



Universidad de Sancti Spíritus “José Martí  
Pérez”  
(UNISS)

Dirección de Investigaciones Aplicadas  
Centro de Estudios Energéticos y Procesos  
Industriales (CEEPI)

**TESIS EN OPCIÓN AL TÍTULO ACADÉMICO DE MÁSTER  
EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**Título: Mejoras al sistema de gestión del mantenimiento en la  
Central Eléctrica de Sancti Spíritus**

**Autor: Ing. Alfredo Castro Álvarez**

**Tutor: M.Sc Edelvy Bravo Amarante**

**2015**

## *Pensamiento*

*“ En una época de cambios permanentes, el futuro pertenece a los que siguen aprendiendo... los que ya aprendieron, se encuentran equipados para vivir en un mundo que ya no existe.”*

*Eric Hoffer*

*Dedicatoria:*

*A mis hijos: inspiración de mi vida, mi tesoro máspreciado, fuente de energía para seguir creciendo.*

*A mis padres: patrón de vida y de amor, quienes me inculcan diariamente el espíritu ineludible de lucha, de tenacidad y perseverancia*

*A mi esposa: incondicional en todo momento, responsable de enseñarme cuan poderosa es la fuerza del amor*

*Agradecimientos:*

*A mis compañeros de curso, a los operadores de la central, a Yosbany, Mercedes, Jailen, Osvaldo, Oviedo, Ailén por apoyarme durante todo el camino. Mención especial para Yasnay y a Elieser por su inestimable y desinteresada ayuda, sin su colaboración el camino hubiera sido más difícil.*

*A mi hermano Yumar por su apoyo y aliento siempre*

*A mi sobrina Amanda, quien se privó de horas de entretenimiento para apoyarme en la realización de este trabajo.*

*A mis tíos Isabel, Palacio*

*A Bismayda por sus oportunos consejos, su apoyo y su amistad*

*A mi tutor por su apoyo, sus consejos y por creer en mí en todo momento.*

*A todos los que de una u otra forma contribuyeron a la ejecución de este trabajo*

*A todos gracias.*

## **Resumen**

En el contexto de la Revolución Energética iniciada en Cuba en el 2004, surgió la necesidad de descentralizar la generación eléctrica. De ahí que se crearan en diferentes provincias cubanas las Centrales Eléctricas de Diesel y Fuel Oil. A pesar de estar estipulado un sistema de gestión para la actividad del mantenimiento, desde que se diera la puesta en marcha de la Central Fuel Oil en Sancti Spíritus en mayo de 2007, no se ha evaluado a través de un estudio con carácter científico su implementación respecto a: disciplina tecnológica; experiencia del personal de la operación, técnicos y mantenedores; régimen de explotación, y aprovechamiento de todas las bondades o posibilidades del sistema implementado teniendo como base un sistema de gestión de bases de datos nombrado (*Sigestman*). La presente investigación evaluó la situación actual y la propuesta de mejoras al sistema de gestión del mantenimiento en la Central Eléctrica de Fuel Oil Sancti Spíritus, a través del estudio del comportamiento de indicadores de eficiencia energética (índice de consumo de combustible), (disponibilidad de la central eléctrica), y el cálculo de índices de clase mundial del mantenimiento. Demostrándose a través de herramientas básicas de calidad para el análisis de causas, la relación existente entre indicadores de eficiencia energética y de la gestión del mantenimiento y su implicación en la eficiencia operacional de las plantas de generación distribuida.

## **Abstract**



Índice	Pág.
Introducción.....	1
<i>Capítulo I: Marco teórico y referencial de la investigación.....</i>	<i>5</i>
1.1 Estrategia para la construcción del marco teórico referencial.....	5
1.2 Actualidad de la situación energética en el Mundo y en Cuba.....	6
1.3 La generación distribuida en Cuba .....	12
1.4 La gestión del mantenimiento.....	13
1.4.1 Enfoque de procesos a la gestión del mantenimiento.....	17
1.4.2 Evolución del mantenimiento en Cuba.....	21
1.4.3 Sistema de mantenimiento en las centrales de generación distribuida en Cuba.....	22
1.5 La evaluación de la gestión energética con enfoque de calidad de los procesos.....	24
1.6 Evaluación de la gestión del mantenimiento. Índices de clase mundial del mantenimiento.....	26
1.7 Particularidades de la provincia de Sancti Spíritus. Tendencias actuales.....	32
Conclusiones parciales.....	28
<i>Capítulo II: Diagnóstico de la eficiencia energética y de la gestión del Mantenimiento en la Central Eléctrica fuel oil de Sancti Spíritus.....</i>	<i>33</i>
2.1 Procedimiento para el desarrollo de la investigación.....	33
2.2 Diagnóstico de la gestión energético de la central.....	33
2.2.1 Diagrama de dispersión.....	33
2.2.2 Hoja de verificación.....	36
2.2.3 Diagrama de Pareto.....	37
2.2.4 Diagrama causa-efecto.....	38
2.2.5 Función de pérdida de Taguchi.....	40
2.3 Diagnóstico de la gestión del mantenimiento de la central.....	42
2.3.1 Gráficos de control.....	42
2.3.2 Índices de clase mundial del mantenimiento.....	44
2.4 Análisis modal de fallos y sus efectos (AMFE).....	46
Conclusiones parciales.....	47
<i>Capítulo III Análisis de los resultados.....</i>	<i>48</i>
3.1 Caracterización de la Central Eléctrica fuel oil de Sancti Spíritus objeto de estudio.....	48
3.2 Diagnóstico de la gestión energética.....	52
3.2.1 Diagrama de dispersión .....	52
3.2.2 Hoja de verificación.....	53
3.2.3 Diagrama de Pareto.....	54
3.2.4 Diagrama causa-efecto .....	54
3.2.5 Función pérdida de Taguchi.....	55
3.3 Diagnóstico de la gestión del mantenimiento.....	56
3.3.1 Gráfico de control.....	57
3.3.2 Índices de clase mundial del mantenimiento.....	59
4 Evaluación del análisis modal de fallos y sus efectos (AMFE).....	65
Conclusiones	68
Recomendaciones	69
Bibliografía	70

Anexos



## Introducción

La energía es la base del desarrollo, del crecimiento de los seres vivos y de la sociedad, según refiere la Agencia Internacional de Energía, en su artículo “Energía. Crítica Situación Mundial” (Agencia Internacional de Energía, 2007). La propia fuente subraya que la energía constituye además una magnitud física conservativa que muestra la capacidad de los sistemas para cambiar las propiedades de los otros sistemas o las suyas propias.

La vida no es posible sin energía, pues en todos los cambios que ocurren, cualquiera que sea su naturaleza o el nivel donde se produzcan, debe ponerse en juego cierta cantidad de ésta. Desde el comienzo de la humanidad, el hombre consumió energía, al principio para cultivar la tierra, y solo gastaba la equivalente a su alimento.

En la actualidad la distribución del consumo de energía está estrechamente vinculada con la calidad o estilos de vida y el modelo económico imperante a nivel mundial. Su disponibilidad está fuertemente ligada al nivel de bienestar, a la salud y a la duración de vida del ser humano. En realidad la sociedad actual podría denominarse "energívora", donde los países más pobres muestran los consumos más bajos de energía, mientras que los países más ricos utilizan grandes cantidades de la misma, según el U.S Department of Energy, citado por el Portal de la Red del Sistema Nacional de Información de la Energía en Cuba.

Sin embargo este escenario está cambiando de forma drástica, cambio que se acentuará en los próximos años, cuando sean los países en vías de desarrollo quienes experimenten con mayor rapidez un aumento en su consumo de energía debido al incremento que tendrán tanto en sus poblaciones, como en sus economías. De ahí que es urgente que el hombre tome conciencia de la crisis energética que vive la humanidad para que agudice su inteligencia y genere cambios positivos y beneficiosos para el futuro.

A raíz de toda esta problemática, desde el 2005 Cuba trazó una estrategia nacional conocida como Revolución Energética. Una de las medidas más importantes puestas en práctica en el país, y que también está presente en nuestra provincia es la instalación de Grupos Electrógenos, que son motores de combustión interna acoplados a generadores eléctricos destinados a la producción de energía, dirigidos

fundamentalmente a la descentralización de la generación eléctrica(Oficina Nacional de Estadísticas., 2010).

Uno de los objetivos principales de este programa denominado Revolución energética fue la disminución del consumo de combustible y el incremento de la eficiencia energética de dichas plantas. Es por ello que se implementan tecnologías que utilizan el fuel oil como combustible, menos costoso que el diesel y se concentran las mismas en plantas de la marca Hyunday de procedencia Coreana y la MAN B&W de procedencia Alemana. Este tipo de plantas a diferencia de las que operan con diesel tienen como peculiaridad que están destinadas a trabajar de forma ininterrumpida, con un bajo índice de emisiones tóxicas y contaminantes a la atmósfera, con posibilidades de generar en condiciones aisladas (en isla) o sincronizadas al Sistema Electroenergético Nacional (SEN), tienen una disponibilidad por encima del 90% en comparación con las termoeléctricas, que existen en nuestro país actualmente, y en caso de presentar averías no representarían grandes déficit de generación en el SEN.

En Sancti Spíritus existen dos plantas de fuel Oil: una en el municipio de Trinidad y otra en Sancti Spíritus, con cuatro y cinco motores, respectivamente. Ambas cuentan con una tecnología MAN B&W DIESEL 18"V28/32S, de una capacidad de 3.85 MW, de generación eléctrica.

La planta del municipio cabecera, inaugurada hace ocho años y devenida una de las primeras de su tipo en el país, entrega a plena capacidad 19,25 mW, lo que representa un 60% de la demanda máxima de la ciudad, en horario pico. Motivado por el poco tiempo de explotación y la falta de experiencia tanto de la operación y del personal de mantenimiento, y a tenor con los lineamientos de la política económica y social del partido y la revolución, aprobado en el VI congreso es necesario elevar significativamente le eficiencia en la generación eléctrica, dedicando la atención de recursos necesarios al mantenimiento de las centrales en operación y lograr altos índices de disponibilidad en las instalaciones de generación con grupos electrógenos (PCC, 2011) constituyen los elementos en los que se sustenta la **situación problemática** de esta investigación.

En consonancia con igual política donde se plantea la necesidad de mantener un sostenido incremento de la eficiencia como base del desarrollo económico de forma tal que contribuya a mejorar en lo posible la oferta de productos y servicios esenciales para la población (PCC, 2011), se plantea como:

**Problema científico:** la actual gestión del mantenimiento en la planta de generación distribuida en Sancti Spíritus, no garantiza la estabilidad en la disponibilidad operacional de la potencia instalada y el índice de consumo de combustible en el proceso de generación y entrega de energía eléctrica a la economía y a la población.

**Objetivo general:** Contribuir a la estabilidad en la disponibilidad operacional de la potencia instalada, y el índice de consumo de combustible con la propuesta de un plan de mejora para la gestión del mantenimiento en la planta de generación distribuida en Sancti Spíritus.

**Objetivos específicos:**

1. Analizar el “estado del arte” y la práctica en temas relativos a: la gestión de procesos, el mantenimiento en las centrales de generación, y la eficiencia energética en la generación distribuida.
2. Diagnosticar la gestión energética y la gestión del sistema de mantenimiento en la Central Eléctrica fuel oil de Sancti Spíritus.
3. Evaluar la contribución de los indicadores de eficiencia energética en la gestión del mantenimiento en la Central Eléctrica fuel oil de Sancti Spíritus.

**Hipótesis de la investigación:** La implementación de un plan de mejora para la gestión del mantenimiento en la planta de generación distribuida en Sancti Spíritus, contribuye a la estabilidad en la disponibilidad operacional de la potencia instalada y el índice de consumo de combustible en la entrega de energía eléctrica a la economía y a la población.

Fue tomado como **objeto de estudio teórico** la gestión del mantenimiento como una de las actividades fundamentales de la central. El **campo de acción** se centró en los indicadores índice de consumo de combustible, la disponibilidad operacional de la potencia instalada y los índices de clase mundial del mantenimiento.

Los aportes que dan valor a esta investigación vienen dados desde la perspectiva **metodológica** por la posibilidad de vincular diferentes conceptos y herramientas que

permiten proponer mejoras al sistema de gestión del mantenimiento en la central espirituana. Su aporte **social** se deriva de la contribución a mejorar la gestión del mantenimiento, beneficiar la calidad de vida de la población y la economía local y del país. Desde el punto de vista **económico** se destaca el empleo más eficiente de recursos, partes y piezas de repuesto y el ahorro de portadores energéticos al mejorar la disponibilidad y mejorar el índice de combustible de combustible, lo que permite que a los clientes les llegue una energía con mayor calidad.

# **Capítulo 1. Marco teórico y referencial de la investigación**

## **1.1 Estrategia para la construcción del marco teórico referencial**

Las bases teóricas y prácticas del proceso de investigación, permitieron diseñar una estrategia para la confección del marco teórico referencial de la investigación ver figura 1.1, con el objetivo de arribar al problema científico planteado en la introducción de esta tesis, a partir del análisis del estado del arte, en la temática objeto de estudio y la valoración de los métodos y herramientas para obtener los resultados del trabajo. Se precisan los aspectos fundamentales de carácter conceptual que sustentan el valor práctico-metodológico de los resultados, con destaque para la mejora de la gestión del mantenimiento específicamente en la central de Sancti Spíritus como pilar para elevar la eficiencia de la central.

Tres vertientes se analizan para ello:

1. La gestión de procesos del mantenimiento.
2. El mantenimiento en las centrales de generación y la evaluación de sus indicadores con el empleo de herramientas básicas de calidad.
3. La eficiencia energética en la generación distribuida y su análisis mediante la utilización de herramientas de calidad para mejorar la calidad de vida de las personas y la economía territorial y nacional

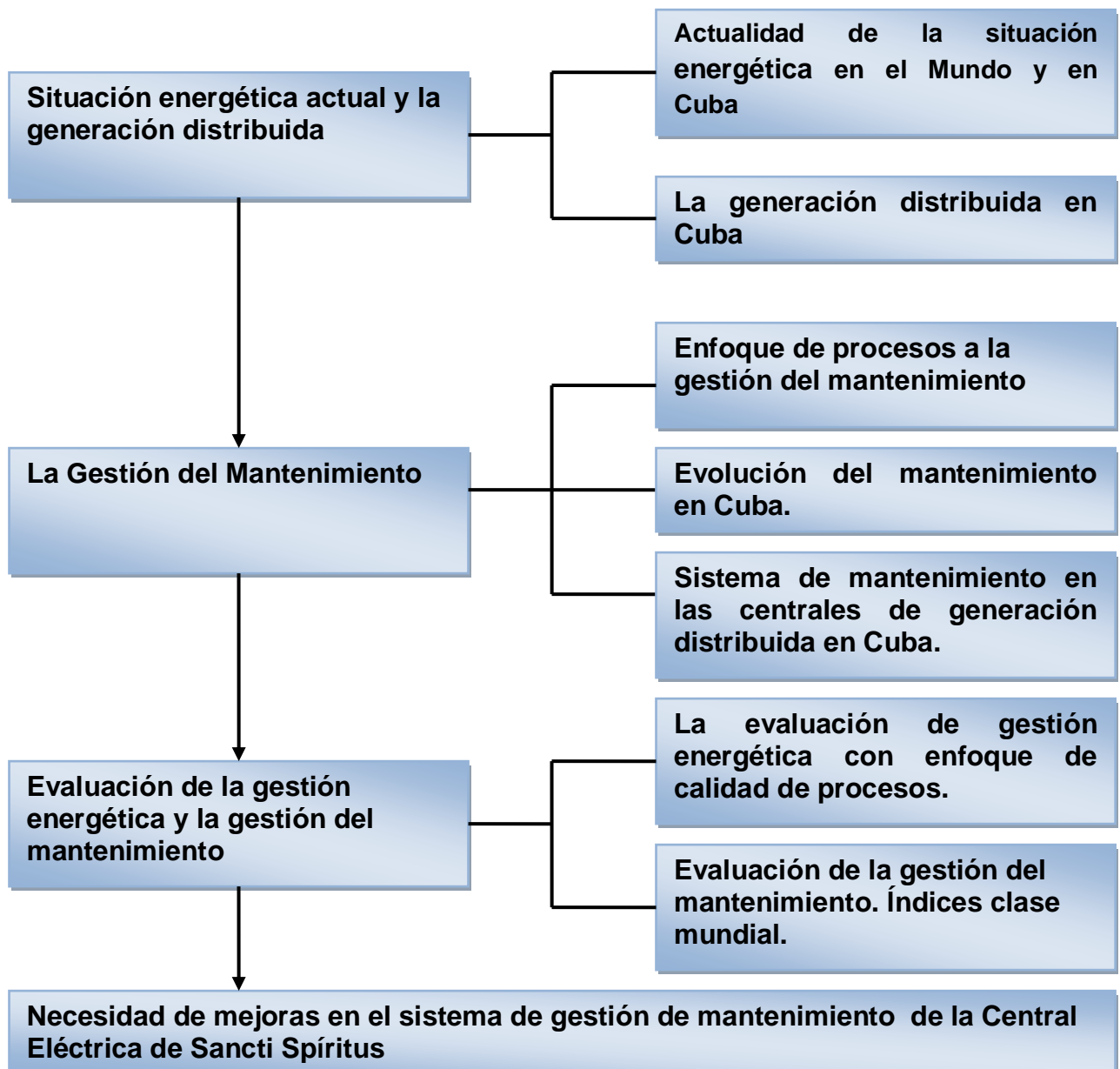


Figura 1.1. Hilo conductor del marco teórico y referencial

## 1.2 Actualidad de la situación energética en el Mundo y en Cuba

El sistema energético mundial corre el peligro de no colmar las esperanzas y expectativas puestas en él. La agitación en algunas partes de Oriente Medio –que sigue siendo la única gran fuente de petróleo de bajo coste – rara vez ha sido tan grande desde las crisis petrolíferas de la década de 1970. El conflicto entre Rusia y Ucrania ha resucitado la inquietud sobre la seguridad del suministro de gas. La energía nuclear, que en algunos países desempeña un papel estratégico para la

seguridad energética (y que se examina en profundidad en esta edición de World Energy Outlook [Perspectivas de la energía en el mundo, WEO-2014]), se enfrenta a un futuro incierto. La electricidad sigue siendo inaccesible para muchas personas, entre ellas, dos de cada tres en el África Subsahariana (el foco regional de WEO-2014). El punto de partida para las negociaciones climáticas, que deberían alcanzar un punto culminante en 2015, no es muy alentador(Coskun, 2010).

Los avances tecnológicos y la eficiencia son motivos para el optimismo, pero son esenciales esfuerzos políticos constantes para cambiar las tendencias energéticas. WEO-2014, con previsiones y análisis que se extienden por primera vez hasta 2040. Donde la demanda de energía mundial va a crecer un 37% hasta 2040. En 2040, el suministro energético mundial se dividirá en cuatro partes, casi iguales: petróleo, gas, carbón y fuentes de bajas emisiones de CO<sub>2</sub>(Besterfield, 2009; Munro-Faure, 1994). En el Caribe por ejemplo, un 90% de toda la energía utilizada se deriva del petróleo, la mayoría del cual es importado a un alto costo para los países. (Brown, Geoghegan y Renard, 2007) En Centroamérica, el 45% del consumo total deriva de hidrocarburos fósiles (Estado de la Región, 2008), en su gran mayoría importados (Coviello, 2013; Solis Rivera, 2012).

, La eficiencia energética es una herramienta fundamental para aliviar la presión del suministro de energía y puede mitigar en parte los impactos en la competitividad de las disparidades de precios entre regiones. La eficiencia se está convirtiendo en el foco de atención normativo en muchos países. Los nuevos esfuerzos en materia de eficiencia energética tendrán el efecto de reducir el crecimiento total de la demanda de petróleo en unos 23 millones bdp en 2040.

La electricidad es la forma final de energía de más rápido crecimiento, y sin embargo el sector eléctrico contribuye más que ningún otro a reducir la proporción de los combustibles fósiles en el mix energético. Las tecnologías renovables, elemento crítico del pilar de bajas emisiones de CO<sub>2</sub> dentro del suministro de energía mundial, están ganando terreno rápidamente, apoyadas por subvenciones, que en 2013 ascendieron a 120 000 millones USD en todo el mundo.

El trato que se dispense a la energía nuclear seguirá constituyendo un rasgo esencial de las estrategias energéticas nacionales, incluso en países que se han

comprometido a eliminar progresivamente esta tecnología y que deben proporcionar alternativas (Estepa Castro, 2008; International Energy Outlook, 2009). Pese a los desafíos a los que actualmente se enfrenta, la energía nuclear tiene características específicas que respaldan el compromiso de algunos países a mantenerla como una opción futura. La energía nuclear es una de las pocas opciones disponibles para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> a la vez que se proporciona o reemplaza otras formas de producción de base. Aquellos que no tienen acceso a la energía moderna sufren de la forma más extrema de inseguridad energética. Se estima que 620 millones de personas en el África Subsahariana no tienen acceso a la electricidad (Coskun, 2010).

El pueblo cubano, incluyendo todos los sectores, han tomado conciencia del uso racional de la energía y sus perspectivas futuras, pues constituye una necesidad política económica en Cuba, pero ante todo es un imperativo ecológico por los graves problemas que hoy enfrenta la humanidad derivados del impacto ambiental del sistema energético contemporáneo.

Sin duda la electricidad juega un papel muy importante en la vida del ser humano, con la electricidad se establece una serie de comodidades que con el transcurso de los años se van haciendo indispensables para el hombre. Consumir energía es sinónimo de actividad, de transformación y de progreso, siempre que ello esté ajustado a nuestras necesidades y trate de aprovechar al máximo las posibilidades contenidas en la energía.

En enero de 1959 se abrió un nuevo capítulo en la historia del país, con el establecimiento de un gobierno revolucionario cuyo propósito declarado era efectuar profundas transformaciones sociales en pro de los sectores menos favorecidos de la población.

En armonía con aquel propósito, de inmediato se tomaron medidas para impulsar la electrificación rural, originalmente por medio de la Comisión Nacional de Fomento se establecieron nuevas normas y procedimientos tendientes a reducir el costo de las redes rurales de electricidad; se inició la fabricación en el país de postes de hormigón armado para sustituir los que antes se importaban y se adiestraron antiguos guerrilleros de origen campesino como linieros.



Sobre tales bases, y por cuenta del Estado se llevó el servicio eléctrico a un núcleos poblacionales en regiones apartadas, al quedar la totalidad del servicio eléctrico en manos del Estado, a partir de 1960 la electrificación se orientó institucionalmente hacia fines del contenido eminentemente social de beneficio para la economía nacional.

Desde la década de los 80 se ha seguido la política de llevar la electricidad únicamente a los asentamientos poblacionales no solo por razones eléctricamente económicas sino con el fin de promover incluso en las zonas más alejadas una vida en comunidad que facilite el acceso a todos los beneficios sociales de que disfruta el resto de la población particularmente la educación y el servicio médico gratuito.

Ya en 1989 se obtiene una potencia instalada de 2 967 ,5 MW, que es un 530% de incremento con respecto a 1959 que solo había una capacidad instalada de 470, 6 MW. El desarrollo de la industria eléctrica en Cuba se apoyó en un programa inversionista de construcción de varias termoeléctricas, lo que trajo consigo un salto en el incremento de las capacidades de generación y en la producción de energía eléctrica.

Las principales termoeléctricas instaladas en el país son: Máximo Gómez (Mariel), Antonio Guiteras (Matanzas), Carlos Manuel de Céspedes (Cienfuegos), 10 de Octubre (Nuevitas), Antonio Maceo (Santiago de Cuba), Santa Cruz (La Habana), Felton (Holguín), Otto Parellada (Ciudad de La Habana) y Antonio Maceo (Regla).

Hasta 1989 la producción de petróleo y gas no llegaba al millón de toneladas por año y el suministro de portadores energéticos descansaba en la importación de la antigua Unión Soviética, que alcanzó 13,3 millones de toneladas de crudo anualmente hasta esa fecha. Incluso –mediante el ahorro de petróleo se evitó llegar a consumir la cantidad pactada para la importación durante algunos años, lo que brindó ingresos adicionales por millones de dólares en una operación equivalente a la reexportación de combustible a través de un acuerdo especial con los soviéticos, operación que ya había alcanzado 10,2 millones de toneladas en el quinquenio 1981-1985.

Al iniciarse la crisis de los 90, con el derrumbe del campo socialista en Europa, y la URSS se agudiza la situación económica en nuestro país y se ve seriamente afectado el sector energético, considerando que el país no contaba con yacimientos

suficientes para la producción de petróleo, ni poseía otros recursos naturales que suplieran tal carencia, lo que provoca un llamado a crear una conciencia de ahorro de energía, y por ello se emiten diferentes programas electro energético Cuba producía 671 mil toneladas de petróleo, por lo que al desaparecer las importaciones soviéticas en 1992 pagaderas en rublos transferibles y a precios favorables, se enfrentó una severa crisis al disminuir las compras externas de petróleo y productos derivados de 10,2 millones de toneladas en 1990 a 5,5 millones en 1993, para un descenso del 45,8% en tres años .

Los efectos de semejante reducción no se hicieron esperar, particularmente en la producción de electricidad, que se sustentaba mayormente en los derivados del petróleo. De este modo, la generación cayó de 15,025 GWH en 1990 a 12,459 en 1995, para una baja del 17,1%.

La capacidad de generación se situó por debajo del 40% de su potencial debido a la falta de combustible, lo cual obligó a la paralización de una parte significativa de la industria, y creó una situación muy tensa a la población debido a los cortes de energía cada 8 horas en la capital del país y por períodos incluso superiores en otras ciudades y pueblos.

Esta adversa coyuntura comenzó a superarse con el incremento de la producción petrolera nacional, que ya en 1995 alcanzó un millón 471 mil toneladas, y en ello desempeñaron un importante papel las empresas mixtas creadas especialmente con capital canadiense. A esto se añadió la adaptación de las centrales termoeléctricas para que comenzaran a quemar el crudo nacional, considerado muy pesado, pero cuyo uso se hizo inevitable en esas circunstancias.

A partir del aprovechamiento del gas acompañante de los yacimientos petroleros en 1997 se incrementó la producción energética, y en el año 2000 se logró acumular tres millones 269 mil toneladas de petróleo equivalente. También la generación eléctrica igualó el nivel de 1990, aunque con una composición algo diferente, ya que las termoeléctricas generaron el 89%, pero las turbinas de gas cubrieron el 9%. Por otra parte, el consumo promedio del sector residencial superó los 126 kWh al inicio de este siglo, superando un 3% el de 1990.

De igual modo, a partir de un mayor peso del sector turístico en el crecimiento económico del país y de la contracción en la industria, se redujo el coeficiente de intensidad energética de 2,64 mil barriles de petróleo equivalente por cada millón de pesos de PIB en 1990, a 1,99 en el 2000, medido a precios constantes de ese año. Asimismo, disminuyó la emisión de CO<sub>2</sub> en términos de Kg/h de 3,18 en 1990 a 2,40, para una reducción del 24,5%.

Se implementa entonces una estrategia para cubrir la demanda de energía eléctrica y compensar la escasez de combustible, surge así el Programa de Ahorro de Electricidad en Cuba (PAEC), en el año 1997, el cual contribuyó a reducir las tasas de crecimiento, que en estos momentos registraba el consumo y la máxima demanda del sistema.

Durante el decenio 2000–2010 se produjeron también importantes transformaciones en el sector energético cubano. Un factor que marcó el inicio de estos cambios fue la crisis de la generación eléctrica que se produjo durante el segundo semestre de 2004 (Sierra, 2009). En este caso colapsaron varias termoeléctricas, comenzando por la Antonio Guiteras de Matanzas, lo que llevó al país a una situación parecida a la de 1994, llegando a reducirse la capacidad de generación a un 38% del potencial, con la consecuente paralización de muchas actividades económicas y la reaparición de cortes de electricidad de similar intensidad a la vivida diez años antes.

En ese contexto y frente a esta compleja coyuntura surge, como iniciativa del Comandante en Jefe Fidel Castro, la llamada Revolución Energética, El país debió dedicar cientos de millones de dólares – en primer lugar– a la compra de plantas eléctricas de combustible diesel para asegurar el pico de generación de las noches, cuando se elevaba la demanda muy por encima de la posibilidad de generar. Después fue preciso adquirir plantas de generación descentralizada que utilizarían combustible fuel y que trabajaban con mayor eficiencia.

Sin embargo, lo que comenzó como solución a un problema crítico se ha convertido en una estrategia de empleo racional de la energía. El objetivo fundamental de este proceso era transformar radicalmente el proceso de generación y ahorro de electricidad, a fin de disponer de un sistema eléctrico sin fallas y suficiente para la nación, y en la renovación de los viejos equipos electrodomésticos, el cual se inició

aceleradamente en el 2005 y pronto se tradujo en bienestar y calidad de vida para la población (Colectivo de autores)

### **1.3 La generación distribuida en Cuba**

Para el desarrollo del programa de la generación distribuida en Cuba, se comenzó por la instalación de grupos electrógenos de emergencia, los cuales han sido ubicados principalmente en aquellos consumidores claves, por ejemplo: centros de salud, de elaboración de alimentos, de bombeos y potabilizadoras de agua, hoteles y centros vinculados al turismo, entre otros; contando con una capacidad instalada de más de 700 MW (Colectivo de autores).

Luego de emplazados los grupos de emergencias prosiguió el montaje de microsistemas a partir de la utilización de motores de combustión interna, usando para su funcionamiento combustible Diesel. Seguidamente se comenzó a diversificar la instalación de plantas de generación eléctrica a partir de motores de combustión interna, pero usando como combustible fuel oil, siendo este mucho menos costoso en el mercado mundial, por lo que ya hoy se encuentran más de 35 emplazamientos sincronizados en todo el país con una capacidad de generación de un total de 883 MWh (Corral, 2010).

En la actualidad la descentralización de la energía eléctrica mediante la generación distribuida ha dado al traste con los problemas y déficit eléctrico por el que pasaba el Sistema Electroenergético Nacional (SEN), lo que ha redundado en beneficios significativos (CNCI, 2006), como por ejemplo:

1. Permitió la eliminación de los apagones en menos de un año.
2. Se elevó la eficiencia por sus bajos valores de insumos e índices de consumo de combustible.
3. Se redujeron las pérdidas de transmisión y subtransmisión.
4. Permitió realizar la generación en microsistemas aislados ante catástrofes o necesidades de la defensa.

En la tabla 1.1 se puede observar el comportamiento del índice de consumo de combustible de los motores de combustión interna a partir de la generación de electricidad con fuel oil en comparación con las centrales térmicas. Se aprecia además, como se produce con el uso de este método una disminución de los

insumos respecto a las centrales térmicas. En los últimos años se observa un avance de la generación distribuida hacia el año 2008, ascendiendo hasta un 25% respecto al año 2005, cifra que en la actualidad se incrementa por la instalación y puesta en marcha de nuevas plantas (Informe de Balance de la Revolución Energética, en el cuarto año de su ejecución, Unión Eléctrica, 2009).

Tabla # 1.1 Comparación entre las CTE y los MCI que generan con fuel oil.

Fuente: Balance anual de la UNE Programa de la Revolución Energética, Septiembre 2009.

<b>Indicador</b>	<b>Centrales Térmica</b>	<b>Generación Distribuida (Motores fuel)</b>
<b>Insumos</b>	<b>7.0-10.0 %</b>	<b>2.5-3.0 %</b>
<b>Consumos específicos</b>	<b>280-320 g/kWh</b>	<b>200-208 g/kWh</b>

La utilización de emplazamientos de generación distribuida con grupos electrógenos de fuel oil lleva muy poco tiempo de explotación y por ser una tecnología de adopción reciente en el país, no se cuenta con la experiencia y conocimientos necesarios sobre el tema, lo que conlleva al surgimiento de problemas de funcionamiento y operación de la maquinaria. Según criterios emitidos por especialistas y operadores en reuniones y visitas efectuadas a los grupos electrógenos, las causas fundamentales de las averías o fallas son producto de problemas de operación, de mantenimiento, de tecnología y cultura tecnológica que están afectando la disponibilidad y la confiabilidad de estas plantas de generación (Hourné-Calzada, 2012).

La generación distribuida reduce la cantidad de energía que se pierde en la red de transporte de energía eléctrica ya que la electricidad se genera muy cerca de donde se consume. Esto hace que también se reduzcan el tamaño y número de las líneas eléctricas que deben construirse y mantenerse en óptimas condiciones (Fundación Wikimedia, 2010).

#### **1.4 La gestión del mantenimiento**

Debido al enfoque global, hoy en día se necesita que el mantenimiento esté integrado en un contexto empresarial orientado hacia los negocios con un alto grado de competitividad (Arrarte Mera, 2010), para asegurar la confiabilidad de los activos de las empresas, el mantenimiento sigue en desarrollo. El mundo marcha hacia el perfeccionamiento del mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC), como una de las estrategias de la gestión del mantenimiento de avanzadas (A. D. y. N. B. Fernando F. Espinosa, 2008).

La característica fundamental del mantenimiento aplicado en las centrales eléctricas cubanas en los momentos actuales, es el del MPP, con alguna introducción de técnicas del MCC pero sin la requerida organización que permitiría su incorporación total al mantenimiento (Arrarte Mera, 2010; Hernández, 2008).

La principal función del mantenimiento es sostener la funcionalidad de los equipos y el buen estado de las máquinas a través del tiempo, bajo esta premisa se puede entender la evolución del área de mantenimiento a través de las distintas épocas acorde a las necesidades de sus clientes (Mora Gutiérrez, 2006).

La historia del mantenimiento como parte estructural de las empresas, data desde la aparición de las máquinas para la producción de bienes y servicios, inclusive desde cuando el hombre formaba parte de la energía de dichos equipos.

Se reconoce la aparición de los primeros sistemas organizacionales de mantenimiento para sostener las máquinas desde principios del siglo XX en los Estados Unidos donde todas las soluciones a fallas y paradas de equipos se solucionan vía mantenimiento correctivo (Newbrough, y otros, 1982).

El progreso del mantenimiento permite distinguir varias generaciones evolutivas en relación a los diferentes objetivos que se observan en las áreas productivas o de manufactura a través del tiempo, aspecto este en el que coinciden varios autores referenciar (Concepción Díaz, 2012; García Palencia, 2007; Moubray, 1997) reconocen fundamentalmente tres generaciones evolutivas enmarcadas: la primera en los años hasta la II guerra mundial, caracterizada por la aplicación del mantenimiento reactivo, se repara en caso de averías los años posteriores a la II guerra mundial y hasta la década de los 70 u 80 constituyen la segunda generación caracterizada por la aplicación del mantenimiento preventivo planificado y la

implementación sistemas de control y planificación del mantenimiento la tercera generación a partir de la década de los 80 y los 90 hasta la actualidad caracterizada por una mayor complejidad las maquinarias y aumenta la automatización de la industria, se exigen productos y servicios de calidad, considerando aspectos de seguridad y medio ambiente y se consolida el desarrollo de mantenimiento con nuevas estrategias como el RCM, ver figura 1.2

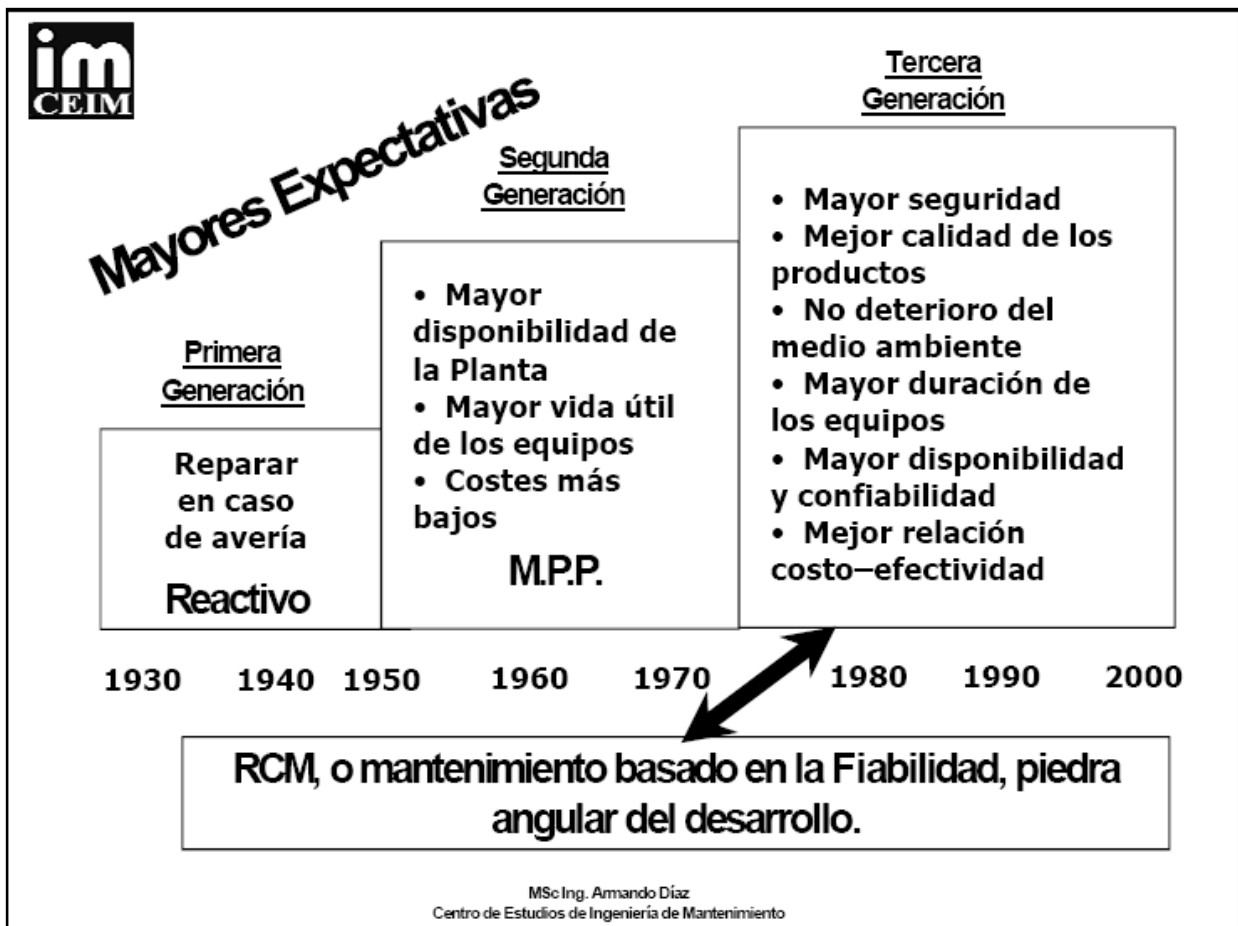


Figura 1.2 Evolución del mantenimiento por generaciones. Fuente: Armando Díaz Concepción. CEIM

Otros autores como (Cáceres, 2013; Campero, 2011; Mora Gutiérrez, 2006). Estos autores coinciden en mencionar distintas etapas en la evolución del mantenimiento. A finales de los 50's los fabricantes introducen recomendaciones de mantenimiento para alargar la vida útil de los equipos, introduciendo con ello el concepto de mantenimiento preventivo.

En los años 60's, los esfuerzos se orientan a obtener la máxima eficiencia de las máquinas y el mantenimiento se focaliza en extender la vida útil de los equipos y el óptimo de utilización de la capacidad nominal.

En las décadas de los 70's y 80's, nace en Japón, orientado a las nuevas filosofías de calidad total (círculos de calidad, gerencia de la calidad total) el Mantenimiento Productivo Total.

En los años 90's se conjugan los elementos principales de las filosofías o tendencias como TPM (Mantenimiento Productivo Total), RBM (Mantenimiento basado en Confiabilidad), MCC (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) para constituir una filosofía llamada Mantenimiento Clase Mundial, que sirve como referencia para determinar el nivel de excelencia de las empresas dentro de la disciplina o área de mercado donde se desenvuelve.

La definición de Mantenimiento Clase Mundial ha venido evolucionando con el tiempo siendo la más acertada, "mantenimiento sin desperdicio" definiendo a este último como la diferencia entre la manera de hacer las cosas hoy y como deberían hacerse. A escala mundial este término se conoce como un nivel de referencia que está asociado a empresas que han alcanzado la excelencia en sus procesos medulares.

El aspecto principal de esta filosofía es el cambio cultural de las organizaciones que lleva a aumentar la autoestima del personal de mantenimiento al establecer la conexión cierta con elementos que generan valor al negocio, y el conocimiento del nivel del impacto de las decisiones en el mismo, adicional a la comprensión y entendimiento de la importancia que tiene. Ver figura 1.3





Figura 1.3 Evolución del mantenimiento por etapas. Fuente: María Beatriz Cáceres

### 1.4.1 Enfoque de procesos a la gestión del mantenimiento

Los sistemas de producción actuales nos obligan a ser cada vez más eficaces y eficientes en el uso de los activos de nuestras plantas, lo cual nos obliga a utilizar nuevas estrategias, es por eso que el mantenimiento de éstos está cobrando mayor importancia a la hora de realizar mejoras en el proceso productivo, por lo que utilizar técnicas y herramientas de mejora adecuadas para el mantenimiento de los equipos es vital.

La Gestión por Procesos es la piedra angular tanto de las normas ISO 9001:2008, como del Modelo EFQM de Excelencia; su implantación puede ayudar a una mejora significativa en todos los ámbitos de gestión de las organizaciones, al permitir identificar indicadores para poder evaluar el rendimiento de las distintas actividades, formando parte de un conjunto interrelacionado (Blanco, 2002; Marichal Cartaya, 2013).

Según la norma ISO 9001:2008, un proceso es “un conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados”.

Los procesos son específicos para una organización y varían dependiendo del tipo, el tamaño y el nivel de madurez de la misma. Las actividades de cada proceso deberían determinarse y adaptarse al tamaño y a las características distintivas de la organización

La organización debería asegurarse de gestionar de manera proactiva todos los procesos, incluyendo los contratados externamente, para asegurarse de su eficiencia y su eficacia a fin de lograr sus objetivos. Esto puede facilitarse adoptando un enfoque basado en procesos que incluya establecer procesos, independencias, restricciones y recursos compartidos.

Se deberían revisar de forma regular los procesos y sus interrelaciones y deberían tomarse las acciones apropiadas para su mejora.

Los procesos deberían gestionarse como sistemas creando y comprendiendo las redes de procesos, sus secuencias y sus interacciones. La operación coherente de este sistema a menudo se denomina “enfoque de sistemas para la gestión”

Las normas ISO buscan describir los elementos básicos, por medio de los cuales los sistemas de aseguramiento de la calidad pueden ser implementados. Son normas de referencia, La ISO 9 000 presenta la directriz para la selección y uso de las normas sobre la Gestión y Garantía de la Calidad.

El Dr. Edwards Deming fue bastante acertado al desarrollar el método de Gestión de la Calidad Total por medio de la aplicación del ciclo del PDCA en toda actividad. Cuyo propósito es hacer lo correcto desde la primera vez, pero sucede que el concepto de correcto es la consecuencia de la evaluación de un resultado en relación con un estándar, o lo que es decir obtener un resultado sin desvió de la expectativa.

En este punto cabe hacer analogía a la teoría básica del control de procesos o retroalimentación el cual consiste en cuatro etapas:

1. Establecer una referencia o set point (correspondiente a un resultado deseado) = PLAN.
2. Ejecutar una acción de control proactivo (o proceder de acuerdo con un planteamiento, buscando alcanzar el resultado deseado) = DO.
3. Medir el resultado alcanzado y compararlo con la referencia (evaluar el resultado real con relación a la expectativa o estándar) = CHECK.

4. Determinar la acción correctiva necesaria, para la eliminación del desvío constatado, de manera que se lleve el resultado a un valor deseado (reajustar el proceso correctivamente) = ACT.

La metodología de Deming puede ser encarada como una oportuna transposición hacia el contexto gerencial, de la teoría básica del control de los procesos industriales, o sea aplicar PDAC es básicamente controlar el resultado del proceso sin que ocurran desvíos con relación a la expectativa.(Tavares Lourival, 2002)

El mayor nivel de servicio exigido en la calidad de los bienes y servicios producidos, en la década de los ochenta por parte de los consumidores ayuda al mejor posicionamiento del mantenimiento, tanto así que en 1993 este reconocimiento es aceptado en la norma ISO 9000 cuando se incluye la función mantenimiento en el proceso de certificación, al dar a mantenimiento el mismo nivel en la organización que el de operación (hecho ya identificado por ONU en 1995 (Tavares Lourival, 2002))en la búsqueda de optimizar la calidad, la confiabilidad operacional, los costos de producción (o servicio), la oportunidad, la garantía de seguridad del trabajo y de la preservación del medio ambiente (Mora Gutiérrez, 2006) mantenimiento pasó a ser reconocido por la ISO como un requisito de control del proceso, siendo literalmente citado conforme es indicado a continuación (Tavares Lourival, 2002):

"identificar aquellas características de proyecto que son críticas para el funcionamiento apropiado y seguro del producto (por ejemplo: requisitos de operación, almacenamiento, manoseo, mantenimiento y disposición después del uso)

"El proveedor debe identificar y planificar, los procesos de producción, instalación y servicios asociados, que influyen directamente en la calidad y debe asegurar que esos procesos, sean ejecutados bajo condiciones controladas que deben incluir mantenimiento adecuado de equipos para garantizar la continuidad de la cobertura del proceso... "

"Cuando la obtención de niveles deseados de control del proceso depende de la operación, consistente y estable, del equipo del proceso y de materiales esenciales,

el proveedor debe incluir, en la totalidad del sistema de calidad, el adecuado mantenimiento de esos equipos de proceso y materiales esenciales."

Por lo tanto, para cumplir estas disposiciones, las empresas que desearan obtener o mantener la certificación, deberán elaborar los manuales de procedimientos del sistema de mantenimiento, siguiendo las orientaciones hasta entonces enfocadas apenas para operación (Molina).

De esta manera, los procedimientos deberán indicar:

**El "objetivo"** - de la función mantenimiento dentro de la empresa como "actividad responsable por el aumento de la disponibilidad y confiabilidad operacional de los equipos, obras e instalaciones (especialmente aquellas fundamentales a la actividad fin de la empresa), minimizando costos y garantizando el trabajo con seguridad y calidad".

**Referencias** - documentos internos o externos a la empresa, utilizados en la elaboración de los procedimientos del Sistema de Gestión del Mantenimiento;

**Áreas involucradas** - los sectores de la empresa en los cuales los procedimientos de mantenimiento serán aplicados;

**Estándares adoptados** - terminología - sugerimos aquellas indicadas por el Comité Panamericano de Ingeniería de Mantenimiento ([www.mantener.com](http://www.mantener.com)), que podrán ser complementadas con alguna específica de la propia empresa;

**Estructura organizacional del órgano de mantenimiento** - organigrama de cada área con la indicación de los ocupantes de los cargos, responsabilidades de cada uno, procedimientos del Sistema de la Calidad, planificación de actividades, probación y alteración de documentos;

**Control** - criterios de control de actividades programadas y no programadas, las solicitudes, órdenes de trabajo y encerramiento de los servicios, criterios de control de equipos de inspección, medición y ensayos.

**Historial** - registros históricos de acciones correctivas y preventivas, mano de obra y material aplicados, costos implicados;

**Tratamiento de datos** - informes de gestión, (índices, gráficos y consultas). Las acciones para la corrección de distorsiones;

Estos criterios y procedimientos, deberán ser detallados involucrando los tipos de documentos, codificaciones, identificación, calificación, flujo de informaciones y métodos adoptados, pudiendo ser utilizados tanto para sistemas manuales como para sistemas automatizados.

En el aspecto de los registros, se explican, en las normas de la ISO serie 9 000, las orientaciones siguientes:

"Deben ser mantenidos registros para procesos, equipos y personal calificado, como apropiado".

"... en un ambiente automatizado, la disposición cuidadosa puede ser igualmente obtenida por otros medios equivalentes, tales como una base de datos informatizada".

#### **1.4.2 Evolución del mantenimiento en Cuba**

En Cuba el mantenimiento también ha tenido sus etapas de evolución, antes del 1959 excepto determinadas industrias, no existía cultura de mantenimiento, se repara contra avería, a partir de 1961 se introduce el mantenimiento preventivo en el Ministerio de Industrias, en 1976 se elaboran las normas de mantenimiento y explotación para las máquinas-herramientas del país; en 1981 se implantan el Sistema de Mantenimiento Preventivo Planificado (MPP); en 1985 se introduce el Mantenimiento por Diagnóstico en el MINBAS en 1989 se introducen el SAM en algunas empresas de la industria mecánica hacia 1991 se introducen el SAM en empresas de la industria textil 1995: Introducción del SAM en empresas del MINIL, ya entre 2002-2004 se Introducen el SAM en Hospitales y Hoteles(Douglas Adolfo García Gómez, 2012).

- ✓ Antes del 1959: Excepto determinadas industrias, no existe cultura de mantenimiento. Se repara contra avería
- ✓ 1961: Introducción de mantenimiento preventivo en el Ministerio de Industrias
- ✓ 1976: Elaboración de Normas de mantenimiento y explotación para las máquinas-herramientas del país
- ✓ 1981: Implantación del Sistema de Mantenimiento Preventivo Planificado (MPP)

- ✓ 1985: Introducción del Mantenimiento por Diagnóstico en el MINBAS
- ✓ 1989: Introducción del SAM en algunas empresas de la industria mecánica.
- ✓ 1991: Introducción del SAM en empresas de la Industria Textil
- ✓ 1995: Introducción del SAM en empresas del MINIL
- ✓ 2002-2004: Introducción del SAM en Hospitales y Hoteles(Hernández, 2008)
- ✓ 2004 Se emplea el mantenimiento preventivo planificado y se dan primeros pasos con las estrategias modernas como el mantenimiento centrado en la confiabilidad (Plucknette, 2010).
- ✓ 2011 en lo adelante como parte de la actualización del modelo económico se traza como política priorizar la reactivación del mantenimiento industrial, incluyendo la producción y la recuperación de partes, piezas de repuestos y herramientas.(PCC, 2011).

### **1.4.3 Sistema de mantenimiento en las centrales de generación distribuida en Cuba**

La generación distribuida en Cuba tiene aprobado para todos los equipos de la cadena de producción el mantenimiento preventivo planificado (MPP) utilizando para ello las matrices bases acordadas en manual de generación.(GEDCU, 2009)

El sistema de mantenimiento preventivo planificado posibilita tener una información actualizada de la situación de cada equipo a partir de: los elementos de régimen de operación revisados previo al mantenimiento, la inspección visual y la corroboración de parámetros y ajustes hechos durante la intervención, así como el comportamiento del equipo a la salida del mantenimiento con la medición de los parámetros para la puesta en explotación nuevamente.(GEDCU, 2009)

Los mantenimientos se tienen que realizar bajo regulaciones, instrucciones e inspecciones que garantizan la calidad de la ejecución, entregando el equipo sin limitaciones ni restricciones para su operación.

Para la ejecución del mantenimiento las partes de mantenimiento y operación coordinan el trabajo a realizar, la empresa mantenedora discute con la empresa de generación el volumen final de trabajo a ejecutar, el cronograma de ejecución del

mantenimiento incluyendo el personal a utilizar y la calificación de estos, los materiales a utilizar y piezas de repuesto dejando acta de los acuerdos tomados para la ejecución.(GEDCU, 2009)

Como concepción del mantenimiento de forma general este se organiza en 5 sistemas (GEDCU, 2009):

1. Sistema generador que incluyen los siguientes equipos: motor-generador así como su esquema electro-automático asociado.
2. Sistema de combustible, lubricante y residuales que incluyen los siguientes equipos: bombas, separadores centrífugos, tanques de combustible, cubetos, válvulas, sistemas de drenaje, trampas de tratamiento de residuales, esquemas de tuberías y esquema electro-automático asociado.
3. Sistema de vapor que incluye: caldera, bomba, conductos de escape, domos, tuberías, válvulas y sistema electro-automático asociado.
4. Sistema de aire comprimido que incluye: compresores, tanques de aire comprimido, tuberías, válvulas y sistema electro-automático asociado.
5. Sistema infraestructura que incluye: contenedores, cerca perimetral, viales, aceras, talleres, edificio administrativo, garitas de los agentes de seguridad, alumbrados, etc.

La responsabilidad de la ejecución y alcance de los mantenimientos es de la empresa explotadora (centrales eléctricas). El mantenimiento tiene que cubrir toda la cadena de producción, desde la recepción de la materia prima hasta la exportación de la energía al sistema. Para las empresas que intervienen en el mantenimiento, su trabajo no termina con la ejecución de este, es decir, su función para con la generación distribuida no es solo ejecutar el mantenimiento, sino mantener una elevada confiabilidad, mantenibilidad de los equipos y por esto será evaluado su desempeño dentro del sistema. Las relaciones entre las empresas de generación y mantenimiento estarán amparadas por contratos firmados, donde se reflejen las responsabilidades de ambas partes, la garantía del trabajo ejecutado, forma de pago, etc. Es de vital importancia considerar la optimización de los recursos humanos, materiales y el alcance de intervenciones según el ciclo de mantenimiento acordado, manteniendo una visión técnica-económica del trabajo a ejecutar.(GEDCU, 2009)

Los objetivos del mantenimiento en el proceso de la generación distribuida son los siguientes (GEDCU, 2009):

- ✓ Mantener una alta disponibilidad en la potencia instalada y mantenibilidad de toda la infraestructura.
- ✓ Ejecutar mantenimientos sobre la base de reposición de elementos por otros nuevos, con personal certificado por los centros de entrenamiento de forma cíclica y utilizando las herramientas especializadas.
- ✓ Lograr cero accidentalidad de los seres humanos y la tecnología, así como minimizar las afectaciones al medio ambiente.
- ✓ El mantenimiento capital al motor diesel se realiza en un taller central y el de fuel en la propia central, se puede contratar que el fabricante participe en el proceso de mantenimiento y las pruebas del grupo, para brindar un nuevo ciclo de garantía.
- ✓ Lograr un desfasaje de los mantenimientos para obtener una curva plana de indisponibilidad por este motivo, a nivel de país, empresa y central.

Una proyección futura de un sistema de gestión de mantenimiento en la generación distribuida es el **Mantenimiento Centrada en la Confiabilidad (MCC) ó Reliability Centered Maintenance (RCM)** por sus siglas en inglés, es una de las estrategias modernas del mantenimiento según su evolución (Penrose, 2010). En el cual un equipo multidisciplinario de trabajo, se encarga de optimizar la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajos definidas, estableciendo las actividades de mantenimiento más efectivas en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, que se estructura bajo principios técnicos económicos, se comienza aplicando un MPP bajo un ciclo acordado con un sistema de recolección de información. Después se realiza una evaluación de la factibilidad de las acciones y se realiza la toma de decisión, de la que sale un plan de mantenimiento, con tareas y periodicidad de estas. Este nuevo plan tiene que ser gestionado.(GEDCU, 2009) .

## **1.5 La evaluación de la gestión energética con enfoque de calidad de procesos**



La Gestión Energética o Administración de Energía, como subsistema de la gestión empresarial abarca, en particular, las actividades de administración y aseguramiento de la función gerencial que le confieren a la entidad la aptitud para satisfacer eficientemente sus necesidades energéticas. Un sistema de gestión energética se compone de: la estructura organizacional, los procedimientos, los procesos y los recursos necesarios para su implementación.

Lo más importante para lograr la eficiencia energética en una empresa no es sólo que exista un plan de ahorro de energía, sino contar con un sistema de gestión energética que garantice el mejoramiento continuo.

Para el éxito de un programa de ahorro de energía resulta imprescindible el compromiso de la alta dirección de la empresa con esa administración.

Debe controlarse el costo de las funciones o servicios energéticos y no solo el costo de la energía primaria.

La herramienta más utilizada en Cuba para la evaluación de la eficiencia energética es la Tecnología de la Gestión Total de uso Eficiente de la Energía (TGTEE).

La TGTEE consiste en un paquete de procedimientos, herramientas técnico-organizativas y software especializado, que aplicado de forma continua y con la filosofía de la gestión total de la calidad, permite establecer nuevos hábitos de dirección, control, diagnóstico y uso de la energía, dirigidos al aprovechamiento de todas las oportunidades de ahorro, conservación y reducción de los costos energéticos en una empresa.

Su objetivo no es sólo diagnosticar y dejar un plan de medidas, sino esencialmente elevar las capacidades técnico-organizativas de la empresa, de forma tal que esta sea capaz de desarrollar un proceso de mejora continua de la eficiencia energética.

La TGTEE incorpora un conjunto de procedimientos y herramientas innovadoras en el campo de la gestión energética. Es particularmente novedoso el sistema de control energético, que incorpora todos los elementos necesarios para que exista verdaderamente control de la eficiencia energética.

La TGTEE permite, a diferencia medidas aisladas, abordar el problema en su máxima profundidad, con un concepto de sistema, de forma interrumpida y creando una cultura técnica permite el auto desarrollo de la competencia

alcanzada por la empresa y sus recursos humanos. La prueba de necesidad es el primer paso para implantar un sistema de gestión total por la eficiencia energética de la empresa.

Algunas de las herramientas utilizadas por la TGTEE son utilizadas con frecuencia en los análisis de la gestión de la calidad de procesos.

Se considera a la clásica *Guide to Quality Control* (1972), de Ishikawa como el primer manual de formación sobre herramientas para solucionar problemas presentados específicamente para su uso en la mejora. Los equipos de mejora de la calidad que dominen estas herramientas estarán bien preparados para enfrentarse a la mayoría de los problemas (Juran, 2001).

**Diagrama de dispersión**, herramienta para dibujar las relaciones entre dos variables y determinar si existe una correlación entre ellas que pueda indicar una relación causa-efecto, (o indicar que no existe esa relación causa-efecto),(Cantú Delgado, 2001; Consultores Aiteco; Gutiérrez Pulido, 2009; Sociedad Latinoamericana para la Calidad, 2000).

**Hoja de verificación**, que consiste en una recogida de datos para arrojar luz sobre un problema en cuestión y clasificar las fallas detectadas (Colectivo de autores; Consultores Aiteco; Sociedad Latinoamericana para la Calidad, 2000).

**Diagrama de Pareto**, se trata de una herramienta utilizada para establecer prioridades, dividiendo los efectos concurrente en unos “pocos vitales” y “muchos útiles” (Consultores Aiteco; Juran, 2001; Sociedad Latinoamericana para la Calidad, 2000). Wilfredo Pareto (1848 -1923) fue un sociólogo y economista italiano de principios de siglo que intentó aplicar las técnicas de las matemáticas abstractas a los fenómenos socio-económicos. Al realizar un estudio sobre la distribución de la propiedad de la tierra observó que, aproximadamente el 20% de los terratenientes eran propietarios del 80% de las tierras. Esta proporción vio que se cumplía en otras distribuciones de la vida normal, lo cual dio lugar a la “Ley 80-20”, según la cual, en muchos casos el 80% de los efectos está producido por el 20% de las causas (Fernández Hatre).

Si aplicamos esta regla a la resolución de problemas, podremos observar que los defectos o las posibilidades de mejora dependientes de causas variadas, suelen

estar influidas en mucha mayor proporción por un pequeño número de causas y que corrigiendo éstas, se obtienen unos resultados casi totales (Fernández Hatre).

Un diagrama de Pareto incluye tres elementos básicos: (1) los contribuyentes al efecto total, ordenados por la magnitud de la contribución; (2) la magnitud de la contribución de cada uno expresada numéricamente, y (3) el efecto acumulado en tanto por ciento del total de los contribuyentes según su orden (Juran, 2001).

Fue Joseph Juran, uno de los clásicos de la calidad de la primera generación y que desempeñó un papel crucial en el movimiento mundial por la calidad quien reconoció que el principio de Pareto también se aplicaba a la mejora de la calidad; como ejemplo mostraba la clasificación del tipo de defectos de diferentes productos, donde había unos cuantos que predominaban. A la representación gráfica de la frecuencia de esos defectos le llamó diagrama de Pareto, que siendo justos debería llamarse diagrama de Juran. En los últimos años se ha evidenciado que el diagrama de Pareto puede aplicarse en casi toda actividad (Gutiérrez Pulido, 2009).

Intentaremos entonces determinar cuáles son las causas que producen la mayor proporción de efectos y centraremos nuestros esfuerzos en eliminar o corregir este pequeño número de causas, al objeto de modificar la mayor parte de los efectos.

El análisis de Pareto es complementario del diagrama de Ishikawa (diagrama al que se hará referencia a continuación), ya que Ishikawa nos relaciona la totalidad de las causas que dan lugar a un efecto determinado, mientras Pareto nos valora dichas causas, señalándonos aquellas sobre las que hay que actuar de forma prioritaria (Fernández Hatre).

El diagrama de Pareto es un método poderoso para mejorar la calidad. Se puede aplicar a la identificación de problemas y a la medición del avance (Besterfield, 2009).

Al representar estos datos por medio de una gráfica, en la que las barras se ubiquen de izquierda a derecha en forma decreciente, de acuerdo con la frecuencia, obtenemos el diagrama de Pareto, donde la escala vertical izquierda está en términos de cantidad de averías por áreas y la vertical derecha en porcentajes de 0 a 100 para que con base en ésta se pueda evaluar la incidencia de cada área respecto a las demás, en términos porcentuales. La línea arriba de las barras representa la magnitud acumulada de los porcentajes de las averías hasta completar el total.

**Diagrama causa y efecto** (C&E), figura formada por líneas y símbolos cuyo objetivo es representar una relación significativa entre un efecto y sus causas (Cantú Delgado, 2001; Consultores Aiteco; Juran, 2001; Mora Gutiérrez, 2006). A este diagrama se le conoce también como diagrama de espina de pescado, por su forma; como diagrama de Ishikawa, por la persona que le dio origen, Kaoru Ishikawa en 1943, uno de los principales impulsores de la calidad en Japón y en todo el mundo (Besterfield, 2009).

El diagrama de causa y efecto tiene aplicaciones casi ilimitadas en investigación, manufactura, ventas, operaciones de oficina, etc. Uno de los puntos más fuerte es la participación y contribución de todos los que intervienen en el proceso de lluvia de ideas. Los diagramas son útiles para (Besterfield, 2009):

1. Analizar las condiciones reales con el objetivo de mejorar la calidad del producto o servicio, utilizar los recursos con más eficiencia y reducir los costos.
2. Eliminar las condiciones que causan productos o servicios no conformes y quejas de clientes.
3. Estandarizar las operaciones existentes y propuestas.
4. Educar y adiestrar al personal en la toma de decisiones y las actividades de acción correctiva.

**La función de pérdida de Taguchi** establece la pérdida que la sociedad sufre como consecuencia de la mala calidad a partir de una expresión introducida por el doctor Genichi Taguchi (Cevallos Ampuero, 2010).

## **1.6 Evaluación de la gestión del mantenimiento. Índices de clase mundial del mantenimiento**

Para facilitar la evaluación de las actividades del mantenimiento, permitir tomar decisiones y establecer metas, deben ser creados informes concisos y específicos formados por tablas de índices, algunos de los cuales deben ir acompañados de sus respectivos gráficos, proyectados para un fácil análisis y adecuado a cada nivel de gestión (Tavares Lourival, 2002).

Los índices clase mundial son calculados a través de fórmulas comunes en todos los países (Amendola; Douglas Adolfo García Gómez, 2012; Pauro). De los seis "índices clase mundial" que el autor empleará en este trabajo, cuatro son los que se refieren al Análisis de la Gestión de Equipos y dos a la Gestión de Costos (Amendola; Tavares Lourival, 2002).

Estos indicadores estandarizados para medir la gestión del mantenimiento con la finalidad de hablar un mismo lenguaje sobre la manera de medir la gestión de la empresa y son los empleados por las empresas líderes a nivel mundial de manera de seleccionar indicadores que redujeran los costes de gestión, permitir efectuar estudios de comparación (Benchmarking) y determinar una clara relación entre el indicador y la producción a fin de identificar oportunidades de mejoras (Colectivo autores., 2015).

Existen una gran cantidad de autores que han sentido interés en tratar de darle solución a los problemas del control del mantenimiento dado el papel tan importante que juega este en las diferentes empresas. Uno de los principales documentos sobre el tema es el realizado por Tavares [2000], donde plantea una serie de indicadores los cuales son divididos en cuatro grupos fundamentales. Otros autores [Amendola, 2002; Galvão Zen, 1998; Gusmão, 2001; Navarrete Pérez y Gonzáles Martín, 1986; Navarrete Pérez y Hernández Cruz, 2001] además de las coincidencias con Tavares [2000] también proponen otros índices como es el caso de la Confiabilidad Operacional, Utilización, Mantenibilidad, Tiempo Medio de Vida, una serie de elementos primarios con los cuales se pueden calcular un grupo importante de indicadores para un mejor control del mantenimiento, entre otros.(Alfonso LLanes, 2006)

En el diagnóstico del mantenimiento son utilizados varios índices pero los más referidos en la bibliografía son los índices clase mundial.

#### Tiempo promedio entre fallas (TPEF)

Relación entre el producto del número de ítems por sus tiempos de operación y el número total de fallas detectadas, en esos ítems en el periodo observado.

Este índice debe aplicarse a ítems que son reparados después de la ocurrencia de una falla.

#### Tiempo promedio para reparación (TPPR)

Relación entre el tiempo total de intervención correctiva en un conjunto de ítems con falla y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el período observado. Utilizar en ítems para los cuales el tiempo de reparación o sustitución es significativo, en relación al tiempo de operación.

#### Tiempo promedio para fallas (TPPF)

Relación entre el tiempo total de operación de un conjunto de ítems no reparables y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el período observado.

Aplíquese este índice a los ítems que son sustituidos después de la ocurrencia de una falla.

#### Disponibilidad del equipo (DISP)

Relación entre la diferencia del número total de horas del período (horas calendario) con el número de horas de mantenimiento (preventivo, reactivo y otros) en cada ítem controlado y el número total de horas del período considerado.

La disponibilidad del equipo representa el porcentual del tiempo que los activos quedan a disposición del sistema de operación para producción.

#### Costos de Mantenimiento por producción (CMP)

Relación entre el costo total de mantenimiento y la cantidad de unidad de producción.

#### Costo de mantenimiento preventivo (CMPP)

Relación entre el costo total de mantenimiento preventivo planificado y el costo total del mantenimiento.

### **1.7 Particularidades de la provincia de Sancti Spíritus. Tendencias actuales**

La situación de Sancti Spíritus no dista mucho de la situación general del país y como en las demás provincias se han trazado las estrategias y premisas de la campaña para el ahorro energético.

La provincia de Sancti Spíritus en su infraestructura energética cuenta con 155,7 kilómetros de líneas de 220kV, 173.6 de líneas de 110kV, 582.9 de líneas de subtransmisión a 33kV y una red de distribución primaria con 1879 kilómetros a 13 kV y 270,6 kilómetros a 4kV.

Igualmente ha sido protagonista de las medidas y acciones realizadas durante el desarrollo de los programas de la Revolución Energética, se lleva a cabo un

programa de rehabilitación de redes eléctricas, se han construido dentro de las estrategias y tendencias fundamentales obras como subestación de transformadores de 110/13 kV que se encuentran distribuidas en la geografía espirituana: dos en el municipio cabecera, una en Cabaiguán y otra en Yaguajay; se culminó la subestación de 220kV que enlaza a la provincia con los circuitos de este nivel de voltaje del país, se han instalados en centros altos consumidores grupos de emergencia, creando microsistemas asilados disponibles para asumir la demanda de energía eléctrica del lugar. También se inserta en la estrategia de pasar de una generación concentrada en algunos puntos a una generación distribuida a base de motores de combustión interna con baterías de motores Diesel, en los municipios de Fomento, Jatibonico, Trinidad y Yaguajay, cuenta con dos centrales eléctricas de fuel oil con tecnología MAN B&W Diesel, de nacionalidad Alemana, una planta en el municipio cabecera y otra en el municipio Trinidad, con 5 y 4 motores respectivamente, actualmente está pendiente de culminación una nueva central ubicada en el municipio de Cabaiguán que cuenta con la ejecución de las obras civiles y en espera del arribo equipamiento tecnológico para su puesta en explotación.

Las plantas de fuel oil cuentan con un tiempo de explotación de ocho años desde que comenzaron en Mayo del año 2007, con una capacidad por motor de 3.85 mWh. La Dirección de Generación Distribuida de la provincia, dispone de dos Unidades Empresariales de Base, una para las plantas de generación diesel y otra para las de generación a partir de fuel oil, es la encargada de implementar un sistema de gestión que permita establecer y normar la nueva forma de explotar y controlar este tipo de generación, más cerca del consumidor de electricidad. Por las características de esta generación se prevé la disminución de las pérdidas eléctricas, así como la mejora sustancial de los costos, al tener mejores índices de eficiencia energética según las experiencias consultadas internacionalmente.

### **Conclusiones parciales**

1. Se demostró la importancia de la gestión por procesos como estrategia de mejora de los indicadores, en las distintas actividades, de las organizaciones.

2. Se demostró la importancia de la generación distribuida con el fin de apoyar a las centrales termoeléctricas en la generación: se reducen las pérdidas de transmisión y distribución de energía, se mejora la eficiencia global y el aprovechamiento de la energía primaria, se reduce la vulnerabilidad del SEN a fenómenos climatológicos, se reducen los impactos de fallas en las redes de transmisión, se incrementa la diversidad de combustibles y fuentes de energía entre otras.
3. Se demuestra la utilidad de las herramientas básicas de la calidad para evaluar la eficiencia energética de los procesos.
4. Importancia de los indicadores de clase mundial del mantenimiento para medir la gestión del mismo.



## **Capítulo 2. Materiales y métodos**

### **2.1 Procedimiento para el desarrollo de la investigación**

Para lograr los objetivos propuestos en la investigación, se desarrollaron dos diagnósticos, uno referente a la gestión energética y otro a la gestión del mantenimiento para poder evaluar su interrelación y se siguió el siguiente procedimiento:

1. Se caracterizó la unidad objeto de estudio desde el punto de vista organizativo y de sus características tecnológicas para la producción.
2. Se diagnosticó la gestión energética con la utilización de herramientas básicas de la calidad.
3. Se diagnosticó la gestión del mantenimiento a través de gráficos de control y del cálculo de los índices de Clase mundial.
4. Después de evaluar las interrelaciones de los resultados de ambos diagnósticos y utilizando la herramienta Análisis modal de fallos y sus efectos (AMFE) para determinar las actividades que pueden estar sometidas a una propuesta de mejoras dentro del sistema de gestión del mantenimiento.

### **2.2 Diagnóstico de la gestión energética de la central**

Para la realización del diagnóstico de la gestión energética de la central se empleó la base estadística tanto del sistema automático de la sala de control, y los datos del sistema de gestión del mantenimiento, *SGestMan*, (comprendida entre los años de 2012 y 2014). Para su desarrollo se utilizaron herramientas básicas de calidad como son: Diagrama de dispersión, hoja de verificación, diagrama de Pareto, diagrama causa-efecto, y la función pérdida de Taguchi.

#### **2.2.1 Diagrama de dispersión:**

Es la representación gráfica de la relación entre dos variables una de ellas suele ser la controlable (la disponibilidad de la potencia instalada) y la otra la variable dependiente (índice de consumo). Los puntos que se grafican son pares ordenados (x, y) de las variables. Es la forma más sencilla de determinar si existe una relación

de causa a efecto entre dos variables (Concepción Díaz, 2012; Consultores Aiteco; Gutiérrez Pulido, 2009).

Los patrones más comunes que pueden seguir el conjunto de puntos en un diagrama de dispersión se abordan a continuación: si los puntos están dispersos dentro de una banda horizontal sin ningún orden aparente entonces no existe ninguna relación entre las dos variables. Por el contrario, si los puntos siguen algún patrón bien definido, es probable que exista una relación por ejemplo la correlación lineal positiva ocurre cuando X crece, también lo hace la Y en forma lineal. Si los puntos siguen la tendencia de una línea pero menos definida (con dispersión en el sentido vertical), entonces se habla de una correlación positiva más débil (Gutiérrez Pulido, 2009; Juran, 2001).

La correlación negativa se muestra cuando X crece, Y disminuye en forma lineal y viceversa. Existe no correlación cuando los puntos están dispersos en la gráfica sin ningún patrón u orden aparente a lo largo del eje horizontal, ya que para valores grandes o pequeños de X lo mismo se dan valores grandes o pequeños de Y. También existen patrones intermedios de correlación cuando se aprecian entre los puntos que si hay correlación y que no la hay y no se puede concluir una cosa o la otra con la gráfica. Se dice que hay relaciones especiales cuando los puntos en un diagrama por ejemplo se pueden mostrar una relación curvilínea en forma de parábola de tal forma que conforme X crece, Y también lo hace hasta cierto punto, y después empieza a disminuir.

En general para interpretar un diagrama de dispersión se debe tratar de identificar un patrón bien definido, por ejemplo que los puntos se ajusten a una recta o a una curva. Una vez identificado un patrón se debe examinar si hay algunos puntos aislados que no se ajusten a tal patrón, en cuyo caso esos datos pueden reflejar alguna situación especial en el comportamiento del proceso o algún tipo de error, ya sea de medición registro o de "dedo". En cualquier caso, se debe tratar de identificar la causa que los motivó, porque en ocasiones puede ser información valiosa para mejorar el proceso (Gutiérrez Pulido, 2009).

Se utilizó para la investigación los cambios observados en dos conjuntos diferentes de variables (disponibilidad potencial vs índices de consumo), donde cada elemento

de la muestra se representa mediante un par de valores  $(x_i, y_i)$ . (Consultores Aiteco; Fernández Hatre; Gutiérrez Pulido, 2009). Ver tabla 2.1 donde se muestran los datos con los que se confeccionó el gráfico de dispersión.

Tabla 2.1 Relación de la Potencia disponible vs Índice de consumo mensuales.

Fuente: El autor

Mes	Año 2012		Año 2013		Año 2014	
	Disp. Pot	Índices	Disp. Pot	Índices	Disp. Pot	Índices
Enero	<b>18,1</b>	<b>211,5</b>	<b>17,1</b>	<b>211,5</b>	17,8	210,1
Febrero	18,4	211,3	14,2	211,5	17,4	209,8
Marzo	<b>18,5</b>	<b>211,3</b>	14,2	211,3	18,5	209,8
Abril	<b>18,3</b>	<b>211,4</b>	11,2	211,3	17,9	208,6
Mayo	8,6	211,3	13,9	211,5	17,3	208,8
Junio	14,2	211,9	15,3	211,5	17,2	208,8
Julio	15,4	211,4	<b>17,2</b>	<b>211,6</b>	16,8	209,9
Agosto	14,6	211,6	<b>17,4</b>	<b>212,1</b>	16,3	210,3
Septiembre	<b>16,4</b>	<b>213,3</b>	<b>16,7</b>	<b>212,1</b>	15,2	212,8
Octubre	14,7	212,5	<b>16,7</b>	<b>211,1</b>	13,5	213,2
Noviembre	12,7	212,5	16,9	206,5	15,5	211,0
Diciembre	14,9	211,4	17,0	210,6	<b>18,0</b>	<b>211,1</b>

Para realizar el análisis de la correlación se aplicó la Tabla de test de tipo de correlación, ver anexo 1. Primero se calculan los ejes del diagrama, que son resultados de la mediana de cada una de las variables analizadas 15,9 MW para la potencia promedio mensual y 211,1 g/kWh para el índice de consumo de combustible. Se toman la cantidad de puntos de cada cuadrante:

$n_I = 10$

$n_{II} = 10$

$n_{III} = 0$

$n_{IV} = 14$

Se suman la cantidad de puntos de obtenidas entre los cuadrantes I y III y las cantidades entre los cuadrantes II y IV

$n_I + n_{III} = 10$  y se denomina  $n_+$

$n_{II} + n_{IV} = 24$  y se denomina  $n_-$

También se suman ambos resultados y se denomina N que alcanza un valor de 34, con este valor se entra a la tabla de test de correlación y partiendo del valor de  $N = 34$  se busca horizontalmente si hay coincidencia o no del valor  $n+$  o  $n-$  con los valores  $n$  que aparecen en la tabla y se determina el tipo de correlación.

### **2.2.2 Hoja de verificación**

La hoja de verificación es un formato construido para coleccionar datos de forma que su registro sea sencillo, sistemático y que sea fácil analizarlos. Una característica que debe reunir una buena hoja de verificación es que visualmente se pueda hacer un primer análisis que permita apreciar las principales características de la información que se busca. Algunas de las situaciones sobre las que resulta de utilidad obtener datos a través de las hojas de verificación son las siguientes (Aragón González):

- Describir el desempeño o los resultados de un proceso.
- Clasificar las fallas, quejas o defectos detectados, con el propósito de identificar sus magnitudes, razones, tipos de fallas, áreas de donde proceden, etcétera.
- Confirmar posibles causas de problemas de calidad.
- Analizar o verificar operaciones y evaluar el efecto de planes de mejora.

La finalidad última de la hoja de verificación es fortalecer el análisis y medición del desempeño de los diferentes procesos de la empresa y así contar con la información para orientar esfuerzos, actuar y decidir objetivamente. Esto es de suma importancia, ya que en ocasiones en algunas áreas o empresas completas no hay datos ni información de nada. En otros casos el problema no es la escasez de datos; por el contrario, en ocasiones abundan (reportes, informes, registros); el problema más bien es que tales datos están archivados, se han registrado demasiado tarde, se han coleccionado de manera inadecuada o no hay el hábito de analizarlos y utilizarlos de manera sistemática para tomar decisiones, por lo que en ambos casos el problema es el mismo: no se tiene información para direccionar objetiva y adecuadamente los esfuerzos y actividades en una organización. (Cantú Delgado, 2001; Gutiérrez Pulido, 2009).

En el caso de estudio se realizó una tabla, ver anexo 2, donde se refleja la situación que se presentó alrededor de cada uno de los puntos del cuadrante I, se indagó que había ocurrido, que motor o motores habían fallado o si hubo otro tipo de averías en otra área, etc. Se expuso de forma organizada la totalidad de días fuera de servicio de cada motor y su causa, lo que permite analizar de forma visual y sencilla cada uno de los diez puntos representados.

### 2.2.3 Diagrama de Pareto

Con su empleo se identificó qué área o áreas, de acuerdo con las cantidades de averías, tenían una mayor contribución en la indisponibilidad de la central.

Mediante el diagrama de Pareto se pueden detectar los problemas que tienen más relevancia mediante la aplicación del principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales) que dice que hay muchos problemas sin importancia frente a solo unos graves. Ya que por lo general el 80% de los resultados totales se originan en el 20% de los elementos. (Aragón González; Cantú Delgado, 2001; Colectivo de autores; Juran, 2001; Mora Gutiérrez, 2006)

Para la confección del diagrama de Pareto partimos de las tablas resúmenes de las averías ocurridas en la central en cada uno de los años analizados (2012-2014) ver anexo 3, aportados de la estadística del *SGestMan* a partir de estos datos se construyó el diagrama de Pareto de forma general donde se tuvieron en cuenta la totalidad de las averías en el periodo que se analizó ver tabla 2.2. En la misma aparecen presentados los las averías en cada uno de los sistemas de la central según clasificación del *SGestMan*, donde

M-G: área motor generador

E. Aux: Equipos auxiliares

T. Comb.: área de tratamiento de combustible

R. Comb: área de recepción de combustible

T. H<sub>2</sub>O: planta de tratamiento de agua

Tabla 2.2 Total de averías en los sistemas de la central.

<b>Cantidad de Averías por sistemas de la central en el período 2012-2014.</b>							
Sistemas	M-G	E. Aux.	T. Comb	R. Comb	T.H2O	Otros	Total

Frec. Abs (Averías)	266	114	55	31	19	10	495
% Frec. Relativa	53,74	23,03	11,11	6,26	3,84	2,02	100
Frec. Real Acum	53,74	76,77	87,88	94,14	97,98	100,00	-

Fuente: El autor

#### **2.2.4 Diagrama causa y efecto**

El diagrama causa - efecto ilustra la relación entre las características (los resultados de un proceso) y aquellas causas que, por razones técnicas, se considere que ejercen un efecto sobre el proceso. Casi siempre por cada efecto hay muchas causas que contribuyen a producirlo. El efecto es la característica de la calidad que es necesario mejorar. Las causas por lo general se dividen en las causas principales de métodos de trabajo, materiales, mediciones, personal y entorno (Aragón González; Cantú Delgado, 2001; Colectivo de autores; Juran, 2001; Mora Gutiérrez, 2006).

Además de este método del diagrama denominado de las 6M's, el más común y que será el empleado en este trabajo, existen otros tipos a los cuales solo se les hará mención, su empleo depende de cómo se buscan y se organizan las causas en la grafica para confeccionar el diagrama y se denominan método flujo del proceso y el método de estratificación o enumeración de causas (Gutiérrez Pulido, 2009).

Esta herramienta al centrar su atención en las causas de un problema específico de un modo estructurado y sistemático permite a un equipo de solución de problemas clarificar su pensamiento sobre las causas potenciales y le permite trabajar más productivamente en el descubrimiento de la verdadera causa o causas raíz. (Juran, 2001)

Para la confección del diagrama se identifican las causas principales y el efecto o el problema de calidad por el equipo del proyecto a continuación se determinan las causas menores o secundarias en sesión o sesiones de trabajo del equipo de lluvia de ideas. Es una técnica para estimular ideas que se adaptan bien al diagrama y aprovecha la capacidad de pensamiento creativo del equipo.

Una vez que se completa el diagrama de causa-efecto éste debe ser evaluado para determinar las causas más probables (cuatro o cinco). Entre los criterios para juzgar las soluciones posibles se encuentran costo, factibilidad, resistencia al cambio, consecuencias, entrenamiento, etc.

En el caso de estudio se formó un equipo integrado por operadores, especialistas del área de mantenimiento y técnicos vinculados a la central (automático, mantenimiento, operaciones, químicos del laboratorio), todos con varios años de trabajo, cuyo análisis y criterios fueron muy valiosos; quienes clasificaron y sometieron a votación según su experiencia, conocimientos y empleando una escala del tipo 5,3,1 (Gómez Avilés, 2007) valorando, con 5 (la causa que se considere más importante), 3 (la de mediana importancia) y 1 (la de menos importancia) después de la votación se suman los puntos y el grupo deberá enfocarse a las causas que recibieron más puntos y por tanto impliquen variaciones en el índice de consumo de combustible.

La información para identificar las categorías de las causas principales y subcausas (Aragón González; Consultores Aiteco; Gutiérrez Pulido, 2009) que, influyen en la variabilidad del índice de consumo y su prioridad, se obtuvo por criterios de expertos, ver tabla 2.3

Tabla 2.3. Evaluación según expertos de la importancia las distintas causas que deterioran el índice de consumo.

Causas/ Espec.	Esp Aut.	Esp Mtto	Esp Oper	Esp. Cal.	Qui 1	Qui 2	Tec Mtto	Oper 1	Oper 2	Oper 3	Oper 4	Total
Errores medición y toma de datos	3	1	1	5	5	5	5	1	3	1	5	35
Falta de capacitación	3	3	3	3	3	3	5	3	5	1	3	35
Errores de operación	5	3	5	5	5	5	3	3	5	5	3	<b>47</b>
Violar proced.	3	3	3	5	3	3	3	5	3	5	5	41
Operar fuera de parámetros	5	5	5	3	3	3	5	1	5	5	5	<b>45</b>
Regímenes inad.	5	5	3	3	3	3	5	5	5	3	5	<b>45</b>
Incumplir ciclos de mtto	5	5	3	5	5	1	5	5	5	3	3	<b>45</b>
Déficit de vapor	3	3	5	3	5	3	5	5	5	5	5	<b>47</b>
Calidad y	3	5	3	5	3	5	5	5	5	5	5	<b>49</b>

ajuste de inyectores												
Combustible fuera de parámetros	5	5	5	3	3	3	5	5	5	3	3	<b>45</b>
Cambios climatol.	1	1	1	1	5	1	3	5	3	3	1	25

Fuente: El autor.

### 2.2.5 Función de pérdida de Taguchi

La mayor parte del cuerpo de conocimientos relacionados con las ciencias de la calidad fue desarrollado en el Reino Unido, como diseño de experimentos, y en Estados Unidos, como control estadístico de la calidad. En fecha más reciente, Genichi Taguchi, ingeniero mecánico que ganó cuatro Premios Deming, contribuyó a aumentar este cuerpo de conocimientos. En particular, introdujo el concepto de la función de pérdida donde se combinan costo, objetivo y variación en una métrica, y las especificaciones tienen importancia secundaria. Además, desarrolló el concepto de robustez, que significa que se tienen en cuenta los “factores de ruido” para asegurar que el sistema funcione en forma correcta. Los factores de ruido son variables no controlables que pueden causar una apreciable variabilidad en el proceso, el producto o el servicio (Besterfield, 2009; Cevallos Ampuero, 2010).

La calidad, antes que por la satisfacción de especificaciones, debe medirse en términos de la así llamada **función de pérdida**, Un producto de calidad es para el cliente aquél que cumple con las expectativas de performance o rendimiento cada vez que lo utiliza, sin fallas y en cualquier condición o circunstancia. Los productos que no cumplen con dichas expectativas causan pérdidas, tanto para los clientes y los productores, como para, eventualmente, el resto de la sociedad. Por esto, para Taguchi, la calidad debe medirse en función de la pérdida que causa: mientras mayor es la pérdida que se produce, menor es la calidad. (Cevallos Ampuero, 2010) .

El doctor Taguchi ha descubierto que la representación cuadrática de la función de pérdida, es una forma eficiente y efectiva para establecer la pérdida debido a la desviación de una característica de calidad del valor meta; esto es la pérdida debida a la mala calidad.

La función pérdida de calidad se expresa con la ecuación siguiente:



$$L(y) = K(y - m)^2 \quad (1)$$

Donde:

$L(y)$  = pérdida en dinero por unidad de producto.

$m$  = valor nominal de "y"

$k$  = constante de proporcionalidad.

Los factores que causan que una característica funcional, como por ejemplo, la eficiencia del combustible, los cambios de presión, la disponibilidad de un equipo, etc., se desvíe de su valor objetivo, se llaman factores de ruido, según los ratios señal-ruido.

En el proceso de generación de la Central Eléctrica los factores de ruido que causan variación y pérdida de calidad, están relacionadas con las averías (disponibilidad) y las causas que deterioren el índice de consumo, por tanto hay que incidir sobre ellos para amortiguar sus efectos y robustecer el proceso de generación eficiente.

En el caso de estudio que nos corresponde se empleó la función pérdida de Taguchi para determinar el rango de operación adecuado para lograr una alta disponibilidad e índice de consumo de combustible más eficiente.

En el proceso de generación de la Central Eléctrica los factores de ruido que causan variación y pérdida de calidad, están relacionadas con las averías (disponibilidad) y las causas que deterioren el índice de consumo, por tanto hay que incidir sobre ellos para amortiguar sus efectos y robustecer el proceso de generación eficiente.

En el caso de estudio que nos corresponde se empleó la función pérdida de Taguchi para determinar el rango de operación adecuado para lograr una alta disponibilidad e índice de consumo de combustible más eficiente.

A partir de las recomendaciones de los fabricantes de los motores y los criterios prácticos de operación se toman los datos que a continuación se plantean para realizar los cálculos de la función de Taguchi:

$$L(y) = K(y - m)^2$$

$$K = A/\Delta^2$$

Donde

$$A = 220 \$ (\text{costo del MW})$$

$\Delta = 0,65$  tolerancia de operar entre un 85% (equivalente a 3,2 MW de la potencia instalada) y un 100% (3,85 MW de la potencia instalada), parámetros recomendados por la literatura, con el cual coincide el autor de acuerdo a los resultados prácticos de operación.

$m = 3,85$  MW valor nominal de la potencia instalada

$y =$  los posibles valores de la potencia instalada que se muestran, ver tabla 2.4

Aplicando la expresión de la función pérdida y se obtiene resultados que son las variaciones proporcionalmente en relación con el valor de índice deseado y se obtiene cada uno de los valores de índices en dependencia de la variación de los valores de potencia según el régimen de trabajo de los motores.

Tabla 2.4 Resultados del cálculo de la función perdida de Taguchi

Valor de y	L(y)	Valor de y	L(y)
4,20	205,06	3,30	208,22
4,10	203,26	3,20	209,80
4,00	201,68	3,10	211,38
3,90	200,50	3,00	212,96
3,85	200,00	2,90	214,54
3,75	200,50	2,80	216,12
3,73	201,68	2,70	217,70
3,60	203,26	2,60	219,28
3,50	205,06	2,50	220,86
3,40	206,64		

Fuente: El autor

## 2.3 Diagnóstico de la gestión del mantenimiento de la central

### 2.3.1 Gráfico de control

Para analizar la gestión del mantenimiento se utilizaron los **gráficos de control** X (barra)–R, con el objetivo de evaluar en uno de los motores, de los dos que trabajaban en el momento de realizar el estudio, la efectividad de los mantenimientos cíclicos (cada 2000 horas), una vez realizados se utilizó la el parámetro, temperatura de los gases de escape antes y después del mantenimiento a las 26000 horas del motor No2. Se seleccionó este parámetro porque en dependencia de su comportamiento se manifiestan otros elementos del motor como las presiones de

encendido, el índice de cremalleras, la calibración de las válvulas y la eficiencia de la quema de la mezcla aire combustible, por lo que constituye un parámetro muy importante, no el único, que por sí solo nos indica cuan efectivo fue la ejecución del mantenimiento planificado.

Los gráficos de control, aunque fueron originalmente desarrollados para aplicaciones de producción y desarrollo industrial, son ampliamente usados en la actualidad en una gran variedad de operaciones de servicio y de apoyo. En esencia, los gráficos de control son una herramienta gerencial para ayudar a determinar si un proceso es estable o si ha cambiado; y son útiles a nivel gerencial, así como también para que el operador pueda ejercer el control en su lugar de trabajo (Oficina Nacional de Normalización, 2000)

En todas las operaciones se presenta una variabilidad inherente debido a causas numerosas, pero generalmente de menor importancia, de tal modo que los resultados observados en un proceso estables no son constantes y se requieren límites estadísticamente válidos para minimizar las decisiones erróneas conducentes al sobrecontrol o al subcontrol.(Oficina Nacional de Normalización, 2000)

Se considera que un proceso se encuentra en un estado de control estadístico si no hay desviaciones sistemáticas afectando el proceso. En esencia, cuando un proceso se encuentra en estado de control es posible predecir confiablemente el comportamiento de ese proceso, mientras que cuando el sistema es afectado por causas especiales o no aleatorias, el proceso está sujeto a los efectos de estas causas y el resultado no se puede predecir sin información acerca de su presencia y su efecto. Si se encuentra que determinado proceso está fuera del control estadístico, se requiere intervención para llevarlo al estado de control (Oficina Nacional de Normalización, 2000).

Es por ello que se hace necesaria la ejecución de acciones correctivas sobre determinados procesos, productos o equipos con el objetivo de restituirle su condición normal para que vuelva estar en estado de control. En nuestro caso de estudio estas acciones están avaladas en las distintas actividades que aparecen reflejadas en la matriz de mantenimiento correspondiente según el ciclo de trabajo.

En este trabajo se utiliza una gráfica X-R de las temperaturas de los gases de escape del motor 2, como se había hecho alusión con anterioridad. Con el mismo se desea apreciar la variación del valor promedio de las muestras de temperaturas. La línea central es el promedio X valores de temperatura es un valor de referencia o valor patrón, por otra lado las líneas externas son los límites de control superior e inferior. Estos límites se establecen para ayudar a juzgar la importancia de las variaciones en la calidad del producto o servicio.

### 2.3.2 Índices de clase mundial del mantenimiento

Los Indicadores de mantenimiento y los sistemas de planificación empresarial permiten evaluar el comportamiento operacional de las instalaciones, sistemas, equipos, dispositivos y componentes de esta manera será posible implementar un plan de mantenimiento orientado a perfeccionar la labor de mantenimiento.

([www.klaron.net](http://www.klaron.net))(Pauro). Esto significa para la función mantenimiento una constante búsqueda de nuevas y novedosas formas de incrementar la confiabilidad, disponibilidad y vida útil de plantas y equipos industriales, siempre a través de un control efectivo de costes. En nuestra investigación se emplean los índices de clase mundial para evaluar la gestión del mantenimiento durante el período que se analiza. Las expresiones de los índices de clase mundial que se utilizan en esta investigación se relacionan a continuación (Sierra, 2009):

#### Tasa de fallas ( $\lambda$ )

$$\Lambda = \text{Cant de fallas} / \text{Cant de hrs operadas} \quad (2)$$

Tabla 2.5 Datos utilizados para el cálculo de  $\lambda$ .

Años	Cant horas oper	Cant fallas
2012	24073	97
2013	16950	61
2014	29977	72

Fuente: Bases de datos SGestMan

#### Tiempo promedio para fallar (TPPF)

$$\text{TPPF} = \text{Cant hrs oper} / \text{Cant de fallas (hr)} \quad (3)$$

Tabla 2.6 Datos utilizados para el cálculo de TPPF.

Años	Cant horas oper	Cant fallas
2012	24073	97
2013	16950	61
2014	29977	72

Fuente: Bases de datos SGestMan

Tiempo promedio para reparar (TPPR)

$$TPPR = \text{Cant. Hrs de fallas} / \text{Cant de fallas (hr)} \quad (4)$$

Tabla 2.7 Datos utilizados para el cálculo de TPPR.

	Cant horas de fallas	Cant fallas
2012	1667	97
2013	577,8	61
2014	416,3	72

Fuente: Bases de datos SGestMan

Disponibilidad (D)

$$D = (TPPF / (TPPF + TPPR)) * 100 \quad (5)$$

Tabla 2.8 Datos utilizados para el cálculo de D.

Años	TPPF	TPPR
2012	248,1	12,03
2013	277.8	9.47
2014	416.3	6.29

Fuente: Bases de datos SGestMan

Costo del mantenimiento por unidades de producción CMUP

Costo de mantenimiento/Unidad de producción= Costo total de mantenimiento/Total de unidades producidas

$$CMUP = CM/UP \quad (6)$$

Tabla 2.9 Datos utilizados para el cálculo de la relación Costo de mantenimiento vs Unidades de producción.

Años	Costo mantenimiento	U/Producción
------	---------------------	--------------

2012	238975.7	78519.98
2013	116514.6	53632.78
2014	114162.7	64036.6

Fuente: Departamento económico EMGEF

#### Costo del mantenimiento preventivo CMP

$$\% \text{Costo de mto preventivo} = \frac{\text{Costo de mto preventivo}}{\text{Costo total de mto}} * 100 \quad (7)$$

Tabla 2.10 Datos utilizados para el cálculo del % Costo mto preventivo

Años	Costo mto prev.	Costo mto total
2012	121814.1	266678.26
2013	116516.6	257856.2
2014	93774.91	241774.6

Fuente: Departamento económico EMGEF

#### **2.4 Análisis modal de fallos y sus efectos (AMFE)**

El análisis de modo de falla y sus efectos (FMEA), según sus siglas en inglés, es una técnica analítica (una prueba escrita) donde se combinan la tecnología y la experiencia de las personas para identificar modos de fallas previsibles en un producto, servicio o proceso y para planear su eliminación. En otras palabras este análisis de modo y efectos de falla se puede describir como un grupo de actividades que pretenden (Marichal Cartaya, 2013; Oficina Nacional de Estadísticas., 2010) :

- Reconocer y evaluar la falla potencial de un producto, servicio o proceso y sus efectos.
- Identificar acciones que pueden eliminar o reducir la probabilidad de que suceda la falla potencial.
- Documentar el proceso.

El análisis de modo de falla y efecto es una acción “antes de que suceda” que requiere un esfuerzo de equipo para aliviar en la forma más fácil y menos costosa los cambios en el diseño y la producción. Hay dos tipos de análisis de modo de falla y

efecto: de diseño y de proceso (Besterfield, 2009; Cantú Delgado, 2001; Desconocido.)

A continuación se muestra un diagrama de flujo sobre la manera en que se realiza un AMFE, ver anexo 4.

## **Conclusiones Capítulo II**

1. Las herramientas aplicadas para la evaluación de la eficiencia energética descritas en la Tecnología de la Gestión Total de uso Eficiente de la Energía (TGTEE), pueden ser aplicables en un estudio para la evaluación de la gestión del mantenimiento y su relación con la eficiencia energética de una Central de generación distribuida.
2. La combinación de la herramienta gráficos de control y los índices clase mundial del mantenimiento permiten realizar una evaluación de la gestión del mantenimiento de una Central de generación distribuida.
3. El análisis modal de fallos y sus efectos también puede ser utilizada para la evaluación de la gestión del mantenimiento.

## **Capítulo III. Análisis de los resultados**

### **3.1 Caracterización de la Central Eléctrica fuel oil de Sancti Spíritus objeto de estudio**

#### Características generales

La Central Eléctrica de fuel oil de Sancti Spíritus, pertenece a la Unidad Empresarial de Base EMGEF (Empresa de Mantenimiento a Grupos Electrónicos de fuel oil) entidad perteneciente a la unión eléctrica y tiene como objeto social la generación de energía eléctrica a partir del uso de combustible fuel oil y mantener una disponibilidad de operación superior al 90%; lo que posibilita la reducción de las pérdidas por transmisión y distribución, disminuye el nivel de averías ocurridas en líneas eléctricas producto de sobrecargas, así como garantiza un servicio fiable y seguro al sector residencial y estatal.

#### Parámetros tecnológicos

La Central Eléctrica (fuel oil) Sancti Spíritus, cuenta con cinco motores de tecnología MAN B&W Diesel, de nacionalidad Alemana, de 3,85 MWh, para una capacidad de generación instalada de 19,25 MWh lo que representa aproximadamente el 60% de la demanda eléctrica de la ciudad, en horario pico, esta tecnología emplea diferentes tipos de combustible Diesel y fuel oil, con un consumo actual entre los 209 y 213 g/kWh. su rango de explotación nominal entre 2,7 a 4,2 MW y su velocidad de giro de 720/750 rpm.(MAN B & W Diesel, 2006)

Tres de los motores con que cuenta la central (motor 1, 3 y 5) tienen acopladas calderas recuperadoras de vapor, las que utilizan los gases de escape de la combustión, para generar el vapor necesario en los distintos procesos de la central principalmente en el procesamiento del fuel oil.

La central cuenta con diferentes equipamientos e instalaciones clasificados en (Gagma, 2009):

- Sistema motor-generator (M-G): comprende todo el equipamiento del motor principal y el generador.
- Equipos auxiliares (E-Aux): incluye centrífugas de aceite, calderas, compresores, deaerador, booster, sistema de recuperación de condensado, sistema de agua de enfriamiento del motor, transformadores, interruptores y cargador de baterías.



- Tratamiento de combustible (T.Comb.): incluye centrífugas de fuel, bombas de combustible, filtros de fuel y diesel.
- Recepción y alimentación de combustible (Rec-Alim.): que incluye bombas del descargadero, flujómetros y tanques de combustible.
- Tratamiento de agua (PTQA): planta de tratamiento de agua, sistema contra incendio, cisterna y bombas de agua.

El proceso de generación se monitorea y controla los distintos parámetros desde la sala de control de forma automática casi la totalidad de sus procesos, además está implementado un sistema de gestión de mantenimiento (*SGestMan*), (Gagma, 2009), establecido en este tipo de plantas por la dirección de generación de la UNE (GEDCU, 2009), herramientas que facilitan la obtención de información para elaborar análisis y estudios de tendencias.

Para el funcionamiento de la planta, se cuenta con cuatro turnos de operadores, técnicos químicos, automáticos, mantenimiento y de operaciones, unidos a los especialistas de la empresa de mantenimiento, en su mayoría con más de cinco años de experiencia laboral en la rama

La planta tiene dentro de las características fundamentales que está sincronizada al sistema de la red nacional, y está diseñada para laborar las 24 horas en dependencia de la demanda eléctrica, lo que proporciona y garantiza gran parte de la energía demandada en el municipio, principalmente en los horarios de máxima demanda. Otra peculiaridad que es de gran importancia y distingue a este emplazamiento es que está diseñada con la posibilidad de generar energía eléctrica de forma aislada, en isla, lo que posibilita que se pueda generar electricidad para instalaciones de producción y servicio en situaciones excepcionales, huracanes, desastres naturales y acciones de la defensa.

#### Estructura administrativa

Cuenta además con una estructura administrativa que se muestra en la figura 3.1, la cual se encarga de cumplir con los aspectos de suministro y operación de generación eléctrica y de garantizar la disponibilidad requerida de acuerdo a su objeto social.

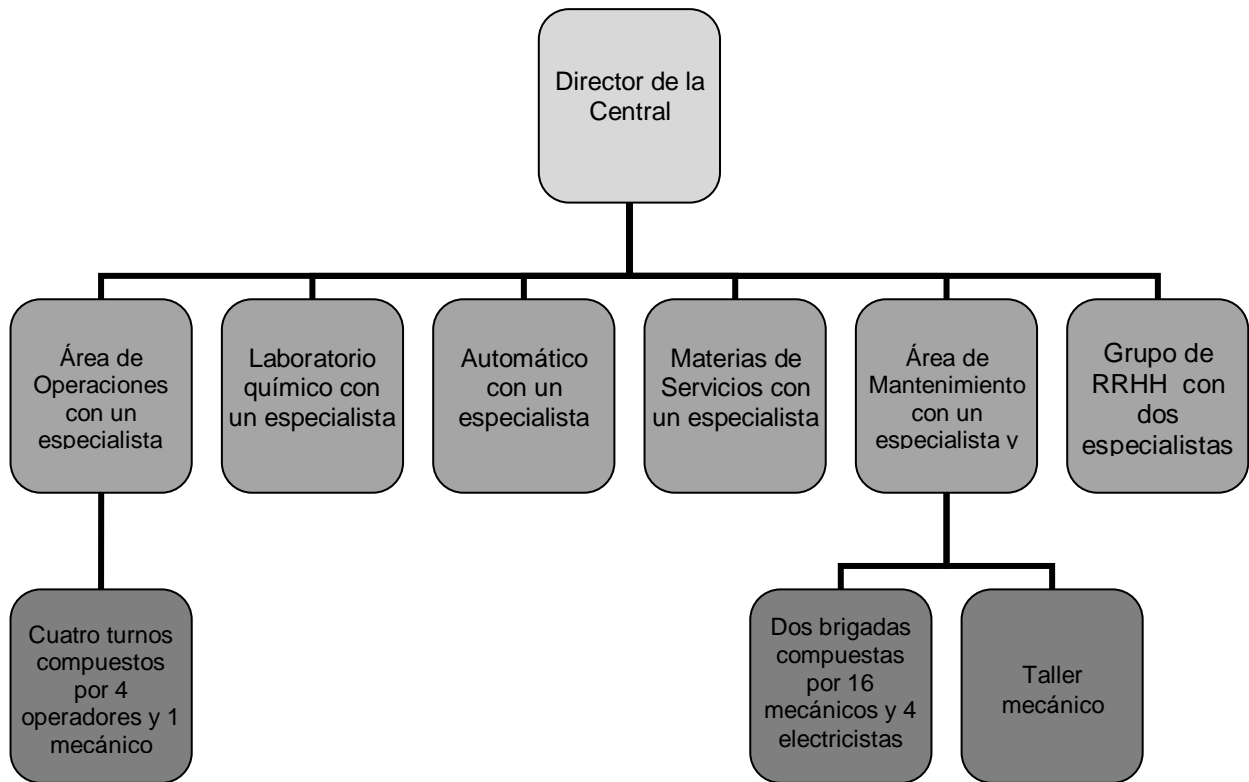


Figura 3.1. Estructura de la Central Eléctrica de Sancti Spíritus (Fuente: El autor).

### Indicadores establecidos para medir la eficiencia en la operación de la central

Los indicadores que definen la eficiencia en la operación de la central son el índice de consumo de combustible y la disponibilidad operacional respectivamente (GEDCU, 2009).

El índice de consumo de combustible se calcula empleando la expresión (8)

$$I_c = \frac{C_{\text{fuel}} \times \rho_{\text{fuel}} + C_{\text{diesel}} \times \rho_{\text{diesel}}}{GB} \quad (8)$$

Donde  $I_c$  (g/kWh) es el índice de consumo de combustible expresado en gramos de combustible consumidos por kilowatt horas generados,  $C$  es el consumo de combustible (fuel oil y diesel) ( $m^3$ ),  $\rho$  es la densidad de los combustibles ( $kg/m^3$ ) y  $GB$  es la energía bruta generada (MW).

La disponibilidad está definida por la expresión (9).

$$Disp = \frac{\text{Potencia.G enerada}}{\text{Potencia.I nstalada}} * 100 \quad (9)$$

Donde la potencia instalada es el total de MW que tiene instalado la central y la potencia generada es el total de MW real generado por unidad de tiempo.

En la central objeto de estudio está establecido como directiva de la dirección de generación distribuida un sistema de gestión del mantenimiento denominado *SGestMan*. Este es un sistema informático para la organización y control de la actividad de mantenimiento en cualquier organización empresarial, tanto para instalaciones de bienes de producción, como de servicios.

Su estructura informática basada en una base de datos con filosofía CLIENTE / SERVIDOR, garantiza una óptima funcionalidad, en redes informáticas, y un adecuado almacenamiento y uso de la información que en ella se registra.

*SGestMan* está integrado por módulos, que se encuentran relacionados entre sí, permitiendo una adecuada distribución de la información con que debe contar cualquier organización de mantenimiento (Gagma, 2009).

A continuación se detallan de manera general las posibilidades de los módulos que integran el sistema:

**PATRIMONIO:** Registro de la información técnica y económica, que forma parte del patrimonio de una instalación empresarial. El módulo propone una flexible metodología de organización de la información, que permite a los usuarios del sistema, contar con un alto nivel de detalles de todo su patrimonio.

**RECURSOS HUMANOS:** Garantiza la definición e introducción de los recursos humanos dentro de la organización empresarial, que realizan funciones de mantenimiento para poder conocer la distribución de los mismos en funciones de mantenimientos, así como los tiempos y costos de los trabajos realizados por los empleados.

**PREVENTIVO:** Módulo concebido para establecer toda la estrategia de mantenimiento preventivo dentro de la instalación. Se incluyen la proyección, programación y planificación de los trabajos preventivos a desarrollar, tanto por ejecutores internos, como contratados. Simulación y generación de planes de mantenimiento, inspecciones periódicas, rutas de inspección y lubricación.

**ORDENES DE SERVICIO:** Permite llevar todo el proceso de generación y seguimiento de las órdenes de servicio, tanto para acciones correctivas, como preventivas. El módulo está previsto para la generación de solicitudes de órdenes de servicio, por partes de clientes de mantenimiento, así como todo el registro de todos los cargos técnicos y económicos a incluir en las órdenes. Registro de consumo de materiales, mano de obra, defectos, causas, acciones, mediciones y lubricación caracterizan las posibilidades de este módulo.

**CONTRATOS:** Módulo que garantiza llevar todo el control de los servicios que se realizan por empresas prestadoras de servicios, en materia de mantenimiento. Conceptos básicos como contratos y tercerización son perfectamente aplicables en este módulo. El registro de órdenes de contratos, permite establecer un adecuado nivel de detalle para conocer este importante elemento de costo de la actividad de mantenimiento.

**INFORMATIVO:** Reportes de salidas con la información manejada en los módulos del sistema. Análisis y evaluación de indicadores de mantenimiento, a partir del uso de herramientas estadísticas, utilización de salidas gráficas.

**ADMINISTRACIÓN Y SEGURIDAD:** Garantiza la operación segura del sistema en una red informática. Control de usuarios y permisos de accesos a módulos y opciones, permite contar con una adecuada compartimentación de la información a manejar dentro del sistema informático.

### **3.2 Diagnóstico de la gestión energética**

Para el diagnóstico de la gestión energética además de evaluar el comportamiento en los últimos tres años de los indicadores de operación de la central se aplicaron herramientas básicas de la calidad.

#### **3.2.1 Diagrama de dispersión**

En el caso de estudio después de realizar el análisis de acuerdo al diagrama de dispersión se obtuvo como resultado que existe una correlación del tipo lineal negativa entre las variables analizadas ver figura 3.2. Se aprecian altos niveles de potencia generada con bajos índices de consumo de combustible. El cuadrante II es la zona adecuada para operar los motores porque existe una correlación de altos

niveles de potencia generada con bajos índices de consumo de combustible que sería el estado deseado. No obstante llama la atención que en el cuadrante I existen varios valores representados en el mismo (10 puntos) lo que infiere un comportamiento atípico de acuerdo a la correlación negativa obtenida en el diagrama, donde se observa que para altos valores de potencia generada se obtienen altos índices de consumo de combustible, para profundizar el análisis de este comportamiento se decide emplear una hoja de verificación, resultados que se muestran en el acápite siguiente.

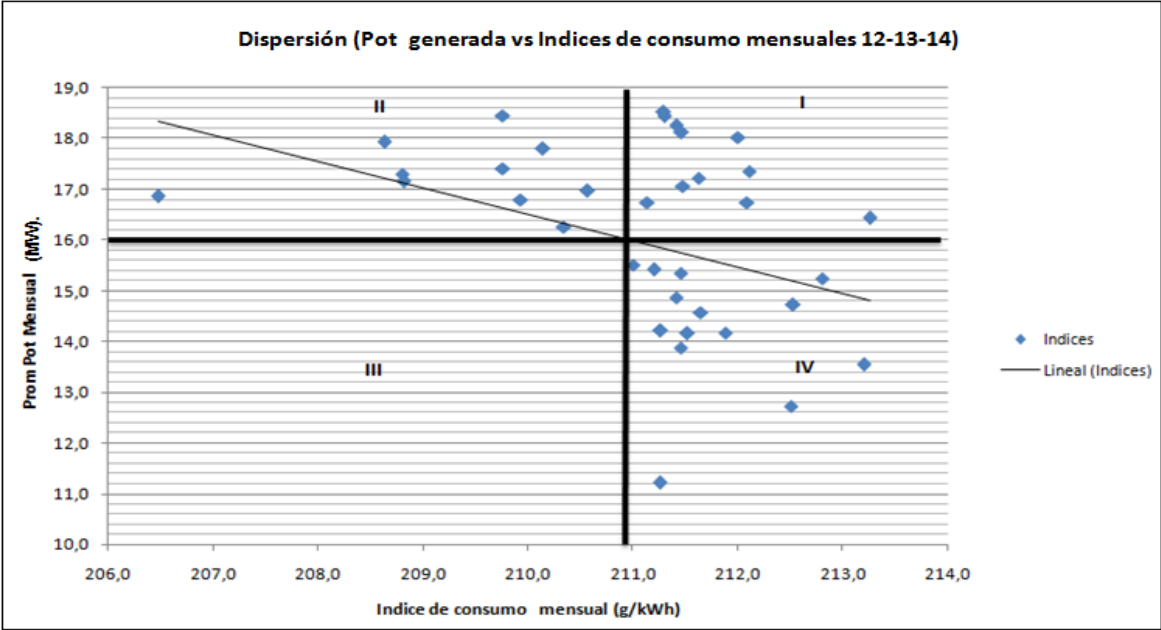


Figura 3.2 Diagrama de dispersión para el análisis de la potencia generada vs índice de consumo.

**3.2.2 Hoja de verificación**

De los resultados de la aplicación de esta herramienta se aprecia como elemento significativo que cada vez que hay un mes con altos índices de consumo estos coinciden con afectaciones de disponibilidad por diversas causas en los motores que tiene acopladas calderas recuperadoras afectándose la generación de vapor, ver anexo 2 y por consiguiente la calidad en el tratamiento del combustible lo que incide directamente variabilidad del índice de consumo de combustible, ver tabla 2.1. Esta es la causa fundamental de los valores representados en el cuadrante I del diagrama de dispersión que representa un escenario no deseado.

### 3.2.3 Diagrama de Pareto

En el diagrama de Pareto que se observa en la figura 3.3 se aprecia que en el área M-G es donde se encuentran los pocos vitales, aquí ocurren la mayor cantidad de averías por tanto es el área donde hay que concentrar los esfuerzos para mejorar la disponibilidad, de la central; similar comportamiento ocurre en cada uno de los años, en el caso de las áreas de equipos auxiliares que se ubica en segundo lugar se descarta porque al igual que en la mayoría de las áreas de la central los equipos que la componen están duplicados y una avería en uno de ellos no provoca indisponibilidad en la central. Este resultado encamina la investigación sobre esta área y se encuentra en ella los análisis correspondientes a la evaluación de la gestión del mantenimiento.

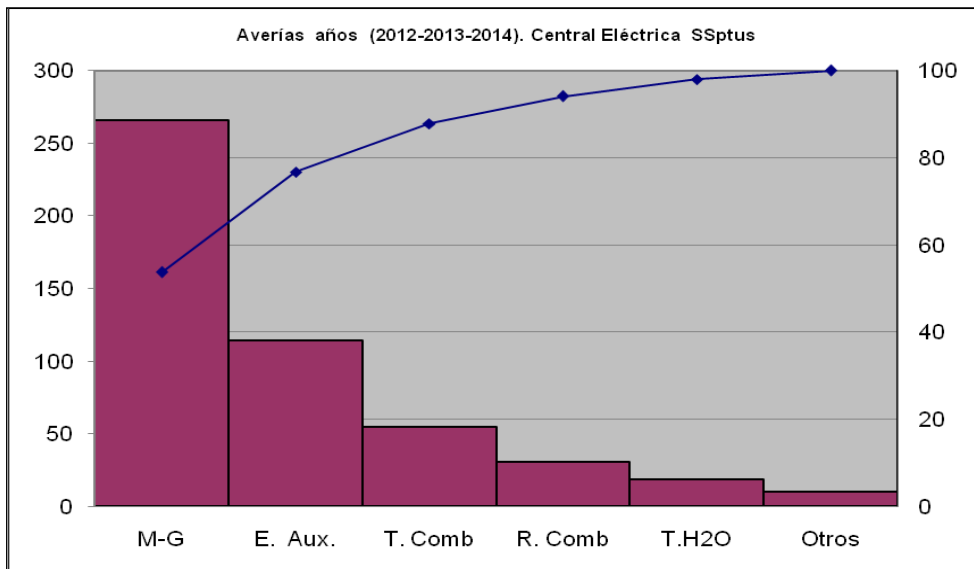


Figura 3.3 Diagrama de Pareto de las averías de la central. Fuente: El autor

- ✓ Sistema motor-generator (M-G)
- ✓ Equipos auxiliares (E-Aux)
- ✓ Tratamiento de combustible (T.Comb)
- ✓ Recepción y alimentación de combustible (Rec-Alim)
- ✓ Tratamiento de agua (PTQA)

### 3.2.4 Diagrama causa efecto

El análisis de causas de la variabilidad del índice de consumo en el sistema motor-generador (M-G), por tener mayor incidencia en la disponibilidad de la generación de la potencia instalada y existir una correlación del tipo negativa, entre estos dos parámetros, se presenta en la figura 3.4

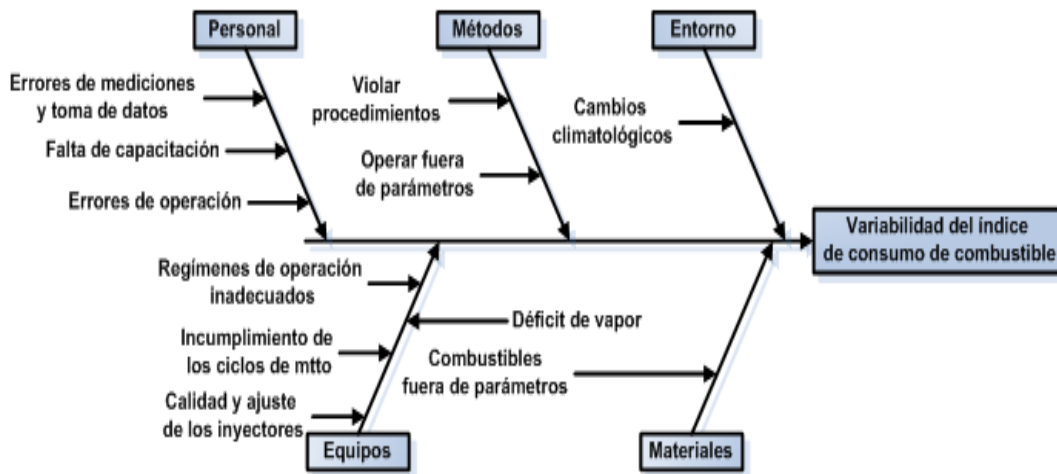


Figura 3.4 Diagrama causa efecto de la variabilidad del índice de consumo

Fuente: El autor

Se determinó según la valoración de expertos, ver tabla 2.4, el orden de importancia de las principales causas que inciden en la variabilidad del índice de consumo de combustible:

- Calidad y ajuste de inyectores.
- Déficit de vapor.
- Errores de operación.
- Operar fuera de parámetros.
- Regímenes inadecuados.
- Combustible fuera de parámetros.

Como se aprecia en el gráfico las principales subcausas que inciden en la variabilidad del indicador de eficiencia energética (índice de consumo de combustible) son las referidas al personal y a los equipos, este es un elemento importante para considerar a la hora de realizar la propuesta de mejoras al sistema de gestión del mantenimiento.

### 3.2.5 Función pérdida de Taguchi

Los resultados de la aplicación de esta herramienta demuestran que la Central de generación es más eficiente energéticamente a partir del índice de consumo de combustible cuando opera en un rango de potencia entre un 85 al 100 % del valor nominal (3,85 MW) ver figura 3.5. Se define como un rango aceptable de operación que no compromete la eficiencia energética la operación entre 3,1 y 3,85 MW donde se logran índices de consumo de combustible entre 200 y 212 g/Kwh que están en correspondencia con los parámetros referidos por el fabricante. Es importante destacar que para el caso de esta central no siempre se cumple esto, operando en varios momentos con valores de generación por debajo del recomendado lo cual se apreció los resultados obtenidos en el diagrama de dispersión. Una de las principales causas de esta operación ineficiente es la ocurrencia de averías o deficiencia en las acciones de mantenimiento ejecutadas, es por ello que a continuación se evaluara la gestión del mantenimiento de dicha Central.

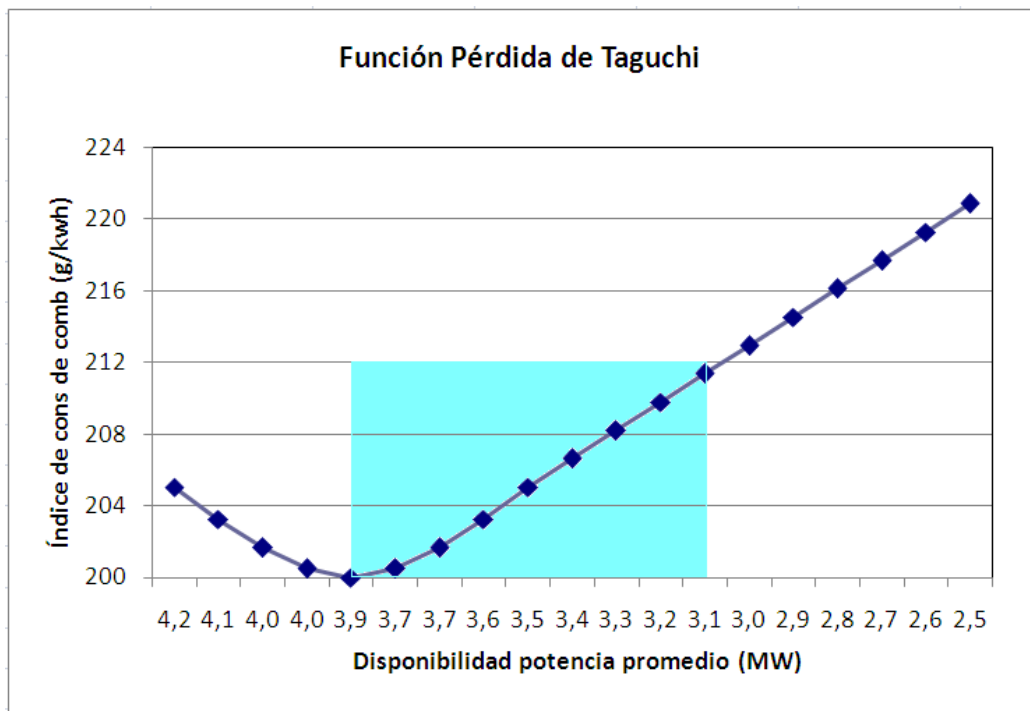


Figura 3.5 Función pérdida de Taguchi. Fuente: El autor

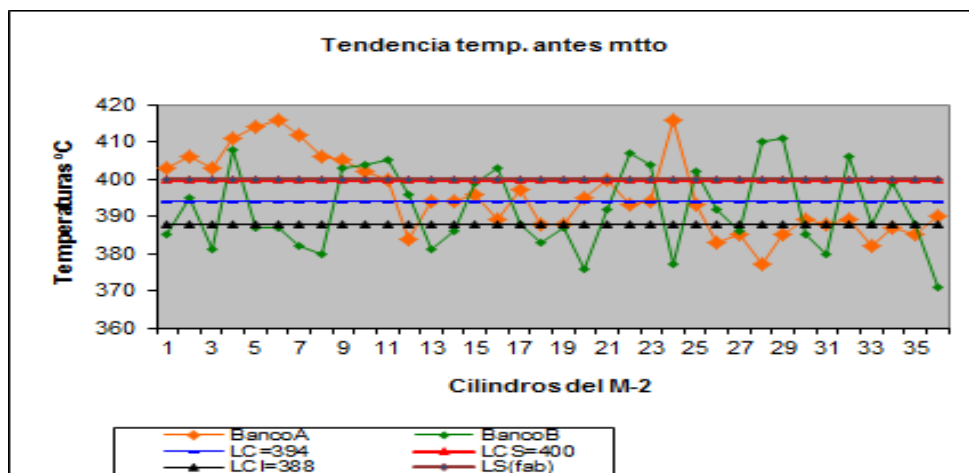
### 3.3 Diagnóstico de la gestión de mantenimiento

#### 3.3.1 Gráficos de control



Para evaluar la efectividad de la actividad del Mantenimiento como se explicó en el Capítulo II se analizó el comportamiento de la temperatura de los gases de escape en cada cilindro de un motor que fue sometido a mantenimiento de 26 000 horas. Los datos para la elaboración del gráfico fueron tomados días antes del mantenimiento y después de ejecutado el mantenimiento. Se tomaron 4 valores de temperatura por cada cilindro por lo que este número es mi tamaño de la muestra con este valor voy a la tabla de los Factores de los gráficos de control por variables, ver anexo 5 y determino las constantes  $A_2$ ,  $D_3$ , y  $D_4$ . Con estas constantes y los datos de temperaturas de los cilindros se está en condiciones de calcular la línea de control central (LC), los límites de control superior (LCS) y límite de control inferior (LCI) para armar el gráfico de control ver anexo 6.

Como se aprecia en la figura 3.6 de tendencia de las temperaturas el comportamiento de ambos bancos esta fuera de control en más de un 60 % de las mediciones realizadas y con diferencias notables entre los cilindros 1, 2 y 3 con respecto al resto de los cilindros. En la figura 3.6 referente a la variabilidad de los rangos de temperaturas de los gases de escape a la salida de cada cilindro se puede apreciar que estos están comprendidos entre 5 y 25 °C.



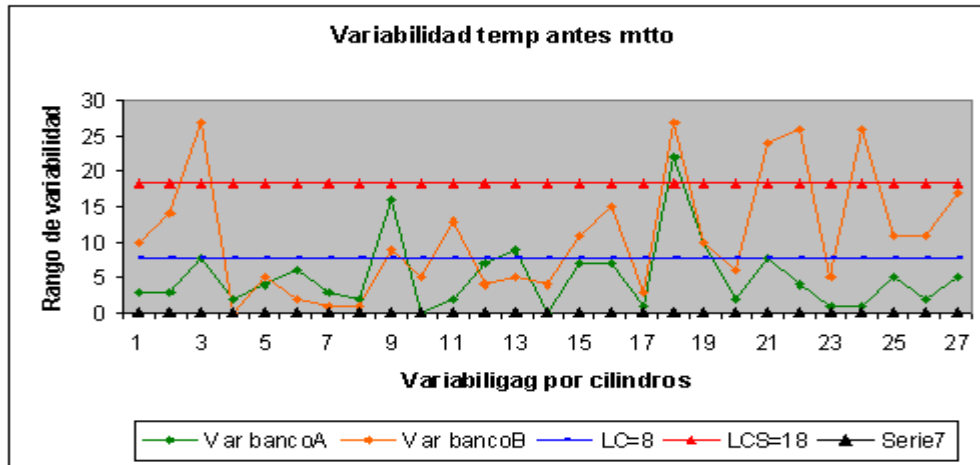
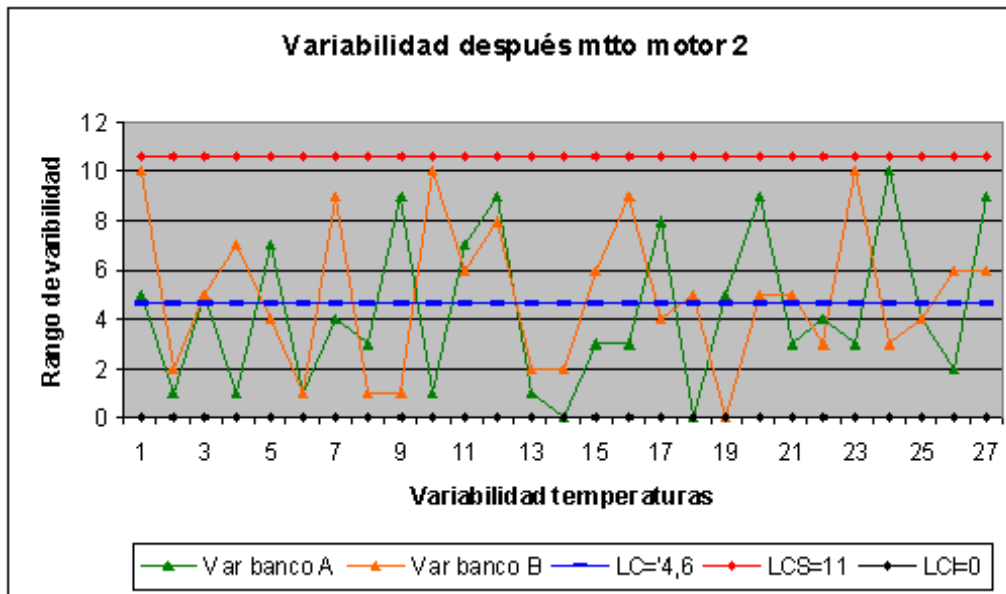
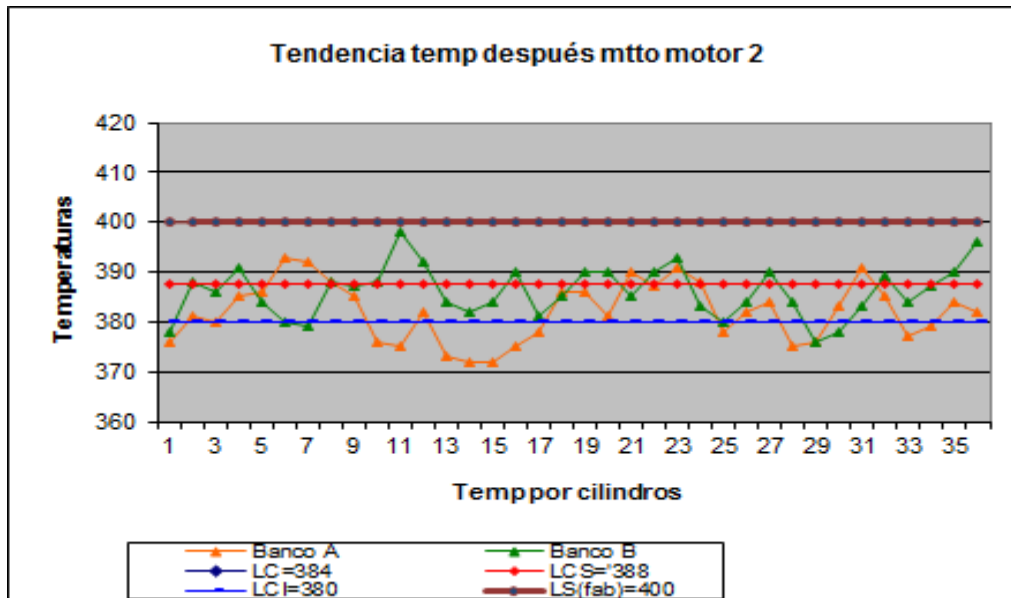


Figura 3.6 Gráfico de Control (X- Rm) de las temperaturas de los cilindros del motor 2 antes del mantenimiento

Después de ejecutado el mantenimiento se logra según se muestra en la figura 3.7 un comportamiento de las temperaturas de los gases de escape a la salida de cada cilindro dentro de los límites de control y se reduce la variabilidad de los rangos de temperatura a valores entre 0 y 10 °C ver en la figura 3.7. Este comportamiento demuestra la efectividad de la acción de mantenimiento en la disminución de la temperatura de los gases de escape a la salida de cada cilindro permitiendo un incremento en la eficiencia energética del motor. Estos resultados serán utilizados para la propuesta de mejoras al sistema de mantenimiento ya que permite poder planificar las acciones de mantenimiento de acuerdo a los valores de la temperatura de los gases de escape de cada cilindro. Es significativo señalar que el análisis se realizó solo para el motor No 2 pero la Central cuenta como se explicó en el capítulo anterior con 5 motores en operación, lo que demuestra que reduciendo como promedio para cada motor los valores de temperatura de los gases de escape a la salida de cada cilindro en un rango de valores entre 5 y 10 °C, los aportes por concepto de mejoramiento de la eficiencia energética a partir de la disminución de los índices de consumo de combustible pueden ser significativos.



4 Figura 3.7 Gráfico de Control (X- Rm) de las temperaturas de los cilindros del motor 2 después del mantenimiento

#### 4.3.1 Índices de clase mundial del mantenimiento

En la investigación se evaluaron seis de los Índices de clase mundial cuatro referido a la eficiencia del mantenimiento y dos a los costos del mantenimiento los resultados de este análisis se muestran a continuación:

El primer índice que se calculó fue la tasa de fallo ( $\lambda$ ) cuyos resultados se muestran en la tabla 3.2 y la figura 3.8. Como se aprecia la tasa de fallo, es decir la ocurrencia de fallos en un periodo de tiempo analizado, tiene una tendencia al decrecimiento en

los últimos tres años lo que demuestra una mejor efectividad de las acciones de mantenimiento. A pesar de esta tendencia al decrecimiento se ha demostrado a partir de las herramientas desarrolladas anteriormente en este trabajo que aún quedan potencialidades para seguir disminuyendo la tasa de fallo.

Tabla 3.2 Resultados de  $\lambda$  por años. Fuente: *SGestMan*.

Años	Cant. horas oper.	Cant. fallas	$\lambda$
2012	24073	97	0,00403
2013	16950	61	0,00363
2014	29977	72	0,00287

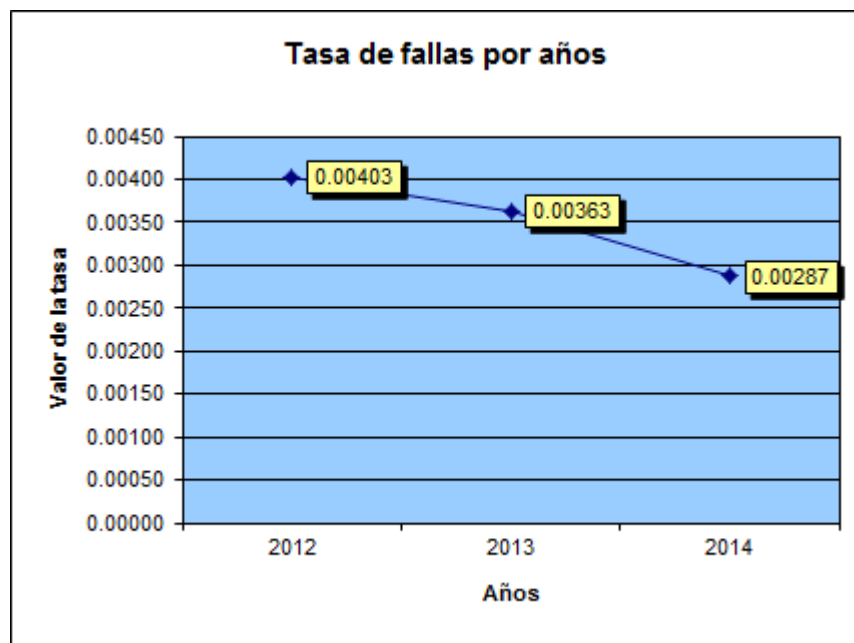


Figura 3.8. Comportamiento de la tasa de fallo en el periodo. Fuente: El autor

En la tabla 3.3 y en la figura 3.9 se aprecia el comportamiento del índice tiempo promedio para fallar (TPPF). Este índice también demuestra la efectividad de las acciones de mantenimiento al lograrse valores para el año 2014 casi el doble de lo que se alcanzaba en el 2012, es decir que en el año 2014 la ocurrencia de fallas tardo más de 120 horas que las que ocurrieron en el 2012. No obstante de tener una tendencia favorable este índice aún existen potencialidades ya que para el último año

evaluado ocurrió una avería cada 20 días aproximadamente y considerando la importancia de esta Central para la estabilidad en la entrega de energía eléctrica a la población y la economía es posible incrementar ese tiempo.

Tabla 3.3 Resultados del TPPF por años. Fuente: *SGestMan*.

Años	Cant horas oper	Cant fallas	TPPF(hr)
2012	24073	97	248,1
2013	16950	61	277.8
2014	29977	72	416.3

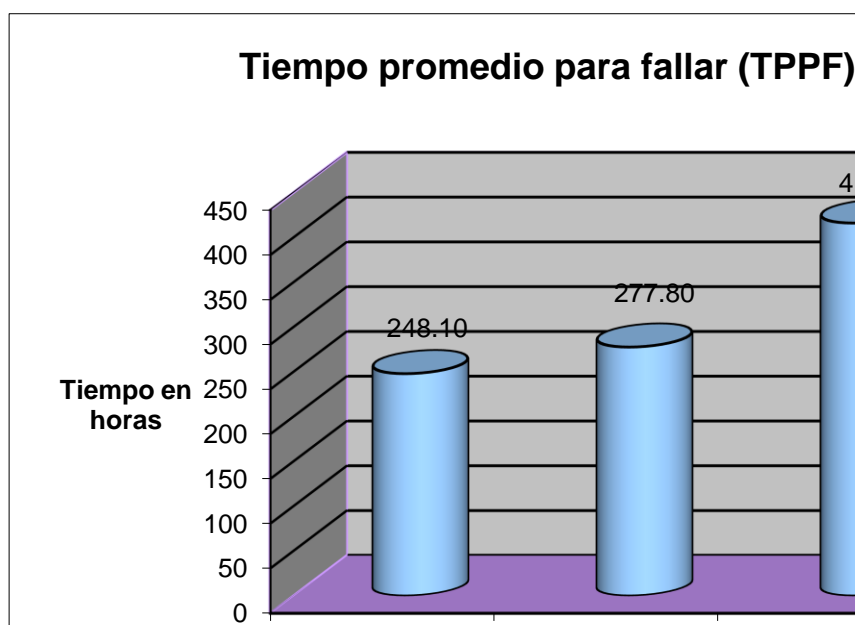


Figura 3.9 Comportamiento del tiempo promedio para fallas. Fuente: El autor

En la tabla 3.4 y la figura 3.10 se puede apreciar el comportamiento del índice tiempo promedio para reparar (TPPR), que no es más que el tiempo promedio invertido en una reparación. Este índice también presenta una tendencia favorable disminuyendo el tiempo de las acciones de mantenimiento en casi la mitad entre el 2012 y el 2014, esto debido en lo fundamental a la organización y planificación de la actividad de mantenimiento y a la preparación del personal dedicado a estas labores. Al igual que

el indicador anterior aún existen posibilidades de mejoras teniendo en consideración que en el año 2014 ultimo evaluado en el trabajo y el de mejores resultados aún se dedican 6.29 horas a cada acción de mantenimiento para solucionar una avería.

Tabla 3.4 Resultados del TPPR por años. Fuente: *SGestMan*.

Años	Cant horas de fallas	Cant fallas	TPPR(hr)
2012	1667	97	12,03
2013	577,8	61	9.47
2014	416,3	72	6.29



Figura 3.10 Comportamiento del tiempo promedio para reparar. Fuente: El autor

En la tabla 3.5 y en la figura 3.11 se representa los resultados del análisis de la disponibilidad de la Central considerando el tiempo de inoperancia de la misma por estar en acciones de mantenimiento. Como se puede apreciar existe una tendencia favorable en cuanto a la disponibilidad lo que corrobora los resultados alcanzados en los indicadores calculados anteriormente ya que se reducen los tiempos de las acciones de mantenimiento y se alargan los periodos en que ocurre una falla.

Tabla 3.5 Resultados de la D por años. Fuente: *SGestMan*.

Años	TPPF(hr)	TPPR(hr)	D (%)
2012	248,1	12,03	95.3
2013	277.8	9.47	96.7
2014	416.3	6.29	98.5

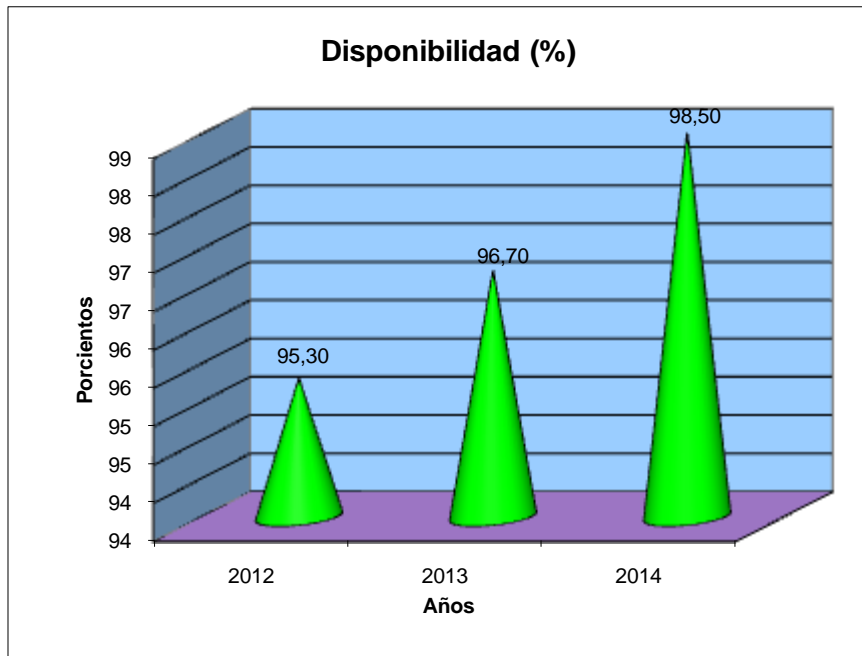


Figura 3.11 Comportamiento de la disponibilidad en el periodo. Fuente: El autor

En la tabla 3.6 y en la figura 3.12 se representa el comportamiento de los costos de la actividad de mantenimiento relacionados con la generación alcanzada en la Central en MW. Como se puede apreciar se logra una tendencia a la disminución con valores en los últimos tres años de operación de la Central. Estos valores obtenidos demuestran que no solo se ha mejorado en la eficiencia del mantenimiento sino que también se logra una eficiencia desde el punto de vista económico al reducir en más de 100 pesos por MW generado en los últimos tres años.

Tabla 3.6 Resultados del Costo de mantenimiento vs costo de los MW generados.

Fuente: Economía EMGEF.

Años	Costos de Mtto vs costos de MW generados(pesos)
2012	312.7

2013	229.3
2014	190.6

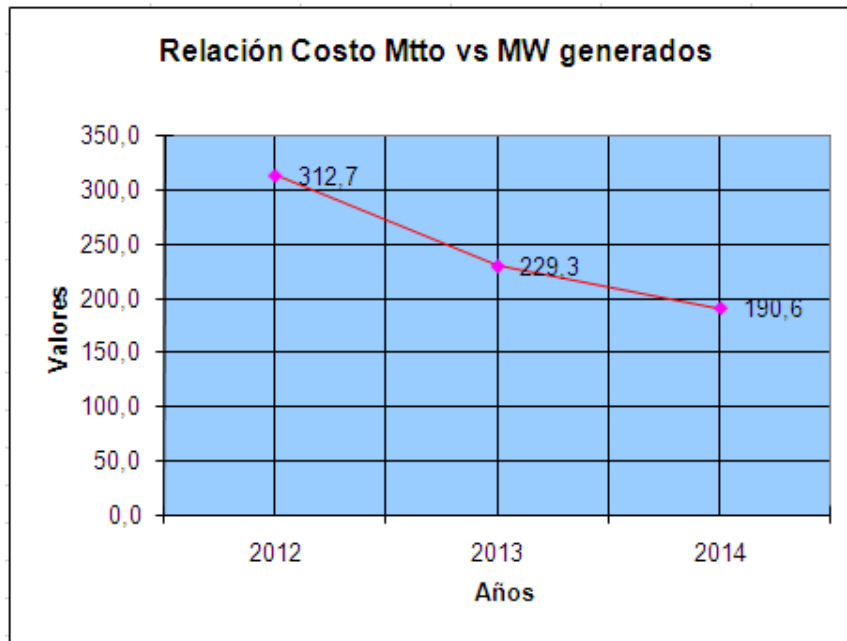


Figura 3.12 Comportamiento de la disponibilidad en el periodo. Fuente: El autor

En la tabla 3.7 y la figura 3.13 se aprecia como la relación disminuye en el periodo que se analiza, lo cual refleja como los mantenimientos preventivos tienden a disminuir sus costos, debido a las acciones correctivas que se acometen sobre los motres en dependencia de las oportunidades que se presentan.

Tabla 3.7 Datos utilizados para el cálculo del % costo mtto preventivo.

Fuente: Economía OBEP

Años	Costo mtto prev.	Costo mtto total	%Costo Prev
2012	121814.1	266678.26	47.46
2013	116516.6	257856.2	45.19
2014	93774.91	241774.6	38.78



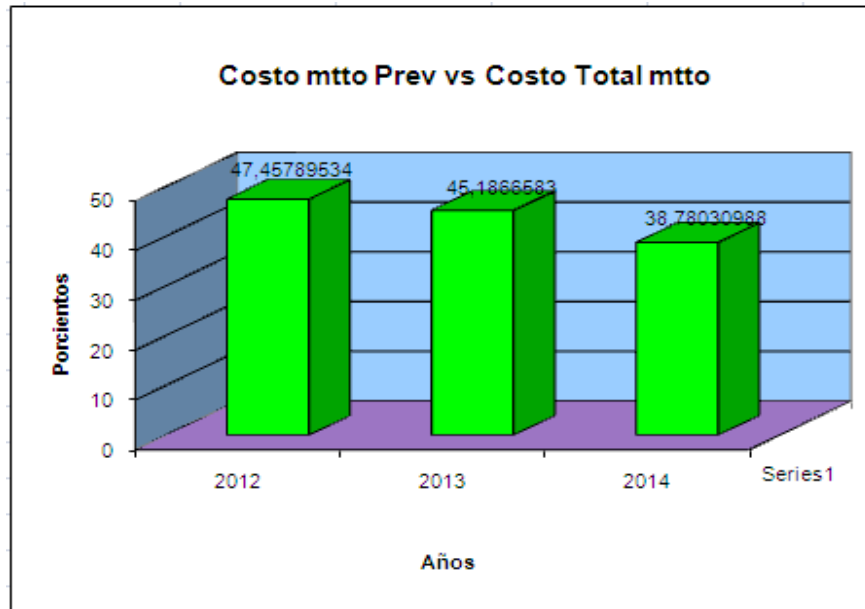


Figura 3.13 Comportamiento de la relación costo del mantenimiento preventivo vs costo total de del mantenimiento. Fuente: El autor

#### 4. Evaluación del análisis modal de fallos y sus efectos (AMFE)

Después de evaluar tanto la eficiencia energética y la gestión del mantenimiento de la central a partir del cálculo de índices donde la tendencia en los últimos tres años en ambos análisis es positiva, pero donde aún existen potencialidades en el sistema de mantenimiento empleado para la mejora, se realizó un análisis utilizando la herramienta Análisis modal de fallos y sus efectos con el objetivo de identificar las actividades del sistema sobre los que se debe actuar con prioridad con vistas a su mejora. Estos resultados se representan en la matriz de la tabla 3.8 donde se aprecian las actividades donde se debe incidir con prioridad con acciones de mejora y que permitirán una mejor eficiencia en la gestión del mantenimiento y por consiguiente en la eficiencia energética de la Central son:

- ✓ No pactar con las áreas de mantenimiento y operaciones el volumen de trabajo a ejecutar antes del mantenimiento
- ✓ Disponibilidad o no de las piezas de repuesto necesarias.
- ✓ Falta de capacitación del personal.

- ✓ En el momento de la ejecución de las actividades del mantenimiento no contar con los instrumentos, piezas e insumos para trabajar.
- ✓ Realizar pruebas mecánicas y automáticas después que se termine el mantenimiento y antes de entregarlo a la operación.

En la propia tabla antes mencionada se identifica el tipo de fallo, las causas, el sistema de control y las acciones correctivas (A. D. Fernando F. Espinosa, Gonzalo E. Salinas, 2012), que se proponen para actuar sobre los problemas identificados en la gestión actual del sistema de mantenimiento y constituyen en si una propuesta de mejoras al mismo.

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS										Hoja	Revisión	Fecha	Por				
DE PROCESO : X DE DISEÑO:										de							
Producto: -					Proceso: Gestión de Mantenimiento					Responsable: Especialista							
Especificación:-					Operación					Fecha: 15 de enero de 2015							
Fecha de Edición: 15 de enero de 2015					Actuar sobre NPR > que : 612					Revisado: Director Central							
Nombre	Operación	Modo	Efectos	S	G	Causa	Controles	D	NPR	Acción	Responsable	Acciones	Valoración			NPR	
Producto	función	fallo	fallo			fallo	Actuales			Correctiva		Implantadas	G	O	D		
Realización del producto : Diseño del Proyecto	Concepción del Mantenimiento	No realizar la Reunión Preparatoria	Deficiente organización del trabajo	9		Falta de las partes interesadas	Revisión de la documentación	8	5	360	Planificar en tiempo las reuniones	Especialista, Área Técnica y Administración	Realizar la reunión 1 semana antes del inicio del	5	4	1	20
		Chequear documentación	No cumplimiento de los procedimientos	8		Mala utilización de los instrumentos y mal	Chequeo de los puntos de espera e Inspección	6	10	480	Chequeo de los procedimientos e instrucciones en cada puesto laboral	Especialista, Área Técnica y Administración	Controlar que se trabaje por cada puesto laboral con los	8	4	5	160
	Planificación del mantenimiento	No pactar con el área de operaciones el volumen de trabajo	No realizar el mantenimiento según los requerimientos del equipo	10		Averías en el equipo	Inspección	10	10	1000	Pactar con todas las áreas involucradas el volumen de trabajo	Especialista, Área Técnica, Operaciones	Tomar acuerdos entre las áreas involucradas para acordar el volumen de trabajo	6	5	6	180
		Fallo en la realización de los cronogramas de ejecución de mantenimiento	No se definen el tiempo ni la secuencia del trabajo	8		Pérdida de tiempo, atraso en la ejecución de las actividades	Observación e Inspección	6	9	432	Exigir por la realización de los cronogramas	Especialista, Área Técnica, Administración	Chequeo y control de los cronogramas	5	2	2	20
		Disponibilidad o no de las piezas de repuesto necesarias	No se puede realizar el mantenimiento	10		Pérdida de tiempo, hasta la paralización del mantenimiento	Observación e Inspección	10	8	800	Preveer las piezas de repuesto en el almacén	Especialista, Área Técnica, Administración	Actualización constante de la existencia de las piezas de repuesto	6	6	4	144
	Ejecución del mantenimiento	Falta de capacitación del personal	Deficiente calificación del personal	8		Pérdida de tiempo, no poder realizar la actividad	Observación	8	9	576	Curso de capacitación al personal	Recursos Humanos, Área Técnica, Administración	Realizar curso de capacitación de manera periódica.	5	4	4	80
		En el momento de la ejecución no contar con los instrumentos, piezas e insumos para trabajar	Paralización del trabajo	10		Cuestiones organizativas	Observación	10	6	600	Adecuada planificación de las actividades	Dirección técnica productiva	Realizar al final de cada día una reunión para chequear que se hizo y lo que se hará en la próxima	4	4	2	32
		Chequeo de las distintas actividades del mantenimiento a través de los puntos de espera e	Averías, roturas y pérdida de tiempo	9		Redistribución del personal a otras actividades	Observación	8	5	360	No violar el control y chequeo de los puntos de espera e inspección	Especialista, Área Técnica, Administración	Análisis de la documentación de cada punto de espera e	5	4	2	40
	Pruebas después del mantenimiento	Realizar pruebas mecánicas y automáticas	Mal funcionamiento o averías	10		No puesta en marcha del equipo	Observación/ Ejecución de pruebas	10	9	900	Cumplir con el procedimiento específico	Especialista automático y de mantenimiento	Chequear la ejecución del procedimiento específico en la ejecución de las pruebas	5	5	5	125

## **Conclusiones:**

1. La combinación de herramientas básicas de la calidad aplicadas a una evaluación con enfoque de procesos permite demostrar la existencia de puntos coincidentes entre la gestión de la eficiencia energética y la gestión del mantenimiento.
2. Como resultado de la evaluación de la eficiencia energética se demostró que existe una correlación lineal negativa entre los índices de consumo de combustible y a la disponibilidad operacional de la plata, se identificó que el área motor generador es la que mayor incidencia tiene en la disponibilidad de la Central, se determinaron las causas que influyen en la variabilidad del índice de consumo y que el rango de operación más eficiente está entre 3.2 a 3.85 MW.
3. Como resultado de la evaluación del mantenimiento se demostró que a pesar de existir una tendencia positiva en los últimos tres años en la tasa de fallos, en el tiempo promedio para fallar, el tiempo promedio para reparar, la disponibilidad y en la relación de los costos del mantenimiento respecto a los MWh generados, existen oportunidades de mejora al sistema de gestión de mantenimiento de la Central.
4. Se identificaron cinco actividades sobre las cuales se deben realizar acciones correctivas para mejorar la gestión del mantenimiento y por consiguiente la eficiencia energética de la Central: No pactar con el área de operaciones el volumen de trabajo, disponibilidad o no de las piezas de repuesto necesarias, falta de capacitación del personal, en el momento de la ejecución no contar con los instrumentos, piezas e insumos para trabajar, realizar pruebas mecánicas y automáticas.

**Recomendaciones:**

1. Proponer al área administrativa evaluar la posibilidad de interconectar a las calderas recuperadoras los gases de escape de los dos motores que en la actualidad no están conectado.
2. Hacer una evaluación de las mejoras propuestas según el resultado del Análisis modal de fallos y sus efectos de forma periódica y hacerlo coincidir con los ciclos de mantenimiento.

## Bibliografía

- Alfonso LLanes, A. H. P., Kely; Betancourt Montero, Alberto Yorgen; Lara Cruz, Braydy; Fernández Campusano, William. (2006). *Indicador general para la determinación del Nivel de Gestión del Mantenimiento (INGM)*.
- Amendola, L. INDICADORES DE CONFIABILIDAD PROPULSORES EN LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO.
- Aragón González, N. Memorias para un curso de gestión de la calidad.
- Arrarte Mera, R. (2010). La empresa de clase mundial frente a la empresa nacional. Retrieved from
- Besterfield, D. H. (2009). *Control de calidad* (Octava ed.). Naucalpan de Juárez, México: Prentice Hall Inc.
- Blanco, S. S. (2002). Gestión de Activos y Ciclo de Vida. *ELLMANN, SUEIRO Y ASOCIADOS*, 8.
- Cáceres, M. B. (2013). Cómo Incrementar la competitividad del negocio mediante estrategias para gerenciar el mantenimiento.
- Campero, J. (2011). *Determinación del tiempo de ejecución de los servicios de mantenimiento eléctrico y mecánico de los equipos pesados de la empresa VENEQUIP*. Universidad Nacional Experimental de La, La.
- Cantú Delgado, H. (2001). *Desarrollo de una cultura de calidad*. Mexico: Mc. graw Hill.
- Cevallos Ampuero, J. M. E. T., Roberto y Rosario Pacahuala, Jorge Arturo. (2010). Comparación de Optimización de Métodos Multirespuesta con Métodos Taguchi y Sistemas Neuro Difusos Vs. Optimización por Simulación; y Desarrollo de una Metodología de Optimización.
- . 6-10. Retrieved from
- CNCI. (2006). SEN y Generación distribuida (pp. 3).
- Colectivo autores. (2015), from <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/calculos/clase-mundial.asp>
- Colectivo de autores. Cuba y sus perspectivas energéticas una revisión reciente from <http://www.cubacontemporanea.com/noticias/cuba>
- Concepción Díaz, A. (2012). Conferencia sobre el mantenimiento.
- Consultores Aiteco. Diagrama causa-efecto. Retrieved from [www.aiteco.com](http://www.aiteco.com) website:
- Consultores Aiteco. Diagrama de dispersión. Retrieved from [www.aiteco.com](http://www.aiteco.com) website:
- Consultores Aiteco. Diagrama de Pareto. Retrieved from [www.aiteco.com](http://www.aiteco.com) website:
- Consultores Aiteco. Hojas de verificación. Retrieved from [www.aiteco.com](http://www.aiteco.com) website:
- Corral, C. P. (2010). *Planificación óptima de la generación distribuida en redes de distribución de energía eléctrica* Tesis doctoral, Universidad de Zaragoza, Zaragoza.
- Coskun, A. y. o. (2010). *Quality Management and Six Sigma* (First ed.). Croatia: Sciyo.
- Coviello, M. F. (2013). Situación y Perspectivas de la Eficiencia Energética en América Latina y el Caribe
- Cumbre B. Análisis modal de fallos y efectos (AMFE) Retrieved from
- Desconocido. Introducción a la ingeniería de calidad. Retrieved from <http://www.itchiuhua.edu.mx/academix/ingcal/index/htm>

- Douglas Adolfo García Gómez, E. D. G., Edelvy Bravo Amarante. (2012). Gestión del mantenimiento *Post grado Gestión del mantenimiento* (pp. 37). Universidad Sancti Spíritus " José Martí Pérez
- Estepa Castro, A. (2008). Interpretación de los diagramas de dispersión por estudiantes de Bachillerato. Campus de Lagunillas, Jaén: Universidad de Jaén. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Departamento de Didáctica de las Ciencias.
- Fernández Hatre, A. (Ed.). *Técnicas básicas de calidad: Centro para la calidad en Asturias*, Instituto de Fomento Regional.
- Fernando F. Espinosa, A. D., Gonzalo E. Salinas. (2012). Un procedimiento para evaluar el riesgo de la innovación en la gestión del mantenimiento industrial. *Revista chilena de ingeniería*, vol. 20 N° 2, 2012, 242-254.
- Fernando F. Espinosa, A. D. y N. B. (2008). Un Procedimiento de Evaluación de las Condiciones Necesarias para Innovar la Gestión de Mantenimiento en una Empresa. *19(1)*, 97 - 104 (2008).
- Fundación Wikimedia, I. (2010). Generación distribuida. *How electric vehicles are a part of distributed generation*. Retrieved from «[http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Generación\\_distribuida&oldid=64972668](http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Generación_distribuida&oldid=64972668)» website:
- Gagma. (2009). Manual de usuarios del SGestMan
- García Palencia, O. (2007). *Indicadores para la Gestión del Mantenimiento Industrial*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- GEDCU. (2009). *Manual de Generación Distribuida* (Primera ed.).
- Gómez Avilés, B. (2007). *Procedimiento para la mejora de la calidad del proceso industrial cubano de la caña de azúcar.*, UCLV, 2007., Santa Clara.
- Gutiérrez Pulido, H. y d. I. V. S., Román (2009). CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD Y SEIS SIGMA S. A. D. C. V. MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES (Ed.)
- Hernández, P. L. M. d. O., Juan; Carro, Miguel; Fernández, Sergio J., (2008). Optimización del mantenimiento preventivo utilizando las técnicas de diagnóstico integral. Fundamento teórico práctico. *Revista energética*, Vol. XXIX, No. 2, 15-16-19-24.
- Hourné-Calzada, M. B. B.-V., María Lucía; del Castillo-Serpa, Alfredo Manuel; Fraga-Guerra II, Elena y Díaz-Concepción, Armando. (2012). Análisis de criticidad de grupos electrógenos de la tecnología fuel oil en Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 21 no. 3 San José de las Lajas jul.-set. 2012, 1-16.
- International Energy Outlook. (2009). Energía y sociedad. 1,3,8. Retrieved from [www.energiasrenovables.ciemat.es/.../energia/index.htm](http://www.energiasrenovables.ciemat.es/.../energia/index.htm) website:
- Juran, J. M. B. G., A. (Ed.). (2001). *Manual de Calidad de Juran* (Quinta ed. Vol. III).
- MAN B & W Diesel. (2006). Manual de motores de MAN *Datos principales del motor*
- Marichal Cartaya, J. L. (2013). *La Calidad en los Servicios en el BPA* Tesis de maestría, Universidad de Sancti Spíritus, Sancti Spíritus.
- Molina, J. Mantenimiento y seguridad industrial. Retrieved from [www.mantenimiento/mundial](http://www.mantenimiento/mundial), [www.amtce.com.mx/config](http://www.amtce.com.mx/config) website:
- Mora Gutiérrez, L. A. (2006). *Mantenimiento Estratégico para Empresas industriales o de Servicios* (2 ed.). Medellín.
- Moubray, J. (1997). EL CAMINO HACIA EL RCM - MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD. *Sopore y CIA, LTDA.*, 1-2-3-5.

- Munro-Faure, L., & Malcom. (1994). *La calidad total en acción*. Barcelona, España: Folio SA.
- Oficina Nacional de Estadísticas., O. (2010). Estadísticas Energéticas en la Revolución *Capítulo 1 El sector energético en Cuba*.
- Oficina Nacional de Normalización. (2000). Graficos de control.Guía general e introducción. La Habana.
- Pauro, R. Indicadores de mantenimiento:Qué se debe medir y por qué.
- Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución (2011).
- Penrose, H. (2010). Su Programa de Mantenimiento es efectivo... ¿No es así? Retrieved from ReliabilityWeb.com website:
- Plucknette, D. (2010). Cuando y como copiar una plantilla de análisis de RCM. Retrieved from ReliabilityWeb.com website:
- Sierra, E. L., Santiago. (2009). Evolución de los métodos de evaluación de la confiabilidad para redes eléctricas de distribución *Revista energética, XXXI No.3/2010*.
- Sociedad Latinoamericana para la Calidad. (2000)Herramientas de Calidad (pp. 1-4).
- Solis Rivera, V. (2012). Análisis de situación regional: Una perspectiva actualizada. Hacia un Programa 2013-2016 eficiente y efectivo en Centroamérica y el Caribe.
- Tavares Lourival, A. (2002). Administración Moderna de Mantenimiento







## **ANEXO 1**

Tabla de Test de correlación

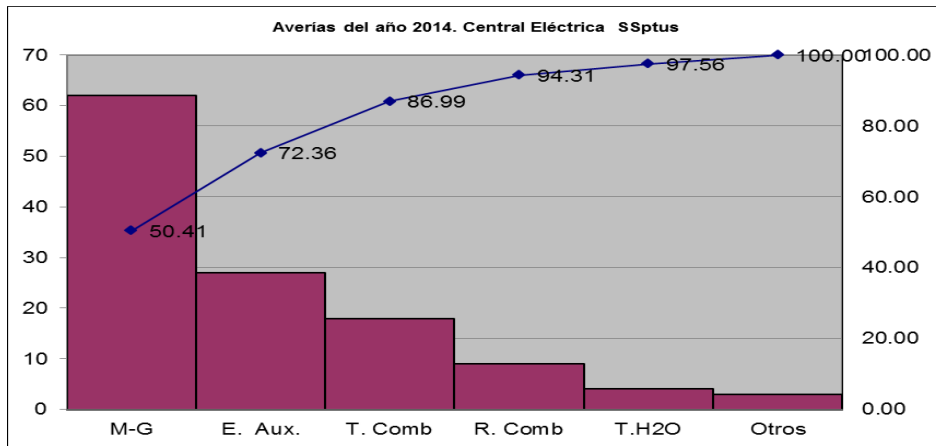
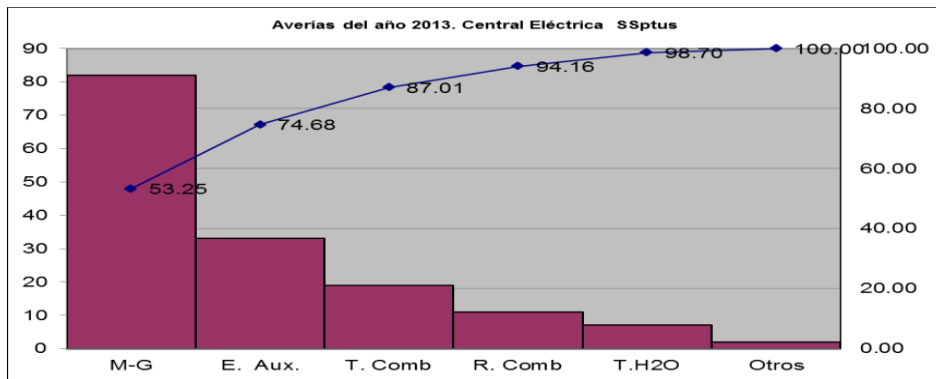
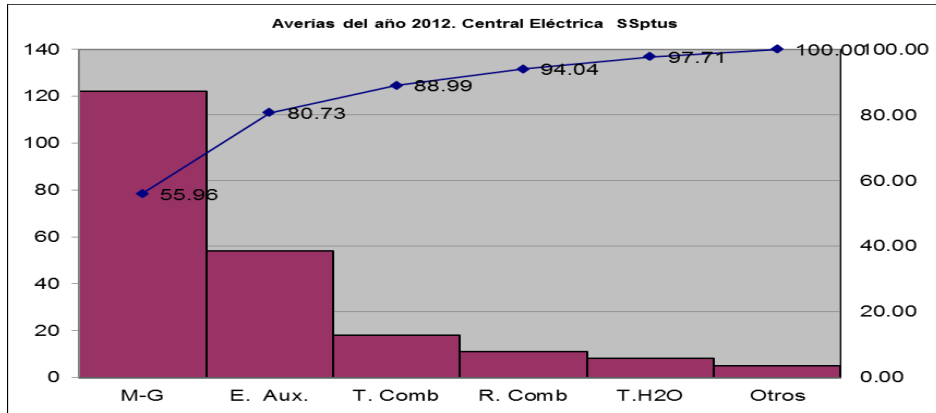
## ANEXO 2

Análisis de los meses con altos índices de combustible

Mes	Disp Pot	Indices	Motor indisponibles	Dias	Pérdida en kW	Causas
Enero 2012	18.1	211.5	Motor # 1	5	288.75	Cambio de camisas de agua
			Motor # 1	2	115.5	Mantenimiento 18 000 horas
			Motor # 2	3	173.25	Cambio de camisas de agua
Marzo 2012	18.5	211.3	Motor # 5	2	115.5	Mantenimiento 22 000 horas
			Motor # 4	5	288.75	Calibración automática
Abril 2012	18.3	211.4	Motor # 3	2	115.5	Problemas automáticos
			Motor # 5	4	231	Corrección de parámetros
			Motor # 4	3	173.25	Mantenimiento 18 000 horas
Septiembre 2012	16.4	213.3	Motor # 3	5	288.75	Mantenimiento 24 000 horas
Enero 2013	17.1	211.5	Motor # 1	3	173.25	Problemas automáticos
			Motor # 3	9	519.75	Mantenimiento 26 000 horas y modificación del frente de distribución.
			Motor # 4	4	231	Avería del pistón del cilindro 8 A
Julio 2013	17.2	211.6	Motor # 1	4	231	Avería del turbo 1
			Motores del 1 al 5	9	519.75	Falta de agua en la central
Agosto 2013	17.4	212.1	Motores del 1 al 5	5	288.75	Falta de agua en la central
			Motor # 1		0	Corrección de parámetros
			Motor # 3	2	115.5	Mantenimiento 28 000 horas
			Motor # 4	6	346.5	Problemas con el motor de arranque
			Motor # 5	2	115.5	Salidero refrescador de aire.
Septiembre 2013	16.7	212.1	Motor # 1	4	231	Problemas automáticos
			Motor # 2	7	404.25	Problemas con el motor de arranque
			Motor # 3	19	1097.25	Avería del turbo 1
Octubre 2013	16.7	211.1	Motor # 1	4	231	Corrección de parámetros
			Motor # 3	11	635.25	Altas temperaturas en el turbo, avería valvula de admisión cilindro 1 B
			Motor # 4	5	288.75	Mantenimiento 28 000 horas
Diciembre 2014	18	212	Motores 3 y 5	31	1790.25	En espera de mantenimiento capital

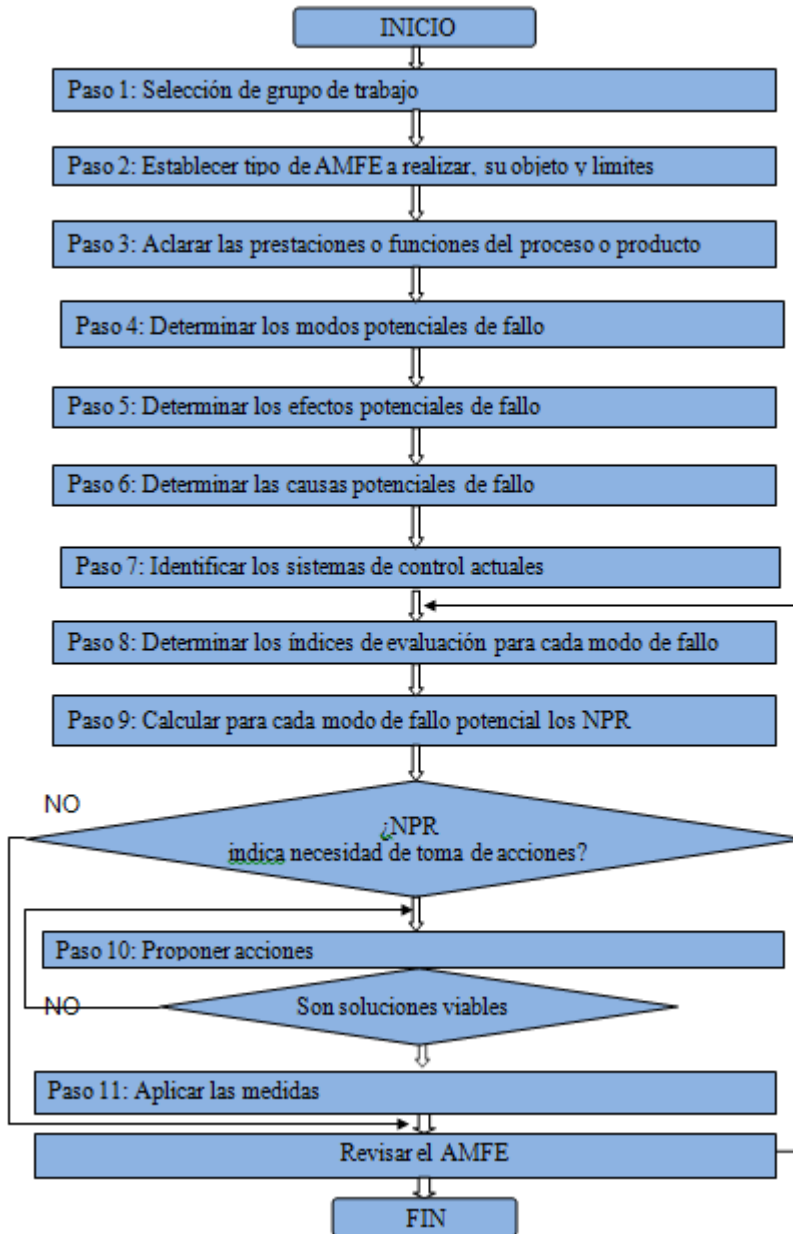
### ANEXOS 3

Diagramas de Pareto de las averías ocurridas por cada año analizado.



## ANEXO 4

Diagrama de flujo del AMFE



## **ANEXO 5**

Tabla de constantes de los factores de los gráficos de control por variable.

