



## III Congresso da Academia Trinacional de Ciências

Parque Tecnológico Itaipu – PTI  
Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil

08 a 10 de outubro de 2008  
[www.c3n.pti.org.br](http://www.c3n.pti.org.br) (C3N 2008)

### Monitoreo Satelital de Microcentrales Hidroeléctricas

Mendoza Horacio<sup>1</sup>, Botterón Fernando<sup>1</sup>, Kurtz Victor Hugo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Misiones (UNaM)  
Juan Manuel de Rosas 325 –CP 3360 – Oberá – Misiones – Argentina

[mendoza@fio.unam.edu.ar](mailto:mendoza@fio.unam.edu.ar) [botteron@fio.unam.edu.ar](mailto:botteron@fio.unam.edu.ar)  
[kurtzvh@fio.unam.edu.ar](mailto:kurtzvh@fio.unam.edu.ar)

**Resumen.** Este artículo propone la utilización de enlaces satelitales para el envío de variables de operación de micro y pico centrales hidroeléctricas que se encuentran alejadas más de 25 km de los centros urbanos con el fin de obtener modelos de comportamiento de acuerdo al asentamiento poblacional que abastece

**Palabras claves:** Satélites, Microcentrales, radioenlaces

#### 1. Introducción.

El constante crecimiento demográfico trae como consecuencia el aumento de la demanda de energía eléctrica y los sistemas de generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica no acompañan el crecimiento de la población y de la industria en la misma proporción. Este problema exige la necesidad de incrementar la generación de energía eléctrica por diferentes medios, ya sea a través de fuentes renovables o no renovables. Por otro lado, las zonas rurales y regiones muy alejadas de los centros urbanos, tienen una necesidad imperiosa por el uso de la energía eléctrica, en primer lugar para iluminación, calefacción y/o refrigeración y en segundo lugar para las comunicaciones, haciendo necesario el uso de aparatos electrónicos que, aunque eficientes con respecto al bajo consumo de energía, hace necesaria una mínima potencia de alimentación. El problema que aquí surge, es que dichas regiones están alejadas de los centros de distribución de la energía eléctrica, dificultando el acceso a la misma, debido principalmente a los elevados costos de instalación de líneas de transmisión y transformadores, sumándose en otros casos la imposibilidad de construirse una línea de transmisión debido a la geografía del terreno. Como por ejemplo en los refugios de montaña de la zona cordillerana o en las serranías de la Provincia de Misiones

## **2. El problema de las microcentrales aisladas.**

El control de la generación en microcentrales hidroeléctricas, no es tarea simple. Los problemas presentados en el control de la generación eléctrica en pequeños aprovechamientos, son similares a los presentados en instalaciones de mayor porte [Corina Caballero 2001]. Sin embargo, el presupuesto disponible es mucho menor, por lo que no es posible utilizar las soluciones adoptadas para grandes centrales hidroeléctricas en pequeñas centrales.

Un estudio pormenorizado de los factores que intervienen en la micro generación, facilita el diseño de sistemas de control de generación más económicos y de fácil implementación y/o reparación [Muñoz et al. 1998].

Como ejemplo: Un motor de 10kW representa más que el 50% de la carga nominal, en un aprovechamiento de 20kW. Mientras que el mismo motor representa solo el 1%, para un sistema de 1000 kW. Esta situación común en una pequeña instalación hidroeléctrica, justifica el estudio con esmero de casos como: El arranque de motores en PCH. Otro es el caso del aumento en la utilización de cargas no lineales con importante contenido armónico, tales como fuentes conmutadas (*switching*). Este contenido armónico representa un porcentaje de potencia reactiva que deteriora el valor de la tensión y frecuencia generadas.

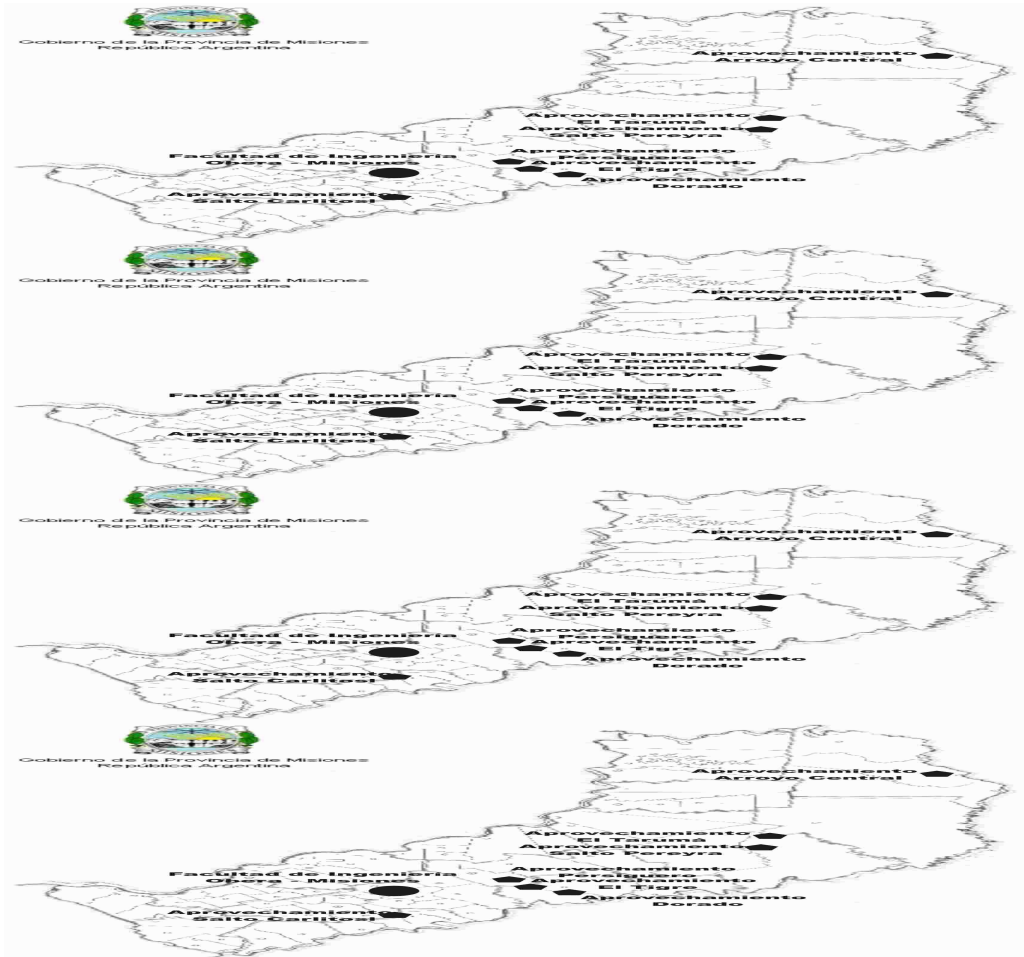
La mayoría de estos microaprovechamientos, dado que se encuentran en lugares de difícil acceso, no pueden operar conectados en paralelo a la red de distribución de energía eléctrica, por lo que deben operar de forma autónoma. El objetivo principal de estos sistemas de generación que operan en forma autónoma es el de suministrar al consumidor una tensión y frecuencia constantes, independientemente de la variación de la carga o de la variación del caudal de agua que ingresa a la turbina. El banco de capacitores seleccionado para un determinado generador de inducción provee una corriente reactiva magnetizante constante solamente a frecuencia y tensión nominal y sin carga. Una vez que en el generador de inducción se estableció la tensión y frecuencia nominal en vacío, se puede comenzar a conectar carga. En la medida que se conecta carga, el generador de inducción exige un incremento constante de corriente reactiva magnetizante, pero este incremento de corriente reactiva se obtiene al costo de una disminución de la tensión y frecuencia generadas.

Considerando lo mencionado anteriormente resulta complicado seleccionar un equipo que se adapte al aprovechamiento en particular [Kurtz Anocibar, noviembre 2005]. Muchas veces es complicada su puesta a punto, por lo que se hace necesario obtener información relacionada al funcionamiento del aprovechamiento, esto es variaciones de tensión y frecuencia generadas, corrientes consumidas por la carga y el controlador usado para la regulación de la tensión y frecuencia: caudal que ingresa a la microturbina, nivel de agua en el embalse, temperatura y humedad en la casa de máquinas, tensión de baterías para servicios auxiliares, entre las variables más importantes. Teniendo en cuenta que éstas pequeñas centrales hidroeléctricas suelen estar aislados geográficamente y alejadas de los centros urbanos, esta situación, dificulta la obtención de estos datos.

## **3. Ubicación de aprovechamientos en Misiones**

El análisis de los parámetros del aprovechamiento se centra en los que actualmente están ubicados en la provincia de Misiones Argentina. En la Figura 1 se observa la

ubicación de los aprovechamientos considerados. En esta misma figura también se puede observar la ubicación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones, donde se recibirán y tratarán los datos adquiridos de todos los aprovechamientos.



**Figura 1. Ubicación de aprovechamientos en Misiones – Argentina  
(Fuente Gobierno de Mnes. [Gov Mnes])**

**Tabla 1. Principales Características de los distintos aprovechamientos  
considerados**

Aprovechamiento	Familias que abastece**	Potencia Instalada	Interconexión red nacional de energía	Ubicación	
				Latitud	Longitud
Persiguero	7 y una escuela	8 KVA	Aislado	27°23'2.23"S	55°3'23.73"O
El Tigre	***	64 KVA	Interconectado	27°28'9.78"S	55°1'30.04"O
Dorado	10 y una escuela	8 KVA	Interconectado	27°30'17.45"S	54°57'50.17"O
Salto Carlito	13 y un Camping	15 KVA	Aislado	27°42'37.82"S	55°12'15.28"O
El Tarumá	40 , escuela y camping	40 KVA	Aislado	26°59'57.28"S	54°28'2.64"O
Salto Pereyra	20 y dos escuelas	28 KVA	Aislado	27°4'35.61"S	54°29'2.33"O
Arroyo Central	6 y dos escuelas	24 KVA	Aislado	26°4'54.99"S	53°45'33.35"O

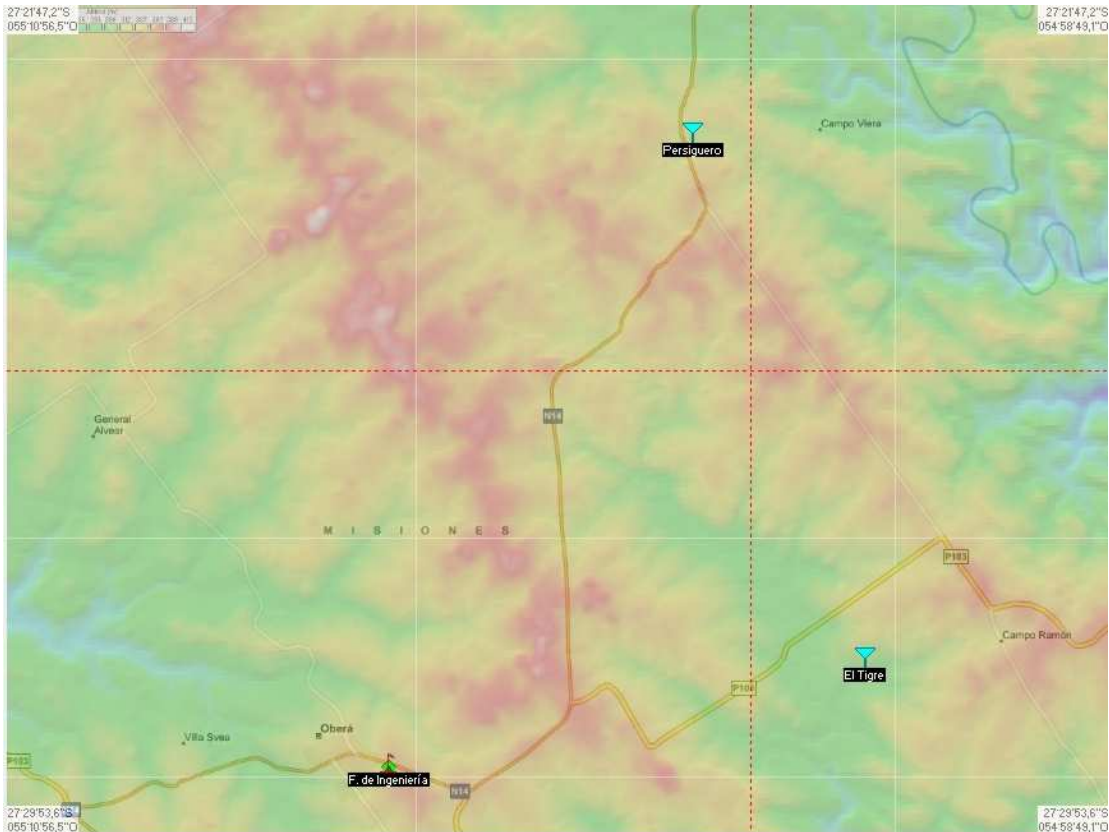
- \* Facultad de Ingeniería
- \*\* Se considera Familia tipo compuesta de 4 Personas
- \*\*\* Esta microcentral se usa para cubrir la energía eléctrica que consume la Facultad de Ingeniería

En la Tabla 1 se resume las características de los aprovechamientos y las distancias aproximadas relativas al punto de recepción de datos, en lo que respecta al aprovechamiento el Tigre, este dispone de estructura para implementar una turbina secundaria destinada a los ensayos de los diferentes tipos de controladores y generadores, donde próximamente se realizarán también las pruebas de enlaces y envío de datos propuestos en este trabajo.

#### 4. Tecnologías apropiadas de comunicación

Dadas las condiciones geográficas y la densidad poblacional del entorno en donde están implementados los aprovechamientos, normalmente, no se cuenta con soporte de comunicación para datos, en algunos casos se cuenta con servicio de telefonía celular y en otros casos se implementan radio - enlaces telefónicos para mantener comunicada a la zona, pero los costos no siempre son accesibles.

Para ejemplificar, se ha seleccionado dos aprovechamientos cercanos a la Facultad de Ingeniería, los cuales se indican en el sector del mapa topográfico de la Figura 2, y se presenta un estudio de prefactibilidad de enlaces en la banda no licenciada de 2,4 GHz dado que el equipamiento en esta frecuencia tiene un costo accesible y se dispone con facilidad.



**Figura 2. Sector donde están ubicado los aprovechamientos más cercanos al punto de recepción de datos**

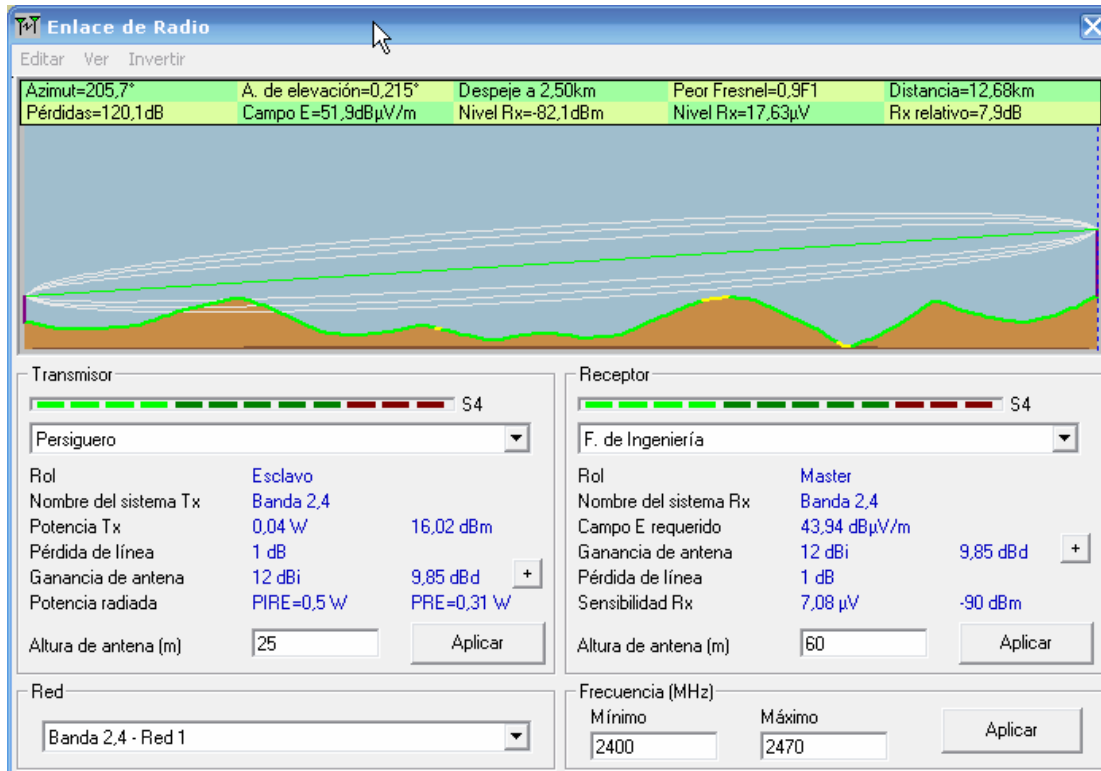


Figura 3. Perfil topográfico y zonas de Fresnel para el enlace del aprovechamiento Persigüero y la Facultad de Ingeniería

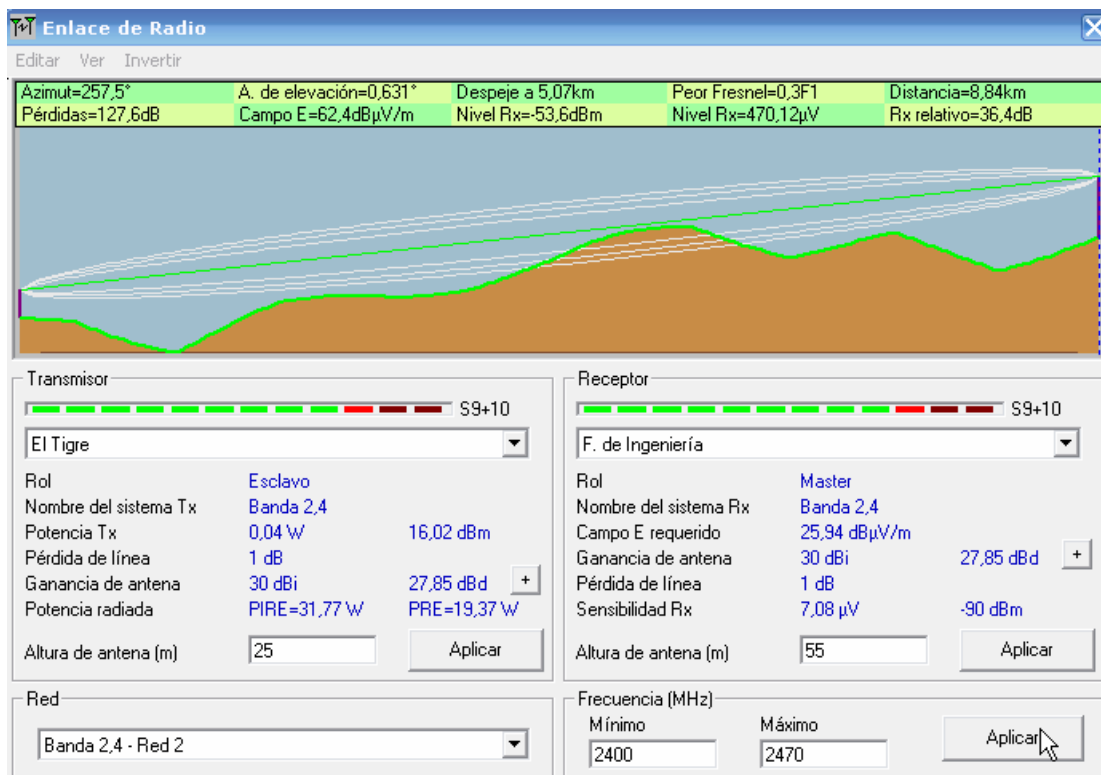


Figura 4. Perfil topográfico y zonas de Fresnel para el enlace de El Tigre y la Facultad de Ingeniería

En las figuras 3 y 4 se pueden observar los perfiles topográficos asociados a cada enlace, en donde se puede apreciar la necesidad de una torre de 60 metros instalada en la Facultad de Ingeniería que funcione de soporte para las distintas antenas que estarán orientadas cada una, hacia la dirección del aprovechamiento, otras torres de altura considerable en el lugar de cada aprovechamiento que tendrán la altura particular dependiente del terreno. Estos tipos de instalaciones son de un costo considerable, como referencia se presentan los costos de los aspectos más relevantes de la infraestructura en la Tabla 2.

**Tabla 2. Costos aproximados de instalación de los radioenlaces considerados**

	<b>Costo Unitario*** U\$\$</b>	<b>Enlace F. I. - El Tigre</b>	<b>Enlace F.I. - Persiguero</b>
<b>Torres</b>	<b>400*</b>	<b>5333</b>	<b>1600**</b>
<b>Antenas</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>200</b>
<b>Routers</b>	<b>130</b>	<b>240</b>	<b>240</b>
<b>Conectores</b>	<b>10</b>	<b>40</b>	<b>40</b>
<b>Cable coaxil</b>	<b>12</b>	<b>80</b>	<b>100</b>
<b>Otros</b>		<b>100</b>	<b>100</b>
<b>TOTAL</b>		<b>5993</b>	<b>680</b>

\* Costo por tramo de 6 metros

\*\* Se considera sólo la torre en el aprovechamiento

\*\*\* Precios expresados en Dólares Americanos, en la versión final de este trabajo se presentarán actualizaciones

Considerando todo lo expuesto hasta ahora, los costos asociados a la instalación, puesta a punto y mantenimiento de los radioenlaces se elevan de tal manera que no es eficiente la relación costo beneficio, dado que el tráfico que generaría la transmisión de las variables no es significativo. A partir de estas consideraciones toma relevancia la opción con enlace satelital, la cual será abordada en la próxima sección.

#### **4. Enlaces Satelitales**

Las comunicaciones satelitales son llevadas a cabo por sistemas de telecomunicaciones que emplean uno o más satélites para retransmitir las señales electromagnéticas generadas por una estación emisora con el objeto de enviarlas a otra esta estación, que habitualmente no tienen alcance visual [Moya 2002].

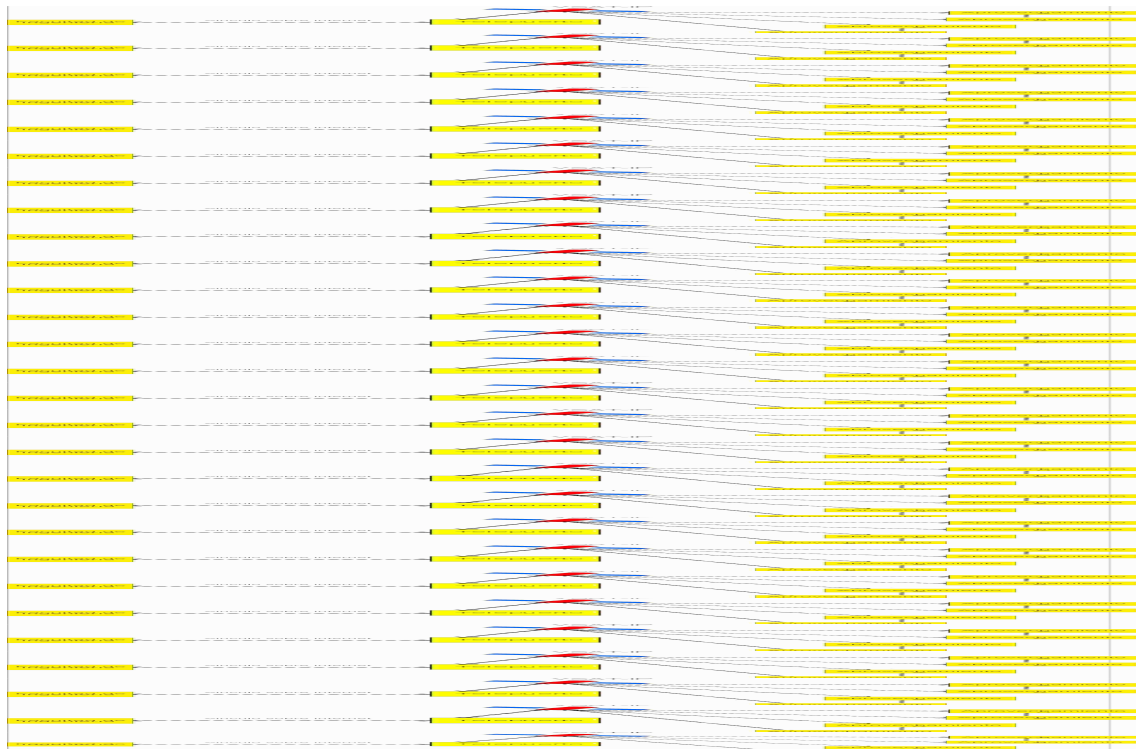
Para la transmisión de datos, a bajo costo, vía satélite se han creado estaciones de emisión-recepción de bajo coste llamadas VSAT (*Very Small Aperture Terminal*). Una estación VSAT típica tiene una antena de un metro de diámetro y un vatio de potencia. Normalmente las estaciones VSAT no tienen potencia suficiente para comunicarse entre sí a través del satélite (VSAT - satélite - VSAT), por lo que se suele utilizar una estación en tierra llamada hub que actúa como repetidor. De esta forma, la comunicación ocurre con dos saltos tierra-aire (VSAT- satélite - hub - satélite - VSAT). Un solo hub puede dar servicio a múltiples comunicaciones VSAT [wiki].

Estos satélites, generalmente pertenecen a empresas proveedoras exclusivamente de este servicio, lo que limita su manejo; además, como es un único canal de comunicación,

debe ser compartido por muchos usuarios, lo que hace necesario contar con técnicas o protocolos de acceso que garanticen la correcta transmisión de información.[Gioda 2005]

El costo de una transmisión vía satélite es independiente de la distancia, siempre que las dos estaciones se encuentren dentro de la zona de cobertura del mismo satélite. Además, no hay necesidad de hacer infraestructuras terrestres, y el equipamiento necesario es relativamente reducido, por lo que son especialmente adecuados para enlazar instalaciones provisionales que tengan una movilidad relativa, o que se encuentren en zonas donde la infraestructura de comunicaciones está poco desarrollada.

La configuración propuesta que normalmente se utiliza para este tipo de servicio se esquematiza en la Figura 5.



**Figura 5. Esquema de conexión propuesto con enlaces satelitales**

Cabe destacar que si bien el costo de esta tecnología es independiente de la distancia y no conlleva una gran infraestructura para la puesta en marcha la erogación de un enlace de 64Kbps ronda los U\$\$ 350 por mes por el servicio, a esto hay que sumarle el costo de los equipamientos, que para la versión final de este artículo se presentarán precios actualizados.

## **6. Conclusión**

La utilización de enlaces satelitales para el envío de variables de operación de micro y pico centrales hidroeléctricas, que se encuentran alejadas más de 25 km de los centros urbanos, provee una opción económicamente viable dentro de las tecnologías disponibles en la zona. Los estudios de prefactibilidad que se realizan para logra el envío de datos desde los

distintos aprovechamientos con tecnología de microondas; arrojan resultados positivos pero asociados a una inversión de una magnitud comparable a la instalación del aprovechamiento. Debido a esto se recurre a la opción de servicios de enlaces mediante satélites geoestacionarios que, con equipos relativamente más económicos permiten el envío de datos independientemente de la ubicación geográfica. Con este tipo de tecnología se espera concentrar datos provenientes de lugares muy distantes con el fin de obtener modelos de comportamiento de acuerdo al asentamiento poblacional que abastece y asociado a esto, es posible proveer comunicación telefónica y servicio de Internet a la zona aislada bajo el mismo servicio.

## 7. Referencias

[**Muñoz et al. 1998**] - Muñoz, Horacio y Caballero, A. Luis, (1998) “Control Automático a Distancia de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas”, Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Misiones – UNAM

Victor H. Kurtz, (mayo 2003) “Telemando para Pequeñas Centrales Hidroeléctricas”, Anais do X Encontro Latino-Americano e do Caribe em Pequenos Aproveitamentos Hidroenergéticos, X ELPAH

[**Corina Caballero 2001**] - Corina M. Feltan y Aldo L. Caballero, (noviembre 2001) “El Problema de la Regulación de Voltaje y Frecuencia en las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas”, Anales del IX encuentro latinoamericano en pequeños aprovechamientos hidroenergéticos, IX ELPAH.

[**Kurtz Anocibar, noviembre 2005**] -Victor H. Kurtz y Héctor R. Anocibar, (noviembre 2005) “Sistema Mixto para el Control de la Generación en Micro Centrales Hidroeléctricas”, Anales del XI encuentro latinoamericano en pequeños aprovechamientos hidroenergéticos, XI ELPAH

[**Vela 2003**] - Rodolfo Neri Vela “Comunicaciones Por Satélite” (2003) Ed Thomson – Mexico

[**Moya 2002**] - José Huidobro Moya “Comunicaciones Móviles” (2002)Ed. Paraninfo.- Madrid

[**Gioda 2005**]- Gioda Marcelo (Marzo 2005) “Comunicaciones satelitales S-UMTS” Tesis especialidad en telecomunicaciones telefónicas. Universidad Nacional de Córdoba

[**Gov Mnes.**] - <http://www.misiones.gov.ar/misiones/mapas/index.htm>

[**wiki**] - <http://es.wikipedia.org/wiki/VSAT>

[**RadioMobile**] - Programa (Versión 8.17) de propagación de radio y cartas virtuales <http://www.cplus.org/rmw/>