

# CRITERIOS SOBRE LA SELECCIÓN CIRCUITAL ÓPTIMA EN LA INDUSTRIA AZUCARERA. PARTE I. METODOLOGÍA.

## CRITERIONS ABOUT THE SELECTION OF THE OPTIMAL CIRCUITS IN THE SUGAR CANE MILLS. PART I. METHODOLOGY.

### Autores (Authors):

Dr. Juan José Sánchez Jiménez, ([cheosj@yahoo.com](mailto:cheosj@yahoo.com)), República de Panamá 173, CP 44570, Tlaquepaque, Jal., México, Tel. (33) 36399231; Dr. Alexis Martínez del Sol; Mtro. José Salvador Beltrán León; Dr. Mariano David Zerquera Izquierdo; Universidad de Guadalajara

### Resumen.

Entre los principales problemas en el diseño de circuitos eléctricos industriales figura la selección de su circuito de distribución donde los circuitos radiales y magistrales ocupan un lugar cimero. El trabajo se desarrolló en varios centrales azucareros de capacidades y configuraciones circuitales diferentes a los cuales se les diseño su circuito utilizando las configuraciones radial y magistral. El análisis técnico-económico realizado permitió arribar a interesantes conclusiones que pueden servir de guía en el diseño de las instalaciones eléctricas de plantas industriales. Varias ecuaciones empíricas, de gran utilidad práctica en el diseño, son presentadas en este trabajo las que por su contenido constituyen una herramienta de trabajo para todo el personal dedicado al diseño eléctrico industrial.

**Palabras claves:** configuración, radial, electroducto, ahorro.

### Abstract.

Among the main problems in the industrial electric circuit design figures the selection of the industrial electric distribution, where the radial and masterful circuits are the

principal place. The work was developed in several Cubans sugar mills of different capacities and circuitual configurations, to which it was designed its circuit using the radial and masterful configurations. The technician-economic analysis allowed arriving to interesting conclusions that can use as sample in the design of the electric facilities of industrial plants. Several empiric equations of helpfully to design the develop one by this investigation. The empiric equations constitute a work-tool for all personnel dedicated to the industrial electric design.

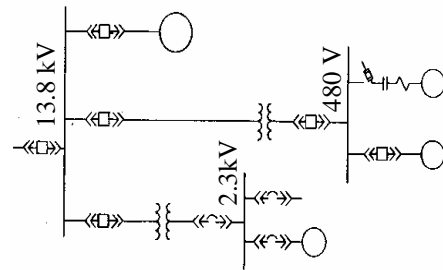
**Key words:** configurations, electric bus, radial, saving.

### Introducción.

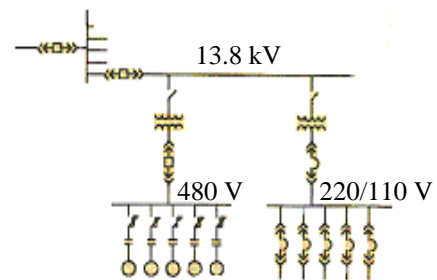
Entre los esquemas de alimentación eléctrica más utilizadas en sistemas industriales figuran el “*radial*” y el “*magistral*” (ver figuras 1 y 2). Se denominan *radiales* a los esquemas en que la energía eléctrica se trasmite desde la fuente de alimentación (*planta eléctrica, subestación o punto de distribución*) directamente hacia la subestación del taller, sin ramificaciones en el trayecto para la

alimentación de otros consumidores. De lo dicho se desprende que tales esquemas han de poseer una gran cantidad de equipos de interrupción y de líneas alimentadoras, a diferencia de los circuitos *magistrales* en los cuales desde una misma línea se alimentan 5 o 6 subestaciones con una potencia global de los consumidores no mayor de 5000-6000 kVA, caracterizándose por la *poca fiabilidad* de la alimentación en el caso de utilizar como líneas de alimentación conductores o cables, pero dan la posibilidad de disminuir el número de aparatos desconectivos y líneas de alimentación en comparación con los circuitos radiales. En aquellos casos en que resulta necesario *conservar las ventajas de los esquemas radiales* y garantizar una elevada fiabilidad de la alimentación se tiende al empleo de las *blindo barras* o a la utilización de *magistrales dobles*. En este último esquema, ante la avería de cualquiera de las alimentaciones magistrales, la alimentación se garantiza por el segundo magistral a través de la transferencia automática de los receptores a la sección de la barra o alimentador que permanece en operación. En la práctica de empresas industriales, raramente se encuentran esquemas construidos sobre la base del principio de magistral independiente, alimentando los grandes consumidores con esquemas *radiales* y los consumidores

medianos y pequeños se agrupan y su alimentación se proyecta como *magistral*.



**Fig. 1: Esquema eléctrico de un circuito radial.**



**Fig. 2: Esquema eléctrico de un circuito magistral.**

Tal solución permite crear un sistema de suministro eléctrico interno con los mejores índices técnico-económicos. El presente trabajo tiene como objetivo central dar algunos criterios que permiten decidir sobre los casos en que resulta conveniente la utilización de una u otra configuración.

### **Desarrollo.**

Para hacer esta comparación fue necesario evaluar una gran cantidad de circuitos de talleres pertenecientes a diferentes centrales azucareros de la industria cubana [2, 3] y mexicana y realizar el *análisis económico* tanto para la configuración radial como para la magistral.

Para ello se contó con la valiosa colaboración de destacados especialistas de la producción y los servicios con una gran experiencia y amplios conocimientos del

proceso en cada una de las fábricas analizadas los que contribuyeron a mantener los *requisitos técnicos exigidos por el proceso* en ambas variantes de diseño. Lo anterior permitió hacer una valoración lo más equitativa posible.

A modo de ejemplo puede citarse el *Central Azucarero 10 de Octubre* [2, 3] ubicado en Cuba el que posee un circuito radial puro con un sistema de control centralizado en las pizarras de distribución (*arrancadores, bloqueos, señalizaciones, contactores magnéticos, etc.*).

Para la comparación entre las configuraciones radial y magistral fueron seleccionados los siguientes centrales azucareros: [2, 3]

1. *Centrales Azucareros “Hermanos Amejeiras” y “10 de Octubre” en la provincia de Villa Clara.*
2. *Central Azucarero Uruguay, ubicado en el municipio de Jatibonico, provincia de Sancti Spiritus.*
3. *Central Azucarero Héctor Molina, ubicada en la provincia Ciudad Habana.*
4. *Central Azucarero José María Martínez, Bellavista y Ameca ubicados en el estado de Jalisco, México.*

Como se observa la muestra resulta bastante significativa; pues abarca ingenios cuyas capacidades de molienda son diferentes, al igual que la distribución de cargas, grado de concentración de la misma, etc. A modo de

ejemplificación se tomó una de ellas, el central azucarero “*10 de Octubre*” no obstante se tabularon los resultados de los restantes. Una vez seleccionadas las centrales azucareras, se procedió a realizar un *análisis técnico-económico* del circuito existente en los mismos. Se rediseñaron los diferentes ingenios para configuraciones *radiales y magistrales puras*, manteniendo los *índices técnicos similares* para las mismas y se procedió a su *evaluación económica*, para ello, se utilizó el Método de los *Gastos Anuales Referidos* [1] vigentes en el país. Se verificaron los resultados utilizando el Método del *Valor Actual Neto (VAN)*; si se hubieran aplicado los Métodos del *Valor Presente de los Gastos Netos (VPGN)*, o la *Tasa Interna de Retorno (TIR)* [1], se hubieran obtenido resultados similares. Resulta interesante destacar que para la determinación de las pérdidas de energía ocurridas durante la explotación de la instalación industrial se utilizó la ecuación siguiente [1]:

$$\Delta E = 3Kf^2 \text{Im}^2 \text{Re}Tc \quad (1)$$

donde:

*Kf*: Coeficiente de forma determinado a partir del gráfico de carga.

*Tc*: Número de *horas* de trabajo en el período de cálculo.

*Im*: Corriente media de la línea durante los días característicos, *Amperes*

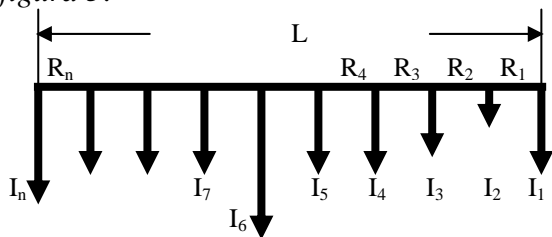
*Re*: Resistencia equivalente de la línea,  $\Omega$ .

$\Delta E$  : Pérdidas de energía del alimentador durante las horas de trabajo,  $kW-h$ .

$K_f$  : Coeficiente de forma determinado a partir del gráfico de carga.

La resistencia o reactancia equivalente ( $R_e$ ,  $X_e$ ) de la línea se define como aquella resistencia o reactancia de una línea imaginaria no ramificada, cuya corriente es igual a la corriente de la sección troncal y las pérdidas de energía eléctrica iguales a las pérdidas del circuito. Para el caso de una barra magistral como la mostrada en la

figura 3:



**Fig. 3: Esquema de un circuito magistral.**

Las ecuaciones para determinar  $R_e$  y  $X_e$ , sin considerar las ramificaciones vienen dadas por las ecuaciones siguientes [1]:

$$R_e = r_o l \left( \frac{1}{6} \right) \left( 1 + \frac{1}{n} \right) \left( 2 + \frac{1}{n} \right) \quad (2)$$

$$X_e = x_o l \left( \frac{1}{6} \right) \left( 1 + \frac{1}{n} \right) \left( 2 + \frac{1}{n} \right) \quad (3)$$

Donde

$n$ : número de receptores conectados a las barras,

$r_o$  y  $x_o$  : resistencia y reactancia por metro de longitud de la línea,  $\Omega$

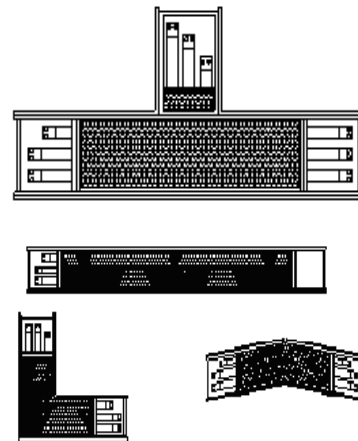
$l$  : longitud de la línea, metros

Esta ecuación empírica fue corroborada durante cálculos realizados en el Combinado de Papeles Blancos “Panchito

Gómez Toro”, para ello se calcularon las pérdidas por tramos tanto de potencia activa como reactiva y las pérdidas utilizando la  $R_e$  y la  $X_e$  obtenidas de las ecuaciones 2 y 3, arribando a resultados similares.

Con la utilización de estas ecuaciones de  $R_e$  y  $X_e$  se simplifican mucho los cálculos.

En la figura 4 se muestran diferentes elementos de barras magistrales. En ella se observa la fiabilidad de las mismas, así como, lo fácil que resulta el montaje con este tipo de canalización [4, 5].



**Fig. 4: Esquema de varias secciones de electroductos.**

### Conclusiones.

Del análisis de los catálogos de precios utilizados para realizar la evaluación económica de las variantes circuitales se puede concluir lo siguiente:

1. El precio del equipamiento eléctrico [1, 2, 3] en sistemas inferiores a 1000 V no depende del voltaje. Dicho en otras palabras: un mismo equipo con iguales características técnicas tiene igual precio a diferentes voltajes.

2. Los motores de 1800 rev/min, son los más baratos que se fabrican a la frecuencia de 60 Hz.
3. Los dispositivos de protección y gobierno mantienen igual precio dentro de un rango dado; pues dentro del mismo solo cambia la bobina de disparo o de control y se mantienen constantes las demás partes componentes del dispositivo.
4. Los precios varían de acuerdo con el fabricante para equipos con iguales características técnicas.

Del análisis técnico se desprenden las siguientes conclusiones:

1. El empleo de los *electroductos* eleva la fiabilidad de los circuitos magistrales, disminuyen las pérdidas y caídas de voltaje así como los gastos de montaje, mantenimiento y explotación.
2. La elección de uno u otro tipo de esquema eléctrico depende, fundamentalmente, del proceso de producción y del grado de concentración de las cargas existentes en la industria.
3. Las *ecuaciones 2 y 3* simplifican los cálculos en los circuitos magistrales

### **Recomendaciones.**

A pesar de que en Cuba se han desmantelado muchos centrales azucareros, la metodología y los resultados a los que se arriban en este trabajo son válidos para cualquier tipo de ingenio azucarero.

### **Bibliografía.**

1. Sánchez Juan J. y otros. Diseño de instalaciones eléctricas industriales. Tomo I. Editorial Amate. México. 2006.
2. Sánchez Juan J. y otros. Diseño de instalaciones eléctricas industriales. Tomo II. Editorial Amate. México. 2006.
3. Sánchez Juan J. y otros. Diseño de instalaciones eléctricas industriales. Tomo III. Editorial Amate. México. 2006.
4. Sánchez Juan J. y otros. Configuraciones Circuitales en la Industria Azucarera. Memorias Evento VIII Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados de la Caña de Azúcar. Diversificación'2004. 14 al 18 de Junio de 2004. Hotel Habana Libre Tryp. Cuba.
5. Sánchez Juan J. y otros. Recomendaciones sobre la utilización de Configuraciones Circuitales en Sistemas Eléctricos Industriales. XIII Reunión de Verano de Potencia, Aplicaciones Industriales y Exposición Industrial RVP-AI IEEE 2000. Acapulco. Gro.