

Sistema de señalización para la optimización de tiempos en procesos de ensamblaje de arneses eléctricos en la industria autoelectromotriz.

Signaling system for optimizing times in electrical harness assembly processes in the automotive industry.

Anthony Yahir Pérez González (1).
Estudiante Tecnológico Nacional de México/I. T. de Tuxtla Gutiérrez.
L20270816@tuxtla.tecnm.mx.

Luis Tomás García Andrade* (2). Tecnológico Nacional de México/I. T. de Tuxtla Gutiérrez,
luis.ga1@tuxtla.tecnm.mx.

Héctor Guerra Crespo (3). Tecnológico Nacional de México/I. T. de Tuxtla Gutiérrez. hector.gc@tuxtla.tecnm.mx.

Galdino Belisario Nango Solís (4). Tecnológico Nacional de México/I. T. de Tuxtla Gutiérrez,
galdino.ns@tuxtla.tecnm.mx.

Aída Guillermina Cossío Martínez (5), Tecnológico Nacional de México/I. T. de Tuxtla Gutiérrez,
aida.cm@tuxtla.tecnm.mx.

Ciclalli Cabrera García (6), Tecnológico Nacional de México/I. T. de Tuxtla Gutiérrez, ciclalli.gc@tuxtla.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en noviembre 10, 2025; aceptado en noviembre 28, 2025.

Resumen.

El artículo presenta el desarrollo e implementación del Cycle Time Measurement Bar (CTMB), un sistema de señalización visual diseñado para optimizar los tiempos de ciclo en los procesos de ensamblaje de arneses eléctricos en la planta Yazaki Tuxtla 2. La investigación identifica como problemática central la falta de monitoreo en tiempo real, lo cual genera tiempos muertos, defectos y sobreproducción, afectando la eficiencia operativa. Para resolverlo, se diseña un sistema embebido basado en un Arduino Uno y tiras LED WS2812B, integrados con el controlador industrial CB100, permitiendo sincronizar el ciclo productivo y emitir alertas mediante cambios de color que indican el estado de cada operación. El estudio fundamenta su propuesta en principios de Lean Manufacturing, especialmente en el control visual y la reducción de las siete mudas, complementándolo con herramientas de planificación automática mediante PDDL, que permiten modelar secuencias de ensamblaje. La metodología empleada incluye análisis de requerimientos, diseño electrónico, programación, pruebas en campo y validación con personal especializado. Los resultados evidencian mejoras significativas en la supervisión del desempeño, reducción de desperdicios y toma de decisiones rápidas, demostrando que el CTMB constituye una solución tecnológica eficaz para incrementar la productividad y el control operacional en líneas de manufactura automatizada.

Palabras clave: Control visual, *Lean Manufacturing*, sistemas embebidos, tiempo de ciclo.

Abstract.

This paper presents the development and implementation of the Cycle Time Measurement Bar (CTMB), a visual signaling system designed to optimize cycle times in the electrical harness assembly processes at the Yazaki Tuxtla 2 plant. The research identifies the lack of real-time monitoring as the central problem, leading to downtime, defects, and overproduction, thus impacting operational efficiency. To address this, an embedded system based on an Arduino Uno and WS2812B LED strips was designed, integrated with the CB100 industrial controller. This system synchronizes the production cycle and issues alerts through color changes that indicate the status of each operation. The study bases its proposal on Lean Manufacturing principles, particularly visual control and the reduction of the seven wastes (muda), complemented by automated planning tools using PDDL, which allow for modeling assembly sequences. The methodology employed includes requirements analysis, electronic design, programming, field testing, and validation with specialized personnel. The results show significant improvements in performance monitoring, waste reduction, and rapid decision-making, demonstrating that CTMB is an effective technological solution for increasing productivity and operational control in automated manufacturing lines.

Keywords: Cycle time, embedded systems, lean manufacturing, visual control.

1. Introducción.

En los entornos industriales, el control adecuado de los tiempos de ciclo es fundamental para garantizar la eficiencia operativa, la calidad del producto y la estabilidad del flujo de producción. La ausencia de mecanismos de monitoreo en tiempo real puede generar tres problemáticas principales: tiempos muertos, defectos y sobreproducción, afectando de manera directa la productividad y los costos de operación.

En la planta Yazaki Tuxtla 2 (figura 2) (Yazaki, 2025), dedicada a la manufactura de arneses automotrices (figura 1), se identificó la necesidad de implementar un sistema visual que permitiera a operadores y supervisores conocer de manera inmediata el estado de cada ciclo productivo. Con este propósito se desarrolló el Cycle Time Measurement Bar (CTMB), un sistema embebido basado en un microcontrolador Arduino Uno y tiras LED direccionables WS2812B, diseñado para indicar mediante colores el estatus temporal de cada operación.

El sistema se integró al controlador industrial CB100, encargado del sistema de navegación de estaciones de trabajo, lo cual permitió sincronizar el ciclo productivo y proporcionar retroalimentación visual directa. Este artículo presenta el desarrollo del CTMB, la metodología empleada y los resultados obtenidos tras su instalación y validación en campo.

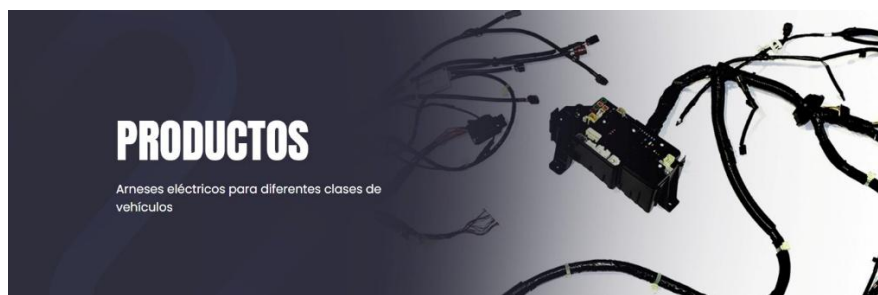


Figura 1. Arnés eléctrico para vehículos híbridos y eléctricos de las marcas GM y Subaru. Fuente sitio web empresa japonesa Yazaki. Recuperado diciembre 2024.



Figura 2. Planta Yazaki Tuxtla 2. fotografía diciembre 2024.

Yazaki Tuxtla 2, también conocida como ARNECOM S.A. de C.V. Planta Tuxtla Gutiérrez 2, es una instalación de la multinacional japonesa Yazaki Corporation ubicada en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Esta planta se especializa en la producción de arneses eléctricos y conectores para la industria automotriz, siendo parte de la red global de Yazaki, que opera en más de 40 países.

Yazaki es reconocida mundialmente por su liderazgo en la investigación, desarrollo y suministro de soluciones de energía y datos para vehículos. Sus productos incluyen sistemas de distribución eléctrica, conectores, componentes electrónicos y servicios de ensamble, abasteciendo a fabricantes de automóviles tanto en México como en el extranjero. La planta forma parte de las siete instalaciones que Yazaki tiene en el estado de Chiapas, consolidando su presencia en la región y contribuyendo significativamente al desarrollo económico local mediante la generación de empleos y la atracción de inversiones.

En el momento del desarrollo del proyecto la empresa japonesa esta dedicada a la fabricación de arneses automotrices para las marcas Subaru y GM.

Actualmente se quiere hacer mejoras en las líneas de producción, las cuales servirán para aumentar la producción de arneses en líneas específicas, para ello se llevan a cabo varios análisis y estudios para tener un equilibrio entre cumplimiento y eficiencia.

La toma de tiempos y evaluación del desempeño de los operadores es una de las actividades que se hacen con frecuencia para ver el rendimiento que está teniendo las líneas de producción, esta actividad la realizan diversos departamentos de acuerdo con sus necesidades, pero uno de los problemas que existe es que se pueden realizar más de una vez la toma de tiempos en una línea, esto quiere decir que es trabajo nuevamente realizado, este problemas existe al no tener buena comunicación entre departamentos.

Yazaki al ser una empresa japonesa tiene conceptos y cultura de trabajo japones, una de ellas son las MUDA; Muda significa «desperdicio» en japonés. Es un concepto acuñado por el padre de la fabricación ajustada, Taiichi Ohno. Su objetivo era crear una forma de que las empresas eliminaran los residuos y mejoraran la eficiencia. (Nieto, 2019).

El desperdicio incluye todo lo que no añade valor ni proporciona beneficios, ya sea que cueste dinero, tiempo, materiales, mano de obra o espacio. Una empresa puede reducir el MUDA y aumentar su producción con la ayuda de herramientas como los eventos kaizen y los tableros kanban; que son formas de abordar sistemáticamente los problemas de uno en uno hasta deshacerse de todo el Muda. (Nieto, 2019).

Las siete mudas son:

1. Transporte.
2. Inventario.
3. Movimiento (movimiento sin productividad).
4. Espera
5. Sobreproducción.
6. Sobre procesos.
7. Defectos.

2. Métodos.

Tiempos de Ciclo.

El tiempo de ciclo es uno de los indicadores más importantes en los procesos de manufactura, ya que representa el tiempo total requerido para completar una operación o unidad de producción desde su inicio hasta su conclusión. Un control adecuado de los tiempos de ciclo permite equilibrar las líneas de producción, optimizar recursos, reducir desperdicios y mejorar la eficiencia general del sistema productivo.

Las desviaciones en los tiempos de ciclo pueden ocasionar tiempos muertos, defectos en los productos o sobreproducción, generando impactos negativos en la productividad, costos operativos y calidad. Por ello, es fundamental implementar sistemas de monitoreo que permitan supervisar en tiempo real el desempeño de las estaciones de trabajo.

Lean Manufacturing y Control Visual.

El concepto de Lean Manufacturing propone estrategias para eliminar desperdicios (muda) dentro de los procesos de manufactura, buscando optimizar cada etapa de la producción. Dentro de sus herramientas se encuentra el control visual, que permite comunicar información operativa de manera rápida y clara mediante señales visibles, colores o indicadores luminosos.

Un sistema de control visual permite que los operadores, supervisores y personal de mantenimiento puedan detectar de inmediato cualquier desviación en los procesos sin necesidad de consultar reportes o pantallas de monitoreo, facilitando la toma de decisiones oportuna. La codificación por colores es una de las técnicas más utilizadas en este tipo de sistemas, debido a su simplicidad y efectividad.

Microcontroladores y Sistemas Embebidos.

Un microcontrolador es un circuito integrado programable que contiene un procesador, memoria y periféricos de entrada/salida en un solo chip. Su uso es común en sistemas embebidos, donde se requiere controlar procesos específicos de forma autónoma y económica.

En este proyecto se utiliza un Arduino Uno, microcontrolador basado en el chip ATmega328P, caracterizado por su facilidad de programación mediante el entorno Arduino IDE, múltiples pines de entrada y salida digitales, y compatibilidad con una gran variedad de sensores y actuadores.

Tiras LED WS2812B.

Las tiras WS2812B son dispositivos de iluminación basados en LEDs direccionables individualmente, lo que permite controlar de forma independiente el color y brillo de cada LED a través de una única línea de datos. Estos dispositivos son ampliamente utilizados en aplicaciones decorativas, señalización y sistemas de control visual en entornos industriales y de entretenimiento.

Gracias a la librería Adafruit NeoPixel, disponible para el entorno Arduino, es posible programar secuencias de color y animaciones personalizadas, lo que permite utilizar estas tiras como indicadores visuales de estado en sistemas de supervisión industrial.

Como parte de este trabajo se está modelando la secuenciación de señalizaciones de manera sincronizada en la línea de producción a través de planificación PDDL. PDDL son las siglas en inglés de Planning Domain Definition Language, en español Lenguaje de Dominios para Planificación (McDermott D. et al, 1998). PDDL es un área de la Planificación automática (Ghallab, 2004) la cual a su vez es una rama de la inteligencia artificial, rama equivalente a aprendizaje representado por modelos como Machine learning que contiene a las redes neuronales o lenguaje natural o visión por computadora.

Modelo de dominio: Incluye la definición de acciones, predicados y restricciones que describen el comportamiento del sistema, este modelo está basado en la lógica de predicados de las matemáticas discretas. Este esquema permite definir secuencias versátiles de ensamblaje industrial basado en la independencia de cada pieza para componer a su vez otras piezas. Cada pieza establece sus reglas (precondiciones, parámetros, dominio, basado en lógica de predicados) para componer otras piezas (efectos, metas, salidas) y a su vez piezas necesarias para su construcción (precondiciones, entradas), con estos elementos dominio, entrada y salida se puede construir un planificador inteligente robusto que indique la secuencia de ensamble adaptable a cualquier combinación de piezas involucradas.

3. Desarrollo.

Para el desarrollo del sistema Cycle Time Measurement Bar (CTMB) se aplica una metodología basada en el modelo de prototipado rápido, seleccionada por su flexibilidad para validar en campo versiones funcionales tempranas del sistema y realizar iteraciones ágiles sobre su diseño y programación. Este enfoque permite adaptar el funcionamiento del CTMB a los requerimientos dinámicos de producción, minimizando riesgos y optimizando tiempos de implementación.

El proceso metodológico se divide en cinco etapas:

Análisis de requerimientos: Se identifican los tiempos de ciclo en las líneas de producción, los puntos de interacción del operador y las necesidades de retroalimentación visual. Se determina también la necesidad de integrar el CTMB con el controlador CB100, encargado de gestionar el sistema de navegación que sincroniza y coordina las estaciones de trabajo de las áreas como subensamble y línea final.

Diseño del sistema: Se seleccionan los componentes electrónicos: microcontrolador Arduino Uno, tiras LED WS2812B, eliminador de voltaje de 5V 1A, cables calibre 22, . Se define la lógica de interacción entre el Arduino, la barra LED y el controlador CB100, mediante señales analógicas que permiten a este último accionar y reinicia cada ciclo y ajustar los parámetros del sistema de navegación en función del avance operativo.

Desarrollo del código: Se programa el Arduino utilizando Arduino IDE y la librería Adafruit NeoPixel, estructurando funciones específicas para el control de los LEDs, registro de eventos de inicio/término de ciclo y comunicación con el controlador CB100 a través de señales de salida configuradas en los pines analógicos.

Pruebas funcionales y ajustes: Se realizan pruebas en las áreas de SubEnsamble y Línea Final, verificando el comportamiento de las secuencias de color, la precisión en el conteo de tiempos y la correcta interacción entre el CTMB y el controlador CB100. Se registran los resultados y se efectúan los ajustes necesarios en los parámetros de tiempo y configuraciones eléctricas.

Documentación y validación: Se elaboran diagramas de conexión, manual de operación, se valida formalmente el funcionamiento del sistema con supervisores de producción y personal técnico de planta.

El sistema CTMB se programa a través de un microcontrolador Arduino Uno, al cual se conectan tiras LED WS2812B dispuestas en barra, y una señal tomada del CB100 que permiten al operador iniciar y reiniciar el conteo de tiempo de cada ciclo. La programación se desarrolla en Arduino IDE, utilizando estructuras de control y funciones personalizadas para definir las condiciones de cambio de color y tiempos límite.

Además, se configura una señal digital de salida en el Arduino que se conecta al controlador CB100, encargado de gestionar el sistema de navegación, el cual controla la secuencia de trabajo de las estaciones de S/E y la lógica de producción sincronizada.

```

29 // Función para encendido de los LEDs
30 void realizarAccion() {
31   reiniciar;
32   apagarLeds(); // Apagar todos los LEDs antes de reiniciar
33
34   for (int i = 0; i < 11; i++) { // Color verde
35     pixels.setPixelColor(i, 0, 3, 0);
36     pixels.show();
37     delay(delayval);
38     valorleido = analogRead(pinAnalogico);
39     voltaje = (valorleido * 5.0) / 1023.0;
40     lecturaVol();
41   }
42
43   for (int i = 11; i < 22; i++) { // Color verde claro
44     pixels.setPixelColor(i, 2, 5, 0);
45     pixels.show();
46     delay(delayval);
47     valorleido = analogRead(pinAnalogico);
48     voltaje = (valorleido * 5.0) / 1023.0;
49     lecturaVol();
50   }
51
52   for (int i = 22; i < 33; i++) { // Amarillo
53     pixels.setPixelColor(i, 3, 3, 0);
54     pixels.show();
55     delay(delayval);
56     valorleido = analogRead(pinAnalogico);
57     voltaje = (valorleido * 5.0) / 1023.0;
58     lecturaVol();
59   }

```

Figura 3. Código de administración del color. Fragmento que define el cambio de color en la barra LED y activa la señal analógica que envía el CB100.



Figura 4. Visualización del sistema CTMB instalado en una estación de Sub-Ensamble, conectado al Arduino y al controlador CB100.

Uso del sistema: El operador realiza el escaneo de su etiqueta KANBAN la cual acciona el sistema de navegación, encendiendo la barra LED en color verde. Conforme avanza el tiempo, la barra cambia a verde claro, seguido del color amarillo, finalmente a rojo y si se excede el tiempo establecido toda la barra LED parpadeara en rojo.

Al finalizar el ciclo, el operador nuevamente realiza el escaneo de su etiqueta KANBAN y la barra se reinicia, realizando así un nuevo ciclo. Esto permite supervisar de forma visual y en tiempo real la eficiencia de cada estación de trabajo y sincronizar el flujo productivo de manera automática mediante la interacción con el CB100.

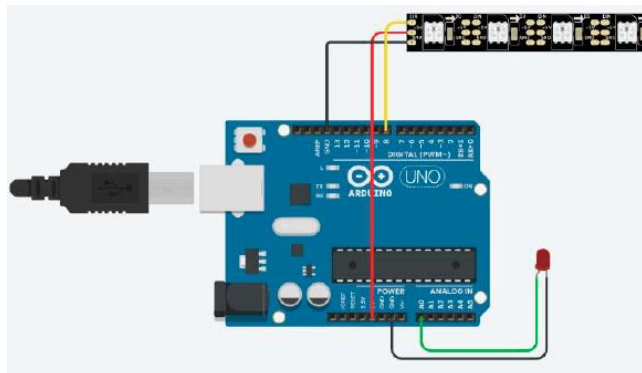


Figura 5. Esquema que muestra la conexión entre eliminador de Voltaje, Arduino, barra LED, y LED controlado por CB100.

Conclusiones.

La implementación del Cycle Time Measurement Bar (CTMB) en las líneas de producción resultó ser una solución eficaz para supervisar y controlar los tiempos de ciclo en tiempo real, proporcionando una señalización visual clara y accesible para operadores, supervisores y personal de mantenimiento. Gracias a su funcionamiento mediante cambios de color preestablecidos en una barra de LED, se logró reducir los tiempos muertos, prevenir defectos por trabajos apresurados y evitar sobreproducción, mejorando así la eficiencia de las estaciones de trabajo. El proyecto cumplió con los objetivos planteados, desde el análisis de necesidades hasta la programación, instalación, pruebas y validación del sistema, generando documentación técnica que permitirá futuras modificaciones o ampliaciones.

Créditos.

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento del proyecto 21570.25-P (“Sistema de señalización inteligente para la optimización de tiempos en procesos de ensamblaje de arneses eléctricos en la industria autoelectromotriz”), de la convocatoria de apoyo a proyectos de desarrollo tecnológico e innovación 2025 y las facilidades del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez para la realización de este trabajo.

Referencias bibliográficas.

Ghallab, M., Nau, D., & Traverso, P. (2004). *Automated Planning: Theory and Practice*. Morgan Kaufmann. https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9780080490519_A25022382/preview-9780080490519_A25022382.pdf

McDermott, D., et al. (1998). PDDL — The Planning Domain Definition Language (AIPS-98 technical report). (Documento fundacional del lenguaje PDDL). <https://www.cs.cmu.edu/~mmv/planning/readings/98aips-PDDL.pdf>.

Nieto (2019). *Lean Manufacturing: Revisión histórica*. Tesis. <https://files.core.ac.uk/download/pdf/228073973.pdf>

Yazaki (2025). Yazaki Global Site. <https://www.yazaki-group.com/en/automobile/>

Información de los autores.



Anthony Yahir Pérez González. Egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG), donde desarrolló como proyecto académico el Cycle Time Measurement Bar (CTMB), un sistema orientado a la medición y control de tiempos en líneas de producción mediante el uso de tecnologías electrónicas. Actualmente trabaja en Yazaki, donde se enfoca en la implementación de nuevas tecnologías para la mejora de procesos y la eficiencia operativa.



Luis Tomás García Andrade, Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Maestro en Administración de Redes y Telecomunicaciones por el Instituto de Estudios Superiores de Chiapas, Docente del Departamento de Eléctrica y Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.



Héctor Guerra Crespo es egresado del I. T. de Mérida (Yucatán, México) de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales en 1994, es Doctor en Sistemas Computacionales por la Universidad del Sur (Chiapas, México) en 2011. Es profesor en el área de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y en el área de Licenciatura en Sistemas Computacionales de la Universidad Autónoma de Chiapas, en ambas desde 1995.



Galdino Belizario Nango Solís es Ingeniero en Sistemas Computacionales por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, en 1996. Es Maestro en Ciencias de la Computación por el Centro de Investigación en Computación del Instituto Politécnico Nacional, en 2001. Es Doctor en Desarrollo Tecnológico por la Universidad de Ciencia y Tecnología Descartes, en 2016. Es profesor en el área de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, donde imparte clases en las materias de Programación Lógica y Funcional; y Lenguajes y Autómatas. Es profesor con perfil deseable PRODEP y miembro del Cuerpo Académico Tecnologías de la Información para el Desarrollo de Ventajas Competitivas en la LGAC Sistemas de Información desde 2022.



Aída Guillermina Cossío Martínez es Maestra en Ciencias en Administración por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez en 2002. Es profesora de tiempo completo del área de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, desde 1994. Se especializa en la formulación y evaluación de proyectos, así como el emprendimiento y desarrollo de planes de negocio, perfil deseable desde 2015 y trabaja en la línea de investigación Sistemas de Información, actualmente miembro del Cuerpo Académico Tecnología de Información para el Desarrollo de Ventajas Competitivas.



Ciclalli Cabrera García obtuvo el grado de Doctor en Ingeniería Aplicada en el 2020, el grado de Maestra en Tecnologías en Informática en el 2012, terminó la carrera de Licenciatura en Informática en 2008. Actualmente asesora proyectos académicos y en concursos académicos.