

TÍTULO: Eficiencia Energética en la Interconexión de las empresas KTP y 26 de Julio.

TITLE: Energy Efficiency in the Interconnection of the companies KTP and July 26.

AUTOR:

Ing. Gustavo Echeverri Angulo.

PAÍS: Cuba

RESUMEN:

Se plantea la interconexión eléctrica a 6 kV entre las empresas "60. Aniversario de la Revolución de Octubre" (KTP) y "Héroes de 26 de julio "; liberando todos los equipos y accesorios en la parte de 33 kV de la Subestación Eléctrica 33/6 kV de la empresa KTP. También es posible eliminar las pérdidas causadas por el bajo factor de utilización de los dos transformadores de 6,3 MVA (33/6kV), la interconexión está aplicada desde el día 24 de abril de 2008 y se puede obtener un ahorro anual de energía al sistema electro energético nacional de 120 MW.h.

PALABRAS CLAVES: INTERCONEXIÓN, SUBESTACIÓN ELÉCTRICA, FACTOR DE UTILIZACIÓN, TRANSFORMADORES, AHORRO DE ENERGÍA.

ABSTRACT:

This piece of work traces the electrical interconnection at 6 kV between the companies "60 Aniversario de la Revolución de Octubre" (KTP) and "Héroes del 26 de julio"; releasing all the hardware and attachments in the 33 kV part of the Electrical Substation "33/6 kV" of KTP. It is also possible to eliminate the losses caused by the low load factor of the two 6,3 MVA (33/6kV) transformers. The interconnection is being applied since April 24, 2008; rendering an annual energy saving of 120 MW/h to the national electrical power system.

KEY WORDS: INTERCONNECTION, ELECTRICAL SUBSTATION, LOAD FACTOR, TRANSFORMERS, ENERGY SAVING.

INTRODUCCIÓN

La Empresa 60. Aniversario de la Revolución de Octubre (KTP), tiene como objeto social la fabricación y los mantenimientos capitales de máquinas cosechadoras cañeras; y la realización de otros trabajos para la industria metal mecánica. La electricidad representa más del 90% del total del consumo de todos los portadores energéticos en nuestra empresa; necesaria a los equipos e instalaciones tecnológicas requeridas para realizar la actividad productiva fundamental; con un Coeficiente de Electrificación de los accionamientos del 100%.

La empresa "KTP" se proyectó con una capacidad instalada de 12 600 kVA; pero su demanda máxima es menor de 1 000 kVA; y con un solo transformador en servicio de 6 300 kVA el Factor de Demanda es de 0,15 y el Factor de Utilización de 0,08; y en la empresa "Héroes del 26 de julio" con una capacidad instalada muy superior, de 2 x 16 000 kVA; la demanda máxima es en la actualidad también menor de 1 000 kVA; ocasionando esta situación enormes pérdidas energéticas al sistema eléctrico de ambas empresas.

Nuestro sistema de suministro eléctrico industrial se encuentra sobre dimensionado debido a que fue diseñado para una carga de trabajo muy superior a la requerida en la actualidad. Por lo tanto las Pérdidas Energéticas del Sistema Eléctrico son enormes; y entre las más relevantes se encuentran las pérdidas de transformación en los transformadores de alimentación principal; que se proyectaron con una potencia de 6 300 kVA; y generan unas Pérdidas de Transformación de 80 MW.h al año en las actuales condiciones de trabajo.

Entre las principales dificultades encontradas en todas las Auditorias de Eficiencia Energética realizadas por nuestros Organismos rectores de esa importante actividad enmarcada en el Programa Priorizado de la Revolución Energética en nuestro país; y a todos los niveles: municipal, provincial y nacional; incluyendo a nuestro Ministerio SIME; se encuentra, "el alto nivel de sobredimensionado" existente en un sin número de bancos de transformadores de alimentación de las empresas industriales.

MATERIALES Y METODOS.

La capacidad productiva de la Fábrica de Combinadas; diseñada en el año 1973 por especialistas de la antigua Unión Soviética; fue determinada en base al plan prospectivo de desarrollo de la industria azucarera en conjunto con la Dirección General de Mecanización de la Caña en Cuba. La capacidad de producción se argumentó a través de los siguientes requerimientos:

- La capacidad real de los centrales azucareros de 50 millones de arrobas diarias aproximadamente.
- En el año 1980 se cosecharía mecánicamente el 80% de la caña de azúcar.
- La vida técnico-económica de la Combinada, se pronosticó para 5 años.
- La productividad diaria por combinada en 1980 sería aumentada hasta 16 000 arrobas.
- El parque necesario de las Combinadas para el año 1980 se estimó en 2 500 máquinas.

En base a todos los datos aportados por la parte cubana; se justificó y determinó la Capacidad de producción de la Fábrica de Combinadas KTP-1 en la cantidad de 600 máquinas al año. Los Indicadores técnicos - económicos del Sistema Electro Energético de la fábrica relacionados con la Capacidad y Cargas eléctricas de diseño; se muestran en la tabla No.1.

No.	Indicador técnico - económico	Unidad de medida	Cantidad
1	Consumidores eléctricos instalados <ul style="list-style-type: none"> • De fuerza a la tensión de 440 Volts • De fuerza a la tensión de 6 000 Volts • De alumbrado eléctrico 	kW kW kW kW	11 915 9 905 1 260 750
2	Transformadores de fuerza de 6 000 / 440 Volts	kVA	8 660
3	Banco de Condensadores	kVAr	2 162
4	Carga máxima esperada en las barras de la fuente sin tomar en consideración la compensación de reactivo.	kVA	8 750
5	Carga máxima esperada en las barras de la fuente tomando en consideración la compensación de reactivo.	kVA	7 800
6	Consumo anual de la energía eléctrica	MW.h	23 390
7	Factor de Demanda	-	0,63
8	Factor promedio de carga de los transformadores de fuerza	-	0,75
9	Factor de Potencia natural promedio en las barras de la fuente de alimentación; sin tomar en consideración la compensación de reactivo.	-	0,85
10	Factor de Potencia natural promedio en las barras de la fuente de alimentación; tomando en consideración la compensación de reactivo.	-	0,95
11	Cantidad de centros de distribución de 6 kV	unidad	2
12	Cantidad de Subestaciones de Transformadores de 6000/440 V	unidad	8

TABLA 1

Y de acuerdo con estos indicadores se justificó la instalación para la alimentación eléctrica del sistema de suministro eléctrico de una Subestación Reductora Principal (SRP) de 34,5/6,3 kV con una Capacidad de 12 600 kVA; compuesta por dos transformadores de 6 300 kVA. Como Sistema de Emergencia se instala un Banco de Baterías de Acumuladores de 288 A-h de 54 vasos tipo CK-8 de descarga profunda; necesaria para energizar el alumbrado de emergencia de la subestación y suministrar potencia para la conexión de los interruptores de 33 kV y de 6 kV; así como a las protecciones eléctricas. Y el diseño del sistema electro energético había sido sobredimensionado ya que el Factor de Demanda utilizado fue de 0,63, y este valor es el triple del valor de 0,21 recomendado por las normas técnicas para las fábricas de maquinaria agrícolas.

La SRP es del tipo de **simple barra seccionalizada**; con un interruptor de enlace de barras; con la finalidad de garantizar la fiabilidad del sistema de suministro eléctrico a los consumidores de segunda categoría instalados en la fábrica. Se proyectaron dos transformadores de 6 300 kVA para trabajar ambos por separado llevando cada uno el 50% de la carga total; con el interruptor de enlace (IE) normalmente abierto. Y en caso de producirse una falla del suministro en uno de los transformadores o de la sección correspondiente; se cierra automáticamente el IE; siendo necesario desconectar la carga parcial que no puede transferir el otro transformador o sección solos.

Sin embargo; en la práctica nunca fue necesario tener funcionando los dos transformadores en carga; porque uno solo puede ampliamente con toda la carga. Entonces surgió la necesidad de emplear la variante más económica de mantener trabajando un transformador y el IE siempre cerrado; teniendo el otro transformador como reserva fría, desconectado por alta y por baja sin el

consumo de las pérdidas en vacío. La conexión de los transformadores se alterna cada 15 días para mantener un buen nivel de aislamiento.

La Demanda Máxima nunca sobrepasó el 35% aún en la época de mayores consumos de electricidad debido a que una gran cantidad de equipos e instalaciones energéticas y tecnológicas no se pusieron en marcha; y otros que si lo hicieron no trabajaron nunca. Entre los más relevante tenemos el sistema de suministro de aire comprimido con tres Compresores de 660 kW instalados por proyecto; para trabajar dos y el otro de reserva estática; pero en las condiciones reales sólo se requirió uno funcionando y los otros dos como reservas; e incluso uno de 660 kW sólo fue necesario trabajarlo al 75% con la carga del sector de forja y para el resto de los consumidores funcionaba al 25% o al 50% como máximo. Y en las condiciones reales de explotación de la fábrica en los años de mayor consumo y carga instalada; la potencia activa de cálculo durante el turno más cargado fue de 2 000 kW; y la potencia activa instalada de 10 000 kW; por lo que el Factor de Demanda real obtenido como máximo de 0,20 era incluso inferior al de 0,21 normado.

Una vez puesta en marcha la fábrica en el año 1977 comenzó la producción de máquinas cosechadoras en niveles reducidos; hasta alcanzar en el año 1981 la producción de 600 Combinadas; manteniendo esta estabilidad productiva hasta el año 1990 que comenzó la depresión de los planes de producción debido al Periodo Especial. La recuperación productiva se reinició en el año 1995 con un plan diversificado y adaptado a las nuevas condiciones. A partir del año 2005 comienzan los trabajos productivos destinados a los Programas Priorizados de la Revolución, con la Batalla de Ideas y la Tarea Triunfo; y en el 2006 se inicia la Tarea de la Revolución Energética.

En la empresa Héroes del 26 de Julio; la situación es análoga a la KTP, al proyectarse una demanda máxima también muy superior a la real con coeficientes de demanda similares a los utilizados en el proyecto eléctrico de KTP.

Y de acuerdo con todos los datos expuestos en el presente trabajo; pretendemos demostrar que los proyectos de los sistemas electro energéticos de las empresa KTP y 26 de Julio estaban sobredimensionados desde los primeros momentos; utilizándose coeficientes muy superiores a los técnicamente recomendados; por lo que en resumen podemos decir categóricamente que dichos proyectos fueron realizados sin tener en cuenta la importancia de la eficiencia energética. No obstante los proyectos si estaban muy bien concebidos desde el punto de vista de la confiabilidad y seguridad del suministro eléctrico; pero no se tuvo una visión de futuro y eficiencia en los diseños por la parte proyectista soviética.

Los datos históricos que demuestran lo expuesto se dan a continuación:

TABLA 2

EQUIPOS TECNOLÓGICOS INSTALADOS (U)		%	CARGA ELÉCTRICA TOTAL INSTALADA (kW)		%	DEMANDA ELÉCTRICA MÁXIMA (kWd)		%
PROYECTO	ACTUAL		PROYECTO	ACTUAL		PROYECTO	ACTUAL	
504	353	70	11 915	6 800	57	7 800	980	12,5

COMPARACIÓN DE LOS FACTORES DE DEMANDA Y DE POTENCIA

FD PROYECTO	FD ACTUAL	FP PROYECTO	FP ACTUAL
0,63	0,15	0,95	0,98

TABLA 3

Carga Total Conectada (kW)	Carga de Fuerza 3F. 440V (kW)	Carga de Alumbrado Total (kW)
6 593	5 972	621

TABLA 4 La carga conectada en la actualidad es la siguiente:

Observaciones:

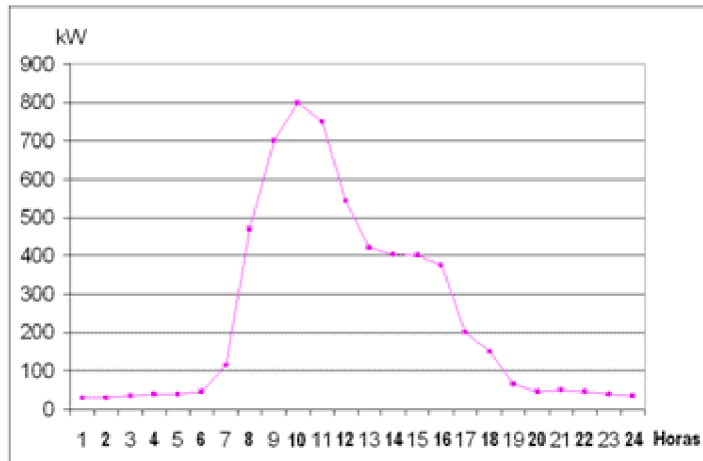
- Hay sólo 6 Subestaciones de Transformadores de 6 000 / 440 Volts trabajando; todas sobredimensionadas.
- No funciona ningún centro de distribución de los consumidores de 6 kV porque se desactivaron (3 Motores de 660 kW de los compresores de aire).
- El Factor de Demanda es de 0,15.

Los Datos Estadísticos utilizados como herramienta para explicar nuestro trabajo; y que son necesarios para aplicar posteriormente la metodología de cálculo; son los siguientes:

Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Consumo (MW.h)	8 573	5 449	4 513	4 022	3 294	4 734	6 687	5 549	3 882
Demanda Max (kW.h)	2 268	2 142	2 142	2 016	1 890	2 016	2 142	1 890	1 890
Factor de Demanda	0,19	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,17
Factor de Utilización	0,18	0,17	0,17	0,16	0,15	0,16	0,17	0,15	0,15
Pérdidas (MW.h)	214,3	153,5	135,4	131,0	130,5	160,2	161,4	146,0	165,0

Año	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Consumo (MW.h)	3 811	4 693	4 623	2 584	2 099	1 661	1 587	1 731	1 718
Demanda Max (kW.h)	2 016	2 142	1 890	1 638	1 399	1 197	1 121	970	1 000
Factor de Demanda	0,16	0,18	0,18	0,17	0,17	0,16	0,16	0,15	0,15
Factor de Utilización	0,16	0,17	0,15	0,13	0,11	0,10	0,09	0,08	0,08
Pérdidas (MW.h)	161,1	161,2	161,6	146,2	114,2	83,3	79,8	73,1	66,5

TABLA 5
GRÁFICO DE LA DEMANDA TÍPICA ACTUAL EN LA EMPRESA KTP



RESULTADOS DEL TRABAJO

El esquema monolineal eléctrico antes de la interconexión era el siguiente:

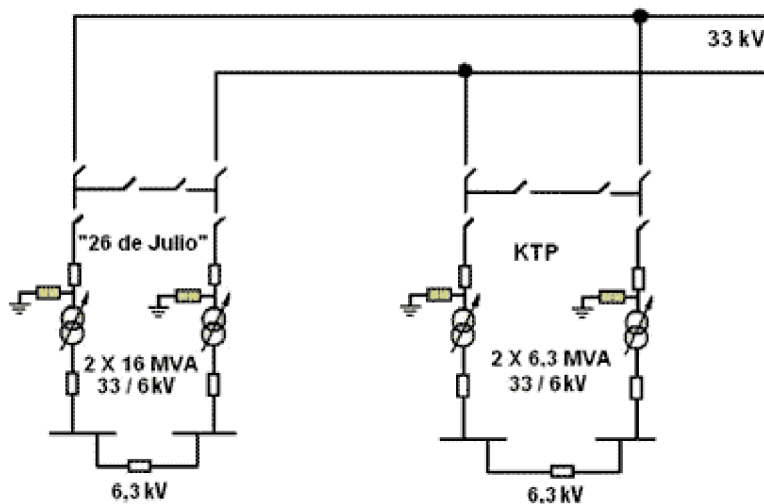


FIGURA 2

Y después de analizar todos los datos planteados anteriormente; comprobando el alto nivel de sobredimensionado existente en los sistemas eléctricos de las empresas KTP y 26 de Julio; determinamos la necesidad de realizar la interconexión entre los sistemas eléctricos de 6 kV de estas dos empresas; ya que es factible realizarla entre dos sistemas de suministro eléctrico de empresas industriales que se encuentran ubicadas en áreas cercanas; dejando disponible capacidades y equipos instalados; que estaban sobre dimensionados; pudiéndolas así utilizar más eficientemente; y sin tener que realizar otras nuevas y costosas inversiones; logrando ahorros considerables de energía eléctrica al sistema electro energético nacional. En los próximos años no se prevé un incremento del consumo eléctrico; ya que la estrategia inversionista está encaminada a la adquisición de equipos nuevos más eficientes y que sustituirán a los obsoletos. Además de que las acciones y medidas del ahorro de energía cada día son mayores.

Para realizar la interconexión se diseña y ejecuta una línea aérea trifásica doble a la tensión de 6,3 kV; desde la salida de la subestación de 26 de Julio hasta la entrada de la subestación de KTP a través de cable tipo ACSR (Aluminio con alma de acero) de diámetro 150 mm² y una longitud de 786 metros. Las pérdidas mensuales en la línea se calculan con la corriente media de 20 Amperes; siendo de sólo 294 kW.h; y estas pérdidas son insignificantes comparadas con las pérdidas de transformación promedio de 6 500 kW.h mensuales que se producían anteriormente. También es necesario recalibrar las protecciones eléctricas de los interruptores alimentadores; y calcular las corrientes de corto circuito para realizar la coordinación de dichas protecciones.

Con la racionalización de la Subestación Eléctrica Principal de nuestra Empresa y para lograr un ahorro considerable de electricidad; se retiran del servicio los equipos que a continuación se relacionan; los cuales presentan prácticamente muy poco desgaste o deterioro, ya que su factor de utilización durante sus años de explotación y servicio ha sido muy bajo.

No.	Designación	Precio USD	Cantidad	Costo USD
1	Interruptor en aceite de 35 kV y 1 000 Amperes, 60 Hz. Tipo MKII 35 – 1 000 – 25 T. Con 12 transformadores de corriente incorporados, tipo TB – 35/25T de 300/5; 0,5P. De mando electromagnético tipo шII Э - 31 T con las bobinas de conexión y desconexión de - 110 Volts. Protegido contra la humedad (Intemperie). Peso Neto = 2.830.kg	12 000	2	24 000
2	Descargador Valvular (Pararrayos valvular) de 35 kV; 60Hz. Tipo PBC – 35T, en conjunto con registrador de funcionamiento Tipo PBP –1T; tropicalizado, protegido contra la Intemperie. Peso Neto = 73.kg	150	6	900
3	Transformador trifásico de doble devanado. Tipo TMH 6 300/35-T. Capacidad de 6 300 kVA, tensión 34,5/6,3 kV. Frecuencia 60Hz. Con Cambia-taps bajo carga Tipo PIH ± 10% ± 6 graduaciones en el lado de alto voltaje (Selsyn de control y fuerza incorporado). Esquema de conexión de los devanados Y / Δ -11. Tensión de Corto-circuito de 7,5%. Enfriamiento natural en aceite, Tropicalizado. Protegido contra la humedad (Intemperie). Tipo y tensión del motor eléctrico del Selsyn (Fuerza): PIH – 220V; 60 Hz. Peso Neto = 19 600 kg	30 000	2	60 000
COSTO TOTAL				84 900

TABLA 6

Además; la capacidad del Banco de Baterías de Acumuladores puede ser disminuida desde 288 A-h hasta 188 A-h; o sea más de 100 A-h. Los 288 A-h sólo eran necesarios para la operación de los interruptores de 35 kV con una corriente nominal mayor de 200 Amperes; sin embargo los interruptores de 6 kV operan a una corriente nominal no mayor de 120 Amperes.

El Ahorro mensual a obtener (ΔE) se puede determinar mediante la siguiente fórmula general:

$$\Delta_E = [\text{Pérdidas } 26/7 + \text{Pérdidas } KTP] - [\text{Pérdidas} - (26/7 + KTP) \text{ Interconectadas}]$$

$$\Delta_E = [9881,2 \text{ kW.h} + 6540 \text{ kW.h}] - [9931,2 \text{ kW.h}]$$

$$\Delta_E = 6490 \text{ kW.h}$$

Al año son 78 MW.h; pero también se logran ahorros por concepto de la disminución de los costes de mantenimiento.

Y podemos realizar la comparación del coste del mantenimiento del sistema antes y después de realizada la interconexión de la siguiente forma: Considerando primeramente el costo anual del mantenimiento de la Subestación Eléctrica de 35 / 6 kV; y seguidamente el costo de las reparaciones y el mantenimiento anual de las dos líneas de 6 kV. Una Subestación Eléctrica de dos transformadores y con un nivel de complejidad correspondiente a la existente en KTP gasta unos 7,5 miles de pesos por año como promedio; y una línea tal como la diseñada para la interconexión de doble circuito a 35 kV (para realizar una comparación de acuerdo con los datos existentes); tiene un costo equivalente de 4,0 miles de pesos. Por lo tanto se obtiene un ahorro anual de 3,5 miles de pesos por concepto de las reparaciones y el mantenimiento al sistema interconectado. Aunque esos datos son del año 1980; nos da una idea real que se ahorra un 46,7% del costo requerido antes de la interconexión; y nos demuestra que es más económico mantener y reparar una línea de alimentación que una subestación; con dimensiones y niveles de complejidad similares. Estos datos comparados con los precios actuales; representan unos 60 MWh de ahorro anuales; que sumados a los anteriores 78 MWh calculados hacen un ahorro neto de **138 MW.h** anual. Y después de la Interconexión realizada; el esquema monolineal se modifica según se muestra a continuación:

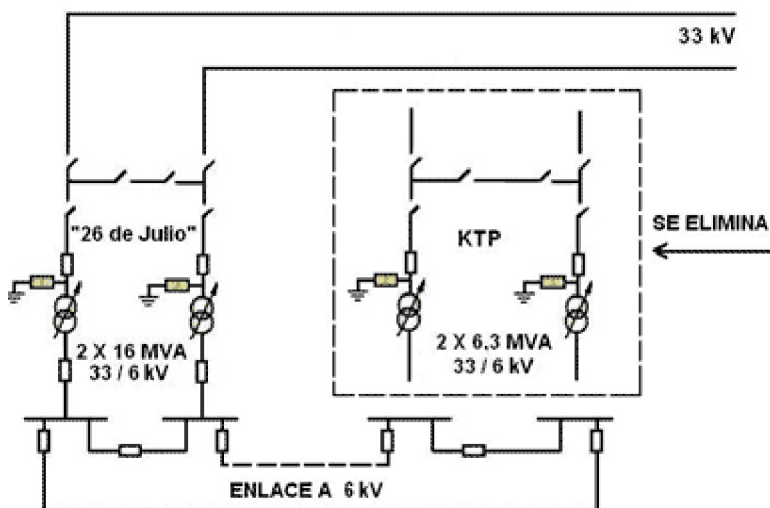


FIGURA 3

CONCLUSIONES

La correcta solución, fundamentada técnica y económicamente, del número y potencia de los transformadores para las subestaciones principales y de talleres de las empresas industriales reviste una vital importancia para la construcción y diseño del esquema de suministro de tales instalaciones.

2. Los transformadores de las empresas KTP y 26 de Julio se sobredimensionaron desde el mismo proyecto técnico; ejecutado por los especialistas de la antigua Unión Soviética; y se emplearon coeficientes de cálculos muy elevados; tales como el Factor de Demanda que se triplicó su valor recomendado por las normas.

3. Con el presente trabajo se pueden obtener ahorros considerables de energía eléctrica en las empresas interconectadas; ascendente a 138 MW.h anuales; y desde el punto de vista técnico las ventajas son:

a) Reducción de las pérdidas eléctricas de transformación:

- Por la eliminación de los dos transformadores de 6 300 kVA (33/6KV); del sistema de suministro eléctrico de la empresa KTP.
- Por la mejoría del factor de utilización de la potencia activa de los dos transformadores de 16 000 kVA (33/6KV); del sistema de suministro eléctrico de la empresa 26 de Julio.

b) Mejor operatividad del sistema centralizado: al eliminarse operaciones, se flexibiliza.

c) Es más fácil de controlar técnicamente, para los mantenimientos y averías.

d) Se hace más económico el servicio eléctrico centralizado.

RECOMENDACIONES

1. Como Recomendaciones podemos decir que este tipo de interconexión es posible y necesaria realizarla en un gran número de entidades en nuestro país que presentan características y situaciones similares a las de las empresas KTP y 26 de Julio.

BIBLIOGRAFÍA

1. Beeman, D. Industrial Power System Hand book. 2. ed. La Habana: Instituto Cubano del Libro, 1975. 971 p
2. Ivanov – Smoloenski, A.V. Máquinas Eléctricas: transformadores: t.1. Moscú: Editorial Mir, 1984. 472 p
3. Factores de demanda en plantas industriales y otros objetivos económicos. La Habana; EPROB-CECE, 1985. 6 h (Instrucción Técnica de Proyecto ITPE-7/85)
4. Feinberg, J. Power Station Electrician. Moscow: MIR Publishers, 1979. 520 p

5. Feodorov, A A, Suministro eléctrico de empresas industriales / A. A. Feodorov, Eduardo Rodríguez. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1982. 342 p
6. Kostenko, M. P. Máquinas Eléctricas: t. 1 / M. P. Kostenko, L. M Piotrovski. 2. ed. Moscú: Editorial Mir, 1979. 600 p
7. Llamo Laborí, Héctor. Transmisión de la Energía eléctrica mediante corriente alterna. La Habana; Facultad de Energética del ISPJAE, 1985. 306 h.
8. Suministro de electricidad y equipos eléctricos. Kiev; GIPROSELMASH, 1973. 42 h. (Proyecto Técnico de la Fábrica de Combinadas KTP-1 en la República de Cuba)
9. Stevenson, William D. Análisis de sistemas eléctricos de potencia. La Habana; Editorial Pueblo y Educación, 1982. 398 p.

DATOS DE LOS AUTORES

Nombre:

Ing. Gustavo Echeverri Angulo.

Centro de trabajo:

Empresa de Cosechadoras 60. Aniversario de la Revolución de Octubre (KTP). Carretera San Germán km 3 ½, Holguín 80100. Teléfono 46 1402