

CEVALLOS, FAUSTO

INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA

ABSTRACT

The present paper highlights the importance of developing a rehabilitation and implantation program for micro hydropower plants in Ecuador, in comparison to the two remaining alternatives for rural electrification, i. e., installation of thermoelectric units and extension of transmission lines.

An analysis of the present situation is developed, on basis of the historical evolution of the micro hydropower generation, strengthening the status of the technology.

Operation detail are given on the electronic frequency regulator used in the demonstrative project installed at "La Merced de Buenos Aires" village. The total cost of this project is also mentioned.

The necessary steps and times for the execution of a micro hydropower plant are stated.

Finally, the future possibilities of the micro hydropower generation are explored.

RESUMEN

Se resalta la importancia de desarrollar un programa de implantación y rehabilitación de microcentrales hidroeléctricas en el Ecuador, frente a las otras dos alternativas existentes con el fin de electrificar zonas ubicadas en el sector rural, esto es, instalación de equipos termoeléctricos o extensión de líneas de transmisión.

Una retrospectiva histórica de lo sucedido en el campo de la microgeneración nos lleva a efectuar un balance de la situación actual, dando importancia al estado de la tecnología.

Se detalla el funcionamiento del regulador electrónico de frecuencia utilizado en el proyecto demostrativo instalado en la parroquia "La Merced de Buenos Aires", así como el costo total del proyecto.

Se enuncian los pasos necesarios y los tiempos requeridos para la ejecución de una microcentral hidroeléctrica y las perspectivas de la microgeneración en el país.

1. INTRODUCCION

El Instituto Nacional de Energía, INE, en cumplimiento de una de sus funciones principales, cual es la de "difundir el desarrollo científico y tecnológico y su aplicación en el campo energético", pretende dar a conocer

los resultados que se han obtenido en el campo de la micro generación hidroeléctrica, considerando que el recurso hidráulico es una de las fuentes de energía renovables más importantes, por su gran disponibilidad en el medio para satisfacer la evolución creciente de la demanda de energía eléctrica en el Ecuador, particularmente del sector rural.

La clasificación de las centrales hidroeléctricas en función de su potencia, en concordancia con OLADE (Organización Latinoamericana de Energía), es la siguiente:

Micro		P <	50 kW
Mini	50 kW	< P <	500 kW
Pequeña	500 kW	< P <	5000 kW
Mediana	5000 kW	< P <	50000 kW
Grande	50000 kW	< P	

2. ANTECEDENTES

El Ecuador es un país que dispone de un gran potencial de recursos hídricos que, unidos a las características topográficas favorables, resultan ser potencialmente aprovechables para la generación de energía hidroeléctrica. Esto ha permitido su utilización y aprovechamiento para suplir los requerimientos de energía mecánica y eléctrica de los habitantes.

De la población nacional, aproximadamente el 45% vive en zonas rurales, de los cuales solamente el 40% dispone de energía eléctrica.

El servicio de energía eléctrica que se presta al sector rural ha resultado insuficiente, lo que produce un desbalance con relación al sector urbano, principalmente en el campo socio-económico.

El abastecimiento de energía eléctrica a grandes centros poblados o a zonas industriales difiere grandemente del que se ofrece a las zonas rurales, que se caracterizan por tener en una zona geográfica amplia, agrupaciones muy pequeñas de consumidores potenciales y, por tanto, luego de haber sido electrificado el sector, se tendrán consumos pequeños en períodos iniciales moderadamente largos.

Aún con adecuados estudios de planificación energética es difícil identificar los centros que tendrán en el futuro un desarrollo importante y aquellos que quedarán atrasados.

No se debe utilizar los mismos criterios para dotar de energía eléctrica a una zona urbana o industrial, que a una población rural, porque, de así hacerlo, es difícil justificar la factibilidad económica de

instalaciones que doten de energía eléctrica a zonas rurales.

Es inconveniente invertir en redes de distribución muy ramificadas y complicadas, conectadas a una central grande, cuando los consumos de energía son muy bajos.

La baja confiabilidad de un sistema expuesto a fallas frecuentes, en lugar de ser provechoso para las zonas rurales, resulta contraproducente, pues redundaría en pérdidas económicas debido a la debilidad de las fuentes de producción.

Es conveniente alimentar a zonas como las mencionadas, garantizando:

- Bajos costos de operación de la planta, instalación, montaje y puesta en marcha sencillas,
- operación, mantenimiento y control simples, en concordancia con las condiciones de personal existente en la región, y
- posibilidad de ampliación.

Los objetivos básicos de la electrificación rural son [2]:

- Mejorar la situación de vida de la población rural, mediante la implantación de infraestructura adecuada para su desarrollo integral.
- Sustituir, con hidroelectricidad, el consumo de recursos energéticos no renovables y de alto costo de oportunidad, que actualmente se utilizan en el sector.
- Propiciar el aumento de la producción y productividad del sector agropecuario, estimulando principalmente el establecimiento de agroindustrias, pequeña industria y artesanías.
- Reducir las corrientes migratorias de los habitantes del campo, al incorporar las áreas marginales a los beneficios de la electrificación.

Las razones para un uso ventajoso de los esquemas hidroeléctricos en pequeña escala son bien conocidas y pueden ser enunciadas de la manera siguiente:

- Utilización descentralizada,
- producción de energía cerca de los consumidores,
- bajo costo de operación,
- gran durabilidad,
- alta confiabilidad,
- operación y mantenimiento sencillos y económicos,
- ahorro de fuentes de energía no renovables,
- cambios ambientales insignificantes,
- participación tecnológica nacional, y
- costo relativamente bajo.

Adicionalmente, el desarrollo permanente de la microgeneración en el país posibilita una creciente tecnificación de: profesionales de la ingeniería, fabricantes de equipos y componentes electromecánicos, constructores de obras civiles, etc., lo cual redundará en un importante ahorro de divisas y generación de fuentes de trabajo.

3. RETROSPECTIVA HISTORICA

Inicialmente, los habitantes del sector

rural produjeron equipos para la generación de energía, con diseños y construcción simples, producto de la iniciativa propia.

El servicio eléctrico público en el Ecuador se inició en el año de 1897 con la instalación, en el río Malacatos, de dos turbinas hidráulicas de 12 kW cada una [1].

3.1. Primera etapa (1897-1961)

Una primera etapa abarca el período entre la primera MCH hasta el año 1961, en que se crea el Instituto Ecuatoriano de Electrificación, INECEL.

En esta primera etapa, con base en la información obtenida, se observa que:

Tabla 3.1.1 Resumen MCH primera etapa

	Micro	Mini	Total
# centrales instaladas	14	40	54
Potencia instalada (kW)	361	7958	8319
P media por central (kW)	26	199	154
Centrales fuera de servicio	1	10	11
P fuera de servicio (kW)	40	1765	1805

Para 1961 la potencia total instalada en el Ecuador, en 1200 centrales eléctricas, fue de más o menos 120 MW, que representaba un promedio de 100 kW por central, siendo el índice medio de electrificación por habitante, de 25 vatios [1].

Tabla 3.1.2 Relaciones de MCH vs. situación global a 1961

	Micro	Mini	Total
Centrales instaladas (%)	1.17	3.33	4.50
Potencia instalada (%)	0.30	6.63	6.93
Índice electrific. (W/hab)	0.08	1.66	1.73

3.2. Segunda etapa (1961-1972)

En la década de los años 40, los municipios se convierten en los responsables del suministro eléctrico, de conformidad con la Ley de Régimen Municipal. Actualmente, esta disposición se mantiene vigente en las áreas que no son servidas por las empresas eléctricas que están bajo control de INECEL.

El carácter aislado e inconexo de la organización municipal no hizo posible que la electrificación pueda realizarse de una forma técnica y económicamente planificada. La electrificación realizada por los municipios carecía de una guía política global que oriente su gestión y de un cuerpo legal que defina y norme sus actividades.

Esta situación se mantuvo por el lapso de 20 años, al cabo de los cuales el Estado se planteó la necesidad de reorientar la manera cómo se había proporcionado el servicio eléctrico a los ecuatorianos.

La voluntad de reordenar esta caótica situación debió:

1. Proponer soluciones al grado de atomización y dispersión en que se había sumido el sector eléctrico,
2. plantearse mejorar la calidad del servicio eléctrico,

3. realizar un control a los altos costos de operación establecidos por la independiente actividad de todos los municipios.

Para el efecto, el Gobierno decidió crear un organismo nacional que se encargue del desarrollo del sector eléctrico, sobre todo con criterios de conveniencia nacional.

En el año 1961 se promulgó la Ley Básica de Electrificación, por medio de la cual se creó el Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL) como el organismo estatal encargado de llevar adelante el proceso de electrificación en el Ecuador [2].

En esta segunda etapa, que ha sido considerada desde la creación de INECEL hasta el año 1972, en el cual empieza la explotación del petróleo, se observa que:

Tabla 3.2.1 Resumen MCH 1961-1972

	Micro	Mini	Total
# centrales instaladas	8	12	20
Potencia instalada (kW)	245.5	2475	2720.5
P media por central (kW)	31	206	136
Cent. fuera de servicio	0	1	1
P fuera de servicio (kW)	0	140	140

Para 1972 la potencia total instalada en el Ecuador fue de 357 MW y, puesto que la población era de alrededor de 6.600.000 de habitantes, el índice medio de electrificación por habitante era de 54 vatios [1]. Esto indica que en este período se instaló una potencia de 237 MW.

Tabla 3.2.2 Relaciones de MCH vs. incremento de 1961 a 1972

	Micro	Mini	Total
Potencia instalada (%)	0.09	0.71	0.80
Índice electric (W/hab)	0.04	0.29	0.33

Debe notarse que en este corto período (12 años) la electrificación se ha triplicado, pero puede detectarse que, con la misma intensidad con que creció la electrificación, decreció el aprovechamiento y construcción de sistemas en pequeña escala.

Adicionalmente se puede indicar que, de los 357 MW instalados, 105.3 MW corresponden a sistemas hidroeléctricos y los restantes 252 MW a termoeléctricos, representando un 29.47% y 70.53%, respectivamente [1].

3.3. Tercera etapa (1973-1979)

En la etapa anterior (1970) se creó el Fondo Nacional de Electrificación con el 47% de las regalías de los hidrocarburos que produjera el país hasta 1974, porcentaje que se redujo al 35% desde 1975.

Este fondo adquirió importancia sólo a partir de 1973, año en que comenzó la explotación petrolera en el Oriente.

En este período (1973-1979) se puede observar los siguiente:

Tabla 3.3.1 Resumen MCH 1973-1979

	Micro	Mini	Total
Número centrales instaladas	4	2	6

Potencia instalada (kW)	72	158	230
P media por central (kW)	18	79	38

Como datos adicionales se conoce que para Diciembre de 1979 el Ecuador contó con una potencia instalada de 924.35 MW, desglosados así:

Plantas termoeléctricas:	641.98 MW
Plantas hidroeléctricas > 500 kw.	213.67 MW
Municipios y grupos < 500 kw:	68.70 MW

Se debe destacar que en esta tercera etapa prácticamente se ha paralizado el desarrollo de la generación en pequeña escala, aunque la electrificación a nivel nacional se incrementó en un 258.7%.

En este período, a pesar de ser el más corto (6 años), es el que mayor impulso tuvo con relación a la electrificación. Como factor demostrativo se puede indicar que la potencia instalada por habitante se duplicó de 1972 a 1979, llegando a 108 w/hab.

4. SITUACION ACTUAL

En la última década, que correspondería a la cuarta etapa, se han instalado micro y minicentrales hidroeléctricas con los siguientes resultados:

Tabla 4.1 Resumen MCH desde 1980 hasta 1988

	Mini	Micro	Total
# centrales instaladas	7	7	14
Potencia instalada (kw)	1356	129	1485
P media por central (kw)	194	19	106
# centrales fuera operac	1	1	2
P fuera de operación (kw)	150	12	162

El país cuenta cada vez con menores capitales para emprender grandes proyectos debido, entre otras razones, a la reducción en el precio de venta del petróleo y a los efectos económicos producidos por el pago de la deuda externa, lo que se traduce en menor asignación de recursos para la electrificación.

Lo anterior hace pensar que el país necesita impulsar la implantación de pequeños proyectos, mediante una evaluación más real de las condiciones imperantes, es decir, no se debe definir la mejor alternativa entre una pequeña central y la extensión de líneas de transmisión, desde el Sistema Nacional Interconectado (SNI), mediante los parámetros convencionales de mayor rentabilidad y relaciones beneficio-costos, entre otras consideraciones.

Debe tomarse en cuenta, básicamente, que dichas centrales tienen un carácter eminentemente social e impulsan la utilización de mano de obra local, lo cual influye colateralmente a una cierta tecnificación de los habitantes del campo, que tendrían una opción adicional para incrementar sus ingresos y desarrollarse individualmente de mejor manera.

Adicionalmente, debe tomarse muy en cuenta el lucro cesante que implica la demora de la extensión de líneas de transmisión, como proyección del SNI, versus la implantación de una microcentral hidroeléctrica.

Para potencias entre 10 y 500 Kw, es posible

elegir entre plantas hidroeléctricas o plantas termoeléctricas, de acuerdo con los medios disponibles y la situación local.

Existe comunmente una sobreestimación de la eficiencia de grupos termoeléctricos y una subestimación de plantas hidroeléctricas para su utilización en zonas rurales en desarrollo.

Ventajas de grupos diesel:

- No necesitan de un recurso hídrico.
- Bajo costo de instalación por Kw.
- Edificación y bases de la maquinaria sencillas.
- Instalación rápida y fácil.
- Libertad de ubicación de la planta.

Desventajas:

- Altos costos de operación.
- Necesidad de personal capacitado en operación y mantenimiento.
- Alto costo de repuestos importados.
- Poca vida útil.
- Reemplazo necesario después de corto tiempo.
- Contaminación ambiental.

Las desventajas de las plantas hidroeléctricas son las siguientes:

- Necesidad de que el recurso hídrico se encuentre a una distancia económicamente razonable del centro de consumo.
- Costos de inversión dependientes de la topografía del sitio, y más elevados que los de grupos diesel.
- Necesidad de planificación.
- Potencia máxima dependiente de las características topográficas.

Se justifica, por tanto, la instalación de grupos diesel en lugares donde no se dispone de recursos hídricos o en programas de emergencia, donde se requiere un abastecimiento inmediato de energía.

Se aconseja en otro caso la instalación de plantas hidroeléctricas por su economía en operación, operabilidad ilimitada libre de interrupciones, operación y mantenimiento con el personal y recursos locales, y uso de mano de obra y tecnología nacional, a pesar de su mayor costo de instalación.

5 ESTADO ACTUAL DE LA TECNOLOGIA

La mayoría de países en vías de desarrollo mantienen proyectos relacionados con microgeneración hidroeléctrica, dando inicio a su difusión a través de la instalación de proyectos pilotos demostrativos.

Los programas, en forma general, contemplan estudios de investigación y desarrollo tecnológico en lo referente al diseño, construcción y pruebas de equipos electromecánicos para micro-mini hidrogeneración.

En el Ecuador se han realizado estudios para el aprovechamiento de las fuentes de energía renovables y su adecuada utilización, particularmente en el caso de los recursos hídricos para el abastecimiento de energía eléctrica y mecánica a sectores rurales marginados, lo que permitirá instalar pequeños talleres artesanales, diversificando de esta forma el mercado ocupacional, ayudando

así a elevar el nivel de vida de los habitantes del campo.

El programa desarrollado, luego de haber probado la factibilidad de instalación de mini-microcentrales hidroeléctricas en el país, se ha orientado en dos aspectos:

- La investigación y desarrollo tecnológico, referente a la fabricación a nivel nacional de equipos.
- Transferencia y difusión a nivel nacional de estos sistemas de generación y su aplicación en el sector rural.

En el campo de la investigación y desarrollo tecnológico, el objetivo principal ha sido demostrar que el Ecuador está en capacidad de fabricar equipos electromecánicos, diseñados en base a la tecnología nacional y con materiales disponibles en el mercado local, comparables en calidad y rendimiento a equipos similares importados, pero a costos más bajos.

Los equipos electromecánicos fabricados en el país para la instalación y montaje de microcentrales hidroeléctricas son:

- Turbina de flujo cruzado (Michel-Banki)
- Turbina de flujo tangencial (Pelton).
- Turbinas de tipo axial (Kaplan).
- Tablero de control.
- Regulador electrónico de carga.
- Transmisión mecánica.
- Regulador oleomecánico de frecuencia.
- Regulador electrohidráulico de frecuencia.

5.1. Turbina de flujo cruzado (Michel Banki)

Las turbinas de flujo cruzado son utilizadas para desniveles y caudales medianos.

Poseen características técnicas que facilitan su construcción con materiales de fácil acceso en el mercado, y sus elementos principales son:

INYECTOR.- Tiene la función de orientar y encauzar el flujo de agua hacia el rodete con un determinado ángulo, por lo que su geometría se ha definido para cumplir con este propósito en forma eficaz.

Esta diseñado con el objeto de ser construido, en su totalidad, con planchas de acero cuyo espesor depende de las condiciones de trabajo a que va a ser sometido.

ALABE DIRECTRIZ.- Este elemento divide al flujo de agua en dos partes y a su vez regula el ingreso del agua al rodete. Considerando las condiciones de trabajo del álabe, se puede producir desgaste debido al roce con el agua, por tal razón, su construcción es de aleación de bronce al aluminio moldeado, dándole así una consistencia sólida. Existen además álabes construidos con plancha de acero barolada.

RODETE.- Es el que recibe el impulso del agua para convertirlo en energía mecánica; en este elemento, el agua intercambia energía dos veces, la primera cuando entra y la segunda cuando sale del mismo.

El rodete se compone de dos o más platos circulares colocados equidistantemente en

posición vertical, alrededor de los cuales están alojados los álabes cuyo perfil tiene la forma de un arco de circunferencia, los mismos que han sido recortados de tuberías normalizadas de acero que se puede encontrar fácilmente en el mercado local. Según sea su tamaño, el rodete puede poseer hasta 37 álabes. Antes de su montaje final los rodetes son sometidos a un balanceo estático y dinámico.

En la turbina se tiene los siguientes elementos complementarios:

EJE.- Permite transmitir la energía cinética de rotación del rodete por medio de elementos de transmisión mecánica (poleas, bandas, cadenas, engranajes, etc.) hacia el generador. Para el diseño del eje se han considerado los esfuerzos producidos debido al ingreso del agua al rodete que se transmiten como torque y fuerzas, adicionando a esto el peso del rodete y la fuerza debido a la transmisión mecánica.

El eje debe tener un diámetro máximo del 33% del diámetro del rodete, de esta manera se garantiza una trayectoria sin obstáculos para las partículas de agua.

REGULACION DEL ALABE DIRECTIZ.- Esta puede ser manual o automática, regula el caudal de entrada a la turbina. En el caso de regulación manual, tiene un mecanismo que transforma el movimiento rectilíneo en movimiento giratorio del álabe directriz, que gira un ángulo aproximado de 25 grados y que corresponde al arco de recorrido desde su posición totalmente abierta hasta la posición completamente cerrada.

CARCASA.- Constituye el cuerpo mismo de la turbina. Se compone de dos partes: el cuerpo soporte, en donde se alojan los elementos principales; y el deflector, el cual, gracias a su forma, envía el agua que sale del rodete hacia el canal de descarga.

La carcasa está construida completamente de chapas de acero, más ligeras que las carcasas de fundición gris; descansa sobre una base metálica diseñada y construida de perfiles igualmente de acero, que a su vez sirve para la sujeción y montaje de la turbina sobre la fosa de anclaje (construida de hormigón armado).

RODAMIENTOS.- El diseño y selección de los rodamientos está basado en el análisis de fuerzas que actúan sobre el eje del rodete. Estos elementos son los únicos que se utilizarían en la turbina como producto terminado importado.

5.2 Turbina de flujo tangencial (Pelton)

La turbina tipo Pelton es una máquina hidráulica de impulsión, de flujo tangencial, en la cual el agua actúa sobre el rodete por medio de una o varias toberas, en dirección tangencial.

Estas turbinas se acomodan a la utilización de saltos de agua con mucho desnivel y caudales relativamente pequeños; generalmente se las emplea en saltos desde 40 m hasta 1500 m, consiguiendo rendimientos que alcanzan hasta el 90%.

Las partes principales son:

RODETE.- Está compuesto de un número determinado de álabes en forma de doble cuchara, los mismos que se encargan de recibir el impulso del chorro de agua y dividirlo en dos, haciendo que circule por la cavidad del álabe en filetes de pequeña sección que recorren, cada uno, un arco de aproximadamente 180 grados, contrarrestando mutuamente los empujes axiales por cambio de dirección de los dos chorros.

TOBERA.- Es un tubo de sección circular, semejante a un cono, y tiene la propiedad de producir un chorro cilíndrico y perfectamente compacto, que golpea los álabes.

REGULACION.- Se produce por el desplazamiento axial de la aguja, elemento que se encuentra dentro de la tobera, provocando la abertura o cierre del área de flujo dependiendo del sentido de desplazamiento, que puede realizarse en forma manual o automática.

5.3 Turbinas de tipo axial (Kaplan)

Para pequeñas caídas y grandes caudales se presenta como una opción favorable el uso de las turbinas de tipo axial.

La tendencia de los modernos constructores de turbinas hidráulicas es la explotación económica de caídas de agua cada vez menores con caudales cada vez mayores; esta tendencia se explica por el enorme potencial que poseen los ríos en los kilómetros más próximos a su desembocadura, donde tienen lugar los grandes caudales que generalmente son terrenos de llanura.

Estos saltos de gran caudal y altura muy pequeña son hoy en día aprovechables incluso con alturas de un metro, gracias a las turbinas hidráulicas modernas rápidas o de elevada velocidad específica.

La Kaplan es una turbina de hélice con álabes ajustables que consta de 3 a 6 paletas, de forma que la incidencia del agua en el borde de ataque del álabe pueda producirse en las condiciones de máxima acción, con independencia de las condiciones de caudal y caída. Se logra así mantener un rendimiento elevado a diferentes valores de potencia.

La turbina Kaplan está conformada por distribuidor, rodete y tubo de desfogue o aspiración.

DISTRIBUIDOR.- Está conformado por paletas curvadas que no tienen ningún tipo de movimiento, por lo que se le llama también corona directriz, su función es:

- Transformar parcialmente la energía de presión en energía cinética,
- dirigir el agua haciendo que siga una dirección determinada hacia el rodete, con un mínimo de pérdidas hidráulicas.

RODETE.- Es el componente giratorio en el cual se transmite la energía del agua a la turbina. Sus funciones son:

- Transmitir al eje acoplado a él una potencia proporcional al momento ejercido sobre el rodete y a la velocidad angular,

disminuir la velocidad del agua tanto como se pueda.

TUBO DE ASPIRACION O DESFOGUE.- Como parte de la turbina, se ubica luego del rodete y su función es:

- Evitar que el agua salga directamente a la atmósfera regulando la velocidad de salida,
- permitir recuperar en gran parte la energía cinética que posee el agua, debido a la velocidad residual, a la salida del rodete.

5.4. Tablero de control

Debido a que los proyectos de microcentrales son destinados a lugares de difícil acceso, la constitución del tablero debe ser capaz de soportar el mal trato que implica su transporte, por esta razón, se lo construye generalmente de tol laminado en frío de un espesor adecuado, y debidamente protegido contra la corrosión.

El tablero de control contiene elementos de maniobra, señalización, instrumentos de medida y, en su parte interior, los sistemas de regulación, protecciones y las respectivas conexiones internas, así como borneras y terminales para las conexiones externas.

INSTRUMENTACION.- El tablero de control generalmente dispone de: tres amperímetros (generador, carga principal y carga auxiliar), voltímetro, frecuencímetro, horómetro, lámparas para señalización de "normal", "generación", "sobre temperatura", "carga real conectada" y "sobrecarga", así como de leds indicadores de falla y de cargas auxiliares activadas.

ELEMENTOS DE MANIOBRA Y PROTECCION.- Interruptor general bajo carga, lámpara pulsante de desconexión de la carga principal, disyuntor con bobina de disparo para conexión de la carga principal, sensor calibrable de sobrecarga conectado a las líneas que alimentan la carga principal, módulo de protecciones y selectores para los instrumentos de medida.

SISTEMAS DE REGULACION.- En el interior del tablero se alojan tanto los sistemas de regulación de voltaje como los de frecuencia.

5.5. Regulador electrónico de carga

La energía eléctrica, generada en una microcentral, debe tener buenas características de voltaje y frecuencia, por lo que se ha desarrollado sistemas de regulación en base a elementos de estado sólido.

El mecanismo mediante el cual se realiza el control de frecuencia es el siguiente: se dispone de una carga auxiliar, generalmente resistiva, de una potencia igual a la máxima potencia generada por el equipo, encargándose el regulador electrónico de alimentar a la carga auxiliar con una potencia igual a la diferencia entre la máxima generada y la consumida por los pobladores (carga útil).

Con el fin de alimentar a la carga auxiliar se disponen de varias técnicas de control,

las cuales se diferencian por la forma de onda del voltaje aplicado a la carga auxiliar y entre las cuales se pueden mencionar:

- a. Alimentación a la carga auxiliar por medio de un puente semicontrolado, con voltaje unidireccional y con valor medio de voltaje variable, de acuerdo a la potencia que se deba disipar.
- b. Alimentación a la carga auxiliar por medio de triacs, con voltaje alterno, cuyo valor medio es variable ya que se realiza control del ángulo de disparo de los triacs.
- c. Alimentación a la carga auxiliar por medio de triacs que se conectan al cruce por cero de la señal de voltaje generado. En esta técnica se divide a la carga auxiliar en varias subcargas, cuya potencia de disipación está en relación 1:2:4:8:etc. con lo cual las subcargas, que en cada ciclo de la señal de voltaje se conectan, depende de la potencia que se deba disipar.
- d. Existe otra técnica en la cual se divide la carga auxiliar en varias subcargas iguales. La potencia a disiparse define el número de cargas que deben estar conectadas y en caso de que dicha potencia no sea múltiplo del valor de potencia de las subcargas auxiliares, se realizará control de fase sobre una subcarga adicional.

En el presente documento se describirá en forma detallada el regulador electrónico de carga modelo RTIII-INE, instalado en la microcentral hidroeléctrica de 80 kW de la parroquia "La Merced de Buenos Aires", inaugurada en noviembre de 1989.

El regulador RT-III opera según lo detallado en el literal c, y con el fin de realizar el algoritmo de control, utiliza circuitos integrados digitales de tecnología TTL.

El equipo que conforma el tablero de control va montado en un solo gabinete metálico modular serie T8186 de 800x1800x600 mm, construido en lámina de tol laminado en frío de 2.0 mm de espesor; terminado con un proceso de fosfatización previo a la aplicación de pintura de uso marino.

Tiene dos puertas delanteras abisagradas con cerradura del tipo industrial y empaquetadura de caucho, cumpliendo con las NORMAS IEC grado de protección IP544; tapas laterales, posterior, superior e inferior desmontables y panel de montaje de los equipos eléctricos.

Tanto la puerta delantera inferior como las laterales van provistas de louvers para lograr una adecuada ventilación de los componentes.

El regulador de carga modelo RTIII-INE está formado por tres módulos: el de transformadores, el de control y el de potencia.

MODULO DE TRANSFORMADORES.- Esta constituido por tres transformadores monofásicos de 100VA c/u, formando un "banco de transformadores", con el primario en estrella con neutro para 220/127V, y 3 secundarios. Un secundario de 12V/1(A) en estrella con neutro a tierra; otro de 28V/1(A) en es-

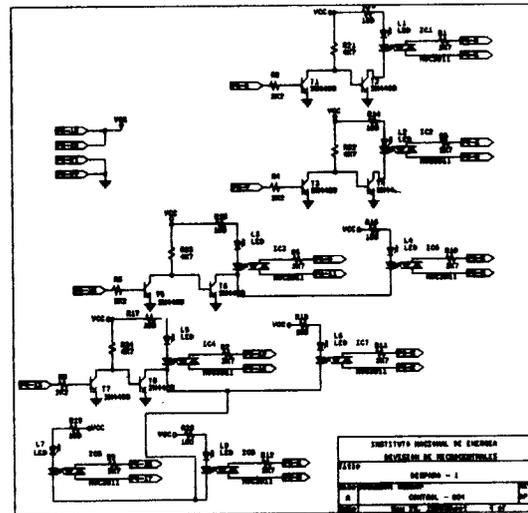
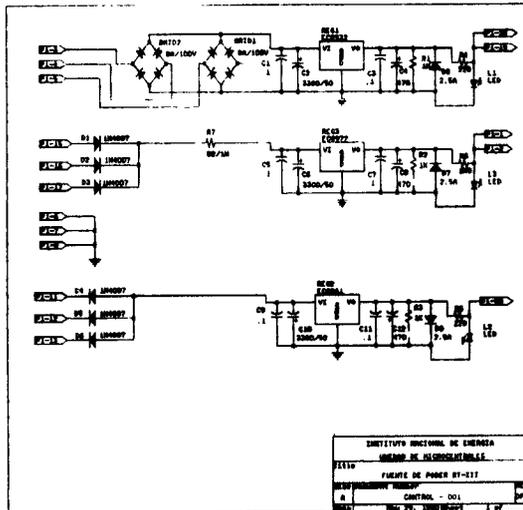
trella con neutro a tierra y un tercero de 12V/5(A) en delta, con el objeto de filtrar las armónicas de orden impar.

MÓDULO DE CONTROL ELECTRONICO.- Está conformado por un rack con 6 conectores tipo enchufe de 44 pines.

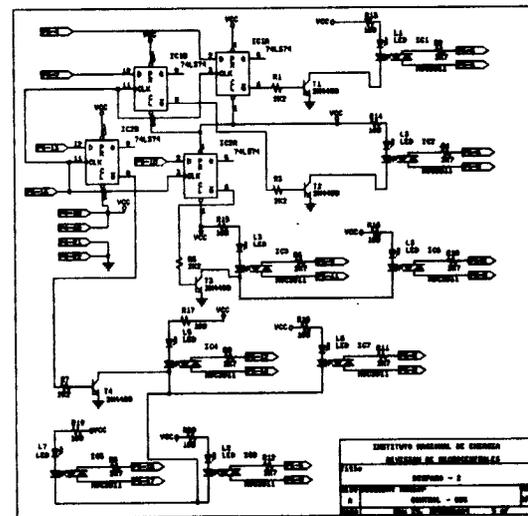
Los diferentes circuitos que conforman cada etapa se han construido en tarjetas separadas, intercambiables para que permitan su fácil comprobación y reparación e identificadas de acuerdo a la función que desempeñan dentro del módulo, teniéndose las siguientes:

Tarjeta de "Fuente de Poder".-(Diagrama: CONTROL 001).

Constituye la fuente de poder que alimentará a todo el sistema electrónico. Esta tarjeta ofrece +5(VDC)/5(A); 24(VDC)/1(A); -5(VDC)/1(A) y 0(VDC).



Disparo por cero.- (Diagrama: CONTROL 005), utilizado para las dos fases restantes, y que obliga a que el encendido del triac se realice muy cerca del cruce por cero.



Tarjetas de "Disparo".-

Las cargas se conectan a la línea mediante elementos de estado sólido (triacs), que son activados por los circuitos de disparo con acoplamiento óptico, lo cual asegura una adecuada aislación entre el circuito de control y el de potencia.

El circuito de disparo de triacs por medio de optoacopladores permite tener una corriente de compuerta suficiente para disparar cualquier tipo de triac, antes de llegar a la corriente máxima del triac auxiliar.

Existen dos tipos de tarjetas de disparo:

- Disparo simple.- (Diagrama: CONTROL 004), el cual se utiliza para el disparo de los triacs de aquella fase de la cual se está tomando la muestra de frecuencia.

Tarjeta de "Proteccion de la Carga".-(Diagrama: CONTROL 002).

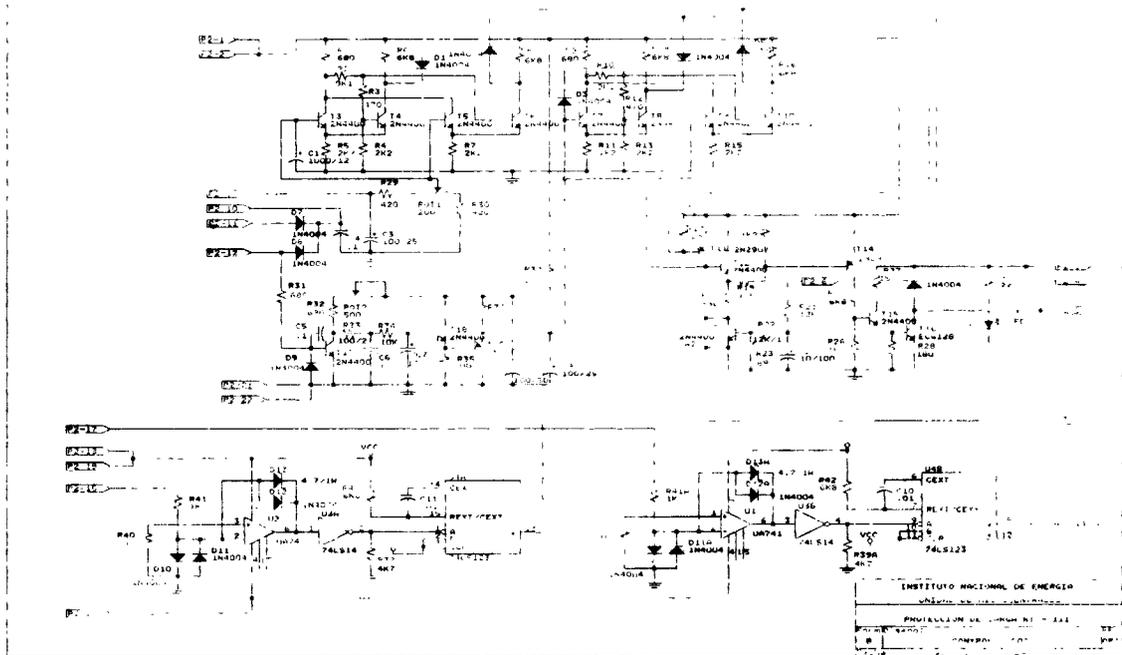
Desconecta la carga principal ante las siguientes condiciones de falla:

- Bajo voltaje (127 V - 10%)
- Sobrevoltaje (127 V + 5%)
- Baja frecuencia (57 (Hz))
- Sobre frecuencia (63 (Hz))

para lo cual utiliza un relé auxiliar que ordena el disparo del disyuntor de la carga principal.

Una vez corregida la falla, se rearma el disyuntor mediante su manija respectiva.

Esta tarjeta tiene una bobina externa, utilizada para sensar la frecuencia del generador.

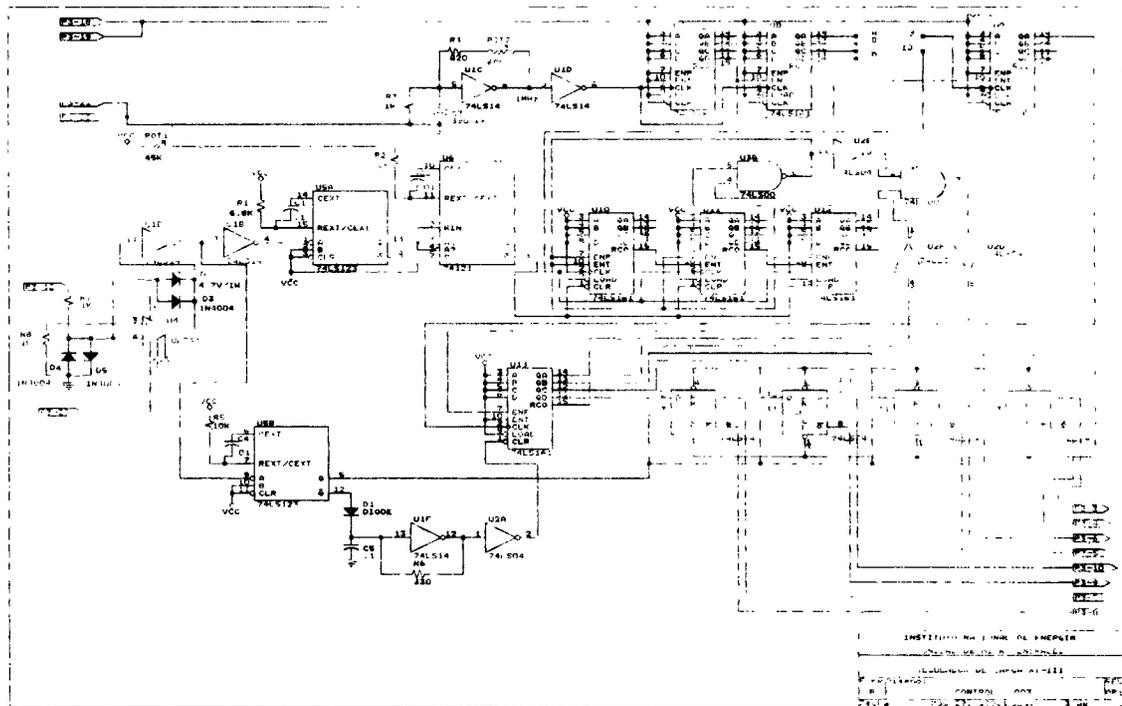


Tarjeta de "Control de Frecuencia".-(Diagrama: CONTROL 003).

Para mantener constante la carga vista por el generador, se utiliza una carga auxiliar que la conforman varias cargas por fase, en la relación 1+2+4+8, con las cuales se puede variar la potencia disipada por la carga

auxiliar desde el cero hasta potencia total en 15 pasos iguales de carga.

Mediante un potenciómetro, que está localizado en una parte visible de la tarjeta de control e identificado por la palabra "tiempo", se puede variar ligeramente el rango de regulación.



MODULO DE POTENCIA.- El módulo de potencia está constituido por los triacs y por los elementos necesarios para su protección de transitorios, sobrecarga y calentamiento (mediante el uso de adecuados disipadores).

El valor de la corriente nominal de los triacs está determinado por la potencia a regularse, en el tablero construido se han utilizado triacs de la misma capacidad de corriente (40 (A)). Cada triac permite la conexión de cargas auxiliares independientes.

En el tablero en referencia se han utilizado 8 triacs por fase (24 triacs en total), asignándose 1 triac por fase para las cargas 1 y 2, 2 triacs por fase para la carga 4, y 4 triacs por fase para la carga 8.

5.6. Transmisión

La transmisión de turbina a generador en una microcentral generalmente se lo hace a través de poleas y bandas, protegidas por una malla. En algunos casos, debido a la gran diferencia de velocidad existente entre la que se puede obtener en la turbina y la que requiere el generador, puede ser necesario un acoplamiento por medio de un multiplicador de velocidad.

5.7. Reguladores oleomecánicos

Permiten mantener la velocidad del grupo turbina-generador en un valor constante, garantizando de esta manera que la frecuencia generada se mantenga dentro de ciertos rangos establecidos, para lo cual actúa sobre elementos que controlan el caudal de ingreso a la turbina.

Generalmente constan de dos componentes básicos: unidad de medición de velocidad y sistema de control, acompañados por un amplificador hidráulico de potencia.

El sensor de velocidad consiste, en la mayoría de los casos, en un sistema que aprovecha la fuerza centrífuga con el fin de desplazar masas, las cuales tienen como fuerza resistente un resorte. El movimiento de las mazas permite que, por un sistema de palancas, se actúe sobre la entrada de un sistema amplificador hidráulico de potencia.

5.8. Reguladores electrohidráulicos

Son sistemas que utilizan elementos electrónicos para la medición de la velocidad de la turbina, y la entrada al sistema amplificador hidráulico de potencia se realiza generalmente por medio de un motor.

6 PASOS NECESARIOS PARA LA CONSTRUCCION DE UNA MICROCENTRAL HIDROELECTRICA

A continuación se presenta un listado de las actividades necesarias para la construcción de una microcentral, indicándose además el tiempo estimado para la ejecución de cada una de ellas, aclarando que, en algunos casos, las actividades demandarán un tiempo mayor.

Se marca con asterisco las actividades críticas.

ACTIVIDAD	TIEMPO
1 EVALUAC.RECURSO	1 semana
* 2 ESTUDIO PREFACTIBILIDAD	1 semana
3 ESTUDIO HIDROLOGICO	1 semana
* 4 DETER.USOS DIRECTOS	3 Días
* 5 DETERM.DEMANDA	3 Días
* 6 ELAB.CONVENIOS	2 semanas
7 DETER.USOS Q AUX	1 semana
* 8 CONSTRUC. ACCESO	4 semanas
* 9 ESTUDIOS TOPOGRAFICOS	2 semanas
* 10 ESTUDIO ALTERNATIVAS	1 semana
* 11 SELECCION ALTERNATIVAS	1 semana
12 DISEÑO EQ.E.M.	3 semanas
13 FABRICACION TURBINA	6 semanas
14 FABRICACION TABLERO	6 semanas
15 COMPRA GENERADOR	6 semanas
* 16 DISEÑO OBR.CIVIL	4 semanas
* 17 COMPRA MAT.CANAL	1 semana
* 18 CONSTRUC.CANAL	6 semanas
19 COMPRA MAT.TOMA	1 semana
* 20 DESVIO RIO	1 semana
* 21 CONSTRUC.TOMA	6 semanas
22 COMPRA MAT.TANQUE PRESION	1 semana
23 CONSTRUC.TANQUE PRESION	6 semanas
24 COMPRA TUBERIA PRESION	1 semana
25 INST.TUBERIA PRESION	5 semanas
26 CONSTR.CASA MAQUINAS	5 semanas
27 INSTAL.EQ.E.M.	2 semanas
28 INS.ELECTRICAS	1 semana
29 ACOMETIDA	1 semana
30 INS.Q.AUX	1 semana
* 31 PRUEBAS PRELIMINARES	1 semana
* 32 IDENTIF.PROBLEMAS	1 semana
* 33 PRUEBAS DEFINITIVAS	1 semana
34 DEMOSTRACION	1 semana
* 35 PUESTA EN MARCHA	1 semana
* 36 ENTREGA OBRA	1 semana
* 37 EVALUACION	3 semanas

7. COSTO DE LA MICROCENTRAL HIDROELECTRICA "LA MERCED DE BUENOS AIRES"

Como ejemplo se ha tomado el caso de la microcentral instalada en la parroquia "La Merced de Buenos Aires", la cual se llevó a cabo mediante un convenio entre el INE y EMELNORTE, mediante el cual, al INE le correspondió dotar al proyecto del equipo electromecánico y EMELNORTE se encargó de construir las obras civiles necesarias.

El aporte, en sucres, de cada una de las instituciones fue:

APORTE DE EMELNORTE	
Ingeniería y administración	905.880
Terreno y servidumbre	38.300
Edificios y estructuras	700.000
Obras hidráulicas	3.715.488
Instalaciones eléctricas	3.696.000
Vías de acceso	693.391
Imprevistos	450.941
TOTAL APORTE EMELNORTE:	10.200.000
APORTE DEL INE	
Tablero de control	3.031.500
Acometida	360.000
Resistencias auxiliares	45.000
Poleas	160.000
Bandas	60.000
Tubería, válvula, etc.	345.000
Base generador	100.000
Generador	3.400.000
Varios	140.000

TOTAL APORTE INE: 8.086.500
 COSTO TOTAL DE LA OBRA: 18.286.500

8. PERSPECTIVAS

Las instituciones comprometidas con el desarrollo de la hidroelectricidad, preocupadas por un mayor desarrollo de la micro y mini-hidrogeneración, y en cumplimiento de sus funciones, han definido un importante número de sitios que son potencialmente aprovechables.

A continuación se resumen las características generales de los proyectos que podrían construirse en un futuro inmediato y la etapa en que se encuentran.

Tabla 8.1 Micro y minicentrales hidroeléctricas que pueden construirse

Número	Potencia (kW)	Estado actual
16	3014	reconocimiento preliminar
2	200	prefactibilidad
5	850	estudios preliminares
6	855	estudios definitivos
2	350	construcción

Lo anterior puede resumirse en la tabla siguiente:

Tabla 8.2 Resumen MCH en estudio

	Micro	Mini	Total
Número centrales posibles	4	26	30
P a instalarse (kW)	220	5049	5269
P media por central (kW)	194	43	174

A continuación se presenta un resumen de las MCH actualmente en operación:

Tabla 8.3 Resumen de MCH en operación

	Micro	Mini	Total
# de centrales en operac.	31	47	78
P en operación (kw)	755.5	9332	10087.5

9. CONCLUSIONES

1. Con la instalación de proyectos demostrativos, se justifica la factibilidad de construcción de equipos electromecánicos de fabricación nacional, de muy buenas características de operación, y con costos menores a equipos similares importados.
2. Resulta impostergable la implantación masiva de MCH en los sectores aislados del SNI, y la rehabilitación y/o mejoramiento de muchas de las viejas o abandonadas plantas existentes en el país.
3. El desarrollo permanente de la microgeneración posibilita una creciente tecnificación nacional en las áreas inherentes, como es el caso de profesionales de la Ingeniería, de fabricantes de equipos y componentes electromecánicos y de mano de obra, todo lo cual redundará en un importante ahorro de divisas y mayor perfeccionamiento de la mano de obra nacional.
4. El país debe volver la mirada a los pro-

yectos en pequeña escala, como consecuencia de la difícil situación económica que dificulta ejecutar grandes proyectos de hidrogeneración, con el fin de disminuir el consumo de derivados del petróleo utilizados en la generación termoeléctrica.

10. RECOMENDACIONES

1. Sobre la base de que es necesario un impulso en la implantación de sistemas hidroeléctricos, en pequeña escala, todas aquellas personas naturales o jurídicas que comparten este interés deben trabajar mancomunadamente, evitando así duplicación de esfuerzos y, lo que es peor, entorpecimiento en el desarrollo de estos proyectos, que coadyuvarán a establecer un mejor nivel de vida de los pobladores del sector rural.
2. Puesto que no todos los proyectos previstos llegarán a construirse, debería priorizarse su ejecución tomando en cuenta la proyección actual que tiene el SNI, las necesidades de los habitantes de las zonas en estudio, etc.
3. Con respecto a escoger entre la alternativa de construir una MCH o extender las líneas de transmisión del SNI, debe hacerse una evaluación más real de las condiciones imperantes, es decir, sin considerar exclusivamente los parámetros convencionales de mayor rentabilidad y relaciones beneficio-costo.

Debe considerarse, prioritariamente, que dichas centrales tienen un carácter básicamente social, impulsan la utilización de mano de obra local, lo cual influye colateralmente a una cierta tecnificación de los habitantes del campo, con lo que tendrían una opción adicional para incrementar sus ingresos y desarrollarse individualmente de mejor manera.

4. Debe tomarse muy en cuenta el lucro cesante que implica la demora de la efectivización de extensión de líneas de transmisión, producto de la proyección del SNI, versus la implantación de una microcentral hidroeléctrica.

11. BIBLIOGRAFIA

1. INECEL. Plan Maestro de Electrificación. TOMO I, COMPENDIO. Período 1980-1984.
2. INECEL. Documento Nacional del Ecuador, Unidad Ejecutora de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.
3. KROCHIN, Sviatoslav. Inventario de minicentrales en el Ecuador. Documento II/302/89. Dirección de Planificación, INECEL. Febrero 1989.
4. VILLACRES, Carlos. Diagnóstico del Grado de Desarrollo Tecnológico de las Turbinas Pelton en el Ecuador y sus Perspectivas de Desarrollo Local. Convenio ESPOCH-INE. Riobamba Ecuador. 1986