

# Diseño Metodológico para la Implementación de un Sistema de Monitoreo para la Medición de la Disponibilidad de una Cabina de Soldadura de Taller

*Luis Guillermo Fernández García* \*  
*Luis Rosales Roldán* †

## Resumen

El presente estudio establece el diseño de un modelo metodológico para la realización de un análisis de disponibilidad de una estación de trabajo para prácticas de soldadura de taller. Dentro de la soldadura de taller se hacen uso de cabinas las cuales deben tener ciertas características operativas que van desde la ergonomía, variables eléctricas, condiciones ambientales hasta la integridad de la máquina. Se obtiene la propuesta de un sistema supervisor para el análisis de disponibilidad de una cabina de trabajo para soldadura de taller bajo la adaptación de una metodología RAM (Reliability – Availability – Maintainability) y se desarrolla la caracterización de una estación de trabajo a fin de obtener un modelo de supervisión. Si bien existen múltiples aplicaciones hacia el mantenimiento industrial de esta metodología, las referentes a los procesos de estaciones de trabajo en soldadura son muy limitadas y se enfocan, en su mayoría, hacia el producto final que es la pieza soldada. De esta manera, si se conocen los índices de gestión del mantenimiento que determinan la mantenibilidad del proceso se puede desarrollar un modelo predictivo a fin de garantizar la disponibilidad del mismo.

**Palabras Clave:** RAM, Soldadura de taller, Sistema de Supervisión.

## Abstract

---

\* Luis Guillermo Fernández García

Estudiante del Doctorado en Ingeniería Mecatrónica en la Universidad Popular Autónoma del Estado Puebla Profesor Investigador de la Universidad Tecnológica de Altamira. lfernandez@utaltamira.edu.mx

† Luis Rosales Roldán

Profesor Investigador de la Facultad de Mecatrónica, Electrónica, Biónica y Aeroespacial de la Universidad Popular Autónoma del Estado Puebla. luis.rosales@upaep.mx

The present study establishes the design of a methodological model to carry out an availability analysis of a workstation for workshop welding practices. Inside the workshop welding, use is made of booths which must have certain operating characteristics that range from ergonomics, electrical variables and environmental conditions to the integrity of the machine. The proposal of a supervisory system for the analysis of availability of a work cabin for workshop welding is obtained under the adaptation of a RAM (Reliability - Availability - Maintainability) methodology and the characterization of a workstation is developed in order to obtain a model of supervision. Although there are multiple applications for industrial maintenance of this methodology, those relating to welding workstation processes are very limited and focus, for the most part, towards the final product, which is the welded part. In this way, if the maintenance management indexes that determine the maintainability of the process are known, a predictive model can be developed in order to guarantee its availability.

**Keywords:** RAM, Workshop Welding, Supervision System.

## **1 Introduction**

En la actualidad, la maximización de la productividad Industrial provoca el mejoramiento de los procesos, productos y métodos obligando así a la optimización de las actividades de mantenimiento. Es decir, garantizando la disponibilidad y mantenibilidad de los equipos (Castillo, Fernández, & Ángeles, 2018).

Según Pérez (2017) establece lo siguiente: La confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (CMD) son objetivos permanentes en estrategias y metodologías de mantenimiento. El mantenimiento es un proceso y es compatible a las nuevas Tecnologías de la Información (TI). Desde ese enfoque los sistemas de supervisión actuales deben brindar una perspectiva integrada de todos los recursos de control e información de la planta. Donde se puede visualizar e interactuar

mediante representaciones gráficas donde se provee de toda la información del proceso productivo (Escobar, García, & Rodríguez, 2015).

En el sector industrial metalmecánico existe poca evaluación e investigación de las nuevas tecnologías de soldadura por lo que típicamente se desconocen las metodologías que facilitan el desarrollo y aseguramiento de calidad en los productos soldados (Niebles, E. E., & Arnedo, W. G. 2009). Para esto último es vital conocer la aplicación del mantenimiento que se entiende como un conjunto de técnicas instrumentadas de medida y análisis de variables para caracterizar los modos de fallos potenciales de los equipos productivos (Ballesteros, 2017).

El uso de sistemas de monitoreo y supervisión facilitan la gestión del mantenimiento. En este contexto Bedworth M. y O'Brien J. (2000) establecen que la primera etapa de un modelo para la supervisión de procesos de mantenimiento predictivos en Industria 4.0 es mediante la fusión de datos Omnibus. En este modelo se enfatiza la extracción de patrones dentro de su ciclo que consta de cuatro estados: detección y procesamiento de la señal, extracción de patrones, toma de decisión y etapa de actuación (Almasri et.al 2014)

Como se ha venido mencionado la disponibilidad, confiabilidad y la capacidad de mantenimiento (RAM) de un equipo son importantes para el control de la calidad de los productos. La estimación y predicción de la probabilidades de falla optimizan la operación de gestión, minimizando los costos y mejorando las estrategias productivas (HARISH GARG & S. P. SHARMA 2012).

Combinando un modelo RAM e I4.0 se diseña una estructura metodológica para la gestión del mantenimiento en procesos de soldadura de taller donde se hace uso de cabinas o estaciones de trabajo, las cuales deben tener ciertas características operativas como la ergonomía, las variables

## **Diseño Metodológico para la Implementación de un Sistema de Monitoreo para la Medición de la Disponibilidad de una Cabina de Soldadura de Taller**

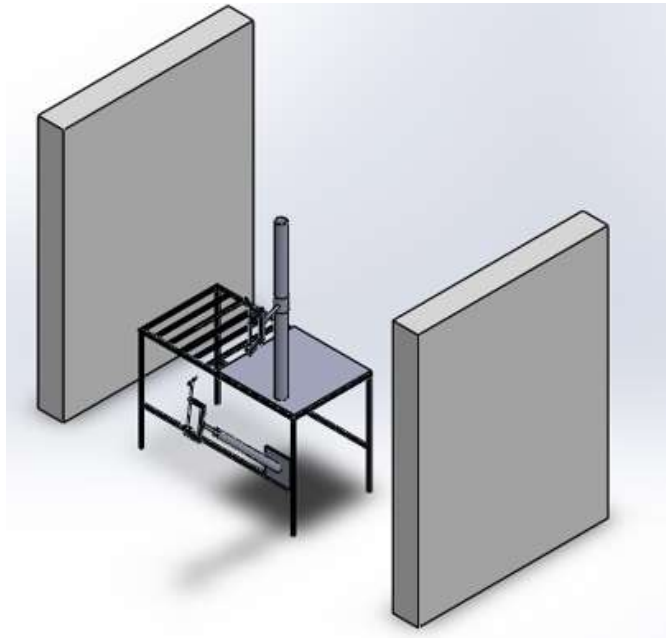
---

eléctricas, condiciones ambientales e incluso la integridad de la máquina. El Proceso de soldadura que servirá para el caso de estudio es el SMAW (Shield Metal Arc Welding) considerando lo marcado por la AWS en su sede 2015.

De esta manera se propone el diseño metodológico para un sistema de supervisión y monitoreo de las actividades del mantenimiento industrial tomando en cuenta la relación de tres actores: productor, máquina y mantenedor, definido como disponibilidad (Osorio & Gutiérrez, 2010).

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

La planta en este estudio está definida por una estación de trabajo de soldadura de taller la cual es parte de las áreas dedicadas para la capacitación de Técnicos Superiores Universitarios (TSU) de especialidad en Soldadura. En la Figura 1 se muestra el modelo estructural de la cabina. El proceso de soldadura que este analizará en este caso será el SMAW (Shield Metal Arc Welding).



**Fig. 1** Estación de trabajo para soldadura de taller.

Los estilos de soldeo con los que cuenta la estación de trabajo son: plana, horizontal, vertical y sobre cabeza. Los tipos de soldadura que pueden ejecutarse corresponden a: soldadura de Filete (Fillet Weld), soldadura de ranura (Groove weld) y soldadura de tapón (Plug weld) o botón ranurado (Slot weld) (Rodríguez, 2018) (AWS, 2015).

En lo referente a la máquina de soldar las variables a considerar son: niveles de corriente y polaridad, temperatura del transformador y ciclos de trabajo.

Dentro del modelo de supervisión se estará monitoreando la realización de las prácticas conforme a su tipo y estilos de soldeo y los reportes del usuario de algún malfuncionamiento de la estructura así como el monitoreo de la máquina de soldar.

Existen otros elementos eléctricos que se deben considerar dentro del análisis eléctrico como: esmerilador angular, escariador y compresor pero estos no son aplicables de manera continua.

## Diseño Metodológico para la Implementación de un Sistema de Monitoreo para la Medición de la Disponibilidad de una Cabina de Soldadura de Taller

Estableciendo un enfoque de I4.0 se desarrolla el sistema de supervisión bajo una estructura de un modelo predictivo propuesto por (Candanedo, González, & Muñoz, 2018), el cual consta de cuatro estados cíclicos: a) detección y procesamiento de la señal: la información se colecta y pre-procesa, b) extracción de patrones: con la información pre procesada, se extraen los patrones y se fusionan para crear los contextos necesarios, c) decisión: los contextos son procesados y se establecen las acciones a seguir y d) etapa de actuación (Act stage): se elige el plan a seguir.

Habiendo establecido las características operativas de la cabina de soldadura se determinan las estrategias, métodos y mejores prácticas de mantenimiento y de servicios. De acuerdo a lo propuesto por Pérez (2017) la estructura metodológica propuesta debe tener como base los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad, y otros que usualmente se aplican a la gestión operativa y a la gestión administrativa además de implementar y desarrollar protocolos de mantenimiento para equipos adecuándolos a nuevas tecnologías.

Según (Pailiacho, Garcés, & Chicaiza, 2019) establece que la gestión de Tecnología de la Información (TI) ha evolucionado significativamente, situación que obliga a contar con un modelo orientado a la gestión tecnológica. Lo que requiere una integración de tres elementos fundamentales: procesos estandarizados y optimizados de acuerdo a las mejores prácticas; personas que comprendan su rol en los procesos, sus responsabilidades y herramientas tecnológicas que soporten los procesos.

En la selección del modelo se considera la confiabilidad que son las fallas acumuladas y densidad de ellas, la mantenibilidad definida como el tiempo de recuperación y la disponibilidad que es la

probabilidad de que el equipo esté operando satisfactoriamente (Pailiacho, Garcés, & Chicaiza, 2019).

La confiabilidad (Ram, M., & Davim, J. P. (Eds.), 2018), se enfoca en fallos aleatorios y su pronóstico, con el objetivo de reducirlos o, mejor aún, su eliminación total. Se define en términos de probabilidad, como una variable aleatoria (función de densidad) y funciones de distribución acumulativa y puede ser expresado como (Wang H, Pham H, 2006):

(1)

$$R(t) = P(T \geq t) = \int_t^{\infty} f(t)dt$$

donde  $R(t) \geq 0$ ,  $R(0) = 1$  y se define como la probabilidad de que el sistema o el componente funcionará durante un período de tiempo  $t$ , donde  $T$  es una variable aleatoria que representa el tiempo hasta la falla del componente o sistema.

La mantenibilidad se define como la probabilidad que tiene un sistema o proceso en malfuncionamiento para ser reparado y que trabaje a condiciones deseadas representada bajo la siguiente formula (Ram, M., & Davim, J. P. (Eds.), 2018):

(2)

$$M(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^t \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{t-\mu}{\sigma} \right)^2 \right] dt.$$

Dentro de esto, se puede obtener el índice de tiempo medio de reparación (MTTR) que puede ser calculado por (Wang H, Pham H, 2006):

(3)

$$MTTR = \int_0^{\infty} t \times g(t) dt = \int_0^{\infty} (1 - M(t)) dt.$$

Por último se medirá la disponibilidad que se define como la capacidad de un sistema para trabajar de manera adecuada por un período de tiempo determinado. El estado del sistema puede estar dado por una variable binaria (De Sanctis I, Paciarotti C, Di Giovine O, 2016), (Rausand M, Hoyland A, 2004):

(4)

$$X(t) = \begin{cases} 1; & \text{si el sistema esta trabajndo en el tiempo } t \\ 0; & \text{de lo contrario} \end{cases}$$

La representación matemática de la disponibilidad puede ser expresada como (Ebeling, 1997,255), (Hecht y otro,2001,6):

(5)

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

donde MTBF se define como el tiempo medio entre falla y se representa por (Osorio, J. C. T., & Gutiérrez, P. A. C):

(6)

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(T) dt$$

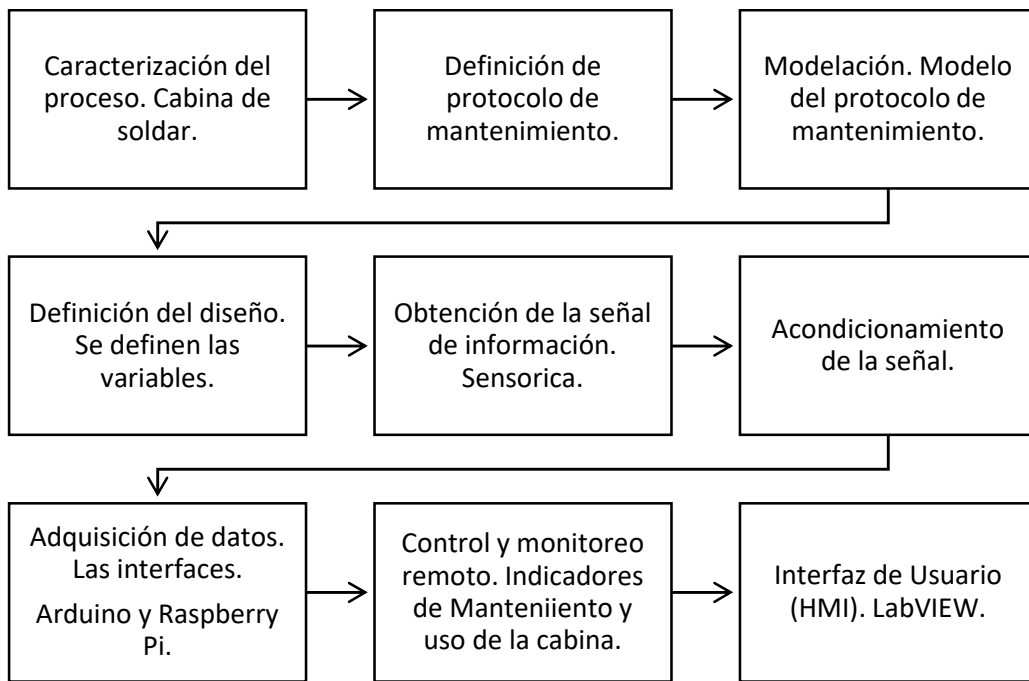


En la Figura 2 se muestra el diagrama de flujo de la metodología desarrollada la cual está basada en lo definido por Peña, Bustos, Torres, & Hernández (2018). Se establece la caracterización del proceso que está definido por la Cabina de soldar. Posteriormente se establece el protocolo de mantenimiento (disponibilidad, productividad y confiabilidad).

En la definición del modelo se definen las variables conforme a la caracterización del proceso para así determinar las entradas y salidas del sistema de monitoreo y supervisión. De lo anterior se debe considerar la obtención de la señal de información y elementos de entrada para la recolección de datos.

La adquisición de datos es bajo las interfaces Arduino y Raspberry Pi. Arduino se usa para la lectura de las variables analógicas y Raspberry Pi para la transmisión inalámbrica además que ambos sistemas ofrecen una buena comunicación con la Interfaz de Usuario (HMI) que es desarrollada en LabVIEW.

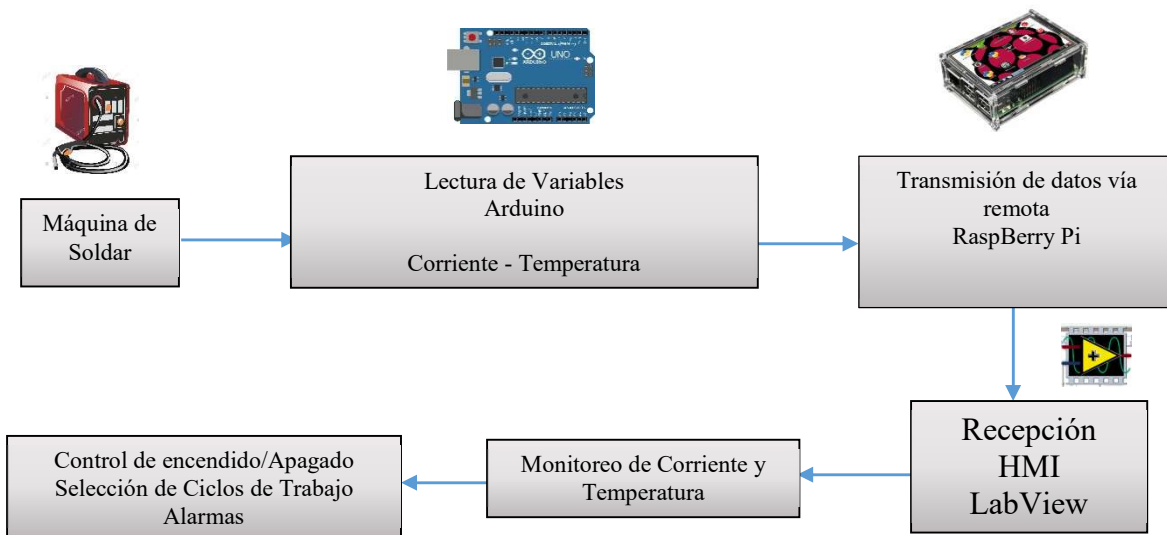
## Diseño Metodológico para la Implementación de un Sistema de Monitoreo para la Medición de la Disponibilidad de una Cabina de Soldadura de Taller



**Fig. 2** Diseño metodológico

El proceso referente a la máquina de soldar está esquematizado en la Figura 3. En este caso se tomarán lecturas de las variables eléctricas así como la temperatura del transformador a fin de tener un muestreo de los comportamientos para poder determinar su buen funcionamiento.

Por otro lado se controlan los ciclos de trabajo para cuidar la vida útil de la máquina y su integridad. Los ciclos de trabajo estarán marcados de acuerdo a lo establecido según las características de la máquina. El sistema presenta flexibilidad para ser ajustado conforme a las necesidades del usuario.



**Fig. 3** Modelo para el monitoreo y control de la máquina de soldar

Se maneja un sistema de alarmas visuales para el operador donde se le avisa que la máquina ha cumplido su tiempo de operación y se apagará. Sin embargo, de acuerdo a la práctica que se realice, podrá continuar su uso para terminar el soldeo y no afectar la calidad del producto final esto si así se establece desde el comienzo de la práctica (Botón de modo manual/automático, Figura 4).

En la Figura 4 se muestra la pantalla de usuario donde se puede observar los indicadores de temperatura (ambiental y del transformador), control desde el panel del encendido y apagado de la máquina, control de ciclo de trabajo y tiempo de duración de trabajo de la máquina.

## Diseño Metodológico para la Implementación de un Sistema de Monitoreo para la Medición de la Disponibilidad de una Cabina de Soldadura de Taller

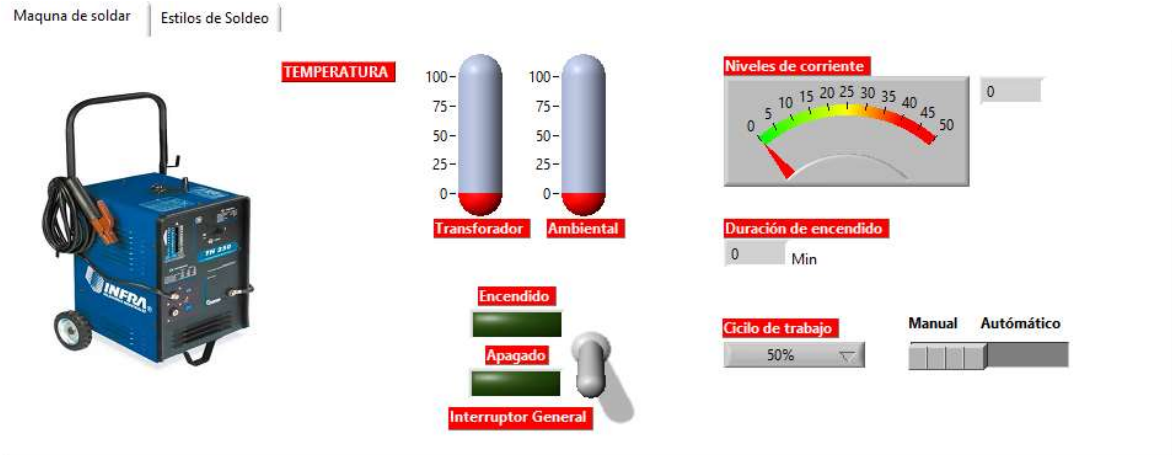


Fig. 4 Pantalla de usuario para el monitoreo de máquina de soldar.

Para la selección de estilos de soldeo (Figura 6), se presenta la secuencia mostrada en la Figura 5. El estilo de soldeo deber ser seleccionado al inicio de la práctica de esta manera se genera un histórico del uso de las áreas es por eso que se presenta la opción de generación de reportes de uso.

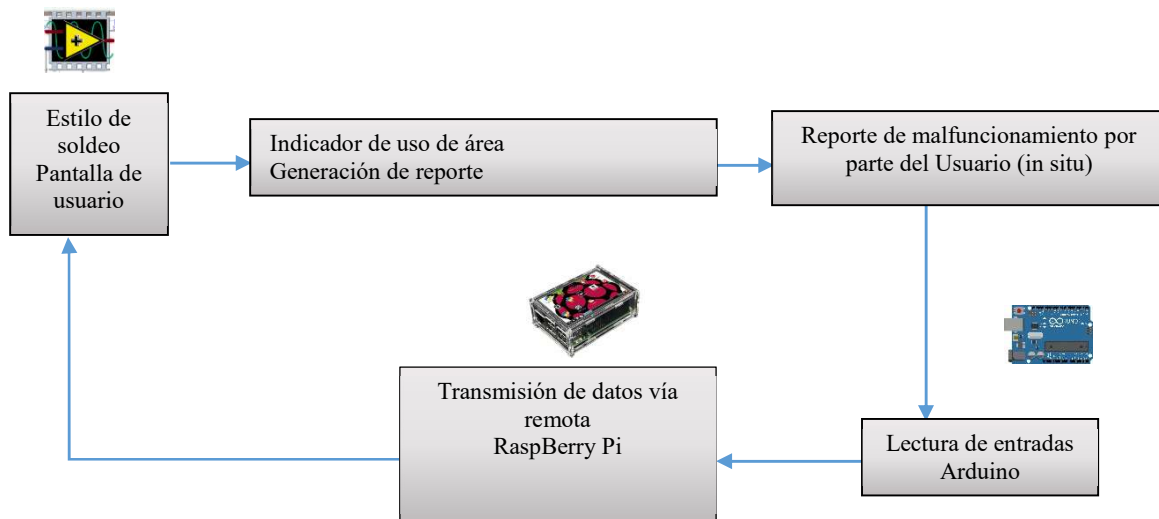


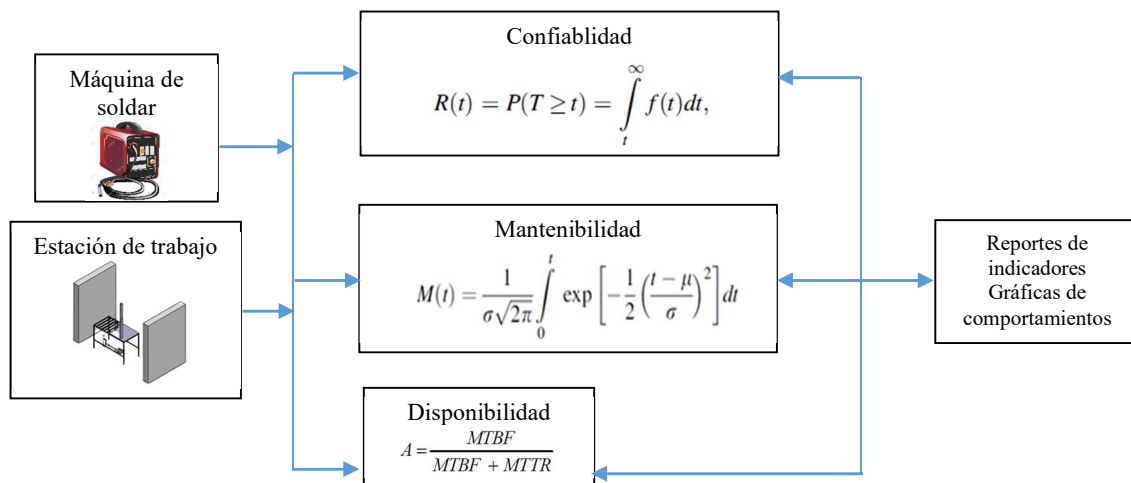
Fig 5 Uso de área e indicadores de funcionamiento.

Con base en la filosofía TPM (Total Productive Maintenance) en referencia al mantenimiento autónomo, el operador deberá informar de un malfuncionamiento de las áreas registrándose así la anomalía en el sistema de supervisión (Pinjala, Pintelon & Vereecke, 2006).

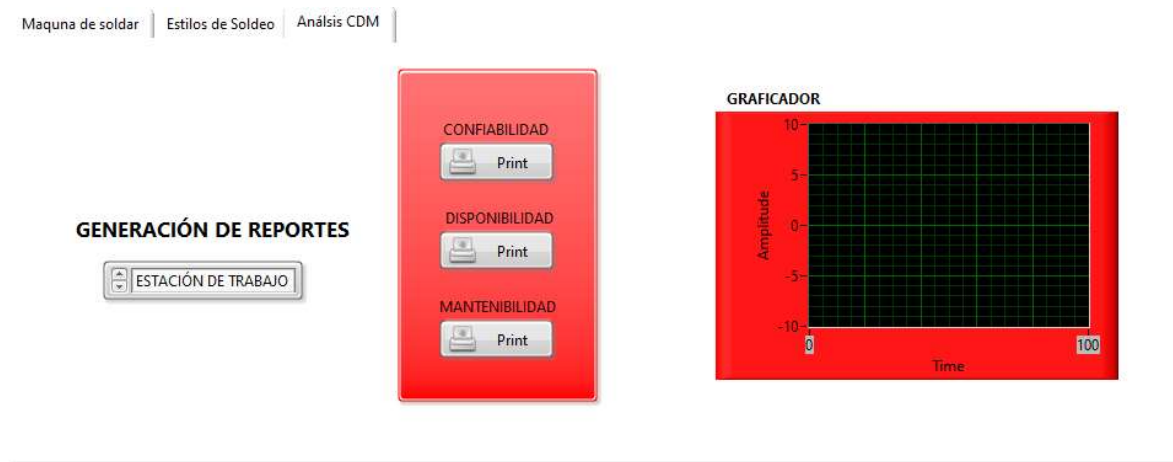


Fig 6 Selección de estilos de soldeo e indicadores de funcionamiento.

En la Figura 7 se esquematiza la obtención y cálculo de los índices de mantenimiento a los cuales estará sujeta la estación de trabajo. Ya habiendo definido las entradas de las variables eléctricas y mecánicas de la máquina de soldar, las fallas así como su tiempo de reparación y la frecuencia de uso de acuerdo al tipo de soldeo, se podrá establecer el análisis CDM. La pantalla de usuario se muestra en la Figura 8 donde el botón de *Print* genera un reporte numérico (archivo en Excel) de los históricos y a su vez grafica el comportamiento pudiendo elegir entre la estación de trabajo y la máquina de soldar. El tiempo de muestreo queda a decisión del usuario.



**Fig 7** Modelo CDM



**Fig 8** Pantalla de usuario de generación de reportes  
Fuente: Propia

Los reportes presentan información de las fallas, la ocurrencia de ellas, los tiempos de reparación y las causas, esto a lo que corresponde a la estación de trabajo. Para la máquina de soldar se detallan los consumos energéticos, el tiempo de uso y tiempo de inactividad. En ambos casos se presentan en el informe final los índices porcentuales de la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.

## CONCLUSIONES

La disponibilidad y el logro de esta se considera un elemento importante para que un proceso sea productivo y eficiente debido a que no se considera una variable independiente si no que está en función de la confiabilidad y mantenibilidad. Otro aspecto importante es la vinculación de los índices de mantenimiento hacia nuevas tecnologías con un enfoque de Ingeniería 4.0, de esta manera se puede establecer un marco de referencia del mantenimiento en operaciones de soldadura y sus estaciones de trabajo para prácticas de taller.

Dentro del contexto de capacitación de un TSU se convierte en una herramienta para el control y monitoreo de la realización de las prácticas pudiendo así tener referencias históricas de los tipos de soldeo, su duración y ejecución. La capacitación constante y la generación de recurso humano con habilidades y capacidades competentes a las exigencias del sector industrial es lo que lleva al desarrollo de este estudio.

Las áreas de impacto, en principio, son a las relacionadas a los procesos de soldeo. De lo anterior se deriva hacia la cuestión académica o de capacitación continua, como se mencionó en el párrafo anterior.

La metodología y desarrollo de este estudio puede ser aplicado a cualquier estación de trabajo con características similares ya que presenta flexibilidad y adaptabilidad.

## AGRADECIMIENTOS

Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) por el Apoyo Convencional Nacional para Estudios de Posgrados bajo el Folio UTALT-010.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMASRI, M. M., AND ELLEITHY, K. M. (2014). *Data fusion models in wsns: comparison and analysis. In american society for engineering education (asee zone 1), 2014 (203) zone 1 conference of the IEEE*, pp 1-6, DOI:10.1109/ASEEZONE1.2014.6820642.

AWS. (2015). AWS D1.1/D1.1M:2015 *Código de soldadura estructural - acero*. USA.

- BALLESTEROS, F. (2017). *La estrategia predictiva en el mantenimiento industrial. PREDICTÉCNICO (VOL. 23), PP. 36-45.* GRUPO ÁLAVA, ESPAÑA.
- BEDWORTH, M., & O'BRIEN, J. (2000). *The omnibus model: a new model of data fusion?* IEEE AEROSPACE AND ELECTRONIC SYSTEMS MAGAZINE, VOL. 15(ISSUE 4), **PP. 30-36**, DOI:10.1109/62.839632
- CANDANEDO, I. S., GONZÁLEZ, S. R., & MUÑOZ, L. (2018). *Diseño de un modelo predictivo en el contexto industria 4.0.* 6TH ENGINEERING, SCIENCE AND TECHNOLOGY CONFERENCE, KNE ENGINEERING, **543-551.**
- CASTILLO, A. L., FERNÁNDEZ, L. G., & ÁNGELES, L. A. (2018). *Mantenimiento productivo total en el desempeño operativo de las empresas industriales del sur de Tamaulipas.* Ingeniería industrial.
- DE SANCTIS I, PACIAROTTI C, DI GIOVINE O (2016) *Integration between rcm and ram: a case study.* INT J QUAL RELIAB MANAGE **33(6):852-880**
- EBELING, CHARLES E. *An introduction to reliability and maintainability engineering.* NEW YORK, NY, USA – EDITORIAL MCGRAW -HILL COMPANIES, INC. – 1997.
- ESCOBAR VELÁSQUEZ, D. S., GARCÍA CASTRO, A. F., & RODRÍGUEZ BERMÚDEZ, N. (2015). *Diseño e implementación de un scada para una máquina extrusora de plástico.*
- HECHT, MYRON Y HANDAL JADY. *An analytical model for predicting the impact of maintenance resource allocation on national airspace system availability.* BEVERLY HILLS, CA, USA – SOHAR INCORPORATED – 2001.



- NIEBLES, E. E., & ARNEDO, W. G. (2009). *Procedimientos de soldadura y calificación de soldadores: una propuesta de enseñanza y guía de aplicación para la industria. Información tecnológica. 19-30.*
- OSORIO, J. C. T., & GUTIÉRREZ, P. A. C. *Metodología para medir confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad en mantenimiento.*
- PAILIACHO, V., GARCÉS, P. M., & CHICAIZA, D. (2019). *Modelo de gestión de disponibilidad de la infraestructura tecnológica. Un enfoque desde itil. ESPACIOS, 1-10.*
- PEÑA, L. J., BUSTOS, J. A., TORRES, E. S., & HERNÁNDEZ, O. M. (2018). *Sistema de monitoreo de energía eléctrica para aumentar la eficiencia del consumo en ambientes comerciales y residenciales. ACADEMIA JOURNALS TEPIC 2018, 1093-1098.*
- PÉREZ, L. F. (2017). *Metodología de gestión de mantenimiento desde una perspectiva de confiabilidad-disponibilidad-mantenibilidad (cdm) para aplicación en equipos de tecnología de la información (TI). MEDELLÍN, COLOMBIA: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.*
- PINJALA, S. K., PINTELON, L., & VEREECKE, A. (2006). *An empirical investigation on the relationship between business and maintenance strategies. International journal of production economics. 104(1), 214-229.*
- RAM, M., & DAVIM, J. P. (EDS.). (2018). *Diagnostic techniques in industrial engineering. SPRINGER INTERNATIONAL PUBLISHING.*

**Diseño Metodológico para la Implementación de un Sistema de Monitoreo para la Medición de la Disponibilidad de una Cabina de Soldadura de Taller**

---

RAUSAND M, HOYLAND A (2004) *System reliability theory: models, statistical methods, and applications*. 2ND EDN. WILEY, NEW JERSEY

RODRÍGUEZ, F. D. (2018). *Uniones soldadas y su simbología según AWS*. EDO. DE MÉXICO: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

WANG H, PHAM H (2006) *A reliability decision framework for multiple repairable units*. RELIAB ENG SYST SAF **150:78–88**

WANG H, PHAM H (2006) *Reliability and optimal maintenance*. SPRINGER, LONDON