

Análisis de criticidad para el mantenimiento en equipos de soldadura en una Universidad Mexicana

Criticality analysis for maintenance in welding equipment at a Mexican University

Jesús Vicente González Sosa, Enrique Ávila Soler

<https://doi.org/10.54139/riant.v8i30.480>

Palabras clave: criticidad, mantenimiento, seguridad, soldadura, fallas

Key words: criticality, maintenance, safety, welding, faults

RESUMEN

El mantenimiento es una actividad predominante en el sector educativo e industrial orientada a conservar en operación las áreas involucradas en él, tomando en cuenta el control adecuado, factor económico, seguridad y calidad; lográndose a través de las técnicas, como la criticidad y los medios tanto materiales como humanos en departamentos de mantenimiento. En este trabajo se usa el análisis de criticidad para mejorar las condiciones de operación de equipos de soldadura en los talleres y laboratorios de la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco en México, garantizando el funcionamiento correcto y condiciones deseables de los equipos evitando los accidentes en usuarios. Para lo cual, se realizó un estudio de los equipos en su estado original, detectando las posibles fallas y posteriormente identificar los parámetros de criticidad en una evaluación de mantenibilidad. Un aspecto que sobresale de este análisis es la tendencia de las etapas de mantenimiento que se deben realizar a los equipos de los laboratorios de soldadura para mejorar sus condiciones de operación a largo plazo durante cada uno de los periodos académicos. Fomentando con esto un control adecuado por los usuarios y operarios.

ABSTRACT

Maintenance is a predominant activity in the educational and industrial sector, oriented to keep in operation the areas involved in it, taking into account the adequate control, economic factor, safety and quality; achieved through techniques, such as criticality and both material and human resources in maintenance departments. In this work, the criticality analysis tool is used to improve the operating conditions of welding equipment in the workshops and laboratories of the Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco in México, guaranteeing the correct operation and desirable conditions of the equipment avoiding accidents in users. For this purpose, a study of the equipment in its original state was carried out, detecting possible failures and subsequently identifying the criticality parameters for a maintainability evaluation. An aspect that stands out from this analysis is the tendency of the maintenance stages that should be performed to the welding laboratory equipment to improve its operation conditions in the long term during each of the academic periods. This promotes an adequate control by users and operators.

INTRODUCCIÓN

En los sectores industriales un análisis de criticidad forma parte de una metodología estructurada por jerarquías, que permite el fácil análisis y la toma de decisiones para disminuir en lo posible los riesgos y accidentes por un mal procedimiento en mantenimiento (Díaz et al., 2012). En ese sentido el uso de procesos, como la criticidad, permite mejorar las condiciones de uso y manipulación de equipos en función de la mantenibilidad.

Hoy en día existen industrial que tienen limitado el proceso de gestionar el mantenimiento de las áreas dentro de una empresa o utilizan los procedimientos de mantenimiento de forma inusual, por lo que hacer uso del proceso de criticidad, mejora en gran medida los fenómenos del mantenimiento (Flores et al., 2020).

La forma adecuada de seleccionar las variables de análisis para el procedimiento de criticidad permite identificar una jerarquía pertinente en el uso de equipos, maquinaria y herramienta en los procesos tecnológicos, que dependen de acciones concretas con el mantenimiento industrial (Enriques et al., 2019), y así mejorar la situación en las áreas involucradas con procesos de mantenimiento en sus diferentes tipos.

Algunos de los aspectos predominantes en los procesos de mantenimiento con la confiabilidad u la disponibilidad, que ofrecen la capacidad para que los equipos utilizados se mantengan en uso por períodos largos, durante su operación y el tiempo en porcentaje para el uso del

sistema (Muñoz & Cantos, 2021). En el caso de estudio, en este trabajo, se toman en cuenta la confiabilidad, debido a que se trata de equipos de laboratorio que se utilizan y requieren durante un periodo académico, por lo que es de gran interés el análisis en cuestión.

Una característica más, relacionada con el análisis de criticidad, se encuentra en sinergia con el mantenimiento basado en riesgos (MBR), como una parte fundamental en el mantenimiento de sistemas y/o equipos (Alfonso et al., 2022), como los que se analizan en el caso de estudio de este trabajo.

El presente trabajo consiste en aplicación de un análisis de criticidad a equipos del área de soldadura de un laboratorio universitario, a fin de garantizar el funcionamiento correcto y las condiciones deseables, evitando en lo posible, los accidentes y fallos en los procesos tanto para los docentes, alumnos y técnicos que hace uso constante de los equipos en el laboratorio de soldadura.

Además, uno de los objetivos de la investigación, es corregir fallas en equipos del área de soldadura en un laboratorio académico de la UAM-A, mediante la metodología de análisis de criticidad. La herramienta de análisis de criticidad y equipos del laboratorio requieren del conocimiento de los siguientes conceptos: *El mantenimiento*. Es un conjunto de actividades que deben realizarse a instalaciones y equipos, con el fin de corregir o prevenir fallas, buscando que

estos continúen prestando el servicio para el cual fueron diseñados. Existen diversas formas de realizar el mantenimiento a un equipo de producción, cada una de las cuales tiene sus propias características (Botero, 1993).

La teoría de criticidad. Es un modelo y herramienta que permiten identificar la jerarquización por su importancia en los activos de una instalación sobre los cuales vale la pena dirigir recursos (humanos, económicos y tecnológicos), enfocándose en la confiabilidad para identificar realidades específicas en los procesos que involucran su aplicación (Yam et al., 2019). En otras palabras, ayuda a determinar la importancia y las consecuencias de los eventos potenciales de fallos de los sistemas de producción dentro del contexto operacional en el cual se desempeñan (Parra & Crespo Márquez, 2019).

Soldar. Es una coalescencia localizada de metal o no metal producido al calentar el material a la temperatura de soldadura, con o sin la aplicación de presión solo con o sin el uso de material de relleno (Giraldo Barrada, 2012).

La soldadura oxiacetileno. En la industria se emplean a menudo en mezclas. El término general soldadura con oxígeno y gas combustible se aplica a las soldaduras en que se utiliza cualquier gas combustible. Como estos son altamente explosivos en determinadas condiciones, el soldador debe conocer y aplicar todas las precauciones de seguridad. La soldadura con flama (Pender, 2002).

La soldadura de arco eléctrico. Presenta una velocidad alta de deposición de material,

así como una velocidad de dilución, incrementando así la productividad y reduciendo a la vez los efectos indeseados de la dilución en la soldadura (Mostafa & Khajavi, 2006). Debido al mayor aporte térmico se determina un mayor porcentaje de dilución, mostrando una menor dureza en la unión soldada, los resultados de la microdureza medidos son el promedio de tres mediciones que puede calcularse cuyos valores están entre 806 y 862 HV, siendo consistentes con lo esperado para este material. Se observa un aumento de la microdureza al disminuir el aporte térmico. Este incremento estaría relacionado a un menor tamaño de cristalita y mayor contenido de elementos en solución producto de la menor dilución (Gualco et al., 2013; Maldonado Moscoso, 2021).

El cilindro de óxido de acetileno. Es un acumulador de acetileno que está fabricado de acero al silicio y en su interior presenta tapones de seguridad que actúan cuando la presión alcanza valores elevados, su color de identificación es el rojo. Para almacenar en forma segura el acetileno, se deposita en un cilindro o acumulador que consta de un material poroso con acetona y tiene la capacidad de disolver grandes cantidades de acetileno a una presión aproximada de 15 kgf/cm² sin alterar la estabilidad del gas (IPN-Cecyt 04, Sin año). Es un contenedor portátil cilíndrico que se usa para transportar y almacenar gases comprimidos utilizados en las actividades de soldadura y corte (Norma Oficial Mexicana, 2008).

La máquina de soldadura eléctrica. Este tipo de soldadora es la más utilizada hoy en día en

la industria, la máquina expuesta utiliza energía eléctrica en el cual se crea un arco eléctrico entre la pieza a soldar y el electrodo que se utilice. Brinda la corriente y voltajes en diferentes etapas del proceso de arco. Al comienzo del proceso el voltaje no tiene carga, esto también conocido como apertura voltaje del circuito. En el momento del contacto del electrodo con el metal de trabajo, se produce un corto circuito cuya consecuencia es el alza de la corriente repentinamente, luego, la máquina regula el voltaje que sale para mantener una corriente constante, la misma que se requiere para la transferencia del metal.

La esmeriladora de banco. Es una herramienta que hace girar dos discos de esmeril para afilar, cortar, dar forma, lijar, pulir y rectificar materiales como metal, madera o plástico. Consiste en un motor eléctrico en el que se acoplan los discos y con él se realizan las diferentes tareas (Truper, 2022).

El extractor de aire. Es un tipo de sistema para ventilación general por el cual se renueva el aire y la eliminación de los contaminantes en un espacio determinado (Romantchik-Kriuchkova et al., 2019).

Después de la descripción de los términos necesarios para realizar el análisis de criticidad, se han identificado los

problemas actuales en los equipos que se utilizan en el laboratorio de soldadura, con la finalidad de implementar el mantenimiento preventivo de forma trimestral en cada uno de ellos, por lo que dichos problemas son: a) En cilindros de oxiacetileno; desgaste de cuerdas de válvulas y lecturas erróneas de los manómetros (indican presión incorrecta). b) máquinas del soldar; rotura en contactos o puertos de conexión y cables quemados por colillas de soldadura. c) Esmeriladora de banco; sobre calentamiento, apagadores atascados y piedras lisas. d) Extractor de Aire; no se aspira de manera correcta el aire, mantenimiento de filtros, defectos en el motor, aspas rotas.

La hipótesis del estudio es que, al aplicar la metodología de análisis de criticidad, se determinan los valores de críticos para corregir las fallas en cada uno de los equipos del área de soldadura en un laboratorio académico de la UAM-A, los cuales serán esenciales en la toma de decisiones estratégicas de mejora del tipo de mantenimiento a implementar con la estrategia de disminuir los costos de operación como parte fundamental de los procesos de mantenimiento (Cedeño-Moreira & Gorozabel-Chata, 2021).

METODOLOGÍA

El propósito de la investigación es analizar la criticidad en un laboratorio de soldadura

de la UAM Azcapotzalco, a través de un proceso que se dividen en siete etapas y se representan en el diagrama en la figura 1.

Figura 1. Metodología del proceso de análisis la criticidad

Etapa 1,2	Etapa 3,4	Etapa 5,6	Etapa 7
Análisis y estudio del entorno Sistema Elementos del sistema Variables y parámetros	Reconocimiento Colaboradores Asignación	Criterios de criticidad Aplicación de los formatos	Retroalimentación Sistema y mantenimiento
Evaluación de sistemas Estructura de análisis Robustez	Formatos AMEF Criticidad	Análisis de resultados Discusión de los resultados	Conclusión Implantación Tendencias de mejora

La figura 1, presenta la estructura del análisis de criticidad y se conceptualiza de acuerdo con las especificaciones del entorno en el cual se desea aplicar el procedimiento y se mencionan en las siguientes etapas:

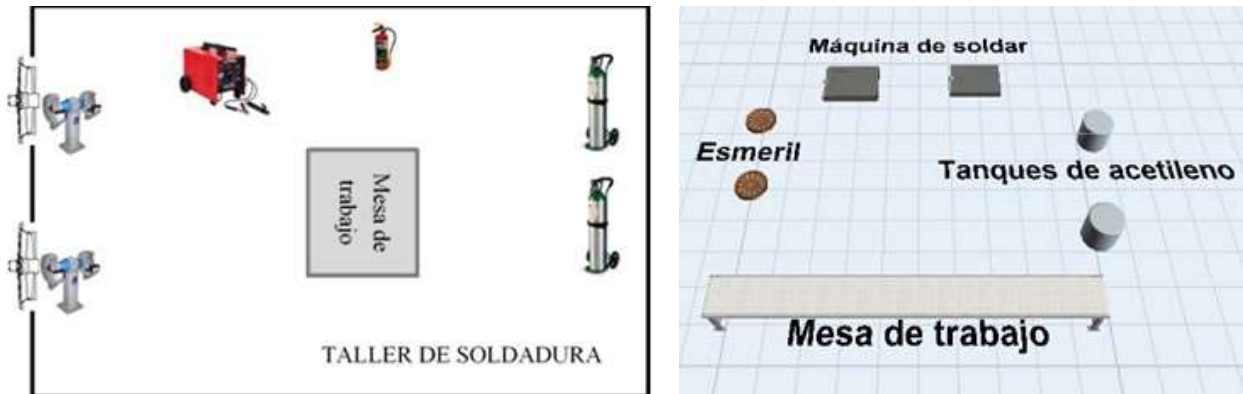
- 1) *identifica los puntos a favor que se tienen en el caso de estudio para aplicar las herramientas necesarias y obtener los elementos o equipos específicos que se estudian,*
- 2) *se enfoca de manera puntal en seleccionar los equipos que presentan, a primera instancia, características que los alojan como especímenes de evaluación,*
- 3) *se debe contar con las especificaciones técnicas, y si es posible, el Dossier de cada uno de los equipos seleccionados para el análisis,*
- 4) *se deben elaborar formatos independientes para cada caso de estudio con los parámetros necesarios a interpretar por el analista,*
- 5) *se adentra en el procedimiento de la criticidad, puntos a cubrir, de acuerdo con los lineamientos establecidos por la herramienta,*

- 6) *se lleva a cabo un análisis general y particular de cada uno de los equipos para identificar si existen errores o mejoras en los resultados de la criticidad, y por último,*
- 7) *permite obtener una retroalimentación por parte de los analistas después de llevar a cabo el proceso de revisión y con ello formular las conclusiones que se plantean para la implementación de mejoras del proceso.*

Análisis y estudio del entorno

En el proceso de aplicación de la metodología, es importante conocer la ubicación de los equipos a analizar, con el fin de determinar la viabilidad del espacio en el que se encuentran, la figura 2 se muestra la distribución física de los equipos en el laboratorio correspondiente. En la figura 2, se puede destacar que, los planos muestran una visión general de la ubicación y espacio de los equipos en laboratorio.

Figura 2. Distribución de los equipos en el laboratorio de soldadura



Elección de los equipos a evaluar

Es importante conocer el estado en el cual se encuentran los equipos para así determinar la viabilidad para el análisis correspondiente con la criticidad en cada uno de ellos, por lo que, esta información se encuentra plasmada en la tabla 1.

En la tabla 1, se muestra y describen los equipos para identificar las ventajas de estos, la importancia en el uso y los posibles cambios de acuerdo con los resultados que muestra el análisis de criticidad en cada uno de ellos. De la misma manera, se involucran solo las secciones del laboratorio en donde se llevan a cabo las prácticas de soldadura. Nótese que, solo se está registrando el estudio a un equipo de soldadura eléctrica.

Descripción y reconocimiento de los equipos

El orden en el uso de los equipos se describe en el diagrama de la figura 3, siendo el protocolo de la elaboración de prácticas de laboratorio con soldadura eléctrica y consta de los pasos para verificación de condiciones iniciales,

conexión de cable a tierra, selección de electrodo y proceso de soldar.

El diagrama de la figura 3 es de relevancia, se visualizan las etapas comprendidas en el proceso de aplicación para la soldadura eléctrica. El uso adecuado de los equipos y materiales será base para complementar la información y realizar el análisis correspondiente que atañe a este trabajo.

La soldadura oxiacetilénica que contempla los pasos de verificación, limpieza de material, selección e inicio del proceso, ver la figura 4.

En este diagrama, figura 4, se descarta como parámetro de control el material de aporte para la soldadura por las mismas condiciones de que se trata de un proceso educativo, enfocado en el aprendizaje en la ingeniería.

Agregar información en formato

Al finalizar la recolección de información se procede al llenado del formato, figura 5, para dar inicio al proceso de análisis de criticidad en cada uno de los equipos mencionados anteriormente en un laboratorio de soldadura para comunidades universitarias.

Tabla 1. Estado actual de los equipos en el laboratorio de soldadura

Descripción general del equipo utilizado				
Nombre del equipo	Cilindro de óxido de acetileno	Máquina de soldar eléctrica	Esmeriladora de banco	Extractor
Cantidad disponible	2	1	2	1
Marca y modelo	INFRA.	PICCOLA 300 AC/AD	LUCERN Modelo 214 A	S/M
Fallas	Desgaste de cuerdas de válvulas. Las lecturas de los manómetros indican presión incorrecta.	Rotura en contactos o puertos de conexión. Cables quemados por colillas de soldadura.	Sobre calentamiento. Apagadores atascados. Piedras lisas.	No se aspira de manera correcta el aire. Mantenimiento de filtros. Defectos en el motor. Aspas rotas.
Frecuencia de Mantenimiento y acción para realizar	Se efectúa trimestralmente. Se calibran los manómetros, revisan la tubería y las válvulas y se sustituye cinta teflón.	Se efectúa trimestralmente. En los puertos de conexión se ha colocado un tubo de aluminio para el mejor funcionamiento.	Se efectúa trimestralment e. En las piedras de esmeril se aplica con una escofina y gis. Se revisan los apagadores.	Se realiza de manera trimestral para la verificación de las partes mecánicas y eléctricas.
Fotos de equipos				

Figura 3. Proceso de soldadura eléctrica

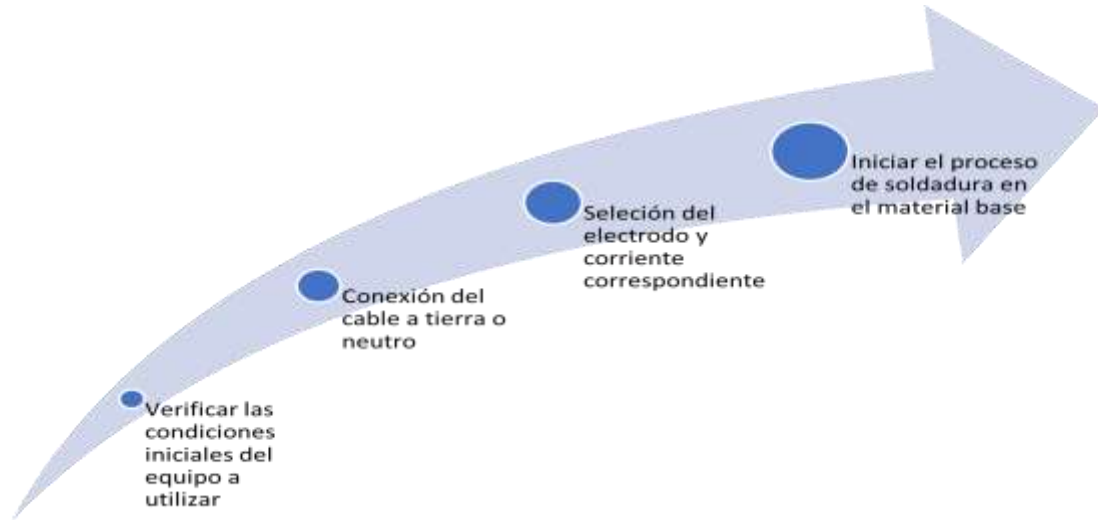


Figura 4. Proceso de soldadura oxiacetilénica



Figura 5. Formato de identificación de los equipos que se analizan por medio de criticidad

Formato de Identificación de equipos	
Folio: XXXXXX	Reviso:
Equipo:	Autorizo:
No. Serie:	Fecha de inicio:
No. Inventario:	Fecha de termino:
Observaciones	
Descripción técnica	
Imagen/fotografía/diagrama	
Disposiciones de seguridad	
Accionamiento	
Puesta en marcha	
Condiciones de seguridad	
Estabilidad del equipo	
Ruido, vibraciones	

Aplicación de los criterios de criticidad

1) La matriz de criticidad.

Es una herramienta que ayuda a analizar de forma auditable cada tipo de falla o avería. Para la elaboración de la matriz de criticidad de una máquina, equipo o sistema, se deben considerar los siguientes puntos:

1. Descripción del proceso productivo en donde se identifica en cada parte del proceso qué tipo de operación se realiza (manual, semiautomático o automático).
2. Identificación de los subsistemas que

conforman el sistema. Se evalúa de forma global de cada equipo.

3. Definición del tipo de estructura del sistema (activo, pasivo, paralelo o en serie).
4. Se calcula la Criticidad Total para cada equipo.
5. Se determina el nivel de criticidad para cada equipo, con lo correspondiente a la matriz de criticidad.

Los criterios para el análisis de criticidad del estudio se detallan en la tabla 2.

Tabla 2. Criterios aplicables para el análisis de criticidad

Criterios para determinar criticidad	Cuantificación
Frecuencia de falla	
Mayor a 4 fallas por año	4
2-4 fallas al año	3
1-2 fallas al año	2
Mínimo de 1 falla por año	1
Impacto Operacional	
Parada inmediata de toda la empresa	10
Parada de toda la planta - (recuperable en otras plantas)	6
Impacto a niveles de producción o calidad	4
Repercute a costos operacionales adicionales (indisponibles)	2
No genera ningún efecto significativo sobre las demás operaciones	1
Flexibilidad Operacional	
No existe opción de producción y no hay forma de recuperarlo	4
Hay opción de repuesto compartido	2
Función de repuesto disponible	1
Costo de Mantenimiento	
Mayor o igual a \$20.000,00	2
Menor o inferior a \$20.000,00	1
Impacto en la Seguridad Ambiental y Humana	
Afecta la seguridad humana tanto externa como interna	8
Afecta el ambiente produciendo daños irreversibles	6
Afecta las instalaciones causando daños severos	4
Provoca daños menores (accidentes o incidentes)	2
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas	1
No provoca ningún tipo de daño a personas, instalaciones o ambiente	0

Tomada de: Gutiérrez et al., 2022

Los criterios de la tabla 2, tienen el objetivo de evaluar los equipos o sistemas, que impactaran de manera directa en el mantenimiento de los equipos.

Los cálculos de criticidad total para cada equipo se realizan con las ecuaciones (1), (2).

Criticidad Total

$$= \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia} \dots \dots \dots (1)$$

Consecuencia

$$= (\text{Impacto operacional} \times \text{Flexibilidad Operacional})$$

$$+ \text{Costo de mantenimiento}$$

$$+ \text{Impacto a la seguridad} \dots \dots \dots (2)$$

De estas ecuaciones se tienen parámetros a utilizar en el análisis correspondiente, los cuales se describen en la tabla 4 de resultados. Posterior a ello se revisan los criterios para la criticidad de los equipos.

Análisis de resultados de la criticidad

En la tabla 3, se plasman los parámetros de análisis correspondientes a los criterios de criticidad.

Tabla 3. Descripción de la tabla para el análisis de criticidad

Frecuencia	4	SC	C	C	MC	MC	Descripción MC: Muy crítico C: Crítico SC: Semi-crítico NC: No crítico Valor máximo 200
	3	SC	SC	C	MC	MC	
	2	NC	NC	SC	C	C	
	1	NC	NC	SC	SC	C	
		10	20	30	40	50	
	Consecuencia						

Tomado de: Gutiérrez et al., 2022

En la tabla 3, se identifica las zonas para cada uno de los criterios que se observe en los equipos que se analizan por medio de esta herramienta.

Retroalimentación

La información acumulada, se conjunta para apreciar el impacto de cada uno de los criterios en relación con los equipos que se tienen en el laboratorio de soldadura, partiendo de ese resultado bajo la premisa de la experiencia de los analistas en el

desarrollo de la criticidad para estos casos de estudio.

Además, se realizan los cálculos correspondientes a la criticidad, en donde se obtuvieron los valores numéricos que permiten tomar la decisión para mantenimiento crítico, semi-crítico o no crítico, y con estos resultados se identificar aquellos equipos que requieren de un mantenimiento de emergencia y a os que se le deberá aplicar en tiempos a corto y largo plazo.

RESULTADOS

En el formato de la tabla 4, se tiene los resultados de la matriz de criticidad para

los equipos analizados del laboratorio de soldadura.

Tabla 4. Resultados de la matriz de criticidad para los equipos en el laboratorio de soldadura

Criterios para determinar criticidad	Cilindro de óxido de acetileno	Máquina de soldar	Esmeriladora	Extractor
	Frecuencia	Frecuencia	Frecuencia	Frecuencia
Frecuencia de fallas				
Mayor a 4 fallas por año	2	1	0	0
2-4 fallas al año	3	3	2	0
1-2 fallas al año	2	0	1	1
Mínimo de 1 falla por año	0	0	0	1
Impacto Operacional				
Parada inmediata de toda la empresa	0	0	0	0
Parada de toda la planta (recuperable en otras plantas)	0	0	2	0
Impacto a niveles de producción o calidad	3	3	2	2
Repercute a costos operacionales adicionales (indisponibles)	2	2	1	0
No genera ningún efecto significativo sobre las demás operaciones	0	0	0	0
Flexibilidad Operacional				
No existe opción de producción y no hay forma de recuperarlo	1	2	0	0
Hay opción de repuesto compartido	0	0	1	1
Función de repuesto disponible	1	1	2	0
Costo de Mantenimiento				
Mayor o igual a \$20.000,00	0	0	0	0
Menor o inferior a \$20.000,00	1	1	1	1
Impacto en la Seguridad Ambiental y Humana				
Afecta la seguridad humana tanto externa como interna	1	0	0	0
Afecta el ambiente produciendo daños irreversibles	0	0	0	0
Afecta las instalaciones causando daños severos	0	0	0	2
Provoca daños menores (accidentes o incidentes)	1	1	1	1
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas	1	1	1	1
No provoca ningún tipo de daño a personas, instalaciones o ambiente	0	1	0	0

La tabla 4 indica el comportamiento de cuatro aspectos de los equipos y estos son:

a) La frecuencia de fallas, siguiendo el orden de cilindro de oxiacetileno y máquina de soldar con un mayor de 4 fallas por año, seguidos de la esmeriladora y el extractor con 3 y 2. b) El impacto ambiental en todos los equipos, identifico a los niveles de producción o calidad y la repercusión en los costos operacionales adicionales o indisponibles. c) Flexibilidad operacional, detecto en el cilindro de oxiacetileno y la máquina de soldar que no existe opción de producción y no hay forma de recuperarlo, así como, en todos que hay una función de repuesto disponible. d) Los costos de mantenimiento en todos los equipos es menor o inferior a \$20.000,00 trimestralmente. e) El impacto en la Seguridad Ambiental y Humana determino en: 1) Cilindro de oxiacetileno; afecta la seguridad humana tanto externa como interna, provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas y puede ocasionar daños menores (accidentes o incidentes). 2) Máquina de soldar; provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas y no ocasiona ningún tipo de daño a personas, instalaciones o ambiente. 3) Esmeriladora; provoca impacto ambiental y daños menores cuyo efecto no viola las normas (accidentes o incidentes) y 4) El extractor de aire; afecta las instalaciones causando daños severos, provoca daños menores (accidentes o incidentes) y provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas.

Resultados del Nivel de Criticidad

- a) Cálculo de criticidad para cilindro de óxido de acetileno.

$$Frecuencia = 2$$

$$Consecuencia = (3 \times 1) + 1 + 1 = 5 \quad (3)$$

Por lo tanto:

$$Criticidad Total = 2 \times 5 = 10$$

De acuerdo con el análisis para el cilindro, comparándolo en la tabla 2, es **no crítico**.

- b) Cálculo de criticidad para máquina de soldar.

$$Frecuencia = 3$$

$$Consecuencia = (3 \times 2) + 1 + 1 = 8 \quad (4)$$

Por lo tanto:

$$Criticidad Total = 3 \times 8 = 24$$

De acuerdo con el análisis para máquina de soldar, comparándolo en la tabla 2, es **semi-crítico**.

- c) Cálculo de criticidad para esmeriladora.

$$Frecuencia = 2$$

$$Consecuencia = (2 \times 2) + 1 + 1 = 6 \quad (5)$$

Por lo tanto:

$$Criticidad Total = 2 \times 6 = 12$$

De acuerdo con el análisis para el cilindro, comparándolo en la tabla 2, es **no crítico**.

- d) Cálculo de criticidad para extractor.

$$Frecuencia = 2$$

$$Consecuencia = (2 \times 1) + 1 + 2 = 5 \quad (6)$$

Por lo tanto:

$$Criticidad Total = 1 \times 5 = 5$$

De acuerdo con el análisis para el cilindro, comparándolo en la tabla 2, es **no crítico**.

La tabla 5 muestra el concentrado de la criticidad obtenida en cada uno de los equipos, con la finalidad de observar cual de estos requiere de un procedimiento de mantenimiento a la brevedad.

Tabla 5. Concentrado de la criticidad para los equipos de soldadura

Equipos evaluados	Criticidad	Mantenimiento	
	Valor	Estado	Color
Cilindro de óxido de acetileno	10	No crítico	Verde
Máquina de soldar	24	Semi-crítico	Amarillo
Esmeriladora	12	No crítico	Verde
Extractor	5	No crítico	Verde

De la tabla 5 se identifica el equipo que requiere de mayor atención para mantenimiento y uso durante los periodos académicos en la comunidad universitaria, en este caso de estudio es la máquina de soldar y ello se atribuye que generalmente los estudiantes no tienen la capacitación adecuada para el uso de este equipo y por ello requiere de mayor atención al momento de utilizarlo y llevar a cabo el mantenimiento, ya sea preventivo o correctivo.

Discusión

Los resultados de la investigación identifican el nivel de criticidad para corregir problemáticas el área de estudio, a fin de evitar futuras contingencias. En los siguientes párrafos se comparan estudios e investigaciones en donde se aplica la metodología de criticidad y logrando mejoras dentro de los diversos sectores aplicados.

Del Castillo-Serpa et al. (2009) menciona en su estudio que existen diferentes enfoques del mantenimiento con los cuales se han logrado buenos resultados a nivel mundial, ejemplo de esto es el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), el cual constituye un sistema avanzado de gestión, que con una correcta

implementación garantiza la eficiencia y eficacia del mantenimiento. Basado en un análisis de sistemas previo, resulta conveniente definir los niveles de criticidad de los diferentes equipos, de que consta cada sistema. Se impone la necesidad de desarrollar una metodología para el análisis de la criticidad, para ser aplicada en diferentes instalaciones, que incluye la obtención de una expresión matemática, que basada en ciertos criterios de evaluación, analice la criticidad particular en cada caso sometido a este proceso. En este trabajo se verifica y plantea la factibilidad de la metodología propuesta, con el objetivo de realizar el análisis de sistemas y de criticidad de forma personalizada para los equipos en un laboratorio de soldadura e identificar el uso del RCM. Los resultados de la expresión matemática obtenida en la criticidad, de cada caso, se muestran con el dato para determinar los mantenimientos críticos.

Díaz Aroche & Izquierdo O'Farril (2004) aluden que su trabajo, representa una aplicación del método de análisis de criticidad en efectos y modos de fallos, para evaluar cualitativa y cuantitativamente el control del proceso de soldadura y la incidencia de la tecnología, en diferentes

momentos y en la eliminación de los defectos típicos. Que concluyen que: a) El número de criticidad representa el nivel de control que establecemos sobre el proceso. b) La introducción de un nuevo equipamiento ha contribuido a la mejora de la calidad de la soldadura c) Los procedimientos de calidad mantienen su vitalidad en el proceso de mejoramiento constante y d) La automatización nos permitirá aumentar los niveles de productividad y mantener los parámetros de calidad, validando con ello la importancia de efectuar un análisis de criticidad con las características mostradas en este trabajo, bajo las condicionantes de mantener una mejora en el proceso de evaluación.

Molina et al. (2019) comentan en su investigación que tiene como objetivo describir el diseño de un plan de mantenimiento preventivo para los equipos de los talleres de soldadura, mecatrónica, hidráulica y refrigeración del centro CIES del SENA-Cúcuta, cuyo objetivo principal fue determinar las actividades y metodología de gestión de mantenimiento a realizar en cada uno de los equipos de mayor criticidad e importancia para cada formación técnica. Se establecieron las etapas consecutivas necesarias, comenzando por el inventario, diagnóstico y fichas técnicas de los equipos en uso pertenecientes a los talleres de formación antes mencionados. La segunda etapa consistió en clasificar los equipos según su nivel de criticidad e importancia para la capacitación brindada en cada taller de formación. En la tercera etapa, se

desarrolló el análisis de los modos y efectos de fallas (AMEF), que permitió determinar los tipos de falla que puede tener cada equipo y su respectivo análisis de riesgos. Finalmente, se establecieron los protocolos y actividades de mantenimiento a realizar para cada equipo crítico, gracias al análisis AMEF y al uso de hojas de decisión implementadas bajo la filosofía del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). Así, se logró determinar una metodología para la gestión del mantenimiento preventivo en los equipos más críticos de cada taller de formación, estableciendo también, el marco documental necesario para definir y gestionar cada tarea de mantenimiento a realizar. En la metodología desarrollada, dentro de este trabajo, fue fundamental tomar en cuenta el criterio del personal a cargo de los equipos de soldadura, para desarrollar el análisis de criticidad en función del uso, características, requerimientos y necesidades que presentan los sistemas dentro del laboratorio de soldadura, por lo que establecer un seguimiento minucioso como lo describe Molina et al. (2019), fue de gran aportación en el estudio dentro de la UAM Azcapotzalco.

Rouabhia-Essalhi et al. (2022), deducen en su trabajo que el objetivo es aplicar uno de los métodos más utilizados en las industrias: el modo de falla, los efectos y el análisis de criticidad (FMECA). Además, el estudio es reducir las fallas potenciales de los equipos de manejo industrial mediante el uso de FMECA, evitando así los riesgos potenciales y reduciendo el tiempo de

inactividad. Una aplicación a un sistema industrial de este tipo muestra cómo una empresa puede beneficiarse de esta metodología de análisis de fallas. Los estudios han demostrado la viabilidad de implementar un método de optimización del mantenimiento a medida que la influencia de las actividades de mantenimiento se vuelve cada vez más importante en la gestión de las empresas. Finalmente, al observar el trabajo de Rouabhia y el que se ha desarrollado con el caso de los laboratorios de soldadura, se establece la importancia de contar con un plan de acciones preventivas y correctivas para mejorar y optimizar el rendimiento en los equipos o sistemas, en este caso soldadura, al igual que su disponibilidad. Por lo tanto, esta estrategia de mantenimiento optimiza costos, el tiempo y el esfuerzo del equipo de mantenimiento. Toda esta comparativa permite comprender la importancia de un análisis de criticidad para implementar sistemas de mantenimiento predictivo y preventivo eficaces que ayuden a que los equipos dentro de la Universidad funcionen de

manera correcta el mayor tiempo posible dentro de las instalaciones, debido a que es un laboratorio que funge como taller, es necesario que cuente con las condiciones óptimas para que los equipos se encuentren en las mejores condiciones posibles para su uso durante los periodos comprendidos en los procesos de enseñanza. Cabe destacar que el laboratorio cuenta con protocolos de seguridad que permiten el correcto funcionamiento de las máquinas e instalaciones por parte de los operarios y estudiantes y mitigara fallas y accidentes.

La ventaja del estudio es que permite obtener resultados precisos, porque ocupa: a) La información real y b) La metodología de solución cualitativa y cuantitativa. Al analizarse lo anterior, se corrige y da cumplimiento a los objetivo e hipótesis inicial.

La aportación del artículo es que puede ser replicado en otros sectores que tengan situaciones similares porque la metodología no es limitativa y notablemente logrará mejoras a corto, mediano y largo plazo.

CONCLUSIONES

Al realizar un análisis exhaustivo con los formatos de criticidad se identificaron en los equipos (cilindros de óxido de acetileno, máquina de soldar, esmeril de banco y extractor) las características (botones de encendido, reguladores, pinzas, carcasa, cables, fuentes de alimentación) para determinar el control en mantenimiento para cada uno de ellos, que consiste en

aplicar un modelo matemático, criterio de criticidad, y en función de ello obtener el aspecto crítico, semi-crítico y no crítico, para gestionar los procedimientos de mantenimiento preventivo y/o correctivo, lo cual dependerá de las condiciones y resultados del análisis después de un periodo escolar, que corresponde a un trimestre.

La metodología aplicada a los equipos que se encuentran en los laboratorios de soldadura ha demostrado la importancia de aplicar un proceso de validación o verificación en parámetros operativos para el adecuado funcionamiento de éstos, en el momento de realizar las actividades que competen a las prácticas de soldadura, y validar la criticidad de los equipos y sus accesorios para un mantenimiento adecuado durante o posterior al periodo académico en el cual se utilizan. Así mismo, se han conservado las condiciones propicias para evitar incidentes en los laboratorios de soldadura.

Por otro lado, al determinar el nivel de criticidad en cada uno de los equipos de soldadura evaluados, se impacta de manera puntual en los diferentes tipos de mantenimiento que existe, preventivo, correctivo y predictivo, permitiendo en todo momento gestionar las actividades de ajuste y/o reparación en los equipos ubicados en el laboratorio de soldadura. Un aspecto primordial de este análisis es la identificación de los niveles de criticidad para evitar accidentes en los equipos del sistema y que la comunidad académica

disponga en todo momento con la mayor cantidad de equipos para realizar las prácticas y proyectos dentro de la comunidad universitaria.

Por último, las tendencias del análisis aplicado en este artículo direccionan a evitar en lo posible que se presentes incidentes en los equipos de los laboratorios de soldadura y administrar de manera cuidadosa los mantenimientos, requeridos a partir de los niveles de criticidad, con el propósito de evitar atrasos en las actividades académicas. Con ello asimilar que las personas encargadas de operar los equipos deben estar capacitados, para ofrecer las asesorías que solicita la comunidad académica durante los periodos lectivos. Aunado a esto, se ofrece esta información con la finalidad de establecer líneas de aplicación y desarrollo involucradas con el análisis de criticidad y la gestión del mantenimiento en las diferentes áreas de la UAM Azcapotzalco, logrando extrapolarse a las demás unidades de la Universidad y otras entidades tanto académicas como industriales, fomentando desarrollos de esta índole.

REFERENCIAS

Alfonso, A., González, D. & Borroto, Y. (2022). Aplicación del mantenimiento basado en el riesgo a equipos de la empresa agroindustrial azucarera "José María Pérez Capote". *Revista Centro Azúcar*, 49(2), 112-121. <http://centrozucar.uclv.edu.cu/index.php/centrozucar/article/view/706/804>

Botero, C. (1993). *Manual de mantenimiento. Parte I: ¿qué es el mantenimiento?* Informador Técnico. Cali, Colombia.: Centro Nacional de Asistencia Técnica a la Industria (ASTIN) del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. <http://dx.doi.org/10.23850/22565035.1188>
Cedeño-Moreira, W. J. & Gorozabel-Chata, F. B. (2021). Análisis de criticidad del equipamiento

- industrial de la línea de bovinos de un centro faenamamiento. *Revista Científica "INGENIAR": Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 4(8), 49-65. <https://doi.org/10.46296/ig.v4i8edespsep.0029>
- Del Castillo-Serpa, A.; Brito-Ballina, M. & Fraga-Guerra, E. (2009). Análisis de criticidad personalizados. *Ingeniería Mecánica*, 12(3), 1-12. <https://ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/view/72>
- Díaz, B., & Izquierdo, M. F. (2004). Reacondicionamiento del proceso de soldadura en la fábrica de tanques de transformadores. *Ingeniería Energética*, 25(1), 31-36. <https://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/view/173>
- Díaz-Concepción, A., Pérez-Rodríguez, F., Del Castillo-Serpa, A., & Brito-Vallina, M. L. (2012). Propuesta de un modelo para el análisis de criticidad en plantas de productos biológicos. *Ingeniería Mecánica*, 15(1), 34-43. <https://ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/view/399/741>
- Enriques-Gaspar, A., Díaz-Concepción, A., Villar-Ledo, L., Del Castillo-Serpa, A., Rodríguez-Piñero, A. & Alfonso-Álvarez, A. (2019). Tecnología para el análisis de criticidad de los sistemas tecnológicos en empresas biofarmacéuticas. *Ingeniería Mecánica*, 23(1), 1-11. <http://scielo.sld.cu/pdf/im/v23n1/1815-5944-im-23-01-e594.pdf>
- Flores, M., Medina, D., Vargas, D. & Remache-Vinueza B. (2020). Asignación de modelos de mantenimiento basada en la criticidad y disponibilidad del equipo. *CienciAmerica*, 9(4), <http://dx.doi.org/10.33210/ca.v9i4.340>
- Giraldo, J. E. (2012). Reflexión sobre el logor, arte y ciencia de la soldadura basado en la experiencia en investigación del grupo de soldadura de la ONU. *Dyna*, 79(171), 248-255. <https://www.redalyc.org/pdf/496/49623207031.pdf>
- Gualco, A., Svoboda, H. G., & Surian, E. S. (2013). Efecto del calor aportado en recargues nanoestructurados base hierro. *Soldagem & Inspeção* [online], 18(4), 329-338. <https://doi.org/10.1590/S0104-92242013000400005>
- Gutiérrez, E., Agüero, M., & Calixto, I. (s.f.). *Análisis de Criticidad integral de activos*. <https://predictiva21.com/analisis-criticidad-integral-activos/>, <https://predictiva21.com>
- IPN-Cecyt 04. (Sin año). *Manual de Procesos de Soldadura*. México: IPN. <https://www.ipn.mx/assets/files/cecyc4/docs/estudiantes/aulas/guias/cuarto/vespertino/procesos/procesos-de-soldadura.pdf>
- Maldonado Moscoso, G. A. (2021). Eficiencia de Procesos de Soldadura para su aplicación en el desarrollo de la Industria Metalmeccánica en Ecuador. *CITED Journal*, 2(2). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17765.32483>
- Molina, M., Martínez, J., Acosta, R. & Gómez, P. (2019). Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo para los equipos de los talleres de soldadura, mecatrónica, hidráulica refrigeración del centro CIES del SENA de Cúcuta, Norte de Santander. *Revista Metalnova*, 2, 14-22. <https://revistas.sena.edu.co/index.php/metalnova/article/view/2474>
- Mostafa, N. & Khajavi, M. (2006). Optimisation of welding parameters for weld penetration in FCAWN. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 16(1-2), 132-138.
- Muñoz, J. & Cantos, M. (2021). Mantenimiento centrado en la confiabilidad a equipos en industria de conserva de atún. *Científica*, 25(2), 1-24. <https://doi.org/10.46842/ipn.cien.v25n2a05>
- Norma Oficial Mexicana NOM-027-STPS-2008 (2008). *Actividades de soldadura y corte- Condiciones de seguridad e higiene*. Secretaría del Trabajo y Previsión Social. de México: Diario

Oficial de la Federación.
<https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/3536/stps1/stps1.htm>

Parra, C., & Crespo Marquez, A. (2019). Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos. *Technical report*, 27.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21197.87524>

Pender, J. A. (2002). *Soldadura (Tercera edición ed.)*. México: McGraw-Hill.

Romantchik-Kriuchkova, E., Santos-Hernández, A. M., Ríos-Urbán, E., & Terrazas-Ahumada, D. (2019). Análisis del flujo de aire de los extractores de invernadero usando la simulación por CFD. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 20(1), 1.14.
<http://dx.doi.org/10.22201/fi.25940732e.2019.20n1.012>

Rouabhia-Essalhi, R., Hadi Boukrouh, E., & Ghemari, Y. (2022). Application of failure mode effect and criticality analysis to industrial handling equipment. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 120), 5269-5280. <https://doi.org/10.1007/s00170-022-09099-y>

Truper. (2022). (Truper, Ed.). *Instructivo de Esmeril de banco*.
<https://www.truper.com/admin/descargables/manual/12786.pdf>

Yam, M., Pali, R. & Zavala, J. (2019). Aplicabilidad de la criticidad en el mantenimiento de equipos. *Project, Desing and Management*, 1(1), 33-48.
<https://doi.org/10.35992/mlspdm.v1i1.168>

Autores

Jesús Vicente González Sosa. Doctor, Universidad Nacional Autónoma de México; Profesor investigador, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1325-0266>

Email: jvgs@azc.uam.mx

Enrique Ávila Soler. Doctor, Colegio de Posgraduados Campus Montecillos; Profesor investigador, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8980-0925>

Email: eas@azc.uam.mx

Recibido: 01-07-2022

Aceptado: 28-04-2023