

**METHODOLOGY FOR THE SELECTION OF THE INSTRUMENTS THAT
THEY PRESENT MAJOR IMPACT OF FAULTS IN THE STEAM GENERATOR
OF THE COMPANY TERMOTASAJERO COLGENER**

**METODOLOGIA PARA LA SELECCION DE LOS INSTRUMENTOS QUE
MAYOR IMPACTO DE FALLAS PRESENTAN EN EL GENERADOR DE
VAPOR DE LA EMPRESA TERMOTASAJERO COLGENER**

MSc.(c). José L. López Prado, PhD. Rocco Tarantino A., MSc. Sandra Aranguren Z.

Universidad de Pamplona

Villa de Rosario, Norte de Santander, Colombia.

E-mail: jlloprado@gmail.com, {roccot, saranguren}@unipamplona.edu.co

Abstract: In this article a methodology is described for the selection of the instruments of the steam generator of the Company Termotasajero Colgener. This selection is made in order to fix which instruments present major impact of faults to optimize human, economic, physical and technological resources to the moment to implement systems of detection and I diagnose of faults a major efficiency being achieved at the moment of using these systems.

Keywords: Pareto's graphs, reliability, risk, historical byline, instrumentation.

Resumen: En este artículo se describe una metodología para la selección de los instrumentos del generador de vapor de la Empresa Termotasajero Colgener, esta selección se realiza con el fin de fijar cuales instrumentos presentan mayor impacto de fallas para optimizar recursos humanos, económicos, físicos y tecnológicos al momento de implantar sistemas de detección y diagnóstico de fallas lográndose una mayor efectividad a la hora de emplear estos sistemas.

Palabras clave: Diagramas de Pareto, confiabilidad, riesgo, data histórica, instrumentación

1. INTRODUCCION

En un sistema complejo como lo es una unidad termoeléctrica, es inevitable la aparición de fallas en un determinado momento de su funcionamiento y que por múltiples razones no siempre un operador puede detectarlas oportunamente.

En este caso el mal funcionamiento de ciertos sistemas como es el generador de vapor comienza a tener un gran impacto económico incluso para pequeñas desviaciones de su comportamiento con respecto al esperado por diseño. (Remiro y Lozano, 2007) De presentarse una falla y no ser atendida a tiempo en principio ocasiona degradación del

equipo, fallas en el servicio, pérdidas económicas pero principalmente peligro para la integridad del operador. Con el fin de mantener altos niveles de confiabilidad y seguridad. Es necesario además del conocimiento experto del operador crear sistemas que permitan detectar y aislar fallas incipientes que ocurren durante la operación.

El objetivo principal de este artículo es la selección de instrumentos para la aplicación adecuada de los sistemas de detección y diagnóstico de fallas en el generador vapor de la empresa Termotasajero Colgener.

Los sistemas de detección y diagnóstico de fallas son una estrategia para mejorar la confiabilidad operacional. La confiabilidad operacional está definida como una serie de procesos de mejora continua, que incorporan en forma sistemática, avanzadas herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías, en búsqueda de optimizar la gestión, planeación y control, de la producción industrial. (García, 2005; Martínez et al., 2004).

2. METODOLOGIA

En esta sección se realiza la descripción de las etapas a seguir para efectuar la selección apropiada de los instrumentos del generador de vapor de la empresa Termotasajero Colgener, con el objeto de definir que instrumentos requieren con más prioridad un sistema de detección y diagnóstico de fallas.

2.1. Etapa I: Búsqueda de Información Inicial.

En esta etapa se hará una revisión exhaustiva del manual de operación, manual del fabricante y de mantenimiento, se realizarán entrevistas no estructuradas al personal involucrado en el proceso. (Tarantino y Aranguren, 2005).

2.2. Etapa II: Construcción del Diagrama Entrada Proceso Salida (E-P-S) y Diagrama Funcional.

Consiste en diagramas que permiten una fácil visualización del sistema, para su posterior análisis, esta etapa se realiza a través de:

- Definición del proceso por medio de la identificación de las funciones principales y secundarias, lo más específico posible.
- Establecer las entradas del proceso: primarias, secundarias, de servicio y de control; así como también las salidas del mismo.
- Definir los parámetros a los que están sujetas las funciones del sistema, tomando en consideración los valores del diseño. (Tarantino y Aranguren, 2005; Amendola, 2002).

2.3. Etapa III: Selección de Sistemas.

Algunos tipos de selección utilizados como guías son.

1. Instrumentos, dispositivos o equipos con un alto contenido de tareas de Mantenimiento Preventivo (MP) y/o costos de MP.

2. Instrumentos con un alto número de acciones de Mantenimiento Correctivo durante los últimos años de operación y/o costos de (MC).
3. Una combinación de los puntos 1 y 2.
4. Instrumentos con alta contribución a paradas de plantas en los últimos años.
5. Instrumentos con altos riesgos con respecto a aspectos de seguridad y ambiente.
6. Equipos genéricos de alto costo global. (Amendola, 2002; Tarantino y Aranguren, 2004)

2.4. Etapa IV: Listado de Instrumentos, Narrativas y Diagramas de Control.

En esta etapa se realiza la definición y explicación del proceso, se especifica como se controla, esquemas de control, seguridad e instrumentos utilizados.

2.5. Etapa V: Cálculo de Riesgo.

El riesgo es una medida de las pérdidas económicas, daños ambientales o daños ocurridos a seres humanos, El riesgo $R(t)$ es un término de naturaleza probabilística. Matemáticamente, se calcula con la siguiente ecuación: (Yáñez et al., 2003).

$$R(t) = P(t) \cdot \text{Consecuencias} \quad \text{Ec.1}$$

El cálculo del riesgo, involucra la estimación de la Probabilidad de Fallas $P(t)$ y/o la Confiabilidad (C) y de las Consecuencias.

$$C = 1 - P(t) \quad \text{Ec.2}$$

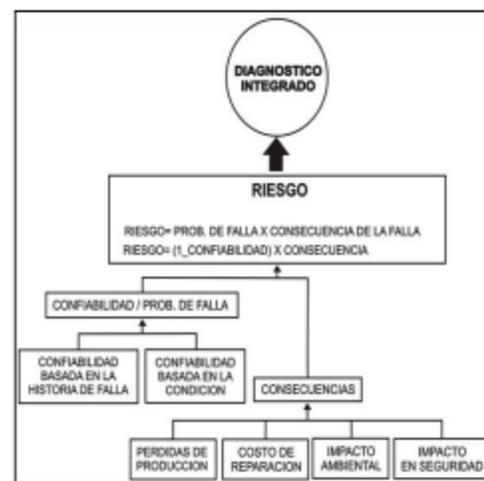


Fig.1. Descomposición del Indicador "Riesgo" (Yáñez et al., 2003).

La figura 1 se muestra la descomposición del indicador “riesgo” en sus componentes fundamentales. En ella se muestra claramente que para calcular el riesgo, deben establecerse dos vías, una para el cálculo de la confiabilidad y/o la probabilidad de fallas, en base a la historia de fallas o en base a la condición; y otra para el cálculo de las consecuencias. (Yáñez *et al.*, 2003).

2.5.1. Estimación de la Probabilidad de Fallas y/o la Confiabilidad.

Para la estimación de la confiabilidad o la probabilidad de fallas, existen dos métodos que dependen del tipo de data disponible; estos son: (Yáñez *et al.*, 2003).

- Estimación Basada en Datos de Condición
- Estimación Basada en el Historial de Fallas

P: es la probabilidad de que ocurra una parada no programada en el sistema de calderas (no confiabilidad), y esta dado por $1 - C$. Donde C es.

$$C = e^{-1t} \quad \text{Ec.3}$$

Tenemos que:

I: Es una constante que $\in [0, +\infty]$, y se define como la tasa de fallas del sistema (Planta i). (Tarantino y Aranguren, 2004; 2006).

$$I = 1/TPPF \quad \text{Ec.4}$$

TPPF: es el tiempo promedio para fallar y esta dado como.

$$TPPF = \frac{\sum_{i=1}^N TPF}{N} \quad \text{Ec.5}$$

Donde:

TPF: es el tiempo para fallar o tiempo en servicio de la planta i.

N: es el número de fallas de la planta i.

t: es el tiempo total del sistema.

i: es un entero que va desde 1 hasta n.

2.5.2. Estimación de Consecuencias.

La estimación de las consecuencias se determina aplicando el modelo “Impacto Total en el Negocio” desarrollado por John Woodhouse. (Yáñez *et al.*, 2003; Woodhouse, 1993). Este modelo divide las consecuencias asociadas con una falla particular en cuatro grandes categorías: Pérdidas de producción, costos de reparación, impacto ambiental e impacto en seguridad como se observa en la figura 2.

a. *Pérdida de Producción:* En este paso, las pérdidas de producción debido a tiempo fuera de servicio son estimadas usando la siguiente ecuación:

$$\text{Pérdida de producción} = PP * RF * TTR \quad \text{Ec.6}$$

Donde PP es el precio del producto (\$/Unid), RF es la reducción de flujo (Unid/Hr) y TTR, el tiempo para reparar (Hrs).

- b. *Costos de Reparación:* La distribución de los costos de reparación debe incluir el espectro de todos los posibles costos, los cuales varían dependiendo de la severidad de la falla.
- c. *Impacto Ambiental e Impacto en Seguridad:* Las distribuciones de estos impactos, en la mayoría de los casos, son difíciles de construir, pues no es fácil encontrar datos y fundamentalmente requieren ser construidas en base a la opinión de expertos a través de tormentas de ideas de entrevistas no estructuradas.

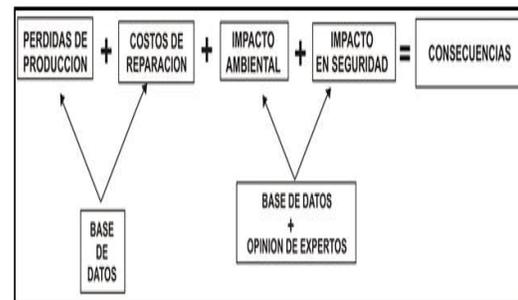


Fig. 2. Modelo de consecuencias
(Yáñez *et al.*, 2003).

2.6. Etapa VI: Selección de Instrumentos.

Una vez determinadas las pérdidas de oportunidad que producen las paradas de planta no programadas y por ende el impacto económico que estas generan en las unidades de producción, se ordenan de mayor a menor riesgo los resultados y se determina que equipos requieren con más urgencia la implantación de los sistemas de detección y diagnóstico de fallas. (Tarantino y Aranguren, 2004)

3. APLICACION DE LA METODOLOGIA DESARROLLADA

Una vez explicada la metodología para la selección de instrumentos de mayor impacto de fallas se procede aplicar a los instrumentos del generador de vapor de la empresa Termotasajero Colgener.

3.1. Búsqueda de Información Inicial para la Selección de Instrumentos del generador de Vapor.

Para el levantamiento de la información en campo se recopiló lo siguiente:

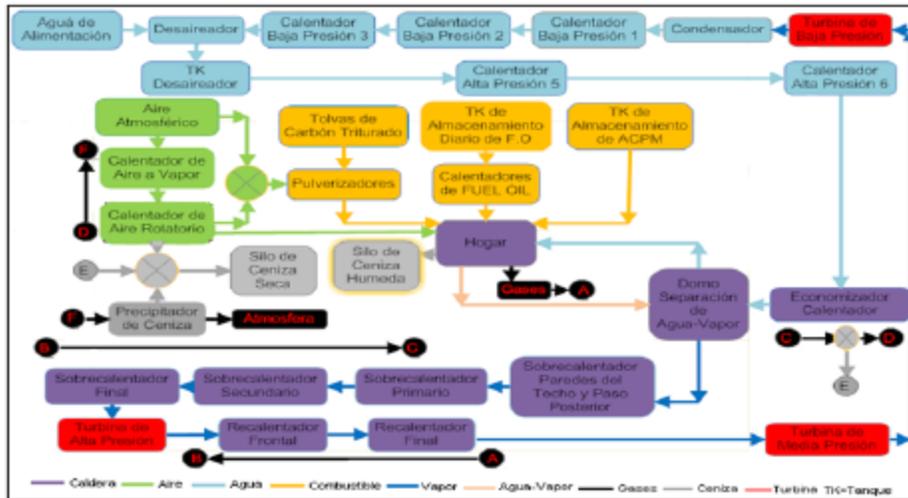


Fig. 3. Diagrama funcional del generador de vapor de la Empresa Termotasajero - Colgener

- Manuales de diseño y operación de los sistemas y manuales de los equipos pertenecientes al sistema. Estos proveen información de la función esperada de los sistemas, cómo se relacionan con otros sistemas y qué límites operacionales y reglas básicas son utilizadas. (Distral S.A., 1982; Grupo de Ingeniería., 1997).
- P&ID's del sistema.
- Archivos históricos de los equipos que puedan contener la historia de fallas y mantenimientos correctivos realizados a los equipos. En este punto se recolectará la información sobre las fallas que ha presentado el sistema de caldera desde el año 2003 en adelante la cual se encuentra almacenada en el software SAP.

3.3. Selección de Sistemas Relacionadas con el Generador de Vapor

Se seleccionó los sistemas con un alto número de acciones de Mantenimiento Correctivo durante los últimos años de operación y/o costos de mantenimiento correctivo. Los registros de fallas de los sistemas más importantes obtenidos en la Etapa I, relacionados con el sistema de caldera fueron: *Sistema 01*: Agua de Alimentación y Condensado, *Sistema 07*: Generación de Vapor-Caldera, *Sistema 08*: Accesorios de Caldera, *Sistema 09*: Vapor Auxiliar, *Sistema 10*: Aceite Pesado (FUEL OIL), *Sistema 13*: Aceite Liviano (ACPM), *Sistema 14*: Ignitores Pilotos y Quemadores, *Sistema 15*: Aire-Gases, *Sistema 17*: Manejo de Carbón.

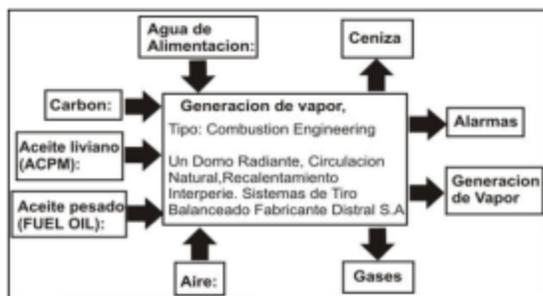


Fig.4. Diagrama Entrada-Proceso-Salida del generador de vapor (Termotasajero Colgener).

3.2. Construcción del Diagrama Entrada Proceso Salida (E-P-S) y Diagrama Funcional del Generador de Vapor

En la figura 3 observamos el diagrama funcional del generador de vapor y en la figura 4 observamos el diagrama Entrada-Proceso-Salida del generador de vapor.



Fig.5. Diagrama de Pareto Fallas de los Sistemas Relacionados con la Caldera

Para la selección de los sistemas lo primero que realizamos fue el diagrama de Pareto de los mantenimientos correctivos registrados desde el 1 de enero del 2003 al 23 de febrero del 2009 los cuales se listan en la tabla 1. En la figura 5 podemos observar el diagrama de Pareto de la tabla 1 con el cual visualizamos claramente que el 78,27% de las fallas son causadas por los sistemas 15, 17, 07,09.

**Tabla 1. Tabla de fallas de los Sistemas
Relacionados con la Caldera**

GRAFICA FALLAS TOTAL SISTEMA			
Sistemas	Fallas	% de Fallas	% de Fallas Acumulado
SIST 15	580	29,9277606%	29,9277606%
SIST 17	440	22,7038184%	52,6315789%
SIST 07	284	14,6542828%	67,2858617%
SIST 09	213	10,9907121%	78,2765738%
SIST 08	134	6,91434469%	85,1909185%
SIST 01	125	6,4499484%	91,6408669%
SIST 14	112	5,77915377%	97,4200206%
SIST 10	34	1,75438596%	99,1744066%
SIST 13	16	0,8255934%	100%
Total	1938	100%	

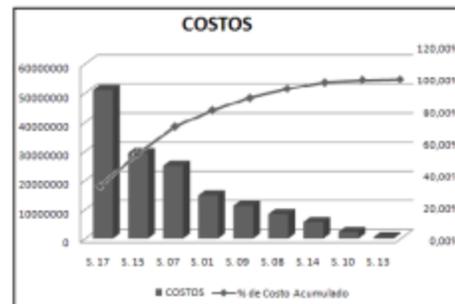
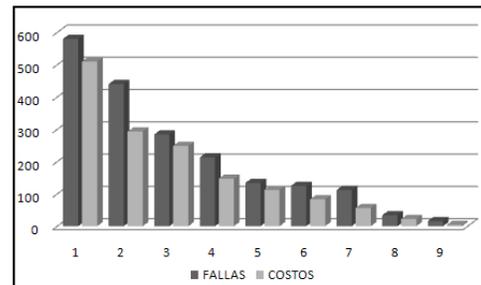
Seguidamente realizamos el diagrama Pareto de los costos de los mantenimientos correctivos registrados desde el 1 de enero del 2003 al 23 de febrero del 2009 los cuales se listan en la tabla 2. En la figura 6 podemos observar el diagrama de Pareto de la tabla 2 con el cual visualizamos claramente que el 81.14% de los costos del mantenimiento correctivo son causados por los subsistemas 17, 15, 07, 01.

**Tabla 2. Tabla de Costos de los Sistemas
Relacionados con la Caldera**

GRAFICA COSTOS TOTAL SISTEMA			
Sist.	COSTOS	% del Costo	% de Costo Acumulado
S. 17	510.297.999	34,4674391%	34,467439%
S. 15	293.627.081	19,8326734%	54,300112%
S. 07	249.685.038	16,8646631%	71,164775%
S. 01	147.806.519	9,98340618%	81,148181%
S. 09	112.356.437	7,58897479%	88,737156%
S. 08	83.648.985	5,64996591%	94,38712%
S. 14	56.230.832	3,79804111%	98,185163%
S. 10	22.399.496	1,5129459%	99,698109%
S. 13	4.469.555	0,30189049%	100%
Total.	1.480.521.942	100%	

Por último realizamos la correlación de las figuras 5 y 6 como se observa en la figura 7. Al realizar los tres pasos anteriores podemos analizar que los sistemas que contribuyen al mayor número de fallas que generan mantenimiento correctivo y los mayores costos de reparación son los sistemas: 15, 17, 07. El Sistema 15 no se tendrá en cuenta debido a que el equipo que más presentaba fallas y costos era el precipitador electrostático, el cual se cambió en una renovación tecnológica realizada en el año 2005. Y el Sistema 17 no se tendrá en cuenta

debido a que los equipos que presentaban el mayor número de fallas son los pulverizadores los cuales se escapan de este estudio. Por lo dicho anteriormente se seleccionó el sistema 07. Realizando el mismo procedimiento descrito anteriormente y analizando los resultados obtenemos que las subsistemas del sistema 07 que mayor número de mantenimientos correctivos y mayores costos reparación son el domo (07PP0DK) sobrecalentador final (07PP0SZ). Por lo tanto estos serán los seleccionados para seguir con la aplicación de la metodología.

Fig. 6. Diagrama de Pareto Costos de los Sistemas
Relacionados con la Caldera .Fig. 7. Diagrama de Pareto Costos Vs Fallas de los
subsistemas relacionados con la caldera.

3.4. Listado de Instrumentos, Narrativas y Diagramas de Control del Domo.

Sólo se especificarán como ejemplo las narrativas y diagramas de control del domo para el sobrecalentador final se realiza exactamente igual.

3.4.1. Listado de Instrumentos.

En este punto se realizó un inventario de todos los instrumentos que pertenecen al domo y al sobrecalentador final con sus respectivos códigos de identificación.

3.4.2. Narrativa de Proceso del Domo.

Es un recipiente cilíndrico con extremos semiesféricos situado en la parte superior de la caldera en el tambor de vapor donde sucede la separación del agua y del vapor. El agua de

alimentación es suministrada al tambor de vapor desde el economizador. El vapor saturado sale del tambor de vapor hacia el Sobrecalentador.

3.4.3. Narrativa de Control del Domo.

El lazo que controla el agua de alimentación esta conformado substancialmente por un regulador típico de tres elementos que comandan las tres bombas de alimentación en paralelo.

Las variables de proceso en juego en este tipo de regulación son las siguientes.

- La medición del nivel del domo compensada en presión.
- La medición de agua de alimentación total que consiste en la suma del caudal de dicha agua, con la de atemperación SH, así como la de atemperación RH.
- La medición del caudal de vapor.

La necesidad de recurrir a una regulación de tres elementos y no al simple lazo de nivel, comparado con el *set point*, se debe a la estabilidad durante los transitorios. La comparación entre el caudal de agua y el caudal de vapor, en efecto permite establecer con anticipación la evolución de la variable del nivel (*Feedforward*). Este tipo de previsión resulta útil sobre todo cuando la medida de nivel ya no es representativa del nivel real, a causa de las condiciones o de las dilataciones del fluido, por efectos de las variaciones de presión.

3.4.4. Narrativa de Seguridad del Domo.

El domo y el Sobrecalentador pueden verse sometidos a presiones superiores a la de diseño, con el consiguiente riesgo de explosión, pudiendo causar graves consecuencias tanto para las personas como para las instalaciones cercanas. Para prevenir este riesgo se instalan en estos equipos válvulas de seguridad, que permitan por medio de la descarga del fluido contenido, aliviar el exceso de presión. En la empresa Termotasajero Colgener el domo cuentan con tres válvulas de seguridad, PSV-1T ubicada en el domo lado derecho, PSV-2T ubicada en el domo lado derecho y PSV-3T ubicada en el domo lado izquierdo.

3.4.5. Diagramas de Control en el Domo.

El diagrama de control se muestra en la figura 8.

3.5. Cálculo del Riesgo en los Instrumentos Pertenecientes al Domo.

Para el cálculo del riesgo nos basamos en la data histórica recolectada. De cada una de los subsistemas seleccionados.

En la tabla 3 se muestra un ejemplo de los datos utilizados de la data histórica recolectada, en esta se observa el equipo que fallo, la fecha y los costos de dicho fallo. Con las fechas de los fallos calculamos el TPF, aplicando la ecuación 5 calculamos TPPF, aplicando la ecuación 4 calculamos λ , con la ecuación 3 calculamos la confiabilidad, por último tenemos que probabilidad de fallo es igual a 1 menos la confiabilidad de esta forma calculamos la probabilidad de fallo como se muestra en la tabla 4. Una vez calculado el riesgo procedimos a calcular las consecuencias.

Tabla.3. Ejemplo de la Data Histórica recolectada en el software SAP.

Denomin.	Cst.tot.reales	Fecha ref.
PSV-2T	136.326	29.06.2004
DPV-1	43.680	28.06.2004
DPV-2	958.049	05.08.2005
PSV-1T	1.981.214	12.05.2006
PSV-3T	1.981.214	12.05.2006

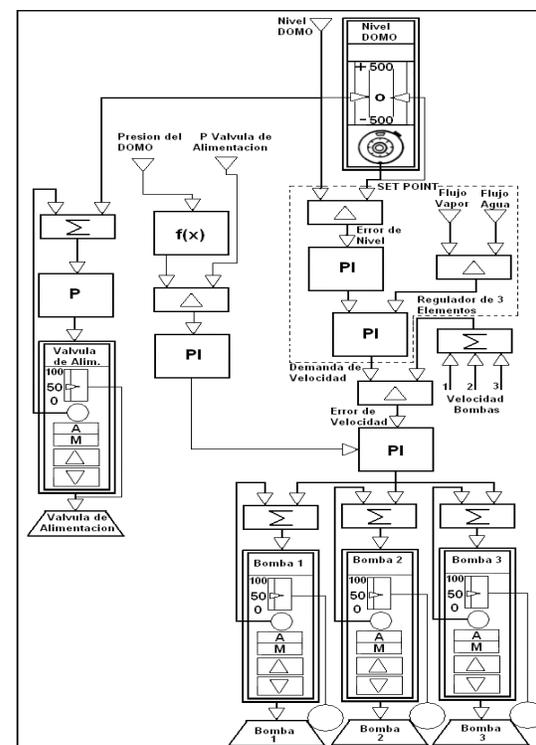


Fig.8. Lazo de control de tres elementos en el domo.

Tabla: 5. Cálculo del riesgo de los instrumentos del domo.

INSTRUMENTO	TPPF	λ	CONFIA. (C)	NO CONFIA. (P)	COS. REP.	IMP. PROD.	IMP. AMB.	IMP. PER.	CONSECUENCIA	RIESGO
PSV-1T	5,44888	0,183523954	0,110549992	0,889450008	10	10	0	10	30	26,684
PSV-3T	6,66	0,15015015	0,165001321	0,834998679	3	10	0	10	23	19,205
PSV-2T	7,0666	0,141510769	0,183025603	0,816974397	3	10	0	10	23	18,79
INDICADOR	6,76375	0,147846978	0,169625241	0,830374759	8	0	0	0	8	6,643
DPV-1	3,297	0,303306036	0,026260945	0,973739055	2	2	0	0	4	3,895
DPV-2	12,292	0,081353726	0,37672315	0,62327685	2	2	0	0	4	2,4931
LTV-1	15,62	0,064020487	0,463825981	0,536174019	1	0	0	0	1	0,5362

3.5.1 Cálculo de las Consecuencias en el Domo.

Para el cálculo de la consecuencia mostramos como ejemplo los costos de reparación. Para el impacto sobre la producción, ambiental, en salud y seguridad se realiza exactamente igual.

Costos de Reparación: Para esto nos basamos en los costos que se listan en la tabla 4. (Millones de pesos) Puntaje de 0 a 10.

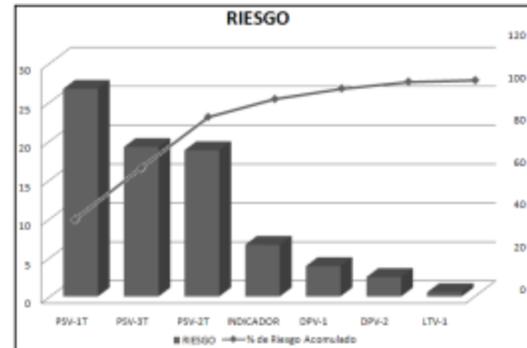
Tabla. 4. Costos en millones de pesos.

Millones de Pesos	Puntaje	Millones de Pesos	Puntaje
Menos de 2.5	1	Entre 12.5 y 15	6
Entre 2.5 y 5	2	Entre 15 y 17.5	7
Entre 5 y 7.5	3	Entre 17.5 y 20	8
Entre 7.5 y 10	4	Entre 20 y 22.5	9
Entre 10 y 12.5	5	Más de 22.5	10

Una vez calculado la probabilidad y la consecuencia calculamos el riesgo como se muestra en las tablas 5.

3.6. Selección de los Instrumentos que Requieren con mas prioridad la Aplicación de Sistemas de Detección y Diagnóstico de Fallas.

Una vez determinadas las pérdidas de oportunidad que producen las paradas de planta no programadas y por ende el impacto económico que estas generan en las unidades de producción ver tabla 5, se ordena de mayor a menor riesgo los resultados como se observa en la figura 9, analizando esta determinamos que los instrumentos más críticos son las válvulas PSV-1T, PSV-2T y PSV-3T en el domo y las válvulas PSV-1E y PSV-1S en el sobrecalentador final, por lo tanto estos son los instrumentos requieren con más urgencia la implantación de sistemas de detección y diagnóstico de fallas en el generador de vapor de la empresa Termotasajero Colgener.

*Fig.9. Diagrama de Pareto del Riesgo de los Instrumentos del Domo*

4. RECOMENDACIONES

Una vez seleccionados los instrumentos más críticos los cuales fueron las válvulas PSV-1T, PSV-2T, PSV-3T, PSV-1S y la PSV-1E. Se recomienda como siguiente paso proceder a determinar las fallas funcionales, estas fallas funcionales se obtienen mediante herramientas sistemáticas como análisis causa raíz y análisis causa efecto, para este tipo de fallas hay que tener en cuenta la normatividad existentes como la NTP 342 y NTP 509 debido a que estas válvulas son de seguridad. (Cejalvo, 1994; Turmo, 1994).

5. CONCLUSIONES

La formula y el manejo de las políticas y prácticas apropiadas de la confiabilidad pueden lograr un mejoramiento sustancial en las ganancias económicas de las empresas.

El primer paso para lograr una buena metodología de mantenimiento ya sea Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) o Optimización del Plan de Mantenimiento (PMO), seleccionar de manera adecuada los equipos que requieren dicho mantenimiento y para esto se propuso la metodología descrita.

La metodología propuesta fue aplicada para seleccionar los instrumentos del generador de vapor y sus sistemas relacionados. Esta propuesta metodológica puede ser expandida para los instrumentos de cualquier sistema debido a que es una metodología flexible que se basa en información como: La data histórica de mantenimientos correctivos, manuales de sistemas y equipos, planos P&ID, información de expertos recolectada a través de entrevistas informales y tormenta de ideas. Permitiendo la toma de decisiones acertadas aumentando la confiabilidad operacional de la empresa.

La documentación y definición de las especificaciones de cada uno de los sistemas estudiados permiten determinar las características de operación de estos, siendo la base para el desarrollo de futuros análisis causa raíz y análisis de modo y efectos de falla

Los diagramas entrada-proceso-salida y funcionales fueron claves en la definición del contexto operacional del sistema de generación de vapor, estos establecen representaciones visuales de los procesos de cada uno de los sistemas y subsistemas y las funciones que lo componen igualmente se pueden determinar los efectos generados al sistema por causa de las diferentes fallas funcionales que se puedan presentar.

La metodología de selección de instrumentos propuesta, basada en la estimación del riesgo, integra herramientas reconocidas de la Ingeniería de Confiabilidad, en una sola plataforma que permite, realizar una selección integral sustentada en toda la información disponible de un instrumento (data histórica, data técnica y opinión de expertos).

REFERENCIAS

- Remiro, J. A. y Lozano, M. A. (2007). Control del Rendimiento y Diagnóstico Termoeconómico de Centrales Termoeléctricas, Información Tecnológica Vol. 18(1), GITSE, Dpto. de Ingeniería Mecánica, España.
- García P., Oliverio. (2005). Herramientas Estratégicas de Confiabilidad Operacional. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, VII Congreso Internacional de Mantenimiento Industrial, Bogotá.
- Martínez T., M. C., Ávila. J., Millán. M. (2004). Confiabilidad Operacional en el Sistema de Microondas PDVSA, Oriente Gerencia AIT Departamento de Planificación y Gestión, Revista Mantener
- Tarantino A., R. y Aranguren Z., S. (2005). Maintenance Plan Applied to Instrumentation of Industrial High Pressure Boilers”, Instituto de Investigación y Desarrollo de Tecnología Aplicada, Universidad de Pamplona. Colombia.
- Distral S.A. (1982). Manual de Operación y Mantenimiento para la Central Termoeléctrica de Tasajero, Colombia.
- Grupo de Ingeniería. (1997). Sistemas de Planta, Termotasajero Colgener, Colombia.
- Amendola, L. (2002). Mantenimiento Centrado en Confiabilidad”, Primera Edición, España.
- Tarantino A., R. y Aranguren Z., S. (2004). Metodología de Implantación de los Sistemas de Detección y Diagnóstico de Fallas en la Industria, Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada. Colombia.
- Yáñez, M., Perdomo J. L., Gómez, H. (2003). Ingeniería de Confiabilidad; Pilar Fundamental del Mantenimiento, Reliability and Risk Management S.A.
- Woodhouse, J. (1993). Managing Industrial Risk, Chapman and Hall, Oxford, UK.
- Tarantino A., R. y Aranguren Z., S. (2006). Approaches And Directives For The Development And Application Of Fault Detection And Diagnosis Systems. Instituto de Investigación y Desarrollo de Tecnologías Aplicada (IIDTA) Universidad de Pamplona, Colombia.
- Mobray, J. (1997). RCM II. Reliability- Centred Maintenance, 2.1 segunda edición. Oxford. Butterworth-Heinemann.
- The Engineering Society for Advancing Mobility Land Sea Air and space International.1999. SAE JA1011. Evaluation Criteria for Reliability- Centered Maintenance (RCM) Processes.
- Cejalvo L., A. (1994). NTP 342 Soupapes de sécurité (I) resignements techniques Safety Valves (I): technical features, Ministerio del Trabajo y Asuntos Sociales España.
- Turmo S., E. (1994). NTP 509 Soupapes de sécurité. Modes de défaut et fiabilité Safety valves. Failure modes and reliability, Ministerio Del Trabajo y Asuntos Sociales, España.