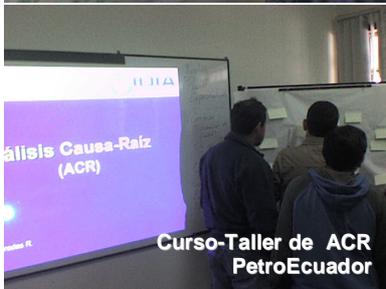


Lean Management	<input checked="" type="checkbox"/>
TQM	<input checked="" type="checkbox"/>
Mantenimiento/Operaciones	<input checked="" type="checkbox"/>
Gestión Ambiental	<input type="checkbox"/>
Gestión de Seg. y Salud	<input type="checkbox"/>
Gestión Energética	<input type="checkbox"/>
Gestión Humana	<input type="checkbox"/>

Siguiendo la Ruta de la calidad: Metodología integral para el análisis causa-raíz de problemas y de fallas (RCFA - Root Cause Failure Analysis)

Ing. Francis Paredes Rodríguez^(*)



No es necesario decir que las organizaciones no aprenden de los problemas, si las personas no los analizan y los discuten. Sin embargo, esto continúa siendo solamente un pensamiento importante. El potencial del aprendizaje disponible no se obtiene a menos que el problema (o fallas: un tipo de problema) o pérdida se analice y se discuta profundamente.

El asunto es que muchas veces en las organizaciones estamos tan inmersos en reaccionar a los problemas que se presentan en el día a día, que el llevar a cabo una actividad tan proactiva como el analizar problemas, o fallas en particular, no es vista como algo que aporte o agregue valor al negocio, ni mucho menos como algo estratégico y parte de una filosofía de mantenimiento (si hablamos de fallas). Y ni que decir de establecer un sistema de gestión de fallas.

La habilidad para resolver problemas no es un talento innato que poseen sólo unas pocas personas especiales. Más bien, es el resultado acumulativo de actos individuales que se van

moldeando y mejorando a través de la experiencia y estudio repetido

Sin embargo, si queremos adoptar acciones conducentes a reducir los costos del ciclo de vida útil del proceso o de los activos, mejorar la seguridad y la confiabilidad del negocio, debemos aplicar una metodología disciplinada que permita identificar las causas-raíces y un plan Kaizen para eliminarlas o controlarlas.

Aquí queremos mostrar una metodología integrada basada en el modelo de análisis procedente del campo de la calidad, conocido como QC-Story (Historia de Calidad o Ruta de la Calidad).

Este modelo estructurado bajo el ciclo de DEMING, PDCA (Plan-Do-Check-Act), es muy familiar dentro de las empresas industriales debido al empleo de las reconocidas siete herramientas básicas: diagrama de Pareto, diagrama de Causa y Efecto, histogramas, estratificación de información, hojas de chequeo o verificación, diagrama de dispersión y gráficos de control y también por las 7N QC Tools (Diagrama de árbol, de relaciones, de afinidades, de flechas,

^(*) Ing. Mecánico de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Director General y Consultor Senior del Instituto de Ingeniería Aplicada-IDIA. Especializado en TQM (Total Quality Management) en Japón, Productividad y Competitividad en Italia, Francia y España por la OIT, Gestión ambiental rentable en Alemania, Producción más Limpia en Colombia y Conservación de la Energía en Japón. Asesor, consultor y capacitador de empresas líderes, para la implementación y aplicación de sistemas de gestión (ISO 9001:2000, ISO 14001, OHSAS 18001) y de estrategias clase mundial, tales como "Lean Manufacturing", TPM (Mantenimiento Productivo Total), 5S, SMED, Kaizen, Just In Time, RCM, Six Sigma, ACR. Auditor Líder ISO 9001:2000 IRAM-IQM. Más de 20 años de experiencia en la Industria. Ha sido Jefe de Mantenimiento y coordinador de mejora continua y de TPM en alicorp S.A.A. y Sub-Gerente de Mantenimiento y Proyectos en PRODAC S.A. empresa del grupo Belga BEKAERT líder mundial en la fabricación de alambres y derivados. Es uno de los primeros impulsores de la filosofía "Lean" en el Perú. Docente de la PUCP en el curso de "Gestión del Mantenimiento y Seguridad" del Programa de especialización en Producción y Operaciones.

Ha colaborado como capacitador/consultor de empresas líderes, entre las cuáles se encuentran: alicorp S.A.A., Minera Yanacocha S.R.L., Cementos Lima S.A., Gloria S.A., Kimberly Clark Perú y Ecuador, PLUSPETROL, Kraft Foods Perú S.A., Ecopetrol de Colombia, Monómeros de Colombia, PetroEcuador, Minera Barrick S.A., ABB S.A., Minera Poderosa, PROTISA, ENERSUR S.A. (Tractebel), Suez Energy Perú S.A., EGASA, Luz del Sur S.A. Southern Perú CC, Doe Run Perú S.R.L., Good Year S.A., C.H. San Gabán, Faber Castell S.A., ElectroPerú, Cogorno S.A. Boyles Bros Diamantina, PerúBar, Filtros Lys S.A., Cogorno S.A., Vencedor S.A., IEQSA, Firth Industries Perú.

Fig. 1. Abordaje de los Problemas

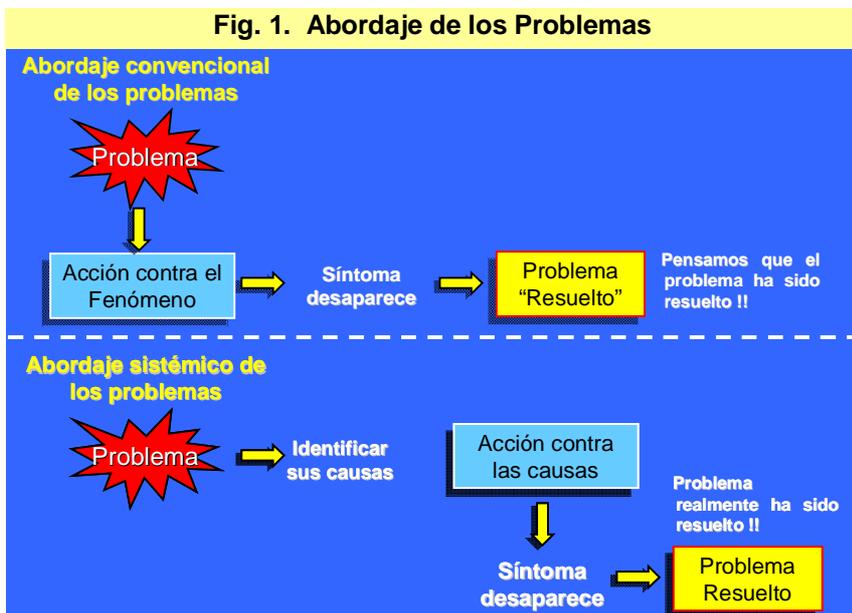


diagrama matricial, matriz de análisis de datos, PDPC)

Las causas de los problemas se investigan desde el punto de vista de los hechos, y se analizan con precisión la relación entre la causa y el efecto.

Las fallas o defectos en los equipos o sistemas productivos aparecen de dos modos: como pérdidas crónicas o, esporádicas. Esta metodología es potente para la reducción drástica de las pérdidas crónicas, especialmente cuando estas son altas. Sin embargo, es frecuente encontrar que estos buenos resultados se deben a la eliminación de las pérdidas esporádicas, pérdidas que no son habituales pero que pueden tener un alto impacto en un cierto tiempo, manteniéndose sin resolver las pérdidas crónicas. (H.Alvárez)

Con las metodologías de calidad es posible lograr una disminución de hasta un 90% de las pérdidas crónicas; sin embargo, cuando se pretende reducir el diez por ciento restante, es necesario recurrir a

las técnicas especializadas de mantenimiento, como el análisis P-M (que abordaremos en un artículo posterior) o el análisis Why-Why nacidos en el entorno TPM.

La metodología de los 7 pasos o la Ruta de la Calidad (QC Story), tiene las siguientes etapas:



El paso 1 es “obvio” si estamos ante una falla o avería específica o un evento relevante que se ha presentado y que queremos analizar inmediatamente. Sino, debemos seleccionar de un conjunto de posibilidades, un tema específico aplicando algunas herramientas básicas (Pareto, Matriz de decisiones, etc.)

En la fig. 8, se muestran los pasos indicados, las acciones más importantes y las herramientas más empleadas en cada paso.

Nos centraremos en esta oportunidad en el análisis de las causas (Paso 4) y veremos como se pueden integrar diversas herramientas que nos pueden ayudar a encontrar las causas-raíces de las pérdidas, problemas o fallas en particular en esta etapa de la metodología.

Existen muchas herramientas para esta etapa, algunas sólo aplicables al análisis de fallas y otras para problemas en general: diagrama causa-efecto, diagrama de árbol (empleado de diferentes maneras), diagrama de relaciones, análisis de barreras, análisis de cambio, 5 Porqués, FTA (Failure Tree Analysis). Veremos a continuación algunas de ellas:

Diagrama causa-efecto o diagrama de Ishikawa

Podemos determinar la estructura o relación múltiple de causa-efecto observándola sistemáticamente. Es difícil solucionar problemas complicados sin tener en cuenta esta estructura.

El diagrama causa-efecto es un vehículo para ordenar, de forma muy concentrada, todas las causas que supuestamente pueden contribuir a un determinado efecto. Nos permite, por tanto, lograr un conocimiento común de un problema complejo, sin ser nunca sustitutivo de los datos. Este diagrama fue desarrollado en 1943 por el Prof. Kaoru Ishikawa en Tokio.

En la fig. 3 se puede visualizar un Diagrama Causa-efecto en el que las causas demarcadas con el óvalo son las **causas** más probables (hipótesis), que luego de validadas según la información obtenida en la etapa 2: comprensión de la situación actual, se convierten en causas-raíces.

Una pequeña desventaja de esta herramienta es que no nos muestra claramente la estructura o relación entre las diferentes causas.

Una variante del diagrama causa-efecto, es el CEDAC (Cause Effect Diagram with Addition of Cards - Diagrama de Causa Efecto con Adición de Cartas), desarrollado por Ruiji Fukuda de la empresa Sumitomo, a quien el comité del premio Deming le otorgó el premio Nikkei por el

desarrollo de este procedimiento.

El CEDAC es un verdadero instrumento de gestión de conocimiento a través de la experimentación. Permite la formulación de hipótesis sobre factores que generan el problema y posteriormente, durante el trabajo diario, se verifica si la causa que se ha seleccionado contribuye o no al problema, o sea, se prueba la hipótesis. Esta forma de trabajo experimental contribuye a la acumulación de conocimiento ya que el trabajador puede evaluar directamente en la planta si sus creencias o si sus puntos de vista son válidos.

Esta técnica complementada con los instrumentos estudiados en este artículo, pueden brindarle muy buenos resultados, tanto en la mejora del conocimiento, como de en el incremento de la

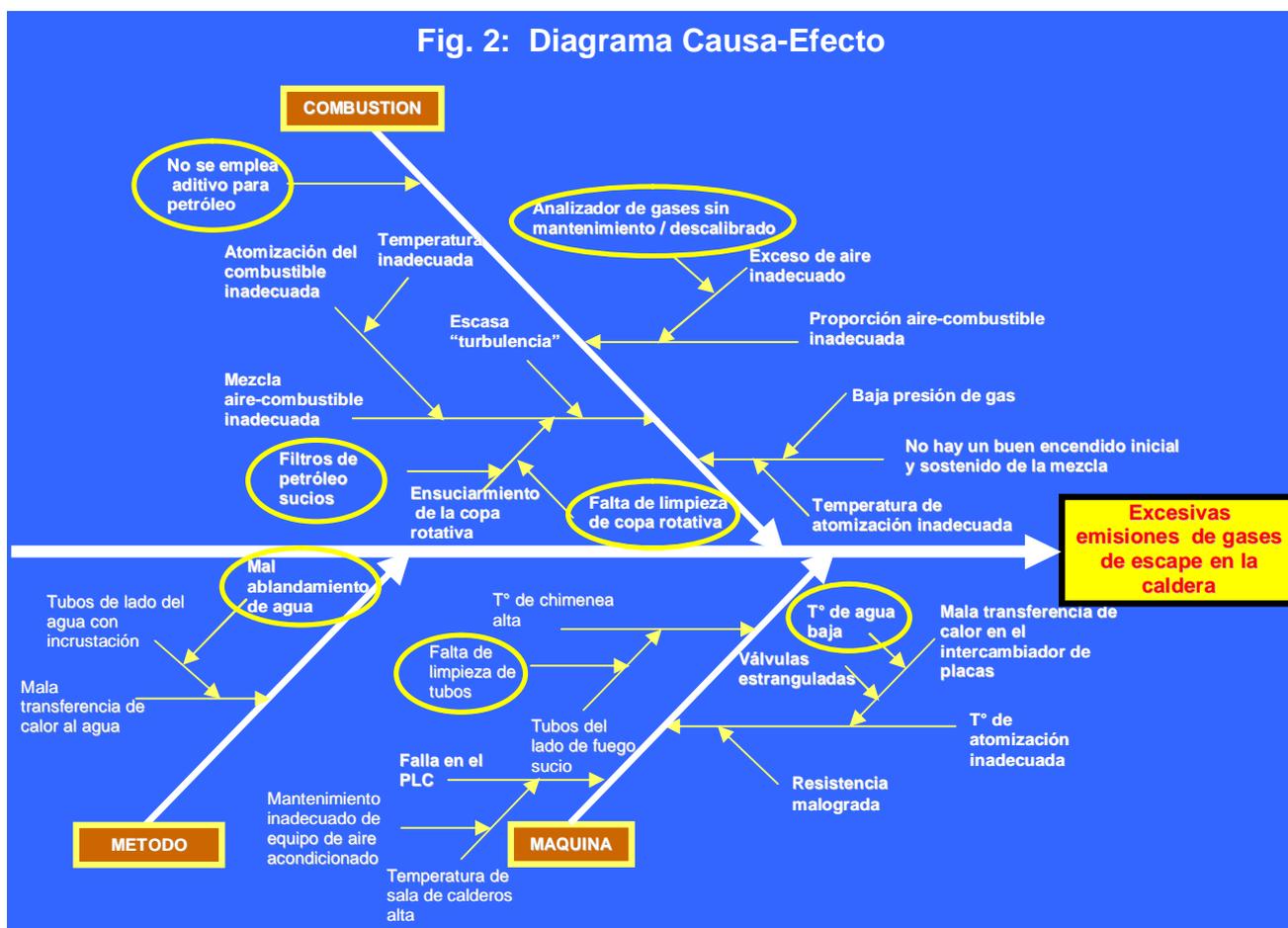
confiabilidad y disponibilidad de los sistemas productivos.

Diagrama de Arbol

Es una representación gráfica que muestra el desglose progresivo de los factores, elementos o medios que pueden contribuir a un efecto u objetivo determinado, mostrándolo de forma ordenada, clara, precisa y de un solo "golpe de vista".

Por sus características principales, la construcción de un Diagrama de Árbol es muy útil cuando:

- Se requiere desglosar a distintos niveles de integración un efecto u objetivo.
- Es necesaria una planificación estructurada.
- Se busca una guía en el análisis o estudio de alternativas de actuación.



Utilización en las fases de solución de problemas

Durante un proceso de solución de problemas, hay varios puntos en los que la construcción de un Diagrama de Árbol es útil:

- Como guía para identificar las acciones de mejora que deben ser emprendidas en base a un despliegue de objetivos.
- En la fase de diagnóstico para la formulación de teorías sobre las causas de un problema y en la fase de corrección para considerar soluciones alternativas.

En ambos casos se utiliza de forma similar al Diagrama Causa-Efecto.

En este punto debemos mencionar que, por ejm. La metodología PROACT™ para el análisis de fallas, emplea el diagrama de árbol lógico de forma vertical y, de forma similar que la metodología DNV en el análisis de Pérdidas, agrupa las causas en causas inmediatas (causas físicas), causas básicas (raíces humanas) y falta de control (raíces latentes). Todo lo anterior basado en la teoría del Domino (Fig. 3).

Diagrama de Relaciones

El Diagrama de relaciones puede ser empleado para buscar las causas de un defecto, de una falla, para clarificar la estructura de un problema, o para desplegar los medios para lograr un objetivo por

medio de la investigación de las relaciones entre causa y resultado, u objetivo y medios, en un problema complejo.

Cuando un equipo de trabajo se encuentra ante un problema complejo, en los que no es fácil contar con datos cuantitativos y se requiere probar el grado de contribución de las causas a un problema, es necesario emplear esta técnica ya que permite observar las relaciones entre causas en un mapa completo.

También este diagrama puede servirnos para identificar las causas-raíces de 2 o más problemas que se hayan presentado a la vez (fig. 6 b)

En este diagrama (ver fig. 6), y en el de árbol, es recomendable emplear tarjetas o post-its para construir los diagramas.

Para el caso del diagrama de relaciones, cada miembro del equipo de trabajo, debe pensar y escribir cinco causas que consideren son las que ocasionan el problema (o falla) en tarjetas separadas. Las causas deben ser expresadas en oraciones breves.

Al igual que en todas las herramientas empleadas en esta etapa del análisis, el próximo paso, el más crítico, es la verificación de las hipótesis. Para que la lógica deductiva continúe, se debe verificar cada hipótesis para ver cuáles son verdaderas y cuáles no lo son (puede haber pasado o no).

Aquí es necesario hacer notar que es tan importante probar que algo no es verdad como que sí lo es. La verificación de cada hipótesis da la confianza necesaria de que cuando se llega a las causas raíces, estas son las correctas. Por ello si el paso 2 de la metodología, se ha realizado correctamente, el análisis de la data permitirá verificar sin mayores problemas las hipótesis.

Análisis de Árbol de fallas (Failure Tree Analysis FTA)

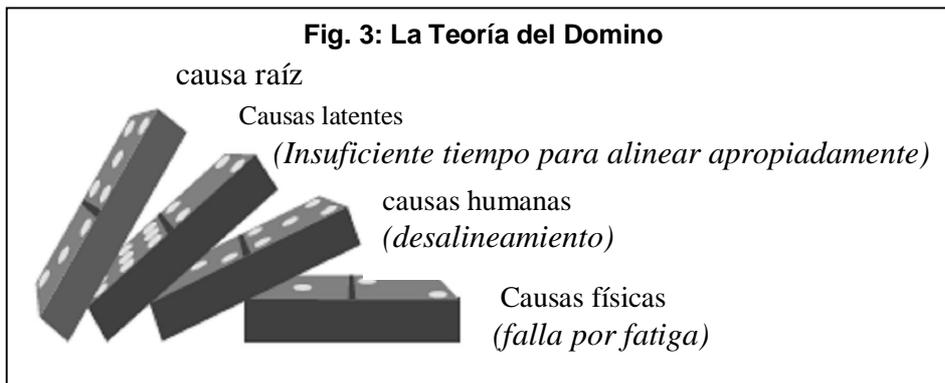
El análisis del árbol de fallas surgió como una **herramienta Proactiva**, para determinar las causas de eventos no deseados.

Posteriormente, se propuso también para realizar ACR de eventos (relevantes). Sin embargo, el marco conceptual de esta última aplicación reactiva, no se encuentra totalmente formalizada. Por lo tanto, aquí se propone complementar el uso del FTA con otras herramientas para efectivamente llegar a determinar causas raíces.

Dentro del ACR los árboles de fallas se pueden emplear de diferentes formas para obtener las causas (latentes): postulando el evento relevante como evento tope o bien, apoyando el uso de otras técnicas.

En su aplicación al ACR, los árboles de fallas pueden responder a las preguntas ¿qué ocurrió? y ¿cómo ocurrió?, sin embargo, la respuesta a la pregunta ¿por qué ocurrió? requiere de un cuestionamiento de mayor profundidad, para lo cual la estructura del árbol por sí sólo no es necesariamente la mejor opción.

El FTA proporciona una representación simbólica de fácil uso de la estructura lógica y las



relaciones que existen entre los eventos potenciales indeseados básicos y que pueden ocurrir de manera conjunta causando que el evento cumbre ocurra. El principal objetivo del FTA es determinar la probabilidad de que el evento cumbre (top event) ocurra.

Se analiza cada evento al hacer la pregunta, "¿Cómo es posible que esto suceda?". Al contestar esta pregunta, se identifican las causas principales y como se interactúan para producir un evento no deseado. Este proceso de lógica sigue hasta identificar todas las causas posibles.

A lo largo de este proceso, se usa un diagrama de árbol para grabar los eventos identificados. Las ramas del árbol terminan cuando estén completos todos los eventos que resultan en el evento negativo.

El FTA consta de los pasos siguientes:

1. Definir el evento superior.
2. Conocer el sistema.
3. Construir el árbol.
4. Validar el árbol.
5. Evaluar el árbol.
6. Considerar cambios constructivos.
7. Considerar alternativas y recomendar medidas.

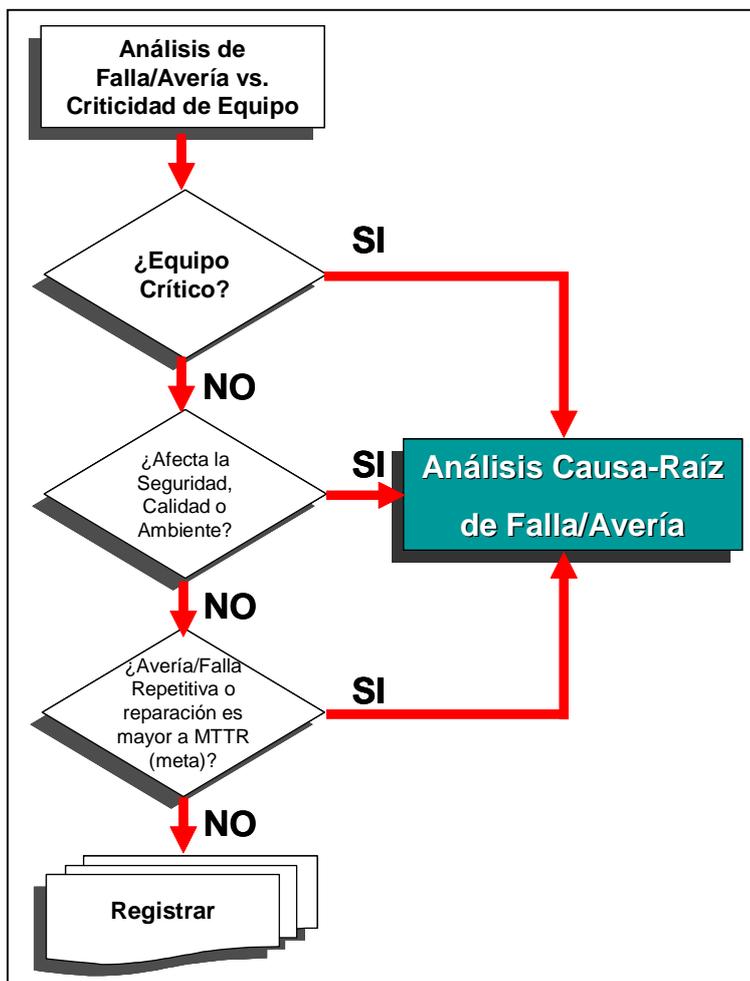
En la Fig. 7 se muestra un ejemplo de un FTA para una válvula de agua.

El árbol tiene que construirse al usando los símbolos de eventos mostrados en la Fig. 7. Debe ser sencillo dentro de un formato lógico, uniforme y consistente de nivel a nivel. Se deben emplear títulos claros y precisos al escribir dentro de los símbolos de eventos. Las puertas de lógica deben limitarse en lo posible a "la puerta y" y "la puerta o" y se debe usar símbolos de restricción solamente cuando sea necesario.

El Proceso de los 7 pasos desarrollado aquí, dijimos, que en general es aplicable a la resolución de Problemas y la selección de un problema a analizar es tratada en el paso 1. Pero podemos considerar que en el caso de una avería/falla, la decisión de analizarla o no puede seguir el esquema de la fig. siguiente:

métodos visuales tanto para el análisis de las causas como para el seguimiento de las acciones correctivas o de mejora plasmadas en los planes Kaizen.

Al final es recomendable resumir todo el Análisis en un documento denominado por Toyota: **Reporte A3**.



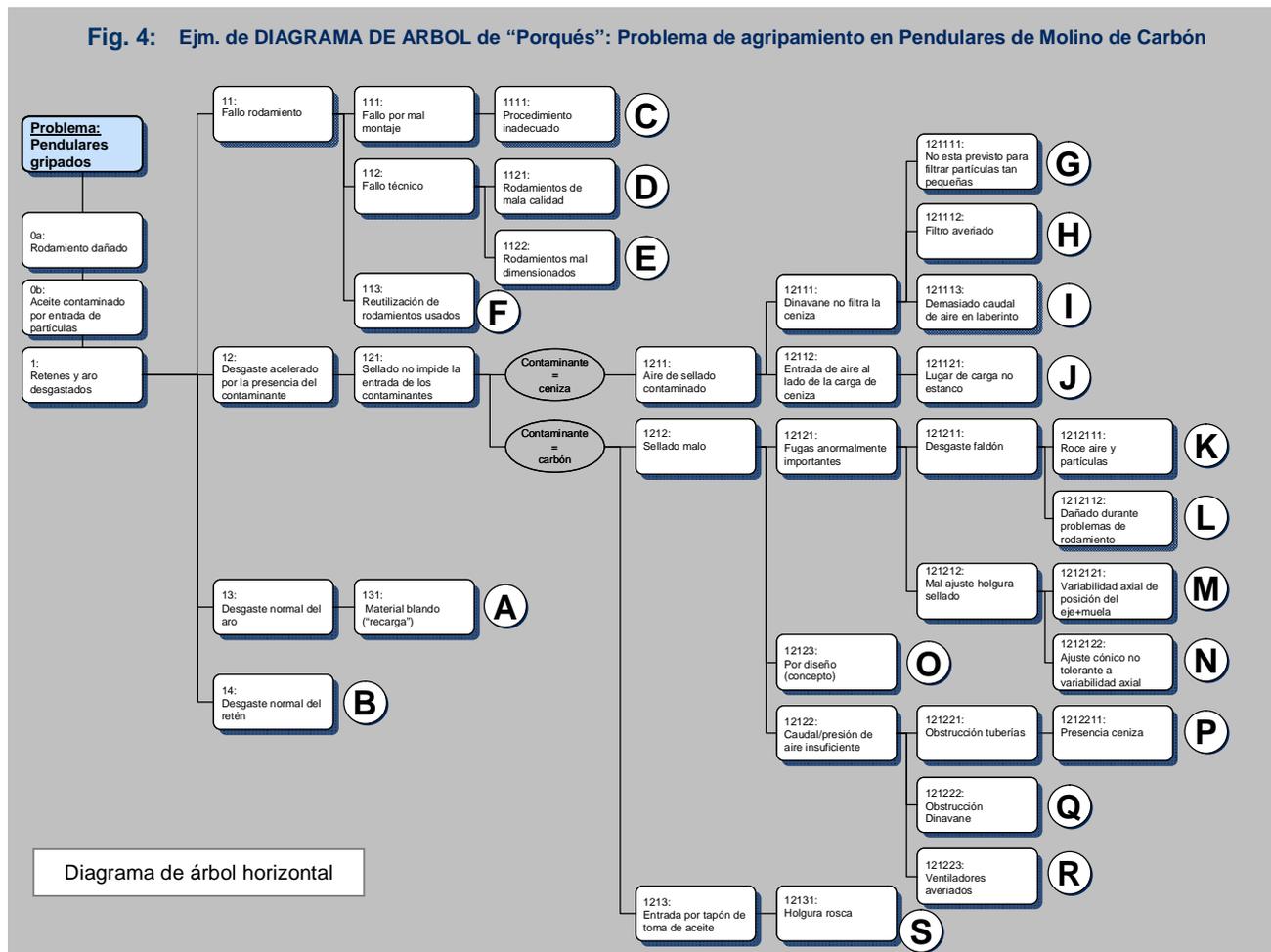
Conclusiones:

Cualquiera de las metodologías a emplear en el proceso de análisis causa-raíz, debe seguir el ciclo PDCA. Pero estas no serán efectivas, sino consideramos la importancia de la participación e involucramiento del personal relacionado en el problema o falla/avería. Por ello, es conveniente considerar el emplear

Referencias:

- *Curso de Análisis Causa-Raíz, Francis Paredes- 2008*
- *Solución de Problemas, Katsuya Hosotani*
- *Fault Tree Analysis, Norma IEC 1025*
- *Root Cause Failure Analysis, R. Keith Mobley*

Fig. 4: Ejm. de DIAGRAMA DE ARBOL de “Porqués”: Problema de agripamiento en Pendulares de Molino de Carbón



Identificación de causas:

△	G (121111): Filtro “Dinavane” no puede filtrar cenizas	○ Causa investigada y bajo control
	Filtro “Dinavane” compuesto de aletas metálicas separadas por mas de 3 mm → filtración cenizas improbable mismo con la orientación en laberinto. → Averiguar las especificaciones técnicas	△ Investigación necesaria
○	H (121112): Filtro “Dinavane” dañado (físicamente)	×
	Revisado durante la parada. Estaba sucio pero no dañado. → OK	→ Causa raíz
△	I (121113): Demasiado caudal de aire en “Dinavane”	
	Averiguar en función de G y de las fugas reales de sellado	
×	J (121121): Dispersión de ceniza en al aire durante su carga en camión	
	Posibilidad de limitar el efecto a utilizar correctamente las puertas del recinto de carga (informar a los camioneros) PERO palanca no accionable 100% → Investigar sistema de filtración si el Dinavane no es suficiente (ver “G”)	
○	K (1212111): Desgaste del faldón por roce permanente de polvo de carbón	
	Desgaste existente pero mucho menos rápido que la frecuencia de cambio de la muela → criterio a averiguar durante los cambios de muela, y remplazar según necesidad	
×	L (1212112): Faldón desgastado por roce del eje a tener problema de rodamientos	
	Algunos faldones tienen la marca del eje → Sustituirlos	

Fig. 5 : Diagrama de Arbol Lógico de eventos (Diagrama Vertical)

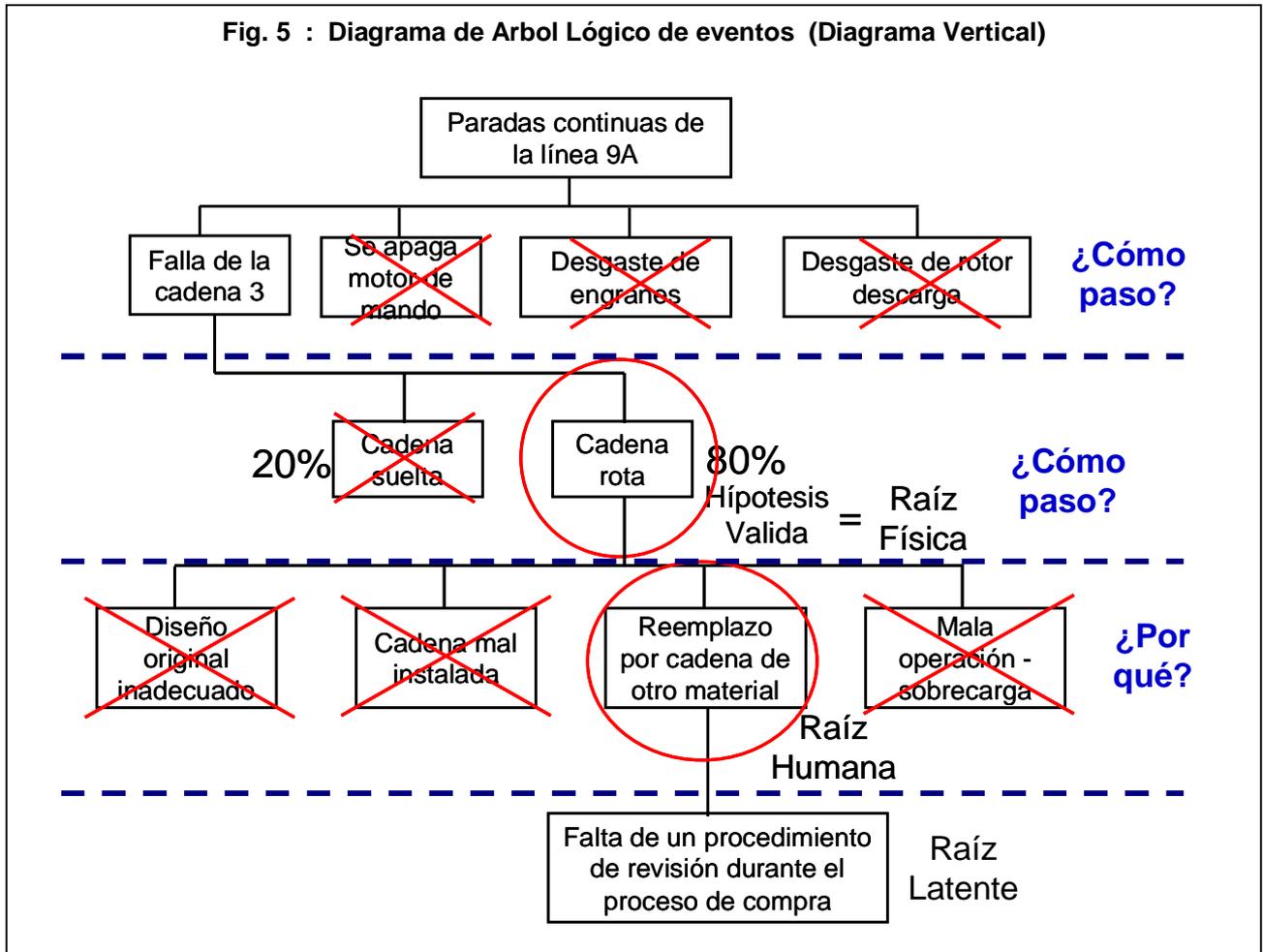


Fig. 6 (a): Diagrama de Relaciones para analizar 1 problema

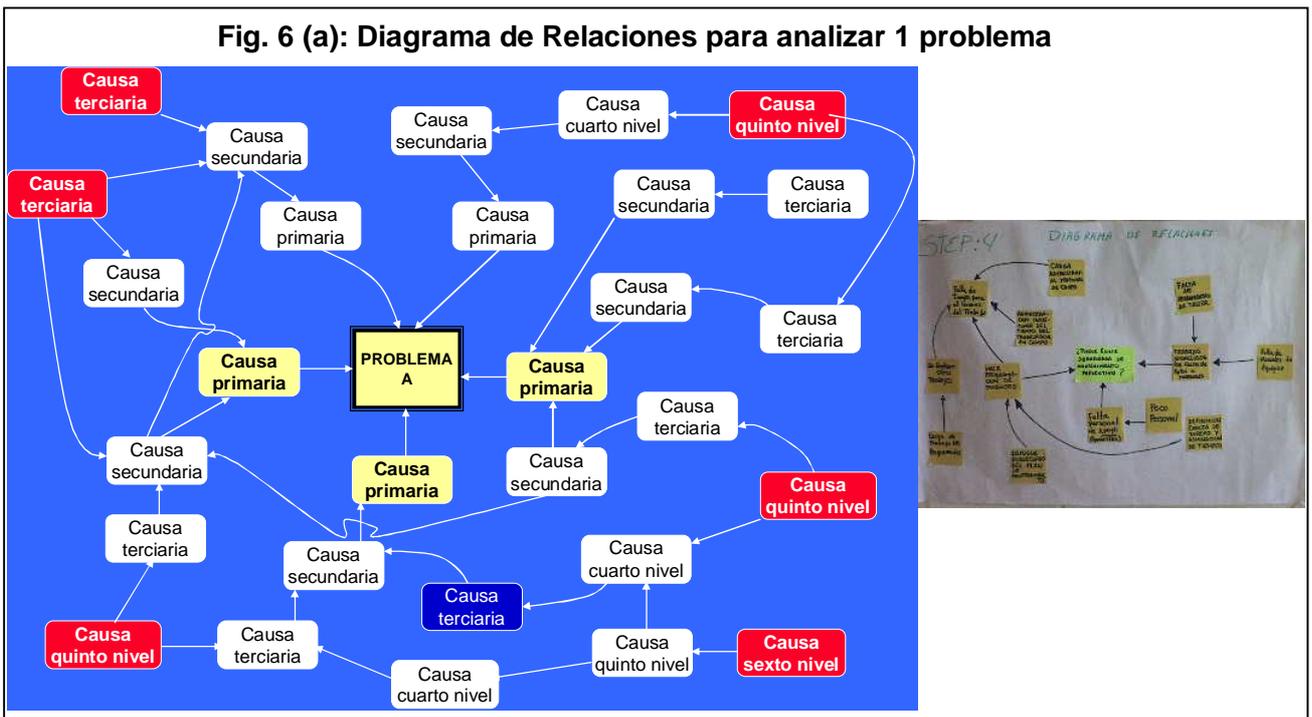


Fig. 6 (b): Diagrama de relaciones para analizar las causas-raíz de más de 1 problema

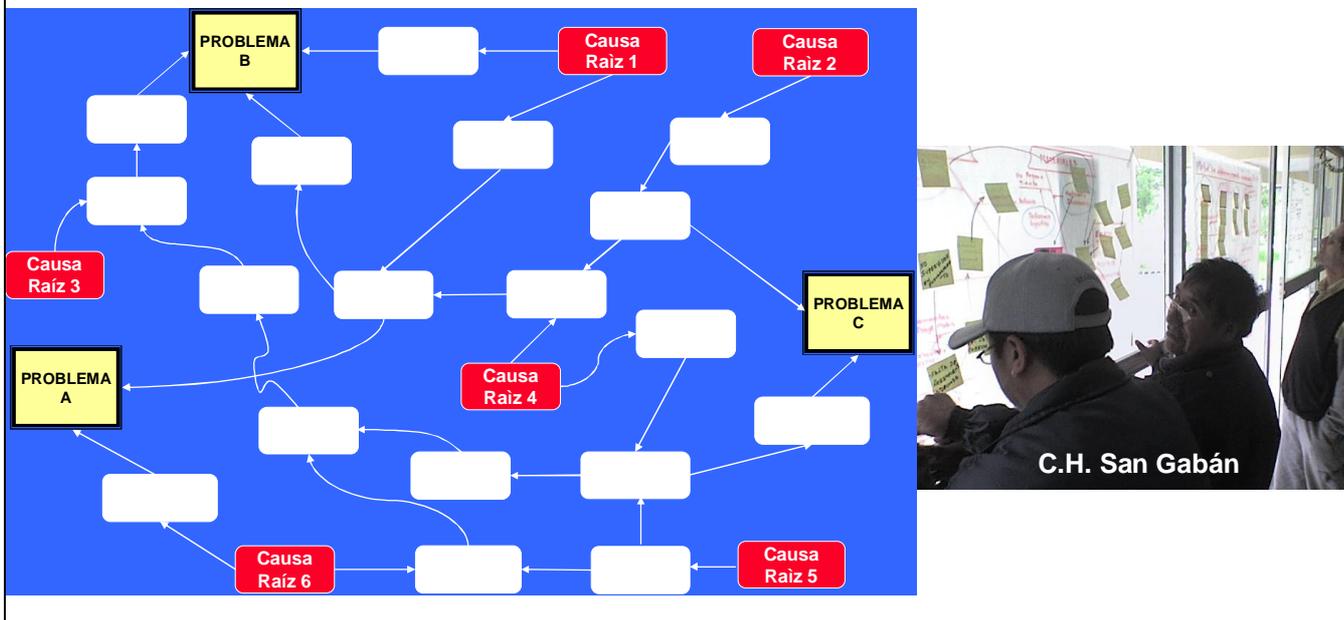


Fig.7: Diagrama de árbol de Fallas (FTA)

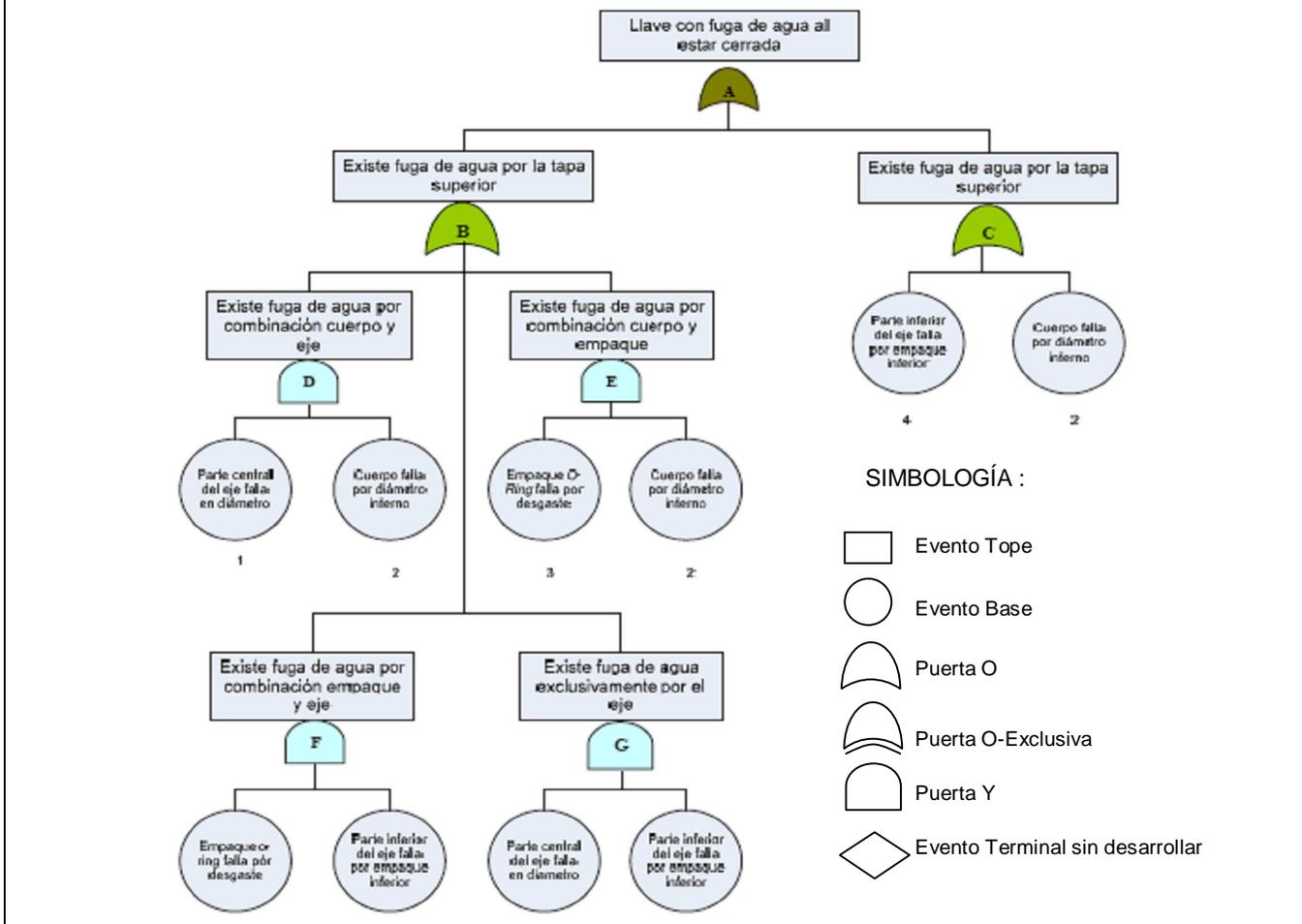


Fig. 8 : QC Story – 7 Pasos para la solución de Problemas

PASOS PDCA	PASO	ACCIONES	ALGUNAS HERRAMIENTAS UTILES
P L A N I F I C A R	1. SELECCIONAR EL TEMA	a. Analizar la situación actual, identifique algo que necesite mejorarse. Analizar datos pasados: defectos, fallas, tendencias, etc. b. Determinar los problemas c. Discutir sobre la importancia relativa de varios problemas d. Mostrar que el problema seleccionado es el más importante e. Enunciar el problema en terminos medibles (no ambiguos) f. Fije una meta intermedia y una fecha para lograr esta mejora	Tormenta de ideas Diagrama de Pareto Técnica de grupo Nominal Matriz de Decisiones Diagramas de flujo Entrevistas, investigaciones Hoja de registro
	2. COMPRENDER LA SITUACIÓN ACTUAL Y ESTABLECER OBJETIVOS	a. Recopilar información, estudiar registros b. Investigar y entender el problema desde cinco puntos de vista: - Síntoma (defectos, modos de fallas, costo, etc.) - Tiempo (turno, día, semana) - Posición, Lugar (zona donde se producen los defectos o fallas) - Tipo (artículo, máquina, equipo) - Paradigmas c. Establecer el objetivo de la mejora	Diagrama de Pareto Hojas de registro Diagrama de flujo Entrevistas, investigaciones Histogramas Gráfica de Control Diagrama dispersión Estratificación
	3. PLANIFICAR LAS ACTIVIDADES	a. Decidir sobre las actividades a realizar b. Diseñar un plan de actividades que abarque todo el ciclo PDCA c. Definir fechas y responsables para cada actividad	Tormenta de ideas Diagrama de afinidades Diagrama de Gantt
	4. ANALIZAR LAS CAUSAS	a. Determinar los factores involucrados, selección de los factores más importantes b. Buscar la relación entre factores, verificarla c. Realizar un diagrama de causa-efecto o similar d. Identificar las causas-raíces del problema e. Verificar y Validar cada causa raíz contra el paso 2 f. Identificar las causas-raíces que tengan la mayor incidencia sobre el problema	Diagrama de causa-efecto Diagrama de Árbol Diagrama de Relaciones Why-Why Analysis Diagrama de Pareto Tormenta de ideas
H A C E R	5. CONSIDERAR E IMPLEMENTAR CONTRAMEDIDAS	a. Generar ideas para reducir o eliminar las causas-raíces b. Determinar acciones para llevar a cabo las propuestas de solución c. Evaluar la propuesta de mejora: Preparar un plan operativo d. Ejecutar el plan de acción e. Considerar los elementos más importantes presentes en el proceso: Mano de obra, Materiales, Métodos y Máquinas /equipos (4M's')	Tormenta de ideas Diagrama de Afinidades 5 W's - 2 H's Diagrama de árbol Diagrama de Gantt
V E R I F I C A R	6. VERIFICAR RESULTADOS	a. Comparar los datos obtenidos, antes y después de realizadas las acciones b. Convertir los resultados de las acciones a términos monetarios c. Evaluar la efectividad de la mejora, usando datos en serie d. Si la mejora no es evidente, regresar al paso N° 2	Diagrama de Pareto Hoja de verificación Histogramas Gráficas (lineales, pie, barras)
A C T U A R	7, ESTANDARIZAR Y ESTABLECER CONTROL	qué, por qué, cómo, y usarse como un estándar b. Diseñar un sistema de responsabilidad para verificar si los estándares se están cumpliendo c. Preparar y comunicar los estándares a todo el personal involucrado (programa de educación y entrenamiento) a. Hacer una lista de los problemas que permanecen b. Planear que hacer para solucionar esos problemas (defina responsabilidades) c. Pensar sobre lo que ha funcionado bien y lo que no ha dado resultado en las actividades de mejoramiento	Tormenta de ideas Diagrama de Pareto Procedimientos, instrucciones Diagrama de flujos Histograma 5 W's, 2 H's Gráfico de Control ----- Tormenta de ideas Diagrama de Pareto Técnica del grupo nominal Gráfico de líneas Histograma