

Historia del **Laboratorio Nacional MADiT**

Drs. Leopoldo Ruiz Huerta y Alberto Caballero Ruiz

Los autores de este texto iniciamos actividades en el entonces Centro de Instrumentos (CI) un 16 de febrero de 1996, realizando actividades ligadas al servicio social bajo la tutela del Ing. Gabriel Ascanio Gasca, en el Departamento de Diseño Mecánico y Construcción de Prototipos (DDMCP). Ambos nos encontrábamos estudiando la carrera de Ingeniero Mecánico Electricista, uno con especialidad en Electrónica y el otro con especialidad en Mecánica. En el CI encontramos las condiciones para aplicar nuestros conocimientos al desarrollo de instrumentación mecánica y electromecánica con diversas orientaciones, desde equipos didácticos que existen todavía en el Museo de las Ciencias UNIVERSUM, centrífugas para el estudio de fenómenos bajo diferentes parámetros de gravedad y singularidades como carriles para evaluar la velocidad de marcha de lagartijas, en función de sus condiciones de incubación. En aquel entonces, el proceso de enseñanza técnica, trabajo en equipo y colaboración que ofreció en su conjunto todo el personal académico y técnico del “taller mecánico” y la administración, desde el Director hasta el personal del almacén, fue invaluable para nuestro desarrollo personal y profesional.

Para el año 1997 iniciamos actividades como personal académico por honorarios, atendiendo actividades de colaboración con el Grupo de Metrología y algunas externas, como con la Casa de Moneda de México.



Algunos integrantes del Departamento de Diseño y Construcción de Prototipos, 1998

En 1998, cuando se encontraba el CI en transformación hacia un centro de investigación, y adicional a nuestros compromisos laborales con el CI, iniciamos nuestros estudios de maestría, primero bajo la tutela de Gabriel Ascanio, quien meses después partió a Canadá para realizar sus estudios de doctorado. Durante 1999 atendimos los proyectos previamente comprometidos por el DDMCP, primero bajo la coordinación de José Sánchez Vizcaino y después de Rigoberto Nava Sandoval, quienes favorecieron nuestro desarrollo profesional. En ese mismo año inició la huelga que representó un gran reto, ya que nos requería de realizar actividades dentro del CI y al mismo tiempo atender clases en sedes alternas al Campus.

El Dr. Ernst Kussul se incorporó al CI en 1998, como especialista en redes neuronales aplicadas al control y desarrollo de microequipo mecánico, particularmente máquinas herramienta. Durante 1999, el entonces Director, Dr. Felipe Lara Rosano, nos propuso colaborar con el Dr. Kussul en el área de Micromecánica, con el fin de desarrollar y consolidar esa línea de trabajo en la dependencia. Esta propuesta la consideramos como una oportunidad para dirigir nuestras actividades académicas, con amplias posibilidades de desarrollo profesional y personal, por lo que decidimos enfocar también nuestro posgrado en esa dirección. A la distancia, recordamos el esfuerzo colocado durante la primera solicitud de proyecto relacionada con micromecánica, presentada ante el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIT), la cual fue rechazada debido a que los evaluadores dudaron de los avances que se tenían hasta el momento, razón por la cual durante la reconsideración se les hizo llegar un video de la primera micromáquina que se había desarrollado en forma artesanal, ante lo cual no dudaron en aceptar y apoyar la propuesta.

Durante 1999 se crea el Grupo de Micromecánica y Mecatrónica (GMM), al que posteriormente se incorporaron Graciela Velasco y

Tetyana Baydyk, junto con Mario Rodríguez “el Coco”, iniciamos la líneas de trabajo orientadas a procesos de diseño, manufactura, control y desarrollo de micromáquinas y componentes de bajas dimensiones, así como su caracterización y aplicaciones, particularmente al sector médico, donde destacaron los probadores de fatiga acelerada para válvulas protésicas cardíacas y el sistema de corte láser de las valvas que las conforman, todo esto en colaboración con el Instituto Nacional de Cardiología.

Para el año 2005, cuando el CI ya se había convertido en el Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET), ambos ya contábamos con el grado de doctor en ingeniería, manteniendo como líneas de trabajo el desarrollo de instrumentación y sistemas mecatrónicos y micromecánicos. Ese mismo año, el Dr. Ernst Kussul, Tetyana Baydyk y Graciela Velasco deciden iniciar un nuevo grupo relacionado directamente con el principal interés y línea de investigación del Dr. Kussul, la computación neuronal, dando lugar a la creación del Grupo con el mismo nombre.

Durante los siguientes cuatro años, el GMM se reinventó, incorporando nuevas tecnologías y desarrollando sus propias líneas de trabajo y aplicaciones. En ese periodo Mario Rodríguez se jubiló y se incorporó Marcos Velázquez.

Durante la administración del Dr. José Saniger Blesa, en el año 2009, nos reunimos académicos de los grupos de Ingeniería de Procesos, Mecánica de Precisión y Metrología, Electrónica, Sección de Desarrollo de Prototipos y el GMM, liderados por este último, para presentar una solicitud a la convocatoria de infraestructura del CONACyT, con el fin de establecer el Laboratorio Nacional de Ingeniería de Diseño y Manufactura Avanzada (LUIDIMA). Dentro del proceso de evaluación del CONACyT, la propuesta avanzó hasta las fases finales donde ambos tuvimos la oportunidad de presentar

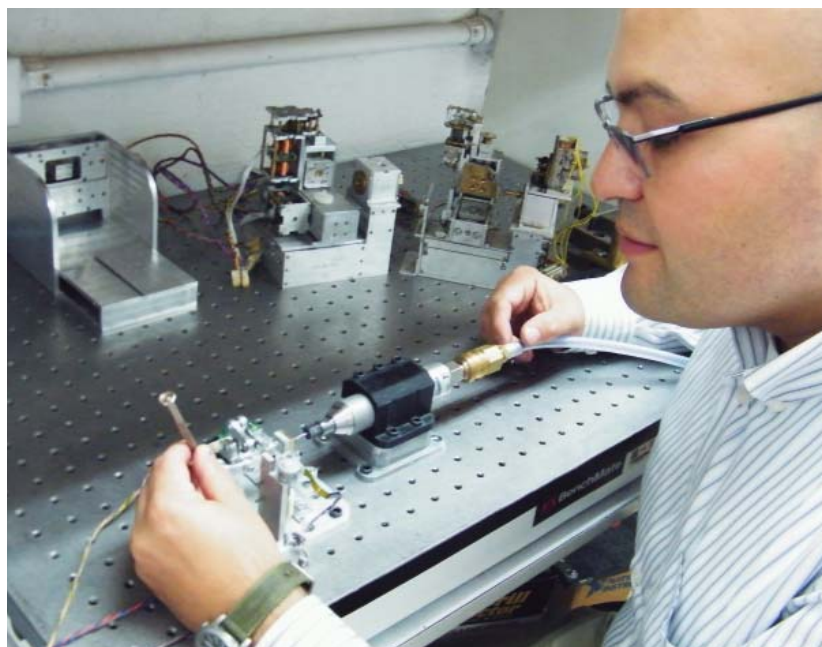


Algunos integrantes del grupo de Micromecánica y Mecatrónica, 2003

la propuesta en forma presencial, ante la comisión de evaluación en las instalaciones del CONACyT. Sin embargo, en los resultados finales la propuesta no fue favorecida.

A pesar de la respuesta desfavorable por parte del CONACyT, la Administración Central de la UNAM, en particular la Rectoría y la Secretaría General, encabezadas en ese entonces por el Dr. José Narro Robles y el Dr. Sergio Manuel Alcocer Martínez de Castro, respectivamente, en 2010 revisaron el proyecto y deciden apoyarlo con recursos económicos que permitieron el inicio de actividades ligadas al diseño y la manufactura avanzada. Al ser una propuesta

apoyada de manera exclusiva con recursos de la UNAM pasó de ser un Laboratorio Nacional a un Laboratorio Universitario, cuyo nombre oficial fue “Laboratorio Universitario de Ingeniería de Diseño y Manufactura Avanzada” (LUIDIMA), con el objetivo principal de ofrecer capacidades intelectuales y de infraestructura única en la UNAM, en temas de diseño mecánico, manufactura, metrología, mecatrónica, entre otras, con el fin de fortalecer la investigación aplicada y el desarrollo tecnológico atendiendo necesidades del sector académico, público, social y privado. Una de las filosofías del LUIDIMA fue la compra de infraestructura única en la UNAM para atender necesidades nacionales.



Micromáquinas herramienta desarrolladas hasta 2012

De acuerdo a la administración del CCADET, el recurso otorgado por la Rectoría se destinó a diferentes aspectos, entre los que destacan; la actualización de una máquina de medición por coordenadas con la que cuenta el Grupo de Ingeniería de Precisión y Metrología; la compra de tornos de control numérico, una máquina de corte por chorro de agua de 5 ejes y un transformador central, que daba servicio a todo el CCADET, así como obras civiles.

En lo que respecta al impulso a tecnologías de manufactura avanzada, se destinó una parte de la inversión a la compra de dos equipos de manufactura aditiva que utilizan los procesos de manufactura aditiva de extrusión de material y de inyección de material. Uno de los aspectos que permitieron la adquisición de infraestructura fueron las gestiones que realizamos con las compañías, resaltando el uso que se le daría a los equipos para la

formación de recursos humanos y la investigación, lo que concluyó en beneficios (descuentos) por aproximadamente \$500,000.00 dólares.



Primeros equipos de manufactura aditiva que formaron parte del LUIDIMA (2010)

Con los equipos antes mencionados, el GMM integró dentro de sus líneas de trabajo el área de la manufactura aditiva, con una perspectiva del estudio de los procesos y el desarrollo de aplicaciones, así como el apoyo a otras dependencias de la UNAM e instituciones externas, en forma de colaboración en el desarrollo de proyectos y la prestación de servicios. Dentro de los temas que se generaron y potenciaron con la llegada de los equipos está el desarrollo de partes para mecanismos de microposicionamiento empleados en micromáquinas herramienta, el desarrollo de partes para sistemas de microposicionamiento aplicados en sistemas de registro de actividad neuronal en ratas y en el desarrollo de un

proceso para la fabricación de implantes de polimetilmetacrilato (PMMA). Así mismo, se incrementaron las vinculaciones con grupos de investigación y desarrollo tecnológico como el Instituto de Ingeniería y la Facultad de Ingeniería de la propia UNAM, la Universidad Autónoma de Yucatán y el Hospital General de México “Dr. Eduardo Liceaga”, entre otros.

La necesidad de caracterización de procesos en el Área de Manufactura Aditiva mediante pruebas no destructivas dio cabida, en el año 2013, a una propuesta que entre otros beneficios, impactaría también a la visualización de ejemplares biológicos, geológicos, de ingeniería, etc., para lo cual consultamos al interior de varias dependencias de la UNAM la aplicación y el uso que podría tener un equipo de tomografía por Rayos “X” de alta resolución. Después de varias reuniones de trabajo, se detectaron las múltiples aplicaciones de estos equipos en áreas como la ingeniería, la geología, la biología, las ciencias del mar, entre otras. Ante este potencial, uno de nosotros participó en la Convocatoria de Infraestructura de CONACyT en ese año, con el fin de adquirir un equipo de Tomografía Computarizada por rayos “X” para el desarrollo de pruebas no destructivas, aplicadas a caracterización de procesos de manufactura aditiva y compartir esta tecnología con otras dependencias de la UNAM y el exterior para apoyar actividades de inspección, estudio de estructuras internas en objetos, restauración, preservación, entre otras. Afortunadamente, el CONACyT apoyó la propuesta y, gracias a un apoyo concurrente por parte de la Coordinación de la Investigación Científica, se adquirió el equipo de tomografía computarizada por rayos “X” de uso industrial, que permite obtener tomografías de alta resolución.

Ya bajo la gestión como Director del Dr. Rodolfo Zanella Specia, en 2014, se sometió al CONACyT una nueva propuesta de infraestructura, con el fin de fortalecer la áreas de Manufactura Aditiva y adquirir equipos de Digitalización 3D, que son importantes



Arribo del equipo de tomografía computarizada al CCADET, 2013

para la caracterización de superficies en objetos. La propuesta fue aprobada por el CONACyT y, con los recursos otorgados, se actualizó el equipo de manufactura aditiva por inyección de material, por uno más eficiente en consumos y con características de color durante la manufactura, así como también operar con mezclas de hasta tres materiales simultáneos en una sola construcción. Otro equipo que se adquirió fue uno de moldeo por vacío que permite la manufactura de piezas con moldes de silicón, para emplear materiales no compatibles con los procesos de manufactura aditiva. Se adquieren equipos de manufactura aditiva de bajo costo para brindar sin costo (cubriendo únicamente los costos de materiales) acceso a los alumnos. Con este apoyo también se adquieren dos equipos de digitalización: uno de ellos basados en láser que permite obtener una precisión de digitalización de hasta 50 μm y otro con

principio de funcionamiento basado en luz, estructura que permite digitalizar superficies con sus propiedades de color.

Con los dos apoyos antes mencionados crecieron las capacidades del laboratorio, que le permitieron participar en proyectos con otras dependencias e instituciones como, por ejemplo: Con el Instituto de Geología se participa en la digitalización de suelos y digitalización de fósiles; se participa en un proyecto de la Escuela Nacional de Restauración y Museografía del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), para restauración de dos campanas que fueron robadas y recuperadas en partes en la población de Montemorelos, en el municipio de Escobedo N.L.; con el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología se participó en la digitalización de huellas de animales prehistóricos, en la comunidad de San Juan Raya en el estado de Puebla; entre muchos otros.

En el año 2014, en la Convocatoria de Laboratorios Nacionales del CONACyT, uno de nosotros (Leopoldo Ruiz) participó como responsable con una nueva propuesta enfocada en Tecnologías de Manufactura Aditiva. Con el fin de darle un carácter nacional al laboratorio se invitaron a diferentes instituciones para participar en el proyecto. Las instituciones participantes fueron el Tecnológico de Monterrey, el Hospital General de México “Dr. Eduardo Liceaga” y la Universidad Autónoma de Yucatán. A estas instituciones se sumó el invaluable apoyo de las dependencias UNAM, a saber, los Institutos de Ciencias del Mar y Limnología, Biología e Ingeniería, así como de la Facultad de Ingeniería. Para esta convocatoria, la UNAM aportó todos los concurrentes solicitados por el CONACyT para el desarrollo del proyecto. En abril de ese año, el CONACyT publica los resultados donde el proyecto “Laboratorio Nacional de Manufactura Aditiva, digitalización 3D y Tomografía Computarizada” (MADiT) fue aprobado. Con el apoyo otorgado se incrementó la infraestructura del laboratorio en tecnologías de manufactura aditiva en metales,

biomateriales y resinas fotopolimerizables; así mismo, se adquirió un sistema de cromatografía de gases-masas con polarizador para la caracterización de polímeros.

Durante el año 2016 se participa nuevamente en la convocatoria de Laboratorios Nacionales, en esa ocasión para consolidar el MADiT, y donde aparecen dos figuras diferentes dentro de la convocatoria: instituciones asociadas e instituciones participantes. Las instituciones participantes con fondos concurrentes fueron la UNAM y el Tecnológico de Monterrey. Las instituciones asociadas fueron: el Hospital General de México “Dr. Eduardo Liceaga”; la Universidad Autónoma de Yucatán; el CIATEQ-Centro de Tecnología Avanzada, A. C., en Lerma; el INAH a través de su Escuela Nacional de Conservación Restauración y Museografía; y la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. El recurso fue utilizado en la adquisición de equipo de manufactura aditiva con láser para polvos poliméricos. Con esta convocatoria se estableció la sede del Laboratorio Nacional MADiT en las instalaciones del Tecnológico de Monterrey, ubicadas en el Parque de Investigación e Innovación Tecnológica (PIIT), en Apodaca, Nuevo León, con infraestructura en manufactura aditiva con metales, polímeros y resinas fotopolimerizables; así como equipos de caracterización.

En ese año se llevó a cabo la primera Reunión Nacional de Manufactura Aditiva 2016, como un foro abierto a académicos, industriales y público en general, cuyo objetivo fue dar a conocer los proyectos que se estaban desarrollando en diferentes instituciones del ámbito nacional e internacional. El evento se llevó a cabo del 7 al 9 de junio y contó con la participación de 15 ponentes de las siguientes instituciones: Universidad Nacional Autónoma de México, Tecnológico de Monterrey, Universidad Autónoma de Yucatán, Northern Illinois University, Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI), Universidad Autónoma de San Luis Potosí

y las compañías METALSA y FRISA. Los temas tratados en dicha reunión se encaminaron a temas de biomateriales en manufactura aditiva, aplicaciones de manufactura aditiva en el área biomédica, manufactura aditiva con metales y aplicaciones industriales. El evento contó con la participación de 110 asistentes.

En el año 2017, el MADiT participa nuevamente ante el CONACyT por apoyo para la consolidación fase 2. En ese año las instituciones asociadas fueron el Tecnológico de Monterrey quien recibe el 40% de dichos recursos del CONACyT, el Centro de Diseño, Cine y Televisión que recibe del fondo el 14% y la UNAM que recibe el 46% de los recursos del CONACyT. A las instituciones participantes se sumaron la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV)-Querétaro, del Instituto Politécnico Nacional (IPN) y el Laboratorio Nacional de Proyección Térmica. El recurso se utilizó en la actualización del equipo de Tomografía Computarizada y equipos específicos de ensayos mecánicos para manufactura aditiva.

Ese mismo año, se llevó a cabo la segunda edición de la Reunión Nacional de Manufactura Aditiva 2017. Su principal objetivo fue la de realizar un seminario de entrada libre en las áreas de Manufactura Aditiva, Digitalización 3D y Tomografía Computarizada, dirigido a la comunidad académica, industrial y al público en general, con el fin de compartir con los asistentes los logros y retos en el campo de manufactura aditiva en términos de materiales, procesos y caracterización. Asimismo, se realizaron reuniones de trabajo entre los ponentes del seminario y los miembros del Laboratorio Nacional de Manufactura Aditiva, Digitalización 3D y Tomografía Computarizada, para establecer estrategias para el desarrollo de proyectos conjuntos y formación de recursos humanos. El evento se llevó a cabo del 28 al 30 de marzo, en la Torre de Ingeniería ubicada en la Ciudad Universitaria, CDMX, con la presentación de 17 ponencias

dictadas por académicos especialistas en el área, provenientes de 6 instituciones internacionales: El Central European Institute of Technology, Brno, República Checa; la Fundación PRODINTEC de España; así como la Youngstown State University (en Ohio), la Universidad de Texas (en El Paso, Texas) y la Northern Illinois University (en Illinois), en Estados Unidos. Y de 7 instituciones nacionales: La UNAM a través del ICAT, la Universidad Autónoma de Nuevo León, el CINVESTAV-campus Juriquilla, el Tecnológico de Monterrey, la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y el Centro de Diseño, Cine y Televisión de CDMX. Los temas centrales de las ponencias estuvieron relacionados con temas de biomateriales y procesos de manufactura aditiva, manufactura aditiva en metales, simulación para procesos de manufactura aditiva, normatividad internacional en procesos de manufactura aditiva, caracterización de procesos de manufactura aditiva, entre otros.

Manteniendo su núcleo de instituciones asociadas y participantes, el MADiT ha continuado con su trayectoria de consolidación y reuniones nacionales durante las ediciones 2018 y 2019.

Dentro del impacto de este Laboratorio Nacional MADiT, en sus cortos seis años de formación y tres de operación, tras una amplia y lenta adecuación de espacios e instalaciones, se puede mencionar la transferencia a la industria de un proceso para la manufactura de implantes usando técnicas de manufactura aditiva; el Premio Nacional INAH a la mejor restauración de bienes muebles; Premio Paul Coremans por la restauración de dos campanas del pueblo de Escobedo, Montemorelos, en Nuevo León y ofreciendo a la sociedad mexicana el diseño y proceso de manufactura escalable de una careta de protección para el personal médico, que detonó la manufactura y entrega de más de 18 mil de estos elementos durante la pandemia de SARS-CoV-2 de 2020.



Ponentes y organizadores de la Reunión Nacional de Manufactura Aditiva 2018



Caretas desarrolladas para atender la contingencia SARS-CoV-2 de 2020

El Laboratorio Nacional desarrolla actividades de Investigación Aplicada y Desarrollo Tecnológico relacionadas con la interacción material-proceso-aplicación, en temas de manufactura aditiva y en el desarrollo de aplicaciones, que utilicen este tipo de procesos de manufactura. También se está incursionando en el desarrollo de actuadores blandos aplicados al desarrollo de simuladores de sistemas biológicos y sistemas de registro de actividad neuronal en animales pequeños.

En este lapso de tiempo, este Laboratorio como referencia nacional, ha conseguido vincularse con las siguientes instituciones internacionales:

Institución	País	Participación
W. M. Keck Center for 3D Innovation, University of Texas, at El Paso	USA	Caracterización de elementos fabricados de manera aditiva e intercambio de estudiantes
Northern Illinois University	USA	Estrategias y desarrollo de procesos de diseño para manufactura aditiva en metales
Youngstone University	USA	Caracterización de partes y componentes
Ohio State University	USA	Bioaplicaciones y procesos de adhesión en metales
North of Texas University	USA	Procesos de manufactura y digitalización
PRODINTEC	España	Redes de cooperación y mapa de ruta de la manufactura aditiva en los siguientes 15 años
Central European Institute of Technology	República Checa	Deposición de hidrogeles y caracterización de compuestos cerámico-metal
Industrial and regional valorization of FoF Additive Manufacturing projects FoFAM	Países de la Unidad Europea	Mapa de ruta de manufactura aditiva en los siguientes 15 años
The Council for Scientific and Industrial Research (CSIR)	Sudáfrica	Caracterización y estrategias de manufactura aditiva para metales

Durante nuestra trayectoria por la dependencia, siempre hemos tenido presente la formación de recursos humanos, por lo que hemos participado impartiendo clases a nivel licenciatura y maestría. Así mismo, participamos activamente año con año, desde 1998, en el programa de “Jóvenes hacia la investigación”, lo que nos ha permitido experiencias muy gratificantes, sobre todo en los últimos años con los alumnos de las primeras generaciones que ya son profesionistas y que nos han buscado para mantener el contacto con nosotros. También participamos en la dirección de tesis, buscando siempre que el alumno tenga una formación integral en el campo de la ingeniería con proyectos que involucren la conceptualización, el diseño, la fabricación y/o implementación y la evaluación de diferentes dispositivos o técnicas. Lo anterior nos ha permitido formar a más de 50 estudiantes que abarcan los niveles de licenciatura, maestría y doctorado. Otro aspecto muy gratificante y que consideramos un reconocimiento a nuestra trayectoria, son las diversas invitaciones que hemos recibido para impartir conferencias sobre el trabajo que hemos desarrollado y que hemos tenido la oportunidad de presentar en muchos foros a nivel nacional e internacional.

Todos los apoyos económicos recibidos por parte del CONACyT, siempre se vieron respaldados en términos de inversión de capital humano, recursos económicos, legales y de instalaciones que proporcionaronal CCADET, la Coordinación de la Investigación Científica y la Rectoría, así como las autoridades de las instituciones asociadas y participantes.

Para finalizar, queremos externar nuestro más profundo agradecimiento y reconocimiento a todos los participantes que apoyaron desde un inicio el proyecto y aquellos que se sumaron en el camino, así como todo el recurso humano de estudiantes, académicos, personal administrativo y catedráticos, que han sido

parte de nuestro desarrollo desde aquel febrero de 1996, cuando esta aventura inició y que ha permitido que el proyecto nacional que hemos desarrollado tenga un alcance internacional.