

REDEL. Revista Granmense de Desarrollo Local
Vol.1 No.2, julio- septiembre 2017. RNPS: 2448. redel@udg.co.cu

Revisión

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE PROPUESTA DE NUEVO RÉGIMEN DE OPERACIÓN DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS Y CIRCUITOS DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIA DEL MUNICIPIO YARA

Feasibility study of proposal for a new system for the operation of electrical substations and primary distribution circuits of Yara municipality

M. Sc. José Felipe Báez- Matos, Profesor Instructor, Universidad de Granma,
jbaezm@udg.co.cu, Cuba

Ing. Raúl Arturo Jiménez-Rodríguez, Profesor Asistente, Universidad de Granma,
rjimenez@udg.co.cu, Cuba

Recibido 08/07/2017- Aceptado 04/09/2017

RESUMEN

En este trabajo se analiza el régimen de operación actual de los transformadores de potencia de las subestaciones eléctricas de subtransmisión pertenecientes al municipio Yara, con el objetivo de proponer, previo análisis técnico económico, el aumento (o disminución) de la potencia nominal en kilovoltamperes (kVA) de los mismos si es que se justifica económicamente, teniendo en cuenta el estado de carga actual y futura de estas subestaciones y calcular variantes de capacidad de estos transformadores, para preparar la interconexión de los circuitos de distribución primarios, que son alimentados por las subestaciones eléctricas (SE) relativamente cercanas, como son: Yara Pueblo y Fábrica de Conservas, así como la conversión de voltaje de las redes de distribución eléctrica de los circuitos: Yara, Fábrica de Conservas y Sofía.

Palabras claves: subestaciones, interconexión, circuitos

ABSTRACT

In this work the steady state conditions of operation of power transformers of the electric substations of subtransmission belonging to the municipality Yara is analyzed, with the objective of proposing, previous economic technical analysis, the increase (or decrease) of the nominal power in kilovoltamperes (kVA) of the same ones if it is justified economically, keeping in mind the state of current and future load of these substations and to calculate variants of capacity of these transformers to prepare the interconnection of the primary distribution circuits that are fed

by the electric substations relatively near, like they are Yara and Fábrica de Conservas circuits, as well as the conversion of voltage of the networks of electric distribution circuits of the Yara, Fábrica de Conservas and Sofía.

Key word: substations, interconnection, circuits

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se realiza el cálculo técnico económico de las pérdidas de potencia activa y energía eléctrica de dos circuitos de distribución primaria a 4.16 kV del asentamiento cabecera del municipio Yara y su posible conversión a un voltaje de operación de 13.2 kV e interconexión de ambos para ganar en confiabilidad en el servicio eléctrico, así como la estimación del ahorro de energía eléctrica que implica la aplicación del régimen de operación económico de transformadores de potencia de tres (3) subestaciones eléctricas (SE), las cuales son: Yara Pueblo, SE de Sofía y Fábrica de Conservas (Casas 1982, Peláez 2004).

La necesidad de realizar este análisis parte de los siguientes fundamentos:

1. Sobrecarga de los transformadores de potencia de las subestaciones eléctricas Yara Pueblo y Veguita Sur.
2. Conversión de voltaje planificada de los circuitos de distribución primaria Yara, Fábrica de Conservas y Sofía.
3. Baja cargabilidad del transformador de potencia de la subestación eléctrica de Sofía.
4. Futura interconexión de los circuitos primarios Yara Pueblo y Fábrica de Conservas, después de su conversión de voltaje.

DESARROLLO

Para realizar estos cálculos se parte de obtener los registros de las lecturas de los interruptores NULEC instalados por el lado de bajo voltaje de dichas subestaciones y que se encuentran conectados a la entrada de cada alimentador de distribución primaria, del empleo de nomogramas, de expresiones matemáticas indispensables para su fundamentación y los planes de desarrollo prospectivo del municipio Yara.

Tabla No.1 Datos técnicos de los transformadores de potencia de las SE en análisis.

Parámetros	SE Yara	SE Sofía	SE Veguita Sur	SE Fábrica de Conservas
Sn (kVA)	1600	1600	1600	1600

P_{CC} (kW)	16.5	16.0	16.5	16.5
P_O (kW)	3.65	3.55	3.65	3.65
U_{cc} (%)	6.5	6.3	6.5	6.5
I_o (%)	1.5	1.4	1.5	1.5
k_c (%)	1.27	0.226	1.17	0.66

Empleando la metodología expuesta en (Feodorov and Rodríguez López 1980, Stevenson 1984, Gönen 1986, Ramírez Castaño 2000, MINBAS. 2005, Pansini 2007) y los datos técnicos de los transformadores de potencia de las subestaciones eléctricas en estudio, dados en la tabla anterior, se obtuvieron los resultados que se muestran en las tablas 4,5, 6 y 7.

El estudio del régimen de operación de los transformadores de potencia de las SE de Yara Pueblo y Fábrica de Conservas, independientemente de que:

1. El transformador de la SE Yara Pueblo (1600 kVA) tiene un factor de carga del 127%.
2. El transformador de la SE Fábrica de Conserva (1600 kVA) tiene un factor de carga del 64%.

Se realiza porque en el plan de desarrollo de las redes eléctricas del municipio se propone implementar la infraestructura necesaria para el futuro enlace de los circuitos de distribución primaria que se encuentran alimentados por dichas subestaciones, de manera que, al tener una avería uno de los transformadores en alguna de estas SE, se pueda proceder a alimentar desde la otra, gran parte de la carga y afectar así lo menos posible a los consumidores.

El estudio de la subestación eléctrica (SE) Veguita Sur se realiza porque el mismo presenta un factor de carga del 117%.

Para el transformador de 1600 kVA de la SE Sofía no es así, pues tiene dos periodos bien definidos durante el año para analizar su estado de carga: durante la zafra azucarera y cuando no hay zafra.

De manera que el factor de carga de esta última SE es como sigue:

Para tiempo de zafra azucarera: Factor de carga del 46.9%.

Para tiempo de PARADA de la zafra azucarera: Factor de carga del 22.5%.

Es necesario indicar que el centro de acopio conectado a esta subestación está siendo desmantelado y se traslada hacia otro lugar del municipio, lo cual indica que la carga de este circuito, más bien presenta una tendencia a disminuir.

CONVERSIÓN DE VOLTAJE DE REDES PRIMARIAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Se ha planificado elevar el voltaje de operación de los siguientes circuitos de distribución primaria y de esta manera disminuir las pérdidas de potencia activa y de energía eléctrica en dichas líneas eléctricas:

1. Yara de 4.16 kV a 13.2 kV con pérdidas de potencia en el horario pico ascendentes a 108.4 kW.
2. Fábrica de Conservas de 4.16 kV a 13.2 kV con pérdidas de potencia de 22.01 kW.
3. Sofía de 4.16 kV a 13.2 kV con pérdidas de potencia de 17.55 kW

Esto hace un total de 147.96 kW de pérdidas de potencia activa en el horario de máxima demanda para estos tres circuitos de distribución y las pérdidas de energía eléctrica para un año en el régimen de operación actual ascienden a:

410.845 MWh/año para el circuito de distribución Yara.

61.908 MWh/año para el circuito de distribución Fábrica de Conservas.

57.412 MWh/año para el circuito de distribución Sofía.

73.462 MWh/año para el circuito Veguita Sur (que no lleva conversión, pero se propone aumento de capacidad en el transformador de potencia de la SE)

Para un total de 530.168 MWh/año de pérdidas de energía eléctrica en los circuitos de distribución de energía eléctrica asociados a estas SE que se van a convertir.

Al realizar la conversión de voltaje obtenemos las siguientes reducciones de estas pérdidas de potencia y de energía eléctrica respectivamente:

Tabla No.2

Circuito	Antes de la conversión de voltaje (kW)	Después de la conversión de voltaje (kW)	Ahorro (kW)
Yara	108.4	10.766	97.634
Fábrica de Conservas	22.01	2.186	19.824
Sofía	17.55	1.743	15.807
TOTAL	147.96	14.695	133.265

Para un ahorro de 133.265 kW de potencia activa.

Tabla No.3

Circuito	Antes de la conversión de voltaje (MWh/año)	Después de la conversión de voltaje (MWh/año)	Ahorro (MWh)
Yara	410.845	40.805	370.04
Fábrica de	61.908	6.149	55.759

Conservas			
Sofía	57.415	5.702	51.713
TOTAL	530.168	40.358	489.810

Para un ahorro por este concepto de 489.81 MWh/año de energía eléctrica en esos tres circuitos de distribución a convertir.

PARA INTERCONECTAR LOS CIRCUITOS PRIMARIOS YARA Y FABRICA DE CONSERVAS

ANALISIS DE VARIANTES S.E. YARA: CARGA ACTUAL Y CON EL 50% DE LA SUMA DE LA CARGA TOTAL.

ACTUAL DE LAS S.E. YARA Y FCA. CONSERVAS

Tabla No.4

NOMBRE S.E.	CANT TRANSF	KVA TOTAL	PERD VACIO kW	PERD CC kW	U _{cc} %	I vacío %	Tiempo equivalente perdidas	Sc kVA	Kc	Carga adicional que puede alimentar	Pérd.Pot kW	Pérd. Energ MWh/año	Ahorro(+) Pérdidas(-)
Yara	REGIMEN DE OPERACIÓN ACTUAL												
	1x1600	1600	3,174	16,587	6,5	1,50	3239,10	2032	1,270	0,00	43,349	167,210	0,000
	REGIMEN DE OPERACIÓN CON LA CARGA ACTUAL Y DOS TRANSFORMADORES EN PARALELO												
	2x1600	3200	3,174	16,587	6,5	1,50	3239,10	2032	0,635	1168,00	19,348	116,214	50,996
	REGIMEN DE OPERACION CON EL 50% DE LA SUMA DE LA CARGA TOTAL ACTUAL DE AMBAS SUBESTACIONES Y AUMENTANDO CAPACIDAD EN LOS TRANSFORMADORES DE SUBTRANSMISION PARA INTERCONECTAR CON DIST. PRIM. FCA. CONSERVAS												
	2x1600	3200	3,174	16,587	6,5	1,50	3239,10	1530	0,478	1670,00	16,628	102,715	64,496
	1x2500	2500	5,175	23,100	6,5	1,10	3239,10	1530	0,612	970,00	20,012	104,021	63,190
	2x2500	5000	5,175	23,100	6,5	1,10	3239,10	1530	0,306	3470,00	20,197	134,848	32,362
	SE DAÑA UNO DE LOS TRANSFORMADORES												
	1x1600	1600	3,65	16,587	6,5	1,50	3239,10	1530	0,956	70,00	27,154	117,382	49,829

Si en la subestación Yara se aumenta capacidad en su transformador de potencia y se colocan dos transformadores de 1600 kVA, 34.5/4.16 kV, se obtiene un ahorro de 50.996 MWh/año, esto sin interconectar el circuito de distribución primaria Yara y Fábrica de Conservas. Este aumento de capacidad solo es por la sobrecarga del 27% que tiene esta subestación eléctrica. Si estos circuitos se interconectan, se redistribuye la carga entre ambos circuitos (50% para cada uno) y se aumenta capacidad en ambas subestaciones (2x1600 kVA), el cambio en la SE Yara y Fca. de Conservas implica un ahorro de 64.496 – 29.059 = 35.467 MWh/año. (El aumento de capacidad en la SE Fca. de Conservas deja 29.059 MWh/año de pérdidas con respecto al régimen actual de operación de esta subestación eléctrica. Ver la tabla que sigue)

ANALISIS DE VARIANTES S.E. FCA. CONSERVAS: CARGA ACTUAL Y CON EL 50% DE LA SUMA DE LA CARGA TOTAL ACTUAL DE LAS S.E. YARA Y FCA. CONSERVAS.

Tabla No.5

NOMBRE S.E.	CANT TRANSF	KVA TOTAL	PERD VACIO kW	PERD CC kW	U _{CC} %	I VACIO %	Tiempo equivalente perdidas	Sc kVA	Kc	Carga adicional que puede alimentar	Pérd. Pot kW	Pérd. Energ MWh/año	Ahorro(+) Pérdidas(-)
Fábrica Conservas	REGIMEN DE OPERACIÓN ACTUAL												
	1x1600	1600	3,174	16,587	6,5	1,50	3089,10	1026	0,641	574,00	14,668	72,838	0,000
	REGIMEN DE OPERACIÓN CON LA CARGA ACTUAL Y DOS TRANSFORMADORES EN PARALELO												
	2x1600	3200	3,174	16,587	6,5	1,50	3239,10	1026	0,321	2174,00	14,669	92,989	-20,151
	REGIMEN DE OPERACION CON UNA CARGA IGUAL AL 50% DE LA SUMA DE LA CARGA DE AMBAS SUBESTACIONES Y AUMENTANDO CAPACIDAD EN LOS TRANSFORMADORES DE SUBTRANSMISION PARA INTERCONECTAR CON DIST. PRIM. YARA.												
	2x1600	3200	3,174	16,587	6,5	1,50	3089,10	1530	0,478	1670,00	16,628	101,896	-29,059
	1x2500	2500	5,175	23,1	6,5	1,10	3089,10	1530	0,612	970,00	20,012	102,084	-29,246
	2x2500	5000	5,10	23,00	6,5	1,10	3089,10	1530	0,306	3470,00	20,042	133,021	-60,183
	SE DAÑA UNO DE LOS TRANSFORMADORES												
	1x1600	1600	3,174	16,587	6,5	1,50	3089,10	1530	0,956	70,00	26,678	109,939	-37,101

Se propone aumentar capacidad en el transformador de potencia de la SE Fca. de Conservas para preparar la misma para la futura interconexión con el circuito de distribución de la SE Yara. La propuesta es colocar dos transformadores de 1600 kVA y dividir la carga de los circuitos de distribución primaria Yara y Fca. de Conservas al 50% aproximadamente, obteniendo esto al pasar parte de la carga del primer circuito hacia el segundo. No obstante, obtenemos pérdidas del orden de 29.056 MWh/año, que reducen el ahorro de energía que se obtiene en la SE Yara. Ver tabla anterior.

ANALISIS DE VARIANTES DE AUMENTO DE CAPACIDAD CON LA CARGA ACTUAL S.E. VEGUITA SUR
 Tabla No.6

NOMBRE S.E.	CANT TRANSF	KVA TOTAL	PERD VACIO kW	PERD CC kW	U _{CC} %	I VACIO %	Tiempo equivalente perdidas	Sc kVA	Kc	Capacidad libre kVA	Pérd. Pot kW	Pérd. Energ MWh/año	Ahorro(+) Pérdidas(-) MWh/año
Veguita Sur	REGIMEN DE OPERACIÓN ACTUAL												
	1x1600	1600	3,174	16,59	6,5	1,50	3089,10	2110,50	1,319	0,0	46,381	170,802	0,000
	REGIMEN DE OPERACIÓN CON LA CARGA ACTUAL Y DOS TRANSFORMADORES EN PARALELO DE 1600 Kva												
	2x1600	3200	3,174	16,59	6,5	1,50	3089,10	2110,50	0,660	1089,5	19,842	117,112	53,689
	REGIMEN DE OPERACIÓN CON LA CARGA ACTUAL Y UN TRANSFORMADOR DE 2500 Kva												
1x2500	2500	5,175	23,100	6,5	1,10	3089,10	2110,50	0,844	389,5	31,669	138,093	32,708	

La sobrecarga que ha medido en el transformador de potencia de esta subestación eléctrica (SE) es del 32%, según lecturas de los interruptores NULEC, es por ello que se propone el aumento de capacidad en la potencia instalada en el transformador de potencia de la SE Veguita Sur.

En este caso el estudio arroja que la variante que ofrece la mayor disminución de las pérdidas de energía eléctrica es la propuesta de instalar en paralelo dos transformadores de 1600 kVA, siendo este valor de 53.689 MWh/año

ANALISIS DE VARIANTES DE AUMENTO DE CAPACIDAD CON LA CARGA ACTUAL S.E. SOFIA

Tabla No.7

NOMBRE Subest. Eléc.	CANT TRANSF	KVA TOTAL	PERD VACIO kW	PERD CC kW	U _{cc} %	I VACIO %	Tiempo equiv. pérdidas	Sc kVA	Kc	Capacidad libre kVA	Pérd. Pot kW	Pérd. Energ MWh/año	Ahorro(+) Pérdidas(-)
Sofía	REGIMEN DE OPERACIÓN ACTUAL TIEMPO DE ZAFRA												
	1x1600	1600	3,174	16,587	6,500	1,50	2699,96	750,00	0,469	850,0	10,770	49,601	0,000
	REGIMEN DE OPERACIÓN ACTUAL EN TIEMPO DE PARADA DE ZAFRA												
	1x1600	1600	3,174	16,587	6,500	1,50	2699,96	360,00	0,225	1240,0	8,983	45,783	3,817
	REGIMEN DE OPERACIÓN CON LA CARGA EN ZAFRA Y UN TRANSFORMADOR DE 630 Kva												
	1x630	630	1,531	7,736	2,560	0,590	2699,96	750,00	1,190	0,0	9,864	49,612	-0,012
	REGIMEN DE OPERACIÓN CON LA CARGA EN TIEMPO DE PARADA DE ZAFRA Y UN TRANSFORMADOR DE 630 Kva												
	1x630	630	1,531	7,736	2,560	0,590	2699,96	360,00	0,571	270,0	5,030	23,506	22,277
	REGIMEN DE OPERACIÓN CON LA CARGA EN ZAFRA Y UN TRANSFORMADOR DE 750 Kva												
	1x750	750	2,231	9,925	3,340	0,869	2699,96	750,00	1,000	0,0	14,366	39,306	10,295
	REGIMEN DE OPERACIÓN CON LA CARGA EN TIEMPO DE PARADA DE ZAFRA Y UN TRANSFORMADOR DE 750 Kva												
	1x750	750	2,231	9,925	3,340	0,869	2699,96	360,00	0,480	390,0	5,378	27,173	18,611
	REGIMEN DE OPERACIÓN CON CARGA EN TIEMPO DE PARADA DE ZAFRA Y UN TRANSFORMADOR DE 1000 Kva												
	1x1000	1000	2,750	11,600	6,500	1,500	2699,96	360,00	0,360	640,0	5,893	38,939	6,844
REGIMEN DE OPERACIÓN CON LA CARGA EN TIEMPO DE ZAFRA Y UN TRANSFORMADOR DE 1000 Kva													
1x1000	1000	2,750	11,600	6,500	1,500	2699,96	750,00	0,750	250,0	12,884	57,815	-8,215	

La opción más ventajosa desde el punto de vista de ahorro de energía eléctrica es la instalación de un transformador de 750 kVA ya que ahorra 28,906 MWh/año (10.295 MWh/año + 18.611 MWh/año) con respecto al régimen de operación actual de dicha subestación.

La tendencia actual y futura de crecimiento de la carga en este asentamiento poblacional es muy pequeña, con tendencia a disminuir, por ejemplo, se va a desmantelar el centro acopio de Pajarito. Por otro lado, instalar un transformador de 1000 kVA deja pérdidas netas de 1.371 MWh/año. (6.844 - 8.215 = - 1.371 MWh/año)

Tabla No.8
RESUMEN CON LOS RESULTADOS MAS IMPORTANTES.

Nombre de la SE	kVA máx. de carga	kW máx. de carga	Kc (%)	Tiempo de utilización de la carga máxima (h/año)	Tiempo equivalente de pérdidas (h/año)
Yara pueblo	2042,55	1920,00	127,7	4760,5	3239,1
Veguita Sur	1874,2	1818,00	117,1	3853,0	2342,2
La Sal	1597,96	1566,00	79,9	4104,8	2577,8
Sofía	360,4	324,36	22,5	3538,5	2062,1
Fábrica de Conservas	1025,5	922,95	64,1	4617,6	3089,1

De manera que, al aumentar capacidad en los transformadores de potencia de las subestaciones eléctricas de Yara, Fábrica de Conservas, Veguita Sur y readecuar capacidad en la de Sofía, se obtiene un ahorro adicional de 118.032 MWh/año, que sumado a lo indicado anteriormente en la página 5 que se ahorra con la conversión de voltaje, ofrece un total de 607.842 MWh/año.

ANALISIS TECNICO ECONOMICO Y EFECTO MEDIO AMBIENTAL DE LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Para poder determinar los indicadores económicos relacionados anteriormente, se empleó una hoja de cálculo confeccionada en MS EXCEL, empleada en la UNE, para realizar estos estudios.

Los indicadores económicos de la inversión, se comportan de la siguiente forma:

1. El Valor Actual Neto (VAN) es de 122 172.30 CUC (Pesos Cubanos Convertibles), lo cual indica que se tendrán beneficios equivalentes a este valor, para una tasa de descuento del 10 %, durante un período de 8 años.
2. El Valor de la Tasa Interna de Retorno (TIR) es de un 18 %, indicando este, que es el mayor valor de tasa de interés, para el cual una inversión puede ser como mínimo costeable.
3. La relación Beneficio-Costo es de 1.39, indicando este las veces que se recupera el capital invertido.

TABLA 9

Cálculo del VAN de costos.

U.M.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
COSTO DE LA INVERSIÓN (M.P.)	347,10										
4 Ahorro Valor Recuperado (M.P.)	0,000	0,000									
Ahorro Anual en Pérdidas de Energía ΔE^* (MWh / Año)		530,168	535,470	540,824	546,233	551,695	557,212	562,784	568,412	574,096	579,837
1 Ahorro Anual por Combustible (M.P.)		24,510	24,755	25,002	25,252	25,505	25,760	26,018	26,278	26,541	26,806
Ahorro Anual en Pérdidas de Potencia ΔP^* (MW)		0,147960	0,149440	0,150934	0,152443	0,153968	0,155507	0,1571	0,1586	0,1602	0,1618
Ahorro Anual Equivalente Capacidad Liberada en Plantas (M.P.)		23,079	23,309	23,542	23,778	24,016	24,256	24,498	24,743	24,991	25,241
2 Ahorro Capacidad Liberada en Plantas (Anualidades Uniformes) $r = 5 \%8$ (M.P.)		29,198	29,198	29,198	29,198	29,198	29,198	29,198	29,198	29,198	29,198
Ahorro Anual Equivalente Capacidad Liberada en Redes (M.P.)		18,747	18,934	19,123	19,315	19,508	19,703	19,900	20,099	20,300	20,503
3 Ahorro Capacidad Liberada en Redes (Anualidades Uniformes) $r = 5 \%$ (M.P.)		23,717	23,717	23,717	23,717	23,717	23,717	23,717	23,717	23,717	23,717
AHORRO TOTAL (M.P.)	0,000	77,425	77,670	77,917	78,167	78,420	78,675	78,932	79,193	79,455	79,721
DIFERENCIAS DE AHORROS MENOS COSTO (AHORRO - COSTO) (M.P.)	-347,100	77,425	77,670	77,917	78,167	78,420	78,675	78,932	79,193	79,455	79,721

Régimen de operación de subestaciones eléctricas y circuitos de distribución primaria

AHORROS - COSTO

ACTUALIZADOS (M.P.)

ACUMULADOS -315,545 -251,558 -193,204 -151,842 -116,423 -86,093 -60,120 -37,878 -18,829 -2,516 11,455

TASA DE DESCUENTO 0,10

VALOR ACUMULADO NETO (VAN) (M.P.)

122,172

TASA INTERNA DE RETORNO (TIR) (%)

18%

RELACIÓN BENEFICIO / COSTO P.U.

1,39

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

IMPACTO ECONOMICO Y MEDIOAMBIENTAL DE LA PROPUESTA PRESENTADA.

Se aplicara la siguiente metodología (Peláez 2004) para el cálculo de indicadores significativos que concierne al impacto medioambiental.

$$C_{\Delta E} = \Delta E_{Ahorro} * C_e = 607.842 MWh / año * 90 CUC / MWh = 54 705.78 CUC / año$$

$C_e = 90 CUC/MWh$. Costo específico de pérdidas de energía eléctrica en la distribución, (UNE 2009).

Se calcula crudo cubano que representa el ahorro de energía calculado:

$$Ahorro_Comb. = C_{comb.esp.} * \Delta E_{Ahorro} = 0.34 Ton / MWh * 607.842 MWh / año = 206.666 Ton / año.$$

$C_{comb.esp.} = 0.34 Ton. /MWh$, (MINBAS. 2003, MINBAS. 2005). Consumo específico promedio de combustible en las unidades generadoras de electricidad cubanas:

Ahorro por concepto de crudo cubano dejado de quemar al ahorrar energía en las redes:

$$Ahorro_costo = Ahorro_Comb. * Costo_crudo$$

Costo crudo = 130,00 CUC/ton, (Martín Rodríguez 1986, Puente Antúnez 2000). Es el costo de la tonelada de petróleo cubano.

$$Ahorro_costo = 206.666 Ton / año * 130 CUC / ton = 26 866.6164 CUC / año.$$

La masa de gases que se dejan de emitir a la atmósfera por las chimeneas de las plantas generadoras cubanas.

$$M_{Gases} = M_{específica} * Ahorro_Comb.$$

$M_{específica}$: masa específica promedio de gases contaminantes expulsados a la atmósfera por las chimeneas de las plantas generadoras cubanas al procesar crudo cubano.

$$M_{Espec.Gases} = (1700 * 10^{-6} * 3600) * 206.666 Ton / año = 1 2 647.9592 Ton / año$$

Volumen de gases que se emiten a la atmósfera por la quema de este combustible fósil.

$$V = \frac{M_{Gases}}{Densida_media} = \frac{12 647.9592 Ton / año}{2.452 \cdot 10^{-3} Ton / m^3} = 515 822.153 m^3 / año = 58.883 m^3 / hora$$

Densidad _ media = 2,452 Kg/m³. Es la densidad media de los gases (Peláez 2004).

Es decir, al materializar la propuesta explicada en este trabajo se dejan de emitir hacia la atmosfera 515 822.153 m³/año de gases contaminantes al dejar de quemar 206.666 ton/año de combustible fósil para generar en termoeléctricas los 607.842 MWh/año de energía eléctrica para suplir solo las pérdidas de energía indicadas, que agravarán el fenómeno del cambio climático.

CONCLUSIONES

1. En general, esta investigación arrojó que de ejecutarse todas las propuestas planteadas en la misma, se recuperan 184.574 kW de potencia activa de pérdidas en la hora pico y se ahorra un estimado de 607.842 MWh/año de energía eléctrica, cuyo costo de generación asciende a 54 705.78 CUC al año.
2. Que se pueden ahorrar 206.666 t/año de combustible fósil al dejar de generar estos MWh de pérdidas y por tanto ahorrar 26 866.6164 CUC por este concepto.
3. Finalmente se determinó el volumen de gases contaminantes que se dejan de emitir a la atmósfera por disminución de pérdidas de energía eléctrica, dando como resultado que se dejan de emitir 52,97 m³/h de estos gases.

RECOMENDACIONES

1. Definir fecha por parte de la Empresa Eléctrica para acometer lo más pronto posible la ejecución de la conversión de voltaje de 4.16 kV a 13.2 kV en los circuitos de distribución primaria Yara, Fábrica de Conservas y Sofía debido a que disminuyen considerablemente las pérdidas de potencia activa y energía eléctrica.
2. Mediante los medios de difusión masiva, preferiblemente la televisión, informar a la población de manera asequible en que consiste las pérdidas de energía eléctrica, la conversión de voltaje de redes eléctricas, etc.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Casas, L. (1982). "Sistemas Electroenergéticos, Tomo I y II, Universidad Central de las Villas."
2. Feodorov, A. A. and E. Rodríguez López (1980). Suministro eléctrico a empresas industriales. Cuba, Pueblo y Educación.
3. Gönen, T. (1986). Electric Power Distribution System Engineering, McGraw-Hill Inc.
4. Martín Rodríguez, I. R. (1986). Determinación de las longitudes económicas y demanda máxima de los alimentadores primarios de distribución.
5. MINBAS. (2005). Unión Eléctrica Granma. División Técnica.
6. MINBAS., U. (2003). Manual de Redes de Distribución. Elementos para el diseño y construcción de Líneas Aéreas de Distribución. Dirección de Redes.
7. Pansini, A. J. (2007). Electrical Distribution Engineering. USA, The Fairmont Press, Inc.

8. Peláez, G. A., et al (2004) Reducción de la emisión de gases contaminantes al medio ambiente en la termoeléctrica “Renté” mediante mejoras en redes secundarias de la ciudad de Santiago de Cuba.
9. Puente Antúnez, I. R. (2000). Procedimientos para la realización de los Estudios Zonales de Desarrollo de las Redes Eléctricas.
10. Ramírez Castaño, S. (2000). Redes de Distribución de Energía.
11. Stevenson, W. D. (1984). Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia, Pueblo y Educación.