

# Análisis de Criticidad Integral de Activos



**Autores:** Edwin Gutiérrez, Miguel Agüero, Ivaneska Calixto  
*R2M. S.A Reliability and Risk Management*



Artículo extraído de  
**Edición No. 6**

## Introducción

Hoy en día el ambiente competitivo de las empresas de mantenimiento está caracterizado por una serie de fuerzas que han obligado a las compañías a cambiar su forma tradicional de desarrollar sus operaciones. Es importante que las empresas se esfuercen a adaptarse cada vez más rápidamente a realidades nuevas y complejas. La rapidez de los cambios en este ambiente de negocio, ha obligado a las organizaciones a invertir y tomar decisiones basadas en información incompleta, incierta o imprecisa y al mismo tiempo, a cumplir con las exigencias de producir a menor costo y con mayores niveles de calidad y confiabilidad.

Durante muchos años las empresas se limitaron al diseño de sus planes de mantenimiento pensado en las recomendaciones de los fabricantes, con base a las fallas ocurridas y en la experiencia operacional interna y externa. Adicionalmente se divorciaba al operador de las actividades de mantenimiento de los equipos. Esta práctica ha generado una visión truncada de los requerimientos reales de mantenimientos de los activos y sin considerar los niveles de riesgo asociados a SHA (Seguridad, Higiene y Ambiente) y su impacto en Procesos, así como también la condición de los Equipos Estáticos para la selección de las estrategias de inspección y frecuencias.

El reconocimiento de estas limitaciones de los diseños tradicionales de planes de mantenimiento, ha permitido el nacimiento de nuevas Metodologías como “Mantenimiento Centrado en Confiabilidad”, “Inspección Basada en Riesgo”, “Análisis de Criticidad para Propósitos de Mantenimiento” y “Diseño de Planes y Programas de Activos Basados en Confiabilidad”.

Debido a estos cambios, se desarrolló la metodología para el análisis de criticidad para optimizar los planes de mantenimiento, mediante la integración de la metodología de Ciliberti, la metodología de Mantenimiento Basado en Criticidad, Inspección Basada en Riesgo y el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, agrupando los diferentes métodos que conforman las operaciones. El objetivo final es mejorar los tiempos de generación de planes de cuidado y a su vez generar una lista jerarquizada de equipos por nivel de criticidad, con el fin de generar los planes de cuidado de los equipos basados en el nivel de riesgo.

## Marco Conceptual

### Análisis de criticidad

Es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos, de acuerdo a una figura de mérito llamada “Criticidad”; que es proporcional al “Riesgo” creando una estructura que facilita la toma de decisiones y el direccionamiento del esfuerzo y los recursos hacia las áreas, de acuerdo con su impacto en el negocio.

El análisis de criticidad es una técnica de fácil manejo y comprensión en el cual se establecen rangos relativos para representar las probabilidades y/o frecuencias de ocurrencia de eventos y sus consecuencias. Ambas magnitudes, frecuencias y consecuencias, se registran en una matriz, diseñada en base a un código de colores que denotan la menor o mayor intensidad del riesgo relacionado con la Instalación, Sistema, Equipo o Dispositivo (ISED) bajo análisis, tal como se ilustra en la Figura 1.

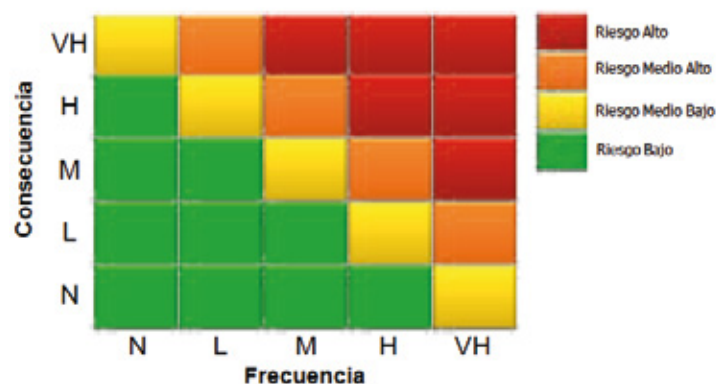


Figura 1. Matriz de Criticidad.

Los productos del Análisis de Criticidad son:

- Lista jerarquizada por “criticidad” de los ISED’s (instalaciones, sistemas, equipos o dispositivos) bajo análisis.
- Matriz de criticidad con la calificación del riesgo asociado a cada ISED analizado.

### Definición de riesgo

El riesgo es un término de naturaleza probabilística, que se define como “egresos o pérdidas probables consecuencia de la probable ocurrencia de un evento no deseado o falla”. En este simple pero poderoso concepto coexiste la posibilidad de que un evento o aseveración se haga realidad o se satisfaga, con las consecuencias de que ello ocurra.

Matemáticamente el riesgo asociado a una decisión o evento viene dado por la expresión universal:

$$R(t) = P(t) \times C(t)$$

Donde:  
R(t): Riesgo  
P(t): Probabilidad  
C(t): Consecuencias

Al momento de evaluar un particular evento o aseveración en particular, es necesario cuantificar las probabilidades de ocurrencia y consecuencias de cada uno de los escenarios que conllevan al evento bajo estudio.

El riesgo se comporta como una balanza que permite ponderar la influencia de varias alternativas en términos de su impacto y probabilidad, orientando al analista en el proceso de toma de decisión.

En ese proceso de toma de decisiones se emplea el riesgo como una herramienta para la optimización de los planes de cuidado de activos, dirigiendo mayores recursos y esfuerzos para aquellos equipos que presente un riesgo elevado y una reducción de esfuerzo y recursos para los equipos de bajo riesgo, lo cual permite en forma general un gasto justificado en los recursos dirigidos a las partidas de mantenimiento.

## Técnicas de análisis de riesgo

Existen diferentes técnicas para dimensionar el riesgo, todas ellas enmarcadas en tres modalidades técnicas “Cualitativas”, “Semi- Cuantitativas” y técnicas “Cuantitativas”.

### Técnicas cualitativas:

Las técnicas cualitativas como su nombre lo indica, obedecen a razonamiento de naturaleza cualitativa, donde la estimación de la probabilidad de ocurrencia de los eventos y de sus respectivas consecuencias se realiza utilizando una escala relativa donde no se establecen rangos numéricos explícitos.

La estimación del riesgo pasa por estimar la probabilidad de ocurrencia de un evento (frecuencia de ocurrencia) y sus consecuencias. Las técnicas cualitativas, proponen estimar ambos términos, cualificándolos como se muestra a continuación:

#### • Estimación cualitativa de la frecuencia

1. Extremadamente improbable.
2. Improbable.
3. Algo probable.
4. Probable.
5. Muy probable.

#### • Estimación cualitativa de consecuencias

- A.- No severa.
- B.- Poco severas.
- C.- Medianamente severas.
- D.- Muy severas.
- E.- Extremadamente severas.

Una vez que las probabilidades de cada evento han sido estimadas conforme a la escala relativa descrita anteriormente; y por otra parte, las consecuencias han sido categorizadas dependiendo de su severidad relativa, se puede estimar cualitativamente el riesgo asociado a cada escenario considerado y agrupar los escenarios en diferentes grupos donde las probabilidades y consecuencias sean equivalentes.

Una de las debilidades de esta técnica, es que debido a su naturaleza cualitativa, en ciertas ocasiones y dependiendo de la percepción de los analistas, un mismo evento podría ser categorizado en diferentes escalas; de allí la importancia de establecer cierto esquema referencial para definir en forma más explícita los diferentes niveles de probabilidades y consecuencias, y por otra parte conservar el mismo equipo de trabajo durante todo el desarrollo del análisis de riesgo.

Un ejemplo de esta técnica de análisis cualitativo es la metodología de puntos, como se muestra en la figura 2.

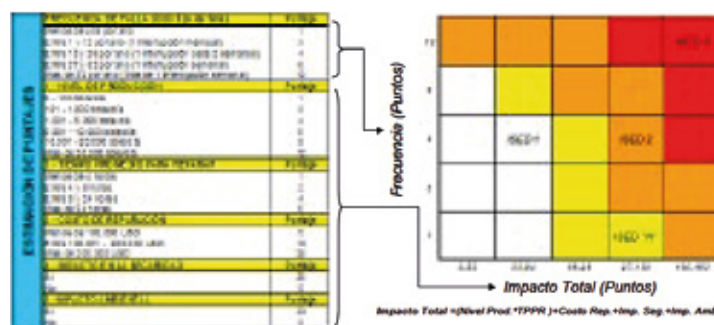


Tabla 2. Metodología de Criticidad de Puntos.

### Técnicas Semi- Cuantitativas

Al igual que las técnicas cualitativas, son técnicas blandas, de fácil manejo y comprensión, cuya mayor virtud es la de proveer un valor de criticidad, proporcional al riesgo, que permite jerarquizar opciones para tomar una decisión, componentes dentro de un sistema, equipos o subsistemas en una instalación, etc., pero que por su carácter semi-cuantitativo no permiten obtener valores absolutos de riesgo y por ende no son las más adecuadas para establecer la tolerabilidad del riesgo.

En las técnicas semi-cuantitativas, se establecen rangos relativos para representar las probabilidades de ocurrencia y

las consecuencias correspondientes, llegándose a establecer una matriz de criticidad o de jerarquización del riesgo, que si bien no corresponde a valores absolutos, si representan rangos numéricos de riesgo.

Posteriormente, una vez cuantificadas (al menos comparativamente) las probabilidades de ocurrencia y las respectivas consecuencias, se procede a estimar en forma relativa el riesgo.

### Técnicas Cuantitativas

Para realizar un dimensionamiento más objetivo del Riesgo, que permita juzgar sobre bases más sólidas su tolerabilidad, existe técnicas cuantitativas, mucho más complejas que las técnicas cualitativas y semi cuantitativas y que por ende requieren mayor tiempo para su desarrollo.

Las técnicas cuantitativas permiten determinar valores absolutos de riesgo, que pueden tratarse como egresos probables y por ende incluirse en evaluaciones financieras a ser tomados en consideración en cualquier proceso de toma de decisiones.

El objetivo principal es determinar el riesgo asociado a un evento, escenario o decisión en particular a través de la cuantificación explícita de la probabilidad y las consecuencias, como se muestra en la figura 3.

### Grupo de equipos

El grupo de equipos representa el nivel jerárquico de caracterización de equipos principales y todos sus equipos soportes que permiten el cumplimiento de la función o grupo de funciones para los cuales han sido seleccionados, como se muestra en la figura 4.

### Fundamentos del Análisis de Criticidad

El Análisis de Criticidad (AC) es una metodología “semi-cuantitativa” para dimensionar el riesgo que permite establecer jerarquías o prioridades de instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos (ISED’S), de acuerdo a una figura de merito llamada “Criticidad”; que es proporcional al “Riesgo”: La Criticidad se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\text{CRITICIDAD} = \text{Frecuencia de Falla} \times \text{Impacto}$$

La cual es proporcional a la siguiente ecuación:

$$\text{RIESGO} = \text{Prob. Falla} \times \text{Consecuencia}$$



Figura 3. Determinación del Riesgo.

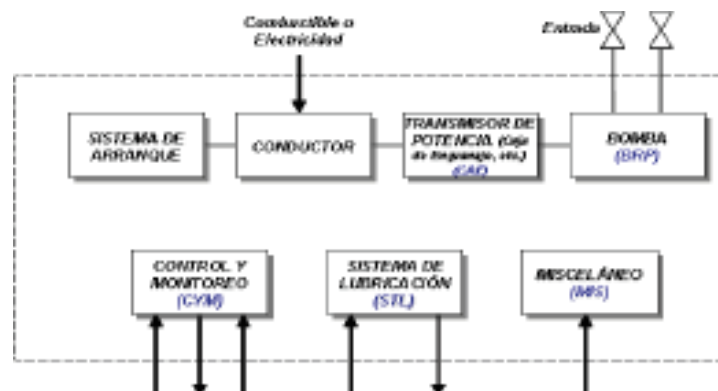


Figura 4. Grupo de Equipos.

La **Frecuencia de Falla** es proporcional a la probabilidad de falla y el Impacto es proporcional a la Consecuencia de una falla; en consecuencia; **CRITICIDAD es Proporcional al RIESGO.**

El analisis de criticidad es una técnica de fácil manejo y comprensión en el cual se establecen rangos relativos para representar las probabilidades y/o frecuencias de ocurrencia de eventos y sus impactos o consecuencias. Ambas magnitudes; frecuencias e impactos; se llevan entonces a una matriz; como la mostrada en la Figura 5 que tiene un código de colores que denotan la menor o mayor intensidad del riesgo relacionado con la instalación, sistema, equipo o dispositivo bajo análisis.

La figura 5; muestra un típico arreglo de una matriz de riesgo 4x4 semicuantitativa; Puede verse en la figura que el eje de la probabilidad o frecuencia se divide en rangos calificados como Alto, Medio, Bajo y Remoto; y de igual manera se dividen las consecuencias en rangos calificados como Grave; Substantial, Marginal e Insignificante. Estos rangos deben asociarse a valores numéricos para estudios cuantitativos y/o a descripciones muy claras para el caso de estudios semi-cuantitativos o cualitativos.

En la matriz pueden identificarse tres regiones; a saber:

- Región de Riesgo Inaceptable.
- Región de Riesgo Aceptable.
- Una región entre las regiones de riesgo aceptable y riesgo inaceptable en la cual se requiere de acciones de evaluación detallada, gerencia y monitoreo del riesgo.

Esta matriz es solo un ejemplo que considera la división en regiones que se muestra la Figura 5. Esta división es la recomendada por la Norma NORZOK Z-013 – “Risk and Emergency Preparedness Analysis”. No obstante, es importante aclarar que para cada proceso, tipo de industria o sistema particular bajo estudio debe establecerse claramente lo que se considerará como riesgo intolerable y lo que se considerará como riesgo tolerable. Esto debe además corresponder a un “gran acuerdo” aceptado a todos los niveles de la organización o proceso donde se utilizará la matriz.

Un aspecto clave en el establecimiento de una matriz de riesgo es la definición de los rangos de probabilidad o frecuencia y de impacto o consecuencias; a continuación se muestran ejemplos de definiciones de estos rangos:

CONSECUENCIA / IMPACTO	Grave				
	Sustancial				
	Marginal				
	Insignificante				
		Remoto	Bajo	Medio	Alto
		PROBABILIDAD / FRECUENCIA			

	Riesgo Inaceptable
	Se requiere evaluación, gerencia y monitoreo del riesgo
	Riesgo Aceptable

Figura 5. Matriz de Criticidad. Fuente: Norma NORZOK Z-013 “Risk and Emergency Preparedness Analysis”

## Métodos para Análisis de Criticidad

Durante el proceso de concepción y diseño de una estructura de criticidad para un sistema, proceso o negocio en particular, debe tomarse en cuenta tres grandes tareas:

- Realizar un exhaustivo análisis estadístico de eventos de falla y de su impacto global en el negocio, para establecer rangos relativos para las frecuencias de falla y para los impactos o consecuencias de falla.
- Establecer claramente lo que se considerará como riesgo intolerable y lo que se considerará como riesgo tolerable; lo cual implica un extenso análisis de “tolerabilidad del riesgo” en toda la organización, y la revisión de normas, estándares y regulaciones vigentes por tipo de proceso.

- Lograr un “gran acuerdo” aceptado a todos los niveles de la organización o proceso donde se utilizará la estructura de criticidad y unificar criterios para su interpretación y correcta utilización.

Las tareas previamente expuestas son seguramente posibles, pero también implican un considerable esfuerzo de análisis y el consumo de recursos y tiempo; por esta razón, muchas organizaciones deciden buscar entre las estructuras de criticidad ya diseñadas y probadas para adoptar una de estas metodologías (la que mejor se adecue a la naturaleza del proceso o negocio bajo análisis).

A continuación se describen brevemente algunas de las metodologías de criticidad de mas amplia aceptación en la industria de procesos.

### Método de Ciliberti

Este enfoque de carácter cualitativo, combina dos (2) matrices de criticidad; una construida desde la óptica de seguridad de los procesos y otra construida desde la óptica del impacto en producción. Ambas matrices se integran en una matriz de criticidad global, para obtener la criticidad total del equipo estudiado. Es el más completo de los métodos, ya que considera las probabilidades y consecuencias en las áreas de SHA y producción separadamente y luego une los resultados.

El análisis comienza cuando el analista evalúa las consecuencias y las probabilidades del criterio de seguridad, higiene y ambiente y el criterio de proceso del activo a ser analizado. Según los datos de entrada, los cuales son: las condiciones operacionales, probabilidad, consecuencia, pérdida de la producción, otros, los valores arrojados por el análisis se introducen en la matriz correspondiente a cada criterio (primera matriz), logrando como resultado la criticidad para el criterio de SHA. Para el criterio de proceso, estos valores se introducen en la segunda matriz para ajustar los niveles de criticidad obtenidos de la matriz anterior, con el fin de obtener el nivel de criticidad para el activo analizado. Finalmente ambos resultados se combinan en una matriz resultante, tal, como se muestra en la figura 6.

### Mantenimiento Basado en Criticidad

El Mantenimiento Basado en Criticidad (CBM). Equilibra el nivel de criticidad desde la óptica de proceso igualmente al de seguridad, estableciendo un reporte de criticidad que establece un rendimiento de la inversión a las compañías para los esfuerzos de integridad mecánica, mientras que a su vez establece la complacencia con las regulaciones gubernamentales. Este acercamiento perfecciona la efectividad del programa de integridad mecánica, enfocándose en los equipos más importantes, o críticos.

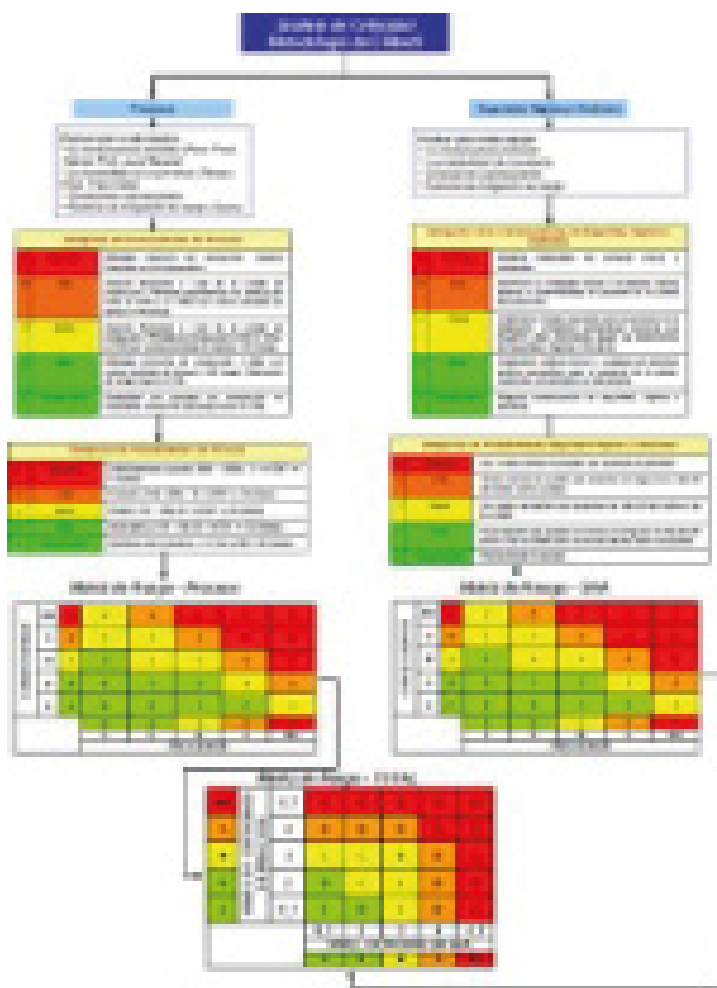


Figura 6. Análisis de Criticidad según Ciliberti.

Matriz de graduación de la criticidad del proceso y del Peligro						
		HCR				
		4	3	2	1	0
P C R	4	A44	A34	A24	A14	A04
	3	A43	B33	B23	B13	B03
	2	A42	B32	C22	C12	C02
	1	A41	B31	C21	D11	D01
	0	A40	B30	C20	D10	D00

Figura 7. Mantenimiento Basado en Criticidad.

Todos los equipos del proceso se evalúan con énfasis igual en el peligro (salud, seguridad, y ambiental) y criterios de proceso. Cada equipo recibe un grado compuesto basado en las entradas del peligro y del proceso. El grado compuesto se utiliza para establecer una graduación de la criticidad del proceso y del peligro (PHCR) para ese equipo. El valor de PHCR es una graduación relativa en una jerarquía total de la criticidad que se utilice para determinar las prioridades para los programas de mantenimiento, las inspecciones y las reparaciones.

### Análisis de Criticidad para propósitos de Mantenimiento. NORSOK STANDARD Z-008.

En este punto describiremos brevemente uno de los mas utilizados estandares en la industria del gas y del petroleo; el Estandar NORSOK Z-008; pero para profundizar en su entendimiento y aplicaciones se recomienda a los lectores consultar la referencia.

El propósito del estándar NORSOK Z-008 es mucho mas amplio que el de las metodologías de criticidad previamente expuestas, ya que no solo permite establecer las criticidades de los componentes de un sistema de producción, sino que dentro de la misma norma incluye un procedimiento para la optimización de programas de mantenimiento para facilidades nuevas y en servicio, ubicadas en tierra y costa afuera, considerando los riesgos relacionados con personal, ambiente, pérdida de producción y costos económicos directos (todos los costos aparte de los costos de la pérdida de producción).

El objetivo principal de la norma NORSOK es establecer las bases para el diseño y optimización de los programas de mantenimiento para plantas de petróleo y gas nuevas y en servicio, basados en la criticidad de sus componentes, considerando los riesgos relacionados con:

- Personal.
- Ambiente.
- Pérdida de producción.
- Costos Económicos Directos (todos los costos aparte de los costos de la pérdida de producción).

El estándar NORSOK Z-008 aplica para Equipos Mecánicos (estáticos y rotativos), Instrumentos y Equipos Eléctricos. Están excluidos del alcance de esta Norma las Estructuras de Carga Rodante, Estructuras otantes, Raisers y gasoductos/ oleoductos.

Este estándar NORSOK es aplicable para los propósitos diferentes como:

- Fase de Diseño. (Determinar los requerimientos iniciales de mantenimiento, identifica fallas ocultas de equipos críticos escondidos sobre equipo crítico y selección de partes y repuestos).
- Preparación para la operación.
- Desarrollo de programas de mantenimiento iniciales para la puesta en funcionamiento de sistemas y selección de piezas de repuesto corrientes.
- Fase Operacional. (Optimización de programas de mantenimiento existentes y como guía para priorizar ordenes de trabajo).

Para la determinación de la criticidad de los activos según esta norma se emplea el siguiente flujograma, mostrado en la figura 8:

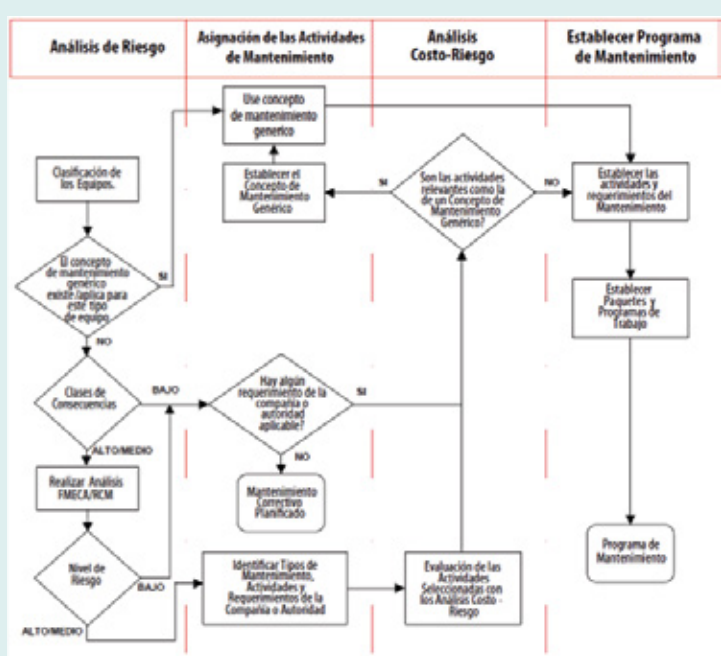


Figura 8. Metodología de NORSOK STANDARD Z-008.

### Inspección Basada en Riesgo (IBR)

Este análisis de criticidad se basa en la aplicación de la etapa inicial (Fase de Análisis Cualitativo) del estudio de IBR (Inspección Basada en Riesgo), fundamentada en las normativas API RP-580 y API PUB-581. Esta metodología permite calcular la criticidad (riesgo) con base en el análisis del comportamiento histórico, modos de degradación o deterioro, características de diseño, condiciones de operación, mantenimiento, inspección y políticas gerenciales tomando en cuenta al mismo tiempo la calidad y efectividad de la inspección, así como las consecuencias asociadas a las potenciales fallas.

Esta es una metodología especial de análisis de criticidad para equipos estáticos y solo aplica para aquellos equipos cuyo principal mecanismo de deterioro es la corrosión.

Esta metodología permite la ubicación de los equipos analizados en una matriz de 5x5 (Figura 9) que presenta cuatro niveles de clasificación de riesgo que son: riesgo bajo representado típicamente en color blanco o verde, riesgo medio presentado en amarillo, riesgo medio – alto graficado en naranja y alto riesgo mostrado en rojo.

La metodología de IBR además de determinar el nivel de riesgo asociado a los componentes estáticos de un sistema sometidos a procesos de corrosión, permite evaluar la efectividad del plan de inspección para reducir dicho riesgo.

En dicha metodología se define la falla como cualquier evento que ocasione la rotura de los límites del equipo. Por lo que se puede afirmar que la falla considerada en IBR es la pérdida de la función de contención del fluido presurizado, dicho en otras palabras, la fuga del fluido presurizado al medio ambiente.

Un programa exhaustivo de IBR debe incluir todos los equipos estáticos que componen la barrera de contención de presión del sistema en evaluación, de acuerdo con las necesidades del usuario. Estos equipos deben ser, entre otros, recipientes a presión (torres, tambores, tanques, etc.) y sistemas de tuberías de proceso.

EL análisis IBR completo implica tres fases diferentes:

- Fase I. Análisis cualitativo de riesgo.
- Fase II. Análisis semi – cuantitativo de riesgo. Fase III. Análisis cuantitativo de riesgo.
- Fase III. Análisis cuantitativo de riesgo.

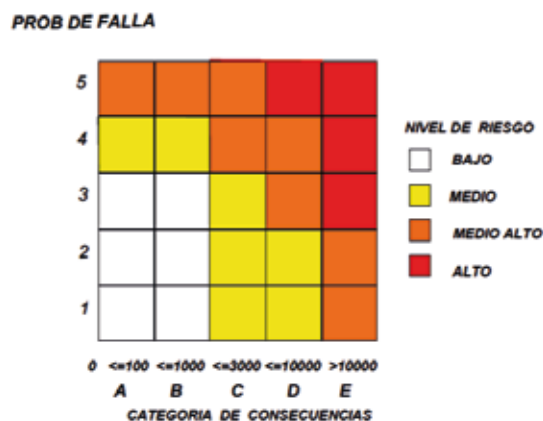


Figura 9. Matriz de Riesgo según IBR.

Como se mencionó previamente, esta metodología propone la determinación del riesgo con base en modelos de cálculo que consideran el análisis del comportamiento histórico, modos de degradación o deterioro, características de diseño, condiciones de operación, mantenimiento, inspección y políticas gerenciales tomando en cuenta La calidad y efectividad de la inspección, así como las consecuencias asociadas a las potenciales fallas. Estos cálculos son bastante mas detallados y exhaustivos que los realizados para las metodologías de criticidad previamente expuestas y los procedimientos para realizarlos están contenidos las Normativas API 580 y 581.

### Metodología de Análisis de Criticidad de los puntos

La estructuras de criticidad que provee la llamada “metodología de los puntos” tiene su origen en el movimiento de mejora de la confiabilidad de los procesos productivos que se inicio en la industria petrolera del Mar del Norte en la década del 90 [manual de criticidad de PDVSA – CIED] y hoy es ampliamente utilizada en la industria petrolera; por supuesto, com múltiples adecuaciones y modificaciones.

La base fundamental de este enfoque es el establecimiento de un sistema de puntos para valorar la criticidad; y de una matriz cuyos rangos de frecuencia y consecuencia se expresan en “puntos”.

La ecuación base para el cálculo de criticidad en esta metodología es la siguiente:

$$\text{CRITICIDAD} = \text{Frecuencia de Fallas} \times [(\text{Nivel de Producción} \times \% \text{ Impacto} \times \text{TPPR}) + \text{Costo Rep.} + \text{Imp. Seg.} + \text{Imp. Amb}]$$

La figura 10 muestra tabla para estimación de puntajes y la matriz de riesgo que propone la metodología. Su uso es intuitivo, de facil manejo y rápida aplicación.

Como todo análisis semi-cuantitativo, puede ser altamente impactado por la subjetividad en su aplicación, por lo que es recomendable el estudio de las bases o premisas que sustentan el diseño de la matriz de riesgo y la “clara definición” de cada uno de los términos de la ecuación de criticidad para evitar dualidad en la interpretación. Adicionalmente, se recomienda la participación de “equipos naturales de trabajo” en la valoración de la criticidad para minimizar el sesgo y la subjetividad.

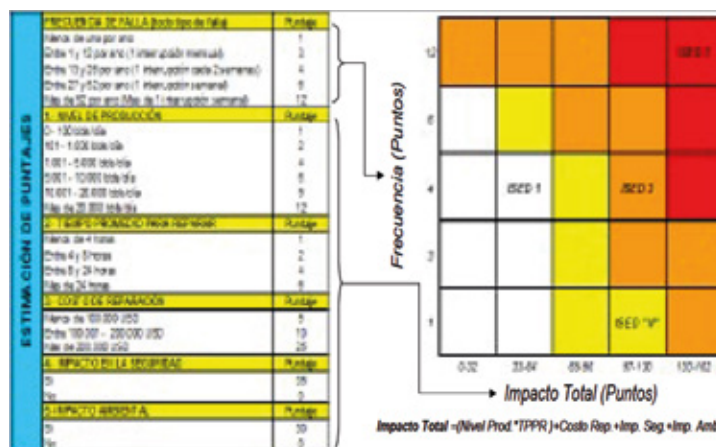


Figura 10. Metodología de Análisis de Criticidad de los Puntos.

### Análisis de Criticidad Integral de Activos.

En esta sección se propone una nueva Metodología para el Análisis de Criticidad denominada “Análisis de Criticidad Integral de Activos®”; la cual se fundamenta en algunas de las metodologías de criticidad previamente expuestas tales como: Método de Ciliberti, Norma Norsok Z-008, Mantenimiento Basado en Criticidad y la Fase Cualitativa del estudio de Inspección Basada en Riesgo (Norma API 581), complementada con las experiencias prácticas en la aplicación de estudios de criticidad en plantas de proceso y diversas instalaciones industriales alrededor del mundo.

En este sentido, la metodología propuesta adopta las virtudes de las metodologías tradicionales, e incorpora novedosos elementos dirigidos a resolver algunas de las más importantes limitaciones y dificultades que se han presentado en la práctica al realizar análisis de criticidad de plantas de proceso de gran escala; entre las cuales podemos mencionar:

- Las metodologías como Ciliberti, Mantenimiento Basado en Criticidad y la Norma Norsok Z-008 permiten modelar bastante bien la criticidad de equipos dinámicos y equipos eléctricos; pero no permiten modelar “con la adecuada resolución” la criticidad de equipos estáticos y de equipos de instrumentación y control, razón por la cual cuando se utilizan estos enfoques se sub-estiman o sobre estiman en demasía las criticidades de los mismos. Para resolver esta dificultad, el “Análisis de Criticidad Integral de Activos®” propone procedimientos especiales para caracterizar la criticidad de componentes estáticos y de instrumentación y control.



- Las metodologías tradicionales para el cálculo de criticidad requieren una gran cantidad de información de fallas y de reparaciones; así como de sus impactos en el proceso. Teóricamente, esta información debería estar disponible en los sistemas de información de cada empresa; pero en la práctica esta información “no siempre” o “casi nunca” esta registrada adecuadamente en dichos sistemas o no se dispone por otras razones. Para estos casos el “Análisis de Criticidad Integral de Activos®” propone procedimientos especiales para aprovechar fuentes de información alternativas tales como:
  - \* Opinión de Expertos.
  - \* Conocimiento Genérico (Bases de Datos Genéricas de Fallas y Reparaciones tales como OREDA, PARLOC, WELL MASTER, EXIDA, IEEE entre otras).
- Uno de los puntos más álgidos en toda aplicación de las metodologías de criticidad tradicionales, es la valoración que se le da al impacto de fallas en términos de seguridad, higiene y ambiente. Para minimizar la subjetividad de estas valoraciones el “Análisis de Criticidad Integral de Activos®” se ampara en lo establecido en la norma NFPA 704 especializada en análisis de riesgo y con particular énfasis en seguridad, higiene y ambiente.
- Las metodologías de criticidad tradicionales, proponen matrices de riesgo con límites de tolerabilidad pre-establecidos. En múltiples ocasiones, los custodios de procesos de producción exigen que la criticidad de sus instalaciones sean presentados en matrices que ellos han adoptado y que difieren de las matrices pre-establecidas por las metodologías tradicionales. Para resolver esta dificultad el “Análisis de Criticidad Integral de Activos®” se diseñó de tal manera que adopta la matriz de riesgo con los límites de tolerabilidad aceptados por el custodio o dueño del proceso.
- Los análisis de criticidad de gran escala presentan dificultades especiales para el tratamiento de la información por la gran cantidad y diversidad de equipos que conforman un sistema de producción. En estos casos hablamos de “miles” de equipos. Esta realidad genera muchas incongruencias y desacuerdos en términos de nomenclatura de equipos y sistemas y múltiples discusiones por el concepto o definición del volumen de control que se considera “un equipo”. Para minimizar estas discusiones, agilizar el análisis y unificar nomenclaturas en aras de facilitar el tratamiento de las bases de datos, el “Análisis de Criticidad Integral de Activos®” incorpora el concepto de “Equipment Group” y la nomenclatura propuestos por la norma ISO 14224 que facilita la división de un sistema en “funciones” y propone una codificación o taxonomía estandar.
- La gran mayoría de metodologías tradicionales para criticidad abundan en detalles de cómo calcular la criticidad; pero no ofrecen una metodología clara de trabajo con el equipo de especialistas que intervienen en el análisis. Sin embargo, en la práctica, las dificultades para realizar un análisis de criticidad están más relacionadas con la dinámica de trabajo en equipo que con la propia dificultad técnica para el análisis. El “Análisis de Criticidad Integral de Activos®” incorpora los conceptos de trabajo en “equipos naturales” y “equipos de alto desempeño” y define una metodología exhaustiva de revisión de las bases de datos, P&ID, diagramas de flujo, narrativas operacionales, manuales de operación, datos técnicos de los equipos, condiciones operacionales y entrevistas/análisis con el personal de mantenimiento, ingeniería y operaciones.

En resumen, el “Análisis de Criticidad Integral de Activos®” para optimizar Planes de Cuidado de Activos, es una evolución de las metodologías pre-existentes diseñada para resolver las principales dificultades que se presentan en la práctica cuando se acometen estudios de criticidad de plantas de proceso a gran escala.

## Fundamentos de “Análisis de Criticidad Integral de Activos”

Los objetivos fundamentales del “Análisis de Criticidad Integral de Activos®” pueden resumirse de la siguiente forma:

### Objetivo general

- Proveer un método integral para jerarquizar ISED’S de acuerdo a su criticidad; entendiendo criticidad como el efecto combinado de la frecuencia de fallas de cada ISED con el impacto que dicha falla genera en el negocio. Esta jerarquización permite la adecuada distribución de los recursos hacia las áreas según su impacto en el negocio.

La estructura de criticidad resultante es el insumo fundamental para la metodología de “Cuidado Integral de Activos®” que genera planes óptimos de mantenimiento e inspección de ISED’S.

## Objetivos específicos

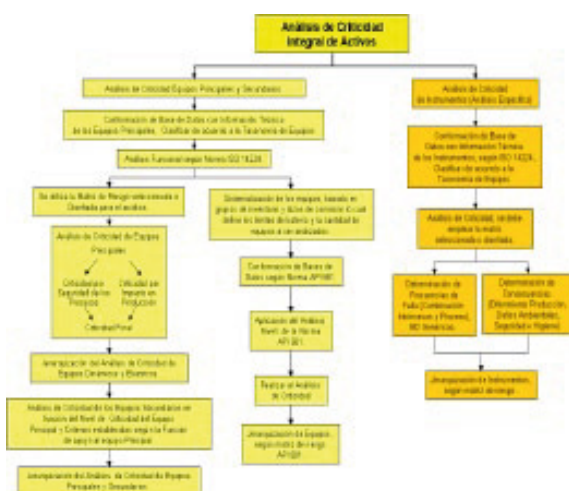
- Proveer un método de cálculo de criticidad que permita caracterizar la criticidad de equipos estáticos y de equipos de instrumentación y control con “suficiente resolución” como para generar acciones de mitigación del riesgo específicas sustentadas en una “adecuada” valoración del riesgo para estos componentes.
- Proveer una figura que permita discretizar cuanto de la criticidad esta relacionada con el impacto de la falla de un ised en la producción y cuanto de la criticidad esta relacionada con el impacto de la falla en la seguridad, higiene y ambiente; para seleccionar acciones de

mitigación del riesgo adecuadas para cada tipo de impacto.

- Generar una base de datos de frecuencias de falla y de impactos de las fallas de los componentes de un sistema de producción, estandarizada según la nomenclatura y clasificación funcional de la norma ISO 14224, que sirva como base para otros estudios de la confiabilidad del sistema de producción
- Proveer un método que tome en cuenta las dificultades que se presentan en las aplicaciones de criticidad en plantas de proceso a gran escala.

## Descripción de la metodología de “análisis de criticidad integral de activos”

La metodología de Análisis de Criticidad Integral de Activos® se resume en el flujograma de la figura 11:



Como puede observarse en el flujograma de la Metodología de “Análisis de Criticidad Integral de Activos®”, este se divide en dos vías principales, una para la jerarquización de Equipos Principales y Secundarios de las familias de equipos dinámicos, estáticos y eléctricos, y otra vía para el análisis específico de criticidad de los instrumentos.

Cada una de estas etapas de la Metodología del “Análisis de Criticidad Integral de Activos®” se describe a continuación:

Figura 11. Flujograma de la Metodología Análisis de Criticidad Integral de Activos.

## Determinación del nivel de criticidad para equipos principales de un equipment group

La determinación de los niveles de criticidad para estos equipos principales se fundamenta en base a los niveles de consecuencias y probabilidad que tiene cada equipo principal en los aspectos de Seguridad, Higiene y Ambiente y así como también el impacto en el Proceso (Perdidas de Producción) (Ver Figura 11), empleando para ello la Matriz de Riesgo definidas para un negocio en específico y tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- Riesgos en seguridad, higiene y ambiente, asociados con la operación (parámetros operacionales) y probabilidad de un evento no deseado del equipo. Para este caso, el análisis será cualitativo y requerirá del conocimiento y la opinión de expertos que conozcan sobre los riesgos asociados al equipo en análisis.

Adicionalmente parte del análisis de riesgo para el manejo de fluidos, establecido por la norma NFPA 704.

- Para el caso de impacto en el proceso, pérdida total de la función que desempeña el activo. Para este caso el análisis será cuantitativo basado en el tiempo promedio entre fallas (TPEF), tiempo promedio para reparar (TPPR), porcentaje de pérdida de producción (% Pérd. Prod.) y costos asociados.
- La existencia de equipo de reemplazo como medio de mitigación, puede disminuir en el grado de riesgo del equipo solo para el riesgo asociado al impacto en proceso.
- Este análisis debe realizarse conjuntamente con el personal de Mantenimiento y Operaciones o con cualquier otro que manifieste conocimiento sobre los riesgos desde el punto de vista de seguridad existente en la unidad en estudio o en el equipo que se analiza.

- Se determina que el nivel de criticidad final del equipo o sistema será el que represente el mayor nivel de criticidad resultante de la jerarquización por SHA y Procesos.

Adicionalmente para determinar la criticidad de estos equipos se requiere disponer de la siguiente información para los equipos principales de un Equipment Group:

- Tipo de Producto Manejado, para determinar los valores de In amabilidad, Reactividad y Riesgo en Salud (NFPA 704).
- Velocidad de rotación (RPM, Para equipos dinámicos), Presión de Operación y Temperatura de Operación, nos permite determinar los riesgos asociados a las variables operacionales.
- % Pérdida de Producción producido por la falla del equipo. Este valor dependerá del plano de análisis adoptado por el analista. Si el análisis de criticidad será realizado a nivel de la planta analizada, este impacto será a nivel de planta; por el contrario, si el plano es más amplio, por ejemplo, a nivel de todo un complejo, este impacto será a nivel del complejo, es decir, % pérdida de producción del complejo. Bajo este último enfoque, se obtienen resultados más amplios con los que se pueden comparar equipos de diferentes unidades sobre la misma base.
- Tiempo Promedio para Reparar (TPPR). Este valor es importante para determinar el grado de impacto total de los equipos porque permite calcular el impacto financiero global de un equipo al definir el tiempo de indisponibilidad de este.
- Tiempo Promedio Entre Fallas (TPEF). Este valor debe ser tomado de las Bases de datos de fallas reales de los equipos. En caso de no disponerse de datos reales, podrán utilizarse bases de datos de fallas genéricas.

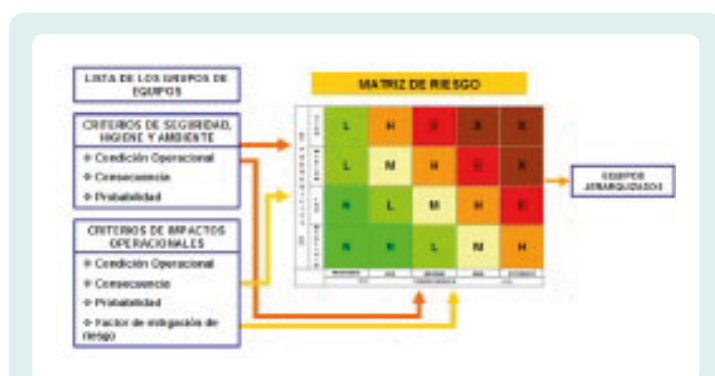


Figura 12. Metodología de Análisis de Criticidad para Equipos Principales.

## Determinación del nivel de criticidad de los equipos secundarios de un equipment group, en función del nivel de criticidad del equipo principal y los criterios establecidos

Los equipos secundarios de un “Equipment Group” son aquellos que asisten o soportan al equipo principal en el desempeño de sus funciones. Por lo tanto en este caso su nivel de criticidad dependerá del nivel de riesgo final del equipo principal y las funciones y configuraciones que este cumpliendo dentro del Equipment Group, para la cual se establecen los siguientes criterios para el Nivel de Criticidad en Seguridad Higiene y Ambiente e Impacto en Procesos según el tipo de equipo, como se muestra a continuación:

Determinación de niveles de criticidad de los equipos secundarios según impacto en seguridad, higiene y ambiente (SHA)

### Transmisores y elementos de medición de procesos

#### Equipos Altamente Críticos:

- Equipos con señalización 1 en ESD y 1 en DCS.
- Equipos con señalización 1 en ESD.
- Equipos con señalización Votación 2 de 2.
- Equipos con señalización Votación 1 de 2.

Las votaciones se refieren a la cantidad de equipos que deben estar en funcionamiento para evitar la ocurrencia de un evento no deseado. Ejemplo Votación 1 de 2, debe estar operando uno de los dos para que el sistema no se detenga.

#### Equipos de Criticidad Alta – Media:

- Equipos con señalización Votación 2 de 3.
- Equipos cuya función sea control.
- Equipos de Criticidad Baja.
- Equipos cuya función sea Indicación.

### Válvulas de parada de emergencia

#### Equipos Altamente Críticos:

- Válvulas asociadas a torres o columnas, hornos, compresores y válvulas cuya función sea aislar por completo todo un sistema dentro de una unidad de proceso.

#### Equipos de Criticidad Alta:

- Válvulas asociadas a bombas, recipientes a presión, intercambiadores de calor y enfriadores.

### Paneles de protección, panel anunciador de alarmas, detectores de llama

- Equipos Altamente Críticos:
- La criticidad SHA deberá ser considerada como crítica.

### Válvulas de control, analizadores, detectores de llama, elementos de medición de vibración y velocidad, válvulas de seguridad sin respaldo, equipos de generación de potencia a equipos principales, equipos auxiliares de lubricación

- La criticidad SHA deberá ser igual a la criticidad SHA calculada para el equipo principal, es decir estarán en la misma diagonal de riesgo de la matriz.

### Paneles de operación de equipos, sistema de control de vibración, equipos controladores de velocidad, RTD, terminales remotas y solenoides

- La criticidad SHA deberá ser igual a la criticidad SHA calculada para el equipo principal, es decir estarán en la misma diagonal de riesgo de la matriz.

### Válvulas de seguridad tipo 3, equipos auxiliares del equipo principal, instrumentos no asociados a un SIS conectados al DCS y cuya función sea alarma o disparo

- La criticidad SHA deberá corresponder a un nivel de riesgo menor en una (1) unidad a la calculada para el equipo principal, con referencia a las diagonales de riesgo de la matriz.

### Válvulas de seguridad que disponen de una válvula de respaldo y de aquellas que disponen de una facilidad de respaldo y con cuya falla o indisponibilidad de la misma el equipo no queda desprotegido

- La criticidad SHA deberá corresponder a un nivel de riesgo menor en dos (2) unidades a la calculada para el equipo principal, con referencia a las diagonales de riesgo de la matriz

### Instrumentos cuya función sea Indicación

- La criticidad SHA deberá corresponder a un nivel de riesgo menor en dos (2) unidades a la calculada para el equipo principal, con referencia a las diagonales de riesgo de la matriz.

## Determinación de niveles de criticidad de los equipos secundarios según impacto en el proceso

Válvulas de seguridad que no disponen de una facilidad de respaldo y aquellas que no tienen disposición para realizar mantenimiento, válvulas de control sin bypass, analizadores, detectores de llama, solenoides, elementos de medición de vibración, gobernadores de turbinas, equipos de generación de potencia a equipos principales, Instrumentos conectados al DCS o ESD cuya función sea parada o alarma.

- La criticidad para procesos deberá ser igual a la criticidad procesos calculada para el equipo principal, es decir estarán en la misma diagonal de riesgo de la matriz y tendrán el mismo código de criticidad.

Válvulas de seguridad que disponen de una válvula de respaldo y de aquellas que disponen de una facilidad de respaldo y con cuya falla o indisponibilidad de la misma el equipo no queda desprotegido, equipos auxiliares del equipo principal, válvulas de control con bypass, instrumentos conectados al DCS o ESD cuya función sea control.

- La criticidad procesos para el equipo secundario, deberá corresponder a un nivel de riesgo menor en una (1) unidad a la calculada para el equipo principal, con referencia a las diagonales de riesgo de la matriz.

### Instrumentos cuya función sea Indicación.

- La criticidad SHA deberá corresponder a un nivel de riesgo menor en dos (2) unidades a la calculada para el equipo principal, con referencia a las diagonales de riesgo de la matriz.

Una vez determinado el nivel de riesgo de seguridad, higiene y ambiente y el impacto en proceso para los equipos secundarios, se selecciona el nivel de criticidad más alto arrojado por los dos criterios, con la finalidad de determinar el nivel de riesgo real de los activos, dado que los métodos que combinan las criticidades SHA y Proceso para obtener un nivel de riesgo final estarían reduciendo el riesgos mas elevado por SHA y Procesos.



Figura 13. Metodología de Análisis de Criticidad para Equipos Secundarios.

## Determinación del nivel de criticidad de los equipos estáticos de un equipment group, empleando el nivel I de la norma API 581

Este Fase I de la Metodología corresponde a un análisis cualitativo que determina el nivel de riesgo para una instalación en funcionamiento, jerarquizando cada unidad en función de los dos elementos del riesgo: probabilidad y consecuencia. Ver Figura 13.

Las consecuencias son evaluadas en dos aspectos:

- Explosión e Incendio.
- Toxicidad.

Esta evaluación es útil para obtener un panorama general preliminar del nivel de riesgo para los equipos estáticos.

Para la determinación de la probabilidad de falla se deben calcular seis (6) sub-factores que afectan la probabilidad de un escape grande de producto. Posteriormente se realiza una suma algebraica de estos seis factores para determinar el factor total de probabilidad de falla (FTP). La categoría probabilidad entonces se asigna basada en el factor total de probabilidad y es representada con números de 1 al 5 en el eje de las ordenadas de la Matriz del apéndice "A" de la Norma API 581 (Ver Figura 14).

Para la aplicación de esta metodología se requiere el tratamiento de la información técnica, histórica y de condición, con la cual se genera el primer producto del análisis, que es la sistematización de la instalación basada en grupos de inventario y lazos de corrosión lo cual define los límites de batería y la cantidad de equipos a ser analizados. Seguidamente, se aplica una herramienta de valoración del sistema de gestión de integridad mecánica a fin de determinar la influencia del factor gerencial en la probabilidad de falla de los equipos.

Simultáneamente, es desarrollado el mapeo de riesgo cualitativo de unidades de las instalaciones con el objetivo de:

- Jerarquizar las unidades dentro de la instalación bajo análisis con el fin de seleccionar el nivel del análisis necesario.
- Clasificar el nivel del riesgo dentro de las unidades y de asignarlas en una posición dentro de una matriz del riesgo.
- Identificar áreas de atención especial en la planta, que puede merecer programas especiales de inspección.

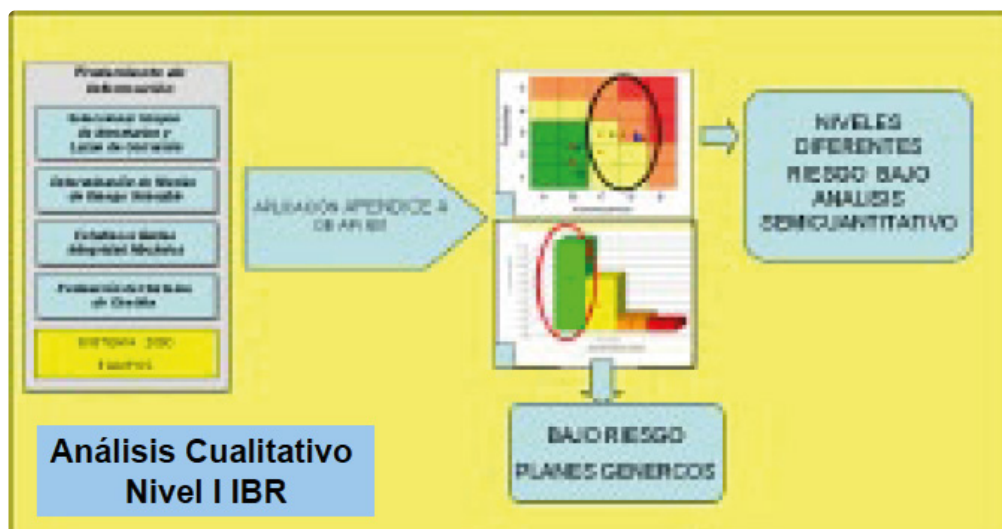


Figura 14. Flujograma del Fase I Análisis Cualitativo de IBR.

Los resultados de este análisis son presentados en una matriz de riesgo como la descrita en la Figura 14, la cual es útil para localizar áreas de potenciales de riesgo y decidir qué porciones de la unidad de proceso necesitan la mayor atención desde el punto de vista de la inspección u otros métodos de reducción del riesgo, y puede también ser utilizado para decidir si es necesario realizar un estudio cuantitativo completo.

## Determinación del nivel de criticidad para los instrumentos, según matriz de riesgo del sistema bajo análisis de un equipment group

El nivel de criticidad para estos equipos se determina en base a los niveles de consecuencias y probabilidad, empleando la Matriz de Riesgo definidas para un negocio en específico.

- Riesgos en seguridad, higiene y ambiente, asociados con la operación y probabilidad de un evento no deseado del equipo. Para este caso, el análisis será cualitativo y requerirá del conocimiento y la opinión de expertos que conozcan sobre los riesgos asociados al equipo en análisis.
- Para el caso de impacto en el proceso, pérdida total de la función que desempeña el activo. Para este caso el análisis será cuantitativo basado en el tiempo promedio entre fallas (TPEF), tiempo promedio para reparar
- (TPPR) y costos asociados.
- Este análisis debe realizarse conjuntamente con el personal de Mantenimiento y Operaciones o con cualquier otro que manifieste conocimiento sobre los riesgos desde el punto de vista de seguridad existente en la unidad en estudio o en el equipo que se analiza.
- La determinación del nivel de criticidad es directo, empleando la matriz de riesgo correspondiente al sistema bajo análisis.
- Se puede aplicar sinergia para los casos en donde aplique, con el objeto de facilitar y acortar el tiempo de este estudio.

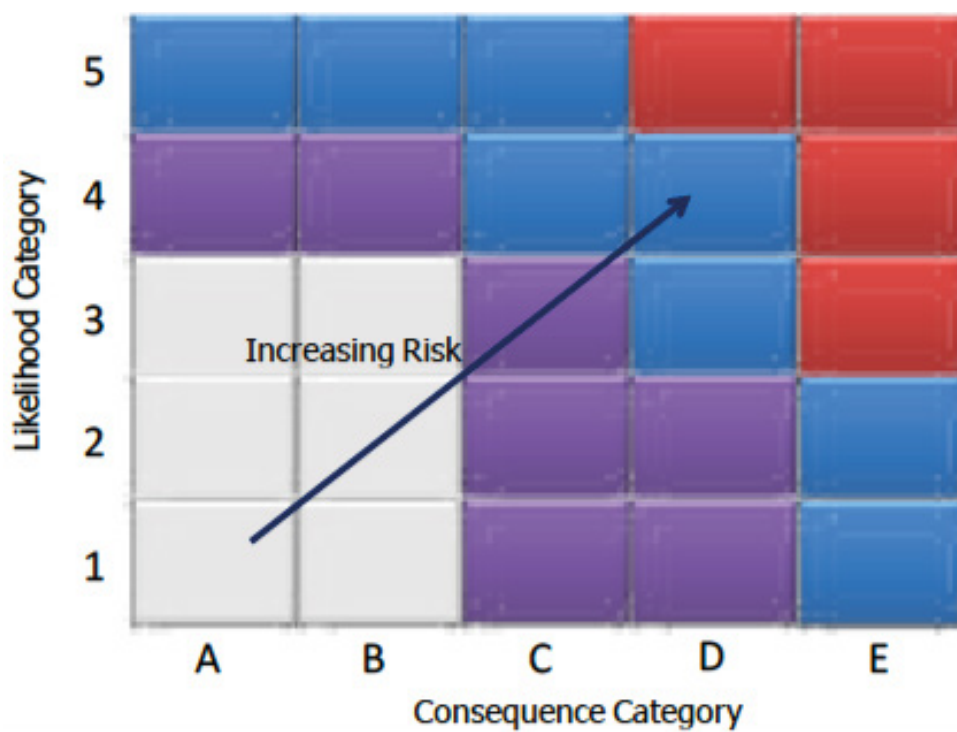


Figura 15. Matriz de Riesgo API 581

**Autores:** Edwin Gutiérrez, Miguel Aguero, Ivaneska Calixto  
*R2M. S.A Reliability and Risk Management*