

CONCEPTUALIZACIÓN, DISEÑO Y DESARROLLO DE ESTACIÓN DIDÁCTICA PARA METROLOGÍA INDUSTRIAL

Hugo Hernández Tapia¹⁻³, Miguel Hernández Lucio¹, Juan Manuel Olmos Aguilar¹, J. Salvador Echeverría Villagómez²⁻³

Centro Regional de Optimización y Desarrollo de Equipo de Celaya, CRODE-Celaya¹

Centro Nacional de Metrología, CENAM²

Instituto Tecnológico de Celaya, ITC³.

Corresponde autor: Hugo Hernández Tapia

Diego Arenas Guzmán 901, Frac. Zona de Oro I, Celaya Gto.

01 (461) 6146867; hugo_hernandez@crodecelaya.edu.mx,

Resumen: La estación didáctica de metrología industrial es desarrollada como una alternativa para la enseñanza de temas de metrología de mayor aplicación en la industria metal-mecánica, las relacionadas con las mediciones de tolerancias geométricas y dimensionales, así como pruebas para la confiabilidad de sistemas de medición establecidas en el manual de análisis de sistemas de medición en su tercera edición (Measurement Systems Analysis).

El proyecto está dirigido, principalmente, a la enseñanza de estudiantes en las carreras de Ingeniería Industrial, Mecánica, Mecatrónica y Electromecánica del Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica de México (SNEST) quienes cursan la materia de metrología o metrología y normalización.

1. INTRODUCCIÓN

A través de la experiencia profesional he tenido la oportunidad de impartir clases de metrología y normalización en el Instituto Tecnológico de Celaya (ITC) y la Universidad Tecnológica del Bajío (UNITESBA), en el tiempo que tengo enseñando he percibido que la materia de metrología o los temas de mediciones son pesados para un 85%, aproximadamente, de los alumnos que están en formación como Ingenieros. Motivado por esta situación se desarrolla la estación didáctica de metrología industrial con un enfoque hacia la enseñanza de los temas de metrología más utilizados en la industria automotriz (análisis de sistemas de medición y tolerancias geométricas y dimensionales) de la región de los estados de Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro y San Luis Potosí.

La estación didáctica de metrología industrial (EDMI) se desarrolla bajo la metodología para desarrollo de equipo del Centro Regional de Optimización y Desarrollo de Equipo (CRODE), ésta se realiza a través de 4 etapas (1. anteproyecto, 2. desarrollo del diseño, 3. desarrollo del prototipo y 4. desarrollo de información documental).

1) El anteproyecto se inicia con un estudio no experimental transversal descriptivo y continúa con la generación y selección del concepto, 2) en el desarrollo del diseño se dibuja y dimensiona con el

software inventor, 3) la fabricación del prototipo se desarrolla en las áreas de mecánica y soldadura de CRODE y finalmente 4) la información documental son prácticas desarrolladas bajo el enfoque constructivista. EDM I se ha venido utilizado en la enseñanza de la metrología en el ITC y UNITESBA como parte de su validación

2. DESARROLLO

El Programa Institucional de Innovación y Desarrollo 2007-2012 (PIID 2007-2012), del Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica de México (SNEST), marca que uno de los retos para la educación integral de los alumnos es *“diseñar y actualizar programas educativos bajo el enfoque de competencias profesionales a fin de asegurar la pertinencia del servicio educativo”*. Así mismo se hace mención del siguiente objetivo específico del PIID 2007-2012: *“diseñar programas educativos bajo el enfoque de desarrollo de competencias profesionales”* del cual se deriva la siguiente estrategia del Programa Sectorial de Educación 2007-2012 (PROSEDU 2007-2012): *“Promover que los estudiantes de las instituciones de educación superior desarrollen capacidades y competencias que contribuyan a facilitar su desempeño en los diferentes ámbitos de la vida”*.

De acuerdo al Anuario Estadístico del SNEST del año 2008, los programas de licenciatura de los Institutos Tecnológicos (IT) que tiene en su plan de

estudios la materia de metrología o metrología y normalización son Ingeniería Industrial, Mecánica, Mecatrónica y Electromecánica.

Se realiza una búsqueda de información en los estados de México, se encontró lo siguiente:

- 15 IT tienen la carrera de ingeniería industrial; dos del estado de Aguascalientes, cinco del estado de Guanajuato, dos del estado de Querétaro y seis del estado de San Luis Potosí, estos cuentan con un total de 6932 alumnos en su matrícula.
- La carrera de Ingeniería Mecánica se encuentra en cuatro tecnológicos de los quince mencionados, manteniendo una matrícula de 1841 alumnos.
- La carrera de ingeniería mecatrónica está presente en cuatro tecnológicos con una matrícula de 1818 alumnos, y finalmente la carrera de Electromecánica está en el Instituto Tecnológico de León reportando en su matrícula 507 alumnos [1].

Con base en la información presentada, se tienen una estimación total de 11098 alumnos que cursaron la materia de metrología o metrología y normalización, y que pueden incorporarse a un sector industrial en los próximos cuatro años.

Tomando como base los planes de estudio de las carreras relacionadas con la EDM I y considerando que están hechos para que un alumno curse en cuatro años y medio, se puede inferir que al término de este periodo habrá una cantidad similar de egresados que se pueden integrar al sector industrial haciendo uso de la metrología como factor clave de productos, procesos y servicios.

2.1 OBJETIVO.

En la búsqueda por desarrollar las competencias y habilidades del estudiante que cursa la materia de metrología o metrología y normalización y que se integra al sector productivo al término de su carrera se estableció el siguiente objetivo del proyecto:

Desarrollar un equipo didáctico para la enseñanza de estudios de repetibilidad y reproducibilidad, sesgo, linealidad, interpretación de planos y manejo de tolerancias geométricas y dimensionales bajo un enfoque constructivista; dirigido a los estudiantes que cursan la materia de metrología o metrología y normalización de los institutos tecnológicos.

El objetivo se establece considerando que los temas de enseñanza son del diario vivir de un ingeniero en la industria metal-mecánica.

2.2 Metodología

El método que se utiliza para el desarrollo del equipo es de los CRODE [1]. El proceso se divide en cuatro etapas: anteproyecto, desarrollo del diseño, desarrollo del prototipo e información documental.

Como se mencionó se aplicó un estudio experimental transversal descriptivo que arrojó información para concebir la funcionalidad de la EDM I. Los resultados fueron transformados en un diseño en etapa 2, fabricados etapa 3 y en etapa 4 se generan los manuales de prácticas, operación y ensamble de la EDM I.

En la figura 1 se muestra un diagrama de bloques acerca de la metodología, haciendo mención de actividades que se realizan

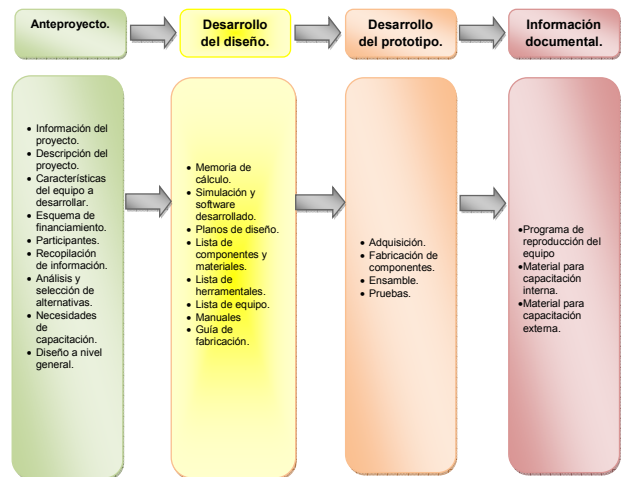


Fig. 1 Etapas para desarrollo de equipos de CRODE

2.2.1 Anteproyecto

Una actividad común, en la etapa uno, es tener una definición general de la EDM I ya que delimita la búsqueda de información documental, la definición general establecida fue el objetivo mencionado.

La investigación no experimental transversal descriptiva [2], consistió en obtener información de foros de metrología organizados por el Centro Nacional de Metrología (CENAM), obtener información de bolsas de empleo por internet y aplicación de encuestas a empresas del sector automotriz de los estados de Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro y San Luis Potosí.

En la figura 2 muestra un esquema general de cómo se fue obteniendo información en la investigación no experimental.

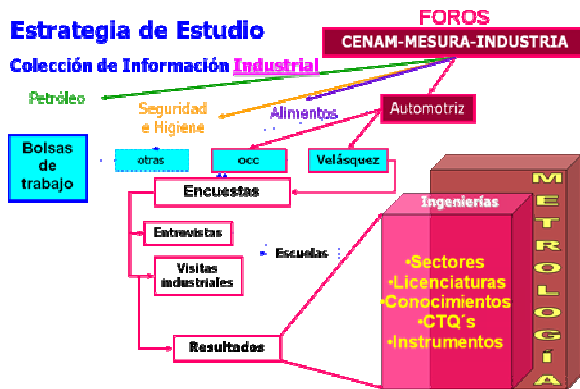


Fig. 2 Estrategia para la investigación transversal descriptiva no experimental.

Como ejemplo, de la participación en foros de metrología, en la figura 3 se muestran los resultados de los realizados en la ciudad de Saltillo y Puebla.

En los foros participaron empresas armadoras de autos y algunos de sus proveedores. La información obtenida fue utilizada para conocer las necesidades reales y justificar la realización de la EDM.

La descripción de problemas mostrados, en la tabla de la figura 3, se puede observar que la capacitación y desarrollo de habilidades en temas de metrología son críticos para el sector automotriz.

Sector Industrial.	Lugar.	Objetivos.	Descripción de problemas.
Automotriz.	COMIMSA, Saltillo Coahuila, México	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Buscar mejorar la competitividad de las empresas conociendo: ✓ Las necesidades metrologías presentes y futuras del sector ✓ Identificación de líneas de acción donde CENAM y centros de investigación dirijan sus investigaciones al desarrollo de tecnología ✓ Optimizar recursos metrologicos para el sector. 	<ul style="list-style-type: none"> o Especialización de estudios R&R. o Capacitación en: <ul style="list-style-type: none"> o El uso adecuado de instrumentos. o Tolerancias bilaterales o Periodos de calibración o Control estadístico del proceso (CEP). o Análisis de Sistemas de Medición o Desarrollo de software y procedimientos de metrología según la norma ISO 5725
Automotriz	Centro de servicios de alta tecnología (CESAT) de la Universidad popular autónoma del estado de Puebla		<ul style="list-style-type: none"> o Falta de conocimientos de conceptos de metrología o Instrumentación y aplicaciones o Falta de un plan de carrera específico para metrologos, con niveles de evaluación y acreditación o Falta de conciencia a nivel directivo de importancia de los metrologos en solución de problemas de producción o No usar equipo al 100% de su capacidad o Decisiones erróneas por falta de juicio metrologico sector.

Fig. 3 Resumen de resultados obtenidos en foros de metrología realizados por el CENAM a través del programa MESURA

La segunda actividad realizada en esta etapa fue obtener información de bolsas de empleo por internet, que consiste en identificar las vacantes relacionadas con metrología que ofrece el sector productivo.

La información fue utilizada para identificar los conocimientos, habilidades, experiencia y formación académica en metrología que debe tener el candidato a ocupar el puesto de trabajo ofertado.

Como ejemplo de la información que se obtuvo, en las siguientes graficas se muestra el sector industrial con mayor oferta de trabajo relacionadas con metrología.

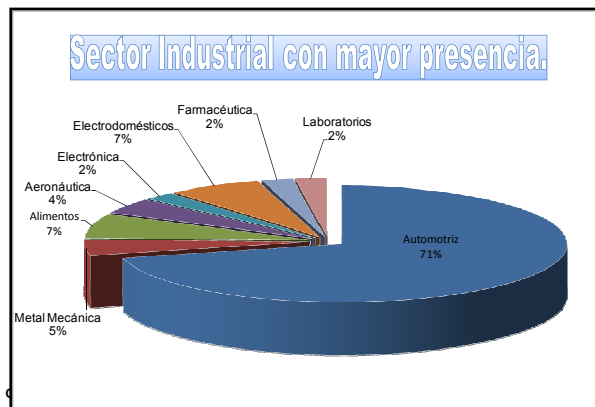


Fig. 4 Empresas con mayor presencia.

El sector industrial con mayor presencia indica aquellos sectores industriales que requieren en sus puestos de trabajo personal con conocimientos en metrología. Esto es reflejado por el número de puestos de trabajo que contienen al menos un tema relacionado con las mediciones a diferentes niveles,

como supervisores, jefes de laboratorio, jefes de departamento, operadores e incluso hasta gerentes.

La figura 4 muestra que un 71% de empresas, que solicitan personal para ocupar un puesto de trabajo relacionado con metrología son del sector automotriz. Esto proporciono una guía hacia dónde dirigir los esfuerzos para el desarrollo de la estación didáctica.

La figura 5 es un resumen de los conocimientos particulares que se requieren en la industria automotriz. Algunos son directamente relacionados con las mediciones otros están tácitos en el conocimiento como APQP, PPAP, ISO 9001, etc.

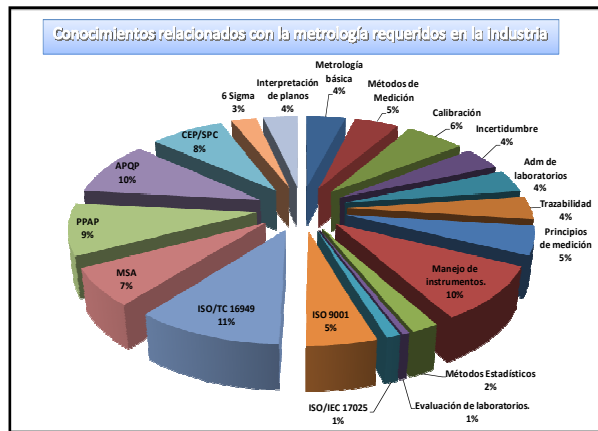


Fig. 5 Conocimientos más demandados.

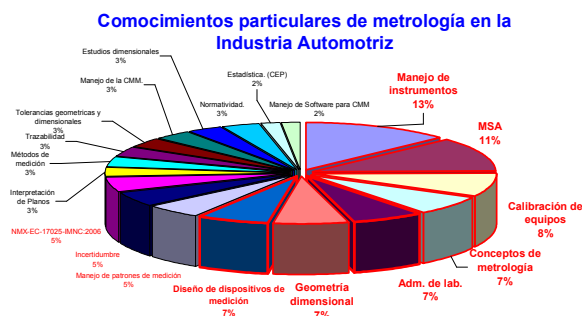


Fig. 6 Conocimientos particulares de metrología.

La tercera actividad fue aplicar encuestas a personal de empresas del sector automotriz, estas se realizan en forma presencial y otras se enviaron por correo electrónico.

Como conclusión al estudio no experimental transversal descriptivo se define que la estación didáctica de metrología industrial debe ser un apoyo para el desarrollo de habilidades y competencias en manejo de instrumentos de medición, análisis de sistemas de medición (MSA), cumplimiento del requisito 7.6 de las normas ISO/TS 16949 y el manejo de las tolerancias geométricas y dimensionales a través de la interpretación de planos; el equipo debe hacer una referencia al sector automotriz.

2.2.1.1 Especificaciones

Se realiza una búsqueda de equipos didácticos para la enseñanza de los temas identificados en la etapa de anteproyecto. No se encontró alguno con el enfoque constructivo, lúdico y que ayude a enseñar los temas encontrados.

Se procedió a definir el concepto del equipo priorizando las necesidades particulares obtenidas del estudio no experimental y agrupando cada necesidad por afinidad seleccionando las características del equipo y definiendo su funcionalidad.

La EDM se divide en módulos (piezas a medir, dispositivos y equipo, instrumentos y prácticas) y cada tema identificado en el anteproyecto se agrupo de acuerdo a la afinidad del modulo.

El módulo de piezas a medir son los elementos para medir y evaluar los dispositivos. El módulo de dispositivos es visualizado como una mesa de referencia y artefactos para posicionar y sujetar las piezas. Los instrumentos de medición son indicadores de utilizados con los dispositivos para las mediciones de piezas. El módulo de prácticas son el conjunto de actividades donde describe la internación del resto de los módulos para cubrir la necesidad.

La siguiente actividad que se realizó fue aplicar entrevistas a expertos en el desarrollo de equipo didáctico y comentarios de profesores que imparten la materia de metrología en algún instituto tecnológico.

Se realizó una evaluación funcional del equipo con un diagrama de caja negra donde se desarticuló la funcionalidad del equipo [3]. El diagrama de caja negra, figura 7, indica que las prácticas, las piezas a medir, los dispositivos y los instrumentos entran para ser combinados para generar el conocimiento,

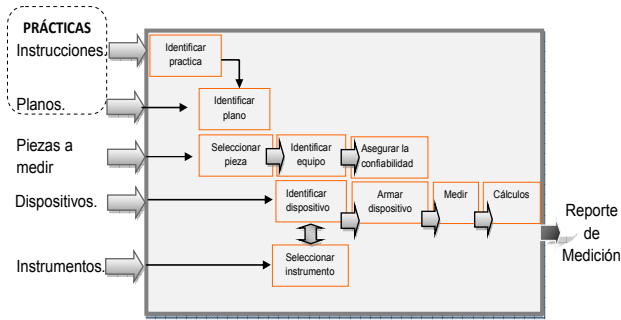


Fig. 7 Descomposición de la función del equipo.

Con la definición funcional de la EDM se evaluaron propuestas de piezas a medir buscando que el alumno tenga interés en aprender los temas de metrología que se quieren enseñar.

Para no perder de vista el enfoque a la industria automotriz se hizo una evaluación piezas automotrices a medir (pistón, árbol de levas, cigüeñal, engrane, manijas y molduras) y se definió una propuesta de un carro. La evaluación consistió en asignar un valor de importancia, prioridad y una calificación de cumplimiento a cada pieza, se seleccionó la de mayor puntaje. Cuidando que las piezas sean atractivas para el estudiante [6] y que motive a aprender los temas de mediciones. Se definieron los siguientes criterios extras:

- Estimular la creatividad.
- Motivar el uso de las piezas.
- Innovación.
- Vinculación entre piezas.
- Ayuda para desarrollo de competencias.
- Mostrar diferentes contextos de la realidad.

Realizando una evaluación con el personal involucrado en el diseño, la fabricación y la impartición de la materia de metrología se evaluaron las siguientes propuestas para piezas a medir:

- Árbol de levas.
- Pistón automotriz.
- Cigüeñal.
- Baleros.
- Bujes.
- Manijas de autos.
- Molduras.
- Resortes automotrices.
- Carro.

2.2.2 Desarrollo del diseño

El diseño de la EDM empezó cuando se tuvo definido las piezas a medir, en este caso una vez que se definió el carro se procedió a identificar los sistemas e instrumentos para hacer la medición.

El carro fue conformado por cuatro llantas, cuatro rines, una carrocería, un chasis, ejes para llantas y un sistema de transmisión, fue lo primero que se diseñó. Los siguientes diseños fueron los dispositivos para medir las características de las piezas geométricas así como la mesa de referencia utilizada para colocar los dispositivos.

El diseño del carro se inicio con el chasis, ya que es donde se ensambla el resto de piezas. Las siguientes piezas diseñadas fueron ejes de las llantas, rines, llantas, la transmisión y la carrocería.

Las consideraciones del diseño en las piezas fueron:

- Tolerancias dimensionales.
- Tolerancias geométricas.
- Materiales.
- Manipulación.
- Tamaño
- Factibilidad de fabricación.
- Costos

Se hicieron los planos en base a normas, para los ajustes y tolerancias se utilizó la norma ISO 128, para tolerancias dimensionales se utilizó la ISO 2768 y para tolerancias geométricas la ASME Y14.5M-1994 [4].

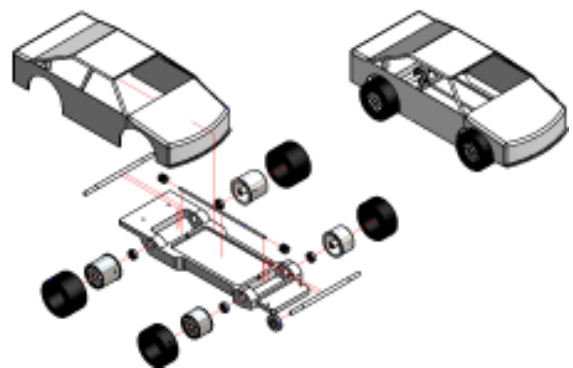


Fig. 8 Partes del carro didáctico.

2.2.2.1 Dispositivos de sujeción y medición

El diseño de los dispositivos se realizó para cada tipo de pieza considerando el método de enseñanza constructivista [5]. Se hizo un análisis funcional de cada pieza para identificar el número de características geométricas en base al plano, se empezó a diseñar el dispositivo. Esto aplica para cada pieza del carro.

En forma paralela se diseñó la superficie de referencia donde se realizan las prácticas, ésta es utilizada para inmovilizar los dispositivos y hacer las mediciones.

Las tolerancias utilizadas para el diseño son establecidas en función del 10% que debe haber entre las piezas que se miden y la variación de los dispositivos

Se diseñó un dispositivo para las siguientes piezas del carro:

- Llanta.
- Rin.
- Eje.
- Defensa delantera.

Para el chasis y carrocería se diseñó un sistema mecánico con los principios funcionales de una maquina de medición por coordenadas. En la figura 9 se muestran el montaje de los dispositivos y piezas en la superficie de referencia.

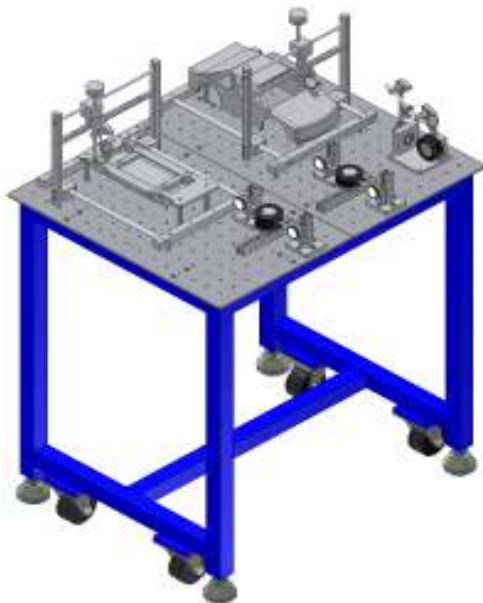


Fig. 9 Ensamble de dispositivos con piezas.

3 RESULTADOS

La fabricación de las piezas del carro es realizada con base al plano correspondiente, las consideraciones son: materiales, proceso de manufactura, maquinaria y costos. La carrocería y defensas se hicieron a través del proceso de soldadura, el resto de las piezas con el proceso de maquinado.

El número de piezas fabricadas dependió de las prácticas. Para el análisis de sistemas de medición (MSA) la prueba que mas piezas requiere es el estudio de repetibilidad y reproducibilidad [6], por lo tanto se fabricaron 10 llantas delanteras, 10 llantas traseras, 10 rines delanteros, 10 rines traseros, 1 eje para transmisión, 2 ejes para llantas, 2 engranes rectos, 2 engranes tipo corona, dos defensas, un chasis y una carrocería.

Por las características del proceso de soldadura en cada especificación de las piezas fabricadas por este proceso se estableció una tolerancia de una decima de milímetro (0.1 mm) y para las piezas fabricadas por el procesos de maquinado una centésima de milímetro (0.01 mm). Las piezas fabricadas fueron dimensionadas en el laboratorio de metrología dimensional del CRODE de Celaya.

3.1 Fabricación

El chasis se fabrica primero por ser la pieza que mantiene el ensamble entre la carrocería y los ejes de las llantas. Se empezó fabricando un chasis de madera de encino. El chasis de madera no se pudo utilizar para el objetivo, ya que el acabado superficial no fue el adecuado para realizar las mediciones. Esto motivó a hacer la pieza de aluminio por el proceso de fundición con molde de arena y maquinarlo. La porosidad que presento la pieza no permitía el desplazamiento del indicador de caratula para las mediciones. El chasis final, fue fabricado de una solera de aluminio de aleación 7075 con un temple de H-18



Fig. 10 Fabricación de piezas de carro.

3.2 Fabricación del dispositivo

Los dispositivos de medición se fabricaron de placas de acero al carbón y barras de aluminio, por la estabilidad dimensional de los materiales, se aplicó una liberación de esfuerzos a través de un tratamiento anodizado y se mantuvo estética, funcionalidad.



Fig. 11 Dispositivos montados en mesa de referencia.

3.3 Información documental

Las prácticas de medición son estructuradas para alcanzar el objetivo de enseñanza de temas de metrología empleados en la industria. La secuencia para el uso de la EDM es similar a las actividades para liberación de dispositivos de medición en la industria.

Etapa 1	Interpretar el plano.
Etapa 2	Construir dispositivo.
Etapa 3	Aplicar prueba de sesgo (Bias) a dispositivo.
Etapa 4	Aplicar prueba de repetibilidad y reproducibilidad (gage R&r) a dispositivo
Etapa 5	aplicar prueba de linealidad a dispositivo.
Etapa 4	Medir características de piezas de carro.
Etapa 5	Decidir aceptar o rechazar piezas.
Etapa 6	aplicar prueba de estabilidad a dispositivo

Las prácticas de las etapas a desarrollar por el estudiante son administradas por un sistema de hojas de cálculo que son agrupadas en ventanas

virtuales que se realizaron con el software Shama Autoplay Media Studio que se muestra en la figura 12



Fig. 12 Ventana virtual para acceso de información, formatos y prácticas

4. DISCUSIÓN.

Como área de oportunidad, es necesario que los temas de metrología que no cubre este equipo didáctico y que son gran demanda para estudiantes en la industria sean cubiertos a través de desarrollos de equipos como el presentado.

Este proyecto puede usarse hacia otras materias de la carrera de ingeniería industrial como estudio del trabajo para el análisis de tiempos y movimientos, y control estadístico del proceso.

5. CONCLUSIONES

Se fabricó un equipo con base a la información obtenida, se alcanzó a cubrir las expectativas de enseñanza mediante el carro, que es atractivo para el alumnado y público en general.

El proyecto requirió la inversión de tiempo, principalmente, en dominar temas que fueron imprescindibles como análisis de sistemas de medición y tolerancias geométricas y dimensionales.

La identificación de información a través fuentes de dominio público y gratuito, como las bolsas de empleo por internet, es una práctica poco común que ofrece una guía confiable, por el tipo de empresas que ofertan sus empleos.

Actualmente se está validando el uso y aplicación de la EDMI en el Instituto Tecnológico de Celaya y la Universidad de Estudios Superiores del Bajío (UNITESBA) con alumnos de las carreras de ingeniería mecánica e ingeniería industrial respectivamente.

6. REFERENCIAS.

- [1] Sanchez, Hesiquio. "*Metodología para diseño y desarrollo de equipo*". [Presentación PPT] Celaya, Gto : SEP-CRODE-CELAYA, 2007.
- [2] Hernández Sampieri Roberto, Fernández Collado Carlos Pilar Baptista Lucio, "*Metodología de la investigación*", Editorial Mc Graw Hill, edición 2004.
- [3] Ulrich Karl T, Steven D Eddinger, "Diseño y desarrollo de productos-enfoque multidisciplinario", Mc Graw Hill, edición 3, año 2004, ISBN 970-10-4793-1.
- [4] THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. Dimensionado y tolerado, ASME Y14.5M-1994, USA, 1994
- [5] Sanchez, Mayor. "*Estrategias metacognitivas: Aprender a aprender y aprender a pensar Ar*". Madrid : Madrid, 1993. 9788477382027.
- [6] Measurement Systems Analysis, third edition, the automotive Industry Action Group (AIAG), año 2002.