

# PERDIDAS DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

[Juan Carlos Salavarría T.](#) , Consultor en Innovación Tecnológica

**Resumen** — El crecimiento de la demanda de energía eléctrica requiere de una ampliación y expansión permanente de la cobertura de redes de distribución, así como la modernización de equipos y materiales de las redes existentes. Aspectos como altos niveles de pérdidas no técnicas, particularmente debidas a robo de energía desde las redes eléctricas, genera la necesidad de una mejora integral tanto de los procesos, como de los elementos integrados a la operación distribución de energía, a través del desarrollo de nuevas tecnologías en conjunto con proveedores de bienes del sector eléctrico, requiriendo mayores capacidades de ingeniería local. Estas circunstancias, generarán nuevos retos en términos de seguridad y confiabilidad, no solo de las líneas de distribución, sino de diseño y desarrollo de los elementos que las componen, de tal forma que permitan reducir las pérdidas no técnicas.

**Palabras Clave** — Pérdidas no técnicas, Medición Inteligente, Cable de conducción, Comportamiento social

## 1. INTRODUCCIÓN

El impacto y la importancia que tienen las pérdidas no técnicas de energía en el presupuesto de las empresas de servicios públicos del sector eléctrico, representan un aspecto importante, estimado en un 18% para el año 2006, en dicho año la demanda comercial fue de 52.3 GWh/Año lo que representan una pérdida de 1.9 billones de pesos aproximadamente. Se hace evidente el esfuerzo que requiere la reducción de este tipo de pérdidas, implementando estrategias y tecnologías puntuales que permita disminuirlas (Romero López & Vargas Rojas, 2010).

Este artículo pretende describir brevemente el concepto de pérdida no técnica y el impacto que puede tener para la empresa prestadora del servicio público. La descripción del tipo de pérdidas no técnicas forma la base para describir la problemática en la que se encuentra el sector, y más aun, cuanto parte del problema se encuentra en temas socioeconómicos en donde el consumidor final aprovecha las deficiencias técnicas de la cadena de valor de la energía y procede a sustraer de manera ilícita el servicio público mediante conexiones no autorizadas, poco técnicas, y que pueden afectar la integridad de la comunidad.

## 2. PERDIDAS DE ENERGÍA

Las pérdidas eléctricas se clasifican en técnicas y no técnicas. Las primeras están vinculadas con la energía que se pierde en el proceso de transformación, medición y transporte de la electricidad a través del uso de materiales

y equipos convencionales. Desde el punto de vista de las leyes físicas y con el uso de materiales y equipos desarrollados a la fecha, no ha sido posible reducir a cero las pérdidas técnicas. En el caso de las pérdidas no técnicas, estas tienen su origen en ineficiencias de carácter administrativo, comercial y en el uso indebido (o robo) de la electricidad.

Mohassel et al. (2014) indican que las pérdidas eléctricas a través de la cadena de valor de la energía se encuentran desde la generación, pasando por los sistemas de transmisión, distribución y utilización. Se puede hacer referencia a las pérdidas durante el proceso de generación las cuales son técnicamente definibles (pérdidas técnicas); sin embargo, las pérdidas durante la transmisión y distribución difícilmente se pueden medir, detectar, calcular y prevenir, lo cual impacta directamente en la utilidad de las compañías (Mohassel, Fung, Mohammadi, & Raahemifar, 2014).

### 2.1. PÉRDIDAS TÉCNICAS

Están relacionadas con la transmisión de energía a través de diferentes equipos del sistema. Algunas de las causas son el recalentamiento natural de los conductores (efecto Joule), el efecto corona en las líneas de transmisión, así como el efecto de la suma de pérdidas por resistencia; en los transformadores por su parte, se presentan pérdidas tanto en los devanados como en el núcleo, que corresponden a pérdidas tanto en vacío como con carga (Intriago Acosta, Ramirez Quiroga, & Veloz Camino, 2004). Este tipo de pérdida se considera natural, debido a la disipación de energía en las líneas y componentes (Mohassel, Fung, Mohammadi, & Raahemifar, 2014).

### 2.2 PÉRDIDAS COMERCIALES

Están relacionadas con la deficiente gestión comercial o administrativa en actividades como errores de lectura, retrasos de facturación, errores en los equipos de medición, demoras en reconexión de servicio, falta de un registro adecuado de consumos propios, clientes sin identificación comercial, equipos de medición obsoletos y suspensiones no justificadas entre otros. Los sociales que se podrían describir como hurto de energía en las zonas de ingresos económicos escasos, a través de conexiones ilegales, y por hurto relacionado con conexiones ilegales (antes del contador) al sistema energético, o debido a la manipulación de los contadores para alterar el funcionamiento y disminuir así el valor de la factura. Este tipo de pérdida tiene una relación directa con el grado de automatización de los procesos de comercialización, lo cual se ve reflejado en la ineficiencia en los sistemas de lectura, facturación y recaudo. (Intriago Acosta, Ramirez Quiroga, & Veloz Camino, 2004)

### 3. TIPOS DE ROBO DE ENERGÍA

Haciendo una clasificación de los tipos de robo (Smith, 2004), se encuentran cuatro actividades diferentes: El primero es el fraude que consiste en la manipulación o engaño deliberado y consciente de los medidores. El segundo es robo, es decir, intervención directa de las líneas a través de las conexiones ilegales. El tercer tipo consiste en que los clientes sistemáticamente no pagan sus cuentas atrasadas durante un largo período de tiempo. El último tipo de robo consiste en la existencia de irregularidades en la facturación.

En lo que corresponde a la problemática de las pérdidas no técnicas se ha identificado que en países en vías de desarrollo, se registran pérdidas de un 10% a un 40% atribuidas a factores de intervención de la red eléctrica de forma ilegal de algunos consumidores, creando escenarios de fraudes que afectan la sostenibilidad de la operación de distribución de energía en las empresas de servicios públicos (Intriago Acosta, Ramirez Quiroga, & Veloz Camino, 2004).

Un caso de este tipo de problemática se evidencia en la investigación presentada por Henriques et al (2014), los autores describen un problema que definen "común" para las empresas de distribución de energía en Brasil, el fraude cometido por algunos usuarios quienes usan conexiones ilegales para obtener electricidad. Estas desviaciones producen pérdidas económicas a los concesionarios responsables de la distribución de la electricidad, que en Brasil terminan siendo penalizadas a los usuarios ho-

nestos, ya que las pérdidas no técnicas son cargadas a los precios del servicio electricidad.

En Brasil el análisis del comportamiento del consumidor es un foco importante de atención. Trabajos recientes se han concentrado en instalar equipos de bajo costo que analizan la medida de consumo eléctrico. Pero otros métodos como son los medidores inteligentes y medidores sin contacto están consiguiendo mayor relevancia. Para la identificación del fraude de energía, se pueden utilizar algunas técnicas, tales como contadores conectados en paralelo o un análisis directo. El uso de sistemas especializados ha atraído gran atención de los investigadores: el uso de datos históricos para identificar fraudes utilizando técnicas como de la ruta óptima, también el sistema inteligente llamado Máquina Soporte Vector y análisis de datos por el método de la evolución diferencial (ibid).

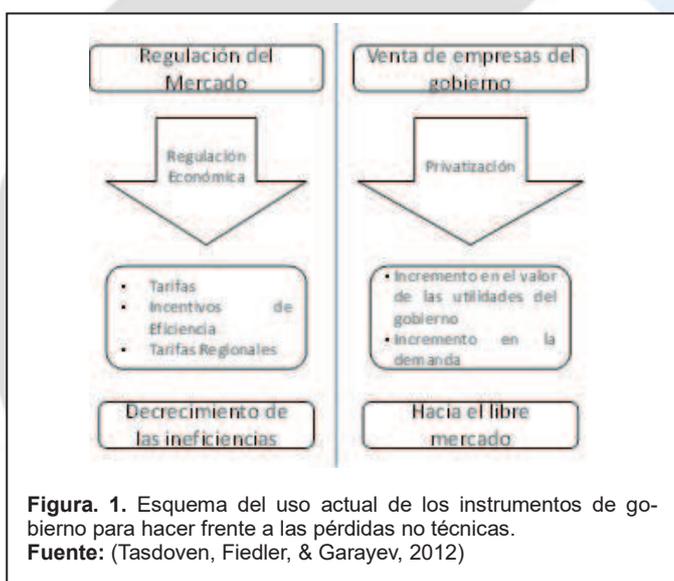
Autores como Wang et al (2011) mencionan que las pérdidas estimadas totales de energía alrededor del mundo igualan la capacidad de generación de Alemania, Reino Unido y Francia. Se estima que las empresas de servicios públicos pierden más de USD 25 billones de dólares cada año en robo de energía. En el caso de India el robo de energía es de USD 4.5 billones cada año. La recuperación de solo el 10% de esas pérdidas conservaría 83.000 GWh y reduciría las emisiones de carbono por 9.2 millones de toneladas anuales (ibid).

### 4. OTROS CAUSANTES DE PERDIDAS NO TÉCNICAS

Varios autores han definido los distintos métodos que se utilizan para cometer el fraude. Entre las técnicas recopiladas por Wang et al (2011) se encuentra la intervención directa a los alimentadores de distribución eléctrica, como transformadores, cables principales de distribución entre otras. Otra forma muy común de robo de energía se realiza manipulando el medidor. Este último método se realiza para intervenir la cantidad medida de electricidad. Entre los métodos específicos comúnmente identificados se cuenta con la interrupción del disco rotatorio para insertar una película que disminuya la rotación del disco o la introducción de un fluido muy viscoso para el mismo fin. Otros métodos que se han identificado es la utilización de aparatos de radio frecuencia para interrumpir el funcionamiento del medidor o el intercambio de terminales de entrada y salida en el medidor; manipulando el medidor y exponiendo el mismo a un shock mecánico.

#### 4.1 SOLUCIONES DESDE LA POLÍTICA PÚBLICA

En países como Turquía, donde se presenta una problemática relacionada con pérdidas no técnicas, se han tomado medidas desde el punto de vista de la política pública, comenzando por la regulación del mercado y la privatización, pasando por la entrega de beneficios e incentivos por eficiencia y financiación de entidades como universidades y otros que realicen actividades que permitan solucionar el problema y evitar el impacto que este tipo de pérdidas ocasiona (Tasdovent, Fiedler, & Garayev, 2012). La ilustración, muestra algunas soluciones propuestas e implementadas en Turquía.

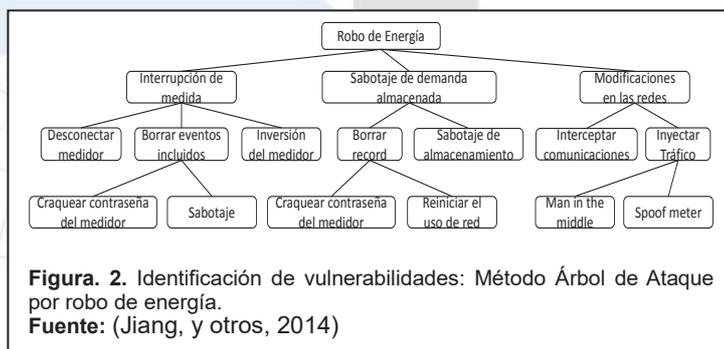


#### 4.2. REDES Y MEDIDORES INTELIGENTES PARA CONTRARRESTAR EL EFECTO DE PÉRDIDAS NO TÉCNICAS

Se han utilizado sistemas de Redes inteligentes y medidores inteligentes con el fin de limitar la facilidad de realizar intervenciones en las redes. La Tabla 1 hace una breve referencia a un conjunto de técnicas de robo a través de medidores convencionales y sus efectos y permite establecer algunas de las medidas que se pueden tomar, por ejemplo: el cambio de contadores por medidores inteligentes. Sin embargo, algunas de las técnicas utilizadas en el robo de medidores electromecánicos funciona igualmente en sistemas con medidores inteligentes y AMI (Mohassel, Fung, Mohammadi, & Raahemifar, 2014).

Sin embargo, estos estudios dan cuenta de algunos de los posibles mecanismos de restricción, o contramedida, que pueden ser útiles parcialmente, o hasta cierto punto de la

red, pero no necesariamente prevenir todos los problemas. De hecho, se ha comenzado a investigar cuales son los puntos débiles de los sistemas asociados con redes inteligentes y concretamente de la infraestructura de medición avanzada, por cuanto tienen una estructura de red compleja, cantidad limitada de medidores y datos privados sensibles. Se han presentado evaluaciones de los modelos de amenaza existentes (Figura 2), que se pueden presentar a pesar de la existencia de los AMI, o directamente relacionados con estos dispositivos, que permitan identificar la vulnerabilidad de los sistemas, y establecer futuras líneas de investigación para establecer soluciones tanto en la detección como en la prevención de robo de energía.



#### 4.3. ANÁLISIS DE SOLUCIONES INCLUYENDO EVALUACIÓN ETNOGRÁFICA

La literatura técnica contempla dos variables a analizar al momento de identificar pérdidas en el sector eléctrico: Una está relacionada con el robo, y está orientado a identificar oportunidades de evitarlo, y la segunda establece una regulación para los usuarios fraudulentos, conforme a normativas. Sin embargo, a pesar de los desarrollos tecnológicos que se han generado para contrarrestar las pérdidas no técnicas de energía, la experiencia ha hecho evidente que esos métodos por si solos no solucionan el problema (Winther, 2012).

Por otro lado, existe un énfasis creciente en la literatura “sobre los enfoques de abajo hacia arriba para combatir la corrupción en el que destacan la responsabilidad social y los métodos participativos de cómo los clientes pueden contribuir a mejorar el desempeño de los proveedores de servicios” (Winther, 2012). En esta corriente, se encuentra una identificación de oportunidades en la relación cliente-proveedor como elemento fundamental para evitar prácticas inadecuadas y no sostenibles con la energía.

Técnica de robo	Efecto	Contra medida en contadores inteligentes
Conexión directa a las líneas de distribución	Zero lectura en el metro	Capaz de grabar lecturas de cero e informar proveedor de servicios públicos a través de AMI
Conexión a tierra del cable neutro	Contador de energía supone el circuito no está completo y no mide	Capaz de grabar lecturas de cero e informar proveedor de servicios públicos a través de AMI
Colocación de un imán para contador electromecánico	Campo magnético efectos de movimiento de la bobina y hace que se mueva lentamente o incluso detener	No bobina giratoria en contadores inteligentes
El bloqueo de la bobina y la prevención de su rotación	Afecta el movimiento de la bobina y hace que se mueva lentamente o incluso detener	No bobina giratoria en contadores inteligentes
Dañar la bobina giratoria es decir, golpeándola	Afecta el movimiento de la bobina y hace que se mueva lentamente o incluso detener	No bobina giratoria en contadores inteligentes
Invertir las conexiones de entrada / salida	La bobina comienza a moverse en la dirección inversa, que es también un método para crear lectura más baja	No bobina giratoria en contadores inteligentes
Transformador de Corriente (TC) la manipulación del alambre	Al dañar el aislamiento cables "en el lado secundario y cinta adhesiva.	Basado en el número de cables manipulados, el medidor puede ser obligado a leer menos o incluso cero
Sabotaje caja a prueba	Transformador de Corriente (CT) por desplazamiento de fase Cambiar la posición de los cables dañados puede causar desplazamiento de fase que altera la lectura del medidor	Sabotaje caja a prueba
En tres metros de fase, neutro se mantiene abierto y se utiliza sólo uno de cada tres fases	Medidor electromecánico asume que ninguna energía pasa a través de él para el cliente	Fuga a tierra (EL) parpadea

**Tabla. 1.** Técnicas de robo de energía en medidores convencionales y contramedidas en Smart grid  
**Fuente:** (Mohassel, Fung, Mohammadi, & Raahemifar, 2014)

Sin embargo, las dos corrientes reconocen que el robo de energía radica en parte en la intervención de la naturaleza humana, así como comportamientos socioeconómicos que no pueden ser parametrizados inclusive teniendo equipos de medición avanzada (Jiang, y otros, 2014).

Esto plantea un escenario en donde no es suficiente solucionar los desafíos técnicos. Se deben tener en cuenta estudios etnográficos en lugares de alta ocurrencia de este tipo de irregularidades como Zanzibar (Tanzania) e Islas Sunderban (India) para establecer la relación de los usuarios del servicio con sus proveedores. Se pudo identificar que la moralidad y el grado de cumplimiento de los clientes, están condicionados por el tipo de relación que tenían con el proveedor (Winther, 2012). Uno de los aspectos relevantes de la cadena de valor se encuentra en la relación entre el cliente y el proveedor; y su grado de confianza, la cual puede ser afectada en tres dimensiones: la primera dimensión apunta al uso de los ingresos de la compañía para entregar los servicios que se esperan; la segunda, confianza en los procedimientos justos para aplicación de ingresos y distribución de servicios; finalmente, confianza en que los otros usuarios pagarán la cuota de servicio (Fjeldstad, 2004).

Por lo tanto, se hace evidente la necesidad de analizar el comportamiento de los ciudadanos desde el punto de vista de su cultura, revisar las diferentes medidas de ética que puedan tener y su relación con la empresa que presta el servicio de distribución y transmisión de energía, con el fin de generar un conocimiento mayor del entorno, y de esa manera incrementar el grado de cumplimiento de los clientes y lograr sistemas de energía sostenible (Winther, 2012).

#### 4.4. CONSIDERACIONES DE INFRAESTRUCTURA (CABLEADO)

Una parte de la problemática referente al robo de electricidad se encuentra en el tipo de infraestructura que se tiene al final de la cadena de valor, donde se hace más vulnerable el sistema. En este punto se encuentran las derivaciones a nivel residencial, en donde el sistema de cableado permite derivaciones artesanales, y en donde las empresas de servicios públicos también han ahondado esfuerzos para evitar robos en estos puntos.

Ciertos principios de diseño son comunes a los cables de alimentación eléctrica, se utilizan en el sector industrial o en la industria de suministro de electricidad, según lo anota autores como Banks & Fraser (2005).

La mayoría de tipos de cable para la conducción de electricidad pueden ser de cobre o de aluminio. Para la mayoría de los cables de alimentación de forma de conductor serán compuestos de aluminio sólido, aluminio trenzado, cobre sólido (para los pequeños tamaños de cableado) o de cobre trenzado, aunque la elección puede estar limitada en ciertos estándares de cables. Los conductores sólidos proporcionan mayor facilidad en el montaje de los conectores y el ajuste de los núcleos en las juntas y terminaciones. Cables con conductores trenzados son más fáciles de instalar debido a su mayor flexibilidad, y para algunas aplicaciones industriales es necesario un conductor altamente flexible (Banks, 2005).

Dónde la extensión de las rutas de cable son relativamente cortas, un cable multi-núcleo es generalmente más barato y más conveniente de instalar que el cable de un solo núcleo. Cables unipolares son utilizados en circuitos don-

de las corrientes de carga requieren el uso de grandes tamaños de conductores, entre 500 mm y 1200 mm. En estas circunstancias, la conexión en paralelo de dos o más cables multi-core sería necesaria con el fin de lograr la capacidad requerida de transmisión y esto presentaría dificultades de instalación, especialmente en cajas de conexión.

Cable de un solo núcleo también podría ser preferido donde el tamaño de los conductores es pequeño, y se necesitan cables más largos, entre las bahías conjuntas o en la colocación, unión y terminación que dictan su uso. A veces, es preferible utilizar un cable de 3 hilos en la parte principal de la longitud de la ruta de conducción y utilizar el cable de un solo núcleo para entrar en el espacio restringido de una caja de terminación. En este caso, una transición de un tipo de cable a la otra se consigue utilizando articulaciones que se colocan varios metros de la caja de terminación (Popovic, 2003).

Cables blindados son útiles en aplicaciones en las que los rigores de la instalación son severos y donde se requiere un alto grado de protección externa contra impactos durante el servicio. Armadura de cables de acero (SWA) estos cables están comúnmente disponibles aunque los cables blindados con cinta de acero (STA) también están disponibles para su uso. En general, se prefiere los SWA, ya que permite que el cable se introduzca en una instalación con un sistema que jalona y agarra el cable de la parte exterior de la cubierta externa y transfiere toda la tensión tirando a la SWA. Esto normalmente no se puede hacer con cables STA, debido al riesgo de dislocación de las cintas de armadura durante el tirón (ibid).

Los sistemas de protección Múltiples a tierra (PME) realizan el uso combinado Neutro y Tierra (CNE). La ventaja de este tipo de cables es la eliminación de un conductor por el uso de tierra y neutro concéntrico, junto con la introducción de nuevos diseños que utilizan aluminio para todos los conductores de fase (Tora Galván, 1997).

Anteriormente los tipos de cable CNE se establecieron, con aislamiento de papel de 4 núcleos enfundados y el cable blindado se utilizaba comúnmente. Los cuatro conductores eran las tres fases y el neutro, y la vaina de plomo el camino a la tierra de la subestación. El incentivo para la PME fue la necesidad de mantener una buena puesta a tierra para la protección de los consumidores. Con los cables de papel, mientras que la propia cubierta de plomo pueda llevar adecuadamente las corrientes de defecto a tierra a través del transformador existe la vulnerabilidad en la integridad del circuito debido a las conexiones pobres y vulnerables en las articulaciones y en las terminaciones. Al utilizar el conductor neutro del cable de alimentación para este propósito se evitó la necesidad de un conductor de tierra separada (Ibid).

## 5. CONCLUSIONES

Para disminuir los indicadores de pérdida de energía en el país y mejorar los indicadores de eficiencia en empresas de servicios públicos se deben hacer esfuerzos en campañas que promuevan el mejor uso de la energía eléctrica en hogares y empresas, haciendo énfasis en los peligros para la salud pública y el posible daño a los equipos conectados a la red.

A su vez, es necesario crear mayores niveles de confianza entre el proveedor de servicios públicos y los usuarios, y esto se puede conseguir a través de la implementación de mejor tecnología y equipos más eficientes, tanto por parte del proveedor de servicios como el usuario. Por parte del proveedor, por ejemplo, la implementación de sistemas de medición inteligente y reportes en tiempo real de consumos que permitan tomar acciones oportunas respecto a la eficiencia de la operación, mejoraría la confianza entre las partes. Por parte de los consumidores, promover el uso de electrodomésticos de menor consumo de energía, la racionalización del consumo y la no intervención de los sistemas de monitoreo de consumo de electricidad es vital para una buena gestión de la energía.

Para finalizar, es necesario maximizar los beneficios tanto para la comunidad como para las empresas de servicios públicos, el Estado podrá ser garante de esto, mediante una legislación apta que permita una relación benéfica para las partes, que se refleje en una mejora de la competitividad y un uso racional del recurso eléctrico.

## BIBLIOGRAFÍA

- Fjeldstad, O.-H. (2004). What's trust got to do with it? Non-payment of service charges in local authorities in South Africa. *J. of Modern African Studies*, 539-562.
- Gudmundsson, J., & Horton, M. (2016). *Spatio-Temporal Analysis of Team Sports*. Nueva York: Cornell University.
- Intriago Acosta, R., Ramirez Quiroga, C. A., & Veloz Camino, H. A. (2004). *Plan Estratégico para la reducción de pérdidas comerciales en la Empresa Eléctrica Distribuidora Regional Manabí (EMELMANABI S.A.)*. Guayaquil Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Isaac, L. (2015). Technology in Sport. *Sports Management*, 1-2.
- Jiang, R., Lu, R., Wang, Y., Luo, J., Shen, C., & Shen, X. (2014). Energy-Theft Detection Issues for Advanced Metering Infrastructure in Smart Grid. *TSINGHUA SCIENCE AND TECHNOLOGY*, 105-120.
- Mohassel, R. R., Fung, A., Mohammadi, F., & Raahemifar, K. (2014). A survey on Advanced Metering Infrastructure. *Electrical Power and Energy Systems*, 473-484.
- Popovic, L. (2003). Determination of the reduction factor for feeding cable lines consisting of three single-core

cables. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 18(3), 736-743.

Romero López, J., & Vargas Rojas, A. (2010). Modelo de incentivos para la reducción de pérdidas de energía eléctrica en Colombia. *Artículo de investigación - Rev. maestr. derecho econ.*, 6(6), 221-257.

Smith, T. B. (2004). Electricity theft: a comparative analysis. *Energy Policy*, 2067-2076.

Tasdoven, H., Fiedler, B. A., & Garayev, V. (2012). Improving electricity efficiency in Turkey by addressing illegal

electricity consumption: A governance approach. *Energy Policy*, 226-234.

Tora Galván, J. (1997). *Transporte de la energía eléctrica*. Madrid: Universidad Pontificia Comillas.

Winther, T. (2012). Electricity theft as a relational issue: A comparative look at Zanzibar, Tanzania, and the Sunderban Islands, India. *Energy for Sustainable Development*, 111-119.

