



Análisis del ciclo de vida de la generación distribuida en Cienfuegos

Life Cycle Assessment of Distributed Energy Generation on Cienfuegos

Berlan– Rodríguez Pérez
Maidely– Fernández Rodríguez
Nelson –Fernández Ocampo

Recibido: diciembre de 2013

Aprobado: abril de 2014

Resumen/ Abstract

Este trabajo evalúa y compara el perfil ambiental de la generación distribuida con respecto a otras fuentes de generación de energía eléctrica en la provincia de Cienfuegos. Se toma como referencia la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) que aparece en la serie de normas NC ISO 14040 y se complementa con el método de evaluación por categorías de impacto: ECO-SPEED, soportado por la herramienta informática OPENLCA 2.1. Además se emplea el programa estadístico STATGRAPHICS 15 para el análisis de los datos y del paquete de programas DECISION-TOOLS5.1 para el análisis de riesgo. Como resultado de la aplicación del análisis de ciclo de vida a la generación distribuida de electricidad se proponen una serie de medidas que de ser aplicadas en las centrales de generación distribuida de energía eléctrica, contribuirán a la disminución del consumo de los recursos y del impacto ambiental que se produce.

Palabras clave: análisis de ciclo de vida, análisis de impacto ambiental, generación distribuida.

This work evaluates and compares the environmental profile of the distributed electric power generation in front of other power sources in the province of Cienfuegos. The life Cycle Assessment Methodology of (LCA) presented in the NC ISO 14040 series of standards is taken as reference and it is complemented with the appraisal method by impact categories: ECO-SPEED, supported by the software OPENLCA 2,1. The statistical Software STATGRAPHICS15 is used for the data analysis and the software DECISION-TOOLS 5,1 for the risk assessment. As a result of the application of the life cycle assessment to the distributed electricity generation is presented a set of actions for improve the consumption of the resources and of the environmental impact of the main stations of distributed electric power generation.

Key Word: life cycle analysis, environmental Impact analysis, distribution generation.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas el reconocimiento de los asuntos ambientales y socioeconómicos ha aumentado enormemente. La humanidad está tornando cada vez más consciencia de que el consumo de productos manufacturados y de servicios ofrecidos contribuye de cierta forma, a los efectos adversos sobre los recursos y la calidad del medioambiente[1].

Estos efectos pueden tener lugar en todas las etapas del ciclo de vida de un producto o servicio, desde la extracción de la materia prima hasta la fabricación, distribución y consumo del producto e incluyen una serie de opciones para la gestión de los residuos [2].

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) provee una empresa valiosa para evaluar un sistema productivo, en cuanto a su eficiencia del uso de los recursos y manejo de desperdicios; aunque no es apropiado, si quieren analizar los impactos ambientales específicos de un proyecto puntual, para ello existen los métodos de evaluación de impacto ambiental establecidos [3]. El ACV ayuda a la organización a ganar ventajas competitivas y comparativas a través del ahorro de costos y mejora de posiciones en el mercado, incremento de ganancias y reforma de la imagen de la empresa o de un producto determinado [4].

La ventaja del ACV es que las personas encargadas de tomar decisiones, pueden evitar generar nuevos problemas ambientales al intentar corregir los existentes, o crear problemas ambientales en otras etapas del Ciclo de Vida [5]. En los últimos años el ACV se ha impuesto como herramienta a la hora de evaluar los impactos potenciales de los productos [6]. El progresivo avance de la electricidad en el modelo energético de los países desarrollados durante los últimos años, así como también sus mayores ventajas en materia de transporte al por mayor y posterior distribución al por menor, hacen que el consumo de energía eléctrica esté sustituyendo a otras formas alternativas de energía final [3]. Además de aportar importantes ventajas para los consumidores, el mayor peso de la electricidad está en el modelo energético que facilita la ampliación de medidas de eficiencia energética y del uso de energías limpias en la generación, permitiendo reducir la emisión de gases de efecto invernadero, y contribuyendo a mitigar la vulnerabilidad derivada de la dependencia de los combustibles de origen fósil [7].

El Consejo Mundial de Energía, (WEC, por sus siglas en inglés) llevó a cabo una compilación de estudios de análisis de ciclo de vida de diferentes tecnologías de generación de energía eléctrica desarrollados en los últimos 15 años a nivel internacional [8]. Estos análisis consideraron la cadena completa de producción de energía, desde la exploración y la extracción hasta su uso final, pasando por almacenamiento, transporte, transformación en combustibles secundarios; es decir, la energía primaria desde su origen hasta su uso final. De esta forma, se determinó la accesibilidad, disponibilidad y aceptabilidad de la producción de energía eléctrica [7]. Con el triunfo de la revolución, en Cuba se adquiere conciencia del grado de deterioro del medioambiente y se empiezan a dar los primeros pasos necesarios para revertir la situación [9].

Apareciendo de esta forma normativas para proteger el medio ambiente, las que tienen carácter obligatorio para las empresas e industrias que constituyen fuentes contaminantes, así como las nuevas fábricas que se crean también deben cumplir el requisito de no dañar el medio ambiente [1].

En la provincia de Cienfuegos la Empresa Eléctrica cuenta con diez centrales de generación distribuida (ocho centrales eléctricas diesel y dos centrales eléctricas fuel oil). De las centrales eléctricas diesel: siete son de tecnología MTU y una de tecnología Scania, las cuales por la configuración de los motores generadores se presentan dentro del territorio en tres instalaciones de baterías: "Junco Sur" con dieciséis motores MTU~4000, "Cruces" con ocho motores MTU~4000 y "El Tablón" con once motores generadores de tecnología Scania, además de cinco instalaciones aisladas que están conformadas por dos motores MTU 4000 o 2000 según correspondan. Las dos centrales eléctricas fuel oil "Cruces" y "Yaguaramas" son de tecnología Hyundai y funcionan ininterrumpidamente según lo establecido por el Sistema Electroenergético Nacional (SEN). Las ocho centrales diesel son plantas generadoras de reserva para el horario pico, cuando hay una alta demanda de energía.

Al término del año 2011 la empresa recibió 5 498 733 litros de diesel y 37 150 466 litros de fuel oil para el consumo de las centrales eléctricas, cantidades que representan un monto monetario de 3 762 035,5 y 16 655 480 CUP respectivamente. En contra partida, existen pocos estudios sobre el impacto ambiental que provoca la generación distribuida en el medio ambiente y en la salud del ser humano. Por otro lado no se han realizados comparaciones entre la generación distribuida y otras fuentes de generación de electricidad desde el punto de vista ambiental. Partiendo de lo anterior surge la siguiente interrogante ¿Cómo cuantificar el inventario de ciclo de vida y los impactos ambientales potenciales de la generación distribuida, con vistas a compararlos

con otras fuentes de generación de electricidad? La aplicación del análisis de ciclo de vida permite evaluar y comparar el perfil ambiental de la generación distribuida. Primeramente se realiza una caracterización de la generación distribuida en la provincia de Cienfuegos a partir del Diesel y del Fuel Oil; se confecciona el inventario de ciclo de vida de la generación distribuida con fuel oil y diesel a través de un estudio de incertidumbre; posteriormente se valora el perfil ambiental de los inventarios realizados y se contrasta con los de otras formas de generar electricidad.

Al conocerse los impactos que provoca la generación distribuida de energía eléctrica con fuel oil y diesel al medio ambiente, tema de gran importancia en la actualidad por el deterioro que viene sufriendo el medio ambiente producto a la alteración de los ecosistemas e importantes pérdidas de calidad de vida en algunas zonas; se trazan estrategia para mitigar estos impactos mediante acciones de mejora medioambientales. Además este estudio permite contrastar la producción distribuida de energía eléctrica con la generación en las centrales termoeléctricas en cuanto a los daños que provocan al medio ambiente mediante un estudio que incluye a todos los elementos involucrados en el sistema y así trazar medidas enmarcadas al ahorro económico para minimizar gastos innecesarios para el país en momentos de perfeccionamiento del modelo económico cubano y de crisis global.

MÉTODOS

Se utiliza el procedimiento de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), según sus 4 etapas [10]: Definición del objetivo y alcance, análisis del inventario del ciclo de vida, evaluación del impacto del ciclo de vida y análisis de mejoras. Todas estas etapas se explican a continuación.

Etapas 1: Definición de los objetivos y alcance.

Objetivos.

1. Construir un Inventario de ciclo de vida en la generación distribuida de energía eléctrica con fuel oil y diesel para disponer de los recursos consumidos (entradas), y de las emisiones y residuos generados (salidas) durante el proceso.
2. Evaluar y cuantificar los impactos asociados al proceso de generación distribuida de energía eléctrica utilizando fuel oil y diesel.
3. Comparar el perfil ambiental de los inventarios realizados con los de otras fuentes de generación de electricidad.
4. Aprender las posibles mejoras que pueda tener el proceso para reducir los impactos, tanto medioambientales como económicos.

ALCANCE DEL ESTUDIO

El alcance del estudio contempla los aspectos relacionados con las funciones del sistema estudiado y con el destino final del producto, en este caso, los consumidores nacionales ya sean estatales o públicos de la energía eléctrica generada.

Unidad funcional

Como unidad funcional se toma la producción de 1MWh.

Definición de los límites del sistema

Los límites del sistema se definen según la información que se tiene y los objetivos que se pretenden alcanzar definidos anteriormente. A continuación se definen los límites del sistema estudiado:

- Límites geográficos.
El Análisis de Ciclo de Vida se limita a la generación distribuida de energía eléctrica en las centrales Fuel Oil-Cruces y Diesel-Junco Sur ubicadas en la provincia de Cienfuegos.
- Límites temporales.

El tiempo de análisis incluye los años 2009, 2010, 2011 y el primer trimestre del 2012.

Los límites del sistema están bien enmarcados "de la cuna a la tumba" ya que comienza con los productos iniciales para la producción de energía eléctrica, combustible, agua y energía eléctrica insumida y termina con la producción de Mega Watts puestos en las barras del Sistema Electroenergético Nacional y el análisis de los residuos derivados de esta producción. En los límites no se incluye la construcción de la infraestructura ni el transporte de los materiales o equipos.

Calidad de los datos

Los datos para este análisis han sido seleccionados de manera exhaustiva del Centro Control y del Grupo de Mantenimiento y Explotación perteneciente a la Unidad Básica Eléctrica Generación y de los Grupos de Explotación pertenecientes a las centrales Fuel Oil-Cruces y Diesel-Junco Sur. Cada dato introducido se chequeó contra el enviado en igual período a la Unión Nacional Eléctrica para el control y medición del desenvolvimiento productivo y medioambiental de las centrales. Además a los datos se les realizó pruebas de bondad de ajuste para una mayor confianza estadística por poseer datos históricos de las entradas y salidas del proceso.

Para realizar el estudio de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) se utilizó la herramienta informática OPENLCA. En este caso se utiliza para la evaluación de impacto la metodología ECO-SPEED [11], por tener calculados los factores de caracterización según las características de la región de América Latina, evitando así las incertidumbres que se producen al utilizar las de la región europea.

Etapas 2: Análisis del inventario.

Recolectar los datos

Para la recolección de los datos involucrados en la producción de energía eléctrica se deben describir los sistemas interrelacionados entre sí que hacen posible la generación estable y confiable de la electricidad, cada sistema forma parte del ciclo de vida de la producción de energía eléctrica. Para la realización del estudio se toma como muestra la central eléctrica Fuel Oil-Cruces y Diesel-Junco Sur por ser representativas dentro de su tecnología y entre todas las centrales de la provincia. A continuación se describe los procesos en cada una de estas centrales.

Central Fuel Oil - Cruces.

El emplazamiento de Cruces cuenta con tres baterías HYUNDAI de modelo 9H21/32 las que se conectan en paralelo con la red Nacional, usando combustible diesel para su arranque, parada, grandes fluctuaciones de la carga y el barrido de las líneas y empleando el fuel oil como combustible base. Cada batería contiene:

- Cuatro contenedores de motores - generadores (MDU).
- Un contenedor de tratamiento de combustible (HTU).
- Una instalación para producir vapor (caldera).
- Una instalación de aire comprimido.
- Una instalación para los Paneles Eléctricos (ETU).
- Una planta de tratamiento de agua.
- Una instalación para la Sala de Control de todo el emplazamiento.

Central Diesel - Junco Sur

Las centrales de generación distribuida con diesel se encuentran instaladas en Baterías y están designadas para suministrar corriente eléctrica al Sistema Electroenergético Nacional, ya sea alimentando a una parte del sistema, o suministrando a toda la red nacional. La central de generación distribuida Diesel-Junco Sur cuenta con dos baterías de ocho motores MTU de la serie 4000 cada una y están compuestas principalmente por:

- Motor de Combustión Interna Diesel, Generador Eléctrico.
- Estación de Combustible.
- Sistema de Control.

Con la información recogida de cada una de las etapas y procesos expuestos anteriormente se elaboró el inventario de ciclo de vida de la generación distribuida de energía eléctrica, en el mismo se recogieron todas las materias primas, el uso de energía, combustible y las salidas o emisiones, empleándose los datos de tres años, lo que permitió realizar cálculos de incertidumbre, y pruebas de bondad de ajuste para de esta forma obtener los parámetros de las distribuciones de mayor verosimilitud con una gran confianza estadística.

Procesamiento de los datos obtenidos

Con todos los datos obtenidos de los diferentes sistemas de análisis y para dar cumplimiento a los objetivos propuestos son incluidos estos en la herramienta de procesamiento de la información Open LCA de la cual podrán ser obtenidos los impactos medioambientales y el perfil ambiental de la generación distribuida con fuel oil y diesel. Para cada una de las categorías se realiza un

análisis de incertidumbre con el método de simulación de Montecarlo, donde se calcula los límites de confianza para cada uno de estos impactos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ETAPA 3: EVALUACIÓN DEL IMPACTO

Para evaluar el ciclo de vida de la generación distribuida de energía eléctrica se procesa la información recopilada con la metodología ECO-SPEED [11], desarrollada para nuestras condiciones ambientales, usando categorías de análisis de datos de alto impacto sobre la salud humana, el agua, los minerales y los recursos energéticos propios del país y tomando como productos en su base de datos las sustancias, aditivos, compuestos químicos, emisiones y vertimientos más notorios evaluados y validados para Cuba, dando además, prioridades de evaluación en función de llevar al país hacia un desarrollo sostenible, es capaz de brindar un análisis de mayor actualidad y más cercano a nuestras condiciones de explotación de los recursos naturales y los productos así como llevarnos a poder evaluar los principales impactos que el país produce sobre los ecosistemas, de ahí que las categorías de impacto mostrados por él se toman como significativas dándole a este método todo el potencial que posee para el Análisis de Ciclos de Vida dentro del contexto nacional de cualquier proceso (producto) y, por tanto, que sea el seleccionado para realizar nuestra evaluación de (ACV) en la generación distribuida de energía eléctrica.

Central eléctrica Fuel Oil – Cruces.

Los resultados obtenidos para 1MW.h de electricidad generado en la central eléctrica Fuel Oil – Cruces se identifican en la figura 1.

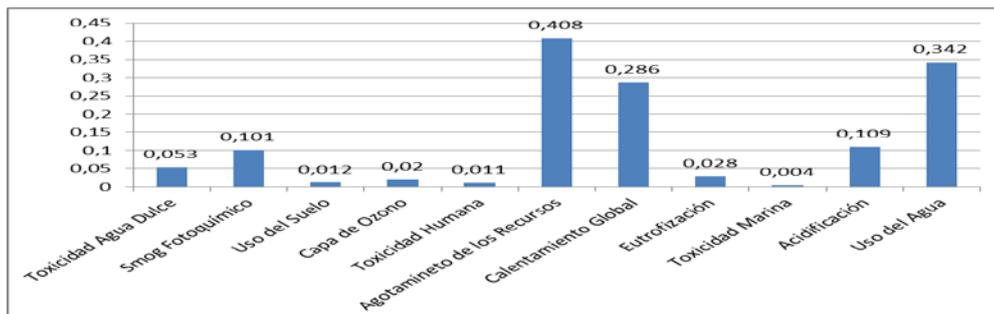


Fig. 1. Análisis de impacto en la generación distribuida eléctrica Central Fuel Oil-Cruces.

El agotamiento de los recursos, el uso del agua y el calentamiento global son las categorías que representan las barras predominantes, la figura 2, representa un Diagrama de Pareto de la distribución porcentual de los impactos más significativos en el análisis del ciclo de vida de la generación distribuida de energía eléctrica en dicha central.

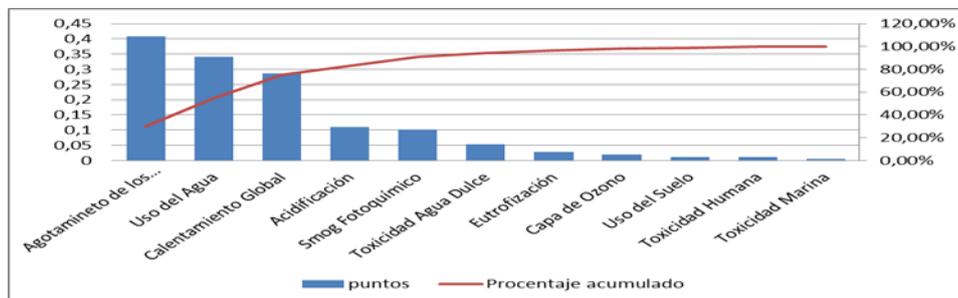


Fig. 2. Impactos de la generación distribuida eléctrica Central Fuel Oil-Cruces.

El agotamiento de los recursos y el uso del agua se presentan como factores predominantes por el empleo de los combustibles y aceites, ya que para la obtención de estos se explotan gran cantidad de componentes y como se ha mencionado anteriormente este estudio abarca el ciclo de vida de todos los elementos involucrados. El calentamiento global está dado por las emisiones que se provoca no solo en la central sino también en la producción de los elementos que ella utiliza.

Central eléctrica Diesel – Junco Sur

Para la central distribuida Diesel–Junco Sur en la figura 3, se reflejan los resultados obtenidos en cuanto al impacto ambiental para la generación de 1MW.h de electricidad.

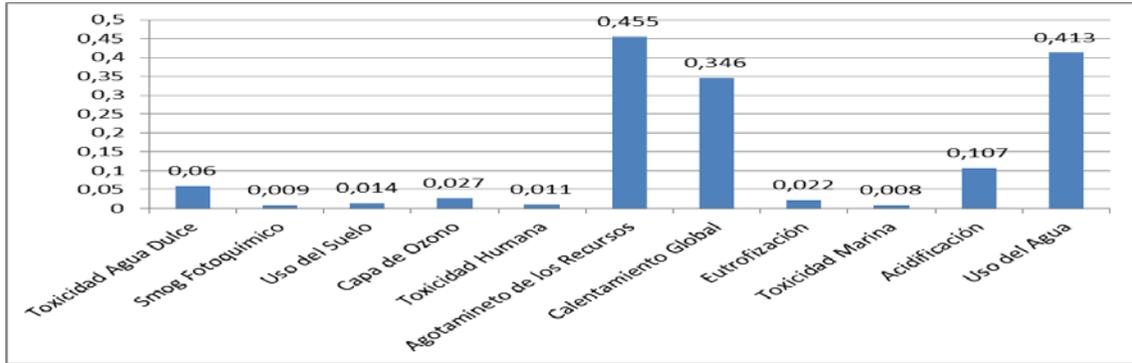


Fig. 3. Análisis de impacto en la generación distribuida eléctrica en la central Diesel Junco Sur.

Como se percibe el resultado de los impactos en la central Diesel – Junco Sur es muy parecido al de la central FUEL OÍL – Cruces, igualmente en la figura 4, se representa el Diagrama de Pareto con los porcentajes para cada una de las categorías.

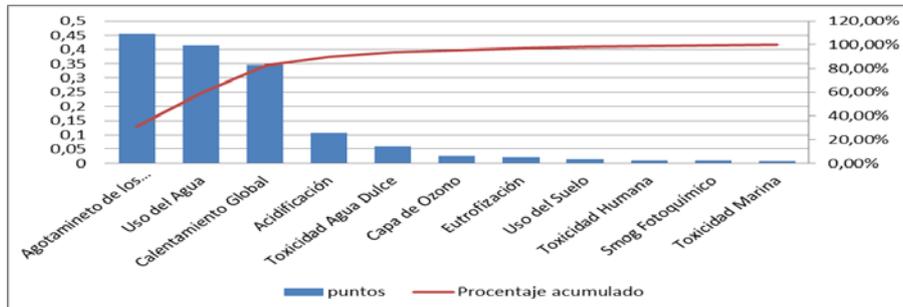


Fig. 4. Impactos de la generación distribuida de energía eléctrica (Central Diesel Junco Sur).

En la central Diesel-Junco Sur se evidencian como relevantes las mismas categorías que en la central de FUEL OÍL-Cruces lo que en esta, las cantidades son un poco superior. Se puede apreciar como el agotamiento de los recursos, el uso del agua y el calentamiento global acumulan el 82,74 % de los impactos generados en la central.

La comparación de la generación distribuida de energía eléctrica utilizando fuel oil y diesel en la Empresa Eléctrica con la producción de electricidad en la termoeléctrica Carlos M. Céspedes para 1 MW generado se detallan en las figuras 5 y 6.

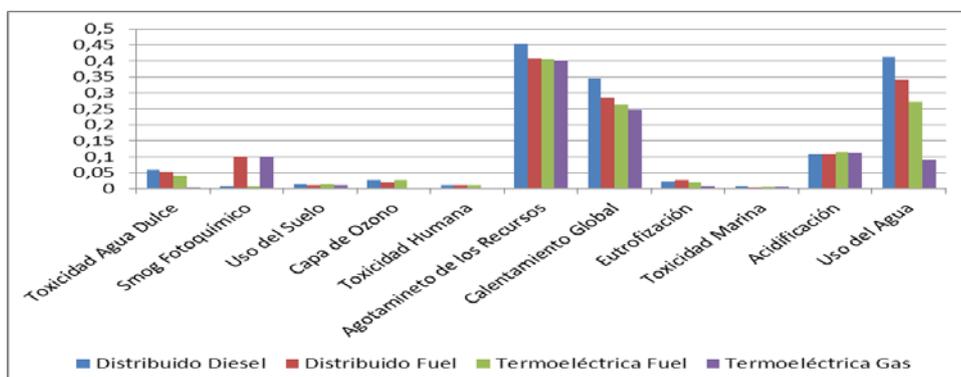


Fig. 5. Comparación de los Impactos ambientales de diferentes formas de generar electricidad.

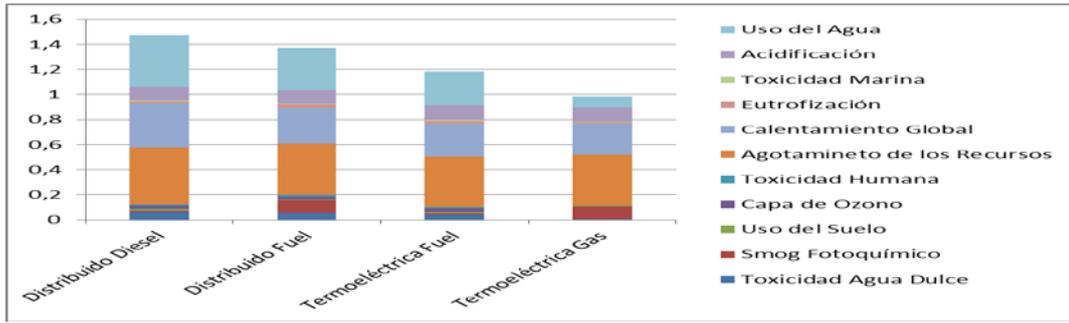


Fig. 6. Comparación de la puntuación general de los procesos de generación eléctrica.

La comparación de diferentes formas de generar electricidad (generación distribuida con diesel, generación distribuida con fuel oil, generación con fuel oil en termoeléctrica y generación con gas en termoeléctrica) para 1 MW generado se evidencia que el empleo de centrales eléctricas distribuidas, causan mayor impacto que la generación de electricidad en termoeléctricas según se aprecia en la figura 6, además se infiere que la generación distribuida con diesel es la barra más alta en la puntuación general, lo cual está dado por ser el diesel el que mayor impacto provee al medio ambiente, ya que su elaboración requiere de un proceso más complicado que los demás combustibles, lo que genera mayores impactos. Estos resultados de comparación están en concordancia con los datos por otros trabajos donde se comparan diferentes formas de generación de energía [3]. Si bien la energía a partir de fuentes renovables es más limpia, como se muestra en otros trabajos [12-14], su generación es tiene el beneficio de ser disponible más rápidamente. En la figura 7, se detalla el rango de variación de las categorías más relevantes, es una representación de cuánto puede variar la puntuación única, en dependencia de la variación de las categorías de impacto.

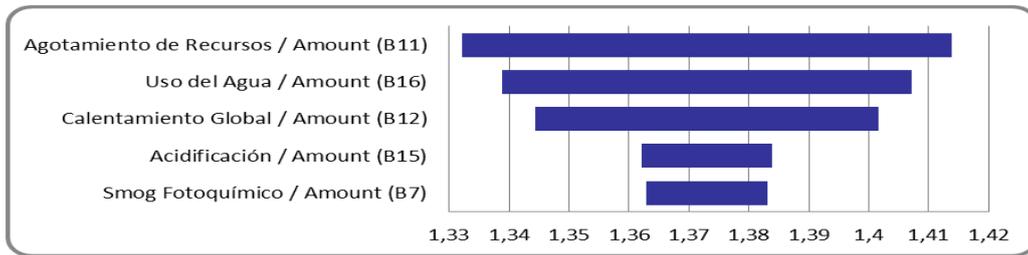


Fig. 7. Gráfico de tornado para las categorías de impacto de la central Fuel Oil-Cruces.

En la figura 8, se representa la magnitud que implica en la puntuación total la variación de las categorías más importantes.

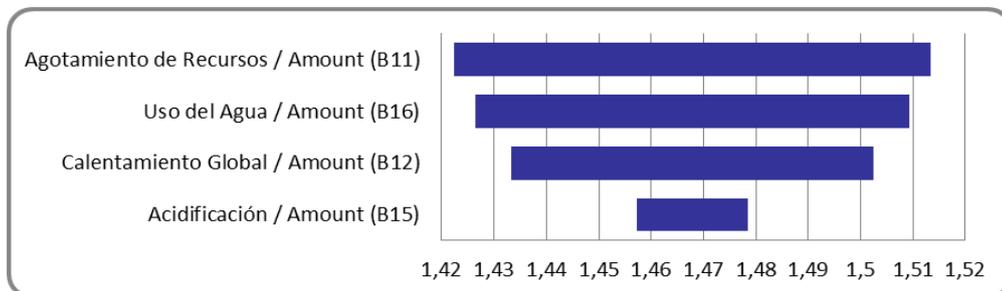


Fig. 8. Gráfico de tornado para las categorías de impacto de la central Diesel-Junco Sur.

Las figuras 9 y 10, indican que tanto en una central como en otra para lograr un resultado visible en la puntuación única se tienen que disminuir las categorías de impacto más significativas al menos en un 3 % aproximadamente, para obtener un 1 % de disminución en la puntuación

general; y en la categoría de acidificación en un 10 %, aunque con esta última no se logra un gran avance en la puntuación general

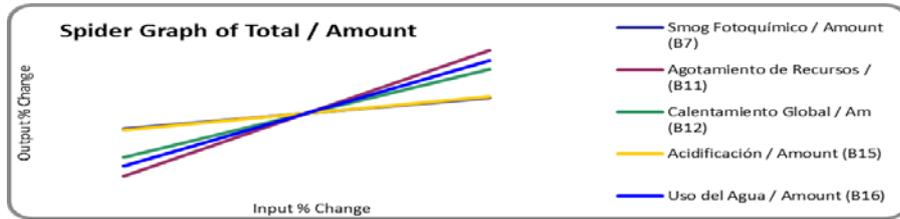


Fig. 9. Gráfico de araña para las categorías de impacto de la central Fuel Oil-Cruces.

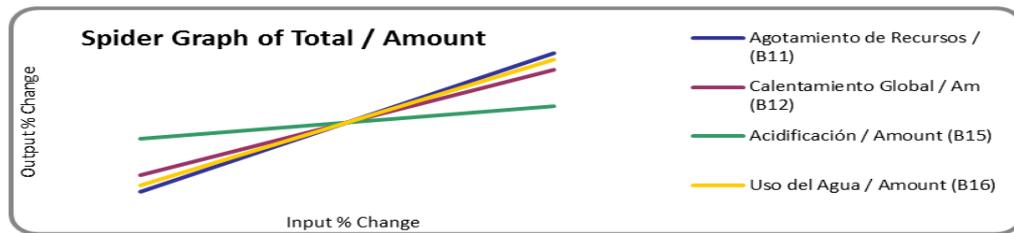


Fig. 10. Gráfico de araña para las categorías de impacto de la central Diesel-Junco Sur.

Etapa 4: Análisis de mejoras

Al analizarse los impactos se deduce que la minimización de los mismos están en función de reducir los consumos, sobre todo de combustibles, para ello se proponen una serie de medidas que están en estudio:

1. Cambio de posición de los filtros de aspiración hacia la parte exterior del contenedor (MTU S-4000).

La modificación consiste en sacar los filtros de aspiración hacia la parte exterior del contenedor para lograr que el aire de aspiración sea más fresco al tener en la parte exterior la presión atmosférica que es superior a la presión dentro del contenedor por el vacío que se crea en el producto de los ventiladores y la aspiración del motor.

Al realizarse el estudio resultado se logró una disminución del Consumo Específico de Combustible de 2,7 g/kwh. Las temperaturas de gases de escape antes y después de los turbos tienen alguna disminución pero no se observa una correspondencia en todos los turbos motivado fundamentalmente por el método de medición utilizado que no tiene la precisión necesaria para la correcta evaluación.

2. Utilización de aditivos para el combustible (Hyundai).

El objetivo de los aditivos es tener una combustión óptima contaminando lo menos posible.

En la cámara de combustión.

- a) Incrementa la temperatura de la cámara y disminuye la emisión de cenizas.
- b) Reduce el exceso de aire requerido, aumenta la eficiencia.
- c) La reducción en el exceso de aire inhibe directamente la formación de SO₃ y NO_x.
- d) En presencia de MgO hay un secuestro de Vanadio, inhibiéndose la reacción SO₂→SO₃.

En las escorias.

- a) Cuando se aplica Oxido de Magnesio al fuel oil se forman compuestos complejos V₂O₅-MgO que tienen un punto de fusión mayor que la temperatura de la flama, por lo que viajan por la cámara de combustión como sólidos y al pegar en las superficies metálicas forman cúmulos de cenizas friables fáciles de remover y que no causan corrosión.
- b) Los depósitos formados son sólidos friables y no corrosivos.

En la emisión de contaminantes.

- a) Disminuye la formación de ceniza: El uso de los catalizadores baja el punto de ignición del Carbono de 353° a 315° lo que hace que la gota se consuma casi completamente y quede poco o nada el carbón sin quemar(ceniza).

- b) Al inhibir la reacción $\text{SO}_2 \rightarrow \text{SO}_3$ reduce la formación de H_2SO_4 . La inyección de aditivos con Oxido de Magnesio disminuye la formación de SO_3 y aumenta el pH de las Cenizas hasta en una unidad de pH.
- c) Mejora eficiencia combustión por catálisis.
- d) La inyección de aditivos con Oxido de Magnesio disminuye la formación de SO_3 y aumenta el pH de las Cenizas hasta en una unidad de pH.

3. Instalación de filtros centrífugos de aceites (Hyundai).

Con el propósito de evaluar la efectividad de los filtros en el comportamiento del aceite en el tiempo se realiza un estudio independiente para cada motor del emplazamiento objeto de estudio, tomándose la primera muestra y análisis a las 350 horas de trabajo del aceite, y luego cada 50 horas de trabajo.

A partir de los resultados obtenidos se observa que las características físico químicas del aceite se mantienen dentro de los valores normados por lo que es posible extender el cambio de aceite a las 750 horas de trabajo en las unidades con filtro centrífugo.

La calidad del aceite de las unidades que no tienen filtro centrífugo luego de 350 horas de trabajo es inferior a la del aceite de las unidades que si lo tienen con más de 750 horas de trabajo, con Índice de Relleno similares, particularizando en los parámetros de viscosidad 100°C e Insolubles en Pentano. En la tabla 1, se determina la valoración económica para la inversión de los filtros de centrifugado de aceite.

4. Instalación de magnetizadores

- a) Instalación de magnetizadores DIMAG en el sistema de agua tecnológica de las centrales (Hyundai).
- b) Instalación de magnetizadores DIMAG en motores diesel de la generación distribuida (MTU S-4000).
- c) Instalación de magnetizadores DIMAG en Sistema de Combustible Motores (Hyundai).

La función de estos en los sistemas de combustibles o motores se debe a la optimización de la mezcla del proceso de combustión como resultado del reordenamiento de las moléculas del combustible, la reducción de fricción en las superficies de lubricación dinámica y la mejora en el sistema de filtrado con reducción de partículas de hierro y otros metales presentes en el combustible y aceite lubricante a un tamaño de una micra, lo que posibilita una combustión más completa y una disminución del consumo de combustible y de la carga de contaminantes que se expulsan a la atmósfera.

Estudios indican mejoras en los indicadores de gramos consumidos por kW generado de hasta 4 unidades. Los magnetizadores se utilizan también en el sistema de agua tecnológica de las centrales Hyundai porque ellos activan y polarizan las moléculas de agua, produciendo una fuerte interacción con las especies iónicas presentes. Dicha interacción es más fuerte que las de estas especies con las superficies metálicas modificadas (superficies internas de tuberías de intercambiadores de calor, calderas, calefactores de agua, etc.) evitando con ello la formación sobre dichas superficies de cristales de calcita (carbonato de calcio) y propiciando la formación en el seno del agua de cristales finos de aragonito (otra forma cristalina del carbonato de calcio) los cuales quedan en suspensión y pueden ser retirados con facilidad posteriormente por sedimentación (calefactores de agua) o retirados por purga (calderas de vapor).

5. Cambio de la posición de los escapes en los motores generadores (MTU S-4000).

Los escapes de los motores-generadores en la central Diesel-Junco Sur se encuentran en sentido horizontal, lo que provoca que los gases que expulsan vayan hacia la parte delantera, donde una parte se concentra antes de dispersarse y la otra es atraída otra vez hacia el contenedor por los ventiladores ubicados en la parte de posterior. Se propone el cambio de los escapes en sentido vertical para que los gases ganen altura y no se acumulen en una zona baja donde afectan a los trabajadores de la instalación, a los habitantes del lugar y al funcionamiento de la misma central. No se tiene contabilizado la magnitud de esta mejora, pero por muy poco que represente es un logro para la eficiencia de la central.

Todas estas medidas propuestas influyen en el mejor y más eficiente uso de las centrales, unas en mayor medida que las otras, pero todas aportan su atribución en la disminución del uso de combustibles y las emisiones de gases al medio ambiente.

Tabla 1. Evaluación económica de los filtros centrífugos de aceite.								
Costo Cambio de Aceite								
Descripción	Unidad	Cant. por Unidad	Cant. Cambios	CantTotal	Precio Unitario		Importe	
					MN	CUC	MN	CUC
Aceite	L	290	1	290	-	2.56	-	742.4
Filtro	u	4	1	4	2.8	16.54	11.2	66.16
Total							11.2	808.56
Costo Inversión Filtro centrífugo								
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario		Importe			
			MN	CUC	MN	CUC		
Filtros Centrífugos	U	1	-	2213.22	-	2213.22		
Total					0	2213.22		
Recuperación de la inversión						Horas de Operación	Años a 2 horas diarias	
Cantidad de Cambios de Aceite que amortizan la inversión						2.7		
Cambio de Aceite cada 750 h						2.7	2053	
Cambio de Aceite cada 1000 h						1.4	1369	

CONCLUSIONES

1. Se realizó el inventario del ciclo de vida de la generación distribuida de energía eléctrica utilizando de varios años, lo cual permitió realizar un análisis de estadístico para mejorar la calidad de los datos.
2. Se evalúa el impacto de la generación distribuida de energía eléctrica con el software Open LCA y el método ECO-SPEED, en el cual las categorías más afectadas son el agotamiento de los recursos, el uso del agua y el calentamiento global.
3. Al realizarse la comparación de los perfiles ambientales de la generación distribuida con fuel oil y diesel con los de la termoeléctrica Carlos M. Céspedes para 1 MW resulta de mayor impacto la generación de electricidad en las centrales distribuidas.
4. Se realizan las propuestas de mejoras para la reducción de los impactos en cada una de las tecnologías implantadas en las centrales Fuel Oil-Cruces y Diesel-Junco Sur.

En estudios similares se pueden llegar a las medidas como las que se presentan [15]. Además se ha podido comprobar que existe una tendencia a realizar mejoras a los sistemas de generación distribuida [16], entre otras medidas se aprecia que existen estudios para emplear fuentes de energía más amigables con el medio ambiente [17]. Tal y como se ha comprobado por otros autores. La generación distribuida es una opción que puede integrarse a la generación tradicional a partir del uso de energías renovables.

RECONOCIMIENTO

Agradecimiento a la dirección de la UBE Generación perteneciente a la Empresa Eléctrica Cienfuegos, muy especial a los especialistas de los grupos de Mantenimiento y Explotación y Centro de Control, además del personal técnico de las centrales eléctricas Fuel Oil-Cruces y Diesel-Junco Sur.

REFERENCIAS

- [1]. DE LA CONCEPCIÓN, M., "Aplicación del análisis de ciclo de vida (ACV) para la evaluación del impacto ambiental asociado a la generación de energía eléctrica". En: IV Conferencia Internacional de Análisis de Ciclo de Vida, CILCA, Coatzacoalcos, Veracruz, México, Abril 2011, p. 462-483, ISBN: 642-17-7543-154-7.
- [2]. CHERUBINI, F. *et al.* "Life cycle assessment of bioenergy systems: state of the art and future challenges". *Bioresource Technology*, 2011, vol. 102, n. 2, p. 437-451, ISSN 0960-8524.
- [3]. WEBER, C. L., *et al.* "Life cycle assessment and grid electricity: what do we know and what can we know?" *Environmental Science & Technology*, 2010, vol. 44, n. 6, p.1895-1901, ISSN 0013-936X.
- [4]. ZIMMERMANN, T. "Parameterized tool for site specific LCAs of wind energy converters". *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2013, vol. 18, n. 1, p. 49-60, ISSN 0948-3349.
- [5]. HUANG, I. B.; *et al.* "Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends" *Science of the total environment*, 2011, vol. 409, n.19, p. 3578-3594, ISSN 0048-9697.
- [6]. CLUZEL, F.; YANNOU, B.; MILLET, D.; *et al.* "Exploitation scenarios in industrial system LCA" *The international journal of life cycle assessment*, 2013, vol.18, n.1, p.1-15, ISSN 0948-3349
- [7]. KORRE, A., *et al.* "Life cycle modeling of fossil fuel power generation with post-combustion CO2 capture". *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 2010, vol. 4, n. 2, p.289-300, ISSN 1750-5836.
- [8]. CARVALHO, M., *et al.*, "Optimal synthesis of tri-generation systems subject to environmental constraints". *Energy*, 2011, vol. 36, n. 6, p.3779-3790, ISSN 0360-5442.
- [9]. CONTRERAS, A. M.; *et al.* "Comparative life cycle assessment of four alternatives for using by-products of cane sugar production". *Journal of Cleaner Production*, 2009, vol.17, n.8, p.772-779, ISSN 0959-6526.
- [10]. RODRÍGUEZ, B., *et al.* "Eco-Speed, a New Life Cycle Impact Assessment Methodology for Latin American Countries". En: IV Conferencia Internacional de Análisis de Ciclo de Vida, CILCA, Coatzacoalcos, Veracruz, México, Abril 2011, p.795-814, ISBN 642-17-7543-154-7.
- [11]. SHERWANI, A.; USMANI, J. "Life cycle assessment of solar PV based electricity generation systems: A review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2010, vol.14, n.1, p.540-544, ISSN 1364-0321
- [12]. MARTINEZ, E.; *et al.* "Life cycle assessment of a multi-megawatt wind turbine". *Renewable Energy*, 2009, vol. 34, n. 3, p. 667-673, ISSN 0960-1481.
- [13]. LUO, L., *et al.*, "Life cycle assessment and life cycle costing of bioethanol from sugarcane in Brazil". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009, vol.13, n. 6, p.1613-1619, ISSN 1364-0321
- [14]. BAYOD-RÚJULA, A., "Future development of the electricity systems with distributed generation". *Energy*, 2009, vol.34, n. 3, p.377-383, ISSN 0360-5442.
- [15]. BOSE, B. "Global warming: Energy, environmental pollution, and the impact of power electronics". *IEEE Industrial Electronics*, 2010, vol.4, n.1, p.6-17, ISSN 1932-4529.

[16]. KARGER, C.R.; HENNINGS, W. "Sustainability evaluation of decentralized electricity generation", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009, vol.13, n.3, p.583-593, ISSN 1364-0321.

[17]. EDINGER, R. "Distributed Electricity Generation with Renewable Resources", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009, vol. 14, n.5, p.348-359, ISSN 1364-0321.

AUTORES

Berlan Rodríguez Pérez

Ingeniero Industrial, Máster en Matemática Aplicada, Profesor Auxiliar, Jefe Disciplina Gestión de Calidad, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez", Cienfuegos, Cuba

e-mail: briguez@ucf.edu.cu

Maidely Fernández Rodríguez

Ingeniero Industrial, Especialista de Recursos Humanos Turempleo, Oficina Territorial Cienfuegos, Cuba

e-mail: adiestrada@otet.cfg.tur.cu

Nelson Fernández Ocampo

Ingeniero Electricista, Máster en Ingeniería Industrial, Especialista Gestión de Calidad, Organización Básica Eléctrica, Cienfuegos, Cuba.

e-mail: nelson@elecfcg.une.cu