

**ABASTECIMIENTO ELECTRICO RURAL CON TECNOLOGIAS CONVENCIONALES Y CON FUENTES RENOVABLES DE ENERGIA**

Sotelino E. J.- Quiles E. J. - Fabris A.

**SECRETARIA DE OBRAS Y SERVICIOS PUBLICOS  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA**

Av. Paseo Colon 171 - Piso 9-Of 903

(1063) - Buenos Aires - Argentina

TEL.(541) 331.7927/349.8045 - FAX(541) 342.2868

**RESUMEN**

El presente trabajo reseña las obras y planes de abastecimiento eléctrico rural en la Argentina en el periodo 1970 -1995. En particular la expansión por medio de redes de media tensión y los sistemas que utilizan fuentes renovables. El estudio analiza el mercado potencial de usuarios, las tecnologías empleadas, los recursos renovables, la capacidad de pago, los costos y las tarifas. Se comparan los costos por usuario y por km de línea de los sistemas eléctricos tradicionales, con los costos de abastecimiento eléctrico con tecnologías no convencionales que usan F.E.R., en particular el costo final del kWh que abona el usuario en ambos casos. El documento brinda una perspectiva sobre el futuro de la electrificación rural en la Argentina en el marco regulatorio eléctrico, con la generación de unidades de gestión dentro del Mercado Eléctrico Disperso .

**1.- CARACTERÍSTICAS DEL MERCADO ELÉCTRICO RURAL**

**1.1.- POBLACIÓN Y VIVIENDAS RURALES**

La población según el censo nacional de 1991, se desagrega en un 87,6 % urbana y un 12,4 % rural. El promedio nacional de habitantes por hogar es de 3,8 personas, variando desde un mínimo de tres (3) personas por vivienda para la Capital Federal hasta un máximo de cinco (5) personas para la provincia de Salta. Si no consideramos el Gran Buenos Aires (11.500.000 habitantes), el valor relativo de la población rural crece hasta un 19,6 %.

La población rural es de aproximadamente de 4 millones de habitantes. La distribución es desigual con provincias donde alcanza el 30/35 % del total. El promedio de habitantes por vivienda para el área rural se ha estimado en 4,2 personas por vivienda. Del total de la población rural aglomerada y dispersa cerca de 2.100.000 están sin abastecimiento eléctrico lo que representa del 45 al 50 % del total, o sea que la cobertura eléctrica del sector oscila entre el 50 y el 55 %.

El 93,4 % de las viviendas ocupadas urbanas y rurales( 7.958.000 hab.) según el censo, poseen energía eléctrica. El 6,6 % (560.000) restante no posee abastecimiento eléctrico. Estudios realizados por la SE en algunas provincias, nos han mostrado que la cifra total de viviendas sin energía podría ser una cifra muy superior que se aproximaría al 9 a 10% del total de viviendas, o sea entre 750.000 y 800.000 viviendas.

Las estimaciones realizadas por SE de las viviendas rurales aglomeradas y dispersas, abastecidas con energía eléctrica arrojan un total aproximado de 400.000 usuarios. Comparando este valor con el total de viviendas rurales estimadas, faltaría abastecer entre 450 a 500.000 viviendas

**1.2.- CONSUMOS DE REFERENCIA**

La media de los usuarios con consumos de uso agrícola y residencial rural abastecidos con líneas de MT o MTRT varia entre 150 a 200 kWh/mes/us. Para usuarios con consumo de uso residencial y para SP por red, la media disminuye a 50/100 kWh/mes/us. Los aglomerados rurales con grupos diesel y servicios restringidos (hasta 5 horas/día) consumen un promedio de 25 a 50 kWh/mes/us. Los usuarios de poblaciones y aglomerados

La media de los usuarios con consumos de uso agrícola y residencial rural abastecidos con líneas de MT o MTRT varía entre 150 a 200 kWh/mes/us. Para usuarios con consumo de uso residencial y para SP por red, la media disminuye a 50/100 kWh/mes/us. Los aglomerados rurales con grupos diesel y servicios restringidos (hasta 5 horas/día) consumen un promedio de 25 a 50 kWh/mes/us. Los usuarios de poblaciones y aglomerados rurales con abastecimiento eléctrico solar-eólico consumen un promedio de 10/20 kWh/mes/us. Este consumo es el resultado de aplicar criterios de Uso Racional de la Energía (URE), que implica utilizar artefactos de bajo consumo y alto rendimiento.

La población rural dispersa desabastecida tiene baja demanda potencial y está asociada a la iluminación y a la comunicación social. Las fuentes que utiliza normalmente son pilas y baterías. Se estima que en el caso de ser abastecida con energía eléctrica, el consumo potencial de los hogares con bajos recursos económicos no supera los 15 kWh/mes. En los hogares con recursos medios y altos los valores trepan a 30 kWh/mes y 60 kWh/mes respectivamente.

### 1.3 TARIFAS y COSTO FINAL DE LA ENERGÍA

En las empresas o direcciones provinciales de energía, la facturación a usuarios domésticos rurales se efectúa aplicando la tarifa residencial urbana. En el caso de las Cooperativas Eléctricas existe la tarifa rural, donde los usuarios además del cargo fijo y el cargo variable deben pagar por el mantenimiento del transformador que los abastece y por las pérdidas de línea y de transformación. En el caso de obras nuevas, las Cooperativas transfieren a los usuarios el costo total de la inversión, mediante el cobro del denominado "Aporte del Usuario".

Un estudio efectuado en cinco provincias representativas, sobre el precio medio final del kWh de las cooperativas eléctricas al usuario rural, para un consumo de 100 kWh/mes, sin "aporte" y sin impuestos, da como resultado 0,400 \$/kWh. Comparado al precio medio facturado a usuarios residenciales urbanos, este valor es 2,6 veces mayor. Si el usuario además debe pagar la cuota de aporte por la inversión, el valor medio final es de 0,900 \$/kWh, que es 5,8 veces superior a la media del usuario urbano. En el caso de Pcia. de Bs. As. si el consumo baja a 50 kWh/mes, el precio final de la energía se eleva 1,5\$/kWh/mes sin "aporte" y 1,9 \$/kWh/mes con "aporte". La energía eléctrica suministrada a usuarios residenciales rurales por las empresas provinciales de energía, tienen valores similares a los mencionados, salvo que no se cobra la cuota de Aporte del usuario y en algunos casos el mantenimiento de los transformadores. En el caso de ESEBA el precio final sin impuestos a usuarios rurales es de 0.650 \$/kWh para consumos de 100 kWh/mes y 1,0 \$/kWh para consumos de 50 kWh/mes

## 2.- INVERSIONES HISTORICAS EN OBRAS DE ELECTRIFICACIÓN RURAL

Durante la década del 60, el crecimiento de la red nacional y de las redes provinciales de energía, permitió encarar una nueva etapa en las obras de ER, caracterizada por el tendido de redes eléctricas rurales de MT, que abastecieron a 18.000 usuarios a través de 9.000 km. de línea.

Desde 1970 hasta 1995 con financiamiento público nacional e internacional, fueron tendidos 78.000kms. de líneas rurales de MT (33kV, 13,2kV y 7,62kV) y BT, incorporando 73.500 usuarios rurales, en su mayoría pertenecientes al sector residencial. Con una densidad media de 1 usuario por cada 1 km. de línea y una densidad de potencia media de 9 KVA/us..

La inversión total en obras de ER incluidos los intereses, fue de M US\$ 471, donde la financiación externa fue de M US\$ 114 y la interna con fondos del FEDEI fue de M US\$ 351 (periodo 1970-95). La inversión interna anual promedio en ER fue de M US\$ 14, lo que representa un 15,9 % del ingreso promedio anual del FEDEI en el período considerado. La inversión de capital promedio por usuario y por km. de línea fue de US\$ 6.400.

### 3.-FUENTES Y RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVABLES

Para el abastecimiento eléctrico al sector rural, son indispensables la disponibilidad de recursos o fuentes de energía renovables que el país dispone y que son:

- **Recurso Solar:** La mas alta intensidad de radiación media anual del país (5/5,5 kW/m<sup>2</sup> día) se encuentra en el NOA. Cuyo-Centro y NEA alcanza entre 3/4,5/5 kW/m<sup>2</sup>día En el sur 3/3,5 kW/m<sup>2</sup>.

Para el abastecimiento eléctrico al sector rural, son indispensables la disponibilidad de recursos o fuentes de energía renovables que el país dispone y que son:

- **Recurso Solar:** La mas alta intensidad de radiación media anual del país (5/5,5 kW/m<sup>2</sup> día) se encuentra en el NOA. Cuyo-Centro y NEA alcanza entre 3/4,5/5 kW/m<sup>2</sup>día En el sur 3/3,5 kW/m<sup>2</sup>.
- **Recurso Eólico:** El mejor viento está localizado en la región Patagónica donde alcanza promedios que varían entre 6 y 8 m/s (superando los 9 m/s en algunas zonas). Vientos de 2,5 m/s hasta 4 m/s en la Pampa Húmeda y 5 m/s en la costa Atlántica (Pcia. Bs. As.).
- **Recurso Biomasa:** El recurso esta presente en gran parte del territorio bajo la forma de residuos de la industria forestal, azucarera y agrícola cerealera.
- **Recurso Geotérmico:** Existen yacimientos de baja, media y alta entalpía a lo largo de la cordillera de Los Andes en once zonas del NOA, Centro Oeste y Comahue.
- **Recurso Micro Hidráulico:** Se encuentra en la mayoría de las provincias del NOA, Centro-Cuyo y Comahue. Existen relevamientos de aprovechamientos provinciales para equipos menores 5 MW.

**Equipamiento:** Actualmente la potencia instalada con tecnologías que utilizan Fuentes de Energía Renovables, totaliza 365 MW lo que representa el 1,9 % del total del país (18.000 MW). Se espera para el año 2.001 incrementar en 200 MW esta potencia.

#### 4.-TECNOLOGÍAS PARA LA ELECTRIFICACIÓN RURAL

Para satisfacer las necesidades de energía de la población rural se han utilizado en el pasado distintos tipos de tecnologías convencionales. En la actualidad, las tecnologías no convencionales han comenzado a penetrar en el mercado en manera competitiva y confiable.

- **Tecnologías Convencionales :**La solución tradicional en ER fue su expansión mediante redes de media tensión (MT) tetrafilares de 33 KV y 13,2 KV, con densificación de redes utilizando líneas monofilares de MT con retorno por tierra (MTRT). El abastecimiento aislado a poblaciones rurales utilizó Generadores Diesel eléctrico con redes de BT. La población rural no abastecida emplea fuentes substitutivas (pilas secas, baterías ácidas recargables, querosene, gas licuado, y pequeñas turbinas eólicas cargadoras de baterías, etc). El bombeo de agua a partir de molinos de viento
- **Tecnologías no convencionales:** Existen en la actualidad tecnologías apropiadas para el abastecimiento eléctrico que transforman y aprovechan los recursos naturales renovables en energía eléctrica, tales como Paneles Solares Fotovoltaicos (FV), Turbinas Eólicas, Turbinas micro hidráulicas, Sistemas Geotérmicos o híbridos. Los sistemas de abastecimiento eléctrico rural que utilizan estas tecnologías, necesitan disponer de una infraestructura de gestión y, de disponibilidad de fondos para garantizar su operación, correcto mantenimiento y reposición. La ausencia de estas estructuras hizo fracasar la mayoría de los proyectos oficiales de demostración.

#### 5.-ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS 1970 - 1995

**5.1.- Costos de expansión de ER con tecnología convencional:** El uso predominante de la electricidad en el área rural es el doméstico y por tanto la densidad, el factor de carga y los consumos son muy bajos. La tecnología mas difundida en redes de electrificación rural desde 1970 hasta 1987, fueron las líneas de 33 kV y 13,2 kV. El sobrecosto por sobredimensionamiento, la baja densidad de población (1 us./km. de línea) y la alta densidad de potencia promedio (9 kVA/us.) incidió sobre la expansión de la E.R. La inversión en líneas de MT varió entre 4.500 a 11.000 US\$/km. Las líneas unifilares de MT de 7,6 kV con retorno por tierra (MTRT), permitió para rangos de potencia similares, disminuir la inversión de capital por km de línea a valores que oscilan entre 2.500 a 5.000 US\$/km.

Los grupos diesel eléctricos de baja potencia ( de 30 a 70 kW ) para abastecer aglomerados rurales aislados, fueron muy utilizados en el pasado por los bajos costos de inversión (entre \$ 400 a \$600 el kW). Incluyendo la usina y la línea de distribución en 220 V los valores alcanzan 800 a 1.000 US\$ kW instalado. Sin embargo los altos costos de O&M de estos sistemas han desalentado su aplicación y fomentado su reconversión a sistemas energéticos renovables con tecnologías FV, eólicas o híbridas.

**5.2.- Costos de Operación y Mantenimiento:** Los costos de operación y mantenimiento de las redes rurales de MT son elevados por la baja densidad de usuarios y la alta densidad de transformadores MT/BT. La incidencia

inversión y de 0,8 a 1,8 US\$/kWh cuando se pagan estos suplementos. En ambos casos la facturación incluye como consumo las pérdidas de línea y de transformación.

Los costos de los grupos diesel de horario reducido es muy sensible al factor de carga bajo (10 al 20%) y eso eleva los costos finales de la energía a valores entre 1,2 a 1,8 US\$/ kWh para consumos entre 25 y 40 kWh/mes. La población rural sin energía eléctrica, gasta en concepto de fuentes de abastecimiento substitutivo (pilas, etc.) entre 15 y 20 pesos para consumos que alcanzan de 2 a 4 kWh mes, en iluminación y comunicación social.

## 6.- COSTOS Y TARIFAS DE ELECTRIFICACIÓN RURAL BÁSICA CON EL PAEPPA

El Programa de Abastecimiento Eléctrico a la Población Rural Dispersa de la Argentina (PAEPPA) pretende abastecer de energía 300.000 usuarios rurales dispersos en cinco años, mediante contratos de concesión de servicios a empresas distribuidoras privadas dentro del marco regulatorio eléctrico.

En el caso del PAEPPA, los recursos energéticos renovables son gratuitos siendo los costos mas significativos los asociados a la inversión de capital. Los costos de inversión de capital, varían según las tecnologías: Solar-Eólica-Hidráulica y según el tipo de servicio (Individual o Colectivo). Los gastos de operación y mantenimiento de los sistemas son en general bajos. La elección de tecnología queda bajo responsabilidad del concesionario.

De acuerdo a los valores actuales en el mercado del equipamiento (solar fotovoltaico y eólico), la inversión de capital para los sistemas individuales oscila entre 1.000 a 4.000 US\$/us. según sea la energía puesta a disposición de 5 o de 30 kWh/mes respectivamente. En el caso de micro centrales hidroeléctricas sin obras civiles de envergadura, los costos de capital representan entre el 80 y el 90% de la inversión y se acercan a valores de 3.000 a 4.000 US\$/kW.

Se han realizado cálculos para determinar Cuadros Tarifarios Plenos que reflejen todos los costos con un retorno mínimo. La tarifa para sistemas individuales de 30 kWh/mes varia entre 50 a 60 \$/mes , pagando un derecho de conexión que cubre parte de la inversión de capital. Para consumos del orden de 30 a 50 kWh/mes, el costo unitario de la energía estaría entre 1,3 a 1,5 US\$/kWh para sistemas colectivos y de 1,7 a 1,9 US\$/kWh para sistemas individuales.

Estos valores plenos, competitivos con las tecnologías convencionales, serían pagados por la población que no necesita ser subsidiada. Dado que estos servicios están orientados al abastecimiento de la población de mas bajos recursos socioeconómicos, los usuarios que estén en los rangos mas bajos de demanda, podrán ser cubiertos con fondos nacionales y provinciales en forma de subsidios al Derecho de Conexión.