

## **Análisis del material termo-resistente AC 25X1MΦ para la fabricación de camisas de válvulas para los servomotores de las centrales eléctricas en Cuba**

Bárbaro Yuniel Pedraza López, Universidad de Ciencias Pedagógicas Enrique José Varona, Facultad de Educación en Ciencias Técnicas, Departamento Industrial  
[barbaroypl@ucpejv.edu.cu](mailto:barbaroypl@ucpejv.edu.cu)

**Recibido junio 2017**

**Aprobado agosto 2017**

---

### **RESUMEN**

El siguiente trabajo se realiza en los laboratorios de la UEB "Emilio Ayala Molina" (Empresa de Mantenimiento a Centrales Eléctricas), en los laboratorios del ISPJAE (CUJAE) y en los laboratorios del CIME (Centro de Investigaciones Metalúrgicas) donde se realiza el ensayo a la tracción, análisis de la composición mediante un espectrómetro y la caracterización del 25X1MΦ para la fabricación de pistones de válvulas para los servomotores de las centrales eléctricas en Cuba. Con el fin de tomar decisiones en el proceso de reparación su posterior comparación con el acero 20X1MΦTP. Este trabajo cumplió su objetivo dado que el autor logró caracterizar el material 25X1MΦ. A partir de los resultados alcanzados se podrá buscar otro similar para su posterior sustitución en caso de la carencia del primero.

**Palabras claves:** ensayo, material, servomotores, camisas, válvulas.

### **ABSTRACT**

Is the following work carried out in the laboratories of the UEB "Emilio Ayala Molina" (Company of Maintenance to Central Electric), in the laboratories of the ISPJAE (CUJAE) and in the laboratories of the CIME (Center of Investigations Metalúrgicas) where he/she is carried out the rehearsal to the traction, analysis of the composition by means of a spectrometer and the characterization of the 25X1M? for the production of pistons of valves for the servomotores of the electric power stations in Cuba. With the purpose of making decisions in the repair process their later comparison with the

steel 20X1M  $\Phi$  TP. This work complete its objective since the author was able to characterize the material 25X1M?. starting from the reached results one will be able to look for other similar for his later substitution in the event of the lack of the first one.

**Key words:** I rehearse, material, servomotores, shirts, valves.

## INTRODUCCIÓN

Las labores de mantenimiento y reparaciones en las centrales eléctricas antes del triunfo de la Revolución se sustentaban en servicios foráneos, principalmente norteamericanos. Después del triunfo, en el año 1962, cuando se nacionalizaron las primeras industrias, el Estado cubano tomó el control sobre la industria eléctrica, por lo que se vio en la necesidad de desarrollar un intenso programa de capacitación técnica y reordenamiento de las funciones del organismo que se enfrentaría a las tareas asignadas para sostener el naciente sistema electro energético del país, debido a la suspensión de empresas norteamericanas especializadas y encargadas de dar mantenimiento a las centrales eléctricas, cuyas instalaciones atravesaban por una crítica etapa de desatención de las labores de mantenimiento debido a la falta de un organismo rector, de personal calificado y de una cultura tecnológica capaz de organizar y dirigir estas acciones. Por este motivo, surge la Empresa de Mantenimiento a Centrales Eléctricas.

Este proyecto se enmarca en la UEB “Emilio Ayala Molina”, Empresa Nacional de Mecánica entidad perteneciente a la EMCE del Ministerio de Energía y Minas (MINEM). Dicha empresa, ubicada en el municipio de Centro Habana es la encargada de ejecutar el mantenimiento, reparación, reconstrucción y modernización de los equipos principales (caldera, turbinas, motores, transformadores) de las Centrales Eléctricas del país, así como el aseguramiento de las piezas de repuesto necesarias. Una **central termoeléctrica** es una instalación empleada en la generación de energía eléctrica a partir de la energía liberada en forma de calor, normalmente mediante la combustión de combustibles fósiles como petróleo, gas natural o carbón. Este calor es empleado por un ciclo termodinámico convencional para mover un alternador y producir energía eléctrica, liberando dióxido de carbono a la atmósfera.

En las centrales termoeléctricas existen diferentes válvulas para posibilitar el flujo de vapor, agua o aire. El autor parte a raíz de la definición de estos dispositivos.

Existen muchos tipos diferentes de válvulas en el mundo, pero las válvulas manuales más típicamente utilizadas en sistemas de vapor son las de globo, bola, compuerta y mariposa.

Las válvulas se dividen en las siguientes categorías cuando son divididas por construcción y características:

- Si el elemento de cierre rota en la vía de circulación para detener el flujo, por ejemplo: válvula de bola, válvula de mariposa.
- Si el elemento de cierre actúa como un sello o tapón en la vía de circulación para detener el flujo, por ejemplo: válvula de globo.
- Si el elemento de cierre de la válvula es insertado en la vía de circulación para detener el flujo, por ejemplo: válvula de compuerta.
- Si la vía de circulación por sí misma es pinchada desde el exterior para detener el flujo, por ejemplo: válvula de diafragma.

Las válvulas de las termoeléctricas obviamente son de gran tamaño, las válvulas de condensado están compuestas por un cilindro y pistón, partiremos del concepto de cilindro o camisa.

### **Los cilindros (orificios o camisas).**

Es el recinto u orificio por donde se desplaza el pistón y, en su parte superior, forma parte de la cámara de combustión donde se comprime la mezcla de aire y nafta o solo el aire para el caso de los motores diésel.

La superficie interna del cilindro debe ser lo más lisa posible para lograr el mejor desplazamiento.

Los cilindros permiten el movimiento rectilíneo del pistón entre su punto muerto inferior hasta su punto muerto superior (PMI y PMS).

Se construye de materiales muy resistentes ya que deben soportar la fricción, las altas temperaturas y las explosiones constantes del combustible.

Se denominan **aceros y súper aleaciones termo resistentes**: a aquellos materiales aptos para sollicitaciones mecánicas en servicios a altas temperaturas (entre 260 a 1200°C) y que además poseen resistencia a la formación de cascarilla por oxidación a alta temperatura. Se utilizan en plantas químicas y petroquímicas, plantas generadoras de potencia, turbinas, etc. A fin de mantener la resistencia mecánica bajo

estas condiciones, deben poseer microestructuras que se mantengan estables a las altas temperaturas de operación.

Dado que la principal fuente de energía de nuestro país es obtenida a través de las centrales eléctricas, se priorizan estas entidades en cuanto a recursos, materias primas y equipo de trabajo. A causa de la crisis económica que afecta al país se quiere comprobar si un material 25X1MΦ es intercambiable por un 20X1MΦTP, en un pistón que funciona en una termoeléctrica del país.

### **Problemática:**

En la situación actual de la economía cubana, los costos ocasionados por la importación de materiales termo-resistentes son muy elevados. Esto obliga a buscar alternativas económicas más favorables a través de un producto que suplemente la escasez del pedido por el fabricante de la termoeléctrica.

### **Problema científico**

¿Qué materiales se pueden emplear para la sustitución del 25X1MΦ utilizado en la UEB “Emilio Ayala Molina” para la producción de las camisas para válvulas de los servomotores en las centrales termoeléctricas de nuestro país, con el fin de tomar decisiones en el proceso de producción?

### **Objetivo de la investigación:**

Caracterizar los materiales utilizados en la UEB “Emilio Ayala Molina” para la producción de los pistones de las válvulas de los servomotores en las centrales eléctricas de nuestro país, que permita la sustitución del material 25X1MΦ.

### **Resultados:**

Se logró caracterizar material 25X1MΦ utilizado en la fabricación de las camisas para válvulas de los servomotores que se usan en las centrales eléctricas de nuestro país por medio de ensayos mecánicos y metalográficos.

### **Breve descripción del informe del trabajo:**

El trabajo consta de un resumen en idioma español, una introducción en la que muestra todo el diseño teórico y metodológico de la investigación empleada; un primer capítulo en donde se brindan la sistematización de los antecedentes y referentes teóricos fundamentales y un segundo capítulo donde se realiza la caracterización del estado inicial del material 25X1MΦ y una descripción de la propuesta y las conclusiones.

## **Fundamentación Teórica de los materiales utilizados en la EMCE para la producción de los pistones de las válvulas de los servomotores en las centrales termoeléctricas de Cuba**

El Término **acero** que corresponde a un gran número de aleaciones que contienen hierro, como componente principal, y pequeñas cantidades de carbono, como principal elemento de aleación. Estas aleaciones pueden llamarse con mayor propiedad aceros al carbono, y representan más del 90% de la producción total de aceros en el mundo. También puede haber en los aceros pequeñas cantidades, generalmente del orden de unos puntos porcentuales, de otros elementos, como manganeso, silicio, cromo, molibdeno y níquel. Sin embargo, cuando aumenta el contenido de los aleantes agregados al hierro, éste adquiere propiedades especiales, y se emplean otras designaciones para la descripción de estas aleaciones. Por ejemplo, un mayor contenido de cromo, del orden de 12%, se agrega para producir el importante grupo de aleaciones conocidas como aceros inoxidables.

Se desconoce la fecha exacta en que se descubrió la técnica para obtener hierro a partir de la fusión de minerales, los primeros restos arqueológicos de utensilios de hierro datan del 3000 a. C. y fueron descubiertos en Egipto. Algunos de los primeros aceros provienen del este de África, cerca de 1400 a. C. Durante la dinastía Han de China se produjo acero al derretir hierro forjado con hierro fundido, en torno al siglo I a. C. También adoptaron los métodos de producción para la creación de acero wootz, un proceso surgido en India y en Sri Lanka desde aproximadamente el año 300 a. C. y exportado a China hacia el siglo V.

Entre los siglos IX y X se produjo en Merv el acero de crisol, en el cual el acero se obtenía calentando y enfriando el hierro y el carbón por distintas técnicas. Durante la dinastía Song del siglo XI en China, la producción de acero se realizaba empleando dos técnicas: la primera -método "berganESCO"- y la segunda, por el método Bessemer, la cual quita el carbón con forjas repetidas y somete la pieza a enfriamientos abruptos.

El hierro para uso industrial fue descubierto hacia el año 1500 a. C., en Medzamor y el monte Ararat, en Armenia. La tecnología del hierro se mantuvo mucho tiempo en secreto, difundiéndose extensamente hacia el año 1200 a. C.

En 1856, Henry Bessemer, desarrolló un método para producir acero en grandes cantidades, pero solo podía emplearse hierro que contuviese fósforo y azufre en pequeñas proporciones. Al año siguiente, Carl Wilhelm Siemens creó el procedimiento Martin-Siemens, en el que se producía acero a partir de la descarbonización de la fundición de hierro dulce y óxido de hierro como producto del calentamiento con aceite, gas de coque, o una mezcla de este último con gas de alto horno.

En 1948 se inventa el proceso del oxígeno básico L-D. Tras la segunda guerra mundial se iniciaron experimentos en varios países con oxígeno puro en lugar de aire para los procesos de refinado del acero. El éxito se logró en Austria en 1948, cuando una fábrica de acero situada cerca de la ciudad de Linz, Donawitz desarrolló el proceso del oxígeno básico o L-D.

En 1950 se inventa el proceso de colada continua que se usa cuando se requiere producir perfiles laminados de acero de sección constante y en grandes cantidades. El proceso consiste en colocar un molde con la forma que se requiere debajo de un crisol, el que con una válvula puede ir dosificando material fundido al molde. Por gravedad el material fundido pasa por el molde, el que está enfriado por un sistema de agua, al pasar el material fundido por el molde frío se convierte en pastoso y adquiere la forma del molde. Posteriormente el material es conformado con una serie de rodillos que al mismo tiempo lo arrastran hacia la parte exterior del sistema. Una vez conformado el material con la forma necesaria y con la longitud adecuada el material se corta y almacena.

Actualmente, el proceso de fabricación del acero, se completa mediante la llamada metalurgia secundaria. En esta etapa, se otorgan al acero líquido las propiedades químicas, temperatura, contenido de gases, nivel de inclusiones e impurezas deseados. La unidad más común de metalurgia secundaria es el horno cuchara. El acero, aquí producido, está listo para ser posteriormente colado, en forma convencional o en colada continua.

El uso intensivo que tiene y ha tenido el acero para la construcción de estructuras metálicas ha conocido grandes éxitos y rotundos fracasos que al menos han permitido el avance de la ciencia de materiales. Así, el 7 de noviembre de 1940 el mundo asistió al colapso del puente Tacoma Narrows al entrar en resonancia con el viento. Ya durante los primeros años de la Revolución industrial se produjeron roturas

prematuras de ejes de ferrocarril que llevaron a William Rankine a postular la fatiga de materiales y durante la Segunda Guerra Mundial se produjeron algunos hundimientos imprevistos de los cargueros estadounidenses Liberty al fragilizarse el acero por el mero descenso de la temperatura, problema inicialmente achacado a las soldaduras.

**Diagnóstico del material 25X1MΦ utilizado en la UEB “Emilio Ayala Molina” para la producción de las camisas de las válvulas de los servomotores en las centrales termoeléctricas de nuestro país.**

**Ensayo de tracción axial:**

Este ensayo siempre se hace en obra de forma aleatoria a los aceros que se reciben. El objetivo de este ensayo es obtener en cualquier acero su límite de elasticidad y su esfuerzo de rotura para así se conoce la calidad del material y compararlo con los parámetros que se establecen para los aceros de buena calidad, también se obtiene el porcentaje de alargamiento el cual permite conocer la ductilidad del acero.

**Equipos:** prensa, extensómetro, vernier o calibrador, cinta metálica de medición.

Procedimiento: La muestra a ensayar se lleva al laboratorio, se mide con el vernier y se calcula su área, luego se determina la longitud que va a tener, normalmente si es A donde A es el área una barra se trabaja con 50 cm y si es un perfil L = 10 del perfil. Teniendo lista la muestra se coloca agarrada en los extremos por la prensa para proceder a aplicarle la carga. Al aplicarle la carga se anota toda la información que se va obteniendo en una tabla como la que se presenta a /L□=□ (cm) continuación: N (kg) A (cm<sup>2</sup>) (k/cm<sup>2</sup>)

A medida que se aplica la carga el extensómetro indica la deformación que se va produciendo y con esta información se obtienen las características mecánicas de la muestra. Para tener el porcentaje de alargamiento se marca centímetro a centímetro toda la barra antes de iniciar el proceso de tracción, para poder luego medir cuánto fue el alargamiento antes de partirse.

**Medición de Resultados:**

Zona elástica: es la zona donde al descargar la viga, esta vuelva a su forma original.

Zona plástica: se refiere a la zona donde al ocurrir la deformación de la viga y dejar de cargarla no vuelve a su posición original.

Estricción: ocurre cuando la viga se estrecha y allí tendremos el esfuerzo máximo de rotura. % Alargamiento =  $[(L_f - L_i) / L_i] 100\%$   $L_i = 20$  cm. Para la construcción solo se hace control de calidad para las Cabillas y los Perfiles Estructurales

Los aleantes que se utilizan para mejorar la resistencia a la termo fluencia y a la oxidación a alta temperatura son fundamentalmente: Cr, Mo, Ni, W, Nb, V, Ti, Al y Si. El Cr, Al y Si forman óxidos refractarios densos y adherentes que resultan efectivos para bloquear la difusión de oxígeno y frenar el desarrollo del proceso de oxidación del material al formar  $Cr_2O_3$ ,  $Al_2O_3$  o  $SiO_2$ . El resto de los aleantes producen endurecimiento por solución sólida y por dispersión de finos carburos o precipitación de fases intermetálicas.

### La ley de Hooke

Se aplica en ensayos de tracción y con carácter general se enuncia así:

“Las deformaciones producidas en un elemento resistente son proporcionales a las fuerzas que lo producen”.

#### LEY DE HOOKE

$$\sigma_e = E \cdot e$$

$\sigma_e$  = Tensión en la Zona Elástica

$E$  = Modulo de Young

$e$  = Alargamiento o Deformación Unitaria

a) **Ensayos químicos:** Para conocer la composición química (cualitativa y cuantitativa)

así como su comportamiento ante agentes químicos.

**El efecto de los aleantes más importantes y sus rangos de composición se detallan a continuación:**

- Cromo (Cr): 5 a 25%, previene la oxidación y la corrosión a elevada temperatura, forma carburos y endurece por solución sólida.

- Molibdeno (Mo) y Tungsteno (W): 0 a 12%, forman carburos y endurecen por solución sólida.
- Aluminio (Al): 0 a 6%, brinda resistencia a la oxidación y endurece por precipitación.
- Titanio (Ti): 0 a 6%, forma carburos y endurece por precipitación.
- Niobio (Nb): 0 a 5%, forma carburos y endurece por solución sólida y por precipitación.
- Manganeso (Mn): 0 a 1.6%, estabiliza la austenita y endurece por solución sólida y por carburos.
- Silicio (Si): 0 a 2.5%, previene la oxidación y la corrosión por sulfuros y endurece por solución sólida.

La mayoría de estos aceros se ubican dentro de las siguientes categorías: aceros al Carbono, aceros al Carbono-Molibdeno (C-Mo), aceros al Carbono-Cromo-Molibdeno (C-Cr-Mo) y aceros inoxidables (ferríticos, martensíticos y austeníticos).

También se encuentran las superaleaciones base Ni, base Fe-Ni y base Co. Los aceros más utilizados de estos tipos están cubiertos por las especificaciones de: ASME (American Society of Mechanical Engineers), ASTM (American Society of Testing Materials), API (American Petroleum Institute).

### **Propiedades genéricas:**

Su densidad media es de 7850 kg/m<sup>3</sup>.

En función de la temperatura el acero se puede contraer, dilatar o fundir.

El punto de fusión del acero depende del tipo de aleación y los porcentajes de elementos aleantes. El de su componente principal, el hierro es de alrededor de 1510 °C en estado puro (sin alear), sin embargo, el acero presenta frecuentemente temperaturas de fusión de alrededor de 1375 °C, y en general la temperatura necesaria para la fusión aumenta a medida que se funde (excepto las aleaciones eutécticas que funden de golpe). Por otra parte, el acero rápido funde a 1650 °C. Su punto de ebullición es de alrededor de 3000 °C. Es un material muy tenaz, especialmente en alguna de las aleaciones usadas para fabricar herramientas. Relativamente dúctil. Con él se obtienen hilos delgados llamados alambres. Es maleable. Se pueden obtener láminas delgadas llamadas hojalata. La hojalata es una lámina de acero, de entre 0,5 y 0,12 mm de espesor, recubierta, generalmente de

forma electrolítica, por estaño. Permite una buena mecanización en máquinas herramientas antes de recibir un tratamiento térmico. Algunas composiciones y formas del acero mantienen mayor memoria, y se deforman al sobrepasar su límite elástico. La dureza de los aceros varía entre la del hierro y la que se puede lograr mediante su aleación u otros procedimientos térmicos o químicos.

### **Diagrama de tensión-deformación del acero:**

Diagrama tensión-deformación de proyecto es el que se adopta como base de los cálculos, asociado en esta Instrucción a un nivel de confianza del 95 por 100. Diagrama característico tensión-deformación del acero en tracción es aquel que tiene la propiedad de que los valores de la tensión, correspondientes a deformaciones no mayores de 10 por 1.000, presentan un nivel de confianza del 95 por 100 con respecto a los correspondientes valores obtenidos en ensayos de tracción realizados según la Norma UNE 36.401/81.

El conocimiento del diagrama característico del acero permite dimensionar las secciones sometidas a sollicitaciones normales (flexión, compresión) con mayor precisión y economía que si sólo se conoce el valor del límite elástico. Se recomienda, por ello, que los fabricantes de acero establezcan y garanticen este diagrama para cada uno de los tipos que suministren, con objeto de poderlos tipificar como diagramas de proyecto.

Para establecer el diagrama y comprobarlo con ensayos de recepción, se admite que es suficiente determinar las tensiones que corresponden a las siguientes deformaciones: 0,001; 0,002; 0,003; 0,004; 0,005; 0,006; 0,008 y 0,01. En rigor, el límite elástico característico es el que corresponde en el diagrama característico a una deformación remanente del 0,2 por 100. Como simplificación puede adaptarse como valor característico del límite elástico el obtenido a partir de los valores de los límites elásticos de los ensayos de tracción realizados según la Norma UNE 7.262.

### **Resistencia de cálculo de acero:**

Se considerará como resistencia de cálculo del acero  $f_{yd}$  el valor:  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$  En donde  $f_{yk}$  es el límite elástico de proyecto y  $\gamma_s$  es el coeficiente de minoración definido en el Artículo 31º.

**Comentarios:** Se recuerda que en piezas sometidas a compresión simple la deformación de rotura del hormigón toma el valor 2 por 1.000 (véase 36.2), lo que

limita el aprovechamiento de la resistencia de cálculo para el acero al valor de la tensión correspondiente a dicha deformación, en el diagrama del acero empleado (para el acero de dureza natural 4.200 kp/cm).

### **Diagrama de tensión deformación del acero:**

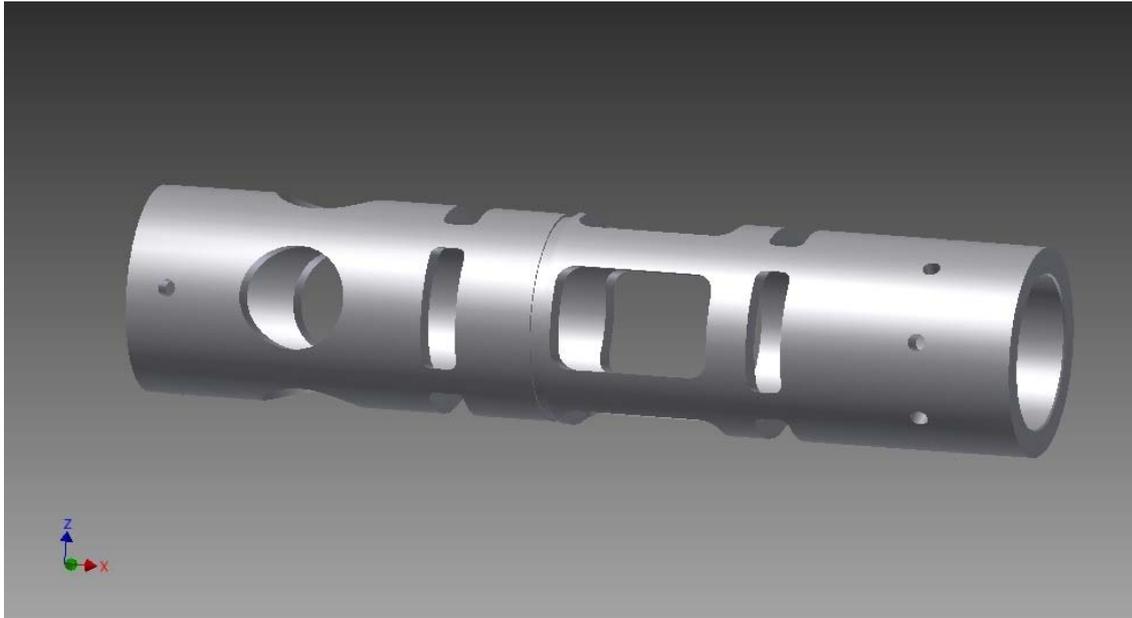
El diagrama de cálculo tensión-deformación del acero (en tracción o en compresión) se deduce del diagrama de proyecto mediante una afinidad oblicua, paralela a la recta de Hooke de razón  $1/\sigma_s$ .

Se admite el empleo de diagramas simplificados de cálculo, de tipo birrectilíneo u otros, siempre que su uso conduzca a resultados que queden del lado de la seguridad o estén suficientemente avalados por la experiencia.

La deformación del acero en tracción se limita al valor 10 por 1.000 y la de compresión al valor 3,5 por 1.000, de acuerdo con lo indicado en 36.2. Cuando se emplea el método del momento tope (Artículo 37º) puede utilizarse como diagrama de cálculo del acero, el simplificado de la figura 25.3.a limitando superiormente  $f_{yc,d}$  al valor 4.000 kp/cm.

### **Determinación del material 20X1MΦTP suplente para la producción de las camisas de las válvulas de los servomotores en las centrales termoeléctricas de nuestro país.**

A raíz de los resultados obtenidos por los diferentes ensayos, se logró conocer las características y propiedades del material 25X1MΦ, siendo este el que se utiliza para la fabricación de las camisas para válvulas de condensado



## CONCLUSIONES

En el desarrollo de la investigación fue provechoso abordar las bases teóricas en las que se sustentan la caracterización de los materiales utilizados en la UEB Emilio Ayala Molina, así como la producción de las camisas para válvulas de los servomotores en las centrales eléctricas, para acercarnos a la solución de la problemática existente.

Se constató como resultado del diagnóstico aplicado la necesidad de una caracterización de los materiales utilizados en la UEB Emilio Ayala Molina para la producción de las camisas para válvulas de los servomotores en las centrales eléctricas de nuestro país que, de manera coherente y sistemática, propicie a disminuir la interrupción en el flujo energético del país.

Los métodos aplicados permitieron la elaboración de la propuesta en una primera versión a partir de la caracterización realizada.