



Universidad del Azuay

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería Electrónica

**Adecuación e instalación de una Pico central hidroeléctrica y
sistema de control de energía para la reserva ecológica
"Mazán"**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Ingeniero
Electrónico**

Autor

David Johnatan Benavides Molina

Director

Ing. Francisco Vásquez Calero

Cuenca, Ecuador

2010

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo a mis padres Fanny y Joffre, a mis hermanos Karla y Aristóteles, por acompañarme en cada una de las locuras que he emprendido y ser siempre mi más fervientes hinchas.

A mis amigos que me han acompañado en las buenas y en las malas Geovany R, José Miguel P., Felipe Q., Johanna V., Carlos R., Cristian C., Jorge T., Endel P., Pedro V., gracias por su infinita paciencia.

Agradecimiento

Agradezco infinitamente a mi familia, profesores y amigos que han contribuido en mi formación personal y académica.

Expreso de manera especial mi agradecimiento al profesor y director de tesis el Ing. Francisco Vásquez, al Ing. Leonel Pérez, al Ing. Bolívar Méndez, al Ing. Oswaldo Encalada y al Biólogo José Monsalve sin quienes la realización de este proyecto no habría sido posible.

Resumen

La energía del agua se puede aprovechar de muchas maneras, una de las más utilizadas la liberación de agua de forma controlada a través de una turbina.

Este trabajo estudia, diseña e implementa un sistema de generación de energía eléctrica, mediante una mini turbina Pelton acoplada a un generador. El sistema satisface la demanda básica de energía, en una casa en las montañas de la reserva ecológica Mazan ubicada cerca de Cuenca, Ecuador, sin dañar el ecosistema de la cascada de donde se abastece. Obtener electricidad ecológica debe convertirse en un objetivo global para sustituir fuentes que generan contaminación directa, por la quema de combustible.

Abstract

Water power can be harnessed in many ways, one of the most used the release of water in a controlled manner through a turbine.

This work studies, designs and implements a system of power generation through a mini Pelton turbine coupled to a generator. The system satisfies the basic demand of energy in a house in the mountains of Mazan ecological reserve located near Cuenca, Ecuador, without damaging the ecosystem of the waterfall where it supplies. Get green electricity must become a global goal to replace direct pollution sources generated by burning fuel.

Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Resumen	iv
Abstract	v
Índice de contenidos	vi
Índice de ilustraciones y tablas	viii
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1	
Las Pico Centrales Hidroeléctricas	
1.1. Introducción	2
1.2. Turbinas Pelton.....	3
1.2.1. Partes	5
1.2.2. Parámetros	8
1.3. Generadores	12
1.3.1. Generadores de Corriente Continua	12
1.4. Sistemas de Almacenamiento	15
1.4.1. Tipos	16
1.4.2. Baterías de plomo acido	16
1.4.3. Regulador de Carga	18
1.5. Inversores de CC/CA	18
CAPITULO 2	
Diseño del Sistema de generación	
2.1 Requerimientos Técnicos	20
2.1.1 Estimación de la demanda de energía	20
2.1.2 Caracterización de la turbina Pelton	21
2.1.3 Caracterización de la tubería de acometida	22
2.2 Selección de Partes	22
2.2.1 Alternador	23
2.2.2 Tubería	25
2.3 Ensamble del sistema de generación	25

CAPITULO 3**Diseño y construcción del sistema de control**

3.1 Introducción	28
3.2 Diseño del controlador de excitación	28
3.3 Simulación Virtual	29
3.4 Construcción y ensamble del circuito de control	31
3.5 Pruebas del controlador	32

CAPITULO 4**Diseño y construcción del sistema de monitoreo**

4.1 Introducción	35
4.2 Micro-controladores	35
4.2.1 Estructura interna del PIC	36
4.2.1.1 Procesador o UCP	36
4.2.1.2 Memoria del Micro-controlador	36
4.2.1.3 Reloj del sistema	37
4.2.2 Puertos de entrada y salida	38
4.3 Pines utilizados en el micro-controlador	38
4.4 Firmware de monitoreo	41
4.4.1 Set de instrucciones	42
4.4.2 Funcionamiento	43
4.5 Diseño y ensamble del circuito	44

CAPITULO 5**Implementación y Pruebas del sistema de generación**

5.1 Implementación del sistema	46
5.2 Verificación del controlador de carga	48
5.3 Prueba del sistema de generación	48

Conclusiones y Recomendaciones	50
---	-----------

Bibliografía	51
---------------------------	-----------

Anexos	53
---------------------	-----------

Índice de Tablas e ilustraciones

Tabla # 1	Consumo promedio de equipos -----	20
Tabla # 2	Datos de la simulación virtual del controlador -----	30
Tabla # 3	Datos de la prueba del controlador -----	33
Tabla # 4	Capacitores correspondientes para el cristal usado -----	38
Tabla # 5	Set de instrucciones reducido -----	42
Tabla # A.1	Datos técnicos del sistema -----	56
Tabla # B.1	Materiales del circuito de monitoreo -----	63
Tabla # B.2	Materiales del circuito de control -----	64
Figura # 1	Esquema de una micro-central hidroeléctrica -----	3
Figura # 2	Esquema de una turbina Pelton vertical -----	4
Figura # 3	Esquema de chorro sobre el alabe de una Pelton -----	3
Figura # 4	Turbina Pelton de 6 inyectores -----	6
Figura # 5	Rodete Pelton de 17 Alabes -----	6
Figura # 6	Foto de una rueda Pelton en funcionamiento -----	7
Figura # 7	Esquema de una turbina Pelton -----	9
Figura # 8	Dimensiones de un Alabe Pelton -----	11
Figura # 9	Alternador Elemental -----	13
Figura # 10	Esquema eléctrico de un alternador -----	14
Figura # 11	Constitución de un alternador automotriz -----	15
Figura # 12	Esquema de una batería -----	17
Figura # 13	Principio de funcionamiento de un convertidor -----	18
Figura # 14	Esquema de un convertidor de CC/CA -----	19
Figura # 15	Esquema de las medidas aproximadas de la tubería -----	22
Figura # 16	Generador Delco Remy 22SI HP -----	24
Figura # 17	Medida aproximada del alternador Delco Remmy -----	25
Figura # 18	Curva de corriente versus RPM del Alternador -----	25
Figura # 19	Tubería de PVC con sello elastomérico -----	26
Figura # 20	Modificaciones de la base del generador -----	26
Figura # 21	Pernos externos de calibración del inyector -----	27
Figura # 22	Pernos internos de calibración del inyector -----	27
Figura # 23	Circuito de control de excitación propuesto -----	29
Figura # 24	Curva de simulación del controlador de excitación -----	31

Figura # 25	Capas de las placa de control diseñada -----	32
Figura # 26	Circuito de control armado -----	32
Figura # 27	Prueba de la placa de control -----	33
Figura # 28	Curva del comportamiento del controlador de excitación -----	34
Figura # 29	Configuración del oscilador externo -----	37
Figura # 30	Pines del Micro-controlador -----	39
Figura # 31	Fuente de alimentación -----	39
Figura # 32	Pines de un LCD 2 x 16 -----	40
Figura # 33	Esquema de conexión del LCD -----	41
Figura # 34	Diagrama de flujo del sistema de monitoreo -----	43
Figura # 35	Capas del circuito de monitoreo diseñado -----	44
Figura # 36	Nomenclatura de los elementos en el Circuito -----	45
Figura # 37	Circuito de monitoreo armado -----	45
Figura # 38	Sistema de Generación de Mazán -----	46
Figura # 39	Tubería de captación -----	47
Figura # 40	Tanque de sedimentación -----	47
Figura # 41	Sistema de Monitoreo encendido -----	48
Figura # 42	Sistema de Monitoreo apagado -----	49
Figura # A.1	Rodete Pelton de 17 Alabes -----	54
Figura # A.2	Generador Delco Remmy 22SI HP -----	54
Figura # A.3	Esquema del sistema de generación -----	55
Figura # A.4	Diagrama de bloques eléctrico -----	55
Figura # A.5	Esquema eléctrico de conexiones de potencia -----	56
Figura # A.6	Terminales del circuito de control -----	57
Figura # A.7	Terminales del circuito de monitoreo -----	58
Figura # B.1	Posición de elementos del circuito de monitoreo -----	62
Figura # B.2	Posición de elementos del circuito de control -----	64

Lo que oigo lo olvido

Lo que veo lo recuerdo

Lo que hago lo aprendo

Benavides Molina David Johnatan

Trabajo de Graduación

Ing. Francisco Vázquez C.

Julio 2010

Adecuación e instalación de una Pico Central Hidroeléctrica y sistema de control de energía para la reserva ecológica "Mazán"

INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica, sin lugar a dudas, es un servicio básico. Muchas de las actividades diarias de los seres humanos necesitan de este servicio.

Por la ubicación de la reserva ecológica de Mazan es complicado acceder a la red nacional de electrificación, como sucede en muchos lugares alejados de nuestro país, además la factibilidad de realizar un cableado hasta el sector es limitado por motivos de impacto ambiental en zonas de recuperación y costo elevado de una red subterránea.

Se pretende adecuar e instalar un sistema de generación eléctrica, mediante una turbina hidráulica y un alternador de CC, a manera de causar el menor impacto ambiental en la mencionada reserva. Además se aspira implementar un sistema de almacenamiento de energía mediante baterías, un sistema control de carga de las mismas y un indicador del estado del sistema. La energía generada será usada en el refugio de la reserva y en el laboratorio de anfibios.

Para controlar la excitación del generador se usara un controlador con elementos pasivos de bajo costo y fácil fabricación, haciendo accesible el mantenimiento a cualquier persona con básicos conocimientos sobre electrónica.

El sistema de generación será monitoreado mediante un micro-controlador PIC-16F871. Este se encarga de monitorear el voltaje del sistema y la velocidad del generador, apagando el convertidor cuando el voltaje sea inadecuado.

Para el correcto funcionamiento del sistema se incluye un manual de usuario, en el cual se explican detalles de funcionamiento, guía de detección de fallas y las limitaciones del sistema.

CAPITULO 1

LAS PICO-CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

1.1 Introducción

La denominación de Pico-central hidroeléctrica apenas tiene poco más de una década. Por ello, ha surgido una división adicional a los rangos ya existentes de las centrales hidroeléctricas. Sin embargo, aun no se han incluido en las normas internacionales respectivas, por tanto, para este caso consideramos a las pico-centrales aquellas por debajo de los 5 Kw.

Estas pico-centrales son diseñadas para aprovechar los recursos hidráulicos de los manantiales, pequeñas quebradas o cualquier otra fuente donde existan unos cuantos litros de agua y una pequeña caída que pueda transformarse en energía mecánica, mediante una pico-turbina. Esta energía mecánica luego puede convertirse en energía eléctrica mediante un generador, según sea la demanda particular.

En la actualidad, las Pico-turbinas se diseñan como una sola unidad donde se incluyen todos sus componentes, como la turbina y el generador. Sus características principales son su pequeño tamaño, versatilidad y facilidad de instalación.

Una central hidroeléctrica necesita principalmente de un recurso hidráulico a una altura o caída mínima de 10 metros entre la fuente y el lugar destinado a la generación, como se esquematiza en la figura #1. El caudal de agua a utilizar es transportado mediante un ducto o tubería, de dimensiones específicas, hacia el lugar destinado a la generación. Esta energía potencial es transformada en energía cinética mediante una turbina colocada en el extremo del ducto. Existen diversos tipos de turbinas, siendo la más eficiente y la más utilizada la del tipo Pelton.

Esta turbina es acoplada mediante un eje hacia un generador. Según sea el caso, se puede utilizar un generador de corriente continua o de corriente alterna.

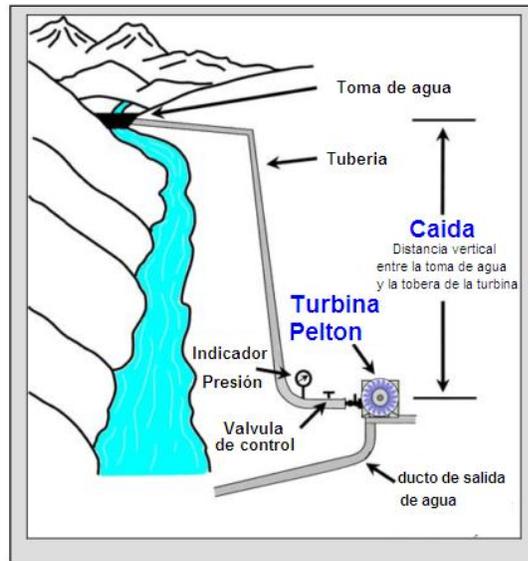


Figura #1 Esquema de una micro-central hidroeléctrica.

1.2 Turbinas Pelton

Este tipo de turbina fue creada y patentada en 1889 por el norteamericano Lester Allan Pelton. El principio de funcionamiento es relativamente simple, ya que constituye una evolución lógica de la antigua rueda hidráulica. Son notables su suavidad de giro y su buen funcionamiento a carga parcial. En la figura #2, se muestra la disposición típica de una turbina Pelton. La tobera lanza a la atmósfera un chorro de alta velocidad que incide sobre una serie de cucharas o álabes montados en la periferia de una rueda. El par ejercido por el impacto y la desviación del chorro provoca el giro de la rueda. Una vez transmitida su energía a la rueda, el agua sale de los álabes a velocidad relativamente baja y es dirigida hacia el canal de desagüe. Por tanto, la turbina ha de estar colocada a suficiente altura sobre el nivel máximo de crecida para asegurar el derrame libre.

En la turbina Pelton actual, la energía cinética del agua, en forma de chorro libre, se genera en una tobera colocada al final de la tubería a presión. La tobera está provista de una aguja de cierre para regular el gasto, constituyendo en conjunto, el órgano de alimentación y de regulación de la turbina. Encuentra justa aplicación la turbina Pelton, en aquellos aprovechamientos hidráulicos donde la ponderación de la carga es importante respecto al caudal. El rendimiento es del orden del 90% y se conserva bastante bien a carga parcial.

Existen dos tipos de turbinas Pelton de acuerdo a las posiciones del eje, es decir horizontales y verticales. En las del tipo vertical el número de chorros por rueda se reduce generalmente a uno o dos, por resultar complicada la instalación, en un plano vertical, de las tuberías de alimentación y las agujas de inyección. Este sistema de montaje encuentra aplicación en aquellos casos donde se tienen aguas sucias que producen deterioros o notable acción abrasiva. Con el eje horizontal se hace también posible instalar turbinas gemelas para un solo generador colocado entre ambas, contrarrestando empujes axiales.

En las del tipo horizontal se facilita la colocación del sistema de alimentación en un plano horizontal, lo que permite aumentar el número de chorros por rueda (4 a 6); con esto se puede incrementar el caudal y tener mayor potencia por unidad. Se acorta la longitud del eje turbina-generador; se puede disminuir el diámetro de rueda y aumentar la velocidad de giro, se reduce en fin el peso de la turbina por unidad de potencia. Esto hace que la utilización de esta disposición en turbinas Pelton sea más ventajosa que la disposición vertical. Su aplicación es conveniente en aquellos casos donde se tienen aguas limpias que no produzcan gran efecto abrasivo sobre los alabes e inyectores, debido a que la inspección y las reparaciones con este montaje se hacen más difíciles.

Por otra parte, las turbinas Pelton se clasifican también en sencillas (un rodete y un chorro) y múltiples. Las turbinas Pelton se multiplican por el número de chorros, llamándose Pelton doble, triple, etc.

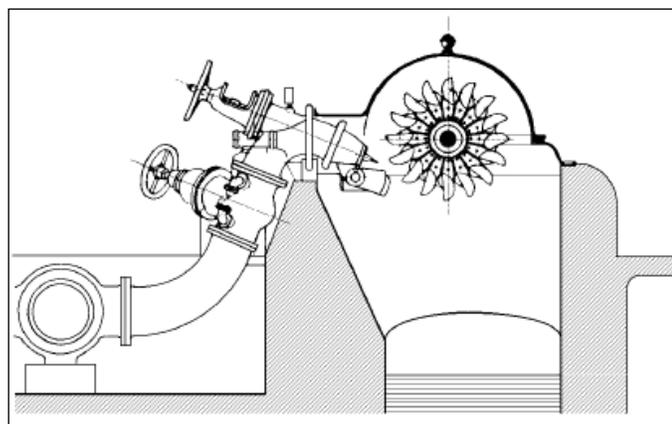


Figura #2 Esquema de una turbina Pelton vertical.

Fuente: AGUERA, Soriano Turbomaquians hidráulicas, www.elcaballano.com. 2002

1.2.1 Partes

Una turbina Pelton principalmente está constituida por un rodete o rotor y unos chorros de agua dirigidos hacia la parte lateral del rodete. **El chorro** se crea por medio de una tobera estacionaria convergente cónica, denominada *inyector*, como se puede ver en la figura #3.

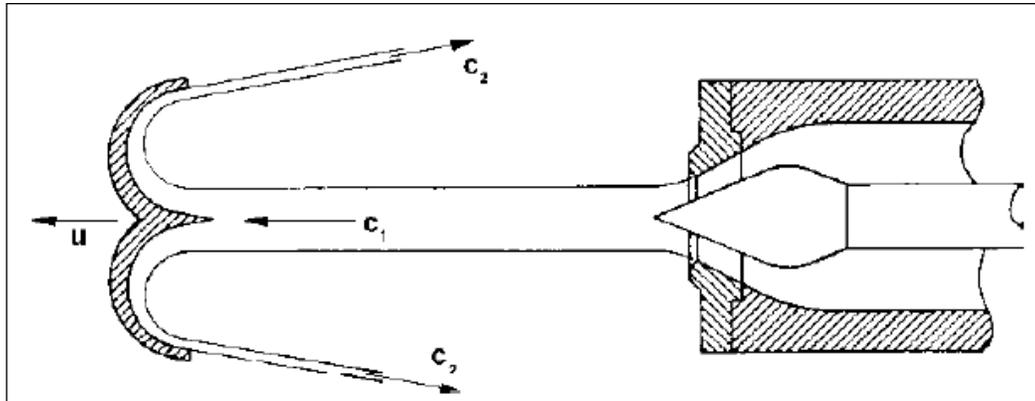


Figura #3 Esquema de un chorro sobre una alabe de una Pelton.

Fuente: AGUERA, Soriano Turbomaquians hidráulicas, www.elcaballano.com. 2002

El inyector es el órgano regulador del caudal del chorro; consta de una válvula de aguja. La variación del caudal del chorro para regular la potencia se consigue mediante una aguja de forma especial, con cuyo accionamiento se puede estrangular la sección de salida de la boquilla; su regulación puede ser manual o automática mediante un servomotor. Tiene además otro sistema de regulación por desviación del chorro, que consiste en una superficie metálica llamada **deflector**, que se introduce en medio del chorro, dividiéndolo y desviando una parte del mismo, de forma que en vez de dirigirse contra las cazoletas, sale lateralmente sin producir ningún efecto útil.

Cuando se dispone de un solo inyector, el rodete tiene el eje de giro horizontal y el eje de salida del chorro es tangente horizontal, inferior a la circunferencia del rodete, cayendo el agua a la salida de las cucharas al fondo de la turbina, sin interferir el giro de la rueda, como se esquematiza en la figura #2.

Con el objeto de aumentar la potencia de una misma turbina, con un determinado salto hidráulico, se añaden más inyectores repartidos en la periferia. En la figura #4 se muestra el esquema de una turbina de gran tamaño con 6 inyectores. Un número excesivo de inyectores ocasiona una pérdida de rendimiento por interferir mutuamente sus flujos, tanto al ser deflactados como al caer el agua.

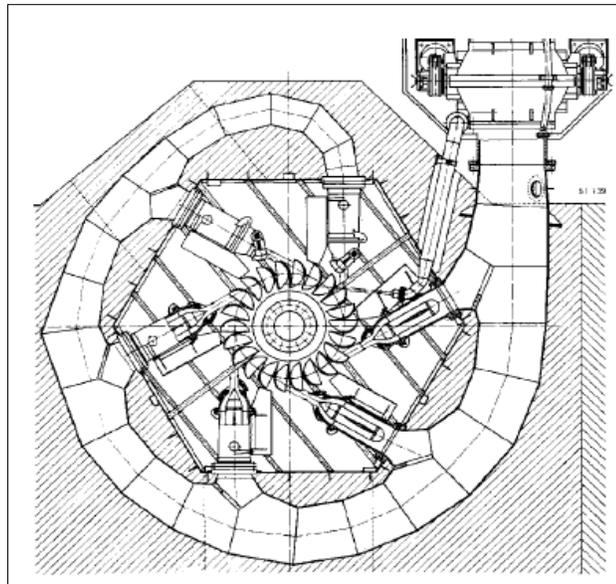


Figura #4 Turbina Pelton de 6 inyectores.

Fuente: AGUERA, Soriano Turbomaquians hidraulicas

El rotor o rodete, está constituido por un disco que sostiene unas cazoletas, cangilones o alabes, parecidas a dos cucharas unidas por una arista, colocados periódicamente en su periferia, como se puede observar en la figura #5.



Figura #5 Rodete Pelton de 17 alabes.

Fuente: NORMAN, Jim, Pelton Turbines. <http://www.absak.com/pdf/books/ABShydro.pdf>

Como la dirección del chorro no es ni axial ni radial, sino tangencial; el elemento constructivo más importante, de una turbina Pelton, son los alabes en forma de doble cuchara. Estos reciben el chorro exactamente en su arista media donde se divide en dos, circulando por su cavidad y recorriendo hasta la salida casi un ángulo de 180° , contrarrestándose así los empujes axiales por cambio de dirección de los dos chorros. El agua una que vez sale de la cazoleta, cae libremente hacia una ducto de salida y se dirige aguas abajo siguiendo el curso natural de la fuente. El nervio central rígido está diseñado para deflactar el chorro, hacia ambos lados del disco, con las mínimas pérdidas posibles, tal y como indican las figuras #3 y #6. Con la simetría resultante se pretende evitar fuerzas laterales sobre el disco, aunque es inevitable que ocurra deflexión sobre el mismo.



Figura #6 Foto de una rueda Pelton en funcionamiento.

Fuente: MARCHEGUIANI, Ariel. Turbinas Pelton. <http://fain.uncoma.edu.ar> 2004

Estas cucharas están rebajadas en su extremo más externo con el objetivo de evitar interferir con la cuchara que recibe el chorro plenamente. Debido a la periódica entrada y salida en carga de las cucharas su resistencia a la fatiga es importante y el par ejercido sobre el eje oscila periódicamente una pequeña cantidad. La forma y dimensiones de los alabes de la turbina Pelton, así como el diámetro del disco difieren en cada turbina de acuerdo a su uso. Esto se analizara más adelante.

Un ejemplo de micro turbina Pelton que gira a una alta velocidad de rotación puede ser usada para generar 1 Kw con alturas inferiores a 40 metros. Para potencias más grandes la

velocidad de rotación disminuye y el rotor es más grande. El principio de la turbina Pelton es convertir la energía cinética del chorro de agua en velocidad de rotación de la rueda o rotor. A fin de que esto se haga con la máxima eficiencia el agua debe abandonar las cucharas con una pequeña cantidad de energía cinética remanente.

1.2.2 Parámetros

Los parámetros más importantes a ser considerados, en un sistema de generación Pelton, son la altura de caída y el caudal de agua nominal. De esta altura y caudal dependen los parámetros técnicos del rotor, los alabes y el inyector, por consiguiente la potencia que este puede entregar. La altura de caída de agua es la distancia vertical medida desde el nivel medio de la fuente hasta el inyector del generador; se conoce como H_n .

El caudal de agua nominal es la cantidad volumétrica de líquido por unidad de tiempo que es obtenida a la salida, del inyector del generador; se conoce como Q_n . Este caudal disponible deberá ser menor al existente en circulación por la fuente, para evitar daños irreparables en la flora y fauna del sector. Una vez obtenidos estos dos datos, es posible estimar la cantidad de energía que se puede generar con la turbina. La potencia mecánica esperada es:

$$P_e = g * H_n * Q_n * \eta$$

P_e resulta en watts, donde g es la gravedad, (en m/s^2), H_n la altura de caída, (en metros), Q_n el caudal nominal, (en m^3/seg) y η el rendimiento, (que está entre el 0.7 y 0.9).

En toda máquina hidráulica se puede calcular la velocidad n , el número de revoluciones por minuto, comparándola con la que daría una turbina semejante a la que se desea proyectar (de igual forma pero dimensiones reducidas), la cual, instalada en un salto de 1 m. de altura, proporcionaría una potencia de 1 CV. Esta relación de velocidades se conoce como n_s o velocidad específica, (en revoluciones por minuto RPM).

$$n_s = \frac{n * P_e^{\frac{1}{2}}}{H_n^{\frac{5}{4}}}$$

Donde P_e es la potencia esperada en CV, n en RPM y H_n la altura de caída en metros.

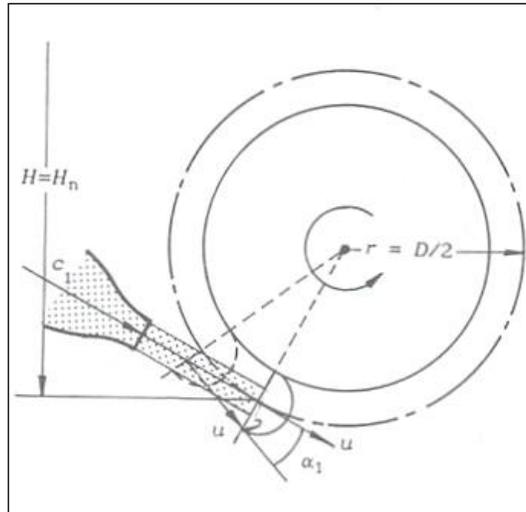


Figura #7 Esquema de una turbina Pelton.

Fuente: AGUERA, Soriano Turbomaquians hidráulicas, www.elcaballano.com. 2002.

Si se toma como punto 2 al del embalse y punto 1 al de la salida en el inyector del generador, la velocidad absoluta de c_1 , de entrada en el rodete, es v_1 , de salida del inyector, multiplicado por un factor relacionado con el rendimiento de la tobera.

La energía que ingresa a la tubería y la que sale es la misma. La energía total del sistema se debe a la energía potencial más la cinética y la de presión, se obtiene lo siguiente, (considerando a la masa como la unidad y a la presión de ingreso igual a la de salida):

$$v_1 = \sqrt{2gH_n}$$

Entonces c_1 puede quedar expresada como:

$$c_1 = C_1 \sqrt{2gH_n}$$

Donde C_1 es el factor de velocidad absoluta (que es igual a la raíz cuadrada del rendimiento de la tobera), generalmente está entre 0,97 y 0,99.

La altura disponible H_n a la entrada de la turbina, se mide con relación al punto de tangencial del eje del chorro con el círculo correspondiente del rodete, es a lo que nos refiere como diámetro D del rodete, como se indica en la figura #7.

La velocidad tangencial u_1 viene dada por la expresión:

$$u_1 = \frac{\pi * D * n}{60}$$

Donde n representa las revoluciones por minuto máximas que gira el rodete, D el diámetro del rodete en metros.

La velocidad tangencial a la hora de diseño se tomara como:

$$u_1 = u * c_1$$

El valor $u = 0,43$, corresponde a las ruedas de número específico más bajo y $u = 0,47$ a las de número específico más elevado.

Conocida la velocidad de salida de la tobera c_1 y el caudal Q_n , se puede calcular el diámetro del chorro:

$$d = \sqrt{\frac{4 * Q_n}{\pi * c_1}}$$

A partir del diámetro del chorro se puede obtener las dimensiones de la cuchara como promedio estadístico de un gran número de construcciones, como se esquematiza en la figura #8.

Longitud cuchara	$L = 2,1 d$
Anchura cuchara	$B = 2.5 d$
Profundidad cuchara	$T = 0.85 d$
Mella en cuchara	$m = 1.1 d$
Paso de cuchara	$t = 2 d$

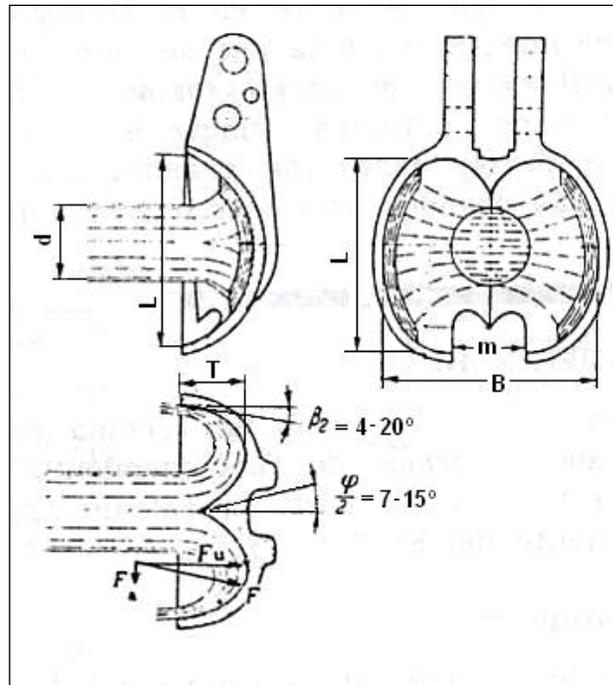


Figura #8 Dimensiones de un alabe Pelton.

Fuente: AGUERA, Soriano Turbomaquians hidráulicas, www.elcaballano.com. 2002

Por último, conociendo el diámetro D del rodete y el paso de las cucharas puede calcular el número de ellas (z):

$$z = \frac{\pi * d}{t}$$

La relación D/d , diámetro de la rueda a diámetro del chorro, hace relación directa con el número de alabes de la turbina. Si esta es grande, habrán muchas cucharas pequeñas (n_s bajo); en cambio si es pequeña, tendremos pocas cucharas y grandes (n_s alto). Una relación de 12 entre los dos diámetros nos da un $n_s=20$, lo cual proporciona el mejor rendimiento para la turbina.

Los límites extremos de la relación d/D , se sitúan respectivamente entre $1/80$ y $1/6$ y en los dos casos el funcionamiento es defectuoso. En el primero, el agua recorre un camino relativamente muy largo antes de entrar en contacto con la cuchara y en el segundo el escurrimiento dentro de la cuchara es muy deficiente. Por relaciones de similitud se puede decir que, aproximadamente:

$$n_s = \frac{D}{70 * d}$$

Para números específicos mayores de 10 se puede usar 2 o más inyectores por rueda o bien dos ruedas acopladas a un solo árbol y a un mismo generador.

La primera disposición se presta para montajes a eje horizontal o vertical. La segunda sólo se utiliza para montajes a eje horizontal.

1.3 Generadores

Los generadores eléctricos, son un grupo de aparatos que se utilizan para convertir la energía mecánica en eléctrica, con medios electromagnéticos. A una máquina que convierte la energía mecánica en eléctrica se le denomina generador, alternador o dínamo.

Los generadores pueden ser de corriente continua y de corriente alterna.

Los de corriente alterna necesitan un control exacto de velocidad y excitación, por ende un giro constante. Es imposible almacenar corriente alterna de una manera sencilla, razón por la cual no son usados en caudales variables e inconstantes.

En cambio los de corriente continua no necesitan de control de velocidad preciso, incluso en determinadas situaciones no se utiliza. Además es posible almacenar energía mediante un banco de baterías, lo cual incrementa la capacidad de consumo de energía. Por las razones antes expuestas, los generadores de corriente continua son los más usados, en Pico-centrales hidroeléctricas. El costo, stock de repuestos y fácil mantenimiento, son razones por las que generalmente se usa un generador de automóvil.

1.3.1 Generadores de corriente continúa.

Cuando hacemos girar, una espira rectangular, una vuelta completa entre las masas polares de un electroimán inductor, como se esquematiza en la Figura #9; los conductores a y b del

inducido cortan en su movimiento el campo magnético fijo y en ellos se induce una f.e.m. inducida cuyo valor y sentido varía en cada instante con la posición.

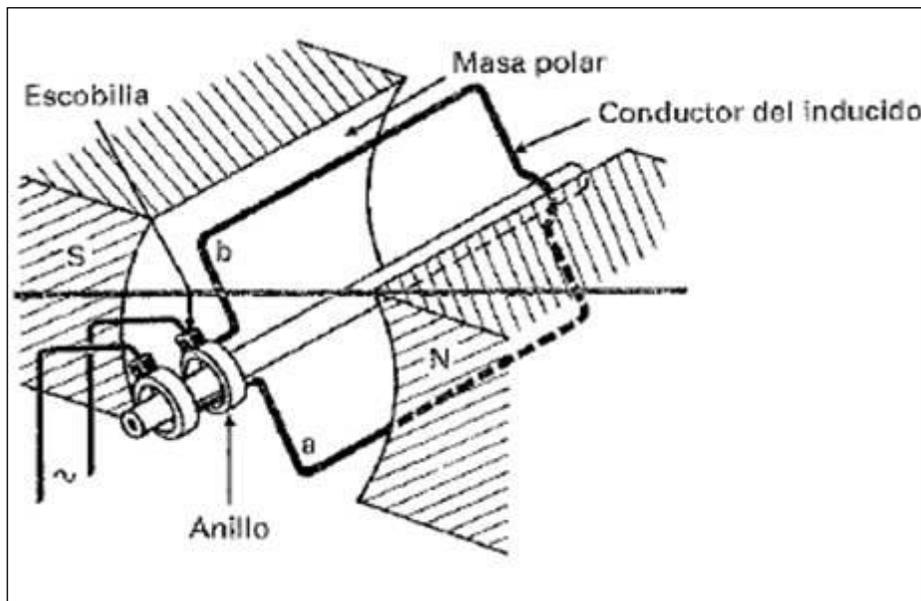


Figura #9 Alternador Elemental.

Fuente: CORTEZ, Manuel. Maquinas Eléctricas Rotativas

Cada uno de los terminales de la espira se conecta a un anillo metálico conductor, donde dos escobillas de grafito recogen la corriente inducida y la suministran al circuito exterior.

Para determinar el sentido de la corriente inducida, en cada posición de los conductores, de la espira se aplica la regla de los tres dedos de la mano derecha, pudiéndose comprobar cómo se obtiene a la salida una tensión alterna sinoidal.

Dado que lo que deseamos es obtener corriente continua en la salida del generador, necesitamos incorporar un dispositivo que convierta la C.A. generada en C.C. Esto se consigue de dos maneras, una mediante un colector de delgas y la otra mediante diodos rectificadores. El uso de delgas colectores limita la corriente de salida, además el peso y las dimensiones son otros limitantes. El uso de diodos rectificadores hace que el generador sea de mas corriente, de menos dimensiones, peso significativamente menor y mantenimiento fácil, en comparación con un generador de delgas.

Los diodos rectificadores son dispositivos que, en su mayor parte, conducen sólo en una dirección. Así pues, el rectificador pasará solamente una polaridad del voltaje de c-a para producir una c-c pulsante. Luego se conecta un capacitor a la salida, para filtrar la ondulación y obtener un voltaje de c-c relativamente con poca variación.

El alternador de automóvil, como el de la figura #11, es trifásico y está provisto de devanados de armadura fija conectados en Y, los cuales producen un voltaje de fase entre dos puntas de salida. La salida del alternador es un voltaje positivo en relación con tierra. Pero ninguna punta de los devanados Y está conectada directamente a tierra debido a que los devanados producen c-a; las tres puntas son alternativamente negativas y positivas, al recorrer los ciclos de c-a. Por lo tanto, cada punta debe conectarse a tierra cuando es negativa y, a la salida, cuando es positiva. Esto se logra con rectificadores, como se esquematiza en la figura #10.

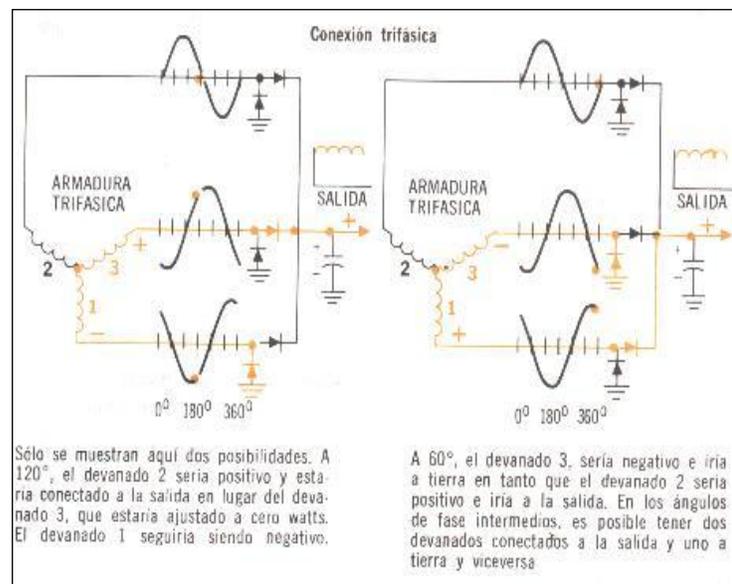


Figura #10 Esquema eléctrico de un alternador.

Fuente: CORTEZ, Manuel. Maquinas Eléctricas Rotativas.

Los rectificadores sirven como interruptores que cierran una polaridad y abren la otra. Nótese que cada onda tiene dos rectificadores conectados en oposición. Un rectificador conectará la punta a la línea de salida cuando sea positiva, pero la desconectará cuando sea negativa. El otro rectificador conecta la terminal a tierra cuando es negativa y la desconecta cuando es positiva. El diagrama de la figura #10

ilustra cómo se conectan los mismos dos devanados para ángulos de fase diferentes del voltaje de salida. En consecuencia, la salida siempre es positiva.

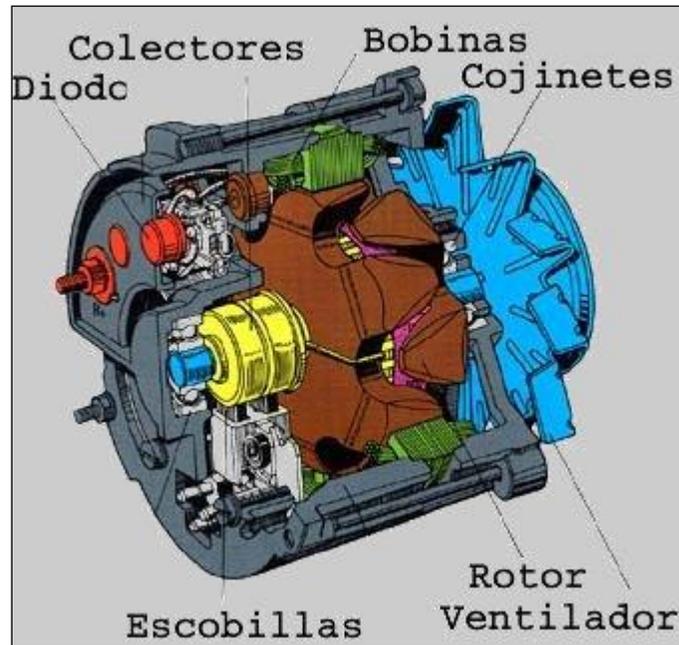


Figura #11 Constitución de un alternador automotriz.

Fuente: BRUZOS, Tomás. Alternadores Automotrices. <http://www.sabelotodo.org>. 2003.

1.4 Sistema de almacenamiento

El acumulador es un dispositivo capaz de transformar energía potencial química en energía eléctrica. Por lo tanto, es un aparato capaz de retener cierta cantidad de energía en su interior, suministrada externamente, para emplearla cuando la necesite.

Se compone esencialmente de dos electrodos sumergidos en un electrolito, ácido o alcalino, donde se producen las reacciones químicas debidas a la carga y la descarga.

El sentido de la utilización de las baterías está en la adaptación de los diferentes ritmos de generación y demanda de energía eléctrica, almacenando energía en los momentos en los que la producción es mayor que la demanda y cediendo energía en los momentos en que ocurre la situación contraria.

Las baterías tienen dos polos, uno positivo (+) y otro negativo (-). Los electrones van del polo negativo hacia el polo positivo. A no ser que los electrones corran del polo negativo hacia el polo positivo, la reacción química no ocurre.

1.4.1 Tipos

Existen diferentes tipos de material que se usan para almacenar energía. Frecuentemente las baterías toman el nombre del tipo de material utilizado para su construcción. Otras baterías toman el nombre según el material hallado en los electrodos y del tipo de electrolito utilizado. El material activo utilizado determina el voltaje de las celdas y el número de celdas determina el voltaje total de la batería.

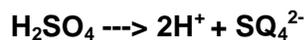
Existen diferentes tipos de baterías en el mercado:

- 1.- Baterías de Níquel-Cadmio
- 2.- Plomo-ácido.
- 3.- Níquel-Metal hidruro (Ni-MH).

Las baterías de plomo - ácido son las más usadas debido a su costo y su fácil reciclaje.

1.4.2 Baterías de plomo-ácido

Las baterías de plomo - ácido contienen un electrolito de ácido sulfúrico en el que se sumergen una placa de plomo metálico y otra de dióxido de plomo. Las reacciones en este caso son las siguientes:



Cada acumulador de plomo - ácido tienen un voltaje nominal de alrededor de dos voltios. La mayoría de baterías de automóviles se componen de varios acumuladores, por ello tienen una tensión nominal de 12 voltios, en la figura # 11 se muestra el gráfico de una batería seccionada.

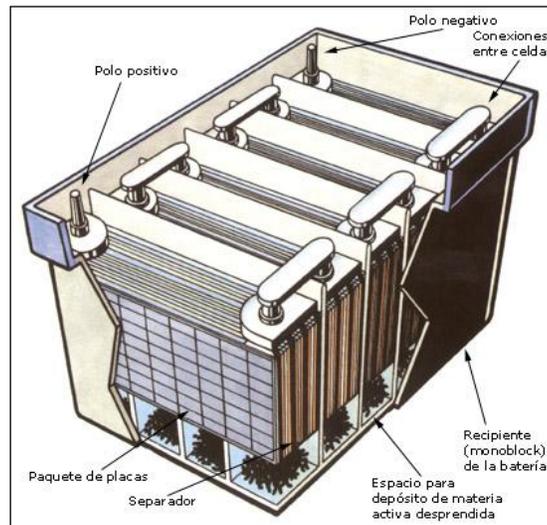


Figura #12 Esquema de una batería.

Fuente: BRUZOS, Tomas Baterías y acumuladores. <http://www.sabelotodo.org>. 2003.

Cuando se agota el plomo o el dióxido de plomo la batería está gastada y para recargarla se hace pasar una corriente eléctrica de la placa positiva a la negativa mediante un alternador o dinamo, de manera que el sulfato de plomo se vuelve a descomponer en plomo en la placa negativa, y en la positiva en dióxido de plomo.

Las baterías más usadas son las de Plomo-Acido. Estas baterías deben estar diseñadas para suministrar una gran corriente durante un periodo de tiempo corto. Suelen tener una vida útil de unos 4-5 años, y esta está estrechamente ligada con la profundidad de descarga a la cual se ve sometida es decir a cuanta energía sobre su capacidad nominal se le "exige" sobre su capacidad nominal, en cada ciclo de carga y descarga. La vida útil será mayor cuanto menor sea la descarga de estas baterías en cada ciclo de carga-descarga.

La capacidad de una batería viene medida en Amperios por hora (Ah) que es la cantidad de corriente de descarga disponible durante un tiempo determinado. Esta capacidad es válida solamente para una temperatura específica y profundidad de descarga.

1.4.3 Regulador de carga

Su misión es preservar la vida de las baterías para evitar situaciones de sobrecarga y sobre descarga a fin de alargar la vida de estas. Por lo tanto controlará los procesos de carga y descarga de la batería en función de la generación y el consumo de la energía.

Las baterías de ácido de plomo tienen un voltaje nominal de alrededor de dos voltios. La mayoría de baterías de coche se componen de seis celdas y por ello tienen una tensión de doce voltios. A pesar del gran esfuerzo realizado en investigación de los diferentes tipos de materiales las baterías de plomo ácido son las preferidas e insuperables por el amplio de aplicaciones que tienen. El plomo es abundante y no demasiado caro y es por esta razón por la cual es idóneo para la producción de baterías de buena calidad en grandes cantidades.

1.5 Inversores CC/CA

Un convertor o inversor se conoce como al aparato o mecanismo que realiza el proceso de convertir una forma de energía en otra. Simplificando el circuito de un inversor, la fuente de corriente continua es conectada al primario de un transformador de toma central, como se esquematiza en la figura #13a.

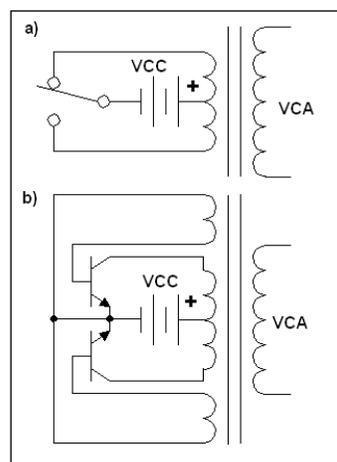


Figura #13 Principio de funcionamiento de un convertidor.

Fuente: BRUZOS, Conversores DC/AC. <http://www.sabelotodo.org>. 2003.

El interruptor es rápidamente conectado y desconectado para hacer que la corriente fluya en dos direcciones. Esta alternación de la dirección de corriente en el primario del transformador produce corriente alterna de onda cuadrada en el secundario.

Usar un interruptor mecánico es impracticable, lo que se usa en realidad son transistores y tiristores en los circuitos de los inversores, como se esquematiza en la figura #13b. Mediante bloques el convertidor se puede esquematizar como en la figura #14. El troceador se encarga, mediante semiconductores, de alternar la corriente continua transformándola en alterna. El método de control que este aparato use determinara la salida del convertidor. Estas pueden ser cuadradas, cuadradas aproximado sinoidal y sinodales puras. Las de salida sinoidal pura, por su control complejo, son más costosas que las otras.

El amplificador se encarga de aumentar la corriente disponible hacia la salida. Del tipo de amplificador usado dependerá la eficiencia del convertidor. El transformador elevador de corriente cumple dos funciones, la primera obtener la tensión deseada a la salida y la segunda aislar la salida del circuito del amplificador.

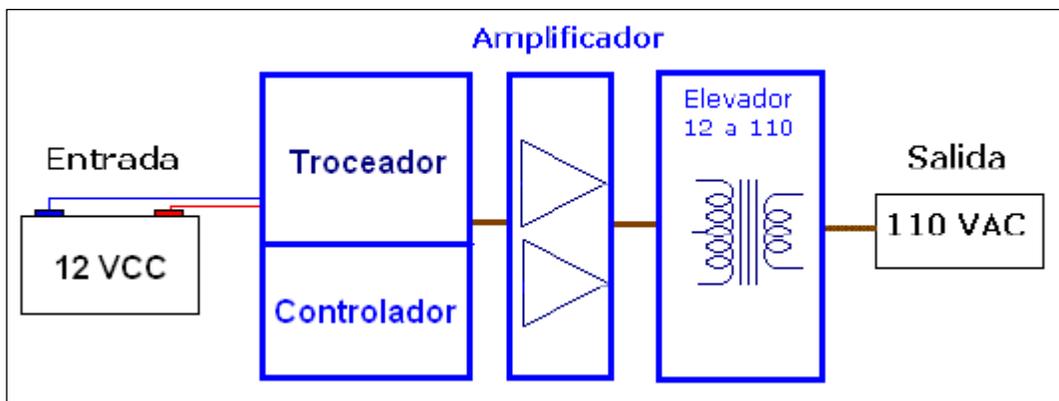


Figura #14 Esquema de un convertidor de CC/CA.

CAPITULO 2

DISEÑO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN

2.1 Requerimientos técnicos

En un sistema de generación hidráulica, la cantidad de energía a generar dependerá de dos factores, de las especificaciones del diseño de la turbina y de las condiciones hidráulicas del sistema. Las primeras permanecen constantes y las otras varían de acuerdo a las condiciones del ambiente. Es necesario saber cuál será el consumo de energía para saber si el sistema de generación satisface la demanda.

2.1.1 Estimación de la demanda de energía

El refugio de la reserva y el laboratorio de anfibios necesitan energía eléctrica para iluminación, recarga de baterías y equipos eléctricos destinados al estudio de los anfibios de la zona. En la tabla #1 se describe el consumo de los equipos a usar

Cant.	Equipo	Consumo
6	Focos ahorradores (15w c/u)	90w
1	Cargador de batería computador personal (120w c/u)	120w
3	Lámparas de ultravioleta (68w c/u)	204w
2	Mini bombas de agua (40w c/u)	80w
1	Cargador de baterías de 1,5v y 9v (140w c/u)	140w

Tabla #1 Consumo promedio de equipos

Todos los equipos antes descritos funcionan a 110v y 60hz. Los focos de ultravioleta y las mini bombas de agua serán usados las 24 horas del día. Estos equipos tienen a su cargo purificar y circular el agua respectivamente, dentro del laboratorio de anfibios. El resto de

elementos se usaran por pocos minutos en el día. La demanda mínima del sistema es de 284 w, correspondiente al consumo de las mini-bombas y de las lámparas de ultravioleta. La demanda máxima esperada es de 634w en caso de que todos los elementos descritos sean encendidos a la vez.

2.1.2 Caracterización de la turbina Pelton.

Basándose en la instalación de tubería existente para el antiguo generador se pudo estimar un caudal de 40 galones/ minuto. La caída desde el tanque de decantación hasta el generador, medida con un gps, es de aproximadamente 36 mts.+ - 3mts. Por lo espeso de la vegetación no se pudo usar mecanismos más exactos de medición como un teodolito.

La turbina Pelton existente, del generador antiguo, era de bronce al aluminio fabricada por la empresa Harris. Esta turbina es de un diámetro de 12 cm y tiene 15 alabes y 4 inyectores de 12.8mm de diámetro con una respectiva llave de ½ vuelta en cada una. La tubería de acometida al generador es de 63mm de diámetro de PVC.

Con todo lo antes expuesto se tiene que:

$$Q (\text{caudal medido}) = 40 \text{ gal/min} = 0.0025 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$H (\text{altura de caída}) = 36 \text{ m}$$

$$D (\text{diámetro del rodete}) = 12 \text{ cm} = 0.12 \text{ m}$$

$$Z (\text{número de alabes del rodete}) = 15$$

Se asume un C1 de 0,98 entonces

$$c_1 = C1 \sqrt{2 * g * h} = 0.98 \sqrt{2 * 9.81 * 36} = 26.04 \text{ m/s}$$

$$u_1 = 0.46c_1 = 11.98 \text{ m/s}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * c_1}} = \sqrt{\frac{4 * 0.0025 \text{ m}^3}{\pi * 26.04 \text{ m/s}}} = 0.011 \text{ m} = 11 \text{ mm}$$

$$P_e = g * Q * H * \eta = 9.81 \text{ m/s}^2 * 0.0025 \text{ m}^3/\text{s} * 36 \text{ m} * 0.7 = 618 \text{ w}$$

$$D = \frac{60 * u_1}{\pi * n} \text{ entonces; } n = \frac{60 * u_1}{\pi * D} = \frac{60 * 11.98 \text{ m/s}}{\pi * 0.12 \text{ m}} = 1906.67 \text{ RPM}$$

La potencia mecánica máxima esperada con un caudal constante de 40gal/min es de 618 w y la velocidad máxima de giro de la turbina es de 1906 RPM. El diámetro del inyector a usar será de 11mm.

2.1.3 Caracterización de la tubería de acometida

La tubería que transporta el agua desde la vertiente hacia el generador deberá soportar el peso del agua en circulación y los arietes producidos por cambios bruscos del caudal. Se tiene conocido que la altura de caída es de 36m + 1m de tanque de sedimentación y una longitud aproximada de 75m, el sistema se esquematiza en la figura #15. Según se pudo observar, en días de mayor estiaje entre octubre 5 y noviembre 20 de 2009, es posible tomar de la vertiente 40 galones por minuto sin que esta se seque. De lo anterior se tiene que:

$$H(\text{altura de caída}) = 36\text{m} + 1\text{m}(\text{tanque de sedimentación})$$

$$\varnothing \text{ tubería} = 63\text{mm}$$

$$\text{Longitud de tubería} = 75\text{m}$$

$$Q = 40\text{gal}/\text{min} = 0.0025\text{m}^3/\text{seg}$$

$$A = \frac{(0.063\text{m})^2 * \pi}{4} = 0.0031\text{m}^2$$

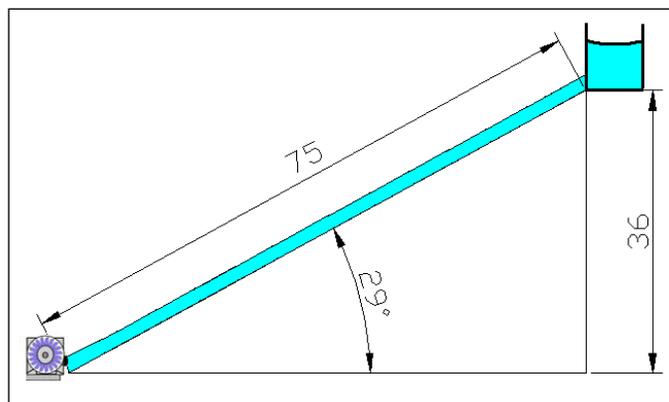


Figura #15 Esquema de medidas aproximadas de la tubería.

$$V(\text{agua dentro de la tubería}) = A * L = 0.0031\text{m}^2 * 75\text{m} = 0.233\text{m}^3$$

$$m = V * \delta = 0.233\text{m}^3 * 1000\text{kg}/\text{m}^3 = 232.5\text{kg}$$

$$p = m * g = 232.5\text{kg} * 9.81\text{m}/\text{s}^2 = 2280.83\text{N}$$

$$P = \delta * g * h + P_0 = 1000\text{kg}/\text{m}^3 * 9.81\text{m}/\text{s}^2 * 37\text{m} + 0.1\text{MPa} = 0.462\text{MPa}$$

La tubería necesaria deberá soportar 1MPa. El peso del agua a circular dentro de la tubería es considerable, por lo que la tubería debe estar en contacto uniforme con el suelo, en toda su extensión.

2.2 Selección de Partes

Las partes necesarias para el sistema de generación deberán ser robustas para poder soportar condiciones ambientales extremas como humedades relativas superiores al 90%, exposición al sol, cambios bruscos de temperatura (2° - 28°C), abrasión por contacto con limo, según sea el caso particular de cada una.

2.2.1 Alternador

El alternador a implementar debe cumplir con los requerimientos de la turbina, analizados anteriormente. Además, por características constructivas de la turbina, el generador deberá tener una rosca de acople de 11/16 NF. Debe entregar la mayor corriente a una velocidad de 1900 RPM. Los alternadores automotrices generalmente funcionan normalmente hasta unos 10000 RPM. El alternador a implementar es un delco Remy 22SI HP, similar al de la figura #16 y #17. Este cumple con los requisitos antes mencionados, además es de estructura robusta y posee ventilación forzada.



Figura #16 Generador Delco Remy 22SI HP.

Fuente: Delco Remmy. Alternador 22SI. <http://www.delcoremy.com>.

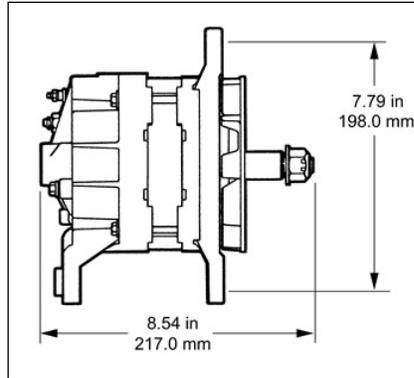


Figura #17 Medidas aproximadas del alternador Delco Remy 22SI HP.

Fuente: Delco Remmy. Alternador 22SI. <http://www.delcoremy.com>.

El fabricante del alternador da como especificación el grafico de la figura #18, la cual muestra la corriente generada en función de las revoluciones de giro.

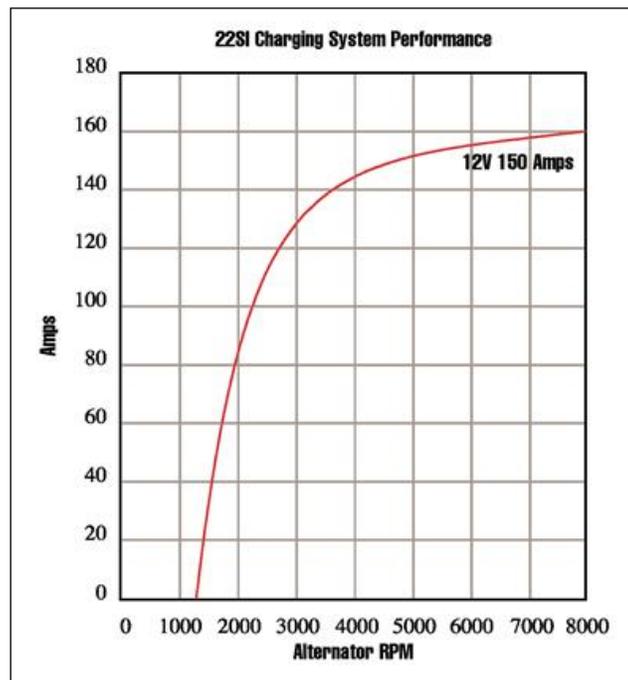


Figura #18 Curva de corriente versus RPM del alternador.

Fuente: Delco Remmy. Alternador 22SI. <http://www.delcoremy.com>.

Extrapolando la curva de la figura #18, se puede llegar a la conclusión que a 1900 RPM el alternador entrega una corriente de 70 A aproximadamente.

2.2.2 Tubería de acometida

La tubería de acometida al generador debe soportar una presión de 0.80 MPa y un peso distribuido en toda su longitud de 232kg. La tubería a implementar es Plastigama de PVC con sello elastomérico de unión z, como la mostrada en la figura #19. Existen de diferentes grosores de pared de acuerdo a la presión máxima de trabajo. En el mercado existe una para 1MPa o 145 PSI de 63mm de diámetro, en tramos de 6 metros.



Figura #19 Tubería de PVC con sello elastomérico.

2.3 Ensamble del sistema de generación

Una vez seleccionadas las partes a usar se procedió a realizar adecuaciones en la base, del porta inyectores de la turbina, para instalar el alternador Delco, como se muestra en la figura #20.



Figura #20 Modificaciones de la base del generador.

El eje del alternador esta unido a la turbina mediante una rosca e 11/16" rosca fina y separado 1.5 mm de la base de los inyectores

Mediante los tornillos mostrados en la figura #21 y #22 se puede alinear el inyector con el centro de las cazoletas de la turbina Pelton, para que esta funcione correctamente. Existen 4 pernos de ¼ NC, dos en la parte externa (figura #21) y dos en la parte interna (figura #22). El modelo de la turbina posee 4 inyectores y 4 llaves de paso, de ½ vuelta, unidas mediante rosca NPT de ½". Para sellar las roscas se uso cinta de teflón de 0.1mm.

Como en este caso solo se usara uno de los inyectores, debido a las condiciones del emplazamiento, los demás servirán de repuesto en caso de taponamientos por sedimentos o desgaste.



Figura #21 Pernos de calibración externos del inyector.



Figura #22 Pernos de calibración internos del inyector.

CAPITULO 3

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

3.1 Introducción

En un sistema de generación eléctrica, que use una dínamo o alternador, es necesario controlar la velocidad del rotor y la excitación al generador. Existen dos razones principales para este control: La primera intervenir en los parámetros eléctricos del sistema y la segunda por razones de seguridad. Se puede controlar parámetros eléctricos, como frecuencia, corriente y tensión de salida. Por motivos de seguridad el sistema de control se encarga de que el generador no se sobre revolucione y también que la excitatriz del generador se dañe. Para el caso concreto de este sistema de generación, la frecuencia no es de importancia. Las variaciones de velocidad crean oscilaciones en el sistema que son amortiguadas por los filtros capacitivos provistos dentro del alternador, obteniéndose siempre una corriente continua y estable. Además de los capacitores, el banco de baterías de almacenamiento contribuye a tener una corriente mucho más estable.

La velocidad de trabajo del sistema es menor a 2.000 RPM y la velocidad máxima del generador es de 10.000 RPM. Por lo tanto no es posible que el generador, en algún momento, se embale. Por las razones antes citadas se opta por prescindir de un controlador de velocidad.

Para variar la excitación del generador se usara un sistema de control usando elementos electrónicos pasivos, por dos razones: circuito de control sencillo y fácil mantenimiento con elementos que se encuentran en el mercado local.

3.2 Diseño del controlador de excitación.

El circuito de control está encargado de regular el voltaje, al bobinado de excitación, del generador con el fin de mantener una salida constante entre 13.8v y 14.1v. El esquema de la figura #23 muestra el circuito propuesto.

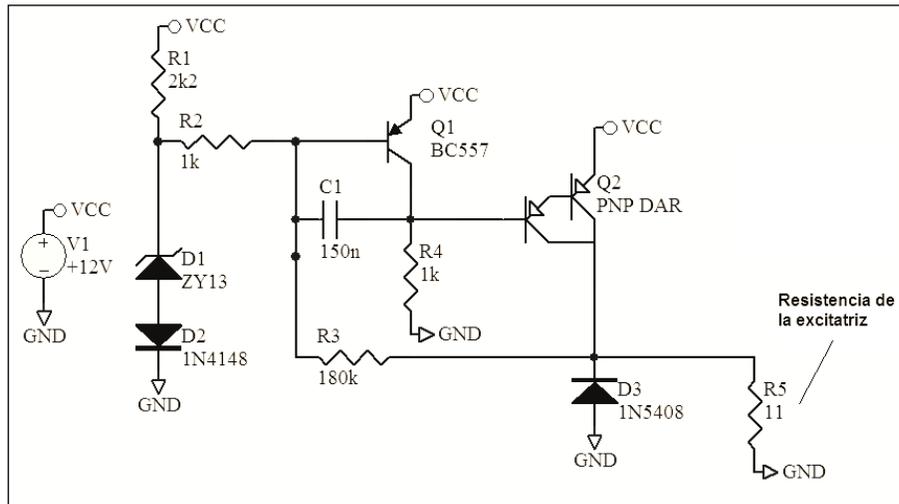


Figura #23 Circuito de control de excitación propuesto.

Se encuentra compuesto básicamente por un transistor, Q2, del tipo NPN Darlington, encargado en determinar la corriente a través del rotor del alternador. Mientras la tensión de entrada es baja, D1 no conduce, por lo que Q1 se comportará como un interruptor abierto.

En este estado, la base de Q2 se conecta a tierra a través de R4; La corriente fluye a través del bobinado del rotor L, y el campo magnético incrementa en el alternador, aumentándose a su vez el voltaje de salida.

Cuando la tensión es lo suficientemente alta para que D1 conduzca, Q1 también conduce y conectará la base de Q2 a Vcc. Q2 se abre, la corriente a través del rotor del alternador se reduce, por ende el voltaje del alternador también y el ciclo se repite.

La tensión de conexión del circuito es determinada por la tensión Zener de D1 más la caída de tensión a través de D2, más la tensión base-emisor de Q1. Teóricamente, esta es de 14,1 V, pero puede variar con la temperatura y las variaciones de la producción del diodo Zener.

3.3 Simulación virtual del circuito

El circuito propuesto de la figura #23 fue simulado en Altium Designer 2009. La resistencia medida de la excitatriz del generador es de 11Ω . El voltaje de la fuente se incrementa en 2 voltios hasta llegar a 20v. Los datos obtenidos son presentados en la tabla #2.

# Muestra	Fuente	Voltaje en Excitatriz
1	0	0
2	0,5	0
3	2	1,81
4	4	3,85
5	6	5,86
6	8	7,85
7	10	9,84
8	12	11,87
9	12,5	12,43
10	13	12,9
11	13,5	13,43
12	13,6	13,52
13	13,7	13,65
14	13,8	13,75
15	13,9	13,86
16	14	13,9
17	14,05	0
18	14,1	0
19	14,2	0
20	14,5	0
21	16	0
22	18	0
23	20	0

Tabla #2 Datos de la simulación virtual del controlador.

Los datos también pueden ser expresados mediante el grafico de la figura # 24.

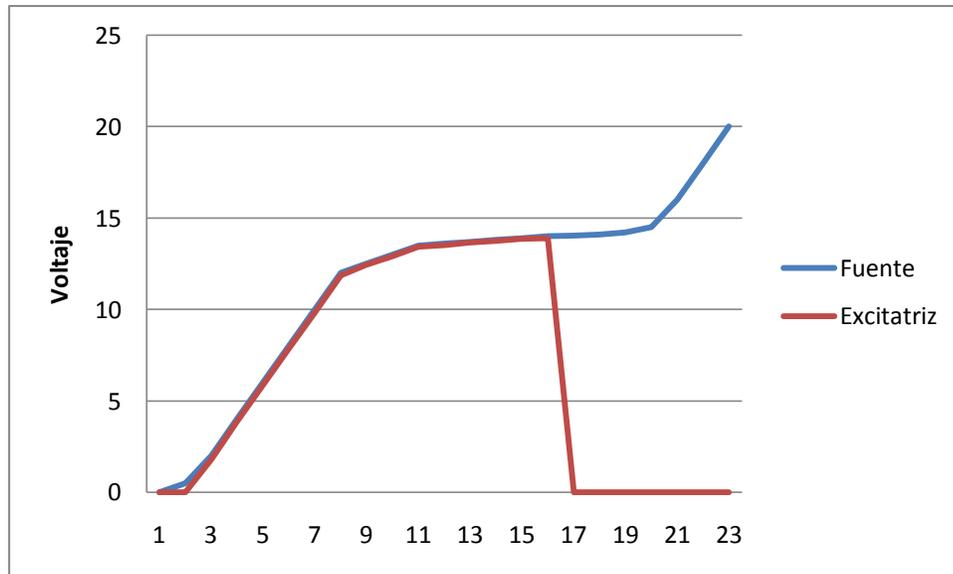


Figura #24 Curva de simulación del controlador de excitación.

Interpretando la grafica de la figura # 24 se puede observar que el circuito corta el voltaje hacia la excitatriz cuando el voltaje en la entrada es de 14.1v, sin importar que el voltaje de ingreso aumente.

3.4 Construcción y ensamble del circuito de control.

La corriente que necesita la excitatriz del generador esta por el orden de los 4 amperios. Las rutas de cobre para los elementos pasivos a usar deben ser del grosor adecuado. Por cada amperio de corriente por el PCB es necesario 1mm de grosor de ruta. La placa de control fue diseñada mediante Protel 99 SE. Para aumentar el grosor de las pistas se llenan de estaño con el fin de aumentar su sección. Las capas del PCB propuesto se muestran en la figura #25.

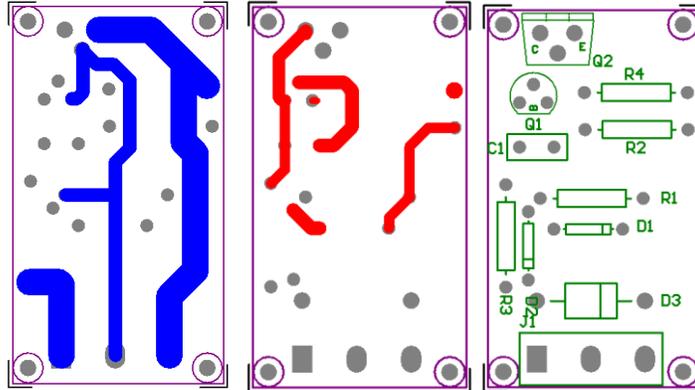


Figura #25 Capas de la placa de control diseñada.

Para ensamblar los elementos pasivos de la placa de control se basa en la lista de materiales tomada del Protel 99 SE. En el anexo B se presenta la lista de materiales para el circuito de control. Una vez que se ha soldado a la placa los elementos se procede a rellenar las pistas con estaño para aumentar su sección. En la figura #26 se puede observar la disposición final de los elementos de la placa de control.



Figura #26 Circuito de control armado.

3.5 Pruebas del circuito de control

Para realizar la prueba del circuito de control se emplea básicamente una fuente variable de 0 a 20v de corriente continua y una resistencia de 10 Ω /20w, para simular la excitatriz del generador. Los voltajes, en la resistencia de 10 Ω y en la entrada son medidos con un voltímetro, como se esquematiza en la figura #27.

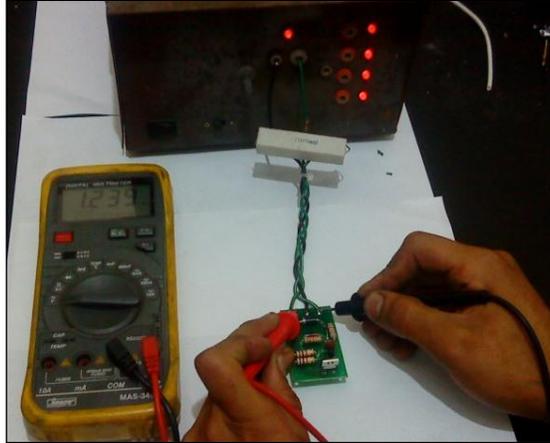


Figura #27 Prueba del la placa de control.

Los datos obtenidos se presentan en la tabla# 3

Ingreso(v)	Voltaje en Res. 10 Ω (v)
0	0
0,7	0
2	1,42
4	3,45
6	5,48
8	7,43
10	9,44
12	11,45
12,5	12,1
13	12,48
13,5	12.93
13,6	13.11
13,7	13,28
13,8	13,37
13,9	13,48
14	13,8
14,1	0
14,2	0
14,5	0
16	0
18	0
20	0

Tabla #3 Datos de la prueba del controlador.

La figura #28 corresponde a los datos obtenidos en la prueba del controlador de excitación. Se puede determinar que el controlador funciona acorde a lo requerido.

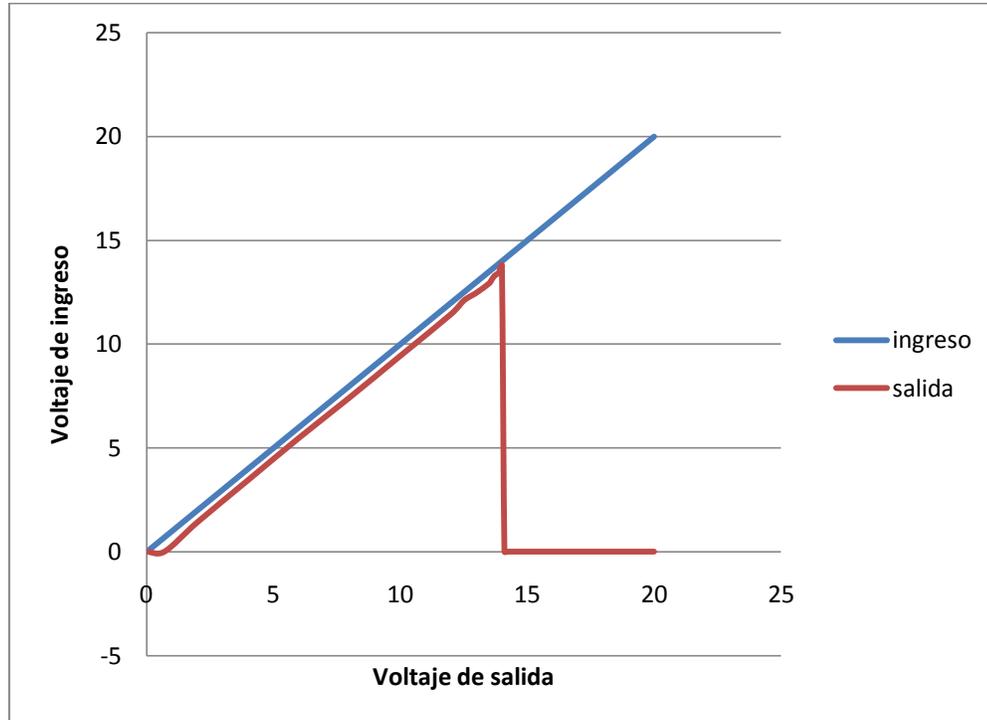


Figura #28 Curva del comportamiento del controlador de excitación.

CAPITULO 4

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO

4.1 Introducción

El sistema de generación necesita trabajar constantemente y ser monitoreado para que no se produzcan daños ni sobrecargas. El sistema de monitoreo puede desconectar el convertidor CC/CA en caso de desperfectos en el sistema o también en momentos en los que no se requiera de energía. Para todo esto se usara un sistema de monitoreo compuesto por un Micro-controlador PIC 16F871. Este se encargara de adquirir las señales analógicas de voltaje y velocidad del generador, también controlara el encendido del convertidor CC/CA. El estado del sistema y los valores de velocidad y voltaje se visualizaran, mediante un LCD 2*16.

4.2 Micro-controladores

Un *Micro-controlador* es un circuito integrado o chip que incluye en su interior las tres unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento UCP, memoria y unidades de E/S (entrada/salida).

Los PIC son una familia de micro-controladores fabricados por Microchip Technology Inc. Se caracterizan por tener un set de instrucciones reducidas (tipo RISC) Área de código y de datos separadas (Arquitectura Harvard). Esta familia de micro-controladores puede cubrir con muchos requerimientos, de hecho hay varias características que se pueden resaltar:

- Varios pines de propósito general.
- Capaz de trabajar con reloj de hasta 20 Mhz.
- Memoria de Programa tipo Flash.
- Memoria de datos con capacidad de hasta 128 bytes.

- Memoria adicional de tipo EEPROM de hasta 64 bytes.
- Puede trabajar con tensiones desde 2V hasta 5.5V de alimentación.
- Cada uno de sus pines puede proveer hasta 25mA de corriente.
- Temporizadores programables.
- Convertidor Analógico Digital con resolución de 10 bits.
- Modulo CCP (Compara Captura PWM).
- Puerto de comunicaciones seriales de tipo USART.

Cada familia de PICs posee características propias indicadas en la respectiva hoja de datos de cada uno. Las características más significativas son el número de pines, cantidad de temporizadores, módulos CCP, convertidores analógicos-digitales, módulos de comunicación y cantidad de memoria.

4.2.1 Estructura interna del PIC

Un micro controlador es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria, para lo cual consta de varias partes funcionales que cumplen con misiones específicas. Las funciones de un micro-controlador son comparables con un computador por tener sus tres unidades funcionales esto es: UCP, memoria y unidades de entrada salida, además posee partes adicionales o módulos que cumplen funciones especiales.

4.2.1.1 Procesador O UCP.

El procesador o unidad central de proceso, UCP, es el elemento más importante del Integrado. Este se encarga de: vincular las diferentes partes del micro controlador, procesar datos de programa y/o memoria y gestionar los pines de entrada y salida.

4.2.1.2 Memoria del micro-controlador

La memoria es la parte que se encarga de almacenar los programas y los datos.

Para almacenar el programa se utilizan memorias que conservan la información incluso cuando no hay ninguna alimentación aplicada al sistema (no volátiles). Son del tipo FLASH . Para el almacenamiento temporal de datos y el cálculo intermedio de los resultados durante las operaciones se utiliza la RAM (Random Access Memory). Es de lectura/escritura y pierde los datos cuando se queda sin alimentación (volátil).

En caso de que se quiera conservar los datos cuando el sistema se queda sin alimentación se puede utilizar la EEPROM (Electrically Erasable Programmable ROM), que es no volátil. La desventaja de esta memoria es su baja velocidad de acceso.

4.2.1.3 Reloj del sistema

Es un oscilador de onda cuadrada. La señal de reloj sirve de referencia para sincronizar todo el sistema. Este define el tiempo específico en el que se realizan todas las instrucciones. Este reloj tiene varios modos de funcionamiento. Tres modos incluyen una configuración con cristal o un resonador cerámico conectado entre los pines OSC1 y OCS2, además de dos capacitores tal como se muestra en la figura #29.

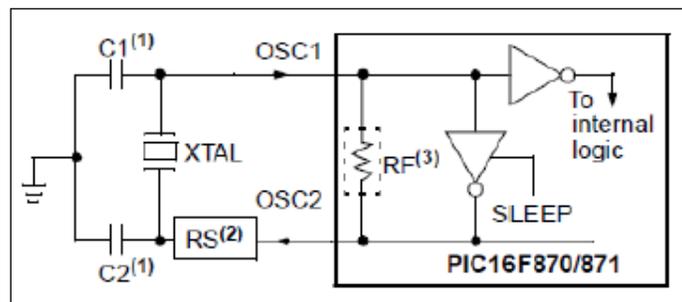


Figura #29 Configuración del oscilador externo.

Fuente: Hoja de datos PIC 16F871

Para *Low Power Cristal* (LP), *Cristal Resonator* (XT) y *High Speed* (HS) el fabricante recomienda los valores de capacitores según las frecuencias de los cristales que se deseen utilizar, estos valores se muestran en la Tabla #4.

Osc Type	Crystal Freq	Cap. Range C1	Cap. Range C2
LP	32 kHz	33 pF	33 pF
	200 kHz	15 pF	15 pF
XT	200 kHz	47-68 pF	47-68 pF
	1 MHz	15 pF	15 pF
	4 MHz	15 pF	15 pF
HS	4 MHz	15 pF	15 pF
	8 MHz	15-33 pF	15-33 pF
	20 MHz	15-33 pF	15-33 pF

Tabla #4 Capacitores correspondientes para el cristal usado.

4.2.2 Puertos de entrada y salida

Varios de los pines del micro-controlador son puertos de entrada salida, pero adicionalmente algunos están multiplexados con funciones especiales de los periféricos del dispositivo. Para el caso específico del PIC16F871 este tiene 4 Puertos definidos en la siguiente manera:

- El puerto A tiene 6 entradas o salidas digitales, RA0 a RA5, además son entradas del modulo de conversión analógico digital. El pin RA4 esta multiplexado con el *TIMER 0* (con este se puede contar pulsos).
- El puerto B tiene 8 entradas o salidas digitales, desde RB0 a RB7, además RB0 esta multiplexado con la entrada de la interrupción externa.
- El puerto C está compuesto por 8 entradas o salidas digitales, desde RC0 a RC7. RC0 y RC1 son también las entradas del reloj externo. RC2 es una entrada o salida del modulo CCP. RC6 y RC7 son la salida y la entrada del modulo serial, respectivamente.
- RD0 a RD7 son entradas y salidas digitales.

4.3 Pines del Micro-controlador

El oscilador externo se conecta a un cristal de 16Mhz que da la señal de reloj al PIC entre los pines 13 y 14 y establece un ciclo de maquina igual a 62.5 nano segundos, como se esquematiza en la figura #30.

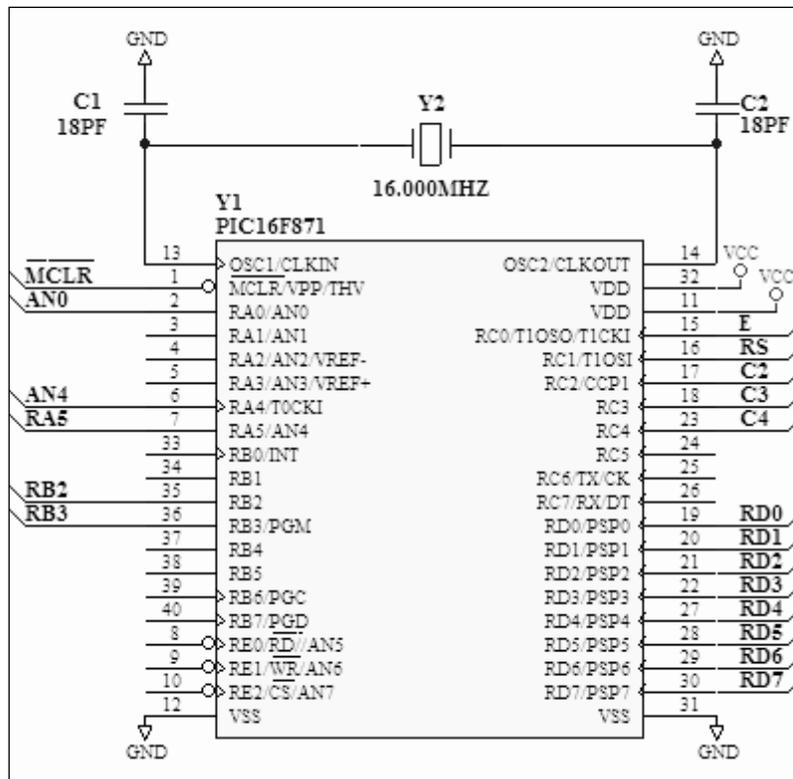


Figura #30 Pines del Micro-controlador.

Los pines 11 y 32 son entradas de alimentación positiva así como 12 y 31 son de referencia o tierra, la fuente usada se muestra en la figura #31.

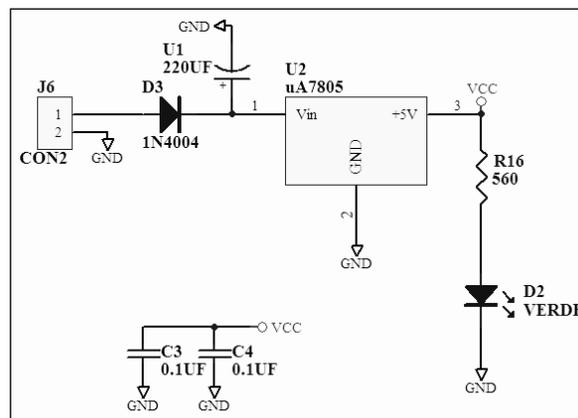


Figura #31 Fuente de alimentación.

El pin número 1 está conectado a través de un pulsante a un uno lógico que reinicia los procesos. El pin 2 es la entrada analógica para medir el voltaje. El pin 6 es la entrada para medir la velocidad del generador. Los pines 35 y 36 son entradas digitales de pulsantes, para encender y apagar el convertidor y el LCD respectivamente. Los pines 7, 15, 16 y 18 se utilizan para controlar el LCD. El Pin 17 son salidas que disparan relés controlan en encendido del convertidor CC/CA. El pin número 23 sirve de salida que encenderá un led en caso de falla. Los pines 19 al 22 y 27 al 30 son salidas digitales que llevan el dato a visualizarse en el LCD.

En el LCD, como el de la figura #32, los pines 1 y 2 son la alimentación negativa y positiva, respectivamente. El pin 3, VL, es una entrada de voltaje variable que controla el contraste del indicador y para el cual se utilizará un potenciómetro conectado directamente entre el voltaje 5 y 0V, como se esquematiza en la figura #33. El pin número 4 es el control del modo dato ó modo comando y está conectado con el PIC para ser manejado desde el programa. El quinto pin es una entrada digital que controla la lectura o escritura del dispositivo. Para los fines que se persiguen, no es necesario leer el LCD por lo que siempre se mantiene en escritura. Para cada acción del *display* es necesario un pulso que habilite la instrucción, esta es la función del pin 6. Los pines 7 al 14 son las entradas que contienen dato a visualizarse en el LCD. Los pines restantes, 15 y 16 son ánodo y cátodo de la luz de fondo del indicador, “*backlight*”.

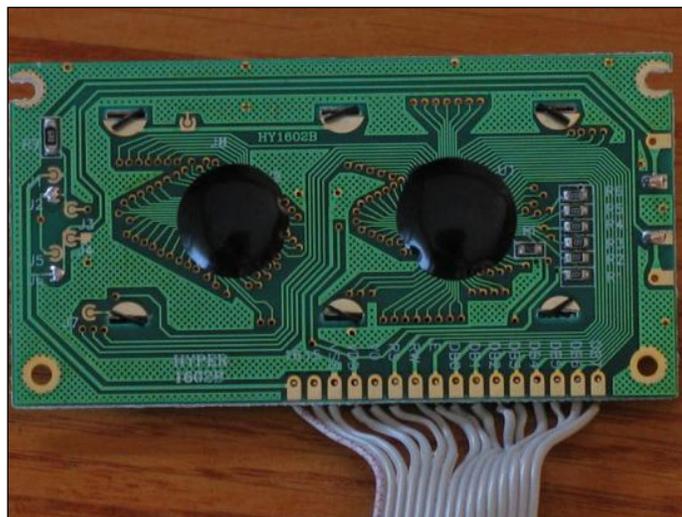


Figura #32 Pines de un LCD 2*16.

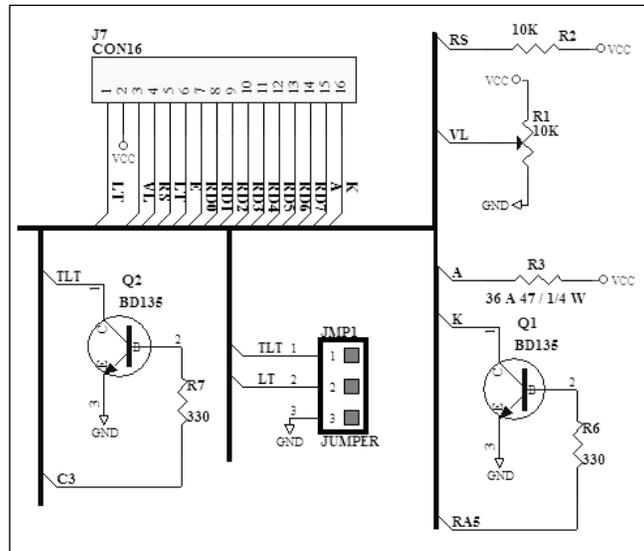


Figura #33 Esquema de conexión del LCD.

4.4 Firmware para el monitoreo

Para desarrollar el “*firmware*” de monitoreo, se usó el software gratuito MPLAB IDE v8.30, disponible en la página web de Microchip. Este programa es un editor de texto para programar en lenguaje ensamblador, adicionalmente tiene compilador de código y simulador virtual. Utilizando la ventana del simulador se puede ver la evolución de los registros y variables del PIC según avanzan las líneas de programa.

Además de las ventajas para desarrollar *software*, MPLAB se desenvuelve en ambiente *Windows* y por tanto presenta las clásicas barras de programa, de menú, de herramientas, de estado etc. Para lograr comenzar y grabar un programa en un chip se tienen que seguir los siguientes pasos:

1. Crear un archivo .ASM que contendrá el código en lenguaje ensamblador.
2. Elegir el micro a utilizar desde *SELECT DEVICE* del menú *CONFIGURE*.

A partir de este punto se comienza a desarrollar el programa en lenguaje ensamblador, en el espacio del texto del archivo .ASM. En el anexo C se muestra el código completo.

4.4.1 Set de instrucciones

La familia 16F de Micro-controladores tiene un set reducido de instrucciones, únicamente 35 comandos en total, divididos según su función, como se muestra en la tabla #5.

Tipo	Nemotecnicos	Operación	Afectados	
Operaciones orientadas a registros	ADDWF	f,d	Sumar W y f	C,DC,Z
	ANDWF	f,d	AND entre W y f	Z
	CLRF	F	Limpiar f	Z
	CLRWF		Limpiar W	Z
	COMF	f,d	Complementar f	Z
	DECWF	f,d	Decrementar f	Z
	DECFSZ	f,d	Decrementar f, saltar si cero	
	INCF	f,d	Incrementar f	Z
	INCFSZ	f,d	Incrementar f, saltar si cero	
	IORWF	f,d	OR entre W y f	Z
	MOVF	f,d	Mover f	Z
	MOVWF	F	Mover W a F	
	NOP		No Operación	
	RLF	f,d	Rotar a la izquierda a través del carry	C
	RRWF	f,d	Rotar a la derecha a través del carry	C
	SUBWF	f,d	Restar W de f	C,DC,Z
SWAPF	f,d	Intercambiar nibbles de f		
XORWF	f,d	OR exclusiva entre W y f	Z	
Operaciones orientadas a Bits	BCF	f,b	Limpiar bit b de f	
	BSF	f,b	Activar bit b de f	
	BTFSC	f,b	Probar bit b de f, saltar si cero	
	BTFSS	f,b	Probar bit b de f, saltar si uno	
Operaciones orientadas a literales	ADDLW	k	Sumar literal k a W	C,DC,Z
	ANDLW	k	AND entre k y W	Z
	CALL	k	Llamar subrutina	
	CLRWDW		Limpiar WDT	-TO,-TD
	GOTO	K	Salta a dirección k	
	IORLW	K	OR entre k y W	Z
	MOVLW	K	Cargar W con literal k	
	RETFIE		Retornar de interrupción	
	RETLW	K	Retornar y cargar W con k	
	RETURN		Retornar de subrutina	
	SLEEP		Ir al modo de bajo consumo	-TO,-TD
	SUBLW	K	Restarle k a W	C,DC,Z
XORLW	K	OR exclusiva entre k y W	Z	

Tabla #4 Set de instrucciones reducido.

4.4.2 Funcionamiento.

El sistema monitorea el funcionamiento del generador y sus componentes, el esquema de funcionamiento es el que se muestra en la figura #34.

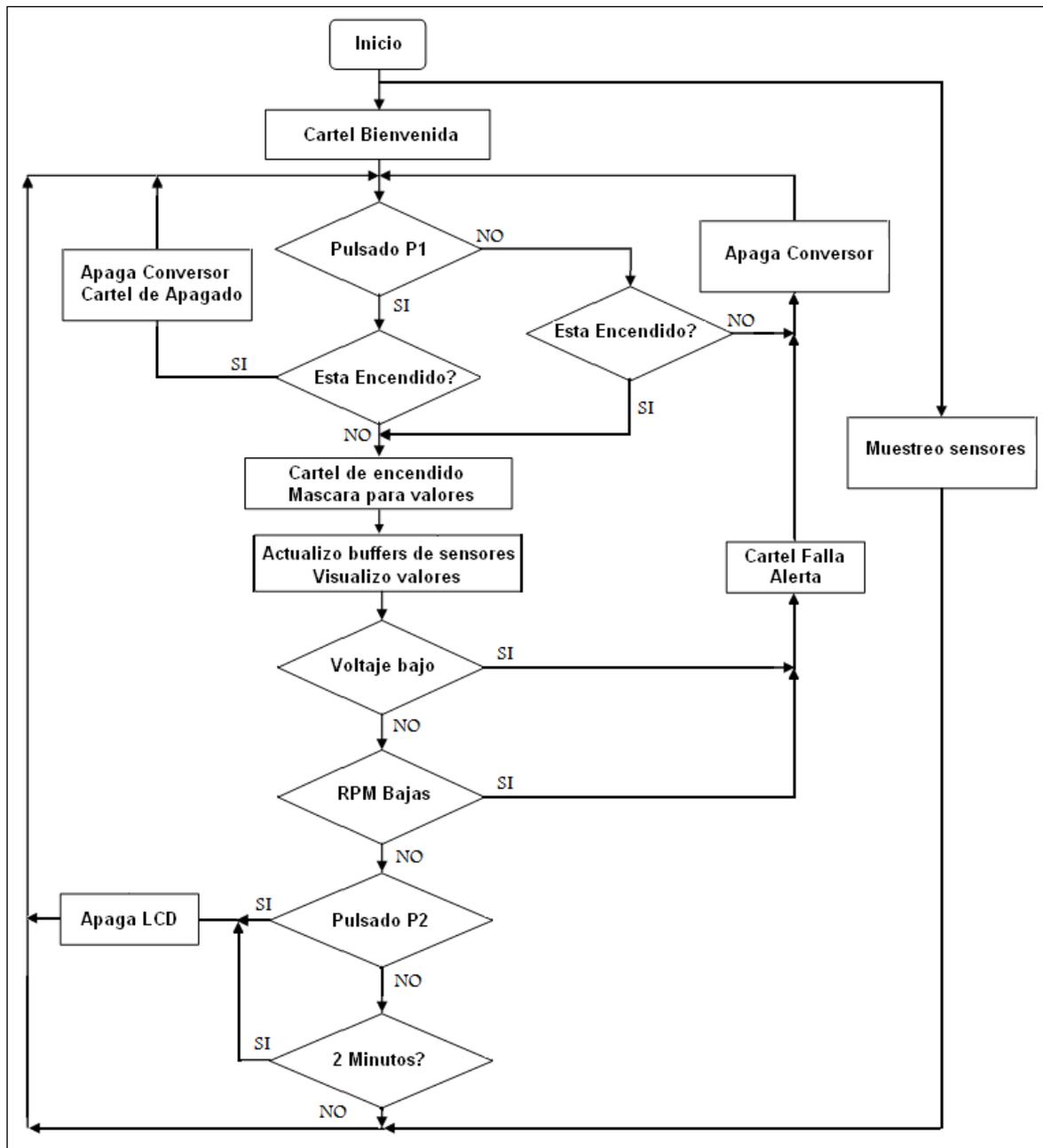


Figura #34 Diagrama de flujo del sistema de monitoreo.

El sistema presenta el estado en todo momento así como los valores de velocidad y voltaje. En principio muestra el estado apagado. Después espera que el usuario pulse P1 para encender el convertidor. Por interrupción, el micro-controlador adquiere los datos del voltaje y velocidad. Cuando el voltaje está por debajo de los 11.8v y/o la velocidad por debajo de las 700 RPM el sistema apaga el convertidor, muestra un cartel de falla en el LCD y una alarma luminosa se enciende. Cuando los valores de voltaje y de velocidad se restauran el sistema puede volver a ser encendido por el usuario. En caso de que no se requiera energía el usuario, pulsando P1, puede apagar el convertidor. El LCD y la luz de fondo se mantienen encendidas por 20 segundos, el usuario pulsando P2 puede volverlos a encender o apagarlas según se requiera.

4.5 Diseño y ensamble del sistema de monitoreo

La placa para el circuito de monitoreo fue diseñada mediante Protel 99 SE. Se usó un grosor de pistas, en el PCB, de 0.8mm y de 3mm para el control y la parte de potencia respectivamente, en la figura #35 se muestra las capas del PCB propuesto.

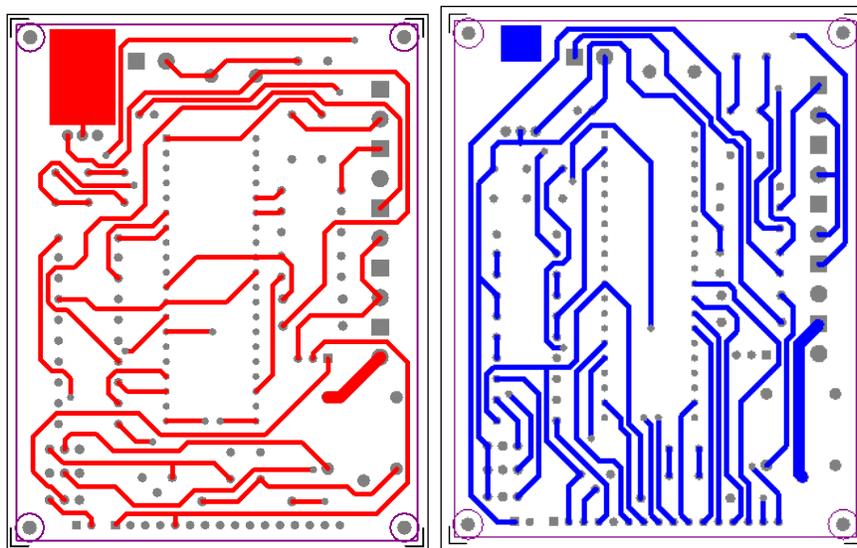


Figura #35. Capas del circuito de monitoreo propuesto.

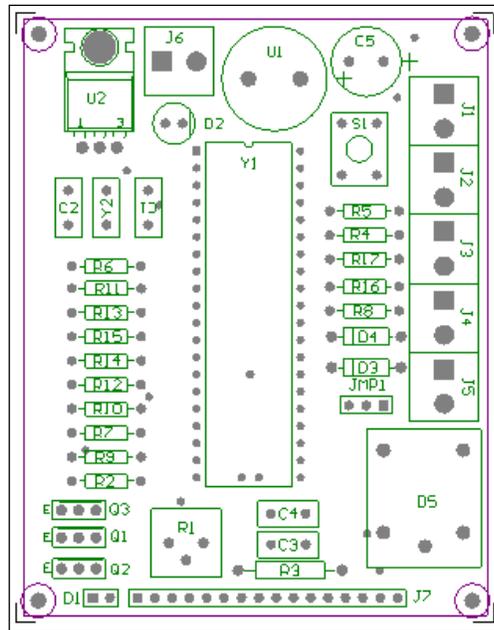


Figura #36. Nomenclatura de los elementos en el circuito.

En la figura #36 se muestra la posición y nombre de los elementos para el circuito de monitoreo. En el anexo B se presenta la lista de materiales para el circuito de monitoreo. La figura #37 muestra el circuito armado con todos los elementos.

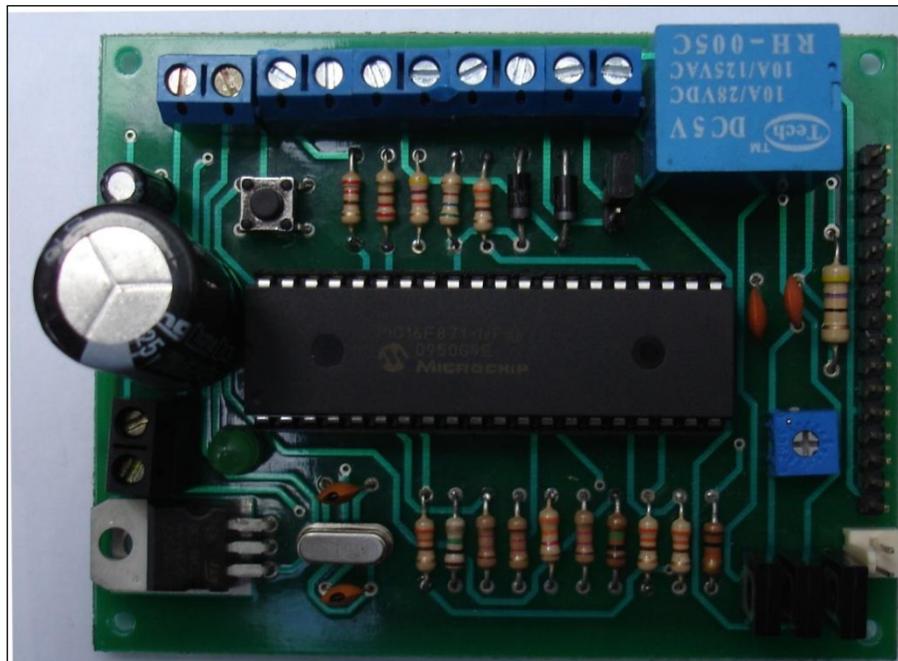


Figura #37. Placa del circuito de monitoreo.

CAPITULO 5

PRUEBAS E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN

5.1 Implementación del sistema de generación

El sistema se implementa dentro de la reserva ecológica Mazán a unos 30 metros del refugio. En la figura #38 se muestra una fotografía del sistema instalado.



Figura #38. Sistema de Generación de Mazan.

Se puede observar que el banco de baterías se encuentra a pocos centímetros del generador y del convertidor. Cada batería está protegida además por una caja plástica.

Los cables de alimentación hacia el refugio están protegidos por una tubería, de pvc flexible, durante todo el trayecto. Esta tubería aparte de proteger al cable contra roturas trata de aislar la humedad para evitar que se oxide.

En la figura #39 se muestra la tubería de captación desde la cascada. El tanque de reserva se indica en la figura #40. Se puede observar además la tubería de captación, las mallas de protección y las llaves de drenaje de cada uno de los espacios, para sedimentación, dentro del mismo. Además existe una llave de paso en la acometida hacia el generador.



Figura #39. Tubería de captación.



Figura #40. Tanque de sedimentación.

5.2 Verificación del controlador de carga

Para probar el funcionamiento del sistema de carga se realizó dos pruebas una en vacío y otra con carga. Para la prueba en vacío se reguló la llave de agua de acceso a la turbina, de mínimo a máximo; se observa que el voltaje del sistema en vacío es de 14.1v sin importar la velocidad del generador. Para la prueba con carga se conecta el convertidor CC/AC con una carga variable hasta 200w. Se comprobó que el voltaje se mantiene dentro del rango de funcionamiento del convertidor, (entre 12 y 13,8v).

5.3 Pruebas del sistema

Verificado el funcionamiento del sistema de control de carga es necesario revisar el funcionamiento del sistema de monitoreo. El voltaje que se muestra en el LCD es contrastado con un voltímetro y muestra similares lecturas. La velocidad del generador se encuentra dentro de los parámetros de funcionamiento. En la figura #41 se muestra la pantalla normal del LCD del sistema de monitoreo. En la figura #42 se muestra la pantalla cuando el sistema está apagado.



Figura #41. Sistema de Monitoreo.



Figura #42. Sistema de Monitoreo apagado.

Para verificar el funcionamiento del sistema cuando se detecte una falla se prueba de las dos maneras posibles, sobrecargándolo y reduciendo el caudal hacia la turbina. En ambos casos el sistema responde de acuerdo a lo estipulado, mostrando el cartel de falla, encendiendo una luz destellante y apagando el convertidor.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con la realización de este trabajo se logro dotar de energía eléctrica a un refugio en las montañas dentro de la reserva ecológica Mazán. El uso de esta energía contribuirá a un normal desenvolvimiento de las personas que visiten la mencionada reserva.

La variación del caudal de agua disponible en la quebrada hace que el grupo de baterías empleado mantenga, en promedio, una tasa de aprovechamiento estable de potencia. Además se asegura energía almacenada, cuando no se disponga de agua o exista alguna falla de generación.

Para optimizar el rendimiento del sistema se recomienda duplicar la capacidad del sistema de captación de agua, desde la quebrada hacia el tanque de sedimentación. Este tanque abastece al generador y al sistema de agua de consumo del refugio, por lo que existen momentos en los que el agua no abastece al sistema de generación.

La tubería de acometida de PVC, desde el tanque de reserva hacia el generador, deberá ser anclada al piso o sustituida por una metálica. El objetivo de esta mejora es alcanzar una mayor presión sin fugas y mayor rigidez de la tubería.

BIBLIOGRAFÍA

Referencias Bibliográficas

- CORTEZ, Manuel. Maquinas Eléctricas Rotativas Primera Edición. España. Editorial Reverte. 1990. 217 páginas.
- DAVIS, Scoth. Microhydro: Clean Power from Water Segunda Edición. USA. Editorial ITDG. 2004. 182 páginas.
- HARVEY, Adam. BROWN, Andy. Micro-Hydro Design Manual. Primera edición. USA. Editorial. 1993. 374 páginas.
- HOLLAND Ray. Micro-hydro Electric Power Primera edición, USA. Editorial ITDG. 1986. 168 páginas.
- KOCH, Carl. Small hydroelectric design manual Primera edición. Canada. Editorial New Westminster. 1990. 29 patinas..
- MATAIX, Claudio. Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas Primera edición. USA. Editorial Harper & Row. 1970. 582 páginas.
- PEREZ, Leonel. Apuntes de Micro-controladores PICS.UDA. 2005
- RODRÍGUEZ, Camilo. Maquinas Hidráulicas primera edición. Argentina. Editorial Universidad de la Plata. 1979. 230 páginas.
- THAKE, Jeremy The micro-hydro Pelton turbine manual: design, manufacture and installation Primera edición. USA. Editorial ITDG. 2000. 180 páginas.

Referencias Electrónicas.

- AGUERA, Soriano Turbomaquians hidráulicas, <http://www.caballano.com/>. España. 2002 [Consulta 22 de mayo de 2009].
- BRUZOS, Tomás Baterías y acumuladores. www.sabelotodo.org. 2002. [Consulta 22 de junio de 2009].
- CLANE, William. Energías Renovables. <http://www.bchydro.com>. Columbia inglesa. 2007. [Consulta 4 de junio de 2009].
- DELCO REMMY. Especificaciones de generadores. <http://www.delcoremy.com>. U.S.A. 2002. [Consulta 12 de junio de 2009].
- LEAHEY, Jeffrey Generalidades sobre micro generación hidráulica. <http://www.hydro.org>. U.S.A. 2007. [consulta 4 de marzo de 2009].

- MICROCHIP TECHNOLOGY Inc. PIC 16F870/871 Datasheet <http://www.microchip.com>. U.S.A. 2003.
- NORMAN, Jim. Especificaciones de turbina Harris y Micro generación Hidraulica. www.absak.com. Canada. 2002. [Consulta 14 de marzo de 2009].
- UNIVERSIDAD DE NOTTINGHAM, Información sobre Pico centrales hidroeléctricas <http://www.picohydro.org.uk/>. Reino Unido. 2000. [Consulta 12 de junio de 2009].

Anexos

Anexo A. Manual de Usuario

Anexo B. Circuitos impresos de Control y Monitoreo

Anexo C. Firmware de Monitoreo

Anexo A

MANUAL DE USUARIO

Introducción

Un sistema de generación hidráulica, básicamente, es aquel que usa agua para mover un generador. La energía que necesita el generador es obtenida de la energía cinética del agua en movimiento y de la energía potencial acumulada por diferencia de alturas entre la fuente hídrica y el generador. El caudal de agua necesario para que funcione el generador es el limitante en estos sistemas. Es necesario estudiar el comportamiento de la fuente hídrica para elegir un sistema apropiado.

Descripción del sistema de generación

El sistema de generación usa una turbina Pelton de 17 alabes, como el de la figura #A.1, acoplado a un alternador de CC, como el de la figura #A.2.



Figura #A.1 Rodete Pelton de 17 alabes.

Fuente: NORMAN, Jim, Pelton Turbines. <http://www.absak.com/pdf/books/ABShydro.pdf>



Figura #A.2 Generador Delco Remy 22SI HP.

Fuente: Delco Remmy. Alternador 22SI. <http://www.delcoremy.com>.

El sistema es alimentado por un caudal de agua de 40 galones/ minuto y 35m de caída, aproximadamente. El sistema se esquematiza en la figura A.3.

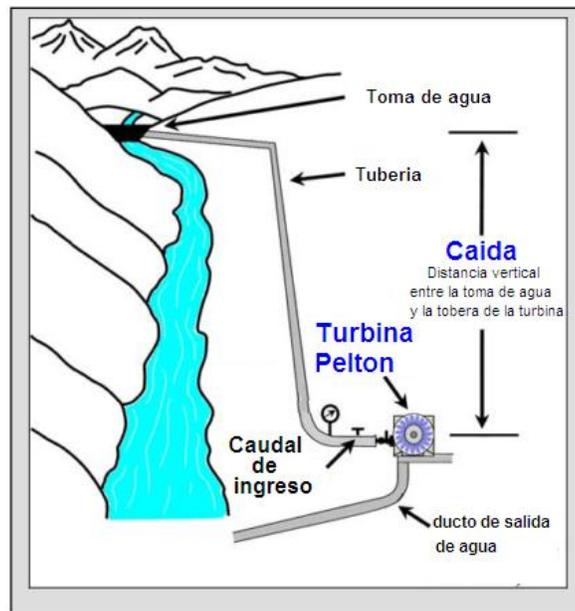


Figura #A.3. Esquema del sistema de generación.

Por las condiciones del lugar y las limitaciones del sistema se puede generar 500w a 12v de CC. El generador alimenta un banco de baterías plomo acido, de 400 Ah, con el fin de aumentar la capacidad del sistema y almacenar energía en momentos de gran demanda. Como se desea usar aparatos domésticos de 110v de CA se dispone de un convertidor CC/CA. En la figura #A.4 se muestra el diagrama eléctrico de bloques del sistema.

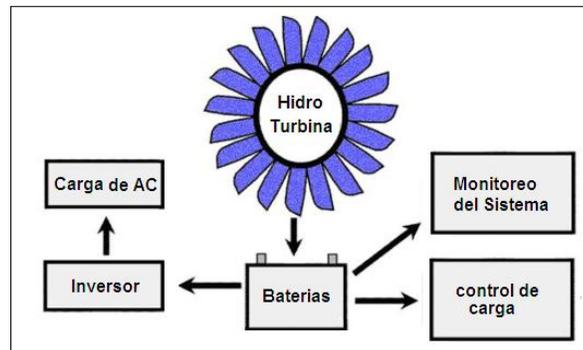


Figura #A.4. Diagrama de bloques eléctrico.

Datos técnicos del sistema

Tipo de Turbina	Pelton de 17 alabes
Voltaje del sistema	12v CC
Potencia generada	400w
Altura de caída	35m
Caudal de ingreso a la turbina	40 galones/minuto
Capacidad del banco de baterías	400 Amp/hora
Potencia máxima del convertidor	450w 12vcc/110v CA
Rango de Trabajo del convertidor	11,9v hasta 14,2v
Diámetro del inyector	13mm
Diámetro de la tubería	65mm
Velocidad máxima de trabajo	1950 RPM
Velocidad mínima de trabajo	990 RPM
Presión dinámica del agua	45 PSI

Tabla #A.1 Datos Técnicos del sistema.

Diagrama eléctrico de conexiones de potencia

Para realizar las conexiones de potencia se deberá identificar los terminales de positivo y negativo de las baterías, el generador y el convertidor; un error en los cables pudiese dañar cualquiera de los equipos mencionados.

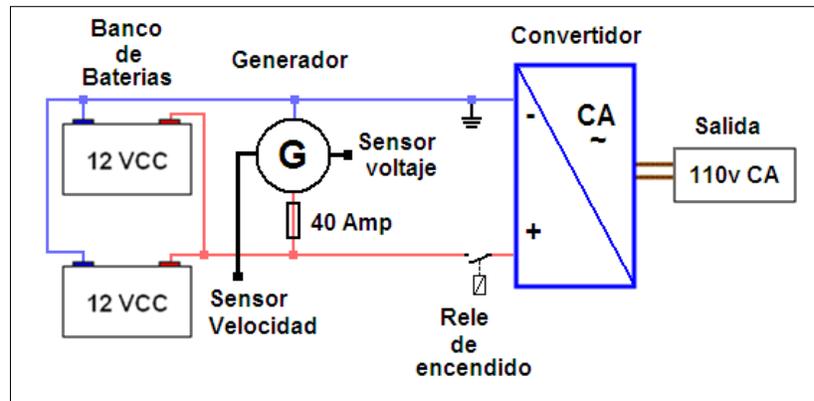


Figura #A.5. Esquema eléctrico de conexiones de potencia.

Para realizar la conexión se debe utilizar un conductor 8AWG, el fusible del generador deberá ser de 40 A. Como resguardo adicional, el convertidor posee un sistema de protección interna, en caso de que el sistema sufra alguna sobrecarga.

Conexión del controlador de carga

El controlador se instala dentro del generador los terminales F (Field), + y - se conectan a los respectivos del generador, claramente identificados.

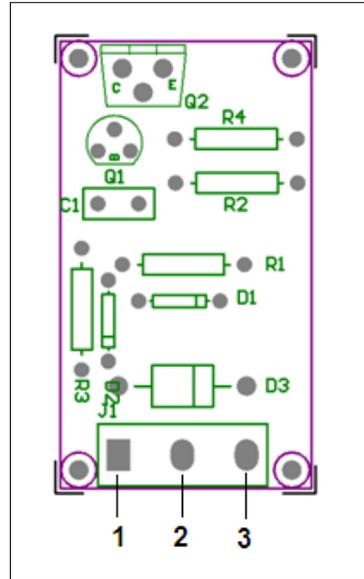


Figura #A.6. Terminales del PCB de control

En el esquema de la placa de control mostrada en la figura #A.6, los terminales son:

1. Terminal de Negativo hacia la batería.
2. Terminal de Positivo hacia la batería.
3. Terminal de "Field" hacia la bobina de campo del generador.

Conexión del sistema de monitoreo

Para un correcto funcionamiento del sistema es necesario conocer bien las entradas y salidas del mismo. En la figura #A.7 se enumeran los conectores del equipo. Aunque el sistema es relativamente sencillo, es indispensable que no haya confusión entre las entradas y salidas del dispositivo, equivocaciones puede derivar en daños permanentes al sistema.

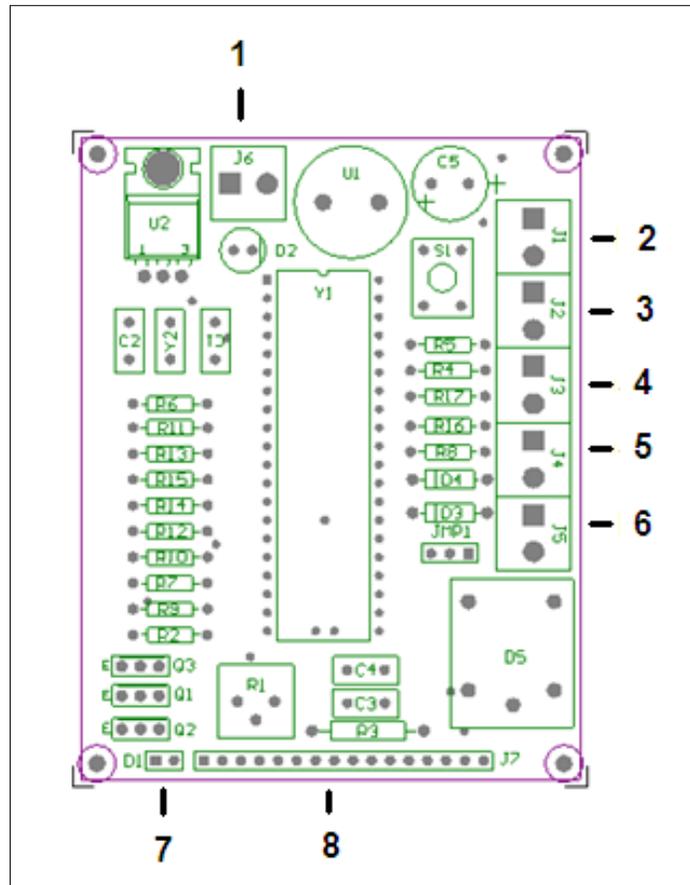


Figura #A.7. Terminales de entrada salida del sistema de monitoreo.

En el esquema de la placa de monitoreo mostrada en la figura #A.7, los terminales son:

1. Entrada de alimentación desde la batería.
2. Entrada pulsante de Encendido/Apagado.
3. Entrada pulsante para refrescar LCD.
4. Entrada sensor de velocidad.
5. Entrada sensor de voltaje.
6. Salida hacia relé de encendido.
7. Salida Led de señalización de falla.
8. Salida hacia LCD.

Descripción del funcionamiento

Cuando el generador se encuentra en funcionamiento se produce un voltaje casi constante de 13.9v en los bornes de salida. Este voltaje se mantiene debido a la acción del controlador de excitación diseñado. Mientras menor es el voltaje de salida mayor es el voltaje de excitación y viceversa. El voltaje máximo que le llegara a la bobina de excitación será el voltaje de salida del sistema. Por esta razón es necesario que el voltaje de salida se encuentre siempre monitoreado.

El sistema de monitoreo revisa constantemente los valores de voltaje dentro de un rango de 14,1v y 11,9v, para determinar que el sistema se encuentre en condiciones normales. Valores superiores al rango determina fallas en el controlador de excitación y valores menores sobrecargas en el sistema. Como también se monitorea la velocidad del generador, cuando este gire a menos de 1000 RPM se puede asumir una falla hidráulica por taponamiento de la tubería o falta de agua; si además el voltaje es menor a 11,9v se asume una sobrecarga.

Manejo del sistema de monitoreo

El manejo del sistema es autónomo, una vez conectado este empieza a medir y comparar los valores de velocidad y voltaje del generador. Pulsando el botón rojo (etiquetado como ON/OFF), se puede encender o pagar el convertidor CC/CA, en cualquiera de los casos, en el LCD se indica el estado del sistema. El Botón negro (etiquetado como LCD), sirve para encender o apagar el LCD, transcurridos aproximadamente 30 segundos el LCD se apagara automáticamente.

Cuando el sistema determine que existe una falla (velocidad o voltaje fuera de límites) el LCD mostrara un cartel de falla y destellara un led (etiquetado como FALLA). Los valores de velocidad y voltaje se mostraran siempre en el LCD.

Mantenimiento

Las partes mecánicas de la turbina son relativamente inmunes a daños. El limo que se deposita en el tanque de reserva debe ser frecuentemente limpiado, para evitar que los sedimentos erosionen a la turbina. El filtro de malla debe ser periódicamente revisado para asegurar que pedazos de escombros o piedras no tapen la tubería, los inyectores o dañen a la propela.

El alternador debe ser removido e inspeccionado anualmente. Al fin del primer año de operación las escobillas de campo y los rodillos deberán ser inspeccionados y reemplazados. Después de un año de uso y juzgando por los elementos reemplazados se puede considerar con qué frecuencia inspeccionar al alternador. También los bornes de las batería, los terminales de cables y fusibles deben ser inspeccionados o reemplazados cuando hayan daños por corrosión.

Un mantenimiento de rutina es esencial para una larga vida del banco de baterías. Es necesario revisar semanalmente el electrolito y adicionar únicamente agua destilada para mantener un adecuado nivel. Toda corrosión y sulfato debe ser removido y neutralizado con bicarbonato de sodio. Si el nivel de electrolito baja demasiado rápido hay problemas con el regulador.

Guía de Solución de Problemas

Si la producción de energía ha caído o se detuvo el procedimiento siguiente le ayudará a determinar el problema.

Básicamente el problema puede ser:

1. **Hidráulico** Entrada de agua a la turbina.
2. **Mecánico** Turbina.
3. **Eléctrico** Alternador, controlador fusibles o cables de transmisión.

Primero revise que el voltaje, la velocidad y la presión este dentro del rango de trabajo.

1. Si la presión es muy baja, puede pasar lo siguiente:

- a) **Problemas de captación.** *Hay problemas en la captación de agua desde la quebrada o poca agua en la fuente.*

Solución: Revise las tuberías de captación o disminuya los inyectores cerrando las llaves de paso

b) **Daños en la tubería.** *Roturas, fisuras o fugas por tramos sueltos de tubería.*

Solución: Revise toda la tubería en busca de cualquier desperfecto u fuga

c) **Tubería Tapada.** *Limo y ramas acumuladas en la tubería.*

Solución: Purgue la tubería cerrando la llave de acceso hacia el generador y abriendo la llave lateral de mantenimiento.

d) **Acceso de agua parcialmente interrumpido.** *Filtro de malla tapado.*

Solución: Limpie el filtro de malla de acceso al tanque de reserva.

2. Si la presión es demasiado alta, puede ser que:

a) Uno o más inyectores se encuentran tapados.

Solución: Retire y limpie los inyectores, purgue la tubería y revise posibles daños en el filtro de malla del tanque de reserva.

3. Si el voltaje es demasiado alto

a) **Corrosión en terminales.** La corrosión aumenta la resistencia en cables de transmisión y terminales.

Solución: Inspeccione, chequee y repare todas las conexiones y cables con un óhmetro para encontrar resistencia elevada.

b) **Daños en el regulador.**

Solución: Revise el alternador y reemplace el regulador.

4. Si el voltaje es demasiado bajo.

a) **La Velocidad del generador es normal.** El alternador tiene algún desperfecto.

Solución: Retire el alternador, repárelo o reemplácelo.

b) **La velocidad del generador es baja.** Hay una sobrecarga en el sistema.

Solución: Revise la potencia de los aparatos conectados al sistema.

Para desmontar el alternador de la base primero retire la propela. Sostenga el eje con una llave allen de 8mm y gire la propela en sentido contrario a las manecillas del reloj.

Nunca desconecte las baterías cuando el generador este funcionando, puede producir picos de voltaje que pueden ser letales o explosión de las baterías.

Nunca hacer girar el generador sin primero conectar el banco de baterías.

Siempre use una grasa anti-corrosión en roscas de pernos y tuercas cuando los reinstale.

Nomenclatura	Descripción	Tipo de Parte
Y1	Microcontrolador	PIC16F871
Y2	Cristal	16.000MHZ
C1	Capacitor	18pF
C2	Capacitor	18pF
R1	Potenciómetro	10K
R9	Resistencia	330
R2	Resistencia	10K
J7	Conector	Peineta 16
U2	Regulador Voltaje	uA7805
U1	Capacitor	220uF
C4	Capacitor	0.1uF
C3	Capacitor	0.1uF
J1	Conector	Bornera PCB *2
J6	Conector	Bornera PCB *2
Q1	Transistor NPN	BD135
R6	Resistencia	330
R3	Resistencia	47 / 1/4 W
R17	Resistencia	4.7K
C5	Capacitor	1uF
S1	Pulsante PCB	PULS PCB
R4	Resistencia	220
R14	Resistencia	220
R12	Resistencia	220
R11	Resistencia	220
R13	Resistencia	220
R15	Resistencia	220
R10	Resistencia	220
J4	Conector	Bornera PCB *2
D5	Rele	5VSPDT
J5	Conector	Bornera PCB *2
J3	Conector	Bornera PCB *2
D4	Diodo	1N4004
D3	Diodo	1N4004
Q2	Transistor NPN	BD135
R7	Resistencia	330
J2	Connector	Bornera PCB *2
R5	Resistencia	220
R8	Resistencia	330
D1	Diodo LED	VERDE
R16	Resistencia	560

D2	Diodo LED	Intermitente
JMP1	JUMPER	Peineta *2
Q3	NPN Transistor	BD135

Tabla #B.1 Materiales del circuito de monitoreo

En la figura #B.2 se esquematiza la posición de los elementos correspondientes para armar la placa de control.

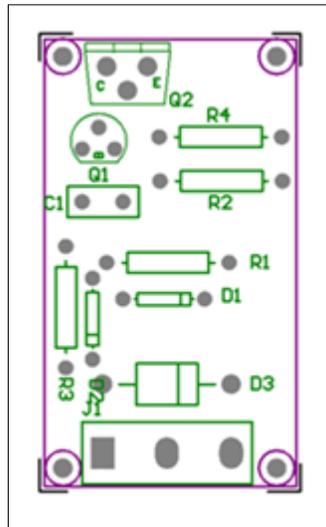


Figura #B.2. Posición de los elementos en la placa de control.

La lista de materiales del circuito de la figura #B.2 se detalla a continuación:

Designador	Descripcion	Tipo de Parte
R1	Resistor	2k2
R2	Resistor	1k
D2	Diode	1N4148
D1	Zener Diode	ZY13
Q1	PNP BJT	BC557
C1	Capacitor	150n
J1	Connector	Bornera *3
Q2	Transistor PNP Darlington	BD902
R3	Resistor	120k
R4	Resistor	1k
D3	Diode	1N5408

Tabla #B.2 Materiales del circuito de control

Anexo C

FIRMWARE DE MONITOREO

```
list p=16f871
#include <p16f871.inc>
```

```

=====
;VECTORES (RESET E INT).
=====
        org 0
        goto INICIO
        org 4
        goto IT
=====
;ZONA DE DECLARACIÓN DE SÍMBOLOS Y VARIABLES.
=====

#define max_ad          0xFE

;Pines de control para el LCD
e          =          0
rs         =          1

;buffers de memoria

buffer0    =          0x20 ;voltaje
buffer1    =          0x21 ;velocidad del generador

;multiplicadores y contadores para demoras.
cont1      =          0x22 ;contadores para demora
cont2      =          0x23
cont3      =          0x24
N          =          0x25 ;factores de demora
M          =          0x26
temp      =          0x26 ;variable temporal

;Variables relativas a los datos
cont       =          0x2c ;contador bcd
unidad_ascii =        0x2d ;ascii unidad
decena_ascii =        0x2e ;ascii decena
centena_ascii =       0x2f ;ascii centena
flag_on    =          0x30 ;contador de direcciones abajo
l_flag_on  =          0x3c
f_flag_on  =          0x3d

```

```

cont_fault      =      0x3e ;contador de fallas
inver           =      0x31 ;invertir bcd
dir             =      0x32 ;direccion para lcd
cont_timmer1   =      0x33 ;contador del timmer1
cont_timmer2   =      0x34
dato           =      0x35 ;dato móvil
r0             =      0x29 ;auxiliar unidades
r1             =      0x2a ;auxiliar decenas
r2             =      0x2b ;Auxiliar centenas

;variables LCD
ch_cont        =      0x36
index          =      0x37
size           =      0x38

;Respaldo para las interrupciones
fsr_temp       =      0x39 ;respaldo temporal del fsr
stat_temp      =      0x3a ;respaldo del registro STATUS durante la interrupción
wtemp         =      0x3b ;res paldo ac

```

```

=====
;TABLA DE DECODIFICACIÓN HEXADECIMAL => ASCII
=====

```

```

ascii          addwf PCL,1
               retlw '0'
               retlw '1'
               retlw '2'
               retlw '3'
               retlw '4'
               retlw '5'
               retlw '6'
               retlw '7'
               retlw '8'
               retlw '9'
               retlw 'A'
               retlw 'B'
               retlw 'C'
               retlw 'D'
               retlw 'E'
               retlw 'F'

```

```

=====
;BLOQUE QUE DEFINE LAS CONDICIONES INICIALES DEL SISTEMA
;Y CONFIGURA LOS REGISTROS DE CONTROL.
=====

```

```

;-----
INICIO          bsf 3,5      ;BANCO 1
;-----

```

```

;definicion de E/S
clrf 8      ;Bus de Datos LCD
bcf 7,0    ;pin enable (rc0 salida)
bcf 7,1    ;pin RS (ra4 salida)
bcf 5,5    ;BACKLIGHT LCD (ra5 salida)

bsf 5,4    ;ra4 entrada contador pulsos
bsf 5,0    ;ra0 com entrada voltaje
bcf 7,2    ;salida para encender el conversor
bsf 6,2    ;entrada pulsante encendido apagado
bsf 6,3    ;entrada pulsante LCD
bcf 7,4    ;salida led falla
bcf 7,3    ;salida apagar lcd
;-----
;DEFINICIÓN DE LÍNEAS DIGITALES Y ANALÓGICAS
;Y FORMATO DEL RESULTADO DE LA CONVERSIÓN
;RA0 ANALOGICAS.
;Justificado a la izquierda
;Configurar ADCON1
movlw b'00001110'
movwf ADCON1
;-----
;CONFIGURACIÓN DEL TIMER0 Y/O PULLUPS INTERNOS
;pull ups habilitados.

bcf OPTION_REG,7
;-----
;HABILITACIÓN INDIVIDUAL DE INTERRUPCIONES
;EXTENDIDAS: RCIF
bsf PIE1,ADIF ;INT por conversion a/d
bsf PIE1,0    ;INT del timmer 1
bsf PIE1,1    ;INT del timmer 2
;-----
;Configuración del TMR0
movlw B'01101000'
movwf OPTION_REG ;configuracion cuenta pulsos de subida en el pin ra4
;-----
bcf 3,5      ;banco 0
;-----
;Configurar el ADCON 0
movlw b'10000000'
movwf ADCON0
;-----
;Configuración del timer1
movlw b'00000001'
movwf T1CON
;-----
;Configuración del timer2
movlw b'01111110'
movwf T2CON
;-----

```

```

;CONFIGURAR el REGISTRO INTCON
;INT Extendidas Habilitadas
;GIE = 0 al inicio.
movlw b'01100000'
movwf INTCON

;=====
;PROGRAMA PRINCIPAL
;=====
;condiciones iniciales

    clrf buffer0
    clrf buffer1
    clrf flag_on
    clrf l_flag_on
    clrf f_flag_on
    clrf TMR0
    clrf cont_timmer1
    clrf cont_timmer2
    clrf cont_fault
    clrf 7

;-----
    bsf INTCON,7;HABILITA INTERRUPTOS
;-----
    bsf 7,3           ;conecta la tierra del lcd
    bsf l_flag_on,0  ;bandera alimentacion lcd encendido
    bsf 5,5           ;enciende el backlight del lcd
ex   call ini_lcd    ;inicial el LCD
    call clrdisp
    call l_off
    call l_masc

;-----
again
    btfss 6,2        ;testeo el pulsante de encendido-apagado de conversor
    goto p_on
    btfss 6,3        ;testeo el pulsante del LCD
    goto lcd_on
    btfss l_flag_on,0
    goto ff
    movf buffer0,w
    movwf dato
    call escalar_1
    call b2_bcd
    movlw 0xc0
    movwf dir
    call visualiza_1 ;vizualiza el bcd de cada valor
    movf buffer1,w
    movwf dato
    call b2_bcd
    movlw 0xc7
    movwf dir

```

```

ff          call visualiza_2
           movlw d'144'
           subwf buffer0,w
           btfss 3,0      ;voltaje menor a 10v?
           goto min_volt
           bcf f_flag_on,0
           movlw d'11'
           subwf buffer1,w ;revoluciones menores?
           btfss 3,0
           goto min_rpm
           bcf f_flag_on,0
           btfss l_flag_on,0
           goto cc
           nop
           goto again
;-----
min_volt
           call falla
           goto again

min_rpm
           call falla
           goto again
;-----
cc
           call clrdisp
           goto again
;-----
p_on  btfss 6,2      ;esta pulsado el pulsante?
           goto p_on
           bcf cont_fault ,0
           btfsc f_flag_on,0
           goto kk
           bsf l_flag_on,0      ;cambia bandera lcd
           bsf 7,3      ;enciendo el LCD
           bsf 5,5      ;enciende backlight
           bsf T2CON,2      ;enciende el timmer 2

           btfsc flag_on,0      ;prende o apaga el conversor?
           goto conv_off      ;apaga
           bsf flag_on,0      ;prende
           bcf f_flag_on,0
           bsf 7,2      ;enciendo el conversor
           bcf 7,4      ;apaga led de falla
           call l_on
           call l_masc
           goto again
;-----
conv_off
           bcf flag_on,0
           bcf 7,2      ;apago el conversor

```

```

                bsf 7,4           ;enciendo led falla
                bcf f_flag_on,0
                call l_off
                call l_masc
                goto again
;-----
kk
                bcf f_flag_on,0
                call falla
                goto again
;-----
falla
                btfs f_flag_on,0
                goto jj
gg
                btfs cont_fault,0
                goto hh
ii
                bcf 7,2           ;apago el conversor
                bsf 7,4           ;enciendo led falla
                bsf f_flag_on,0
                bcf flag_on,0
                return
;-----
jj
                bsf f_flag_on,0
                bsf T2CON,2       ;enciendo el timmer 2
                nop
                nop
                nop
                nop
                bsf l_flag_on,0   ;cambia bandera lcd
                bsf 7,3           ;enciendo el LCD
                bsf 5,5           ;enciende backlight
                call l_fault
                call l_masc
                goto gg
;-----
hh
                call clrdisp
                bcf T2CON,2
                bcf l_flag_on,0
                bcf 5,5
                goto ii
;-----
l_off
                clrf index
                movlw d'15'
                movwf index      ;Visualiza apagado desde 0x80
                movlw d'15'
                movwf size
                call write
                return

```

```

;-----
l_masc
    movlw 0xc0
    call chdir
    movlw d'30'
    movwf index      ;index = 0
    movlw d'15'
    movwf size       ;size = 14
    call write      ;V y RPS Mascara para datos
    return

;-----
l_on
    movlw 0x80
    call chdir
    clrf index      ;Visualiza generando desde 0x80
    movlw d'15'
    movwf size
    call write
    return

;-----
l_fault
    movlw 0x80
    call chdir
    movlw d'45'
    movwf index    ;Visualiza falla desde 0x80
    movlw d'13'
    movwf size
    call write
    return

;-----
lcd_on
    btfss 6,3      ;esta presionado el pulsante?
    goto lcd_on
    bcf cont_fault,0
    btfsc l_flag_on,0 ;prende o apaga el LCD?
    goto lcd_off      ;apaga
    bsf l_flag_on,0      ;prende
    bsf 7,3              ;enciendo el LCD
    bsf 5,5              ;enciende backlight
    bsf T2CON,2          ;enciende el timmer 2
    nop
    nop
    nop
    nop
ni
    btfss flag_on,0      ;encendido o apagado
    goto ey              ;apagado
    call ini_lcd
    call clrdisp
    call l_on
    call l_masc
    goto again

;-----

```

```

ey
    btfss f_flag_on,0
    goto ex
    call l_fault
    call l_masc
    goto again
;-----
lcd_off
    bcf l_flag_on,0      ;borro la bandera del lcd
    call clrdisp
    bcf 7,3              ;apago el conversor
    bcf 5,5              ;apaga el backlight del lcd
    bcf T2CON,2         ;apaga el timmer 2
    goto again
;-----
visualiza_1 ;Visuliza en BCD
    movf dir,w
    call chdir
    movf centena_ascii,w
    movwf 8
    call pulse
    call dem_40us
    movf decena_ascii,w
    movwf 8
    call pulse
    call dem_40us
    movlw 0xC3
    call chdir
    movf unidad_ascii,w
    movwf 8
    call pulse
    call dem_40us
    return
;-----
visualiza_2 ;Visuliza en BCD
    movf dir,w
    call chdir
    movf centena_ascii,w
    movwf 8
    call pulse
    call dem_40us
    movf decena_ascii,w
    movwf 8
    call pulse
    call dem_40us
    movf unidad_ascii,w
    movwf 8
    call pulse
    call dem_40us
    return
;-----

```

```

escalar_1    ;PCLATH para la tabla
             movlw 3
             movwf PCLATH
             movf dato,0
             call tabcal_1
             movwf dato
             clrf PCLATH
             return

;-----
b2_bcd
             bcf STATUS,0 ;borra el carry
             movlw .8      ;contador hasta 8
             movwf cont
             clrf r0      ;unidades
             clrf r1      ;decenas
             clrf r2      ;centenas

loop16
             rlf dato,f    ;dato a convertir
             rlf r2,f
             rlf r1,f
             rlf r0,f
             decfsz cont,f
             goto adjdec
             movf r1,0
             movwf r0
             movlw 0f0h
             andwf r2,0
             movwf inver
             swapf inver,0
             movwf r1
             movlw 0fH
             andwf r2,1

conver_ascii
             movf r2,0
             addlw 30h ;sumo 30h para convertir a ascii
             movwf unidad_ascii
             movf r1,0
             addlw 30H ;sumo 30h para convertir a ascii
             movwf decena_ascii
             movf r0,0
             addlw 30H ;sumo 30h para convertir a ascii
             movwf centena_ascii
             clrf r2
             clrf r1
             clrf r0
             return

adjdec
             movlw r2

```

```

movwf FSR
call adjbcd
movlw r1
movwf FSR
call adjbcd
movlw r0
movwf FSR
call adjbcd
goto loop16

```

adjbcd

```

movlw 3
addwf INDF,0
movwf temp
btfsc temp,3 ; test if result > 7
movwf INDF
movlw 30
addwf INDF,0
movwf temp
btfsc temp,7 ; test if result > 7
movwf INDF ; save as msd
return

```

```

;-----
;SUBROUTINA DE SERVICIO DE IT
;-----
IT      ;respaldo de registros
        movwf wtemp ;respaldo ac
        swapf STATUS,w
        movwf stat_temp
        movf FSR,0
        movwf fsr_temp ;respaldo el FSR
;-----
        ;chequeo de banderas
        btfsc PIR1,0
        goto t1
        btfsc PIR1,1
        goto t2
        btfss PIR1,ADIF
        goto back
        ;A/D int
        bcf ADCON0,0
        movf ADRESH,w
        movwf buffer0
        movf buffer0,0
        sublw max_ad
        ;Si carry = 0 => VALOR > max_ad dato = FF
        btfss 3,0
        goto limite_1
next_1  bcf PIR1,ADIF
        goto back
;-----

```

```

limite_1
    movlw 0xFE
    movwf buffer0
    goto next_1
;-----
t1
    movlw d'60' ;contar 60 interrupciones del timmer1 = 1 seg
    subwf cont_timmer1,w
    btfss 3,2
    goto timmer1
    call hertz
    ;interrupcion del timer 1
    ;cada 16ms
    ;sample and hold
sample
    bsf ADCON0,0
    call dem_40us
    bsf ADCON0,2
    call dem_40us
    goto back_t1
;-----
hertz
    movf TMR0,w
    movwf buffer1
    clrf TMR0
    clrf cont_timmer1
    return
;-----
timmer1
    incf cont_timmer1
    goto sample
;-----
timmer2
    incf cont_timmer2
    bcf cont_fault,0
    goto back_t2
;-----
t2
    movlw d'254' ;contar 254 interrupciones del timmer2
    subwf cont_timmer2,w
    btfss 3,2
    goto timmer2
    clrf cont_timmer2
    bcf 7,3 ;apago el LCD
    bcf I_flag_on,0 ;borro la bandera del lcd
    bcf 5,5 ;apaga el backlight del lcd
    bcf T2CON,2 ;enciende el timmer 2
    bsf cont_fault,0
    nop
    nop
    goto back_t2
;-----
back_t1

```

```

                bcf PIR1,0
                goto back
;-----
back_t2
                bcf PIR1,1
                goto back
;-----
back
                movf fsr_temp,w
                movwf FSR           ;restituye FSR
                swapf stat_temp,w
                movwf STATUS       ;restituye STATUS
                swapf wtemp,f
                swapf wtemp,w      ;restituye W sin afectar las banderas del STATUS
                retfie

```

```

;=====
;SUBRUTINAS
;=====

```

```

;-----
;ini_lcd
;-----

```

```

ini_lcd    call dem_100ms
           bcf 7,e           ;E = 0 (LCD inhabilitado E = 0)
           bcf 7,rs         ;RS = 0 (Modo de Instrucciones)

           ;INICIO DE LA SECUENCIA DE RESET DEL CRISTAL

           call dem_5ms ;demora de power UP
           movlw 0x38
           movwf 8
           call pulse      ;enable
           call dem_40us

           ;FIN DE SECUENCIA DE RESET DEL CRISTAL
           ;FUNCTION SET INST
           ;Modo de transferencia de Datos: 8 bits
           ;Display en 2 líneas
           ;Matriz de 5x7 puntos

           movlw 0x38      ;function set = 38h
           movwf 8
           call pulse      ;pulso de 1us en "E"
           call dem_40us   ;demora de 40 us

           ;DISPLAY ON/OFF CONTROL
           ;display ON
           ;cursor ON
           ;cursor parpadea

```

```

movlw b'00001100'
;movlw 0x0e ;display ON/OFF control = 0ch
movwf 8
call pulse ;pulso de 1us en "E"
call dem_40us

;ENTRY MODE SET INST
;La posición del cursor se incrementa (direcciones de la DD RAM)
;No desplazar el Dato

movlw 6 ;entry mode set = 6
movwf 8
call pulse ;pulso de 1us en "E"
call dem_40us

;DISPLAY CLEAR
;limpia la RAM de display y pone el cursor en la posición cero

movlw 1 ;display clear = 1
movwf 8
call pulse ;pulso de 1us en "E"
call dem_1640us

bsf 7,rs ;modo datos
return

;-----
;clrdisp
;LIMPIA EL LCD
;-----
clrdisp bcf 7,rs ;modo instrucción
movlw 1 ;"display clear" = 1
movwf 8
call pulse ;pulso en "E" (enable)
call dem_1640us
bsf 7,rs ;modo datos
return

;-----
;write
;escribe cualquier cartel en el LCD por el Método de Indexado de TABLA.
;antes de llamarla deben cargarse las variables "index" y "size".
;-----
write clrf ch_cont ;contador de caracteres del
;clrf PCLATH ;cartel que se está sacando
next_char
movlw 2
movwf PCLATH
movf index,w ;indexo
call tabla ;tabla de caracteres del cartel
clrf PCLATH
movwf 8 ;saco caracter
call pulse ;pulso enable

```

```

        call dem_40us      ;demora de ejecución
        movf ch_cont,w
        subwf size,w      ;resta ch_cont del size
        btfsc 3,2
        return           ;RETORNA, se escribió completo
        ;próximo caracter del cartel
        incf index
        incf ch_cont
        goto next_char
;-----
;chdir
;cambia de dirección de escritura en el display LCD
;requisitos: cargar previamente la dirección en WREG
;ej:   movlw 0xc2        ;dirección a donde se desea escribir.
;      call chdir
;-----

chdir      bcf 7,rs        ;modo comandos.
           movwf 8         ;la dirección viene en el acumulador.
           call pulse
           call dem_40us
           bsf 7,rs        ;retorna a modo datos.
           return
;-----
;pulse
;habilita display (da un pulso en el pin enable)
;para que la información a visualizar en el LCD sea
;almacenada dentro de la Memoria de Datos del LCD (DDRAM).
;-----
pulse      bcf 7,e        ;E = 0
           bsf 7,e        ;E = 1
           nop            ;demora de un Ciclo de Máquina
           bcf 7,e        ;E = 0
           return
;-----
;SUBROUTINAS DE DEMORAS POR SW
;-----
dem_5ms    movlw d'60'
           movwf N        ;parámetro a cargar en contadores
           movlw d'5'
           movwf M        ;parámetro a cargar en contadores
           call demora    ;demora de 1ms
           return
;-----
dem_100ms  movlw d'100'
           movwf N        ;parámetro a cargar en contadores

```

```

        movlw d'15'
        movwf M           ;parámetro a cargar en contadores
        call demora      ;demora de 100 MS
        return
;-----
dem_40us  movlw d'8'
          movwf N           ;parámetro a cargar en contadores
          movlw d'1'
          movwf M           ;parámetro a cargar en contadores
          call demora      ;demora de 47us
          return
;-----
dem_1640us  movlw d'46'
            movwf N           ;parámetro a cargar en contadores
            movlw d'1'
            movwf M           ;parámetro a cargar en contadores
            call demora      ;demora de aproximadamente 2ms
            return
;-----
dem_1s     movlw d'80'
           movwf N           ;parámetro a cargar en contadores
           movlw d'128'
           movwf M           ;parámetro a cargar en contadores
           call demora      ;demora de 1s
           return
;-----
;DEMORA PARAMÉTRICA GENERAL
demora     ;return
           movf N,w
           movwf cont1
           movwf cont2
           movf M,w
           movwf cont3
loop       decfsz cont1
           goto loop
           movf N,w
           movwf cont1
           decfsz cont2
           goto loop
           movf N,w
           movwf cont2
           decfsz cont3
           goto loop
           ;fin del proceso, inicia contadores
           return

```

```

=====
;TABLA DE CARACTERES DE CARTELES
=====
                org 0x200

tabla
    addwf PCL,1
    ;=====index = 0
    ;=====size = 15
    retlw ''
    retlw ''
    retlw 'G'
    retlw 'E'
    retlw 'N'
    retlw 'E'
    retlw 'R'
    retlw 'A'
    retlw 'N'
    retlw 'D'
    retlw 'O'
    retlw ''
    retlw ''
    retlw ''
    retlw ''
    ;=====index = 15
    ;=====size = 15
    retlw ''
    retlw ''
    retlw ''
    retlw ''
    retlw 'A'
    retlw 'P'
    retlw 'A'
    retlw 'G'
    retlw 'A'
    retlw 'D'
    retlw 'O'
    retlw ''
    retlw ''
    retlw ''
    retlw ''
    ;=====index = 30
    ;=====size = 15
    retlw ''
    retlw ''
    retlw ','
    retlw ''
    retlw 'v'
    retlw ''
    retlw ''

```

```

retlw ''
retlw ''
retlw ''
retlw ''
retlw 'R'
retlw 'P'
retlw 'S'
retlw ''
;=====index = 45
;=====size = 14
retlw ''
retlw ''
retlw ''
retlw ''
retlw ''
retlw 'F'
retlw 'A'
retlw 'L'
retlw 'L'
retlw 'A'
retlw ''

```

```

;-----
;Tabla de calibración del sensor 1
org 0x300

```

```

tabcal_1    addwf PCL,1
            retlw d'0'
            retlw d'1'
            retlw d'1'
            retlw d'2'
            retlw d'3'
            retlw d'4'
            retlw d'4'
            retlw d'5'
            retlw d'6'
            retlw d'7'
            retlw d'7'
            retlw d'8'
            retlw d'9'
            retlw d'10'
            retlw d'11'
            retlw d'11'
            retlw d'12'
            retlw d'13'

```

retlw d'14'
retlw d'15'
retlw d'15'
retlw d'16'
retlw d'17'
retlw d'17'
retlw d'18'
retlw d'18'
retlw d'19'
retlw d'19'
retlw d'21'
retlw d'21'
retlw d'22'
retlw d'23'
retlw d'24'
retlw d'25'
retlw d'26'
retlw d'26'
retlw d'27'
retlw d'27'
retlw d'28'
retlw d'28'
retlw d'29'
retlw d'30'
retlw d'31'
retlw d'31'
retlw d'32'
retlw d'33'
retlw d'33'
retlw d'34'
retlw d'35'
retlw d'36'
retlw d'37'
retlw d'38'
retlw d'38'
retlw d'39'
retlw d'39'
retlw d'40'
retlw d'41'
retlw d'42'
retlw d'43'
retlw d'44'
retlw d'45'
retlw d'46'
retlw d'46'
retlw d'47'
retlw d'48'
retlw d'49'
retlw d'49'
retlw d'50'
retlw d'50'

retlw d'51'
retlw d'52'
retlw d'52'
retlw d'53'
retlw d'54'
retlw d'55'
retlw d'55'
retlw d'56'
retlw d'56'
retlw d'58'
retlw d'58'
retlw d'59'
retlw d'60'
retlw d'60'
retlw d'61'
retlw d'62'
retlw d'63'
retlw d'63'
retlw d'64'
retlw d'65'
retlw d'65'
retlw d'66'
retlw d'67'
retlw d'68'
retlw d'68'
retlw d'69'
retlw d'70'
retlw d'70'
retlw d'71'
retlw d'72'
retlw d'73'
retlw d'73'
retlw d'74'
retlw d'75'
retlw d'76'
retlw d'76'
retlw d'77'
retlw d'78'
retlw d'78'
retlw d'79'
retlw d'80'
retlw d'80'
retlw d'81'
retlw d'82'
retlw d'83'
retlw d'84'
retlw d'85'
retlw d'86'
retlw d'86'
retlw d'87'
retlw d'87'

retlw d'88'
retlw d'89'
retlw d'89'
retlw d'90'
retlw d'91'
retlw d'92'
retlw d'93'
retlw d'93'
retlw d'94'
retlw d'95'
retlw d'96'
retlw d'96'
retlw d'97'
retlw d'97'
retlw d'98'
retlw d'99'
retlw d'100'
retlw d'101'
retlw d'102'
retlw d'102'
retlw d'103'
retlw d'103'
retlw d'104'
retlw d'105'
retlw d'105'
retlw d'106'
retlw d'107'
retlw d'108'
retlw d'108'
retlw d'109'
retlw d'110'
retlw d'111'
retlw d'111'
retlw d'112'
retlw d'113'
retlw d'113'
retlw d'114'
retlw d'115'
retlw d'116'
retlw d'117'
retlw d'117'
retlw d'118'
retlw d'118'
retlw d'119'
retlw d'119'
retlw d'120'
retlw d'120'
retlw d'121'
retlw d'121'
retlw d'122'
retlw d'123'

retlw d'124'
retlw d'124'
retlw d'125'
retlw d'126'
retlw d'127'
retlw d'128'
retlw d'129'
retlw d'130'
retlw d'130'
retlw d'131'
retlw d'131'
retlw d'132'
retlw d'133'
retlw d'134'
retlw d'134'
retlw d'135'
retlw d'136'
retlw d'137'
retlw d'138'
retlw d'139'
retlw d'140'
retlw d'141'
retlw d'142'
retlw d'143'
retlw d'143'
retlw d'144'
retlw d'145'
retlw d'145'
retlw d'146'
retlw d'147'
retlw d'148'
retlw d'148'
retlw d'149'
retlw d'150'
retlw d'151'
retlw d'151'
retlw d'152'
retlw d'153'
retlw d'153'
retlw d'154'
retlw d'154'
retlw d'155'
retlw d'156'
retlw d'157'
retlw d'158'
retlw d'159'
retlw d'159'
retlw d'160'
retlw d'161'
retlw d'162'
retlw d'162'

retlw d'163'
retlw d'164'
retlw d'165'
retlw d'166'
retlw d'166'
retlw d'167'
retlw d'168'
retlw d'169'
retlw d'170'
retlw d'170'
retlw d'171'
retlw d'172'
retlw d'173'
retlw d'174'
retlw d'175'
retlw d'175'
retlw d'176'
retlw d'177'
retlw d'178'
retlw d'179'
retlw d'179'
retlw d'180'
retlw d'181'
retlw d'182'
retlw d'183'
retlw d'183'
retlw d'184'
retlw d'185'
retlw d'186'
retlw d'186'
retlw d'187'
retlw d'188'
retlw d'189'

;-----

END