

# Diseño y aplicación de un Análisis de Criticidad, interpretación de resultados y planes de acción sugeridos



**Maria Teresa Romero**  
Ingeniero Senior de Confiabilidad  
romeromariatr@gmail.com  
Colaboradora de WIRAM



El presente artículo propone la novedosa aplicación de una Metodología conocida como “Análisis de Criticidad”, como una herramienta para establecer jerarquías o prioridades de instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos, de acuerdo con su contribución al riesgo total asociado a un proceso o negocio, generando una estructura que facilita la toma de decisiones y el direccionamiento del esfuerzo y los recursos en las áreas y situaciones con base en el impacto sobre el negocio. Esta aplicación es el resultado de la combinación de los mejores aspectos técnicos del estándar Noruego Norzok Z-008 “Criticality analysis for maintenance purposes”, la norma MIL-STD-882D “Standard Practice for System Safety”, y el método de Ciliberti “Establishing Mechanical Integrity of Process Equipment using a Criticality Based Maintenance Program”.

**Esta metodología propuesta establece la determinación de un valor de riesgo semicuantitativo, representado por la composición de dos matrices de riesgo: en la primera, se evalúa el impacto de la falla del equipo en seguridad, calidad y medio ambiente; mientras que, en la segunda matriz, se evalúa el valor de riesgo según el impacto financiero en el proceso productivo. Se ilustrarán algunos ejemplos de los resultados obtenidos en una aplicación para equipos industriales; así como los planes de acción requeridos para reducir o mitigar el nivel de criticidad o riesgo. Este modelo es aplicable y se puede adaptar a cualquier industria. El mismo permite obtener resultados en un corto plazo para jerarquizar los activos de un proceso productivo y establecer las acciones requeridas, de acuerdo con el nivel de riesgo de cada equipo, lo cual permite la optimización de los recursos financieros de la organización obteniendo una mejor rentabilidad del negocio.**

## RIESGO EN PROCESOS

CONSECUENCIA	Muy alta	5	4	5	6	7	8
	Alto	4	3	4	5	6	7
	Medio	3	2	3	4	5	6
	Bajo	2	1	2	3	4	5
	Despreciable	1	1	1	2	3	4
			1	2	3	4	5
		Despreciable	Bajo	Medio	Alto	Muy alta	
		PROBABILIDAD					

NIVEL DE CRITICIDAD EN PROCESO	Muy alta	6_8	A	A	A	A	A
	Alto	5	B	B	B	A	A
	Medio	4	C	C	B	B	A
	Bajo	3	D	C	C	B	A
	Despreciable	1_2	E	D	C	B	A
			1_2	3	4	5	6_8
		Despreciable	Bajo	Medio	Alto	Muy alta	
		NIVEL DE CRITICIDAD QSE					

## RIESGO EN QSE

CONSECUENCIA	Muy alta	5	4	5	6	7	8
	Alto	4	3	4	5	6	7
	Medio	3	2	3	4	5	6
	Bajo	2	1	2	3	4	5
	Despreciable	1	1	1	2	3	4
			1	2	3	4	5
		Despreciable	Bajo	Medio	Alto	Muy alta	
		PROBABILIDAD					

### 1. Análisis de criticidad

El análisis de criticidad consiste en una metodología semi-cuantitativa de análisis de riesgo de los activos con base en el impacto individual en producción, seguridad, calidad del producto, ambiente, y/o cualquier otro rubro que se considere pertinente en el contexto organizacional, al ocurrir un evento no deseado o falla del mismo; lo que nos permite jerarquizar los activos con base en dichos impactos, generalmente representado en matrices de criticidad.

En dichas matrices de criticidad se evalúa el riesgo con base a la ecuación que lo representa por definición:

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad} \times \text{Consecuencia} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde, la Probabilidad está representada por la frecuencia en la que se presenta el evento no deseado o falla del equipo, en este caso refiriéndose a la falla total del mismo. Mientras que la Consecuencia se refiere al impacto como producto de la falla.

El riesgo, al ser representado por matrices de criticidad semi-cuantitativas, implica que ambas variables se evalúan en rangos de valores.

Para el método diseñado en este caso de estudio se seleccionaron las matrices que se muestran en la Figura 1.

Esto nos permite evaluar en la misma relevancia el impacto de la falla de un activo en las áreas de calidad, seguridad y ambiente (QSE, por sus siglas en inglés) y en el área de producción. Por lo tanto, si el activo genera un alto impacto en QSE y/o en producción, el resultado final será un activo altamente crítico.

Figura 1. Método de análisis de criticidad.

### 2. Alcance.

Con la finalidad de llevar a cabo el análisis de criticidad, en primer lugar, se deben listar los sistemas/equipos a evaluar y delimitar el estudio. Para ello se deben seleccionar los sistemas relevantes que impactan los procesos productivos, la seguridad de las personas/activos, la calidad del producto y/o el ambiente. Es importante resaltar que, si en el análisis particular de la organización se considera algún otro segmento para la evaluación; los sistemas cuyas fallas afecten dicho segmento deben ser considerados.

Por otro lado, se debe delimitar el análisis en cuanto a si se estimará la criticidad a los equipos principales, o por el contrario, se llegará hasta el ítem mantenible. Esta decisión dependerá del uso que se le dará a los resultados y los objetivos del análisis. Por supuesto para los responsables de la confiabilidad en cualquier organización lo ideal es llegar hasta estimar el riesgo del ítem mantenible; sin embargo, el tiempo y los recursos aunado a los objetivos finales del estudio, impactarán dicha decisión.

Debe tomarse en cuenta también dentro del alcance de estos

análisis, que los activos a evaluar están conformados por las familias de equipos pertenecientes a la clasificación de rotativos (compresores, bombas, turbinas, entre otros), eléctricos y electrónicos. Los equipos estáticos que generalmente sufren mecanismos de deterioro físico/químico; como por ejemplo recipientes sometidos a presión, condensadores, tuberías, entre otros; en los cuales es requerido el estudio de la física de la falla, deben ser jerarquizados mediante la metodología de Inspección Basada en Riesgo.

En este caso de estudio, el análisis de criticidad presentado para el proceso productivo revisado se limita sólo a los equipos principales de los sistemas que se consideraron. Una vez seleccionados los equipos principales para el análisis se realiza la agrupación de los mismos bajo la norma ISO 14224(1), los “Equipment group” a evaluar.

En la figura 2 se muestra un ejemplo de agrupación de un equipo bomba bajo la norma ISO 14224.

Esta normativa fue desarrollada para los activos en las industrias de petróleo, gas y petroquímica; sin embargo, se puede adecuar a cualquier tipo de organización sin importar su tamaño y finalidad económica; por lo que la recomendación es su análisis y revisión. En caso de tener activos que no estén contemplados en esta norma, se debe crear un equipo de trabajo expertos en la operación y mantenimiento de los mismos, con la finalidad de realizar la adecuada selección de los límites y agrupación de componentes de los equipos principales.

### 3. Información técnica requerida.

Una vez determinados los equipos principales que impactan el proceso productivo, se realiza el levantamiento de la información técnica relevante de cada uno de ellos, mediante la recolección de las características técnicas de operación y contexto operacional de los activos, los antecedentes referentes a las fallas más relevantes y como éstas han afectado los aspectos de seguridad, calidad del producto, el ambiente y el proceso productivo.

Entre la información relevante para el análisis de criticidad se encuentran: las condiciones operacionales del activo como, por ejemplo, presión y temperatura de operación, voltaje de alimentación, fluidos o gases manejados, velocidad de rotación; entre otros, que se consideren pertinentes. Adicionalmente el histórico de eventos de fallas de los activos; con el detalle de las fechas de ocurrencias y las consecuencias acaecidas y las que se consideren probables en el contexto operativo.

Dicha información podrá ser recolectada de fuentes de información variadas como el sistema computarizado de gestión de mantenimiento, CMMS por sus siglas en inglés (si existe en la organización); manuales de operación y mantenimiento de los activos; registros operativos y de mantenimiento en digital o en

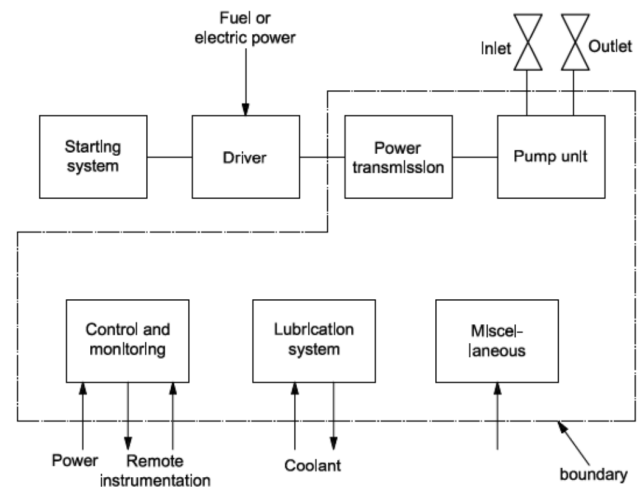


Figura 2. Ejemplo de un diagrama de límites (bomba) ISO 14224(1)

papel de las personas encargadas de los procesos a evaluar y/o recurriendo a la opinión de expertos en las áreas respectivas. Ciertamente esta recolección de información es primordial sea llevada a cabo de la manera más efectiva y eficaz para obtener datos que reflejen el comportamiento real de los equipos a evaluar.

Tomando en cuenta que el resultado final de evaluación de riesgo en los equipos proyectará la realidad en la medida que la información refleje las condiciones de operación, el desempeño, las frecuencias y las consecuencias de los eventos que han ocurrido y/o que se consideren probables de ocurrir en caso de un evento no deseado o falla, se sugiere utilizar las recomendaciones de la norma ISO 14224 para la recolección de la información requerida.

### 4. Estimación del riesgo en Calidad, Seguridad y Ambiente

En el caso de no contar con una matriz de criticidad definida, en primer lugar, se deben determinar los rangos de probabilidad y consecuencias en cada rubro que consideremos apropiado según el proceso productivo. En el caso de la matriz de criticidad tomada como referencia para este modelo (Figura 1) se deben establecer los 5 rangos para la estimación de la probabilidad y 5 rangos para la estimación de las consecuencias.

Para la probabilidad de un evento que afecte Calidad, Seguridad y/o Ambiente (CSA), en general la escala que se recomienda se muestra en la Figura 3; acotando a su vez, fue la utilizada en el presente caso de estudio.

Probabilidad de un evento en CSA		Categoría
Uno o mas eventos es posible que sucedan anualmente.	5	Muy alta
Varios eventos es posible que sucedan a lo largo de la vida útil del equipo o unidad.	4	Alta
Un evento es posible que suceda durante la vida útil del equipo o unidad.	3	Media
No se espera que suceda un evento a lo largo de la vida útil del activo o unidad, pero la ocurrencia del mismo es posible.	2	Baja
Prácticamente imposible	1	Despreciable

Figura 3. Categorías de Probabilidad en CSA(2)

En cuanto a la clasificación de consecuencias, se deben seleccionar los rubros a evaluar en calidad, seguridad y ambiente. Se sugiere establecer los rangos muy alto y muy bajo según la tolerancia al riesgo de la organización y los hechos ocurridos o que se consideren probables de ocurrir; posteriormente con base en éstos establecer los rangos intermedios. En la Figura 4 se muestra una sugerencia que incluye los rubros de seguridad y ambiente según Ciliberti(2).

En el caso de estudio propuesto, se evaluaron los rubros de calidad, seguridad y ambiente por separado, es lo más recomendable si éstos son muy relevantes para la organización y se cuenta con la información suficiente para su estimación. De esta manera, en cuanto a seguridad se toman en cuenta las condiciones operacionales de los activos como se expone por Tony Ciliberti(3), aunado a las recomendaciones mostradas en la Figura 4; las cuales adecuadas al proceso bajo análisis, se presenta

el resultado propuesto utilizado en este caso (Figura 5).

Adicionalmente, en cuanto a calidad del producto y ambiente, se procede de la misma manera a diseñar los 5 rangos de consecuencia tomando en cuenta normativas legales, parámetros de calidad del producto definidos por la organización, niveles de servicio esperados por el cliente, quejas del cliente, impactos al medio ambiente, entre otros.

Una vez establecida la base de datos con la información requerida, se procede a estimar los riesgos en calidad, seguridad y ambiente.

De esta manera, cada activo es evaluado para estimar su índice de criticidad en cada rubro mediante los rangos de probabilidad mostrados en la figura 3 y los rangos de consecuencias en calidad, seguridad (Figura 5) y ambiente establecidos. El resultado de cada rubro se obtiene de la combinación de probabilidad y consecuencia mediante la matriz “Riesgo en QSE” de la Figura 1.

Consecuencias en Seguridad y Ambiente	Categoría
Fatalidad de personal propio o contratado. Lesiones o enfermedades severas, fatalidad de una o mas personas de la comunidad. Impacto ambiental catastrófico que requiere respuesta de un agente externo a gran escala.	Muy alta
Fatalidad de un persona de la empresa o personal asociado. Lesiones o enfermedades severas de varias personas de la empresa. Incidente ambiental importante notificable que requiere un compromiso significativo de recursos de la empresa según lo definido por las pautas de SHA. Notificación de agencias reguladoras, cobertura de prensa negativa. Cualquier derrame de hidrocarburo, agua producida o fluido de perforación mayor a 12 bbl dentro de los límites de la instalación o cualquier derrame fuera de los límites de la instalación. Cualquier derrame de ácido, cáustico o productos químicos peligrosos > 0,2 metros cúbicos independientemente de la ubicación.	Alta
Tratamiento médico requerido por el personal. Incidente ambiental menor notificable según lo definido por las pautas SHA. Cualquier derrame de hidrocarburo, agua producida o fluido de perforación mayor a 12 bbl dentro de los límites de la instalación o cualquier derrame fuera de los límites de la instalación. Cualquier derrame de ácido, cáustico o productos químicos peligrosos > 0,2 metros cúbicos independientemente de la ubicación.	Media
Tratamiento médico menor o requerimiento de primeros auxilios por el personal de planta. Incidente ambiental no notificable.	Baja
Sin consecuencias en seguridad y/o ambiente	Despreciable

Figura 4. Categorías de Consecuencias en Seguridad y Ambiente(2)

Consecuencias en Seguridad		Categoría
Fatalidad de personal propio o contratado. rpm > 4000, presión > 20 Bar, temperatura > 300°C o < -33°C, Voltaje > 1000, manejo de fluidos con muy alto impacto en inflamabilidad, reactividad o daños a la salud.	5	Muy alta
Daños severos o enfermedades. Incapacidad total o parcial permanente. 1500 < rpm < 4000, 6 < presión < 20 Bar, 80 < temperatura < 300°C, -33 < temperatura < -20°C, 50 < Voltaje < 1000, manejo de fluidos con alto impacto.	4	Alta
Tratamiento médico requerido. Incidente con una incapacidad parcial temporal. 300 < rpm < 1500, 3 < presión < 6 Bar, 60 < temperatura < 80°C, -20 < temperatura < -10°C, 50 < Voltaje < 1000, manejo de fluidos con impacto.	3	Media
Tratamiento médico menor o cuidado de primeros auxilios requeridos para el personal de la unidad operativa. 25 < rpm < 300, 1 < presión < 3 Bar, 40 < temperatura < 60°C, -10 < temperatura < 15°C, Voltaje < 50, manejo de fluidos sin impacto.	2	Baja
Ninguna consecuencia en seguridad. Condiciones operacionales a considerar: 0 < rpm < 25, 0 < presión < 1 Bar, 15 < temperatura < 40°C, Voltaje < 50, manejo de fluidos sin impacto en inflamabilidad, reactividad o daños a la salud.	1	Despreciable

Figura 5. Categorías de Consecuencias en Seguridad.

Descripción del Equipo	Consecuencias en Seguridad	Índice Consecuencias Seguridad	Probabilidad de Ocurrencia Seguridad	Índice de Probabilidad Seguridad	Índice de Criticidad Seguridad	Consecuencias Calidad e Inocuidad	Índice Consecuencias Calidad e Inocuidad	Probabilidad de Ocurrencia Calidad e Inocuidad	Índice de Probabilidad Calidad e Inocuidad	Índice de Criticidad CAL
Bomba Dosificadora de Cloro	Tratamiento médico requerido. Incidente con una incapacidad parcial temporal. 300 < rpm < 1500, 3 < presión < 6 Bar, 60 < temperatura < 80°C, -20 < temperatura < -10°C, 50 < Voltaje < 1000, manejo de fluidos con impacto.	3	No se espera que suceda un evento a lo largo de la vida útil del activo o unidad, pero la ocurrencia del mismo es posible.	2	3	Genera producto no conforme causando paro para ajustes menores. Se retiene producción. Hay reproceso.	3	Varios eventos es posible que sucedan a lo largo de la vida útil del equipo o unidad.	4	5
Bomba De Glicol	Tratamiento médico requerido. Incidente con una incapacidad parcial temporal. 300 < rpm < 1500, 3 < presión < 6 Bar, 60 < temperatura < 80°C, -20 < temperatura < -10°C, 50 < Voltaje < 1000, manejo de fluidos con impacto.	3	No se espera que suceda un evento a lo largo de la vida útil del activo o unidad, pero la ocurrencia del mismo es posible.	2	3	La falla no presenta impacto en la calidad.	1	Varios eventos es posible que sucedan a lo largo de la vida útil del equipo o unidad.	4	3
Compresor De Aire	Daños severos o enfermedades. Incapacidad total o parcial permanente. 1500 < rpm < 4000, 6 < presión < 20 Bar, 80 < temperatura < 300°C, -33 < temperatura < -20°C, 50 < Voltaje < 1000, manejo de fluidos con alto impacto.	4	No se espera que suceda un evento a lo largo de la vida útil del activo o unidad, pero la ocurrencia del mismo es posible.	2	4	La falla no presenta impacto en la calidad.	1	Varios eventos es posible que sucedan a lo largo de la vida útil del equipo o unidad.	4	3
Bomba De Lodos	Tratamiento médico menor o cuidado de primeros auxilios requeridos para el personal de la unidad operativa. 25 < rpm < 300, 1 < presión < 3 Bar, 40 < temperatura < 60°C, -10 < temperatura < 15°C, Voltaje < 50, manejo de fluidos sin impacto.	2	No se espera que suceda un evento a lo largo de la vida útil del activo o unidad, pero la ocurrencia del mismo es posible.	2	2	La falla no presenta impacto en la calidad.	1	Varios eventos es posible que sucedan a lo largo de la vida útil del equipo o unidad.	4	3
Compresor de Amoniaco	Daños severos o enfermedades. Incapacidad total o parcial permanente. 1500 < rpm < 4000, 6 < presión < 20 Bar, 80 < temperatura < 300°C, -33 < temperatura < -20°C, 50 < Voltaje < 1000, manejo de fluidos con alto impacto.	4	Un evento es posible que suceda durante la vida útil del equipo o unidad.	3	5	La falla no presenta impacto en la calidad.	1	Varios eventos es posible que sucedan a lo largo de la vida útil del equipo o unidad.	4	3

Figura 6. Evaluación de criticidad en Seguridad y Calidad.

El índice de criticidad final para Calidad, Seguridad y Ambiente (CSA) se toma como el más alto de los 3 rubros evaluados individualmente. Algunos resultados se muestran en las Figuras 6 y 7.

incluso en este caso de estudio para un grupo de equipos se definió la escala presentada en la Figura 8; mientras que para otro grupo de equipos cuyas fallas son más frecuentes, se tomó otra escala de evaluación.

Descripción del Equipo	Consecuencias Ambientales	Índice Consecuencias Ambientales	Probabilidad de Ocurrencia Ambiental	Índice de Probabilidad Ambiental	Índice de Criticidad Ambiental	Criticidad CSA
Bomba Dosificadora De Cloro	No genera impacto a medio ambiente	1	Prácticamente imposible	1	1	5
Bomba De Glicol	No genera impacto a medio ambiente	1	Prácticamente imposible	1	1	3
Compresor De Aire	No genera impacto a medio ambiente	1	Prácticamente imposible	1	1	4
Bomba De Lodos	No genera impacto a medio ambiente	1	Prácticamente imposible	1	1	3
Compresor de Amoniaco	No genera impacto a medio ambiente	1	Prácticamente imposible	1	1	5

Figura 7. Evaluación de criticidad en Calidad y CSA.

### 5. Estimación del riesgo en Procesos.

Recordando que el riesgo en procesos está compuesto por la probabilidad y las consecuencias que afectan el sistema productivo analizado, en primera instancia se definen los rangos de probabilidad, con base en la frecuencia de ocurrencia de las fallas de cada activo evaluado, para ello se toma como base los Tiempos Promedios para la Falla (TPPF).

Es importante mencionar que dichas escalas deben ser adaptables a las frecuencias de fallas presentadas por los activos bajo análisis,

Probabilidad de Consecuencias en Procesos	Categoría	
Uno o mas eventos es posible que sucedan mensualmente.	5	Muy alta
Uno o mas eventos es posible que sucedan trimestralmente.	4	Alta
Uno o mas eventos es posible que sucedan semestralmente.	3	Media
Uno o mas eventos es posible que sucedan anualmente.	2	Baja
Uno o mas eventos es posible que sucedan mayor a 5 años	1	Despreciable

Figura 8. Categorías de Probabilidad de Fallas en Procesos

Por otro lado, para la estimación de las consecuencias en el proceso se suele contemplar en primer lugar las afectaciones a la producción cuando se presenta el evento no deseado o falla del activo. Un indicador relevante a tomar en cuenta es el Tiempo Promedio Para Reparar (TPPR) que nos da una referencia de los tiempos fuera de servicio de los activos ante una falla, y por ende de la duración de los eventos que afectan la producción. En este caso se recomienda tomar como referencia los rubros propuestos por Tony Ciliberti(3).

Para el presente estudio, se analizaron estos rubros y se adecuaron según lo mostrado en la Figura 9.

Consecuencias en Procesos	Categoría	
Pérdidas mayores de producción, paro de planta, desabasto de productos en el mercado. Impacto financiero a nivel corporativo.	5	Muy alta
Pérdidas producción 50-100% por periodos cortos que no ocasionen desabasto en el mercado, pérdidas producción 10-50% por periodos largos que ocasionen desabasto en el mercado. Impacto financiero a nivel de facilidad o parte del sistema productivo.	4	Alta
Pérdidas producción 10-50% por periodos cortos sin desabasto en el mercado o pérdidas producción menores <10% por periodos largos con desabasto en el mercado. Impacto financiero a nivel de unidad.	3	Media
Pérdidas menores en la capacidad de producción (<10%) que no ocasionen desabasto en el mercado.	2	Baja
No se afecta la capacidad del proceso.	1	Despreciable

Figura 9. Categorías de Consecuencias en Procesos.

Por otro lado, para la estimación de las consecuencias en el proceso se suele contemplar en primer lugar las afectaciones a la producción cuando se presenta el evento no deseado o falla del activo. Un indicador relevante a tomar en cuenta es el Tiempo Promedio Para Reparar (TPPR) que nos da una referencia de los tiempos fuera de servicio de los activos ante una falla, y por ende de la duración de los eventos que afectan la producción. En este caso se recomienda tomar como referencia los rubros propuestos por Tony Ciliberti(3).

Para el presente estudio, se analizaron estos rubros y se adecuaron según lo mostrado en la Figura 9.

Consecuencias según RAV	Categoría	
RAV > 15%	5	Muy alta
10% < RAV < 15%	4	Alta
5% < RAV < 10%	3	Media
2.5% < RAV < 5%	2	Baja
0% < RAV < 2.5%	1	Despreciable

Figura 10. Consecuencias por procesos según RAV.

En la figura 11 se muestran algunos resultados para la evaluación de criticidad en procesos del caso de estudio presentado. Al igual que para el índice de criticidad por CSA, en este caso se combina el nivel de probabilidad con el nivel de consecuencias con el apoyo de la matriz “Riesgo en Procesos” de la Figura 1.

Descripción del Equipo	RAV (%)	Factor Score (Equipos de respaldo)	TPPR (minutos)	Consecuencias por Procesos	Índice Consecuencias por Procesos	TPPF (horas)	Utilización (%)	Índice de Probabilidad por Procesos	Criticidad por Proceso
Bomba Dosificadora De Cloro	2%	NO	4.26	No se afecta la capacidad del proceso.	1	19.96	47.62	4	3
Bomba De Glicol	2%	SI	4.26	No se afecta la capacidad del proceso.	1	59.84	69.48	5	4
Compresor De Aire	2%	SI	274.16	Pérdidas producción 50-100% por periodos cortos que no ocasionen desabasto en el mercado, pérdidas producción 10-50% por periodos largos que ocasionen desabasto en el mercado o paro de línea de SKU único. Impacto financiero a nivel de línea de producción.	3	69.82	85.39	5	6
Bomba De Lodos	2%	SI	2.00	Pérdidas menores en la capacidad de producción (<10%) que no ocasionen desabasto en el mercado.	1	459.87	69.48	5	4
Compresor de Amoniaco	25%	NO	2.13	Pérdidas producción 50-100% por periodos cortos que no ocasionen desabasto en el mercado, pérdidas producción 10-50% por periodos largos que ocasionen desabasto en el mercado o paro de línea de SKU único. Impacto financiero a nivel de línea de producción.	4	59.84	69.48	5	7

### 6. Determinación del nivel de riesgo global de equipos: índice de criticidad y jerarquización

Finalmente se estima el índice de criticidad de cada equipo con base en las evaluaciones de criticidad en calidad, seguridad y ambiente (criticidad en CSA) y la criticidad en procesos, utilizando la referencia de la matriz mostrada en la Figura 1.

Como se puede observar en dicha figura la criticidad del equipo constará de un código compuesto por una letra, la cual ágilmente nos indica el nivel de criticidad: A: Muy alto, B: Alta, C: Medio, D: Bajo y E: Muy Bajo, aunado a sus respectivos colores Rojo, Naranja, Amarillo y Verde. A su vez, dicha letra va seguida de un par de números que nos indican el nivel de riesgo en procesos y el nivel

de riesgo en calidad, seguridad y ambiente, respectivamente.

En la Figura 12 se muestra un ejemplo de los resultados obtenidos para el caso de estudio, con la lista de algunos equipos con base en su impacto.

Descripción del Equipo	Criticidad CSA	Criticidad por Proceso	Código de Criticidad del Equipo	Rango de Criticidad del Equipo
Compresor de Amoniaco	5	7	A75	MUY ALTO
Compresor De Aire	4	6	A64	MUY ALTO
Bomba Dosificadora De Cloro	5	3	B35	ALTO
Bomba De Glicol	3	4	C43	MEDIO
Bomba De Lodos	3	4	C43	MEDIO

Figura 12. Criticidad final de los equipos.

Por otro lado, es relevante el análisis de los porcentajes de cantidad de equipos en cada nivel de criticidad, generalmente debe cumplir con el principio de Pareto; por lo que aproximadamente un 20% de los activos evaluados debe estar en el rango del 80% de mayor impacto al proceso productivo. En la Figura 13 se muestran los resultados de evaluación para 441 activos del sistema productivo bajo estudio.

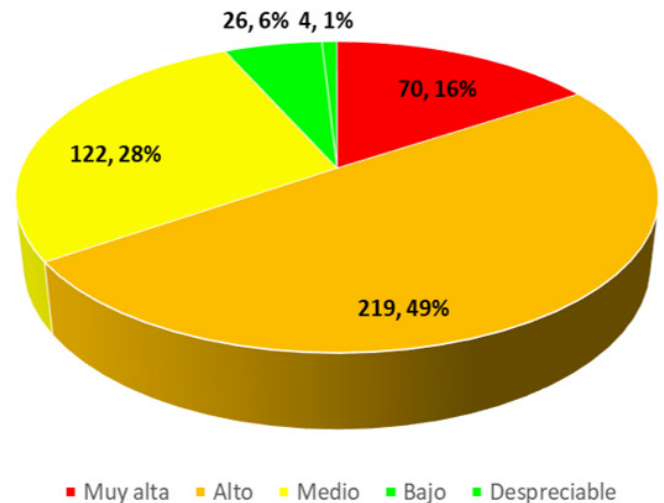


Figura 13. Distribución de niveles de criticidad final de los equipos.

## 7. Plan de acción de acuerdo al nivel de riesgo de cada equipo

Una vez finalizado el estudio, deberá establecerse un plan de trabajo para los equipos críticos con la finalidad de reducir los niveles de riesgo o, en el caso que no se pueda, mitigar las consecuencias una vez que se presente la falla.

Con la finalidad de establecer un plan adecuado al análisis realizado, las acciones o actividades sugeridas deben ser diseñadas acorde a los criterios utilizados. Por ejemplo; si en el caso de seguridad se evaluaron fatalidades, lesiones y enfermedades en los distintos niveles, y algún activo analizado genera un riesgo alto, se diseñan las acciones que deben tomarse para mitigar el mismo o disminuir las consecuencias.

De manera homóloga, para el caso del riesgo en procesos; por ejemplo, si se presenta una alta incidencia de fallas (bajo TPF) se debe recomendar realizar un Análisis Causa Raíz para generar un plan de mitigación de las causas de las fallas recurrentes. El plan generado debe ser genérico y abarcar todos los criterios evaluados en el análisis.

En la figura 14, se muestra un ejemplo de acciones recomendadas para los niveles de riesgo en seguridad, y de esta misma manera se diseñan sugerencias para el resto de los criterios (calidad, ambiente y procesos). En el caso del estudio presentado, para los

criterios de calidad, ambiente y procesos; se tomaron en cuenta reglamentos internos de la organización, regulaciones nacionales e internacionales, y cualquier recomendación que se considere pertinente para la disminución del riesgo y/o mitigación de sus consecuencias.

Finalmente se deben establecer las acciones concretas para cada activo que se consideren pertinentes; la recomendación es comenzar por los equipos cuyo resultado de criticidad fue “Muy Alto”, y sucesivamente seguir trabajando según los niveles establecidos. Un punto muy relevante en este aspecto es hacer seguimiento a las acciones, por lo que para establecer el plan y su respectivo seguimiento se sugiere el formato establecido en la Figura 15.

Adicionalmente, la evaluación de criticidad se recomienda realizarla al menos una vez al año o cuando ocurra un cambio drástico en el contexto operacional, lo que nos permite además de incluir los nuevos activos que se adquieran, una revisión de la eficiencia del plan diseñado, tomando en cuenta que hay riesgos que no se podrán disminuir por la naturaleza intrínseca de los activos.

Equipo	Resultado de Criticidad	Sugerencias	Resultado de Criticidad	Sugerencias	Resultado de Criticidad	Sugerencias
Índice Seguridad	Muy alto/Alto	1. Evaluar diseños para mitigar el riesgo por seguridad. Por ejemplo instalación de sensores hombre máquina, adicionar guardas de protección, entre otros. 2. El diseño de las estrategias de mantenimiento contempla RCM. 3. Asegurar rutinas de mantenimiento que garanticen el cumplimiento a las normativas gubernamentales, políticas internas y requisitos internos para garantizar la seguridad. 4. Asegurar rutinas de inspección a barreras físicas de seguridad. 5. Asegurar que el refaccionamiento requerido esté planificado adecuadamente. 6. Reforzar uso de equipos de protección personal, capacitaciones, manejo de fluidos peligrosos y protocolos de seguridad.	Medio	1. Evaluar diseños para mitigar el riesgo por seguridad. Por ejemplo instalación de sensores hombre máquina, adicionar guardas de protección, entre otros. 2. Asegurar rutinas de mantenimiento detectivo a dispositivos de seguridad, tales como sensores. 3. Asegurar rutinas de inspección a barreras físicas de seguridad. 4. Reforzar uso de equipos de protección personal, capacitaciones, manejo de fluidos peligrosos y protocolos de seguridad. 5. Optimización de planes de mantenimiento (PMO).	Bajo/Muy bajo	Asegurar la ejecución de las actividades de mantenimiento diseñadas y las buenas prácticas.

Figura 14. Plan de acción general para equipos críticos en seguridad.

Equipo	Nivel de Criticidad	Acciones recomendadas	Responsable	Costo de la acción	Fecha de ejecución	Cumplimiento al plan
Compresor de Amoniaco	A75	Instalar barreras físicas para acceso a los equipos	Líder de seguridad	\$	XX-XX-XXXX	
Compresor de Amoniaco	A75	Realizar un análisis causa raíz por las fallas recurrentes	Líder de confiabilidad	\$	XX-XX-XXXX	

\*Figura 15. Plan de acción para equipos críticos.

## Bibliografía

- (1) EN ISO 14224:2016, International Organization for Standardization. (2016). Petroleum, petrochemical and natural gas industries -- Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. UK.
- (2) Ciliberti, Tony. (1996). Establishing mechanical integrity of process equipment using a criticality-based maintenance program. NPRA Refinery and Petrochemical Plant Maintenance Conference. Nashville, Tennessee, USA.
- (3) Ciliberti, Tony. (1998) Use Criticality-Based Maintenance for Optimum Equipment Reliability. Chemical Engineering Progress Julio 1998, páginas 63-67.
- (4) NORSOK STANDARD Z-008, Norsk Søkkel Konkuranseposisjon. (2001). Criticality Analysis for Maintenance Purposes. Rev. 2. Oslo, Norway.
- (5) Yañez, M; y otros (2007). Confiabilidad Integral. Tomo II. Reliability and Risk Management S.A, Venezuela.
- (6) MIL-STD-882D, United States Military Standard. (2000). Standard Practice for System Safety. Department of Defense USA.