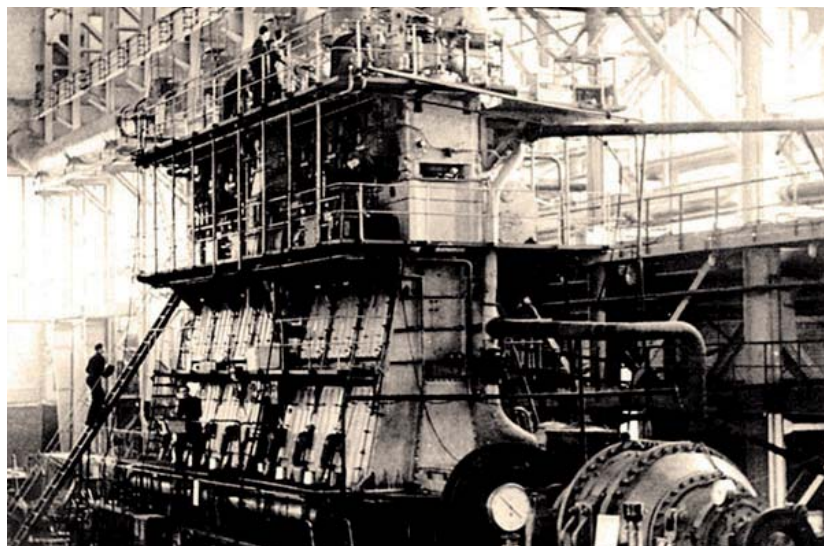


Mi trayectoria en la URSS y en la UNAM

Dr. Ernst Kussul

En 1961 egresé del Instituto Politécnico de San Petersburgo, en plena era de los satélites e inicio de las primeras computadoras en la Unión Soviética. El 11 de abril de ese año empecé a trabajar en la Ciudad de Briansk, en una planta mecánica donde se produjeron potentes motores Diesel para barcos que navegaban en el océano; un día después, el astronauta ruso Yuri Gagarin realizó su primer vuelo en el espacio, este vuelo fue un triunfo científico y tecnológico.



Motor Diesel

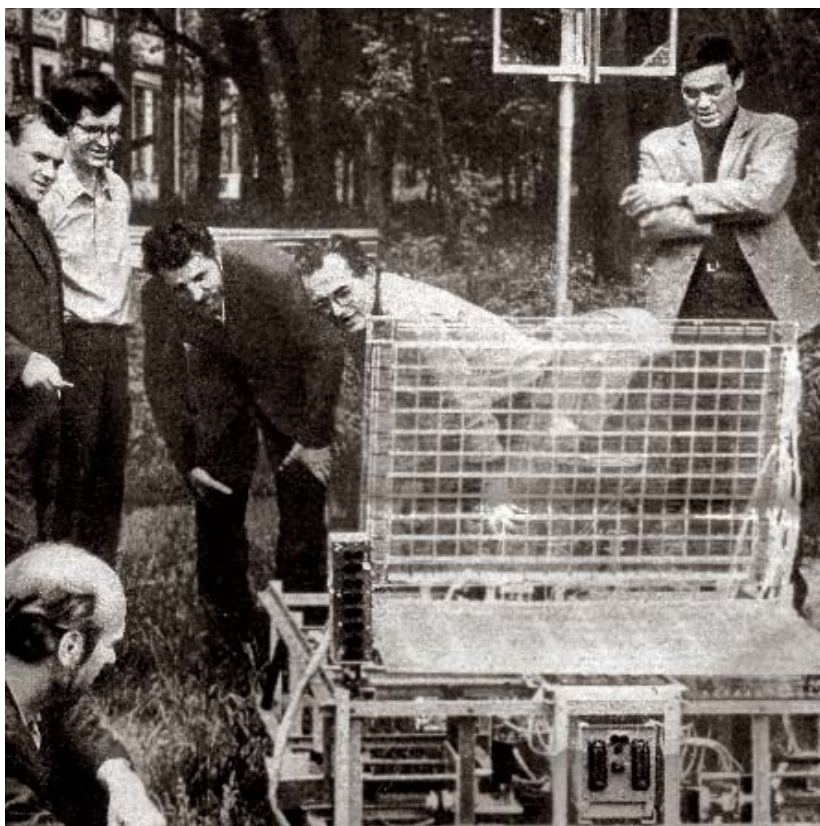
En 1962, la planta compró una computadora Minsk-1, la primera computadora serial en la Unión Soviética. Su producción se inició en 1960. Tenía una memoria operativa 4 kB con 2 000 instrucciones por segundo. Consumía 14 kW de energía; nosotros calentábamos té en el bloque de alimentación. El 3 de enero de 1963, fui aceptado en el grupo de programadores de esta computadora, iniciándose mi trabajo en la cibernética.



La computadora Minsk-1

En 1963 ingresé al posgrado del Instituto de Cibernética de la Academia de Ciencias de Ucrania. En 1967 defendí mi grado de PhD en el área de lógica matemática y programación. Ingresé al Departamento de Cibernética Biológica e inicié los estudios en redes neuronales artificiales y sus aplicaciones en robótica.

En 1974, bajo mi supervisión, se desarrolló el robot móvil “TAIR”, con sistema de control basado en red neuronal. Este robot podía automáticamente moverse en el parque y evitar obstáculos.



Desarrolladores y robot TAIR. En la foto de izquierda a derecha: Dr. Aleksandr Kasatkin, Dr. Ernst Kussul, Dr. Vladimir Belov, Dr. Valerii Fomenko, Dr. Dmitrii Galenko; en segunda línea el Ing. Evgenii Bazilevskii

En 1988 fui nombrado Jefe del Departamento de Cibernética Biológica. En esa época desarrollamos una neurocomputadora para realizar hardware de redes neuronales. Hicimos un prototipo usando nueva tecnología de manufactura de las tarjetas electrónicas (años más tarde junto con el CINVESTAV, escribimos 3 solicitudes de patentes sobre esta tecnología y obtuvimos las patentes).

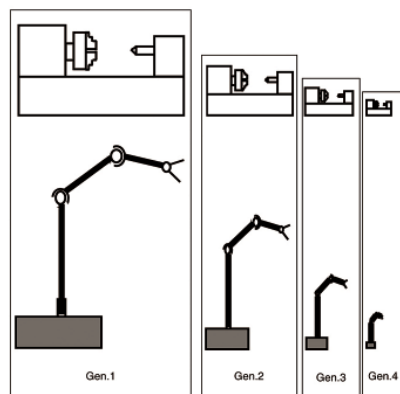
En 1992 la compañía japonesa WACOM nos invitó a Japón para manufacturar el prototipo de neurocomputadora con la tecnología convencional. Esta neurocomputadora mostró reconocimiento de palabras escritas a mano, con un número de errores menor del 5%.

En 1993 iniciamos los trabajos en micromecánica, teniendo en mente aplicar en un futuro la micromecánica en manufactura de redes neuronales artificiales. Propusimos el concepto de producción de microequipo con generaciones secuenciales.

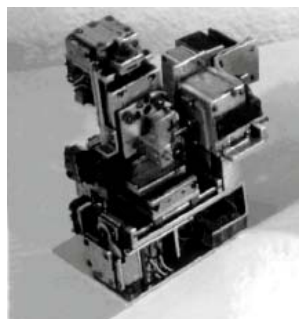
Cada nueva generación debe tener menor tamaño que la generación previa y ser producida con tecnología actualizada. En 1996 publicamos este concepto y en 1997 manufacturamos el primer prototipo de micromáquina herramienta de la primera generación.



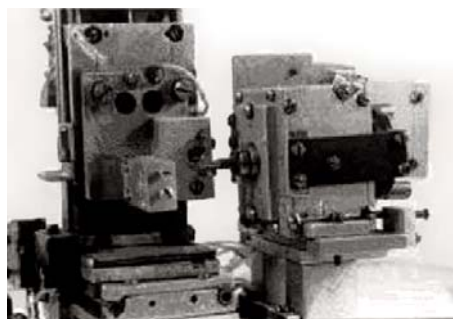
Neurocomputadora desarrollada con la compañía japonesa WACOM



Generaciones del microequipo



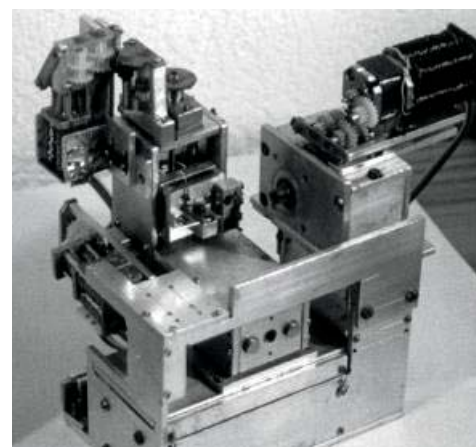
Micromáquina herramienta de la primera generación



Invitación a México

Fui invitado como especialista en redes neuronales en noviembre de 1998, bajo la modalidad de Cátedra Patrimonial CONACyT, teniendo también interés en micromecánica. El Dr. Felipe Lara Rosano propuso crear un nuevo laboratorio de micromecánica y mecatrónica. El laboratorio se creó a inicios de 1999 y fui designado Jefe del laboratorio, en el cual colaboraban Leopoldo Ruiz Huerta y Alberto Caballero Ruiz.

El primer paso del laboratorio fue una propuesta de proyecto PAPIIT para desarrollar un prototipo de micromáquina herramienta controlada por computadora. La respuesta fue un poco inesperada: “En México es imposible”. Después de tal respuesta nosotros compramos en el mercado los materiales y componentes (muy baratos) y manufacturamos el prototipo manualmente. Hicimos algunos experimentos con el prototipo, tomamos fotografías y presentamos de nuevo el mismo proyecto a DGAPA. Esta vez la solicitud fue aprobada.



Micromáquina herramienta desarrollada en México

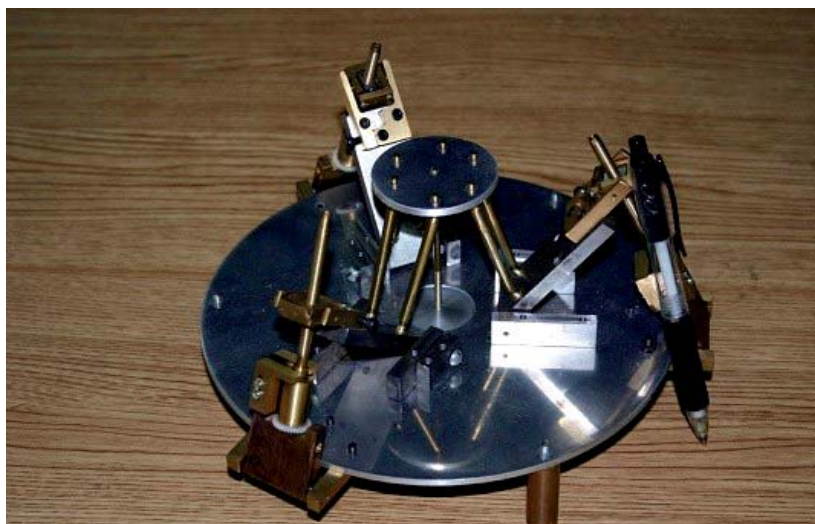
La idea principal de nuestras investigaciones fue crear las siguientes generaciones de las máquinas herramienta y micromanipuladores, de tal manera que las siguientes generaciones tuvieran tamaños más pequeños que las generaciones previas. El prototipo del proyecto PAPIIT lo consideramos como prototipo de primera generación. Entendimos que es muy importante obtener buenas características de la primera generación para hacer miniaturización en un futuro. Por eso nosotros preparamos una solicitud de proyecto al CONACYT, para desarrollar otros diseños de prototipos. CONACYT aceptó el proyecto.

En ese tiempo, Leopoldo Ruiz y Alberto Caballero trabajaron para el proyecto de CONACYT. Leopoldo Ruiz desarrolló nuevos diseños de la máquina herramienta basados en paralelogramos y manufacturó varios prototipos, incluso un prototipo de la segunda generación. Alberto Caballero desarrolló varios diseños de micromotores a paso y los algoritmos genéticos de evaluación de errores geométricos de las máquinas herramienta. Los dos obtuvieron el grado de doctor en ingeniería.

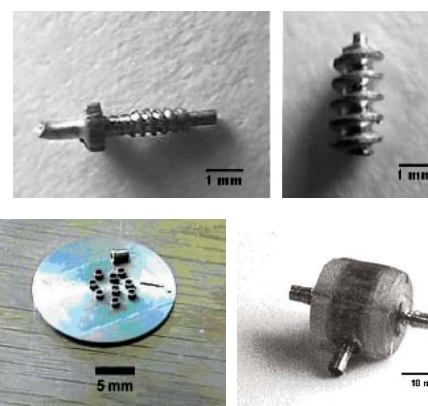
En el año 2000, ingresó al laboratorio la Dra. Graciela Velasco, especialista en mecánica teórica y en matemáticas. Inicialmente desarrolló un algoritmo genético para aproximación de curvas experimentales. Después con un estudiante desarrolló y manufacturó un prototipo de micromanipulador paralelo. Más tarde trabajó con simulación de vuelos de aviones utilizando este manipulador.

Casi todos los trabajos que hicimos en este período se relacionaron con el desarrollo del hardware. Necesitábamos además un especialista en software, por lo que el Dr. Felipe Lara invitó a la Dra. Tetyana Baydyk, a inicios del 2001. Ella inició el desarrollo de los algoritmos adaptivos para nuestro prototipo, que dieron

la posibilidad de repetir en nuestra máquina herramienta los resultados de los japoneses, quienes manufacturaron la flecha de latón con diámetro de 50 micrómetros y longitud de 600 micrómetros, con su herramienta micromáquina.

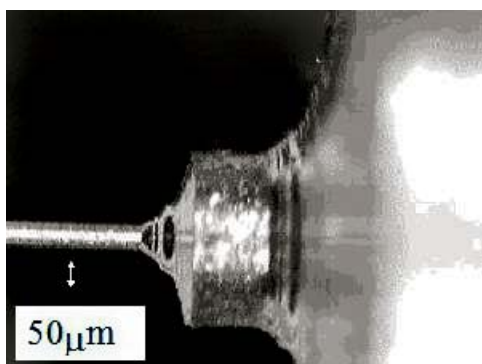


Micromanipulador paralelo



Micropiezas y microfiltro producidas con micromáquina herramienta

La diferencia entre ambas herramientas fue grande. Todos los componentes de la máquina japonesa fueron manufacturados en la compañía SEIKO, con un equipo de alta precisión; todos los componentes de nuestra máquina se manufacturaron en nuestro laboratorio con torno y fresadora con poca precisión. El algoritmo adaptativo debía compensar la baja precisión de nuestra máquina herramienta, con mediciones de diámetro de flecha que debería hacer la máquina herramienta, durante el proceso de manufactura. Como resultado se manufacturó la flecha de latón con las mismas dimensiones que las obtenidas por los japoneses.



Microflecha

En 2005, el Dr. Gabriel Ascanio Gasca se incorporó al laboratorio. Con su estudiante desarrollaron un micromotor neumático, que obtuvo buenas características.

En 2006, el laboratorio de micromecánica y mecatrónica se dividió en tres laboratorios:

- ♦ Laboratorio de micro mecánica y mecatrónica, coordinado por el Dr. Leopoldo Ruiz.

- ♦ Laboratorio de ingeniería del proceso, con el Dr. Gabriel Ascanio, como coordinador.

- ♦ Laboratorio de computación neuronal, coordinado por el Dr. Ernst Kussul.

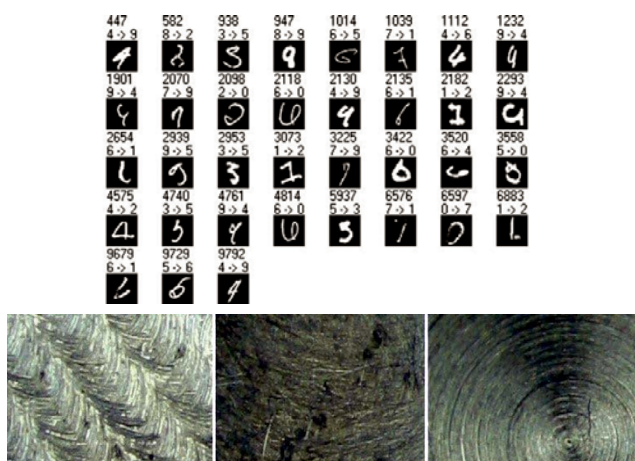


Micromotor neumático



Integrantes y estudiantes del laboratorio de micromecánica y mecatrónica

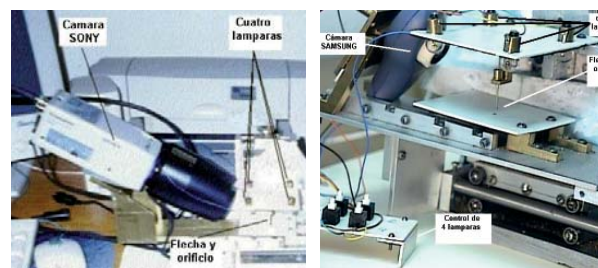
El Laboratorio de computación neuronal se creó para el uso de redes neuronales artificiales para automatización de procesos de manufactura y ensamble en ingeniería mecánica y, en primer lugar, en micromecánica. La idea básica fue usar la visión computacional basada en redes neuronales para facilitar los procesos de manufactura y ensamble. Para ajustar los parámetros de las redes neuronales se decidió usar las tareas de reconocimiento de imágenes tradicionales (reconocimiento de cifras escritas a mano, de texturas, de rostros humanos, etc.).



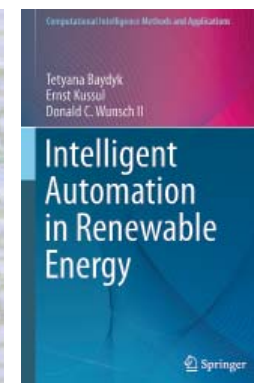
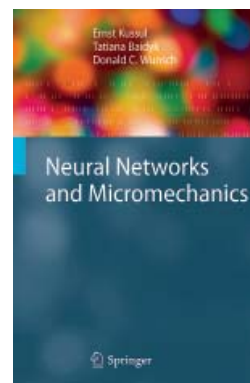
Reconocimiento de cifras escritas y texturas metálicas



Reconocimiento de rostros humanos (base de imágenes FEI)



Equipo para realizar microensamble



Los libros publicados durante los últimos años

Desde su inicio, en el laboratorio de computación neuronal tuvimos la tarea de encontrar aplicaciones industriales para visión computacional basada en redes neuronales. En los procesos de manufactura y ensamble de dispositivos mecánicos hay por lo menos dos posibilidades para obtener la precisión necesaria en los dispositivos. Una opción es usar equipo suficientemente preciso y otra no tan precisa para controlar el trabajo con visión, como lo hace un trabajador de metales cuando hace el trabajo a mano. Para esto es necesario tener un sistema de visión computacional que simula la visión del ser humano.



Microscopio con cámara digital

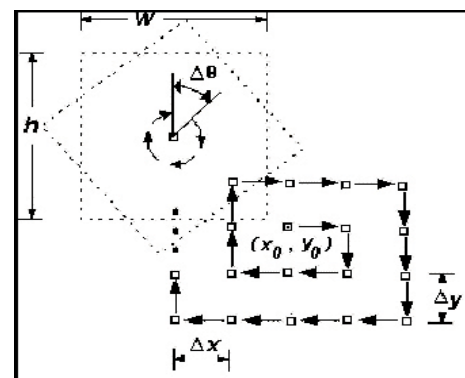
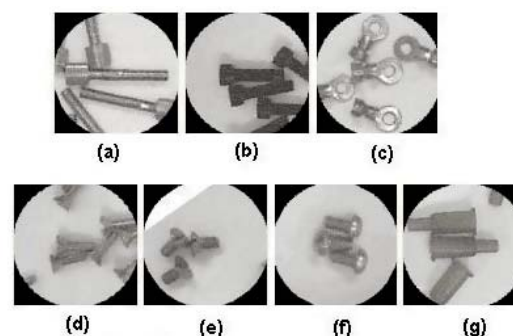
Gengis Khang Toledo Ramírez ingresó como estudiante de doctorado al laboratorio y desarrolló los algoritmos de visión computacional para micromanipulador, los cuales permitieron reconocer visualmente los componentes de jeringas para inyecciones, reconocer sus posiciones en la mesa de ensamble y preparar la información para su ensamble automático.

En todos los algoritmos de nuestras redes neuronales utilizamos operaciones matemáticas muy sencillas. Prácticamente no usamos operaciones con punto flotante, ni operaciones de multiplicación y división. De eso sigue que es posible desarrollar procesadores especiales basados en esquemas FPGA que pueden acelerar el trabajo de nuestras redes neuronales. El desarrollo de esquemas basados en FPGA “ALTERA” lo realizó el estudiante de doctorado Alejandro Vega, y en 2011 defendió su tesis doctoral.

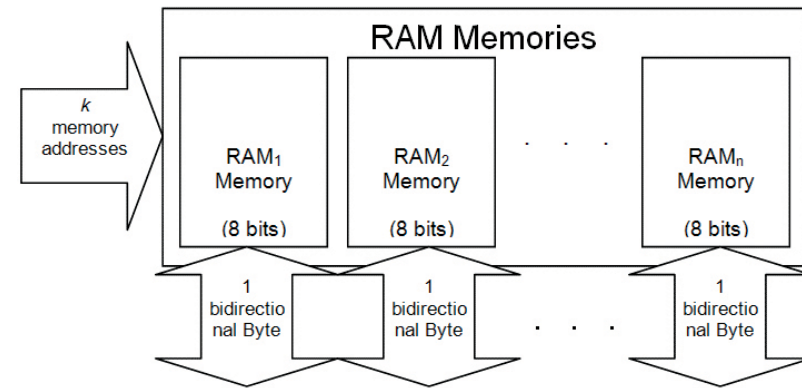
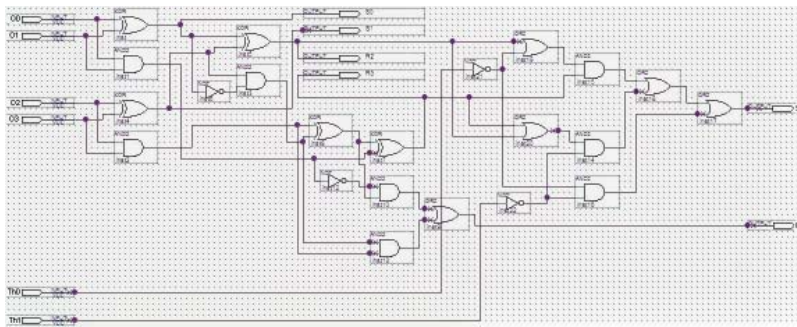
Como una aplicación de computación neuronal consideramos la manufactura y el ensamble de concentradores solares de bajo costo. Desde un inicio quisimos hacer concentradores donde la superficie parabólica se aproximara con espejos planos pequeños. Muy pronto encontramos que este tipo de concentradores fueron propuestos por otros investigadores hace muchos años. Esta situación ocurre muy

frecuentemente y no significa que sea necesario parar el trabajo. Los ingenieros tecnólogos dicen que la idea primera (idea principal) constituye del 3% al 5% del conjunto de las ideas necesarias para obtener el producto final. Entonces iniciamos la búsqueda de soluciones para generar el producto bueno y que podrían usar los métodos de visión computacional.

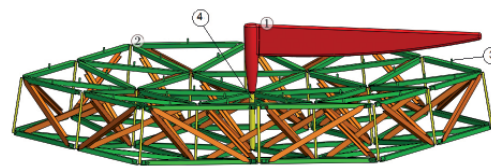
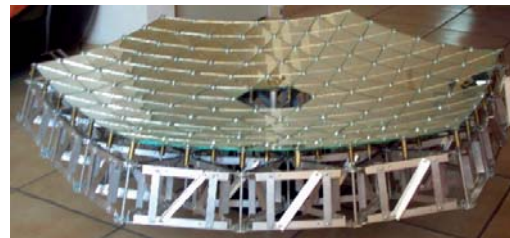
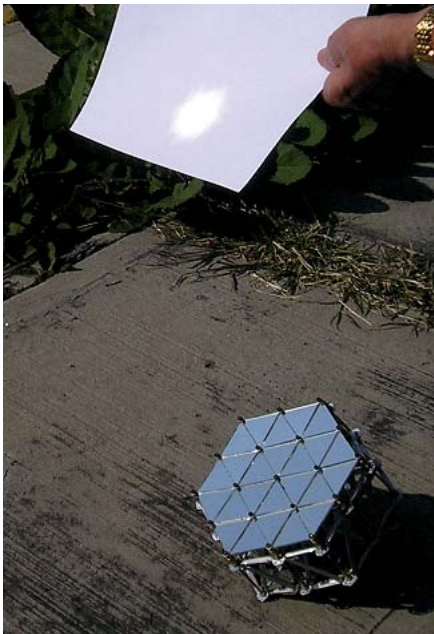
En 2006–2007 iniciamos el desarrollo de diseños de concentradores de acuerdo a estos criterios y la preparación de las solicitudes de las patentes, en este caso gracias a la ayuda constante del Mtro. Luis Roberto Vega González y la Q.F.B. Iris J. Hernández Jardines. En 2013–2015 obtuvimos las patentes.



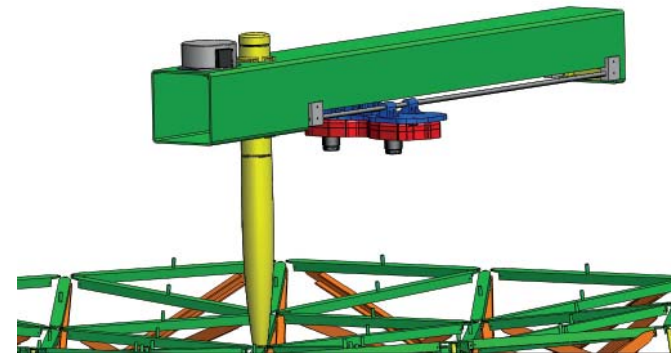
Micropiezas y sus posiciones



Realización de red neuronal con FPGA

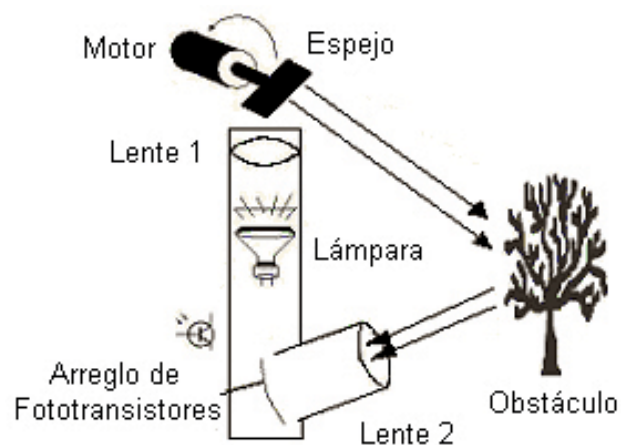


Diseño de los prototipos de concentradores solares con espejos planos



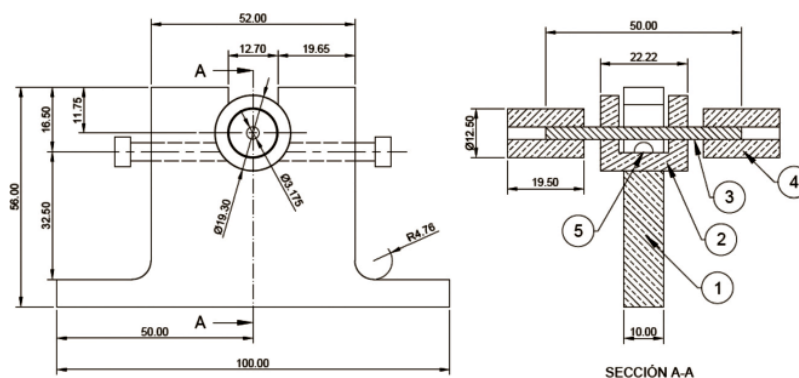
Visión computacional estereoscópica para sistema de ajuste

En este tiempo, al Grupo (el laboratorio se transformó en grupo) ingresó el Mtro. Josué Enríquez Zárate para hacer su doctorado. Él desarrolló el dispositivo óptico para medir las distancias hasta los obstáculos, para el robot móvil que debería hacer los trabajos en la planta solar, lavar los concentradores, corregir los errores de los sistemas de seguimiento del sol, etc.



Dispositivo óptico para medir distancias a obstáculos

Los nuevos diseños de concentradores solares incluyen varios componentes pequeños, que es posible producir con micromáquinas herramientas de la primera generación. Nosotros preservamos el interés en las propiedades de micromáquinas herramienta. En la literatura se encuentran muchos datos específicos de los procesos de fricción en micromecánica. Fue necesario investigar las propiedades tribológicas de nuestros microdispositivos especialmente micromotores de pasos. Esta investigación fue hecha por el estudiante de doctorado Omar Olvera Tapia, quien defendió su tesis en 2015.



Dispositivos para estudiar propiedades tribológicas en microdispositivos

En 2016 obtuve el Premio Universidad Nacional, en el área de Innovación Tecnológica y Diseño Industrial y en noviembre del 2018 festejé 20 años en México.

¡Muchas gracias a México, a la UNAM, al ICAT y a todos ustedes por su apoyo!