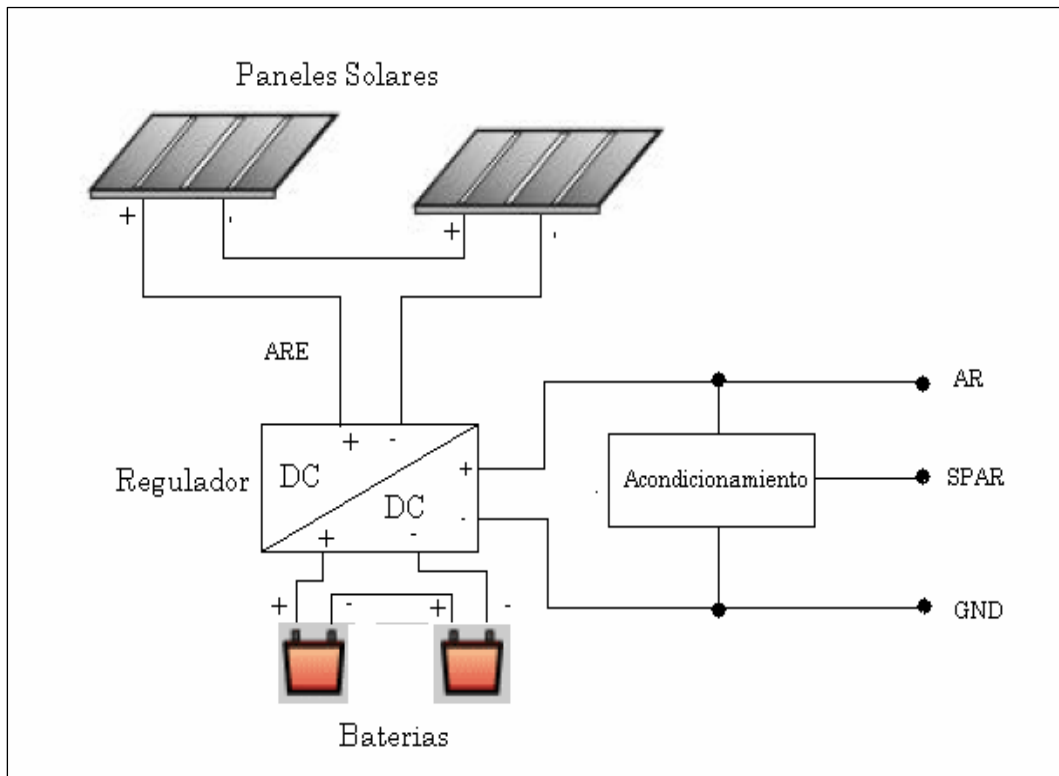


Figura. 4.13. Elementos conforman el SAR.

Los paneles fotovoltaicos y baterías conforman la alimentación de respaldo, mientras que el regulador que se muestra en la figura de arriba conforma la etapa de recarga. La etapa de acondicionamiento se diseña para obtener voltajes en el rango de 0 a 4 V que puedan ser censados por el controlador del sistema de respaldo.

Se debe mencionar que existe la posibilidad de usar equipos que dispone la Unidad de Investigación y desarrollo Tecnológico de PETROECUADOR para realizar pruebas del sistema de respaldo de energía. Los equipos que posee UIDT son paneles fotovoltaicos, regulador y baterías que cuyas características se muestran en la tabla 4.7:

Tabla. 4. 7. Características de paneles fotovoltaicos, regulador y baterías.

Panel solar ISOFOTON I- 110	
Característica	Valor
Potencia	110W \pm 1W
Voltaje de trabajo	17.4 V
Voltaje de circuito abierto	21.4 V
Corriente de trabajo	6.32 A
Corriente de corto-circuito	6.76 A

Regulador Isoler 20	
Voltaje de operación	12- 24V
Corriente máxima	20 A
Baterías Duncan	
Resistencia interna	106
Voltaje	12V
Capacidad	106 AH

A continuación se procede a realizar el dimensionamiento de los paneles fotovoltaicos, baterías y regulador que son requeridos para la operación correcta del subsistema de alimentación de respaldo (SAR) y que determinarán si existe la posibilidad o no de emplear los equipos que dispone UIDT para realizar pruebas. Para realizar el dimensionamiento de los equipos que componen SAR se parte de las necesidades energéticas de los equipos de mayor consumo que se van a manejar en todas las etapas. En la tabla 4.8 se muestra el consumo de energía de todo el sistema de detección de fugas, partiendo de las condiciones de diseño que se establecieron para cada etapa:

Tabla. 4. 8. Valores de consumo de energía de todo el sistema de detección de fugas.

ETAPA	Equipo	Condiciones de diseño		Potencia (W)	Horas empleado (h)	Energía (Wh)
		Voltaje (Vdc)	Corriente (mA)			
Sensamiento de vibraciones	Sensores de vibración CTC	18	20	0.36	24	8.64
	Interfase	5	260	1.3		31.2
Transmisión de datos	Equipo de transmisión	12	97	1.16		27.84
Respaldo de Energía	Interfase	5	680	3.4		81.6
Considerando un sobredimensionamiento del 20% de la carga				1.24		29.76
POTENCIA TEÓRICO TOTAL P_T (W)				7.46		
CONSUMO TEÓRICO TOTAL E_T (Wh)						179.04

A partir del consumo teórico final, se determina el consumo energético real el cual se define como:

$$E = \frac{E_T}{R} \quad \text{Ec. 4.2}$$

Donde R es el parámetro de rendimiento global de una instalación fotovoltaica, la que a su vez se define como:

$$R = (1 - K_b - K_c - K_v) * \left(1 - \frac{K_a * N}{P_d} \right) \quad \text{Ec. 4.3}$$

De donde:

K_b , es el coeficiente de pérdida del acumulador

0.05 en sistemas que no demanden descargas intensas

0.1 en sistemas que demanden descargas profundas

K_c , coeficiente de pérdida en el convertidor

0.05 para convertidores trabajando en régimen óptimo

0.1 para condiciones de trabajo, fuera del óptimo

K_v , coeficiente de pérdidas varias

0.05- 0.15 como valores de referencia

K_a , coeficiente de auto-descarga diario

0.002 para baterías de baja auto-descarga Ni-Cd

0.005 para baterías de Pb- ácido

N, número de días de autonomía de la instalación

4-10 días como valores de referencia

P_d , Profundidad de descarga diaria de la batería

La profundidad de descarga no debe exceder el 80%

Por tanto basándose en lo anterior y reemplazando en la ecuación Ec. 4.3, se tiene:

$$R = (1 - 0.05 - 0.1 - 0.1) * \left(1 - \frac{0.005 * 7}{0.7} \right)$$

$$R = 0.712$$

Reemplazando en Ec. 4.2 se obtiene:

$$E = \frac{179.04(Wh)}{0.712} = 251.46(Wh)$$

Una vez definida la necesidad energética real E, procedemos a definir la capacidad del banco de baterías C (Ah), esto es:

$$C = \frac{E * N}{V * P_d} \quad \text{Ec. 4.4}$$

Ecuación en la cual V es el voltaje del cual se dispondrá para alimentar a todos los equipos esto es 24V, por tanto remplazando en la ecuación Ec. 4.4, tenemos:

$$C = \frac{251.46 * 7}{24 * 0.7} = 104.77(Ah)$$

Con los cálculos realizados y tomando en cuenta la capacidad individual de las baterías (106 Ah) que posee UIDT, se puede asegurar que es posible usar dos de las tres baterías que dispone UIDT colocándolas en serie, con lo que se tiene una fuente de 24V y C= 106 Ah, cubriéndose con facilidad los requerimientos de energía.

Para recargar una fuente de baterías se necesita tener un voltaje apenas mayor al voltaje de la batería que se desea cargar, por lo que si se emplean dos paneles fotovoltaicos con un voltaje nominal de 12V o mayor cada uno, dispuestos en una configuración en serie tranquilamente se puede recargar las baterías. Para determinar la potencia que deberían poseer los paneles fotovoltaicos a utilizarse, se calcula el factor de utilización (F) mínimo para una correcta operación de todo el sistema; el factor de utilización (F) es la relación entre la energía fotovoltaica disponible y la energía consumida:

$$F = \frac{N_p * W_p * 0.9 * H_{LUZ}}{E_T} \quad \text{Ec. 4.5}$$

Donde:

N_p , es el número de paneles fotovoltaicos

W_p , es la potencia pico de cada panel

H_{LUZ} , es las horas de intensidad luminosa adecuadas promedio por día

Remplazando los valores para 2 paneles fotovoltaicos de 12 Vdc cada uno, con apenas 4.5 horas disponibles para recargarlos y con un factor de utilización de 1 se tiene:

$$1 = \frac{2 * W_p * 0.9 * 4.5}{251.46}$$

$$W_p = 31,04W$$

El valor obtenido define la potencia mínima requerida por los paneles fotovoltaicos para mantener operativo el sistema de respaldo de energía, que en este caso es de 31.04 W.

Para verificar si se pueden usar los paneles que dispone UIDT se calcula el factor de utilización, teniendo en cuenta que cada panel es de 110W, con lo que se tiene un valor de 3.54 y que representa que la energía que se genera en los paneles fotovoltaicos es 3.54 veces mayor a la que necesita la instalación. Este factor asegura que los paneles fotovoltaicos que dispone UIDT, pueden ser utilizados como parte del sistema de respaldo y factibles de pruebas, ya que los mismos funcionarán adecuadamente y garantizarán un suministro de energía adecuado,

A continuación se calcula la corriente que debería estar en capacidad de manejar regulador de corriente que conforma la etapa de recarga de la alimentación de respaldo, con lo que adicionalmente se podrá establecer si el regulador que dispone UIDT también puede ser utilizado, Partiendo del hecho que la energía está disponible en la zona Quito-Ambato es de aproximadamente 4.5 horas al día, por lo tanto el sistema va a funcionar por 19.5 horas con batería alimentando a una carga de 7.46W, es decir:

$$E_T = 19.5h * 7.46 W$$

$$E_T = 145.47 Wh$$

Aplicando la ecuación Ec. 4.2, se establece el consumo real en el lapso de tiempo señalado, manteniendo el mismo factor de eficiencia R definido antes, por tanto

$$E = \frac{145.47(Wh)}{0.712} = 204.31(Wh)$$

Como la alimentación que se entrega por las baterías en conjunto es de 24V, podemos definir la capacidad que consume la carga de la batería, esto es:

$$C = 204.31 \text{ Wh} / 24 \text{ V}$$

$$C = 8.51 \text{ Ah}$$

Considerando el tiempo durante el que los paneles entregan energía para recargar las baterías, tenemos que el regulador debe estar en capacidad de manejar el siguiente valor de corriente, para que en un lapso de 4.5 horas recargar las baterías:

$$I_{rb} = 8.51 \text{ Ah} / 4.5 \text{ h}$$

$$I_{rb} = 1.89 \text{ A}$$

Se debe considerar que en el peor de los casos mientras estamos cargando las baterías, el sistema de detección de fugas tiene que mantenerse funcionando, por lo que si se considera que la potencia de todo el sistema es de 7.46 W y se la alimenta con 24V, se tiene un valor de corriente de $I_c = 0.31 \text{ A}$, por tanto la corriente que debe manejar el regulador como mínimo es de:

$$I_r = I_{rb} + I_c$$

$$I_r = 1.89 \text{ A} + 0.31 \text{ A}$$

$$I_r = 2.2 \text{ A}$$

Como el regulador que dispone UIDT soporta hasta 20A, se lo puede usar sin ningún problema.

Para finalizar con el subsistema de respaldo de energía, a continuación se muestra el diseño de la etapa de acondicionamiento que dispone y la que establece los niveles de energía de la alimentación de respaldo, razón por la que los valores de entre 0 -24V son acondicionados a valores entre 0 -4V, los cuales pueden ser fácilmente sensados por el microcontrolador del subsistema controlador. A continuación en la figura 4.14 se muestra el circuito a implementarse para acondicionar los niveles de voltaje antes mencionados:

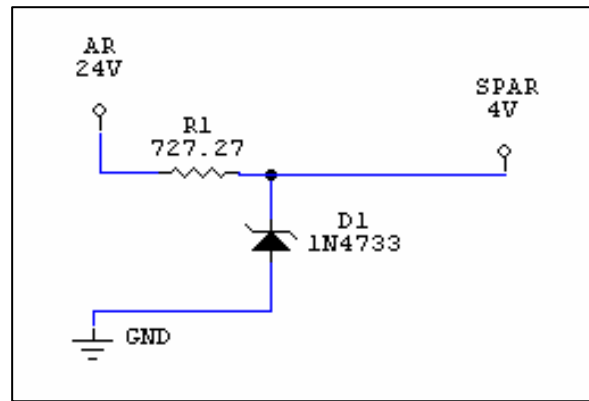


Figura. 4.14. Etapa de acondicionamiento del SAR.

Como se puede apreciar el circuito mostrado arriba es igual al de las figuras 4.11-a, por lo que haciendo uso de la ecuación Ec. 4.1 se puede definir el valor de R1 manteniendo los datos para el diodo zener y las consideraciones hechas en la etapa de acondicionamiento del subsistema de alimentación primaria. En la tabla 4.9 se puede ver los valores determinados para la resistencia R1, que para la implementación es calibrada con un potenciómetro de precisión.

Tabla. 4. 9. Valores de la etapa de acondicionamiento del SAR.

Elemento	Valor	Potencia
R1	727.27 Ω	1 W
DI 1N4732	5.1 V	1 W

4.3.3 Subsistema de protección y acondicionamiento

El subsistema de protección y acondicionamiento (SPYA), posee dos etapas definidas como de acondicionamiento y conmutación de fuentes. En la etapa de acondicionamiento se hace una regulación del voltaje provisto por la fuente de respaldo de energía (AR, de 24V) en los tres voltajes de respaldo para el sensor (ARS, de 18V), la interfase del sensor (ARI, de 5V) y el equipo de transmisión (ART, de 12V). El voltaje ARI es tomado del mismo voltaje regulado para alimentar el sistema de respaldo de energía (ASR, de 5V). En la figura 4.15 se muestra el circuito diseñado para la etapa del acondicionamiento de SPYA:

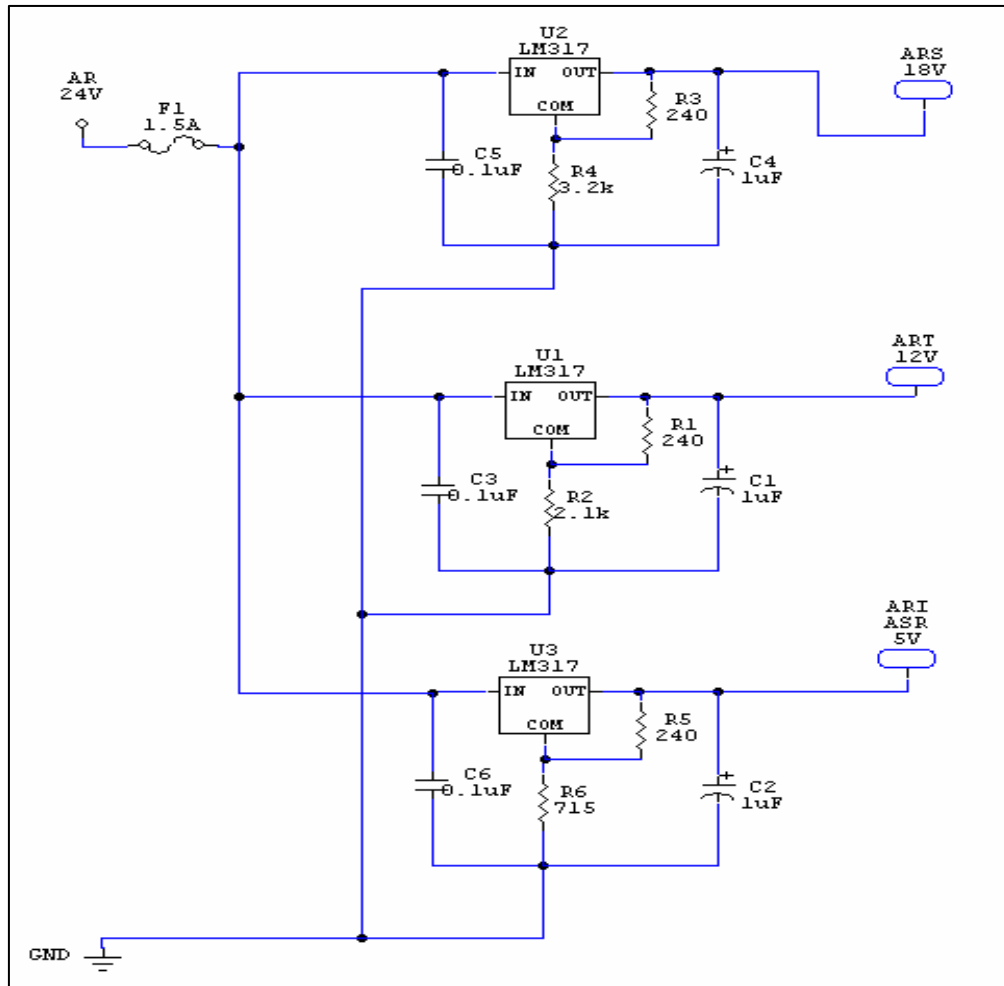


Figura. 4.15. Circuito eléctrico de la etapa de acondicionamiento de SPYA.

Como se aprecia en la figura 4.15 y teniendo en cuenta la tabla 4.1, en la que describe las corrientes mínimas de diseño para cada etapa, se opta por usar tres reguladores variables LM317 para obtener los valores de voltaje que se necesitan para la alimentación de respaldo del sensor (ARS), la alimentación de respaldo del equipo de transmisión (ART) y con el último regulador se entregará un voltaje de 5V al sistema de respaldo (ASR), así como brinda el respaldo de energía para la interfase del sistema de medición de vibraciones (ARI) en caso de ser necesario. El esquema montado para cada regulador, en la figura 4.17, es muy similar (tomado del datasheet del LM317), de tal forma que las resistencias $R1= R3= R5= 240\Omega$ mientras que para definir $R2, R4$ y $R6$ se usa la fórmula que se indica en datasheet del LM317, la cual define:

$$V_{out} = 1.25 \left(1 + \frac{R2}{R1} \right) + I_{adj} R2 \quad \text{Ec.4.6}$$

Conociendo que para el equipo de transmisión se decide alimentarlo con un voltaje de 12V como respaldo de energía, empleando la ecuación Ec. 4.6 se tiene:

$$12V = 1.25 \left(1 + \frac{R2}{240\Omega} \right) + (100\mu A) \cdot R2$$

$$R2 = 2025.12\Omega$$

I_{ADJ} es un valor especificado por el datasheet del LM317 y cuyo valor típico es de 100uA. Como no existe una resistencia del valor calculado para R2, con un potenciómetro se realiza la calibración a un valor muy cercano al que se necesita.

Para determinar las resistencias R4 y R6 se sigue el mismo procedimiento teniendo en cuenta los voltajes de salida que se requieren tanto para los sensores como para su interfase. En la tabla 4.10 se pueden apreciar un resumen de los valores determinados para cada resistencia

Tabla. 4.10. Valores de resistencia de la etapa de acondicionamiento del SPYA.

Vout	Resistencias	
ART	R1	R2
12 V	240Ω	2025.18 Ω
ARS	R3	R4
18V	240Ω	3155.42 Ω
ARI / ASR	R5	R6
5V	240Ω	706.44 Ω

La etapa de conmutación de fuentes esta compuesta por tres relés, cada relé posee una bobina que se excita con 5V y una corriente de 160mA, poseen un contacto normalmente abiertos (NA) y otro normalmente cerrado (NC) que se hallan conectado a un solo común. En la figura 4.16 se muestra el circuito diseñado para la etapa de conmutación de SPYA:

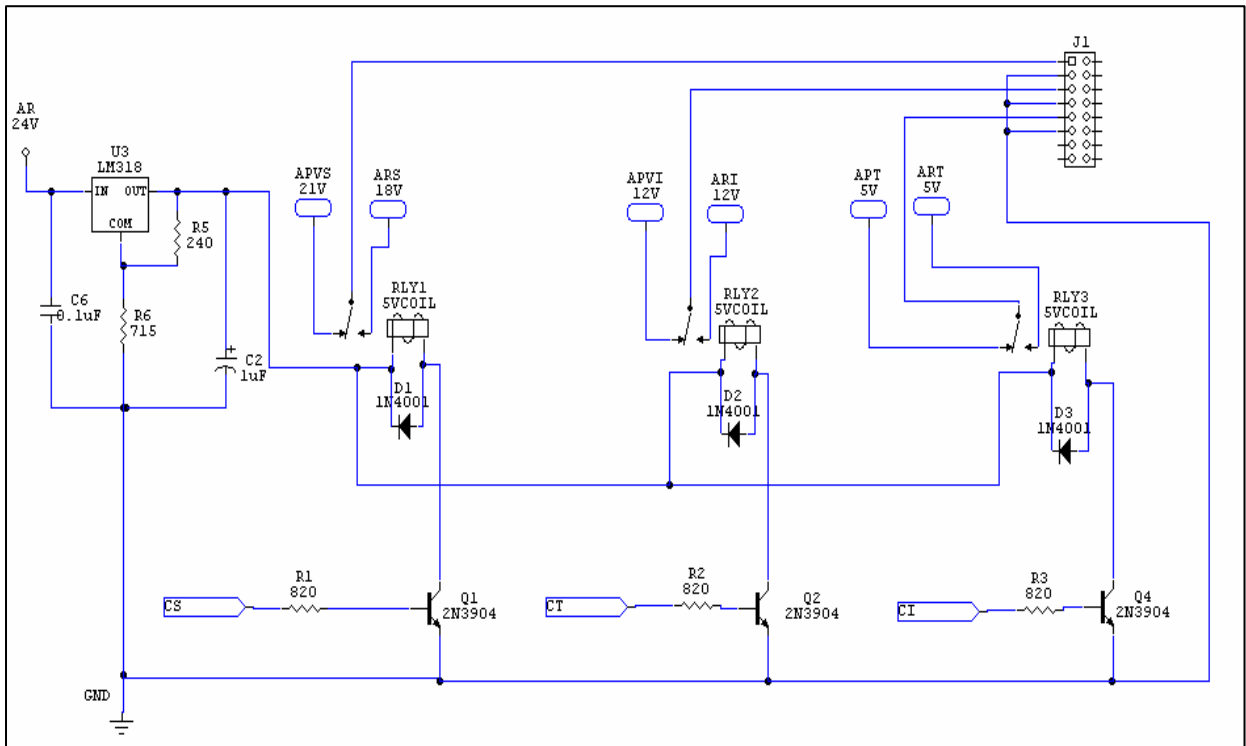


Figura. 4.16. Circuito eléctrico de la etapa de conmutación de SPYA.

Los diodos mostrados en la figura de arriba sirven para eliminar los picos de tensión que se producen cuando se conecta o desconecta la bobina de los relés. Las resistencias mostradas en la figura R1 a la R3 y sus respectivos transistores, son definidos en función de la corriente que se necesita para excitar las bobinas de los relés. En todos los casos la bobina maneja una corriente de 160mA, la cual es soportada por el transistor 2N3904 y el cual posee una ganancia $h_{FE} = 30$. Partiendo de que h_{FE} es la relación entre la corriente de colector y la corriente de base del transistor, se puede definir que la corriente de base necesaria para que el transistor conduzca es $I_b = 160\text{mA} / 30 = 5.33\text{mA}$. Como sabemos un pin del microcontrolador tiene una salida de cinco voltios y esta en capacidad de entregar hasta 25mA, más que suficiente para una lo que necesita la corriente de base, por tanto tenemos que la resistencia R1 estaría definida por la siguiente ecuación:

$$R1 = \frac{V_{pin} - V_{BE}}{I_B} \quad \text{Ec. 4.7}$$

De donde V_{BE} es la caída de tensión entre la base el emisor y el colector cuando el transistor empieza a conducir que para el caso del 2N3904 según el datasheet es de 0.65V, por tanto tenemos:

$$R1 = \frac{5V - 0.65V}{0.0053A}$$
$$R1 = 816.13\Omega$$

El mismo criterio se aplica para determinar las resistencias R2 y R3 en la figura 4.16, cuyo valor para ambas es igual a la de la resistencia R1, por lo que se busca en el mercado el valor comercial más próximo al calculado, siendo este de 820Ω.

Como se puede apreciar en la figura 4.16, en la etapa de conmutación de SPYA se adjunta un regulador de voltaje LM318 (mayor capacidad de manejo de corriente) el cual toma su energía directamente del subsistema de respaldo (AR), para luego energizar las tres bobinas de los relés que se necesitan 5V y 160 mA, cada una. El regulador toma los valores de resistencia mostrados en la tabla 4.10, para obtener un voltaje de salida de 5V. Esta etapa posee su propia fuente en virtud de que durante pruebas con el sistema diseñado se ha establecido que al usar un único regulador de 5V, para alimentar a la interfase del sistema de medición de vibraciones y a la interfase del sistema de respaldo de energía (microcontrolador, relés, resistencias, leds), se producen fallas al conmutar los relés debido al sobrecalentamiento que experimenta el mismo, por lo que no se puede asegurar un respaldo de energía adecuada para la interfase del sistema de medición de vibraciones.

4.3.4 Subsistema controlador

El subsistema controlador es el encargado de censar los niveles de energía de las fuentes de alimentación primaria, así como de la fuente de respaldo de energía y a su vez es la encargada de generar señales que son las que activan relés para el intercambio entre las alimentaciones, así como señales para luces indicadoras. Debido a esta gran cantidad de señales que se debe manejar y a la necesidad de tener varios canales para censar señales análogas se ha optado por usar el microcontrolador 16F877, ya que posee 8 canales de conversión A/D de 10 bits cada uno, varios pines extra para manejar señales y la ventaja de ser un microcontrolador con el que ya se ha trabajado con anterioridad. En la figura 4.17 se puede apreciar el circuito que conforma este subsistema.

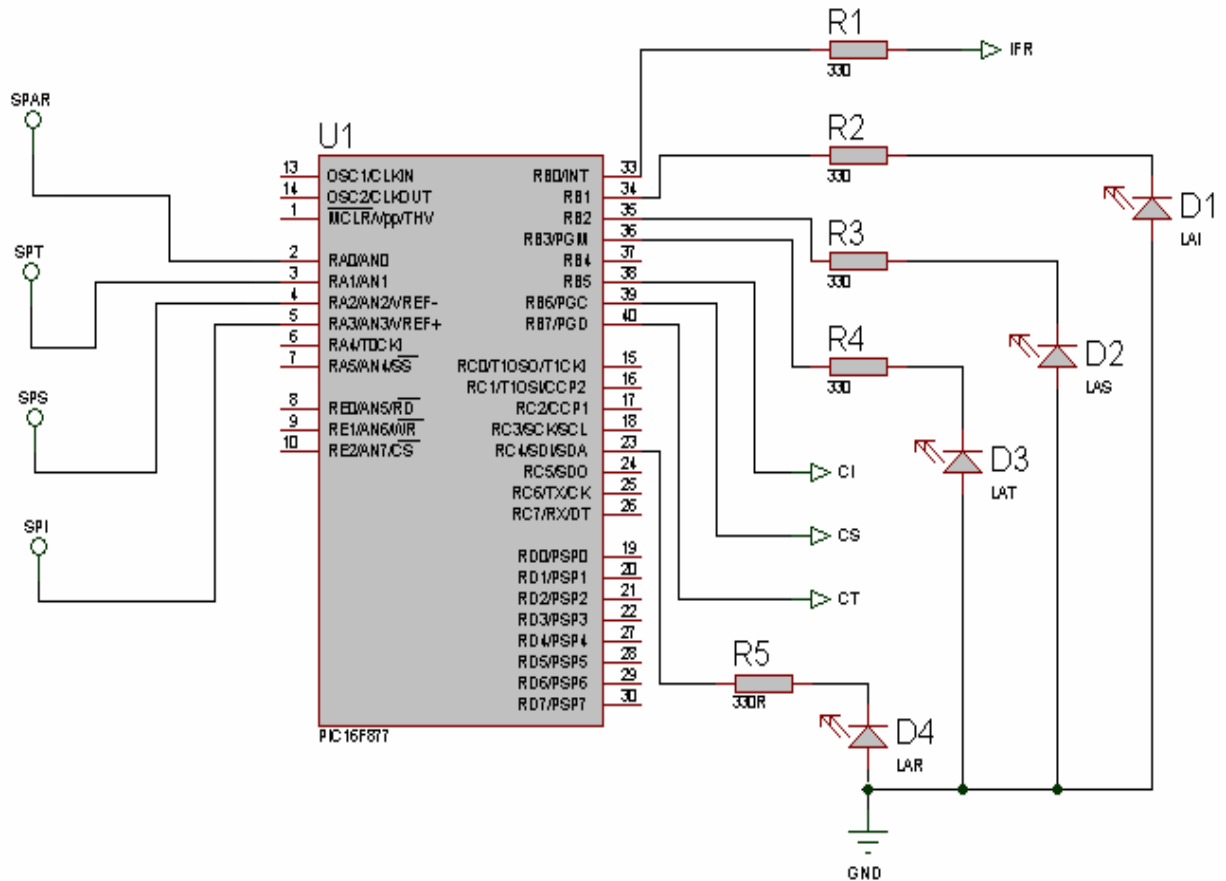


Figura. 4.17. Diagrama del circuito que conforma el SC.

La alimentación del microcontrolador es de 5V (ASR) y se usa todo el puerto B para emitir señales de control CS, CI y CT, señales indicadoras LAS, LAI y LAT, y una única señal que indica una falla en la alimentación de respaldo IFR; adicionalmente existe La señal LAR que es tomada desde el puerto C e indica una operación adecuada del sistema de respaldo. La lógica que se sigue para censar cada una de las alimentaciones primarias y de respaldo se muestran en el diagrama de bloques de la figura 4.18, en base a la cual se ha desarrollado la programación que lleva el microcontrolador para definir la secuencias en que se ira sensando las alimentaciones.

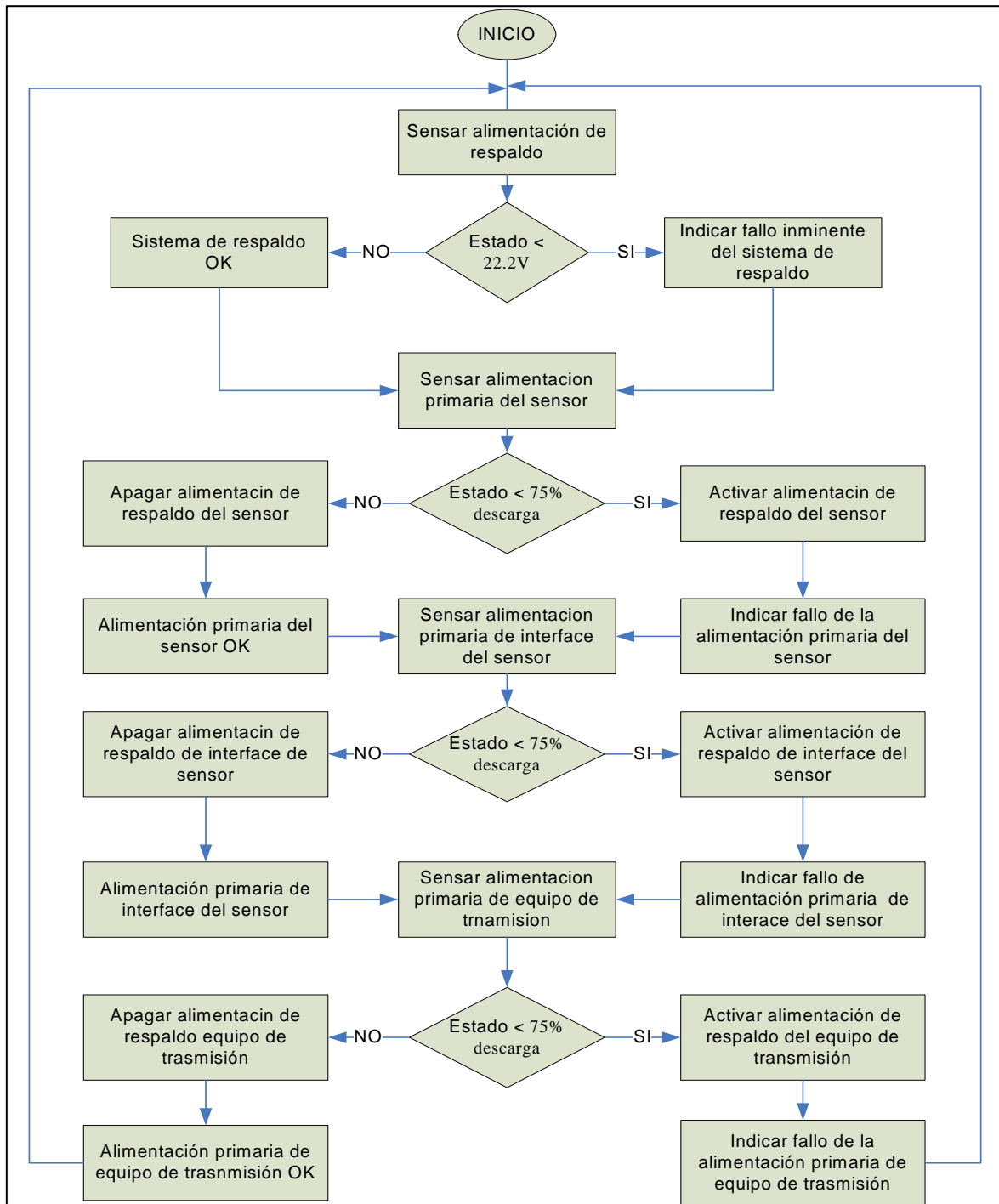


Figura. 4.18. Diagrama de bloques del funcionamiento del sistema de respaldo de energía.

Para definir los parámetros en base a los cuales se establece la conmutación a la etapa de respaldo de energía y la activación de las señales necesarias, se ha partido de la recomendación hecha por fabricantes de acumuladores de no descargar los mismos más allá de un 70 u 80% de su capacidad, como generalmente un acumulador se compone de varias celdas de 2V cada una, una descarga de alrededor del 75% equivale a 1.85V, dicho valor puede ser calculado a partir de la siguiente ecuación

$$V_{celda} = 2V - (0.002 * \%_{descarga})V \quad \text{Ec. 4.8}$$

Al emplear dos baterías en serie, de 12V cada una, esto representa que se tiene 24V equivalentes a doce celdas de 2V cada una y experimentar una descarga del 75% representa tener una caída de tensión de 22.2V.

Con la finalidad de establecer rangos de operación, se trabaja con cada alimentación primaria como si fuese una batería, de tal manera que se puedan establecer el nivel de energía que poseen y su límite inferior antes de fallar. Por ejemplo, la alimentación normal del sensor es de 24V pero como ya se explico este nivel de energía no puede ser medido por el microcontrolador directamente, por lo que se hizo su acondicionamiento en etapas previas con un regulador de voltaje usando diodos zener, en virtud de lo cual el nivel equivalente de este nivel es de 4V. En la tabla 4.11 están definidos los valores de voltaje para la alimentación primaria y los niveles que indican los respectivos estados de la misma.

Tabla. 4.11. Valores de operación analógicos considerados para las diferentes alimentaciones.

Alimentación	Nivel optimo		Nivel medio		Nivel Bajo	
	Voltaje normal (V)		Voltaje con caída del 30% (V)		Voltaje con caída del 75% (V)	
	Normal	Acondicionado	Normal	Acondicionado	Normal	Acondicionado
Batería de panel solar	24	4	23.28	3.88	22.2	3.7
Sensor	24	4	23.28	3.88	22.2	3.7
Interfase del sensor	5	4	4.85	3.88	4.62	3.7
Equipo de transmisión	12	4	11.64	3.88	11.1	3.7

Como el microcontrolador no puede censar valores de voltaje mayores a su alimentación, se trabaja con los valores acondicionados para poder realizar su programación. El microcontrolador 16F877 hace la conversión de los valores acondicionados en su modulo A/D de 10 bits y almacenando el valor obtenido en dos registros de 8 bits cada uno ADRESH y ADRESL, esto quiere decir que con un voltaje de

referencia de 5V y si en uno de los canales ADC se si tiene una lectura de voltaje de 4.85V que equivale en decimal a 992. Para llegar al valor de 992 se usa la siguiente formula:

$$N_{10} = \frac{2^n - 1}{V_{ref}} * V_{in} \quad \text{Ec. 4.9}$$

Donde:

N_{10} , es el número en base 10 equivalente al hacer la conversión ADC.

V_{in} , es el voltaje que entra en canal ADC.

V_{ref} , es el voltaje de referencia que en este caso es la alimentación del pic de 5V.

n , es el numero de bits que posee el conversor ADC del pic.

Remplazando los datos dados como ejemplo, tenemos:

$$N_{10} = \frac{2^{10} - 1}{5V} * 4.85V$$

$$N_{10} = 992.28$$

Como apreciamos, al aplicar la formula tenemos el valor de 992.28 por lo simplemente se usa el valor entero en este caso 992 y este valor se lo procede a convertir a un valor binario, de cuya conversión tenemos el valor 1111110000_2 ($3F0_H$) el mismo que se guarda en los dos registros antes señalados.

De experiencias con el trabajo del modulo A/D se conoce que los dos últimos bits son muy sensibles a fluctuaciones de voltaje, que en este caso podrían causar falsas lecturas, por tal motivo se trabaja solo con ocho bits y por lo que del valor en binario 1111110000_2 ($3F0_H$) que equivale en decimal a 992, se toman los primeros ocho bits esto es 11111100_2 (FC_H) lo que en decimal equivale a 252. Tomando en cuenta este particular, para establecer niveles de referencias se trabajara como solo si se tuviesen ocho bits al realizarse la conversión análogo- digital, esto nos permite definir que durante la programación del microcontrolador se especifique una justificación a la izquierda para almacenar los 8 bits más significativos en su registro RESH, por lo que todas las comparaciones se realizan con el registro RESH que es el que posee el dato de la

conversión. En la tabla 4.12 se establecen los valores digitales (tomado en cuenta una conversión de 10bits, pero solo empleando 8 bits, de los voltajes análogos acondicionados y el comportamiento de las señales que genera el microcontrolador.

Tabla. 4.12. Valores de operación digitales considerados para las diferentes alimentaciones.

Alimentación	Canal que censa	Voltaje acondicionado	Nivel de operación			Señal	Pin del microcontrolador	
			Optimo	Medio	Bajo		Activa	Apaga
Batería de panel solar	0	3.99V	0xCC			IFR / LAR	RB0 / RC4	
		3.87 V		0xC6		IFR / LAR	RB0 / RC4	
		3.69 V			0xBD	IFR / LAR		RB0 / RC4
Sensor	1	3.99V	0xCC			LAS	RB2	
		3.87 V		0xC6		LAS	RB2	
		3.69 V			0xBD	CS / LAS	RB6	RB2
Interfase del sensor	2	3.99V	0xCC			LAI	RB1	
		3.87 V		0xC6		LAI	RB1	
		3.69 V			0xBD	CI / LAI	RB5	RB1
Equipo de transmisión	3	3.99V	0xCC			LAT	RB3	
		3.87 V		0xC6		LAT	RB3	
		3.69 V			0xBD	CT / LAT	RB7	RB3

Si comparamos la tabla 4.11 con la tabla 4.12, se puede apreciar que existe una variación de 0.01V entre los valores acondicionados para cada etapa, esto se debe a que al realizar la conversión análogo-digital y solo tomar los 8 bits más significativos de esta conversión, se producen pérdidas en las lecturas hechas. Los últimos dos bits menos significativos, que no se toman en cuenta, representan un valor de 0.0147V por lo que al momento de realizar la conversión análogo- digital una lectura de 4V o 3.985V a la entrada

al canal analógico arroja la mismo valor digital CC_H , que representa un error de 0.375% en la lectura que se realiza, lo que no influye mayormente al definir el limite en que cada alimentación primaria falla. Partiendo de la tabla anterior en la figura 4.19 se muestra la lógica de programación definida para un canal de conversión y que es la forma como se comporta el microcontrolador en función de las lecturas de voltaje para cada uno de los canales analógicos del módulo ADC, dicha lógica es muy similar para todos los canales:

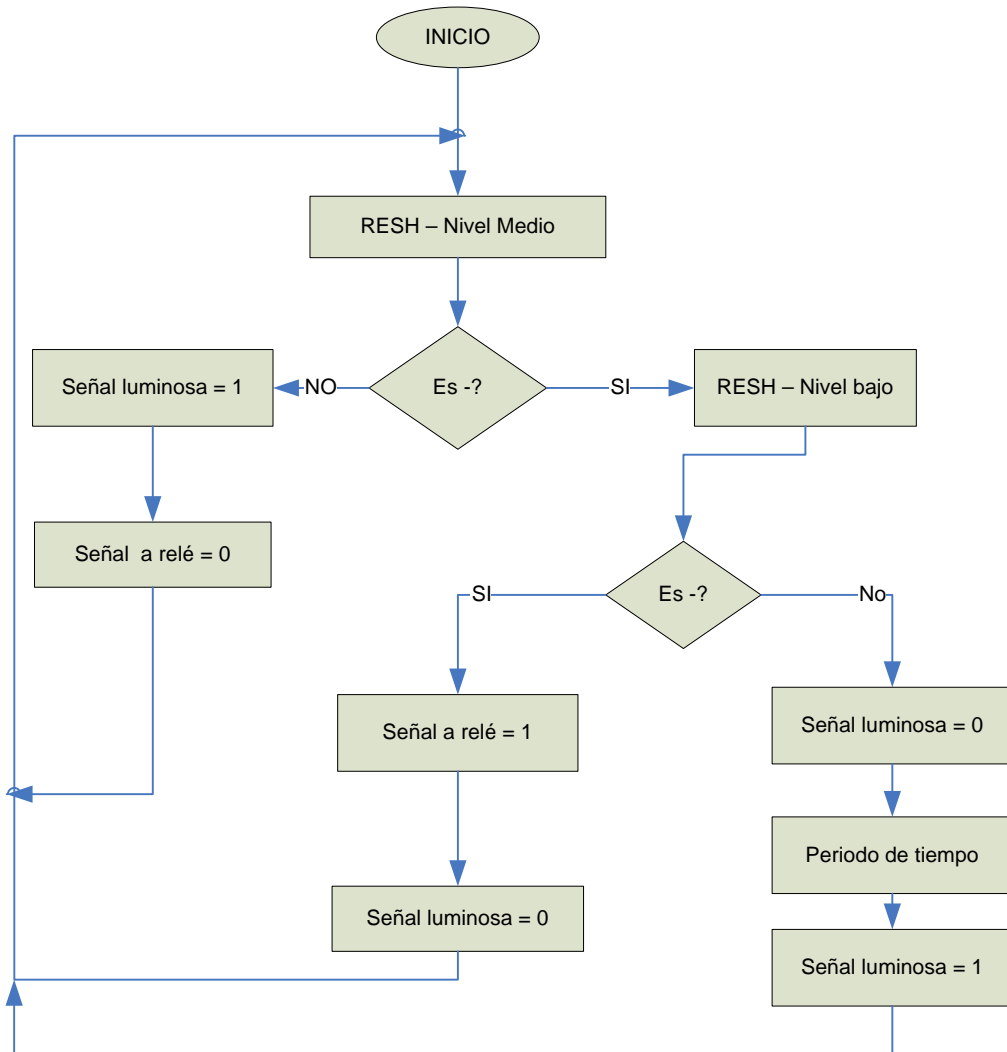


Figura. 4.19. Diagrama de la lógica de programación en caso de que caigan las alimentaciones primarias un 40 y 75%.

Basado en las figura 4.18 y 4.19 se ha desarrollado el programa que el microcontrolador posee, dicho programa ha sido desarrollado en el programa Mplab, en lenguaje de programación Assembler.

Todo el código de programación desarrollado bajo el que se maneja el microcontrolador se halla en el ANEXO 1 del presente proyecto. Las conexiones del panel solar, el regulador y las baterías se hallan en el ANEXO 2. El circuito eléctrico de toda la parte analógica del sistema de respaldo de energía que se ha diseñado se encuentra en el ANEXO 3 y el esquema de la parte digital que se halla en el ANEXO 4, ambos circuitos será la base para la implementación final del sistema de respaldo de energía.

CAPITULO 5

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA PROTOTIPO

En base a los diagramas y circuitos diseñados durante el capítulo anterior se procede a la implementación del sistema prototipo de respaldo de energía en función de todas las especificaciones que se han venido acotando hasta el momento, por lo que en esta sección se detallan los pormenores durante la construcción del mismo.

Para la implementación es necesario conceptualizar a todo el sistema prototipo, como un sistema compuesto por dos partes esencialmente, la etapa de generación eléctrica y la etapa de automatización. La etapa encargada de la generación eléctrica la componen baterías, paneles fotovoltaicos y regulador los cuales están debidamente dimensionados de acuerdo al capítulo anterior, mientras que la etapa de automatización la componen todos los subsistemas que previamente han sido diseñados durante el capítulo 4 y en base a los cuales se procede a la construir el controlador, el mismo que cuenta con todas las especificaciones de diseño consideradas.

5.1 CONSTRUCCIÓN

En una fase inicial de construcción, se ha procedido a realizar el armado del sistema de respaldo de energía a partir de los esquemas mostrados en los ANEXOS 3 y 4 en un protoboard, lo cual permite definir la ubicación de cada etapa y calibrar los dispositivos que lo necesitan, de tal forma que todo lo anterior lleve a una implementación correcta y organizada. En la figura 5.1 se puede apreciar el montaje en protoboard del controlador diseñado para el sistema prototipo de respaldo de energía:

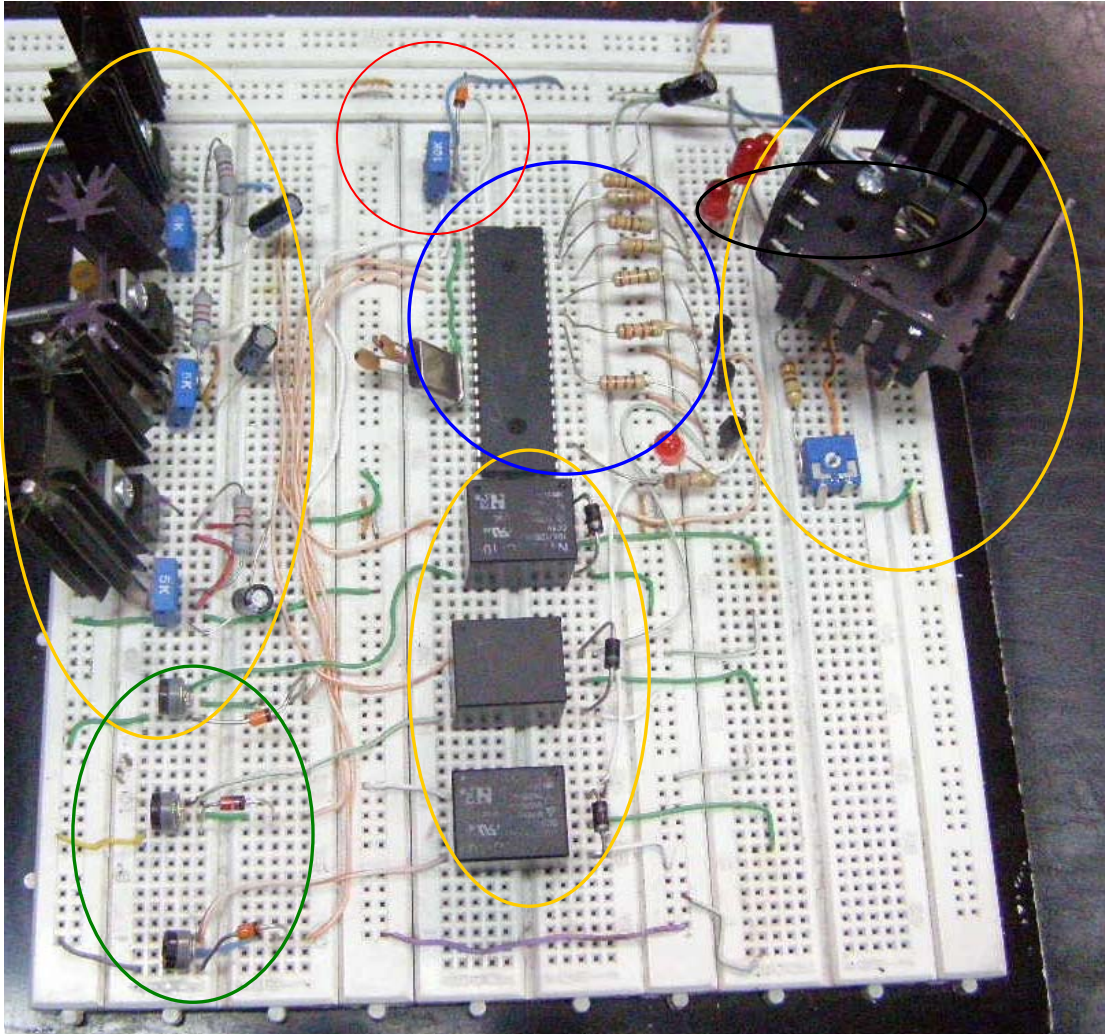


Figura. 5.1. Montaje preliminar del Sistema de respaldo de energía.

En la figura 5.1, se pueden apreciar los cuatro subsistemas diseñados en el capítulo 4. En color verde se halla el subsistema de alimentación primaria SAP, y como se puede apreciar esta etapa tan solo la componen los reguladores de voltaje empleando diodos zener. El subsistema de alimentación de respaldo SAR esta en color rojo y como se puede apreciar en este subsistema solo existe un regulador de voltaje empleando un diodo zener que es el único implementado. En amarillo esta el subsistema de protección y conmutación SPYA y como se aprecia en la figura se compone de los reguladores de voltaje LM317, los cuales darán los niveles de voltaje necesarios a usarse por los equipos que se conecten a este controlador; como parte de este subsistema se aprecian los relés encargado de alternar entre la alimentación primaria y de respaldo, los cuales poseen su propio regulador de voltaje LM338. Finalmente en color azul podemos apreciar el subsistema de control SC, el mismo que supervisa los niveles de alimentación primaria y genera las señales necesarias para que entre en funcionamiento la alimentación primaria.

En la imagen anterior no se pueden apreciar el pulsador NA que necesita el microcontrolador, en caso de necesitarse un reset del mismo y el fusible que va a la entrada de la alimentación de respaldo, los cuales en su implementación final son incluidos.

El montaje tal y como es mostrado en la figura 5.1 ha permitido realizar pruebas de funcionamiento comportamiento y operación con todo el sistema de respaldo de energía, pruebas en función de las cuales se han podido obtener parámetros que permitan realizar una evaluación completa sobre todo el prototipo. Luego de estas pruebas, comprobando su funcionamiento adecuado, se ha procedido a realizar su implementación final en una tarjeta de circuito impreso desarrollada gracias al programa ARES, software de diseño muy versátil y útil al momento de diseñar la tarjeta mencionada. En la figura 5.2 se puede apreciar el diagrama desarrollado para ser implementado en una tarjeta de circuito impreso

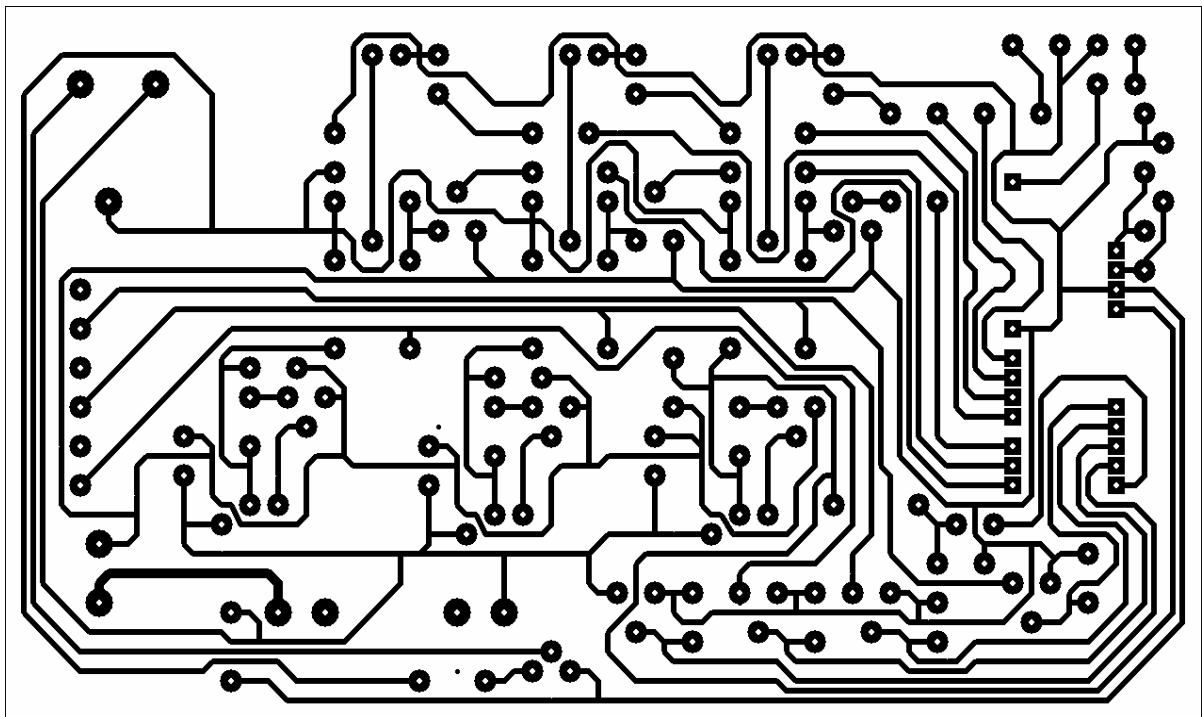


Figura. 5. 2. Diseño para la tarjeta de circuito impreso.

Gracias al diseño mostrado en la figura de 5.2 se ha procedido al armado final del controlador, en la figura 5.3 podemos apreciar la tarjeta de circuito impreso que ha sido finalmente implementada.

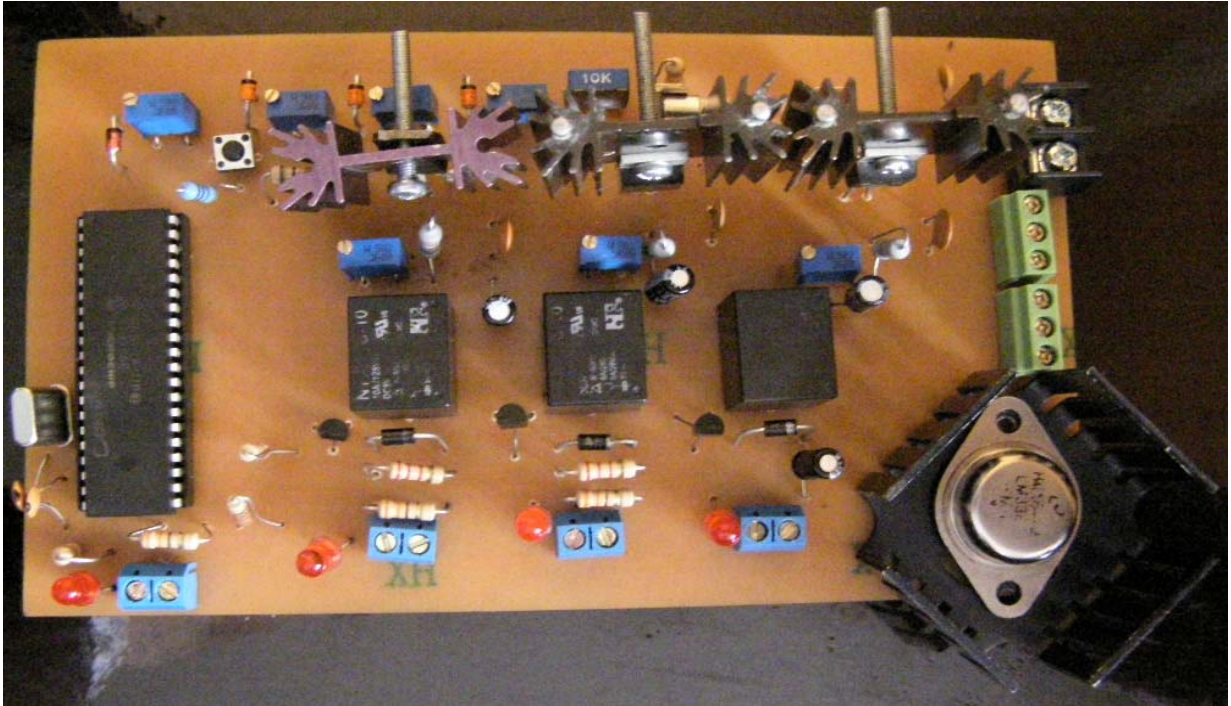


Figura. 5. 3. Montaje final del controlador del sistema de respaldo de energía.

En las figuras 5.4 a la 5.6 podemos apreciar los elementos montados sobre la tarjeta de circuito impreso, vistos desde varios ángulos.



Figura. 5. 4 Vista frontal de la tarjeta del controlador del sistema de respaldo de energía.

En la figura 5.4, se puede apreciar las salidas para la alimentación de los equipos de los otros sistemas, así también se pueden apreciar el regulador LM338 y los relés, que son alimentados gracias a dicho regulador de voltaje.



Figura. 5. 5 Vista posterior de la tarjeta del controlador del sistema de respaldo de energía.

En la figura 5.5, se puede apreciar al costado izquierdo la etapa de acondicionamiento, para censar el estado de las alimentaciones primarias. En la imagen también se puede apreciar los reguladores de voltaje con sus respectivos disipadores de calor, así como también se puede apreciar el fusible que va a la entrada de la alimentación de respaldo.

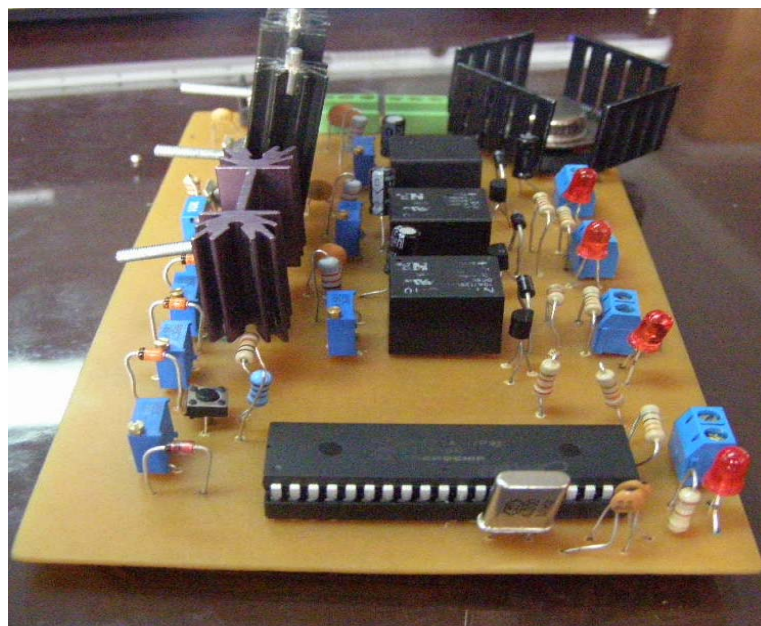


Figura. 5. 6 Vista lateral izquierda de la tarjeta del controlador del sistema de respaldo de energía.

En la figura 5.6 se puede apreciar el microcontrolador encargado de controlar el cambio entre la alimentación de respaldo y la alimentación principal

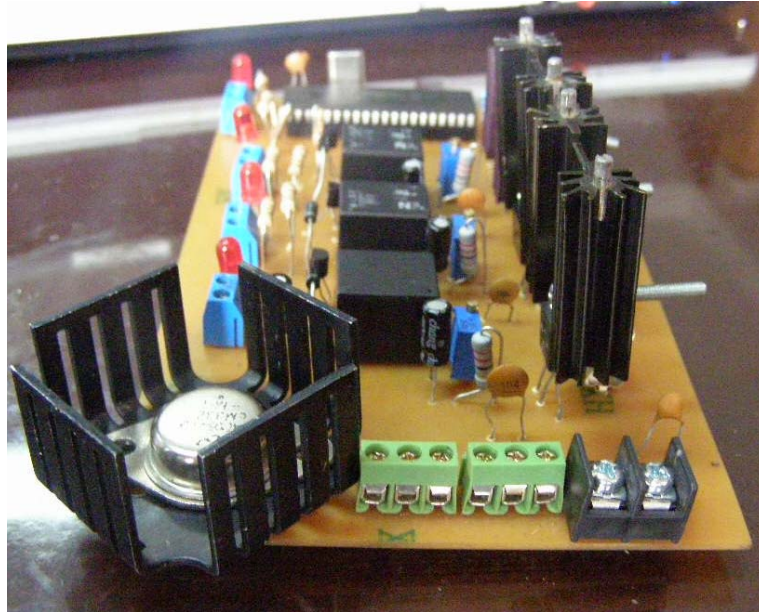


Figura. 5. 7 Vista lateral derecha de la tarjeta del controlador del sistema de respaldo de energía.

En la figura superior 5.7 se muestra fundamentalmente las borneras en las que son conectadas las alimentaciones primarias. De izquierda a derecha tenemos, la bornera de alimentación primaria de la interfase del sensor, el sensor, la alimentación del equipo de transmisión y la bornera (color negro) para conectar la alimentación de respaldo.

5.2 PUESTA EN MARCHA

Para la puesta en marcha se consideran los equipos de generación eléctrica y el controlador construido los cuales son conectados finalmente para constituir el sistema prototipo de respaldo de energía. Se debe acotar que los paneles fotovoltaicos, baterías y regulador de voltaje, pertenecen a la etapa de generación eléctrica de respaldo y los cuales son equipos externos al controlador del sistema prototipo de respaldo de energía. En la figura 5.8 se puede apreciar los elementos externos del sistema de respaldo de energía



Figura. 5. 8. Equipos de la etapa de generación del sistema de respaldo de energía.

Como se muestra en la figura 5.8, como parte de la etapa de generación eléctrica del sistema de respaldo de energía están las baterías, paneles fotovoltaicos y regulador. La forma en que se hallan conectadas los elementos mostrados en la figura anterior, corresponden al diagrama mostrado en el ANEXO 2 en donde se halla el diagrama para conectar los mismos. Se debe recordar que para conectar las baterías, los paneles fotovoltaicos y la carga al regulador se deben seguir el siguiente orden:

Baterías → Paneles fotovoltaicos → Carga

Para desconectar toda la etapa de generación del sistema prototipo de respaldo de energía, se realiza el proceso inverso al indicado.

Se debe señalar que la tarjeta de circuito impreso del controlador construido, posee su propia carcasa como se puede apreciar en la figura 5.9, en la cual podemos apreciar claramente las secciones dedicada a las entradas y salidas.



Figura. 5. 9. Carcasa del que contiene al controlador.

En figura 5.9 podemos apreciar al frente las salidas que alimentan a los sistemas de transmisión, sensamiento e interfase (borneras blancas), mientras que en el costado derecho hallamos las borneras de conexión para la alimentación primaria de cada sistema. En la figura 5.10, se puede apreciar la integración final de las dos etapas esenciales del sistema de respaldo de energía, la etapa de generación y su controlador.

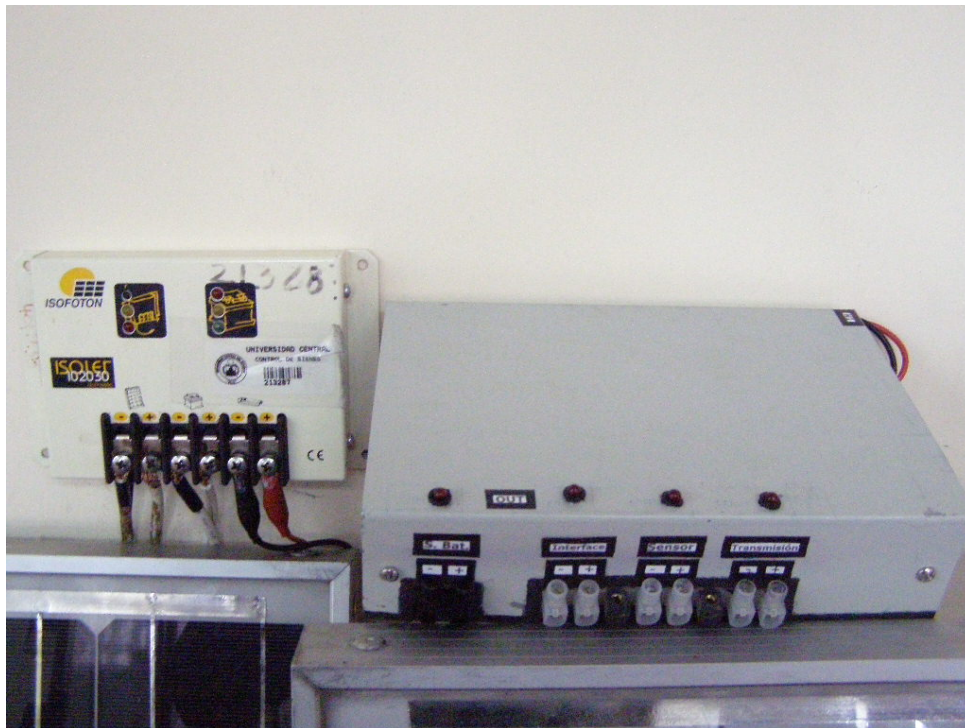


Figura. 5.10. Integración de todo el sistema de respaldo de energía.

Como podemos apreciar en la figura 5.11 en el regulador son conectados los paneles fotovoltaicos y baterías, mientras que la salida que posee el mismo se conecta (cable rojo-negro) a la entrada que el controlador posee para la alimentación de respaldo. En la figura 5.10 podemos apreciar todo el sistema listo para operar sin las alimentaciones primarias.



Figura. 5.11. Integración de todo el sistema de respaldo de energía.

En la figura de 5.11 se puede apreciar todo el sistema de respaldo de energía eléctricamente está listo para trabajar con las otros sistemas del proyecto general de detección de fugas, sin embargo se debe acotar que se necesita de una estructura soporte y de protección adicional, para mantener a los paneles sobre el suelo y proteger a las baterías, todo esto con el fin de proteger a los equipos de robos.

CAPITULO 6

EVALUACIÓN DEL SISTEMA PROTOTIPO

6.1 PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA PROTOTIPO

Para evaluar el sistema prototipo de respaldo de energía se procede a realizar pruebas con el sistema prototipo desarrollado, especialmente a nivel eléctrico para determinar la correcta operación del mismo. Se debe acotar que esta acción se toma en función que hasta la presente etapa de elaboración de este proyecto, los equipos que finalmente serían conectados a este sistema aún no han sido entregados a PETROECUADOR, lo que dificulta la realización de pruebas con equipos reales por lo que se procederá a trabajar con cargas que simulen los requerimientos de voltaje y corriente que necesitan los equipos que finalmente serán alimentados en la realidad. Para simular los equipos que se conectarán al sistema prototipo, se debe considerar que un equipo electrónico esta compuesto por varios elementos como son resistencias, bobinas, capacitores, leds, diodos, microcontroladores y muchos más, por lo que el mismo puede poseer una impedancia compuesta por una parte resistiva y una reactiva, sin embargo cualquier dispositivo electrónico al operar con DC, presenta un comportamiento netamente resistivo (revisar ANEXO 5). Gracias a la acotación realizada, en la tabla 4.1 podemos definir las resistencias que simularan las cargas verdaderas, esto es si por ejemplo tomamos los consumos máximos escogidos para el sensor, tenemos que se alimenta 18V y necesita una corriente de 20mA, su resistencia interna será entonces de 900Ω . En la tabla 6.1 se puede apreciar los valores de las resistencias que simularan las cargas que son conectadas al sistema de respaldo de energía:

Tabla. 6. 1. Valores de resistencia recalculadas para la etapa de regulación de SPYA.

Carga simulada	Resistencia (Ω)
Sensor	900
Interfase del sensor	19
Equipo de transmisión	123.71

Las resistencias definidas en la tabla de arriba serán calibradas de acuerdo a potenciómetros, los que irán conectados a la toma de alimentación para cada uno de los dispositivos que finalmente se conectan al sistema prototipo de respaldo de energía.

Como ya se ha mencionado, el sistema prototipo de respaldo de energía se compone de dos etapas estas son la etapa de generación eléctrica (paneles, baterías y regulador) y sistema controlador (sistema diseñado). Las pruebas que se realizan son un compendio entre ambas etapas, de tal forma que se pueda evaluar en conjunto a todo el sistema prototipo de respaldo de energía, para lo cual se han definido realizar pruebas de tres tipos. Existen pruebas para medir el funcionamiento adecuado del sistema controlador, otras que determinan cuan estables son los niveles de alimentación entregados por el sistema prototipo y finalmente pruebas para definir el tiempo que puede mantenerse de manera independiente entregando energía.

6.1.1 Pruebas para definir funcionamiento del subsistema controlador (SC)

Con esta prueba lo que fundamentalmente se busca es determinar cual es el funcionamiento que presenta el controlador diseñado, bajo condiciones controladas que simulen la falla de las alimentaciones primarias y el funcionamiento de la energía de respaldo. Además con esta prueba lo que se puede establecer un procedimiento para la conexión y desconexión de las fuentes de energía y los equipos conectados al sistema de respaldo de energía, así como la calibración del mismo.

Descripción del proceso

FASE 1

- 1) Construir 3 divisores de tensión con la ayuda de una resistencia y un potenciómetro cada uno.
- 2) Alimentar los 3 divisores de tensión con una fuente externa de DC mayor a 24V y regular cada uno hasta tener los voltajes requeridos por los equipos que se conectan al controlador del sistema prototipo de respaldo de energía (Ver tabla 6.2).
- 3) Apagar la fuente de energía DC externa que alimenta a los divisores de tensión.
- 4) Remover el microcontrolador de la tarjeta de circuito impreso diseñada.
- 5) Conectar las baterías en serie, medir el voltaje que se tiene y energizar el controlador del sistema de respaldo de energía (Ver tabla 6.2)
- 6) Buscar en el sistema de respaldo de energía, la etapa designada para la entrada de las alimentaciones primarias. Conectar las salidas de todos los divisores de tensión a sus correspondientes entradas, en el controlador del sistema de respaldo de energía (Ver tabla 6.2).
- 7) Activar la fuente DC y energizar a los divisores de tensión
- 8) En el lugar donde estaba el microcontrolador, buscar los pines 2 al 5 y guiarse con estos pines hasta hallar la etapa de acondicionamiento (potenciómetro y diodo zener) de cada alimentación de entrada.
- 9) Calibrar el voltaje de acondicionamiento en pines 2 al 5, con los potenciómetros de los circuitos de acondicionamiento, a los valores mostrados en la tabla 6.2. Si el voltaje de cualquiera de las alimentaciones es superior al voltaje mostrado en la tabla 6.2, realizar la respectiva conversión para compensar el voltaje de acondicionamiento.
- 10) Apagar la fuente DC y desconectar las baterías.
- 11) Colocar el microcontrolador en la tarjeta de circuito impreso diseñada.
- 12) Energizar el controlador del sistema de respaldo de energía.
- 13) Calibrar los voltajes que se tienen a la salida del controlador del sistema de respaldo, para cada equipo que se conecta a dichas salidas (Ver tabla 6.2). Para calibrar los voltajes de salida ubicar los reguladores de voltaje (LM317 y LM318) en el controlador y variar sus respectivos potenciómetros hasta conseguir el valor de voltaje de salida necesitado para cada equipo.

14) Desconectar las baterías

FASE 2

15) Conectar un voltímetro V1 entre el pin del microcontrolador, que corresponde a la alimentación del equipo de transmisión y cualquier tierra (Ver tabla 6.2).

16) Conectar las baterías del sistema de respaldo de energía y luego encender la fuente de energía DC. Observar que suceden con los leds indicadores.

17) Medir con otro voltímetro V2, la tensión en la entrada y en la salida del controlador y que son correspondientes a la alimentación del equipo de transmisión (Ver tabla 6.2).

18) Variar lentamente el potenciómetro del divisor de tensión del equipo de transmisión, de tal forma que el nivel de voltaje mostrado en el voltímetro V1 vaya disminuyendo.

19) Dejar de variar el potenciómetro hasta observar algún cambio en alguno de los tres leds indicadores que posee el controlador.

20) Anotar el voltaje que se tiene en el voltímetro V1. Luego medir con V2 el voltaje de alimentación de entrada y salida del controlador, que corresponden al equipo de transmisión

21) Apagar la fuente de energía externa que alimenta a los divisores de tensión y desconectar las baterías.

22) Repetir los pasos 12 al 18, para con las demás alimentaciones primarias. Ayudarse de la siguiente tabla.

Tabla. 6. 2. Tabla para realizar conexiones con el controlador del sistema de respaldo de energía.

Alimentación	Voltaje de entrada	Voltaje acondicionado	Voltaje de respaldo	Entrada al automata	Pin que sensa en microcontrolador	Salida del automata
Controlador del sistema de respaldo	24V	4V		1	2	
Transmission	24V	4V	18V	2	3	3
Sensor	12V	4V	12V	3	4	2
Interface del sensor	5V	4V	5V	4	5	1

NOTA: La etapa designada para las entradas, esta compuesta por 4 entradas, mientras que la etapa de salida la componen 3 salidas. Las entradas y salidas en el equipo de respaldo de energía son contadas de izquierda a derecha, vistas de frente.

- 23) Desconectar los divisores de tensión del controlador.
- 24) Energizar la fuente de dc y con la ayuda de los potenciómetros de los divisores de tensión, regular los voltajes de cada alimentación con los valores de voltaje obtenidos anteriormente, en los que se apagan los leds
- 25) Repetir los pasos 16 al 23, pero incrementando el valor mostrado en V1 para cada alimentación.

FASE 3

- 26) Finalizando la Fase 2, con la ayuda de una fuente variable DC regular su voltaje al valor obtenido con las baterías conectadas en serie.
- 27) Energizar el controlador del sistema de respaldo de energía.
- 28) Conectar un voltímetro V1 entre el pin del microcontrolador que censa la alimentación del equipo de respaldo de energía y tierra (Ver tabla 6.2). El valor marcado en V1 debe ser similar al obtenido en la fase 1
- 29) Conectar otro voltímetro V2, entre el pin 37 del microcontrolador y tierra. Medir el voltaje que cae en el pin.
- 30) Disminuir el voltaje que se aprecia V1, variando lentamente la fuente variable DC, hasta que en V2 se observe algún cambio en la lectura.
- 31) Sin apagar la fuente de DC, incrementar el voltaje que se aprecia en V1 variando lentamente la fuente de DC, hasta que en V2 se muestre algún cambio en la lectura.
- 32) Describir todos los cambios sucedidos, durante la elaboración de las 3 fases independientemente, para cada entrada/ salida del sistema prototipo. Determinar el patrón de comportamiento del sistema prototipo en conjunto.

Observaciones del proceso de prueba.

En la FASE 1 se realiza una calibración de todas las etapas, es así que en la tabla 6.3 se puede apreciar los voltajes calibrados por los divisores de tensión, sus valores

equivalentes al ser acondicionados y los voltajes suministrados como alimentación de respaldo:

Tabla. 6. 3. Voltajes medidos y acondicionados durante la calibración del controlador.

Alimentación	Voltaje de entrada (divisor de tension)	Voltaje acondicionado	Voltaje de respaldo
Controlador del sistema de respaldo	25.96V	4.32 V	
Transmisión	12.11V	4.04 V	12.01 V
Sensor	24.13V	4.02 V	17.94 V
Interface del sensor	5.06 V	4.04 V	5.02 V

Como se puede apreciar al conectar las baterías en serie y energizar el controlador, su voltaje acondicionado debe ser redefinido, para lo cual se realizo una regla de tres tomando en cuenta los valores mostrados en la tabla 6.2, de la cual el nuevo voltaje de acondicionado es 4.33V, que ha logrado ser regulado a 4.32V. De igual manera sucede para las alimentaciones de los demás equipos.

La FASE 2 determina como reacciona el controlador al hallar que existe una disminución en los niveles de voltaje de cualquiera de las alimentaciones primarias. En la tabla 6.4 se pueden apreciar los niveles de voltaje iniciales y los niveles de voltaje finales, en el momento en que los indicadores luminosos cambian de encendido ha apagado.

Tabla. 6. 4. Voltajes medidos durante el decremento de energía de las alimentaciones primarias.

Alimentación	Condición	Voltaje de entrada	Voltaje acondicionado	Voltaje de salida
Transmisión	Inicial	12.11 V	4.04 V	12.11 V
	Final	11.08 V	3.63V	12.01 V
Sensor	Inicial	24.13 V	4.02 V	24.13 V
	Final	21.73 V	3.63V	17.94 V
Interface del sensor	Inicial	5.06 V	4.05 V	5.06 V
	Final	4.63 V	3.68V	5.02 V

Como se puede apreciar en la tabla 6.4, partiendo de las alimentaciones en condiciones iniciales (leds indicadores encendidos), y con sus respectivos acondicionamientos de voltaje, al momento que se llegan a apagar los leds indicadores los voltajes acondicionados muestran valores menores a los límites inferiores definidos en la tabla 4.10, lo cual da lugar a activar las alimentaciones de respaldo para cada equipo lo que demuestra una correcta operación del controlador.

Para determinar el grado de error que existe al momento de acondicionar las alimentaciones de entrada, en la tabla 6.5 se procede a hacer una comparación entre los valores acondicionados esperados y los que fueron tomados.

Tabla. 6. 5. Error producido en la etapa de acondicionamiento.

Alimentación	Voltaje de entrada	Voltaje acondicionado V_a	Voltaje acondicionado esperado V_T	$e = \frac{ V_T - V_a }{V_T} * 100\%$
Equipo de transmisión	11.08 V	3.63V	3.70 V	1.89%
Sensor	21.73 V	3.63V	3.70 V	1.89%
Interface del sensor	4.63 V	3.68V	3.70 V	0.54%

Si a estos porcentajes de error le sumamos el error producido durante la conversión ADC, tenemos los valores mostrados en la tabla 6.6:

Tabla. 6. 6. Error total producido durante el sensamiento de las alimentaciones primarias.

Alimentación	Error en etapa de acondicionamiento	Error al realizar conversión	Total de error.
Equipo de transmisión	1.89%	0.375%	2.265%
Sensor	1.89%	0.375%	2.265%
Interface del sensor	0.54%	0.375%	0.165%

Como podemos apreciar en todos los casos el error que se produce es menor al porcentaje de error de 5%, valor aceptado convencionalmente para definir si un equipo es

confiable o no. En el peor de los casos el error producido es inclusive menos de la mitad del error aceptado convencionalmente, sin embargo se debe recalcar que para obtener estos porcentajes de error tan bajos es necesario recalcar que los niveles de voltaje iniciales de las alimentaciones, sean acondicionadas, compensadas y reguladas adecuadamente, por lo que de lo contrario el error que se produce sería mayor.

Durante la Fase 2 al realizar el proceso inverso, es decir partir de los límites inferiores logrados e incrementarlos hasta logra que los leds indicadores se enciendan, se han logrado tomar los valores mostrados en la tabla 6.7:

Tabla. 6. 7. Voltajes medidos durante el incremento de energía de las alimentaciones primarias.

Alimentación	Condición	Voltaje de entrada	Voltaje acondicionado	Voltaje de salida
Transmisión	Inicial	11.08 V	3.64 V	12.01 V
	Final	11.9V	3.97V	11.56 V
Sensor	Inicial	21.75 V	3.65 V	17.94 V
	Final	23.88 V	3.93V	23.59 V
Interface del sensor	Inicial	4.62 V	3.67 V	5.02 V
	Final	4.96 V	3.97 V	4.96 V

De igual manera al ir incrementando los niveles de energía de la alimentación primaria, lo que representaría un cambio o reparación de la misma para que entregue los voltajes necesarios a los equipos que se alimentan, existen límites superiores en las que las alimentaciones de respaldo son desconectadas, dejando paso a la alimentación primaria.

Como podemos apreciar, los límites superiores prácticos difieren de los límites teóricos por lo que es conveniente determinar el grado de error que existe en la etapa de acondicionamiento de las alimentaciones de entrada, en la tabla 6.8 se procede hacer una comparación entre los valores acondicionados esperados y los que fueron tomados.

Tabla. 6. 8. Error producido en la etapa de acondicionamiento.

Alimentación	Voltaje de entrada	Voltaje acondicionado V_a	Voltaje acondicionado esperado V_T	$e = \frac{ V_T - V_a }{V_T} * 100\%$
Equipo de transmission	11.9 V	3.97V	4 V	0.75%
Sensor	23.88 V	3.93V	4 V	1.75%
Interface del sensor	4.96 V	3.97V	4 V	0.75%

Si a estos porcentaje de error le sumamos el error producido durante la conversión ADC, tenemos los valores mostrados en la tabla 6.9

Tabla. 6. 9. Error total producido durante el sensamiento de las alimentaciones primarias.

Alimentación	Error en etapa de acondicionamiento	Error al realizar conversion	Total de error.
Equipo de transmission	0.75%	0.375%	1.125%
Sensor	1.75%	0.375%	2.125%
Interface del sensor	0.75%	0.375%	1.125%

Como podemos apreciar en todos los casos el error que se produce es menor al porcentaje de error de 5%, valor aceptado convencionalmente para definir si un equipo es confiable o no. En el peor de los casos el error producido es inclusive menos de la mitad del error aceptado convencionalmente, sin embargo se debe recalcar que para obtener estos porcentajes de error tan bajos es necesario los niveles de voltaje iniciales de las alimentaciones, sean acondicionadas, compensadas y reguladas adecuadamente, por lo que de lo contrario el error que se produce sería mayor.

Finalmente en la FASE 3, se comprueba que en cuanto existe una disminución en los niveles de voltaje de las baterías o inclusive existe una falla en los paneles fotovoltaicos, el sistema en capacidad de reaccionar ante esta situación a través de una señal que se mantiene encendida mientras existe un nivel de alimentación adecuada de la alimentación,

en la tabla 6.10 se pueden apreciar los niveles de voltaje en que se enciende y apaga la señal que muestra el estado de la alimentación del controlador.

Tabla. 6.10. Valores de monitoreo de la alimentación de entrada.

Condición Inicial		Condición de prueba			
Voltaje de entrada	Voltaje acondicionado	Señal generada	Voltaje entrada	Voltaje acondicionado	Voltaje teórico de acondicionamiento
25.96V	4.32V	Apagado	21.99 V	3.66 V	3.7 V
		Encendido	23.86 V	3.97 V	4 V

Para de terminar el grado de error que existe en la etapa de acondicionamiento, en la tabla 6.11 se puede apreciar el grado de error de la misma y el grado de error total teniendo en cuenta el error de conversión.

Tabla. 6.11. Error total producido durante el sensamiento de la alimentación de los paneles fotovoltaicos.

Voltaje acondicionado leído	Voltaje teórico de acondicionado	Error en etapa de acondicionamiento	Error al realizar conversion	Total de error.
3.66 V	3.7 V	1.08%	0.375%	1.455%
3.97 V	4 V	0.75%	0.375%	1.125%

Como se puede apreciar el error producido en la etapa de acondicionamiento y en total es muy bajo, lo que implica que el sistema reacciona bien en cuanto a censar y generar las señales necesarias para indicar fallas en el mismo.

6.1.2 Pruebas para definir estabilidad de los niveles de alimentación.

Con esta prueba se busca comprobar el funcionamiento de todo el sistema de respaldo de energía, esto es establecer si existen variaciones significativas en los niveles de voltaje de respaldo de energía y si estos pueden ser mantenidos por largos periodos de tiempo. Así también se pretende establecer si la corriente requerida por los equipos que son

alimentados (cargas simuladas) y el controlador diseñado, puede ser entregada constantemente por las baterías que conforman la etapa de generación y de acuerdo a los requerimientos que se necesiten.

Descripción del proceso

- 1) Conectar las baterías en serie.
- 2) Conectar las baterías al regulador que poseen los paneles fotovoltaicos. Verificar que alarmas se generan y el voltaje que cae en el regulador
- 3) Conectar los paneles fotovoltaicos al regulador. Verificar que alarmas cambian en el regulador y el voltaje que cae en los paneles y en las baterías
- 4) Medir los voltajes que se tienen en el regulador, tanto de los paneles baterías y carga.
- 5) En las salidas del sistema de respaldo de energía, conectar las resistencias calculadas que simulan las cargas de los equipos a conectarse al equipo diseñado (Ver tabla 6.2).
- 6) Conectar la salida del regulador con la entrada del controlador del sistema de respaldo de energía.
- 7) Medir con un multímetro medir la corriente y voltaje, que ingresa al controlador del sistema de respaldo de energía.
- 8) Con la ayuda de un multímetro medir la corriente y voltaje que caen en las resistencias que simulan las cargas
- 9) Establecer periodos de tiempo adecuado y continuo, en los que se toman muestras de los voltajes en el regulador y en las cargas, así como de la corriente a la entrada al sistema de respaldo de energía y en las cargas.
- 10) En cada muestra tomar datos de temperatura, velocidad del viento, humedad y nivel de iluminación del ambiente
- 11) Dejar conectadas todas las cargas y funcionando el sistema de respaldo de energía, por al menos 7 días. Repetir todos los días los pasos 7 al 10.
- 12) Desconectar todas las conexiones realizadas
- 13) Con los datos obtenidos, establecer el comportamiento eléctrico del sistema diseñado. Que se puede concluir de la prueba realizada.

Observaciones del proceso de prueba

Durante la conexión de las baterías y paneles, al regulador tan solo se observó el parpadeo de dos leds indicadores, de los cinco que posee el mismo. El regulador posee una fila con dos leds, amarillo (A2) y rojo (R2), y otra fila con tres leds, rojo (R1), amarillo (A1) y verde (V1). Al conectar las baterías V1, parpadea lo que indica que las baterías casi están recargadas completamente y que los módulos fotovoltaicos están entregando corriente y al conectar el panel solar A2 parpadea 1 vez y de manera cíclica, lo que indica el modo de carga, en este caso de manera flotante (el regulador va conectando y desconectando los paneles, para recargar las baterías). Los niveles de voltaje medidos al conectar los paneles y baterías al regulador, son mostrados en la tabla 6.12, estas conexiones son hechas a la tarde del primer día:

Tabla. 6.12. Valores de voltaje al conectar los paneles y baterías al regulador.

Dispositivo	Voltaje (V)
Panel solar	25.59
Baterías	25.59
Salida del regulador	25.59

Se debe acotar que habiéndose decidido tomar muestras cada dos horas, empezando a las seis de la tarde por un lapso de 8 días, se procede a conectar las resistencias que simulan las cargas; se empieza por colocar resistencias de mayor valor al calculado, en tabla 6.13 se pueden apreciar los valores de resistencias iniciales

Tabla. 6.13. Valores de resistencia recalculadas para la etapa de regulación de SPYA.

Carga simulada	Resistencia (Ω)
Sensor	1258
Interfase del sensor	802
Equipo de transmisión	679

Se ha procedido de esta forma, para simular posibles cambios en los requerimientos de energía que necesiten los mismos. En la tabla 6.14 se puede apreciar un resumen de todos los datos, de corriente y voltaje de todos los equipos que son alimentados con los

paneles fotovoltaicos, mientras que en la tabla 6.15, se muestran los niveles de voltaje generados por los paneles solares y almacenados en las baterías, a lo largo de los días de prueba.

Tabla. 6.14. Valores de voltaje y corriente de los equipos alimentados con los paneles fotovoltaicos.

	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
EQUIPO	Voltaje (V)	Voltaje (V)	Voltaje (V)	Voltaje (V)	Voltaje (V)	Voltaje (V)	Voltaje (V)	Voltaje (V)
Equipo de transmisión	12.03	12.03	11.98	12.05	12.02	11.93	11.80	11.80
Sensor de fugas	18.00	17.96	18.00	17.95	17.90	17.95	17.96	17.96
Interfase de Fugas	5.05	5.05	5.05	4.93	4.93	4.95	4.79	4.79
Interfase de respaldo	5.03	5.03	4.98	5.08	5.04	5.04	4.97	5.06
Relés de respaldo	4.53	4.73	4.53	4.79	4.80	4.87	4.65	4.51
	Corriente (mA)	Corriente (mA)	Corriente (mA)	Corriente (mA)	Corriente (mA)	Corriente (mA)	Corriente (mA)	Corriente (mA)
Equipo de transmisión	17.70	42.70	46.70	52.40	66.64	77.53	93.30	93.78
Sensor de fugas	14.30	14.30	14.30	19.70	21.67	22.43	21.70	22.48
Interfase de Fugas	6.30	25.30	81.30	80.80	131.77	200.05	268.75	269.15
Interfase de respaldo	34.80	34.80	30.80	37.00	38.33	40.18	37.88	35.55
Relés de respaldo	136.50	136.50	130.50	135.10	130.60	144.38	142.77	146.40
I carga	209.60	253.60	303.60	325.00	389.01	484.55	564.40	567.35

Tabla. 6. 15. Valores generados por paneles y almacenados en baterías diariamente.

	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
	Voltaje (V)	Voltaje (V)	Voltaje (V)	Voltaje (V)	Voltaje (V)	Voltaje (V)	Voltaje (V)	Voltaje (V)
Paneles fotovoltaicos	25.40	29.61	29.47	28.44	26.35	28.36	26.95	30.85
Baterías	25.39	26.51	26.41	26.48	26.32	26.31	25.96	26.18

En base a las tablas anteriores se han generado las siguientes graficas. La grafica 6.1 muestra los voltajes que se generan dentro del controlador, la grafica 6.2 muestra la tendencia de las corrientes de cada equipo conectado al panel y la grafica 6.3 muestra los voltajes promedios generados y almacenados por los paneles, así como el voltaje que ingresa al controlador, esto a lo largo de todos los días que se han tomado muestras:

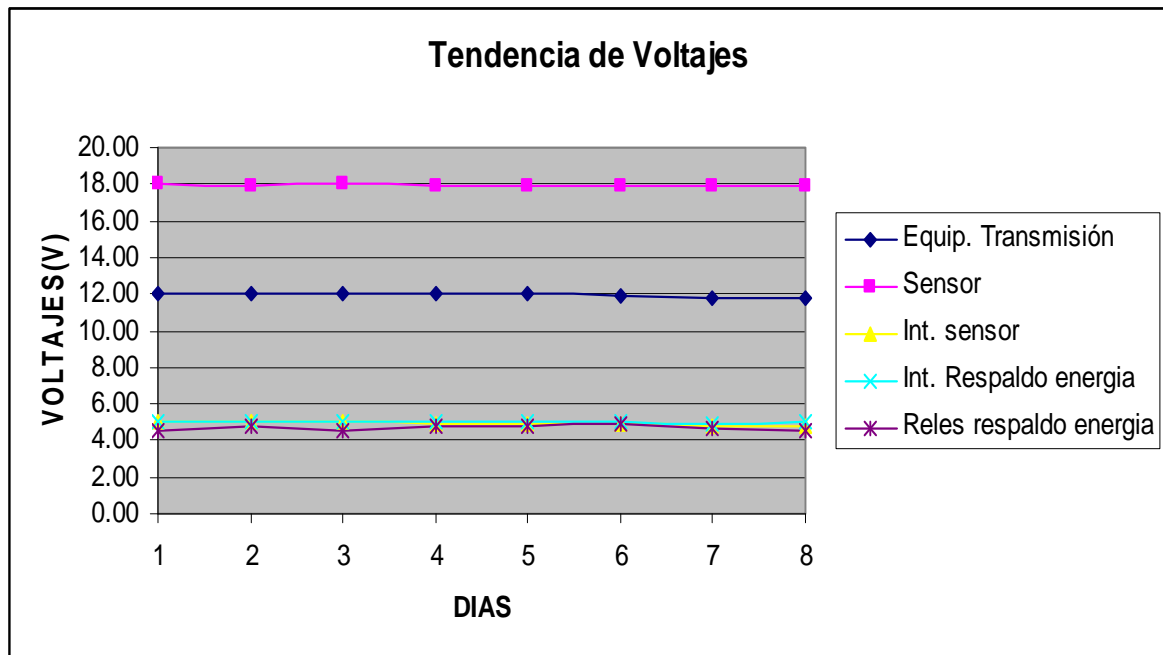


Figura. 6. 1. Tendencia de los voltajes

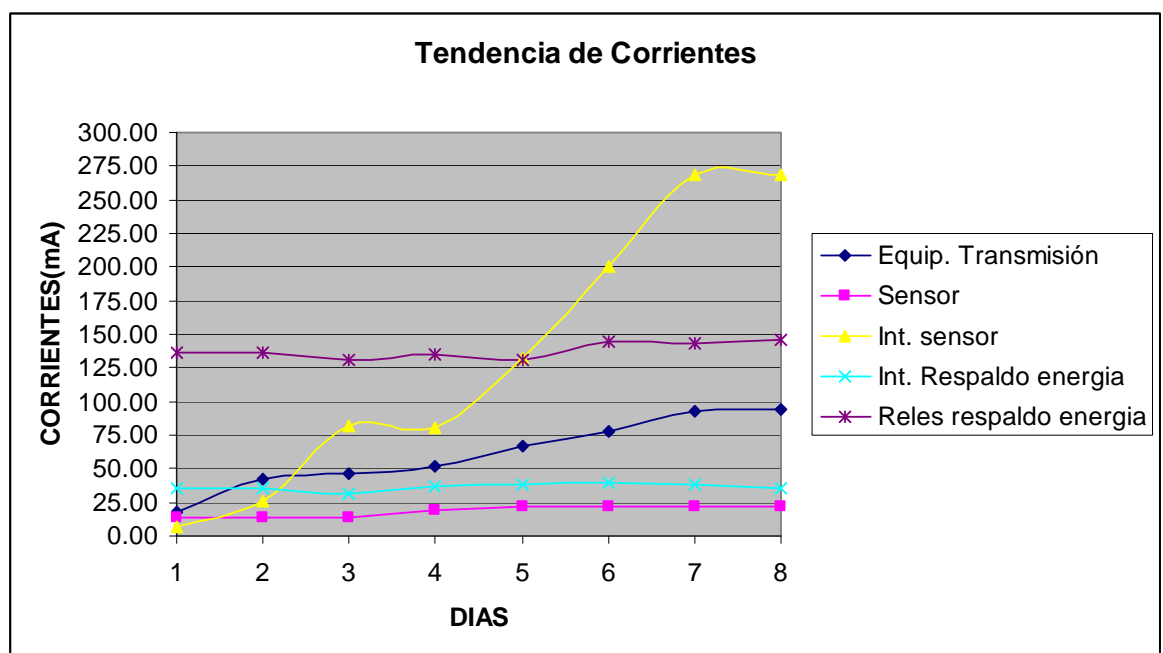


Figura. 6. 2. Tendencia de las corrientes

En base a las graficas mostradas se puede comprobar el hecho de que los voltajes que necesitan los equipos que conforman el sistema de transmisión de datos, el sistema de sensamiento de fugas y el controlador del sistema de respaldo de energía, pueden ser suministrados y lo que es mas importante pueden mantenerse a lo largo del tiempo, como se aprecia en la grafica 6.1. así también queda claro que cada equipo, conectado al controlador del sistema de respaldo de energía puede recibir la cantidad de corriente que

necesite, las variaciones mostradas en la figura 6.2 son específicas de las cargas conectadas al controlador, no así del propio sistema el cual mantiene sus valores de consumo de corriente casi invariantes. A pesar de las fluctuaciones de corriente mostradas para los equipos de los sistemas de transmisión y detección de vibraciones, se pueden apreciar periodos en que las corrientes requeridas por los mismos se mantienen constantes. Aquí se debe acotar que la corriente que necesita solo el controlador, para su interfase (microcontrolador y relés principalmente) es mucho menor a la que teóricamente se calculo, que de acuerdo con la tabla 4.8 se esperaba un fuese un valor de 680 mA, mientras que ya en funcionamiento el controlador solo necesita un valor promedio de alrededor de 180mA aproximadamente, esto se debe a que no se usa toda la capacidad del microcontrolador que conforma la interfase y el cual al no necesitar de un mayor manejo de señales obviamente no necesita un mayor consumo de energía.

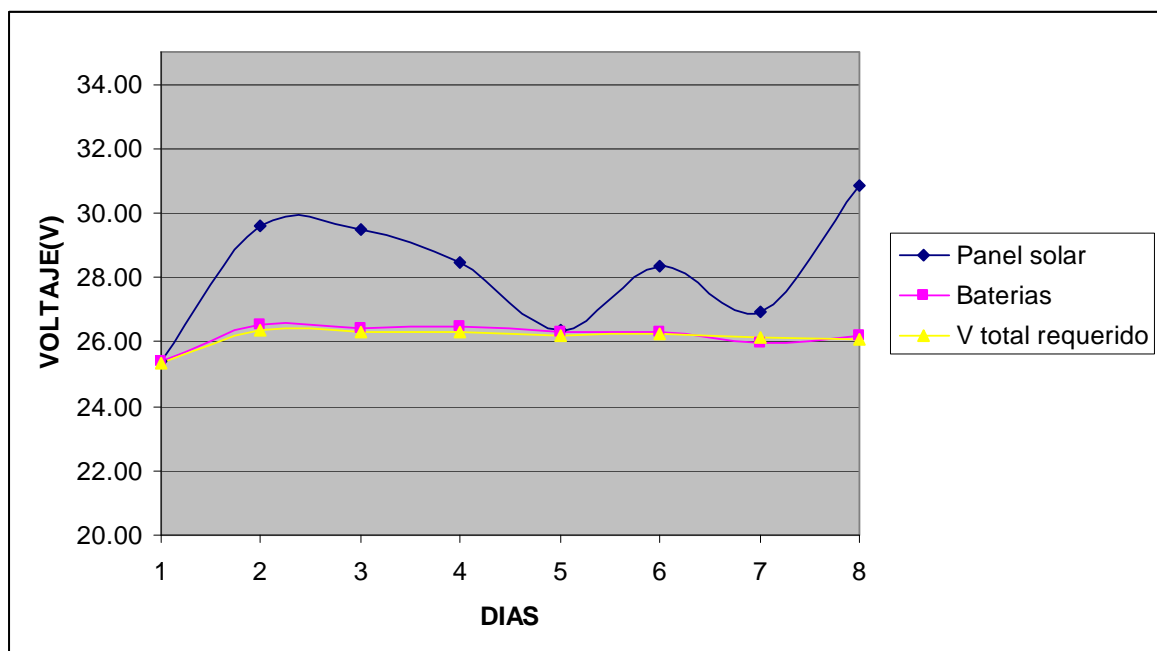


Figura. 6. 3. Valores de voltaje generados y almacenados por la etapa de generación eléctrica

En la grafica 6.3, se muestra claramente los niveles de energía que son capaces de generar los paneles de energía y que siempre son mayores al nivel de energía que se almacenan en las baterías. Cabe recalcar que siempre se acumula en las baterías un mayor voltaje a su voltaje nominal; el voltaje nominal de las baterías es de 12V, por lo que al estar conectadas en serie tendríamos un valor de 24V y de acuerdo a la grafica 6.3 siempre

están con un voltaje de 26V. Esto muestra que las baterías nunca sufrirán una descarga profundo lo que aumentara su tiempo de vida y disminuirá su mantenimiento.

La figura 6.4, muestra como la corriente total suministrada por los paneles fotovoltaicos es muy semejante a la corriente que todo el controlador necesita para funcionar y a su vez repartir a los demás equipos que se conectan al mismo.

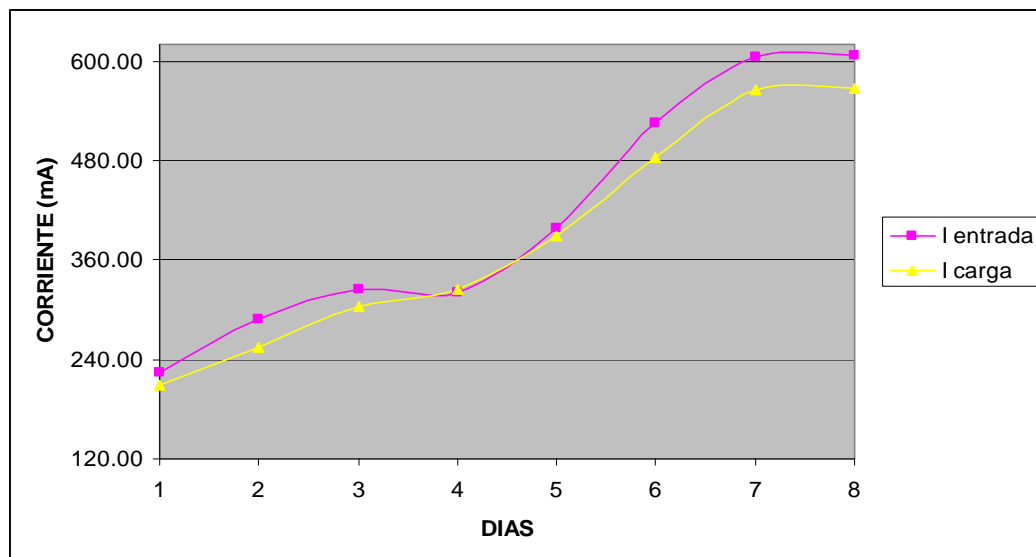


Figura. 6. 4. Valores de corriente requeridos por la carga y generados por los paneles fotovoltaicos.

Para mostrar las condiciones ambientales durante las que se realizaron las pruebas, en la tabla 6.16 se pueden apreciar las mediciones de temperatura, humedad, velocidad del viento y radiación solar, obtenidos:

Tabla. 6.16. Condiciones Ambientales.

	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Promedio
Temperatura (C)	17.40	20.90	18.87	18.73	18.24	16.60	18.83	19.37	18.62
Humedad (%)	63.90	42.55	44.26	45.08	45.88	49.34	44.60	45.36	47.62
Velocidad del viento(m/s)	0.00	0.52	0.64	0.48	0.45	0.69	0.51	0.43	0.46
Radiación solar (W/m-2)	0.09	105.97	72.41	120.88	74.97	65.26	70.08	102.50	76.52

Como se puede apreciar en la tabla de arriba, la temperatura, humedad y viento son constantes a lo largo de los días de prueba, además se puede apreciar que una buena radiación solar tomando en cuenta que los paneles fotovoltaicos necesitan al menos $0.4W/m^2$ para generar electricidad. Esta tabla también demuestra que entre mayor es la radiación solar mayor es la generación de electricidad que se genera; si apreciamos en la

tabla de arriba en los días 2,4 y 8 existe una mayor radiación solar lo que es congruente a los niveles de voltaje más altos mostrados en la grafica de la figura 6.1.

6.1.3 Pruebas para definir tiempo de reacción del sistema.

Con esta prueba finalmente su busca establecer tiempos de respuesta referenciales ante las fallas que pueden presentarse en la alimentación, esto es determinar la rapidez con la que el controlador del sistema de respaldo corta la energía entregada por la alimentación primaria y habilita la energía de respaldo independientemente para cada equipo.

Descripción del proceso

- 1) Conectar las baterías en serie.
- 2) Conectar las baterías al regulador que poseen los paneles fotovoltaicos. Verificar que alarmas se generan y el voltaje que cae en el regulador
- 3) Conectar los paneles fotovoltaicos al regulador. Verificar que alarmas cambian en el regulador y el voltaje que cae en los paneles y en las baterías
- 4) Conectar un voltímetro V1 en la salida del controlador que alimenta al sistema de transmisión.
- 5) Conectar la salida del regulador en serie con un switch y este con la entrada de la alimentación del controlador del sistema de respaldo de energía (Ver tabla 6.2).
- 6) Comprobar que energizando el sistema de respaldo de energía, en V1 cae el voltaje de respaldo correspondiente a la alimentación del sistema de transmisión.
- 7) Desconectar la alimentación de entrada al controlador del sistema de respaldo, empleando el switch.
- 8) Energizar el controlador del sistema de respaldo de energía y con la ayuda de un cronometro medir el tiempo que tarda en cambiar el valor marcado por V1. Repetir el mismo proceso por tres veces.
- 9) Desconectar la alimentación del controlador del sistema de respaldo
- 10) Repetir los pasos 5 al 9 para las demás alimentaciones de respaldo de los otros equipos.
- 11) En base a los resultados obtenidos definir cuan rápida es la reacción del controlador del sistema de respaldo de energía para alternar entre fuentes.

Observaciones del proceso de prueba

Al conectar las baterías y los paneles al regulador, no se prenden ninguna de los indicadores luminosos de alarma. Al conectar las baterías, V1 (indicador luminoso verde) parpadea lo que indica que las baterías casi están recargadas completamente y que los módulos fotovoltaicos están entregando corriente, mientras que al conectar el panel solar A2 (indicador luminoso amarillo) parpadea 1 vez y de manera cíclica, lo que indica el modo de carga, en este caso de manera Flotante (el regulador va conectando y desconectando los paneles, para recargar las baterías).

En la tabla 6.17, se muestran los datos de tomados durante las pruebas:

Tabla. 6.17. Tiempos de reacción entre fuentes de alimentación.

Alimentación	Tiempo 1 (s)	Tiempo 2 (s)	Tiempo 3 (s)	Promedio (s)
Equipo de transmisión	0.42	0.44	0.53	0.46
Sensor	0.68	0.77	0.83	0.76
Interfase del sensor	1	0.91	0.94	0.95

Como se puede apreciar en todos los casos, los relés cambian entre la alimentación de respaldo y la alimentación primaria en un tiempo menor a 1s. El tiempo que se demora en energizar la etapa de transmisión es menor al que se demora en energiza la interfase del sensor, que si bien es mayor aún hace que el sistema sea relativamente rápido. Esto se debe a que según la lógica de programación, el microcontrolador tiene que cumplir todo un proceso para definir si hay un fallo en la alimentación o no de cada sistema conectado al controlador, proceso que debe ser realizado para cada canal analógico que se usa para censar los niveles de energía de las alimentaciones primarias, es por este motivo que al ser la alimentación del equipo de transmisión la primera en ser censada, se demora menos tiempo en reaccionar y activar las señales necesarias para conectar la alimentación de respaldo, no así la alimentación de la interfase del sensor que es la última en ser controlada, motivo por el que se tarda un mayor tiempo de respuesta ante una falla de su alimentación.

6.2 EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RESPALDO DE ENERGÍA DESARROLLADO

En función de los requerimientos de energía de los equipos que se planean usar en los sistemas complementarios al sistema diseñado en el presente proyecto, así también tomando en cuenta las premisas sobre las que se diseñó el sistema y finalmente los resultados obtenidos durante la etapa de pruebas, se puede definir los siguientes aspectos:

- El error al monitorear las alimentaciones primarias de los equipos, durante la conversión ADC que realiza el controlador del sistema de respaldo de energía es menor al 5%, para cada entrada monitoreada.
- Se ha comprobado un funcionamiento adecuado y sustentable de todo el sistema de respaldo de energía diseñado, por periodos considerables de tiempo.
- La selección del sistema encargado de generar la energía (paneles fotovoltaicos) de respaldo para alimentar a todos los sistemas, a través de las pruebas se ha comprobado que es factible de ser utilizada.
- El controlador del sistema de respaldo de energía, representa un equipo con bajo consumo de energía (menor al consumo teórico) y presenta un funcionamiento correcto y coherente con relación a las condiciones bajo las que fue diseñado.
- El tiempo de conmutación entre las fuentes de respaldo de energía y la energía principal es muy pequeño, en promedio la conmutación es realizada en 0.89s por cada entrada, con lo que se garantiza que todos los sistemas se mantengan funcionando sin interrupciones que dejen vulnerable el poliducto por largos periodos.
- El controlador que conforma el sistema de respaldo de energía, durante su construcción ha mostrado ser un equipo de tamaño pequeño, que brinda las seguridades necesarias y que está en capacidad de adaptarse a otros requerimientos sin mayor cambio en su construcción original.

Todo lo antes mencionado nos lleva a establecer que el sistema diseñado, tanto el controlador como la alimentación de respaldo dimensionados y diseñados, ha cumplido con los requerimientos y expectativas que se tenían del mismo, es decir que al evaluar en conjunto todo el sistema de respaldo de energía, muestra ser un sistema lo

suficientemente confiable, que brinda las garantías necesarias de funcionamiento y además esta en capacidad de mantener funcionando todos los equipos externos que se conectan al mismo.

De todo esto se puede concluir que si en un futuro se concreta la implementación del proyecto macro de detección de fugas, el sistema diseñado esta en capacidad de contribuir con el éxito del mismo, ya que inclusive el sistema diseñado podrá ser empleado como la fuente primaria de alimentación de todos los demás sistemas.

CAPITULO 7

ANÁLISIS ECONÓMICO

En esta sección para el estudio económico, se determina el costo de la construcción del equipo, esto incluye el costo de adquisición de las baterías, regulador, paneles fotovoltaicos y de elementos pequeños como son leds resistencias entre otros. Adicionalmente al costo por unidad se realiza una proyección del costo que implica la instalación de varias unidades a lo largo del poliducto, dato que nos sirve para evaluar a futuro la factibilidad o no económicamente hablando del proyecto.

7.1 COSTO DE LA CONSTRUCCIÓN DEL CONTROLADOR DEL SISTEMA DE RESPALDO DE ENERGÍA

Antes de establecer una cantidad, se debe aclarar que la construcción del sistema prototipo de respaldo de energía hace referencia a la construcción de las etapas de acondicionamiento, control y regulación, que en si están encargadas de automatizar la correcta administración de energía para que funcionen los diferentes equipos que se conecten a dicha unidad de automatización. Para establecer el costo de toda la construcción del equipo de automatización, diseñado a lo largo de este proyecto, se parte de los datos mostrados en la tabla 7.1, en la que se describen detalladamente cada elemento utilizado en su construcción así como su costo.

Tabla. 7. 1. Costo de elementos para la construcción del controlador del sistema prototipo de respaldo de energía.

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR	PRECIO UNIT.	PRECIO TOTAL
4	Capacitor	0.1 uF	\$0.12	\$0.48
2	Capacitor	22 pF	\$0.10	\$0.20
4	Capacitor polarizado	10 uF	\$0.15	\$0.60
1	Cristal	4MHz	\$1.00	\$1.00
4	Diodo zener a 5.1V	1N4733	\$0.15	\$0.60
3	Diodo de propósito general	1N4004	\$0.80	\$2.40
1	Fusible	1.5 A	\$0.10	\$0.10
1	Porta fusible	1.5 A	\$0.20	\$0.20
3	Leds rojos		\$0.10	\$0.30
8	Potenciómetros de precisión	5k Ω	\$0.25	\$2.00
1	Pulsador NO		\$0.10	\$0.10
1	Resistencia	100 Ω	\$0.10	\$0.10
4	Resistencia	240 Ω	\$0.10	\$0.40
4	Resistencia	330 Ω	\$0.10	\$0.40
1	Resistencia	10k Ω	\$0.04	\$0.04
3	Resistencia	820 Ω	\$0.04	\$0.12
3	Transistores	2N3904	\$0.50	\$1.50
3	Reguladores	LM317	\$0.70	\$2.10
1	Regulador	LM338	\$6.10	\$6.10
4	Disipadores de calor		\$1.25	\$5.00
3	Rele 1NC/ 1NO, 5V _{bobina}	1A	\$0.95	\$2.85
1	Microcontrolador	16F877	\$7.48	\$7.48
1	Zócalo de 40 pines		\$0.40	\$0.40
7	Jumpers dobles		\$0.50	\$3.50
1	Baquela		\$12.00	\$12.00
COSTO TOTAL DE ELEMENTOS				\$49.97

Como se puede apreciar el costo del hardware, empleado para la construcción del equipo de automatización es relativamente barato, sin embargo hay que tener en cuenta que no se han incluido el costo de baterías, paneles fotovoltaicos y regulador que son los equipos encargados de la generación de energía y que necesariamente son parte del sistema

prototipo de respaldo de energía pero que deben ser tomados en cuenta en su etapa de implementación fundamentalmente.

7.2 COSTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS UNIDADES DE RESPALDO EN EL POLIDUCTO QUITO- AMBATO

Como ya se especificó con anterioridad PETROECUADOR y concretamente su UNIDAD DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO (UIDT), no cuenta con un presupuesto inmediato como para comprar el equipo necesario para generar energía, por lo que para el diseño y pruebas se uso los equipos de generación que ya existían dentro de UIDT, sin embargo partiendo del supuesto que PETROECUADOR desee implementar el sistema de detección de fugas por vibraciones, y con esto el prototipo de respaldo de energía en todo el poliducto Quito-Ambato, a continuación se detalla en la tabla 7.2 el costo de la implementación de todo el sistema prototipo de respaldo de energía, con todos los equipos aconsejados para la misma, la que dará la alimentación de respaldo para un solo punto de sensamiento.

Tabla. 7. 2. Costo de la implementación del sistema prototipo de respaldo de energía para un punto de sensamiento.

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR	PRECIO UNIT.	PRECIO TOTAL
1	Controlador		\$49.97	\$49.97
2	Panel solar 12V	75W	\$474.36	\$948.72
2	Baterías 12V	106AH	\$190.00	\$380.00
1	Regulador	10A	\$120.25	\$120.25
2	Estructuras soporte		\$30.00	\$60.00
1	Instalación		\$30.00	\$30.00
SUBTOTAL				\$1,588.94
12% IVA				\$190.67
COSTO TOTAL POR UNIDAD				\$1,779.61

Como ya se ha mencionado el sistema prototipo de respaldo de energía, se lo debe considerar compuesto de dos partes una correspondiente al equipo de automatización y otro correspondiente al equipo de generación. Con los equipos de generación propuestos en la tabla 7.2 y partiendo de la información de los paneles fotovoltaicos principalmente, se

obtiene un factor de utilización de la instalación fotovoltaica de 2.41 de acuerdo a cálculos teóricos, lo que nos permite mantener el diseño existente y garantizar un funcionamiento adecuado del mismo.

7.3 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DEL SISTEMA PROTOTIPO DE RESPALDO DE ENERGÍA

Para poder establecer parámetros de comparación sobre el beneficio de instalar este sistema, se realiza una comparación entre el sistema diseñado con respecto a otro que brinde los requerimientos mínimos para el funcionamiento de los equipos de transmisión y sensamiento de fugas.

Como se ha descrito a lo largo de este proyecto, el sistema de respaldo de energía es un sistema independiente que logra emplear la energía de paneles fotovoltaicos y baterías, para a través de sus controlador distribuir la energía necesaria entre los equipos que se conectan al mismo, esto inclusive a pesar no poseer una fuente principal de energía. Ahora pues bien una alternativa que resulta similar es el emplear un sistema de generación eléctrica tradicional, esto es emplear una línea eléctrica dedicada AC, provista por alguna empresa eléctrica, a lo largo del poliducto Quito-Ambato. Adicionalmente se necesitaría realizar la compra de los convertidores AD-DC necesarios para cada punto de sensamiento, así como de equipos que distribuyan la energía obtenida en los convertidores de acuerdo a los requerimientos de los equipos de transmisión y detección de fugas.

Para poder establecer una comparación económica entre los sistemas de generación eléctrica previamente descritos, se toma en cuenta las siguientes acotaciones:

- Para ambos sistemas se emplea el controlador diseñado en este proyecto, para generar los requerimientos eléctricos de los equipos de transmisión y detección de fugas.
- El numero de puntos de sensamiento a lo largo del poliducto es de aproximadamente 800 puntos.

- Se trabaja bajo el supuesto de que la empresa eléctrica Quito, está en capacidad de montar la infraestructura necesaria para ubicar una línea eléctrica dedicada a lo largo del poliducto.
- Se considera que la línea eléctrica dedicada es de baja tensión
- La tarifa que se cobra por el servicio eléctrico es equivalente a la Tarifa General con demanda de la EMPRESA ELÉCTRICA “QUITO” S.A., según el pliego tarifario vigente de acuerdo al periodo de consumo del 1 al 30 de septiembre de 2007
- El convertor AC-DC con el que se trabaja, como supuesto, es el convertor Alfatronix AC-DC 115/230VAC, que en el mercado internacional posee un costo de aproximadamente \$200.00, el cual posee los requerimientos necesarios para soportar la carga que representan los equipos descritos en la tabla 4.8.

En la tabla 7.3 se puede apreciar el costo aproximado de emplear una línea eléctrica dedicada, para alimentar a 800 puntos de sensamiento, tomando en cuenta la carga total que representan y que corresponden a la potencia que se requiere en cada unidad de sensamiento de acuerdo a la tabla 4.8, así pues:

Tabla. 7. 3. Costo de emplear una línea eléctrica dedicada a lo largo del poliducto Quito-Ambato.

	Carga unitaria (W)	Carga unitaria diaria(Wh)	N ptos	Carga total diaria(KWh)	Carga total mensual(KWh)
unidad de sensamiento	7.46	179.04	800	143.232	4296.960
Tarifa Aplicable				Tarifa general con demanda	
CONCEPTO				Valor unitario	Valor Total
Comercialización independiente consumo					\$1.414
Mínimo facturable por KW mensual				\$4.182	\$748.75
Consumo por cada KWh mensual				\$0.068	\$292.19
Subtotal					\$1,042.353
Alumbrado publico 8.7%					\$90.68
Contribución cuerpo de bomberos					\$2.55
Tasa recolección de basura 10%					\$104.24
TOTAL MENSUAL					\$1,239.822
TOTAL ANUAL					\$14,877.87

Como se puede apreciar la tabla 7.3 muestra un costo anual de \$14 877,87, sin embargo a este valor se le debe agregar el costo de los convertidores AC-DC, así como el valor de los controladores necesarios en cada punto de sensamiento, el valor total de la inversión total se puede apreciar en la tabla 7.4:

Tabla. 7. 4. Inversión inicial del sistema empleando una línea eléctrica dedicada

Equipo/ Servicio	Unidades	Valor Unitario	Valor Total
Convertidores AC/DC	800	\$200.00	\$160,000.00
Controlador	800	\$49.97	\$39,976.00
Servicio eléctrico anual			\$14,877.87
Inversión Inicial			\$214,853.87

Para establecer una comparación económica, se debe establecer el costo de la inversión inicial al implementar el sistema de respaldo de energía, empleando equipos de generación fotovoltaicos, para lo cual en la tabla 7.2 se estableció que el costo unitario de un sistema de este tipo es de \$1,779.61, por lo que en los 800 puntos de sensamiento necesarios se establece que el costo de la inversión inicial es de \$1'423,688.00. Si se establece la relación que existe entre la inversión inicial entre el empleo de un sistema fotovoltaico con relación a usar una línea eléctrica dedicada, es decir:

$$\%_{inversion} = \frac{Inversión_{línea-dedicada}}{Inversión_{paneles}} \cdot 100\%$$

$$\%_{inversion} = \frac{214.853,87}{1'423.688,00} \cdot 100\%$$

$$\%_{inversion} = 15,09\%$$

De la relación establecida, se puede determinar que la inversión al emplear una línea eléctrica dedicada apenas representa el 15% que implementar un sistema de respaldo de energía usando instalaciones fotovoltaicas. Esto parece favorable al primer año de realizada la inversión, sin embargo se debe tener en cuenta que a partir de este año se debe seguir pagando una cuota por el servicio eléctrico prestado, por lo que gradualmente se compensa este porcentaje hasta que en algún momento se iguale al valor de una inversión que resulta en una implementación con equipos de generación fotovoltaicos. Además se debe considerar que el emplear una línea eléctrica dedica, convierte en vulnerable al

sistema de detección de fugas en virtud de que una falla en la red eléctrica causaría una falla completa de todo el sistema.

En función de lo expuesto se puede concluir que económicamente resulta más conveniente emplear una línea eléctrica dedicada, en el corto plazo, pero se debe tener en cuenta que para la implementación de la misma sea posible se necesita de que se solucionen algunos problemas, como pueden ser que la empresa eléctrica que preste el servicio posea las garantías adecuadas para el montaje de la infraestructura, definir quien correría con los gastos de la instalación y el monto, así también establecer las limitaciones que posee la empresa eléctrica que desee prestar el servicio eléctrico en función de que el poliducto atraviesa tres provincias hasta llegar al terminal de almacenamiento. Todas las acotaciones realizadas indican que el emplear la línea dedicada, económicamente puede ser más rentable pero que posee un sin fin de elementos adicionales que vuelven difícil su aplicación y lo que es peor no permiten a PETROECUADOR que posea una independencia tanto jurídica como técnica sobre el monitoreo del poliducto Quito-Ambato, he ahí donde la opción de establecer una red de generación eléctrica independiente y auto sostenida, como es el empleo de paneles fotovoltaicos cobra fuerza y resulta ser más ventajosa para la empresa, a largo plazo.

CAPITULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

Una vez el diseño y construcción del sistema prototipo de respaldo de energía y en base al análisis realizado, se elaboran las siguientes conclusiones:

- En base a las condiciones físicas y climatológicas de la zona Quito-Ambato y luego del dimensionamiento, diseño y pruebas del sistema prototipo de respaldo de energía, se concluye que la selección de la generación de energía eléctrica usando baterías con el respaldo de celdas fotovoltaicas garantiza, niveles adecuados de energía para mantener funcionando continuamente a todos los sistemas que los necesiten.
- El gestionar un sistema de respaldo de energía, a partir de paneles fotovoltaicos y baterías, muestra ser un sistema lo suficientemente autónomo, independiente y auto sostenido como servir de apoyo a los demás sistemas que conforman el proyecto de detección de fugas.
- El desarrollo de la ingeniería básica y de detalle de este proyecto, ha permitido el desarrollo de un prototipo que logra distribuir de manera exitosa la energía provista por la alimentación de respaldo, de tal forma que los equipos al ser energizadas con sus respectivas alimentaciones pueden seguir operando con total normalidad y lo que es más importante manteniendo los niveles requeridos de corriente y voltaje que se requieren.

- El sistema prototipo de respaldo de energía ha mostrado estar en capacidad de convertirse en el único sistema de alimentación para todos los sistemas que conforman el proyecto de detección de fugas, en virtud de que el sistema diseñado a demostrado mantenerse operativo sin mayor falla durante todo el tiempo que fue sujeto de pruebas.
- Económicamente el sistema muestra ser una gran inversión, pero con una gran rentabilidad a largo plazo ya que el costo que representa solo este sistema, inclusive a gran escala, no implica gastos mayores y adicionales a la inversión inicial, así también presta la ventaja de que todo el sistema puede estar administrado bajo las políticas económicas de PETROECUADOR.
- Adicionalmente, el sistema de respaldo de energía gracias al modo como ha sido concebido, le permite poseer un sistema de respaldo secundario en caso de que la alimentación de respaldo del sistema falle, esto se debe a que en caso de que el controlador del sistema de respaldo de energía se apague por falta de energía (falla producida en la etapa de generación) los demás sistemas conectados al mismo no se quedan sin energía, ya que pasan a operar con los niveles que se tienen disponibles de la alimentación primaria, durante el tiempo que sea posible.

8.2 RECOMENDACIONES

En base a la experiencia obtenida durante el desarrollo del presente proyecto se establecen las siguientes recomendaciones:

- Bajo el presente proyecto se ha desarrollado el diseño de un sistema prototipo de respaldo de energía, sin embargo se recomienda realizar un estudio que complemente este proyecto con el que se determine la ubicación física más adecuada de los equipos, así como los riesgos implícitos que representa el colocar dicho sistema en o cerca al poliducto.

- Para la interconexión de los equipos de generación, esto es las baterías, paneles fotovoltaicos y regulador se recomienda emplear la recomendación hecha para instalaciones fotovoltaicas, esto es emplear cable AWG 12 de hilos con el fin de optimizar la transmisión de energía entre los equipos.
- Para obtener el mayor beneficio que nos ofrece una instalación fotovoltaica y el controlador implementado, se recomienda hacer un mantenimiento adecuado de todos los equipos, en función de las recomendaciones de fabricantes, esto es realizar el mantenimiento de baterías cada 12 meses, limpieza de paneles fotovoltaicos cada 6 meses, así como mantenimiento del controlador cada 6 meses.
- En virtud de que el sistema desarrollado es aún un prototipo, se recomienda se realice un proyecto a pequeña escala en un tramo del poliducto designado por PETROECUADOR y por un tiempo no menor a seis meses, con la finalidad de realizar los ajustes necesarios antes de realizar una implementación a gran escala.
- Se recomienda que las personas que estén a cargo del manejo del controlador, paneles fotovoltaicos, baterías y otros equipos del sistema prototipo de respaldo de energía, estén familiarizados con los mismos de tal forma que se eviten conexiones inadecuadas, se facilite la detección de fallas y su reparación.

BIBLIOGRAFÍA

- BOYLESTAD, Robert, Nashelsky Luis, Electrónica: Teoría de circuitos, Sexta edición, Prentice Hall, USA, 1997
- ROLAND J. Tocci, Neal S. Widmer, Sistemas digitales: Principios y aplicaciones, Sexta edición, Prentice Hall, USA, 1995
- DORF, Svoda, Circuitos eléctricos: Introducción al Análisis y Diseño Tercera Edición, John Wiley & Sons, Inc., USA, 2000
- GUTIERREZ Marco, Tnt. Villalva Julio, Tesis: “Diseño y construcción de un prototipo controlador de transferencia de energía pública y fotovoltaica para las repetidoras del sistema de comunicación del CC.FF.AA.”

DIRECCIONES DE INTERNET

- http://es.wikipedia.org/wiki/Preocupaciones_medioambientales_con_la_generaci%C3%B3n_de_energ%C3%ADa_el%C3%A9ctrica Preocupaciones medioambientales con la generación de energía eléctrica
- <http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0226-01/capitulo1.html> Energía y fuentes de energía
- <http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0226-01/capitulo2.html> Generación eléctrica
- <http://riie.com.es/?a=46865> Producción de electricidad

-
- <http://www.arquitectuba.com.ar/monografias-de-arquitectura/generacion-electrica-no-convencional/> Generación eléctrica
No Convencional
 - <http://www.radiaciones.net/Sections-article92-p1.html> Energía solar
fotovoltaica y sistemas
 - <http://www.fao.org/docrep/T2363S/t2363s09.htm> Generación eléctrica a
partir de combustibles vegetales: Aspectos técnicos, económicos y ambientales
 - <http://archivo.greenpeace.org/energia/EnerOtras.htm> Energía de la Biomasa
 - <http://www.tecnun.es/Asignaturas/ecologia/Hipertexto/07Energ/130EnNuclear.htm>
Energía Nuclear
 - <http://www.radiaciones.net/Sections-article91-p1.html>
Funcionamiento de las
celdas fotovoltaicas
 - http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=927722#_Toc133731932
Proyectos energéticos
 - http://www.electronica2000.net/curso_elec/leccion81.htm Información
sobre UPS.
 - http://www.albox.com.ar/capacitacion/servicio_tecnico/tipos_de_ups.htm
Tipos de UPS.
 - http://www.torres-refrigeracion.com/pdf/art_fot_014.pdf Dimensionamiento de
una instalación fotovoltaica
 - <http://www.hispavila.com/3ds/lecciones/lecc3.htm> Fuente a 24V a 5A.

- <http://electronred.iespana.es/elrele.htm> Información sobre el relé
- http://picmania.garcia-cuervo.com/Electronica_Basica.htm Control desde un PIC
- <http://ie.fing.edu.uy/ense/asign/electrotec/e1/ClaseBaterias.pdf> Normas de baterías.
- [http://www.isofoton.com/technical/material/pdf/productos/fotovoltaica/modulos/ul/F T modulo fotovoltaico I150S 24ul esp.pdf](http://www.isofoton.com/technical/material/pdf/productos/fotovoltaica/modulos/ul/F_T_modulo_fotovoltaico_I150S_24ul_esp.pdf) Catálogo de paneles fotovoltáicos ISOFOTON.
- http://www.marviva.org/articulos/paneles_y_placas_solares_en_embarcaciones.htm Recomendación para paneles.
- http://www.inersol.es/Solar_Fotovoltaica.htm Artículo sobre la manera en que se debe recargar una batería.
- <http://www.personal.us.es/jmabril/Tema3/bat.pdf> Explicación de la descarga profunda
- http://www.info-ab.uclm.es/labeledec/solar/Componentes/CIRCUITOS_IMPRESOS.HTM Diseño y consejos sobre tarjetas de circuito impreso
- [http://petra.euitio.uniovi.es/~acamba/teoria/Tema% 207% 20Corriente% 20alterna.pdf](http://petra.euitio.uniovi.es/~acamba/teoria/Tema%207%20Corriente%20alterna.pdf) Comportamiento de elementos en corriente alterna
- http://webpages.ull.es/users/fexposit/ife_a2.pdf Comportamiento de elementos en corriente continua

ANEXO 1

CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN, PARA EJECUCIÓN DE TAREA DE CONTROL DEL MICROCONTROLADOR.

```

;*****
;* Programa para usar el conversor A/D del pic para el sensando de las fuentes
;* de alimentación primaria y de respaldo
;*****

list p=16F877
#include "p16F877.INC"

;***Defino algunas direcciones de registros de proposito general***

RESH equ 0x20      ;Variable que contiene los 8 bits mas significativos de la conver
Count equ 0x21     ;Variable que detiene el tiempo necesario para las conversiones
chnal equ 0x22     ;Variable que define el canal que se debe sensar

org 0x00
goto Inicio

org 0x04
call Lectura
retfie

;***Paso#1: Configuracion Pines y modulo A/D***

Inicio
    bsf STATUS,RP0      ;Acceso al banco1.
    movlw b'00111111'   ;Configuro TRISA
    movwf TRISA         ;como entradas.
    movlw 0x00          ;Configuro TRISB
    movwf TRISB        ;como salidas.
    movlw 0x00          ;Configuro TRISC
    movwf TRISC        ;como salidas.
    movlw b'00000010'   ;Configuro como pines analogicos los
    movwf ADCON1       ;de PORTA y digitales los de PORTE, el resultado
                        ;de la conversion lo justifico a la izquierda.

    bcf STATUS,RP0     ;Acceso al banco0.
    clrf PORTB         ;Encero el puerto B
    clrf PORTC         ;Encero el puerto C
    movlw 0x04         ;Coloco el numero de canales que tienen
    movwf chnal        ;que ser sensados

```

Configuracion de interrupciones A/D

Conversion

```

call Selec          ;Va a subrutina de seleccion del canal
bsf INTCON,GIE     ;Habilito las interrupciones tanto
bsf INTCON,PEIE    ;generales como perifericas.
bsf STATUS,RP0    ;Acceso al banco1.
bsf PIE1,ADIE     ;Habilito la interrupcion del convertidor A/D.
bcf STATUS,RP0    ;Acceso al banco0.

```

*** Espero tiempo de adquisicion***

```

clrf Count        ;Limpio el registro count
call Espera1     ;Llamo un retardo para el tiempo de adquisicion.

```

*** Inicio de la conversion***

```

bsf ADCON0,2     ;Comienzo la conversion.

```

*** Espero que se complete la conversion***

```

btfsc ADCON0,2   ;Verifica si la conversion
goto $-1        ;ha sido completada si no se mantiene en el laso.
movlw 0x04       ;Se resta 4-chnal para ver canal se senso y la accion
subwf chnal,0   ;que se debe ejecutar
btfsc STATUS,Z   ;Se senso el canal 0?
call alimentacion ;Si, ir a accion de la alimentacion
movlw 0x03       ;Se resta 3-chnal para ver canal se senso y la accion
subwf chnal,0   ;que se debe ejecutar
btfsc STATUS,Z   ;Se senso el canal 1?
call transmision ;Si, ir a del sensor
movlw 0x02       ;Se resta 2-chnal para ver canal se senso y la accion
subwf chnal,0   ;que se debe ejecutar
btfsc STATUS,Z   ;Se senso el canal 2?
call sensor      ;Si, ir a accion de la interface del sensor
movlw 0x01       ;Se resta 1-chnal para ver canal se senso y la accion
subwf chnal,0   ;que se debe ejecutar
btfsc STATUS,Z   ;Se senso el canal 3?
call interface   ;Si, ir a accion del equipo de interface

```

```

call Espera2           ;Llamada a subrutina de espera de 2Tad.
decfsz chnal,1        ;Restar chnal=chnal-1. Es chnal= 0
goto Conversion       ;No,Vuelvo a la rutina principal de conversion.
movlw 0x04            ;Si, cargo el numero de canales a ser sensados
movwf chnal           ;en chnal
goto Conversion       ;Vuelvo a la rutina principal de conversion.

```

;***** SUBRUTINAS DE SELECCION Y LECTURA*****

```

Selec                 ;Subrutina que selecciona el canal que se va a sensar
movlw 0x41            ;Se escoge el reloj de conversion A/D cada 2us, se escoge
movwf ADCON0          ;el canal 0 y se habilita el modulo de A/D
movlw 0x04            ;Al 4-chnal para ver si es el canal 0
subwf chnal,0         ;el que se debe sensar
btfsc STATUS,Z       ;Se debe sensar el canal 0?
goto finselec        ;Si, ir al fin de la seleccion
movlw 0x49            ;Se escoge el reloj de conversion A/D cada 2us, se escoge
movwf ADCON0          ;el canal 1 y se habilita el modulo de A/D
movlw 0x03            ;Al 3-chnal para ver si es el canal 1
subwf chnal,0         ;el que se debe sensar
btfsc STATUS,Z       ;Se debe sensar el canal 1?
goto finselec        ;Si, ir al fin de la seleccion
movlw 0x51            ;Se escoge el reloj de conversion A/D cada 2us, se escoge
movwf ADCON0          ;el canal 2 y se habilita el modulo de A/D
movlw 0x02            ;Al 2-chnal para ver si es el canal 2
subwf chnal,0         ;el que se debe sensar
btfsc STATUS,Z       ;Se debe sensar el canal 2?
goto finselec        ;Si, ir al fin de la seleccion
movlw 0x59            ;Se escoge el reloj de conversion A/D cada 2us, se escoge
movwf ADCON0          ;el canal 3 y se habilita el modulo de A/D
finselec              ;Fin de la seleccion
return

Lectura               ;Subrutina que se ejecuta cuando la conversion esta completa
bcf STATUS,RP0       ;Acceso al banco0.
movf ADRESH,0        ;Paso el valor de ADRESL a W.
movwf RESH           ;Paso el valor de W a RESH.
clrf Count           ;Limpio registro Count
bcf PIR1,ADIF        ;Limpio la bandera de interrupcion del modulo A/D.

```

```

return

alimentacion                ;Subrutina define estado de alimentacion de respaldo
    movlw 0xC6                ;Se carga el limite medio
    subwf RESH,0              ;RESH- 0xE9 para saber si el valor medido>nivel medio
    btfsc STATUS,C           ;Es negativo?, Si entonces salta
    goto IFRup               ;No, ir a apagar senal IFR
    movlw 0xBD                ;cargar el limite bajo
    subwf RESH,0              ;RESH- 0xDE para saber si el valor convertido es negativo
    btfsc STATUS,C           ;Es negativo?, Si entonces salta
    goto AL1                  ;No, activar alarma de nivel medio
    bcf PORTB,0               ;Apaga IFR
    bcf PORTC,4               ;Apaga LAR
    goto fin1                 ;Regresar a rutina principal

AL1
    bcf PORTC,4               ;Apaga LAR
    clrf Count                ;Encera contador
    call Espera3              ;Periodo de tiempo para que parpadee luz indicadora
    call Espera3
    bsf PORTC,4               ;Prende LAR
    goto fin1

IFRup
    bsf PORTB,0               ;Prender IFR
    bsf PORTC,4               ;Prende LAR

fin1
return

transmision
    movlw 0xC6                ;Se carga el limite medio
    subwf RESH,0              ;RESH- 0xF8 para saber si el valor medido>nivel medio
    btfsc STATUS,C           ;Es negativo?, Si entonces salta
    goto señal4               ;No, ir a apagar señal CT y prender señal LAT
    movlw 0xBD                ;cargar el limite bajo
    subwf RESH,0              ;RESH- 0xE8 para saber si el valor convertido es negativo
    btfsc STATUS,C           ;Es negativo?, Si entonces salta
    goto AL4                  ;No, activar alarma de nivel medio
    bsf PORTB,7               ;Prender CT
    bcf PORTB,3               ;Apagar LAT
    goto fin4                 ;Regresar a rutina principal

AL4

```

```

    bcf PORTB,3      ;Apaga LAR
    clrf Count      ;Encera contador
    call Espera3    ;Periodo de tiempo para que parpadee luz indicadora
    call Espera3
    bsf PORTB,3     ;Prende LAR
    goto fin4
señal4
    bcf PORTB,7     ;Apagar CT
    bsf PORTB,3     ;Prender LAT
fin4
    return

sensor              ;Subrutina define estado de la alimentacion del sensor
    movlw 0xC6     ;Se carga el limite medio
    subwf RESH,0   ;RESH- 0xF8 para saber si el valor medido>nivel medio
    btfsc STATUS,C ;Es negativo?, Si entonces salta
    goto señal2   ;No, ir a apagar señal CS y prender señal LAS
    movlw 0xBD     ;cargar el limite bajo
    subwf RESH,0   ;RESH- 0xE8 para saber si el valor convertido es negativo
    btfsc STATUS,C ;Es negativo?, Si entonces salta
    goto AL2      ;No, activar alarma de nivel medio
    bsf PORTB,6    ;Prender CS
    bcf PORTB,2    ;Apagar LAS
    goto fin2     ;Regresar a rutina principal
AL2
    bcf PORTB,2    ;Apaga LAR
    clrf Count    ;Encera contador
    call Espera3  ;Periodo de tiempo para que parpadee luz indicadora
    call Espera3
    bsf PORTB,2    ;Prende LAR
    goto fin2
señal2
    bcf PORTB,6    ;Apagar CS
    bsf PORTB,2    ;Prender LAS
fin2
    return

interface
    movlw 0xC6     ;Se carga el limite medio
    subwf RESH,0   ;RESH- 0xF8 para saber si el valor medido>nivel medio

```

```

    btfsc STATUS,C      ;Es negativo?, Si entonces salta
    goto señal3        ;No, ir a apagar señal CI y prender señal LAI
    movlw 0xBD         ;cargar el limite bajo
    subwf RESH,0       ;RESH- 0xE8 para saber si el valor convertido es negativo
    btfsc STATUS,C      ;Es negativo?, Si entonces salta
    goto AL3          ;No, activar alarma de nivel medio
    bsf PORTB,5        ;Prender CI
    bcf PORTB,1        ;Apagar LAI
    goto fin3         ;Regresar a rutina principal

AL3
    bcf PORTB,1        ;Apaga LAR
    clrf Count        ;Encera contador
    call Espera3       ;Periodo de tiempo para que parpadee luz indicadora
    call Espera3
    bsf PORTB,1        ;Prende LAR
    goto fin2

señal3
    bcf PORTB,5        ;Apagar CI
    bsf PORTB,1        ;Prender LAI

fin3
    return

;*****SUBROUTINAS DE TIEMPO DE ESPERA*****

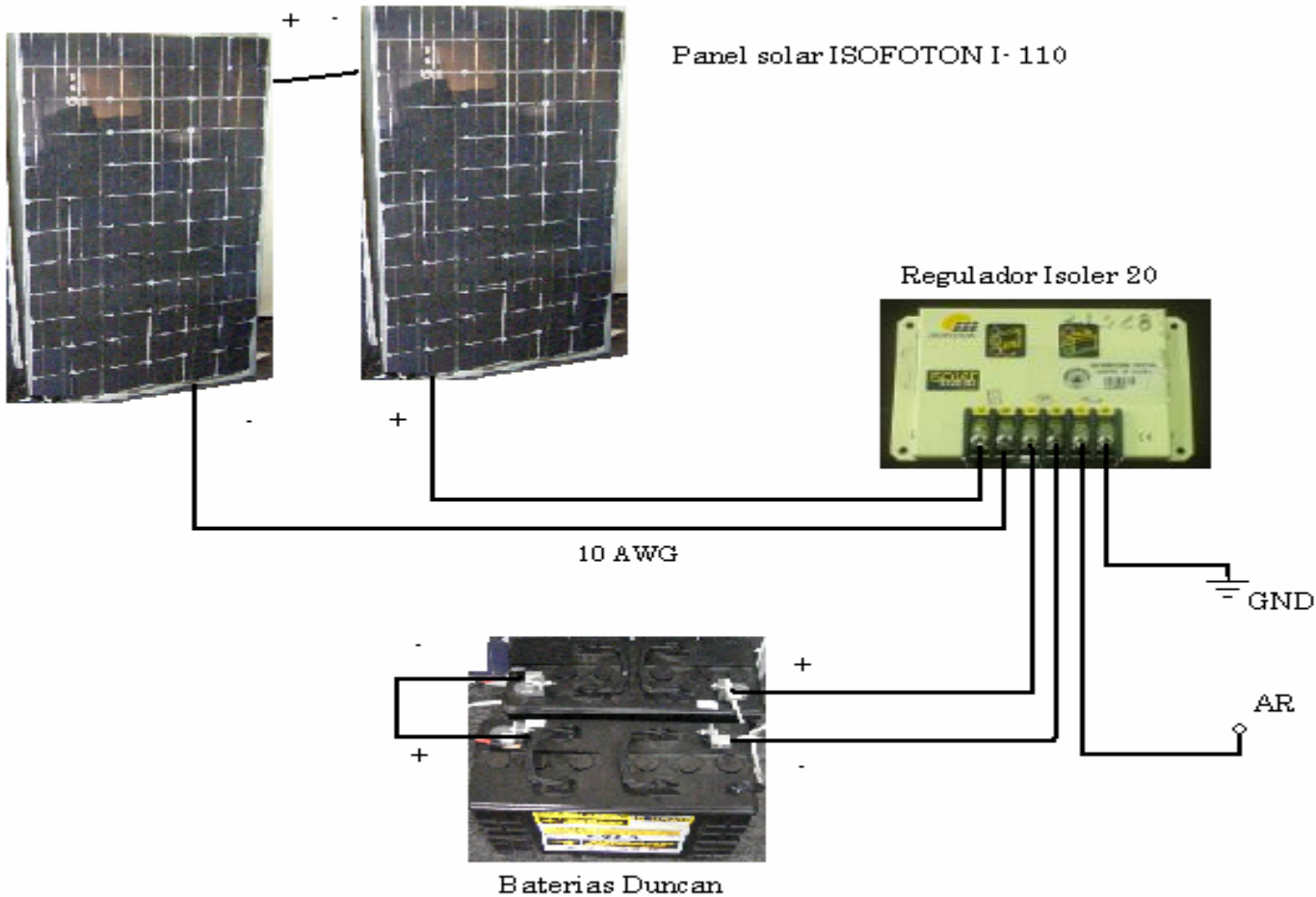
Espera1                ;Subrutina de espera para el
    movlw 0x20         ;tiempo de conversion de 19.2us.
    movwf Count        ;Como cada instruccion tarda 1us tenemos un laso que dura
Loop1                  ;32*1us=32us y como se requiere un minimo de 12 Tad
    decfsz Count,1    ;con Tad= 8Tosc con un cristal de 4MHz tenemos Tad=8*1/4MHz
    goto Loop1        ;Tad=2us, necesitamos un minino de tiempo de conversion de
    return            ;12*2us= 24us, que con los 32us que dura el laso es suficiente

Espera2                ;Subrutina de espera para el
    movlw 0x04         ;antes de una nueva conversion de 2tad.
    movwf Count        ;Como cada instruccion tarda 1us tenemos un laso que dura
Loop2                  ;4*1us=4us y como se requiere un minimo de 2 Tad
    decfsz Count,1    ;con Tad= 8Tosc con un cristal de 4MHz tenemos Tad=8*1/4MHz
    goto Loop2        ;Tad=2us, necesitamos un minino de tiempo de espera de
    return            ;2*2us= 4us, con los 4us que dura el laso es suficiente

```

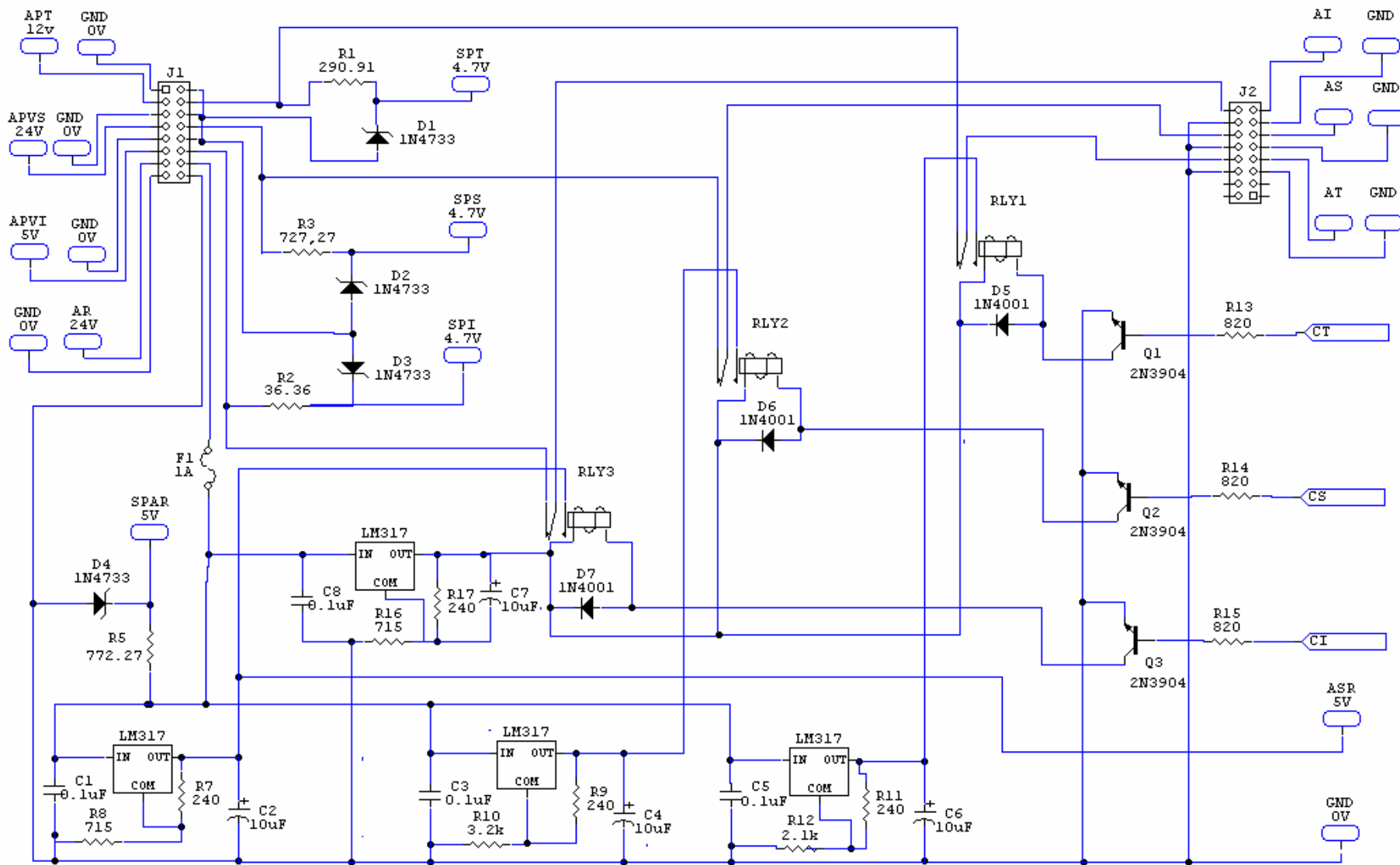

ANEXO 2

CONEXIONES ELÉCTRICAS ENTRE PANEL SOLAR, BATERÍAS Y REGULADOR.



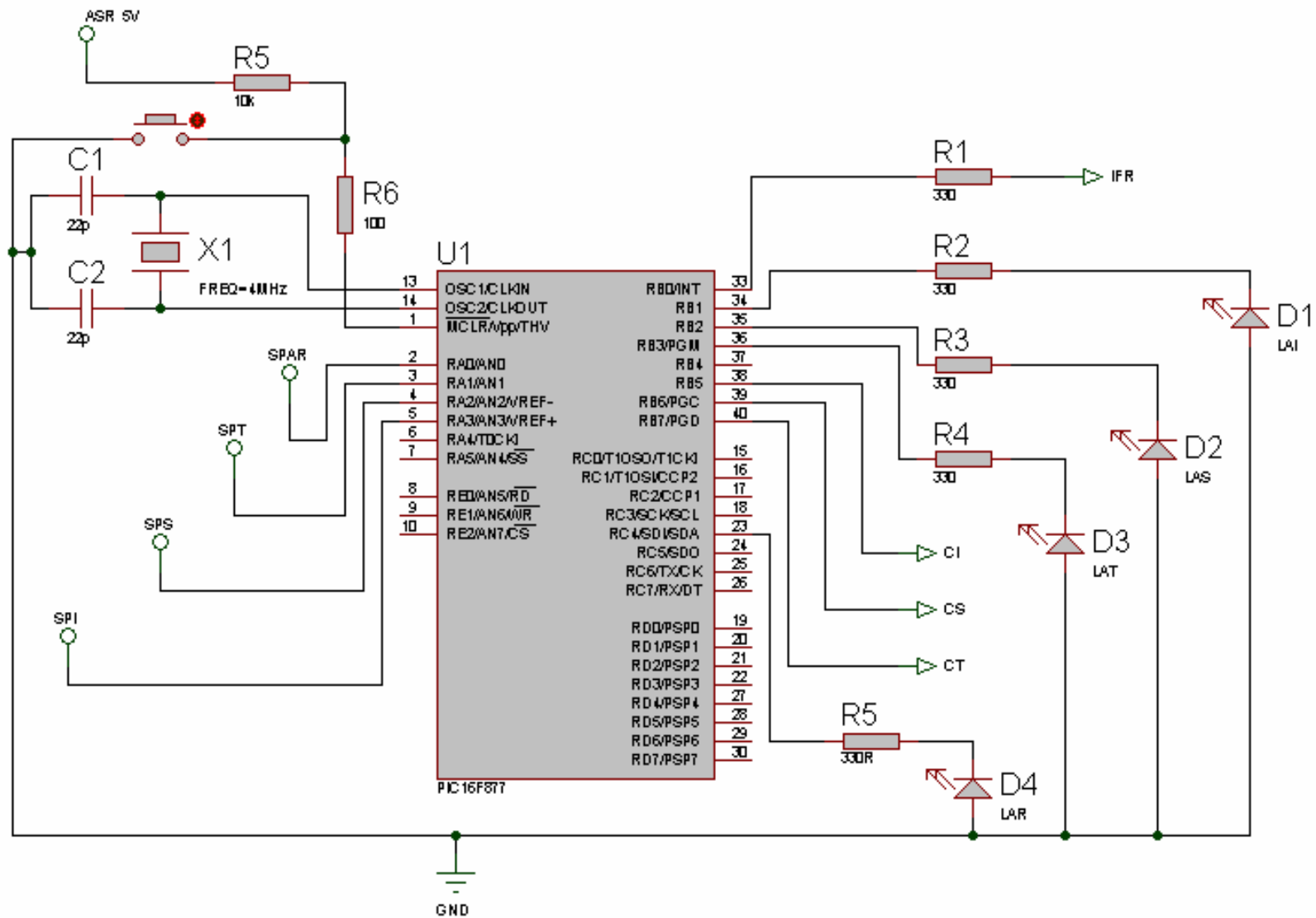
ANEXO 3

DISEÑO ELÉCTRICO DEL CONTROLADOR PARA EL SISTEMA PROTOTIPO DE RESPALDO DE ENERGÍA.



ANEXO 4

CONEXIONES ELÉCTRICAS PARA EL SUBSISTEMA DE CONTROL DEL CONTROLADOR DISEÑADO PARA EL SISTEMA PROTOTIPO DE RESPALDO DE ENERGÍA.



ANEXO 5

DEMOSTRACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ELÉCTRICO DE BOBINAS Y CAPACITORES EN DC.

Comportamiento de baterías y bobinas en DC

Para poder establecer el comportamiento y el tipo de impedancia que posee un equipo al estar energizado con DC, a continuación se establece un breve análisis del comportamiento de los elementos que representan la parte reactiva de una impedancia, esto es bobinas y capacitores. Tomando en cuenta la figura 1 podemos apreciar un capacitor conectada a una fuente de voltaje en DC.

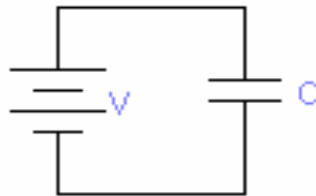


Figura.1. Esquema de un capacitor conectado a una fuente DC.

En función del esquema mostrado en la figura 6.1 podemos establecer la siguiente relación:

$$V = V_c(t) \quad \text{Ec. 1}$$

Conociendo que la corriente en el capacitor varía en función de la variación de su voltaje con respecto al tiempo, de acuerdo a la siguiente relación tenemos:

$$i(t) = C \frac{\partial V_c(t)}{\partial t} \quad \text{Ec. 2}$$

Por lo operando y reemplazando la ecuación anterior en la ecuación Ec. 6.1 tenemos

$$V = \frac{1}{c} \int i(t) \partial t$$

$$\frac{\partial(V)}{\partial t} = \frac{1}{c} \frac{\partial(\int i(t) \partial t)}{\partial t}$$

$$0 = i(t)$$

Como podemos apreciar, la corriente que circula a través del circuito mostrado en la figura 6.1 es cero, ya que los condensadores una vez cargados al nivel con que son alimentados no permiten el paso de la corriente, siempre y cuando el circuito mostrado llega a un régimen permanente (estabilización de valores de corriente y voltaje estacionarios constantes). Esto nos lleva a concluir que un capacitor al trabajar en DC se comporta como un circuito abierto.

Para establecer el comportamiento de una bobina a continuación se muestra la figura 2, en donde se halla conectada una bobina a una fuente de voltaje DC:

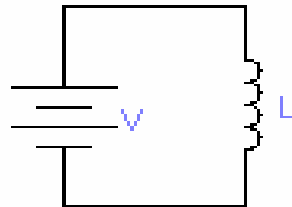


Figura. 2. Esquema de una bobina conectada a una fuente DC.

En función del esquema mostrado en la figura 6.2 podemos establecer la siguiente relación:

$$V = V_b(t) \quad \text{Ec. 3}$$

Conociendo que el voltaje en una bobina varía en función de la variación de la corriente que la atraviesa con respecto al tiempo, de acuerdo a la siguiente relación tenemos:

$$V_b(t) = L \frac{\partial i(t)}{\partial t} \quad \text{Ec. 4}$$

Por lo operando y reemplazando la ecuación anterior en la ecuación Ec. 3 tenemos

$$V = L \frac{\partial i(t)}{\partial t}$$
$$i(t) = \frac{V}{L} \int_0^t \partial t$$
$$i(t) = \frac{V}{L} t$$

Como podemos apreciar la expresión a la que se llega es una función del tiempo por lo que se debe tener en cuenta que en estado estacionario cualquier bobina se encontrara trabajando para un tiempo $t > 0$ que prácticamente tendera al infinito, por lo que tomando en cuenta esta consideración se tiene:

$$i(t) = \frac{V}{L} (\infty)$$

$$i(t) = \infty$$

Esto nos permite definir que una bobina al trabajar en estado estacionario alimentada con una fuente DC, la corriente que es capaz de soportar es infinita. Esto conlleva a concluir que una bobina en estado estacionario se comporta como un corto circuito.

Del análisis realizado podemos concluir que cualquier equipo electrónico alimentado en DC, posee una impedancia netamente resistiva, ya que las bobinas y capacitares no representan ningún tipo de carga para la alimentación.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1. 1. Ubicación Geográfica del Poliducto Quito-Ambato	3
Figura. 1. 2. Diagrama de Flujo del Poliducto Quito-Ambato	5
Figura. 2. 1. Generación de electricidad a partir de combustibles fósiles.	10
Figura. 2. 2. Foto de la Central Termoeléctrica Guangopolo	10
Figura. 2. 3. Esquema de generación eléctrica a partir de energía nuclear.	13
Figura. 2. 4. Represas Hidroeléctricas.	15
Figura. 2. 5. Funcionamiento de una represa hidroeléctrica.	15
Figura. 2. 6. Esquema de un acumulador.	17
Figura. 2. 7. Esquema de una casa que aprovecha al máximo la luz solar.	23
Figura. 2. 8. Esquema de funcionamiento de un panel solar.	24
Figura. 2. 9. Esquema de elementos que conforman una celda solar.	24
Figura. 2.10. Esquema de generación eléctrica en presencia de luz solar.	24
Figura. 2.11. Partes de un aerogenerador	26
Figura. 2.12. Foto de un campo de generación eólica	27
Figura. 2.13. Esquema de una planta de generación eléctrica usando biomasa.	28
Figura. 3. 1. Gráfica del nivel de lluvias promedio en la el sector norte y centro de la sierra	32
Figura. 3. 2. Distribución geográfica del potencial eólico	33
Figura. 3. 3. Distribución geográfica potencial solar	34
Figura. 4. 1. UPS Stand By.	46
Figura. 4. 2. UPS de Línea Interactiva	47
Figura. 4. 3. UPS Stand by-Ferro	48
Figura. 4. 4. UPS de Doble Conversión On-Line.	50
Figura. 4. 5. UPS de Conversión On-Line Delta.	51
Figura. 4. 6. Subsistemas que conforman el sistema de respaldo de energía	55
Figura. 4. 7. Señales del subsistema de alimentación primaria	56
Figura. 4. 8. Señales del subsistema de alimentación de respaldo	58

Figura. 4. 9. Señales del subsistema de protección y acondicionamiento	59
Figura. 4.10. Señales del subsistema controlador.	61
Figura. 4.11. Acondicionamiento de la etapa de sensamiento de vibraciones a) Sensor b) Interfase	63
Figura. 4.12. Acondicionamiento de la etapa de transmisión	63
Figura. 4.13. Elementos conforman el SAR	66
Figura. 4.14. Etapa de acondicionamiento del SAR	72
Figura. 4.15. Circuito eléctrico de la etapa de acondicionamiento de SPYA.	73
Figura. 4.16. Circuito eléctrico de la etapa de alternación de SPYA	75
Figura. 4.17. Diagrama del circuito que conforma el SC	77
Figura. 4.18. Diagrama de bloques del funcionamiento del sistema de respaldo de energía	78
Figura. 4.19. Diagrama de la lógica de programación en caso de que caigan las alimentaciones primarias un 40 y 75%	82
Figura. 5. 1. Montaje preliminar del sistema de respaldo de energía	85
Figura. 5. 2. Diseño para la tarjeta de circuito impreso	86
Figura. 5. 3. Montaje final del controlador del sistema de respaldo de energía	87
Figura. 5. 4. Vista frontal de la tarjeta del controlador del sistema de respaldo de energía	87
Figura. 5. 5. Vista posterior de la tarjeta del controlador del sistema de respaldo de energía	88
Figura. 5. 6. Vista lateral izquierda de la tarjeta del controlador del sistema de respaldo de energía	88
Figura. 5.7. Vista lateral derecha de la tarjeta del controlador del sistema de respaldo de energía	89
Figura. 5. 8. Equipos de la etapa de generación del sistema de respaldo de energía	90
Figura. 5. 9. Carcasa del que contiene al controlador	91
Figura. 5.10. Integración de todo el sistema de respaldo de energía	91
Figura. 5.11. Integración de todo el sistema de respaldo de energía.	92
Figura. 6. 1. Tendencia de los voltajes	106
Figura. 6. 2. Tendencia de las corrientes	106
Figura. 6. 3. Valores de voltaje generados y almacenados por la etapa de generación eléctrica.	107

Figura. 6. 4. Valores de corriente requeridos por la carga y generados por los paneles fotovoltaicos

108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla. 1. 1. Estaciones del Poliducto Quito-Ambato	4
Tabla. 1. 2. Características Técnicas del Poliducto Quito-Ambato	4
Tabla. 1. 3. Volumen de Combustible transportado por el Poliducto Quito-Ambato año 2005	6
Tabla. 2. 1. Cuadro comparativo de usar combustibles fósiles para generar electricidad	11
Tabla. 2. 2. Cuadro comparativo de usar energía nuclear para generar electricidad	14
Tabla. 2. 3. Cuadro comparativo de usar energía hidráulica para generar electricidad	16
Tabla. 2. 4. Cuadro comparativo entre los diferentes tipos de acumuladores	21
Tabla. 2. 5. Cuadro comparativo de usar energía solar para generar electricidad	25
Tabla. 2. 6. Cuadro comparativo de emplear energía cólica para generar energía eléctrica	27
Tabla. 2. 7. Cuadro comparativo de generar electricidad empleando biomasa	29
Tabla. 3. 1. Cuadro de las temperaturas de las ciudades por la que atraviesa el poliducto Quito-Ambato	31
Tabla. 3. 2. Potenciales eólicos en la región interandina.	32
Tabla. 3. 3. Especificaciones de voltaje y corriente de los posibles subsistemas que conforman el proyecto de detección de fugas	35
Tabla. 3. 4. Relaciones entre tamaños y generación eléctrica producida por celdas solares	38
Tabla. 3. 5. Características de los recursos empleados	40
Tabla. 3. 6. Características de los equipos de generación eléctrica.	41
Tabla. 3. 7. Otras características para generar electricidad en la zona Quito- Ambato	42

Tabla. 3. 8. Tabla para valoración de las fuentes de suministro eléctrico de respaldo	42
Tabla. 3. 9. Tabla para cuantificar y valorar las fuentes de suministro eléctrico de respaldo	43
Tabla. 4. 1. Características eléctricas de los sistemas que conforman el proyecto de detección de fugas	53
Tabla. 4. 2. Características eléctricas de la alimentación primaria de los equipos que conforman el proyecto de detección de fugas	56
Tabla. 4. 3. Características de las señales del subsistema de alimentación primaria	57
Tabla. 4. 4. Características de las señales del subsistema de protección y acondicionamiento	59
Tabla. 4. 5. Características de las señales del subsistema controlador	61
Tabla. 4. 6. Valores de elementos para circuitos del SAP	65
Tabla. 4. 7. Características de paneles fotovoltaicos, regulador y baterías	66
Tabla. 4. 8. Valores de consumo de energía de todo el sistema de detección de fugas	67
Tabla. 4. 9. Valores de la etapa de acondicionamiento del SAR	72
Tabla. 4.10. Valores de resistencia de la etapa de acondicionamiento del SPYA	74
Tabla. 4.11. Valores de operación analógicos considerados para las diferentes alimentaciones	79
Tabla. 4.12. Valores de operación digitales considerados para las diferentes alimentaciones	81
Tabla. 6. 1. Valores de resistencia recalculadas para la etapa de regulación de SPYA	94
Tabla. 6. 2. Tabla para realizar conexiones con el controlador del sistema de respaldo de energía	96
Tabla. 6. 3. Voltajes medidos y acondicionados durante la calibración del controlador	98
Tabla. 6. 4. Voltajes medidos durante el decremento de energía de las alimentaciones primarias	98
Tabla. 6. 5. Error producido en la etapa de acondicionamiento	99
Tabla. 6. 6. Error total producido durante el sensamiento de las alimentaciones primarias	99

Tabla. 6. 7. Voltajes medidos durante el incremento de energía de las alimentaciones primarias	100
Tabla. 6. 8. Error producido en la etapa de acondicionamiento	101
Tabla. 6. 9. Error total producido durante el sensamiento de las alimentaciones primarias	101
Tabla. 6.10. Valores de monitoreo de la alimentación de entrada	102
Tabla. 6.11. Error total producido durante el sensamiento de la alimentación de los paneles fotovoltaicos	102
Tabla. 6.12. Valores de voltaje al conectar los paneles y baterías al regulador	104
Tabla. 6.13. Valores de resistencia recalculadas para la etapa de regulación de SPYA	104
Tabla. 6.14. Valores de voltaje y corriente de los equipos alimentados con los paneles fotovoltaicos	105
Tabla. 6.15. Valores generados por paneles y almacenados en baterías diariamente	105
Tabla. 6.16. Condiciones Ambientales.	108
Tabla. 6.17. Tiempos de reacción entre fuentes de alimentación	110
Tabla. 7. 1. Costo de la construcción del hardware del sistema prototipo de respaldo de energía	114
Tabla. 7. 2. Costo de la implementación del sistema prototipo de respaldo de energía para un punto de sensamiento	115
Tabla. 7. 3. Costo de emplear una línea eléctrica dedicada a lo largo del poliducto Quito-Ambato	117
Tabla. 7. 4. Costo por comercialización de los derivados en el poliducto Quito- Ambato en los años 2005 y 2006	118

GLOSARIO

Prototipo.- Es una representación limitada del diseño de un producto que permite a las partes responsables de su creación experimentar su uso, probarlo en situaciones reales y explorar su uso. Un prototipo también se puede referir a cualquier tipo de máquina en pruebas, o un objeto diseñado para una demostración de cualquier tipo. Un prototipo puede ser cualquier cosa, desde un trozo de papel con sencillos dibujos a un complejo software.

Poliducto.- Es el ducto para el transporte de productos derivados del petróleo crudo desde el punto de carga hasta una terminal u otro poliducto y que comprende las instalaciones y equipos necesarios para dicho transporte.

Gasoductos.- Es el ducto para el transporte exclusivo de gas desde el punto de carga hasta una terminal u otro poliducto y que comprende las instalaciones y equipos necesarios para dicho transporte.

Buquetanques.- Medio de transportación fluvial, que almacena petróleo crudo en contenedores especialmente diseñados, para su exportación.

Estación reductora.- Instalación conformada por válvulas y tuberías, que permiten la regulación del caudal de combustible que la atraviesa.

Terminal de almacenamiento.- Instalación petrolera en la que se almacenan grandes cantidades de combustible en tanque destinados para el referido propósito.

Terminal despacho.- Dícese del terminal de almacenamiento que esta en capacidad de distribuir combustible a autotanques o buquestante, antes de que se comercializado finalmente.

Alabes.- Componente mecánico de los compresores axiales en una turbina, que realizan la función de comprimir el aire atmosférico para su posterior entrada a la cámara de

combustión. Los alabes son perfiles aerodinámicos que reciben el gas y lo hacen cambiar de velocidad y presión, absorbiendo así la energía. Van sujetos al eje, formando las llamadas *ruedas*.

Turbina.- Una turbina es una máquina a través de la cual transita un fluido de manera continua, y que la atraviesa en un movimiento rotativo de un eje. Una turbina, es una turbo máquina, que consta de un eje de rotación que se mueve gracias a una o dos ruedas con paletas adosadas, las que se denominan rotor y estator. El rotor se mueve gracias al impulso que le da el fluido con su movimiento continuado, arrastrando el eje que permite el movimiento de rotación. No hay que confundir la turbina con los generadores, ya que en ocasiones se aprovecha el movimiento rotatorio del eje de la turbina para generar por ejemplo electricidad.

Generador eléctrico.- Un generador eléctrico es todo dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrico entre dos de sus puntos, llamados polos, terminales o bornes. Los generadores eléctricos son máquinas destinadas a transformar la energía mecánica en eléctrica. Esta transformación se consigue por la acción de un campo magnético sobre los conductores eléctricos dispuestos sobre una armadura (denominada también estator). Si mecánicamente se produce un movimiento relativo entre los conductores y el campo, se generara una fuerza electromotriz (F.E.M.).

Inducción electromagnética.- Es el fenómeno que origina la producción de una fuerza electromotriz (f.e.m. o voltaje) en un medio o cuerpo expuesto a un campo magnético variable, o bien en un medio móvil respecto a un campo magnético estático. Es así que, cuando dicho cuerpo es un conductor, se produce una corriente inducida. Este fenómeno fue descubierto por Michael Faraday quién lo expresó indicando que la magnitud del voltaje inducido es proporcional a la variación del flujo magnético.

Fisión.- Proceso nuclear, lo que significa que tiene lugar en el núcleo del átomo. La fisión ocurre cuando un núcleo se divide en dos o más núcleos pequeños, más algunos subproductos. Estos subproductos incluyen neutrones libres, fotones (generalmente rayos gamma) y otros fragmentos del núcleo como partículas alfa (núcleos de Helio) y beta (electrones y positrones de alta energía).

Fusión.- Proceso mediante el cual dos núcleos atómicos se unen para formar uno de mayor peso atómico. El nuevo núcleo tiene una masa inferior a la suma de las masas de los dos núcleos que se han fusionado para formarlo. Esta diferencia de masa es liberada en forma de energía. La energía que se libera varía en función de los núcleos que se unen y del producto de la reacción. La cantidad de energía liberada corresponde a la fórmula $E = mc^2$ donde m es la diferencia de masa observada en el sistema entre antes y después de la fusión y " c " es la velocidad de la luz (300.000 km/s).

Residuos nucleares.- Son residuos que contienen elementos químicos radiactivos que no tienen un propósito práctico. Es frecuentemente el subproducto de un proceso nuclear, como la fisión nuclear. El residuo también puede generarse durante el procesamiento de combustible para los reactores o armas nucleares o en las aplicaciones médicas como la radioterapia o la medicina nuclear.

Electrolito.- Un electrolito es una solución de sales en agua, que da lugar a la formación de iones y que permiten que la energía eléctrica pase a través de ellos. Los electrolitos pueden ser débiles o fuertes, según estén parcial o totalmente ionizados o disociados en medio acuoso. Un electrolito fuerte es toda sustancia que al disolverse en agua lo hace completamente y provoca exclusivamente la formación de iones con una reacción de disolución prácticamente irreversible. Un electrolito débil es una sustancia que al disolverse en agua lo hace parcialmente y produce iones parciales, con reacciones de tipo reversible. Los electrolitos generalmente existen como ácidos, bases o sales.

Aerogeneradores.- Es un generador eléctrico movido por la acción del viento. Sus precedentes directos son los molinos de viento que se empleaban para la molienda y obtención de harina. En este caso, la energía eólica, en realidad la energía cinética del aire en movimiento, mueve la hélice y, a través de un sistema mecánico de engranajes, hace girar el rotor de un generador, normalmente un alternador trifásico, que convierte la energía mecánica rotacional en energía eléctrica. Los aerogeneradores se agrupan en parques eólicos distanciados unos de otros, en función del impacto ambiental y de las turbulencias generadas por el movimiento de las palas.

Regulador de voltaje.- Dispositivo electrónico que mantiene constante los niveles de voltaje a la salida del mismo, a pesar de que existan variaciones de voltaje a la entrada.

Relé.- Es un dispositivo electromecánico, que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

Microcontrolador.- Es un circuito integrado, capaz de reemplazar varios circuitos lógicos, el mismo que ofrece las ventajas de un pequeño computador (en su interior encontramos un procesador, memoria, y varios periféricos) y que permite ser programado para ejecutar una tarea específica.

Controlador programable.- Es un dispositivo electrónico capaz de interactuar con su entorno, en función de las condiciones dadas en un determinado momento y programadas con anterioridad.

SAP.- Subsistema de alimentación primaria. Subsistema que se encarga de acondicionar los niveles de voltaje de la alimentación principal de los sistemas externos (sensamiento de fugas y transmisión de datos), en voltajes analógicos de 0 a 4V para ser sensados y determinar el momento de falla de los mismos.

SAR.- Subsistema de alimentación de respaldo. Subsistema que se encarga de almacenar la energía eléctrica DC producida en los paneles fotovoltaicos, en baterías para aprovechar la energía guardada como respaldo, en caso de falla de la alimentación primaria de los sistemas externos (sensamiento de fugas y transmisión de datos).

SPYA.- Subsistema de protección y acondicionamiento. Subsistema, que se encarga de acondicionar la energía de respaldo en los voltajes requeridos por los sistemas externos (sensamiento de fugas y transmisión de datos), así como también es el subsistema que soporta la conmutación entre la alimentación primaria y de respaldo de los mismos

SC.- Subsistema controlador. Subsistema que define el comportamiento del sistema prototipo, gracias a la programación desarrolla para el microcontrolador que conforma este subsistema.

DATASHEET

INDICE DE DATASHEET

Características eléctricas del microcontrolador	156
Características de relé empleado	157
Características de transistor empleado	159

PIC16F87X

15.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Absolute Maximum Ratings †

Ambient temperature under bias	-55 to +125°C
Storage temperature	-65°C to +150°C
Voltage on any pin with respect to V _{SS} (except V _{DD} , $\overline{\text{MCLR}}$, and RA4)	-0.3 V to (V _{DD} + 0.3 V)
Voltage on V _{DD} with respect to V _{SS}	-0.3 to +7.5 V
Voltage on $\overline{\text{MCLR}}$ with respect to V _{SS} (Note 2)	0 to +14 V
Voltage on RA4 with respect to V _{SS}	0 to +8.5 V
Total power dissipation (Note 1)	1.0 W
Maximum current out of V _{SS} pin	300 mA
Maximum current into V _{DD} pin	250 mA
Input clamp current, I _{IK} (V _I < 0 or V _I > V _{DD}).....	± 20 mA
Output clamp current, I _{OK} (V _O < 0 or V _O > V _{DD}).....	± 20 mA
Maximum output current sunk by any I/O pin.....	25 mA
Maximum output current sourced by any I/O pin	25 mA
Maximum current sunk by PORTA, PORTB, and PORTE (combined) (Note 3).....	200 mA
Maximum current sourced by PORTA, PORTB, and PORTE (combined) (Note 3).....	200 mA
Maximum current sunk by PORTC and PORTD (combined) (Note 3)	200 mA
Maximum current sourced by PORTC and PORTD (combined) (Note 3)	200 mA

Note 1: Power dissipation is calculated as follows: $P_{dis} = V_{DD} \times (I_{DD} - \sum I_{OH}) + \sum \{(V_{DD} - V_{OH}) \times I_{OH}\} + \sum (V_{OL} \times I_{OL})$

2: Voltage spikes below V_{SS} at the $\overline{\text{MCLR}}$ pin, inducing currents greater than 80 mA, may cause latch-up. Thus, a series resistor of 50-100Ω should be used when applying a "low" level to the $\overline{\text{MCLR}}$ pin, rather than pulling this pin directly to V_{SS}.

3: PORTD and PORTE are not implemented on PIC16F873/876 devices.

† NOTICE: Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operation listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.



19.5×15.6×15.3

NT73-2

03001003508
05001012266  E158859
 LR814321  R9858271
PATENT NO.:95 2 18643.8

Features

- Small size, light weight, heavy reverse power.
- Low coil power consumption.
- PC board mounting.
- Suitable for automation control, telecommunication equipment, household electrical appliances and machinery electrical facilities.

Ordering Information

NT73-2 C S 10 DC12V 0.36

1 2 3 4 5 6

1 Part number, NT73-2	4 Contact rating, 5A,10A,12A,15A/125VAC,28VDC; 6A/277VAC 20A/125VAC 16VDC/10A/250VAC (0.8W); T _{UV} :5A/250VAC 28VDC
2 Contact arrangement: A:1A; B:1B; C:1C	5 Coil rated voltage(V): DC:3,5,6,9,12,24,48
3 Enclosure, S: Sealed type, NIL: Dust cover	6 Coil power consumption: 0.36/0.36W; 0.45/0.45W; 0.8/0.8W

Contact Data

Contact Arrangement	1A (SPSTNO) , 1B (SPSTNC) , 1C (SPDT(B-M))	
Contact Material	Ag2Cd Ag3SnO	
Contact Rating (resistive)	5A,6A,10A,12A,15A/125VAC,28VDC;20A/125VAC,16VDC; 6A/277VAC;10A/250VAC T _{UV} : 6A/250VAC, 28VDC (15A 0.45W; 20A 0.8W coil only) Motor load: 1/3HP 125VAC; 1/3HP 277VAC	
Max. Switching Power	420W 2500VA	
Max. Switching Voltage	110VDC 380VAC	Max. Switching Current:20A
Contact Resistance or Voltage drop	<100mΩ	Item 3.12 of IEC255-7
Operational life	Electrical	10 ⁶ Item 3.30 of IEC255-7
	Mechanical	10 ⁷ Item 3.31 of IEC255-7

Coil Parameter

Dash numbers	Coil voltage VDC		Coil resistance Ω ±10%	Pickup voltage VDC(max) (70%of rated voltage)	Release voltage VDC(min) (10% of rated voltage)	Coil power consumption W	Operate Time ms	Release Time ms
	Rated	Max.						
003-360	3	3.9	25	2.25	0.3	0.36	≤10	≤5
005-360	5	6.5	70	3.75	0.5			
006-360	6	7.8	100	4.50	0.6			
009-360	9	11.7	225	6.75	0.9			
012-360	12	15.6	400	9.00	1.2			
024-360	24	31.2	1600	18.0	2.4			
048-360	48	62.4	6400	36.0	4.8			
003-450	3	3.9	20	2.25	0.3	0.45	≤10	≤5
005-450	5	6.5	55.6	3.75	0.5			
006-450	6	7.8	80	4.50	0.6			
009-450	9	11.7	180	6.75	0.9			
012-450	12	15.6	320	9.00	1.2			
024-450	24	31.2	1280	18.0	2.4			
048-450	48	62.4	5120	36.0	4.8			
003-800	3	3.9	11	2.25	0.3	0.80	≤10	≤5
005-800	5	6.5	31	3.75	0.5			
006-800	6	7.8	45	4.50	0.6			
009-800	9	11.7	101	6.75	0.9			
012-800	12	15.6	180	9.00	1.2			
024-800	24	31.2	720	18.0	2.4			
048-800	48	62.4	2880	36.0	4.8			

CAUTION: 1.The use of any coil voltage less than the rated coil voltage will compromise the operation of the relay.
2.Pickup and release voltage are for test purposes only and are not to be used as design criteria.

Operation condition

Insulation Resistance	250M Ω min (at 500VDC)	Item 7 of IEC255-5
Dielectric strength Between contacts Between contact and coil	50Hz 750V 50Hz 1500V	Item 6 of IEC255-5 Item 6 of IEC255-5
Shock resistance	100m/s ² 11ms	IEC68-2-27 Test Ea
Vibration resistance	10~55Hz double amplitude 1.5mm	IEC68-2-6 Test Fc
Terminals strength	5N	IEC68-2-21 Test Ua1
Solderability	235 \pm 2 $^{\circ}$ C 3 \pm 0.5s	IEC68-2-20 Test T _a method 1
Ambient Temperature	-55~85 $^{\circ}$ C	
Relative Humidity	93% (at 40 $^{\circ}$ C)	IEC68-2-3Test Ca
Mass	9.5g	

Qualification inspection:

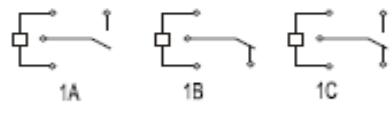
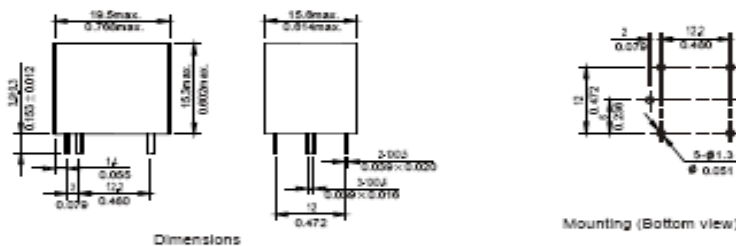
Perform the qualification test as specified in the table IV of IEC255-19-1 and minimum sample size 24.

Safety approvals

Safety approval	UL	TUV	CQC
Load	20A/125VAC 16VDC 10A/250VAC 6A/277VAC 1/3HP 125VAC/277VAC Insulation: B-class F-class	6A/250VAC 28VDC	7A/250VAC

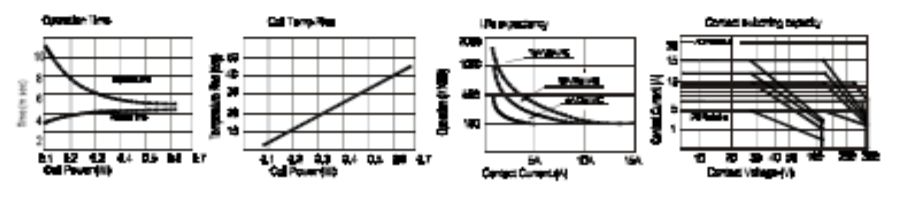
Dimensions

mm /inch



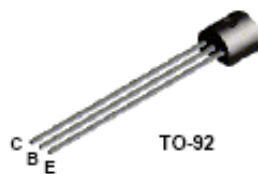
NOTES 1).Dimensions are in millimeters.
2).Inch equivalents are given for general information only.

Reference Data





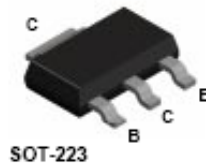
2N3904



MMBT3904



PZT3904



Amplificador NPN de propósito general

Este dispositivo está diseñado a modo de amplificador y enchufe de propósito general. El margen dinámico útil se extiende a 100 mA en el caso del enchufe y a 100 MHz en el caso del amplificador. Fuente obtenida de Process 23.

Especificaciones máximas absolutas*

TA = 25°C si no hay contraindicación

Símbolo	Parámetro	Valor	Unidades
V_{CE0}	Tensión colector-emisor	40	V
V_{CB0}	Tensión colector-base	60	V
V_{EB0}	Tensión emisor-base	6,0	V
I_C	Corriente del colector - c ontinua	200	mA
T_J, T_{stg}	Margen de temperaturas de la conexión de almacenamiento y funcionamiento	-55 to +150	°C

* Estos valores son límites y sobrepasarlos puede afectar a la capacidad de servicio de cualquier dispositivo semiconductor.

NOTAS

- 1) Estos valores límite se basan en una temperatura máxima de conexión de 150 grados centígrados.
- 2) Estos límites son de régimen permanente. Se debería consultar a la fábrica acerca de las aplicaciones que implican funcionamientos pulsados o ciclos de utilización reducidos.

Amplificador NPN de propósito general

(continuación)

Características eléctricas

TA = 25°C si no hay contraindicación

Símbolo	Parámetro	Condiciones de prueba	Mín.	Máx.	Unidades
---------	-----------	-----------------------	------	------	----------

CARACTERÍSTICAS DE DESCONEXIÓN

$V_{(BR)CEO}$	Tensión de ruptura colector-emisor	$I_C = 1,0 \text{ mA}, I_B = 0$	40		V
$V_{(BR)CSO}$	Tensión de ruptura colector-base	$I_C = 10 \mu\text{A}, I_E = 0$	60		V
$V_{(BR)ES0}$	Tensión de ruptura emisor-base	$I_E = 10 \mu\text{A}, I_C = 0$	6,0		V
I_{BL}	Corriente de corte de la base	$V_{CE} = 30 \text{ V}, V_{EB} = 0$		50	nA
I_{CCK}	Corriente de corte del colector	$V_{CE} = 30 \text{ V}, V_{EB} = 0$		50	nA

CARACTERÍSTICAS DE CONEXIÓN*

η_{FE}	Ganancia de corriente continua	$I_C = 0,1 \text{ mA}, V_{CE} = 1,0 \text{ V}$	40	300	
		$I_C = 1,0 \text{ mA}, V_{CE} = 1,0 \text{ V}$	70		
		$I_C = 10 \text{ mA}, V_{CE} = 1,0 \text{ V}$	100		
		$I_C = 50 \text{ mA}, V_{CE} = 1,0 \text{ V}$	60		
		$I_C = 100 \text{ mA}, V_{CE} = 1,0 \text{ V}$	30		
$V_{CE(sat)}$	Tensión de saturación colector-emisor	$I_C = 10 \text{ mA}, I_B = 1,0 \text{ mA}$ $I_C = 50 \text{ mA}, I_B = 5,0 \text{ mA}$		0,2 0,3	V V
$V_{BE(sat)}$	Tensión de saturación base-emisor	$I_C = 10 \text{ mA}, I_B = 1,0 \text{ mA}$ $I_C = 50 \text{ mA}, I_B = 5,0 \text{ mA}$	0,65	0,85 0,95	V V

CARACTERÍSTICAS DE PEQUEÑA SEÑAL

f_T	Producto de corriente -- ganancia -- ancho de banda	$I_C = 10 \text{ mA}, V_{CE} = 20 \text{ V},$ $f = 100 \text{ MHz}$	300		MHz
C_{ob0}	Capacitancia de salida	$V_{CE} = 5,0 \text{ V}, I_E = 0,$ $f = 1,0 \text{ MHz}$		4,0	pF
C_{ib0}	Capacitancia de entrada	$V_{EB} = 0,5 \text{ V}, I_C = 0,$ $f = 1,0 \text{ MHz}$		8,0	pF
NF	Figura de ruido (excepto MMPQ3904)	$I_C = 100 \mu\text{A}, V_{CE} = 5,0 \text{ V},$ $R_S = 1,0 \text{ k}\Omega, f = 10 \text{ Hz to } 15,7 \text{ kHz}$		5,0	dB

CARACTERÍSTICAS DE CONMUTACIÓN (excepto MMPQ3904)

t_d	Tiempo de retardo	$V_{CC} = 3,0 \text{ V}, V_{BE} = 0,5 \text{ V},$		35	ns
t_r	Tiempo de subida	$I_C = 10 \text{ mA}, I_{B1} = 1,0 \text{ mA}$		35	ns
t_s	Tiempo de almacenamiento	$V_{CC} = 3,0 \text{ V}, I_C = 10 \text{ mA}$		200	ns
t_f	Tiempo de caída	$I_{B1} = I_{B2} = 1,0 \text{ mA}$		50	ns

*Prueba de impulso: anchura entre impulsos $\leq 300 \mu\text{s}$, ciclo de trabajo $\leq 2,0\%$

Modelo Spice

NPN (Is=6,734f Xti=3 Eg=1,11 Vaf=74,03 Bf=416,4 Ne=1,259 Ise=6,734 Ikt=66,76m Xtb=1,5 Br=0,7371 Nc=2
Isc=0 Ikr=0 Rc=1 Cjc=3,638p Mjc=0,3065 Vjc=0,75 Fc=0,5 Cje=4,493p Mje=0,2593 Vje=0,75 Tr=239,5n Tf=301,2p
Ilf=0,4 Vlf=4 Xlf=2 Rb=10)

FECHA DE ENTREGA

El proyecto fue entregado al Departamento de Eléctrica y Electrónica y reposa en la Escuela Politécnica del Ejército desde:

Sangolquí: a _____ del 2007.

ELABORADO POR:

VLADIMIR PATRICIO CANTUÑA CACUANGO
171546617-1

AUTORIDADES:

Ing. VICTOR PROAÑO
COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL