

Desarrollo y construcción de una máquina (CNC) como aporte determinante en la competitividad industrial de las mipymes en Colombia

ALEJANDRO MEJÍA SIERRA¹

ÁLVARO ANTONIO PATIÑO FORERO²

RESUMEN

Con el propósito de presentar el impacto de la tecnificación del micro y pequeño empresario colombiano en cuanto a la automatización de sus máquinas, este artículo expone el panorama de desarrollo metalmeccánico industrial colombiano, en comparación con los países más sobresalientes de la región, con el ánimo de presentar las razones que han llevado a países como México a ser centro de producción para ensamble de prestigiosas marcas de vehículos. Este interés tiene su origen en la competitividad lograda y, entre otras cosas, en la masiva importación de máquinas de control numérico que ubican a México en el décimo puesto como país importador de maquinaria en el mundo. Se destaca también la relación significativa que hoy en día tiene la industria manufacturera colombiana con el sector automotor. Finalmente, se describe el proceso para diseñar y construir una máquina de control numérico requerida por un microempresario colombiano que se dedica al modelamiento de piezas para el sector de autopartes.

Palabras clave: mipymes, CAD, CAE, CNC, FMS.

¹ Ingeniero de Diseño y Automatización Electrónica, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: alejomejias@hotmail.com

² Docente de Ingeniería en Automatización, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: alapatino@unisalle.edu.co

FECHA DE RECEPCIÓN: 11 DE ENERO DE 2013 • FECHA DE APROBACIÓN: 25 DE MARZO DE 2013

Cómo citar el artículo: Mejía Sierra, A. y Patiño Forero, A. A. (2013). Desarrollo y construcción de una máquina (CNC) como aporte determinante en la competitividad industrial de las mipymes en Colombia. *Épsilon* (20), 193-214.

Development and Construction of a Machine (CNC) as a Significant Contribution to the Industrial Competitiveness of Colombian SMEs

ABSTRACT

In order to showcase the impact of the technical development of micro and small entrepreneurs in Colombia regarding automation of their machines, the present article describes the landscape of the metal-mechanic industry development in Colombia, in contrast with the outstanding countries of the region, with aims to present the reasons that have driven countries like Mexico to be a production and manufacturing center for leading vehicle brands. This interest arises from the achieved competitiveness and, among others, the massive importation of numerical control machines, which makes Mexico the tenth country that imports the most machines. It is also important to highlight the relation that the Colombian manufacturing industry currently holds with the automobile industry. Finally, the article describes the process to design and build a numerical control machine required by a Colombian micro-entrepreneur dedicated to modeling pieces for the car sector.

Keywords: SMEs, CAD, CAE, CNC, FMS.

Desenvolvimento e construção de uma máquina (CNC) como contribuição determinante na competitividade industrial das mipymes na Colômbia

RESUMO

Com o propósito de apresentar o impacto da tecnificação do micro e pequeno empresário colombiano em quanto à automatização de suas máquinas, este artigo expõe o panorama de desenvolvimento metal mecânico industrial colombiano, em comparação com os países mais destacados da região, com o ânimo de apresentar as razões que têm levado os países como o México a ser centro de produção para montagem de prestigiosas marcas de veículos. Este interesse tem sua origem na competitividade alcançada e, entre outras coisas, na massiva importação de máquinas de controle numérico que situam o México no décimo lugar como país importador de máquinas no mundo. Destaca-se também a relação significativa que hoje em dia a indústria manufatureira colombiana tem com o setor automotriz. Finalmente, se descreve o processo para desenhar e construir uma máquina de controle numérico requerida por um microempresário colombiano que se dedica à modelagem de peças para o setor de autopartes.

Palavras chave: mipymes, CAD, CAE, CNC, FMS.

Introducción

La estructura empresarial colombiana está formada básicamente por microempresas y pymes, las cuales en su conjunto son la principal fuente de empleo en Colombia. Además, de acuerdo con las cifras, la participación de las mipymes metalmeccánicas en la industria nacional representa alrededor del 10 % del total; ello presenta la relevancia de este segmento para la industria y el desarrollo socioeconómico del país, según el último censo económico realizado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Las cifras a octubre de 2012 señalan que existen alrededor de 1.300.000 unidades empresariales registradas, de las cuales el 99 % de estas son micro y medianas empresas, las cuales representan el 37 % del PIB y generan el 80 % del empleo total en el país (Manay, 2012). Este tipo de empresas presentan impedimentos de acceso al crédito, lo cual les genera reducción en las utilidades, altas tasas de interés y, por consiguiente, trabas en aspectos de innovación tecnológica.

Sin duda, camino a la competitividad, las empresas requieren integrar al unísono todos los aspectos presentes en la gestión industrial. Se está cambiando el concepto que unos años atrás tenían la mayoría de pequeños y medianos empresarios, los cuales creían que la calidad y la implantación de estándares internacionales era asunto exclusivamente de grandes empresas. Esta nueva dinámica requiere la integración del sector privado y del académico, que permita a las mipymes mejorar en todos sus procesos (técnicos y administrativos).

Los ingenieros están en la obligación de poner en práctica los valores éticos y morales que permitan que los procesos de competitividad se lleven a cabo de manera responsable, eficiente y eficaz, teniendo siempre presente el factor humano. Por ejemplo, al ingeniero ambiental le corresponde reducir el impacto que pueda generar la empresa, aspectos relacionados actualmente con ISO 14000 en Sistemas de Gestión de Calidad (SGC) entre muchas otras responsabilidades; para el sector de alimentos es indispensable contar con ingenieros altamente capacitados que mejoren sus procesos; se requieren ingenieros civiles y arquitectos para el diseño de infraestructuras; mecatrónicos y eléctricos para la distribución de potencia, la modernización, la supervisión y para asuntos relacionados con maquinaria, entre otros; se necesitan ingenieros industriales principalmente para controlar aspectos de producción y seguridad del sector.

Es entonces en esta época de globalización donde se deben ahondar esfuerzos a nivel de ingeniería para poner “el granito de arena” apoyando principalmente a los pequeños industriales que no cuentan con los grandes recursos que esta modernización requiere.

Una encuesta realizada recientemente evidencia el interés de los industriales en contratar o capacitar su personal principalmente en: manufactura, administración de planta, procesos de mecanizado, metrología y calidad. Es aquí donde se requieren técnicos e ingenieros que realicen estos procesos e innoven constantemente. La figura 1 presenta dicho panorama.

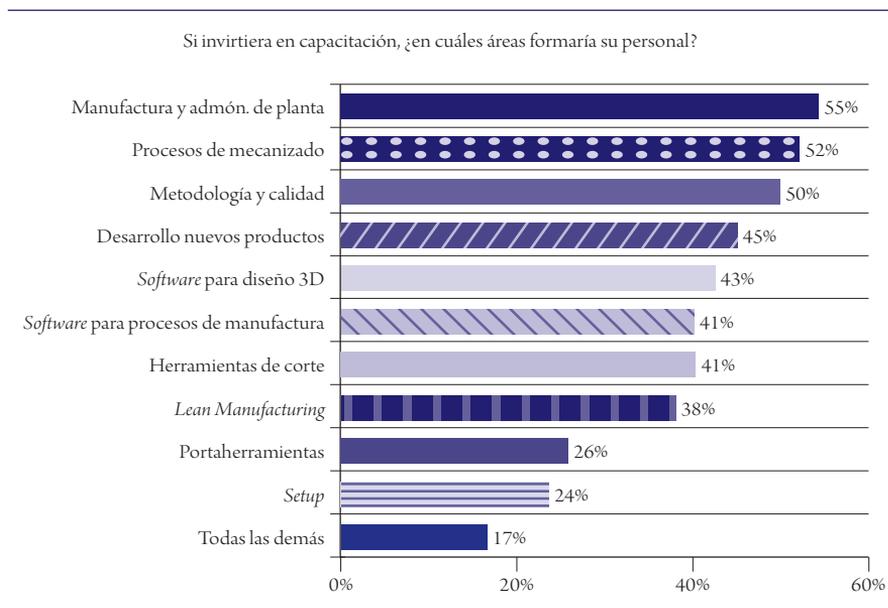


Figura 1. Encuesta de opinión para conocer el clima de autopartes en América Latina, octubre 2012

Fuente: Metalmecánica (2012).

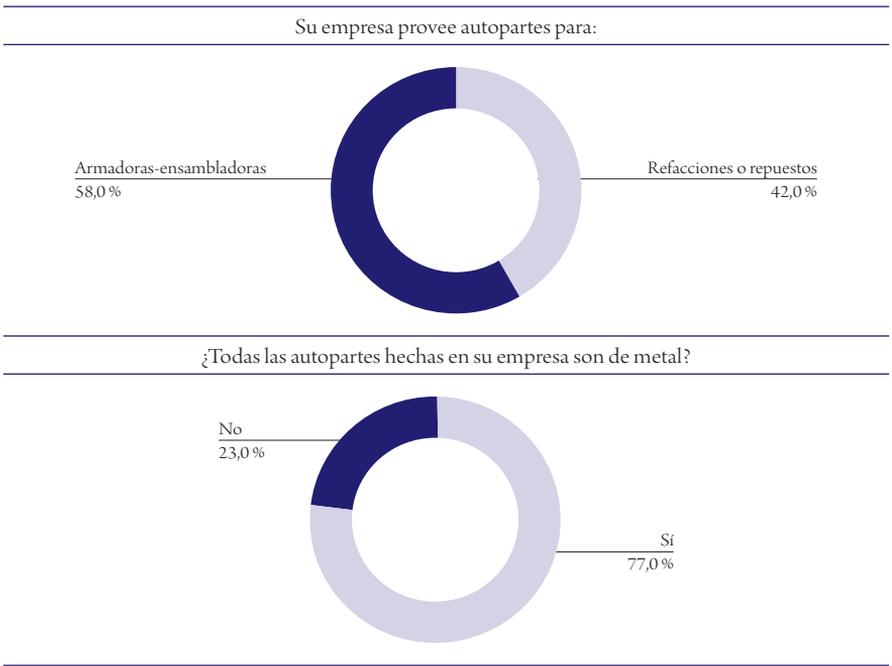
Estado del arte

En Colombia, al igual que en otros países de Latinoamérica que han incrementado su crecimiento económico como Brasil, Argentina y México, se sabe que actualmente el crecimiento y dinamismo del sector industrial está ligado al desempeño del sector automotor, también influye el rumbo que tomen los tratados de libre

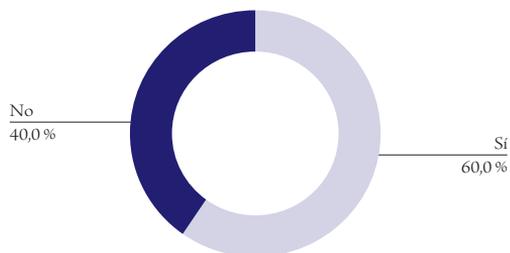
comercio en cada país. En el caso puntual del país mexicano, empresas como Audi, Nissan, Mazda, Honda y Hyundai tienen proyectado crear plantas en todo el territorio en los próximos años. Audi planea invertir, a partir del 2016, 1300 millones de dólares para fabricar camionetas deportivas. Esto debido a la excelente posición geográfica y a que, no en vano, ocupa el décimo lugar como consumidor de máquinas herramienta con 1309 millones de dólares (Metalmecánica, 2012).

De los países que han registrado crecimiento en Latinoamérica en los últimos años, el 67 % de las empresas aumentaron su planta de personal para atender las necesidades de producción, de las cuales 75 % de las contrataciones corresponden a operarios calificados y el resto a técnicos profesionales (Mark, 2012). Con respecto a la competencia general, casi todas las empresas del sector afirman que China sigue siendo la piedra en el zapato. Para competir con el gigante asiático se debe mejorar la calidad, invertir en innovación, disminuir precios al consumidor final para mantenerse competitivos en el mercado (Mark, 2012).

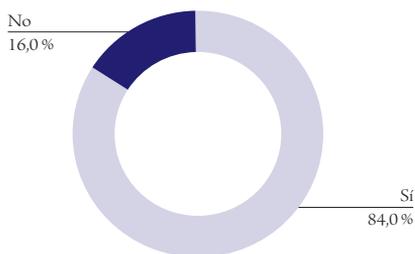
La figura 2 es el resultado de una encuesta realizada a 59 prestigiosas empresas de Colombia, México, Argentina, Ecuador, Perú, Venezuela, Uruguay, Chile, Antigua y Barbuda y Antillas Holandesas.



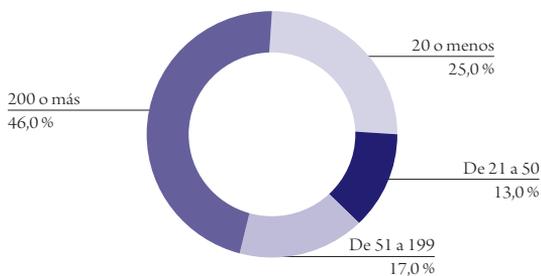
¿Su empresa se dedica exclusivamente a la producción de autopartes?



¿Cuenta su empresa con máquinas-herramientas CNC?



¿Cuántos empleados trabajan en su empresa?



¿Su empresa realizó exportaciones durante el año 2011?

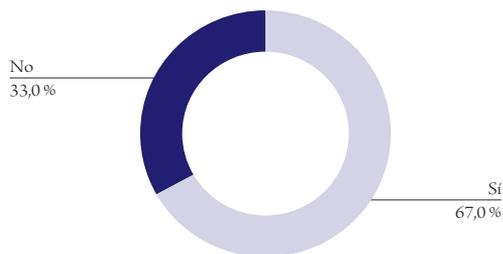


Figura 2. Encuesta de opinión para conocer el clima de autopartes en América Latina, octubre 2012

Fuente: Metalmecánica (2012).

Dicha encuesta, entre otros datos, evidencia que el 58 % provee partes exclusivamente para las ensambladoras, el 77 % son piezas de metal, el 84 % cuenta con máquinas CNC y el 67 % realiza exportaciones.

La expansión agresiva de las exportaciones metalmecánicas chinas ha generado un creciente déficit en la balanza comercial con América Latina. Solo en 2010, China exportó US\$59.500 millones en productos metalmecánicos a los cuatro países latinoamericanos más sobresalientes de la región, mientras que importó tan solo US\$2000 millones, superando las exportaciones chinas a Latinoamérica casi 30 veces el valor de las importaciones (Argentina: 209 veces, Brasil: 21 veces, México: 31 veces y Colombia: 3535 veces) (Marín, 2011). Como se puede apreciar, el panorama para la industria colombiana en relación con exportaciones e importaciones con China es preocupante, avistando el peor panorama y muy lejos de las cifras de otros países de la región.

El gerente general de la compañía importadora de maquinaria colombiana más grande, con más de sesenta años de experiencia en el sector, afirma: “Colombia está en un momento en el que debe insertarse de lleno en la economía global, con tecnología de punta traída desde el exterior o creada en sus nichos de mercado locales”. También afirma que:

Mientras países como México cuentan en sus industrias con más de 10.000 robots, aquí ni siquiera hemos llegado a 100 y competir con el mercado ya no es un problema de mano de obra barata, necesitando invertir en tecnología y capacitación, recurriendo a ingenieros mecatrónicos que sepan sacar provecho de los equipos y máquinas (Metalmecánica, 2012).

No en vano la prestigiosa revista de tecnología del MIT (*Technology Review*) en el 2003, resaltó a esta área de la ingeniería (Mecatrónica) como unas de las diez tecnologías emergentes que cambiarían al mundo.

Colombia actualmente forja su industria metalmecánica en torno al sector automotor. A este se han unido gran número de empresas encargadas de elaborar partes para las ensambladoras y para el mercado de repuestos en general. Lo sigue el sector de motocicletas el cual, por la gran demanda de los últimos años, ha crecido con fuerza. También, la fabricación de partes para mobiliario está sobresaliendo en el sector industrial colombiano cubriendo tanto el mercado local como el extranjero.

La integración de tecnología puesta al servicio del pequeño industrial es crucial. En efecto, como consecuencia del entorno competitivo de la industria, las empresas cada vez más deben reformular sus procesos para mejorar la calidad y disminuir los ciclos de producción; en especial, en la cadena metalmecánica, el desarrollo de máquinas se convierte en una actividad esencial para adaptarse a las diferentes exigencias del sector y mejorar la competitividad de las empresas.

Con el objetivo de hallar soluciones adecuadas a las necesidades cambiantes del negocio, en las grandes compañías surgen los departamentos de investigación y desarrollo (I+D) que suponen para el empresario una ruptura de las prácticas pasadas y cuyo objetivo es la creación de un nuevo entorno basado en la consecución de tecnologías propias e innovadoras.

En el caso particular del requerimiento de máquinas y herramientas, los grupos de I+D se concentran en diseñar y, por supuesto, construir equipos que realicen una determinada operación, máquinas concebidas desde su origen con base en las necesidades del usuario; en últimas, son soluciones hechas como un traje a la medida.

Infortunadamente, un gran porcentaje de las compañías metalmecánicas nacionales, particularmente las *mipymes*, no cuentan con la capacidad de inversión en I+D para identificar sus necesidades y diseñar sus propias soluciones. En muchos casos, también tienen limitaciones en la formación de recursos humanos y poseen atrasos en infraestructura y tecnología.

Es frecuente que las empresas que no encuentran la solución que necesitan en el portafolio comercial se vean obligadas a reacondicionar sus equipos a partir de un diseño estándar o le incorporen a la máquina múltiples accesorios para cubrir necesidades específicas; en algunos casos logran construir sistemas “hechizos” de estupenda calidad, pero también corren el riesgo de desmejorar el proceso y sacrificar la garantía técnica (Metal Actual, 2010). La ventaja al construir radica en la posibilidad que se tiene al personalizar los requerimientos de cada proceso, además permite mejorar los diseños con base en la disponibilidad presupuestaria del empresario.

El principal inconveniente entre el empresario y el diseñador de maquinaria se presenta generalmente al inicio del proyecto debido a que el primero busca solu-

ciones económicas, eficientes y cortos periodos de construcción, y desconoce por completo el complicado proceso de diseño, el cual requiere vastos conocimientos en diferentes aspectos científicos y de ingeniería, que generalmente requieren habilidades que toman años de desarrollo; esto sin dejar de lado la constante retroalimentación requerida en bocetos, planos, simulaciones, construcción de prototipos, numerosas pruebas y optimizaciones finales.

El gerente general de Delta Accesorios Ltda., empresa dedicada desde hace veinte años a diseñar y fabricar maquinaria especial para la industria, en entrevista para una revista (Metal Actual, 2010) y, con respecto a la fabricación de máquinas especiales, afirmó que la inversión inicial que debe hacer el empresario es alta, ya que todo el proceso de diseño puede superar hasta diez veces más el simple costo de construcción que tendría solo la máquina. Consecuentemente, el costo total no debería superar el 70 % del valor comercial de la máquina, si es que se trata de diseñar una máquina desde cero ya que, de lo contrario, seguramente el empresario optaría por adquirir máquinas comerciales. Lo que debe entender el empresario es que esta inversión se retribuye en mejores productos y ahorro de recursos, lo cual genera mayores ganancias y mejora la competitividad.

Los empresarios industriales colombianos cada vez más aceptan que la única forma de competir ante la globalización y ante los acuerdos de libre comercio es disminuyendo los costos y mejorando la productividad. La mejor forma de mejorar la producción es automatizar los procesos y, por ello, las máquinas de control numérico actualmente son las protagonistas a nivel mundial. Las políticas de los países industrializados se enfocan en la innovación y adquisición de máquinas con tecnología de punta, pues de ello depende en gran parte su poderío industrial. Países como Estados Unidos, Alemania y Japón buscan constantemente la fusión entre la academia y la industria para mantenerse como potencias.

La tabla 1 presenta la importación de máquinas en Colombia hasta el 2011. En la última columna (año 2011) se evidencia un aumento en la importación de maquinaria. No es difícil suponer que esta nueva adquisición de maquinaria de control numérico (CNC) por parte de los empresarios se inclina a las grandes y medianas industrias, pero ¿qué pasa con los microempresarios que representan el 99 % del sector? Es aquí donde se requiere la integración del sector privado y la academia para apoyar este importante nicho del mercado.

Tabla 1. Importaciones de máquina herramienta de las cadenas metalúrgica y metalmeccánica

PARTIDA	PRODUCTO	USSCIF				
		2007	2008	2009	2010	2011
84.58	Todo tipo de tomos horizontales, de revólver y paralelos universales que trabajen por arranque de metal, de control numérico.	13.269.462	16.711.466	9.713.466	9.237.941	13.026.712
84593	Las demás máquinas mandrinadoras de control numérico, por arranque de materia, excepto los tomos de la partida 84.58	466.022	288.399	439.598	307.565	931.004
84594	Las demás máquinas mandrinadoras, de metal por arranque de materia, excepto los tomos de partida	412.982	129.997	22.587	125.493	128.022
84595	Fresadoras de consola, de control numérico, para fresar metales por arranque de materia, excepto los tomos de partida 84.58	366.336	369.305	117.239	1.140.124	4.208.183
8459610000	Las demás máquinas fresadoras convencionales y de control numérico, por fresar metales por arranque de materia, excepto los tomos de la partida 84.58	1.318.474	980.025	535.789	788.212	1.034.620
8459700000	Las demás máquinas de roscar metales, por arranque de materia, excepto los tomos de la partida 84.58	315.856	464.309	391.097	426.166	529.393
8460	Todos los rectificadores de superficies planas, de control numérico en las que la posición de la pieza en uno de los ejes pueda reglarse a 0,01 mm o menos. Afiladoras y lapidadoras	3.973.937	5.113.627	5.865.788	6.536.099	10.713.749

Fuente: DANE-DIAN.

Las coyunturas traen desequilibrios a nivel general pero, por otro lado, invitan a crear e innovar. El panorama económico mundial sugiere cambios estructurales a todo nivel. En el caso colombiano, el conocimiento a través de la educación, como herramienta para mejorar los procesos técnicos, debe ser implementado a todo nivel.

Desarrollar y acoger tecnologías es un gran paso, camino a la competitividad, lo que permite potencializar o construir máquinas, brindando las herramientas necesarias al empresario colombiano. Por ello, a continuación se describe el proceso completo de diseño y construcción de una máquina de control numérico (CNC) con base en los requerimientos de un microempresario dedicado a la fabricación de partes para el sector automotor, ante la imposibilidad de adquirir máquinas de costo elevado.

Diseño de la máquina CNC

En el diseño y la construcción se integran los aspectos concernientes a diseño mecánico electrónico, ergonomía y diseño de software.

Antes de iniciar con el proyecto se establece una metodología de trabajo acorde con los requerimientos. Luego, se diseña el sistema estructural por métodos CAD/CAE¹, retroalimentando los diseños constantemente con base en los análisis matemáticos. Posteriormente, se seleccionan los sistemas de posicionamiento y guiado lineal para cada eje de la máquina (también llamado grado de libertad). El diseño del sistema de control es el paso siguiente; el sistema de control se plantea con base en las señales eléctricas y electrónicas que requiere la máquina. Después, se integran todos los módulos o sistemas de manera congruente. Por último, se llevan a cabo los mecanizados con el ánimo de verificar exactitud y repetibilidad de la máquina. Para optimizar, se inicia de nuevo el proceso hasta cumplir con los requerimientos (figura 3).

1 CAD: Diseño Asistido por Computador (*Computer Aided Design*). CAE: Ingeniería Asistida por Computador (*Computer Aided Engineering*).

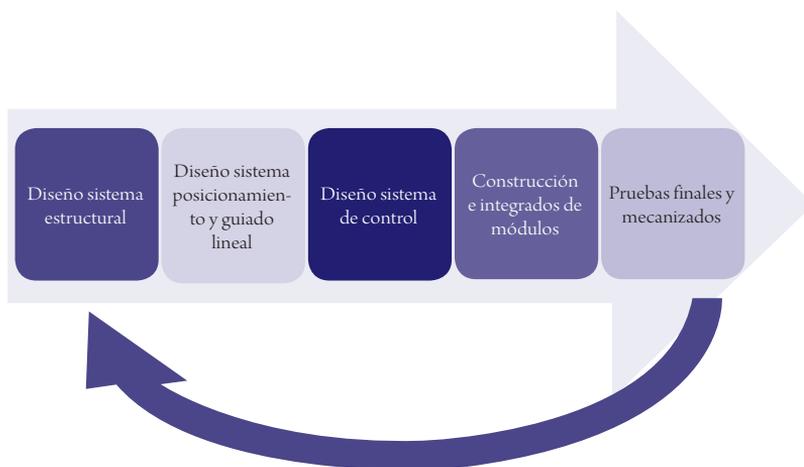


Figura 3. Metodología de diseño

Fuente: elaboración propia.

Metodología de diseño

Para el diseño de piezas mecánicas se utilizó la metodología de diseño ascendente (Ernst, 2008), la cual consiste en partir de un elemento o de las características individuales de los elementos, para luego desarrollar la totalidad de las piezas. Con esta metodología se parte de las piezas clave, y se diseñan y dimensionan una a una hasta formar un conjunto. Luego de tener el esbozo del conjunto y sus características globales en sí (entiéndase por características globales bocetos, diseño CAD/CAE, cálculos, presupuesto, construcción, disponibilidad, etc.) se realiza la retroalimentación de cada parte del sistema analizándolo de manera tanto individual como en conjunto.

Diseño del sistema estructural

Con base en los parámetros de diseño se parte de una geometría base. Con esta se realizan los análisis correspondientes a fuerzas y momentos presentes en la estructura. Para este tipo de estructuras no es suficiente definir únicamente los materiales por utilizar y la geometría, ya que existen ciertos factores que se deben poner en consideración. Estos factores se toman en cuenta para prevenir exceso de tensiones y grandes esfuerzos, principalmente en rodamientos, tornillos de avance, guías lineales y actuadores. Desde el punto de vista del diseño lo que se desea es

que el pórtico sea estable y equilibrado. Dichos análisis se realizan con el ánimo de conocer: momentos, fuerzas presentes en la estructura, centro de gravedad y distancias entre piezas clave.

La geometría definitiva es el resultado de hacer constantes iteraciones en el diseño CAD y de la construcción misma de prototipos preliminares. El recuadro de la izquierda de la figura 4 presenta el centro de gravedad de la máquina. El recuadro derecho, la vista lateral de las partes que la componen.

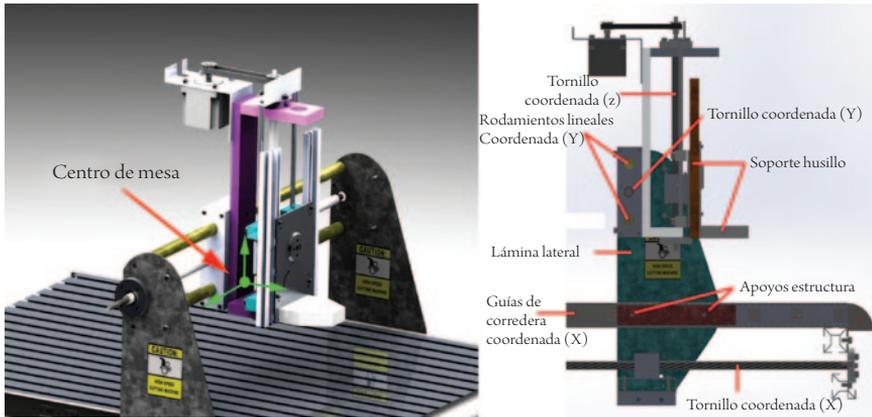


Figura 4. Centro de gravedad y partes de la estructura principal de la máquina

Fuente: elaboración propia.

La magnitud de las fuerzas y los momentos resultantes que afectan la estructura dependen de la relación geométrica entre las piezas. En recuadro izquierdo de la figura 5 muestra la vista frontal de dichas relaciones geométricas, el recuadro derecho, la vista lateral.

A continuación se describen las variables tomadas en cuenta: debajo de la herramienta de corte o husillo se aplica una fuerza de corte² (F_C), la cual genera principalmente el momento A (M_A), la fuerza A (F_A) y la fuerza B (F_B). Este momento (M_A) depende también de la longitud (D_1). La fuerza A genera un momento B

2 La fuerza de corte es un concepto que describe la cantidad de fuerza utilizada en una cantidad específica de área. Esta "fuerza por área" se utiliza para derivar la cantidad de tensión aplicada a un objeto que se está cortando. Cuando la tensión que se está aplicando supera la resistencia del material, este se fractura y se separa en el punto donde esta fuerza es aplicada.

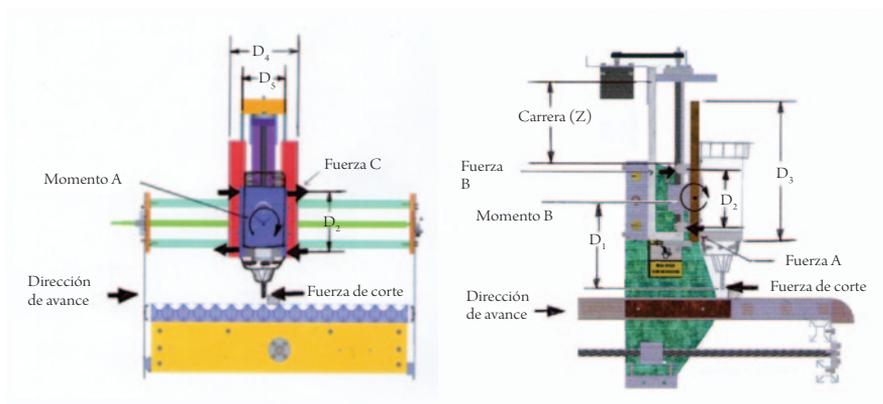


Figura 5. Momentos y fuerzas que afectan la estructura

Fuente: elaboración propia.

(M_B), lugar donde se apoya todo el pórtico. Este M_B depende directamente de la longitud D_2 . La fuerza D (F_D) y la fuerza C (F_C) son producto del peso de la estructura. En la práctica estas fuerzas tienen sentido contrario; pero la dirección de las flechas se utiliza para indicar el peso de la estructura.

A grandes rasgos, de la figura anterior se deducen las siguientes ecuaciones:

$$M_A = D_1 \cdot F_C \quad (1)$$

$$F_A = \frac{M_A}{\frac{1}{2} \cdot D_3} \quad (2)$$

$$F_A = F_B \quad (3)$$

$$M_B = D_2 \cdot F_A \quad (4)$$

$$F_C = \frac{M_B}{\frac{1}{2} \cdot D_4} \quad (5)$$

$$F_C = F_D \quad (6)$$

Al reemplazar las anteriores ecuaciones, los resultados de análisis matemáticos señalaron las modificaciones requeridas para el diseño definitivo de la estructura. De acuerdo con las fuerzas y los momentos que afectan la estructura se seleccionaron los materiales de cada pieza, realizando una constante optimización para las correspondientes simulaciones por el método de elementos finitos (FEM). La figura 6 presenta las partes principales del pórtico en vista isométrica (recuadro izquierdo) y los componentes del sistema mecánico de la coordenada que soporta el cabezote (recuadro derecho).

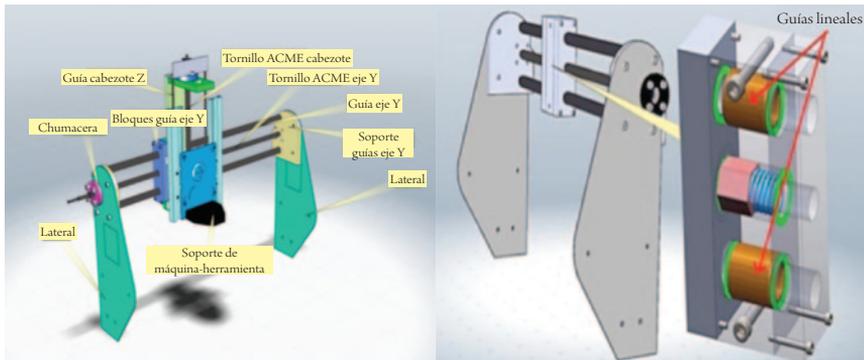


Figura 6. Centro de gravedad y partes de la estructura principal de la máquina

Fuente: elaboración propia.

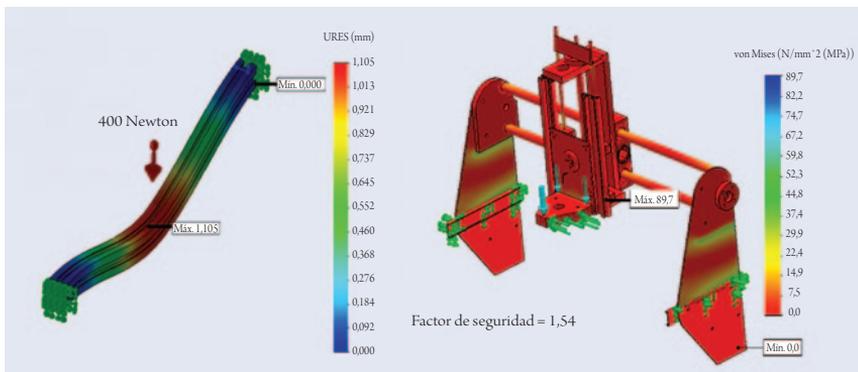


Figura 7. Análisis de la estructura por el método de elementos finitos (FEM)

Fuente: elaboración propia.

El recuadro izquierdo de la figura 7 presenta la simulación del desplazamiento máximo de uno de los perfiles, de los 17 que componen la base que soporta el

pórtico. Este desplazamiento es únicamente de 1105 mm aplicando una carga de 400 newton, lo cual resulta ser óptimo para la carga máxima de diseño que se va a soportar.

El recuadro derecho (figura 7) presenta el análisis de esfuerzos para toda la estructura teniendo en cuenta variables como: materiales, peso de la herramienta de corte y fuerza de corte (al mecanizar aluminio y con otras condiciones dadas, propias de la velocidad y el tipo de herramienta). El factor de seguridad que se desprende del análisis de la simulación para este caso es de 1,54.

Diseño del sistema de posicionamiento y de guiado lineal

La máquina se mueve en tres posiciones distintas llamadas X, Y, Z. Cada movimiento se define como “grado de libertad”, y cada uno requiere un sistema de posicionamiento que tiene la tarea de mover la máquina a las distintas posiciones. Se decide utilizar tornillos con rosca ACME para realizar esta tarea.

La elección de este sistema de avance (tornillo-tuerca) radica en su extendida utilización en este tipo de sistemas, su menor precio comparado con otros sistemas similares y su gran resistencia al desgaste. La selección del tornillo junto con la tuerca, para cada aplicación particular en este tipo de sistemas, generalmente abarca cinco aspectos importantes que se deben tener en consideración: carga axial permisible, velocidad lineal, longitud, forma en que se apoyan los extremos y velocidad crítica.

Los tornillos de avance trabajan junto con un par de guías lineales, las cuales tienen la tarea de disminuir al máximo la fricción, así como la fuerza requerida para desplazar la estructura a lo largo de cada coordenada. En la figura 8 (recuadro izquierdo) las flechas rojas indican la posición de las guías lineales en la estructura. En el lado derecho de la figura se presenta el análisis correspondiente a la deflexión en las guías.

Diseño sistema de control

Para comprender mejor el funcionamiento del sistema de control a continuación se presenta, en la figura 9, un esquema simplificado que integra los elementos más importantes presentes en este sistema.

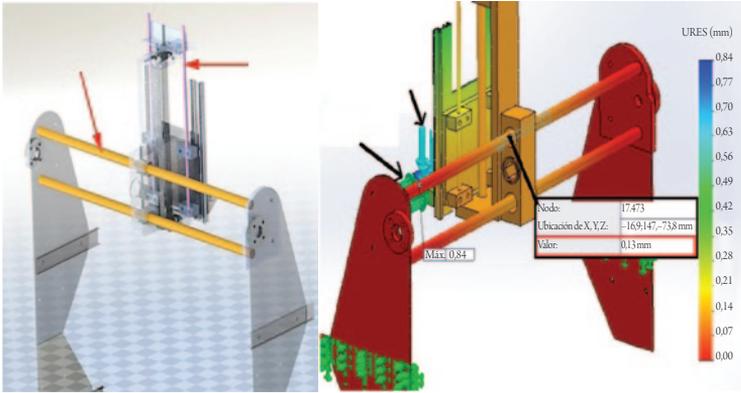


Figura 8. Ubicación sistemas de guiado lineal en la estructura

Fuente: elaboración propia.

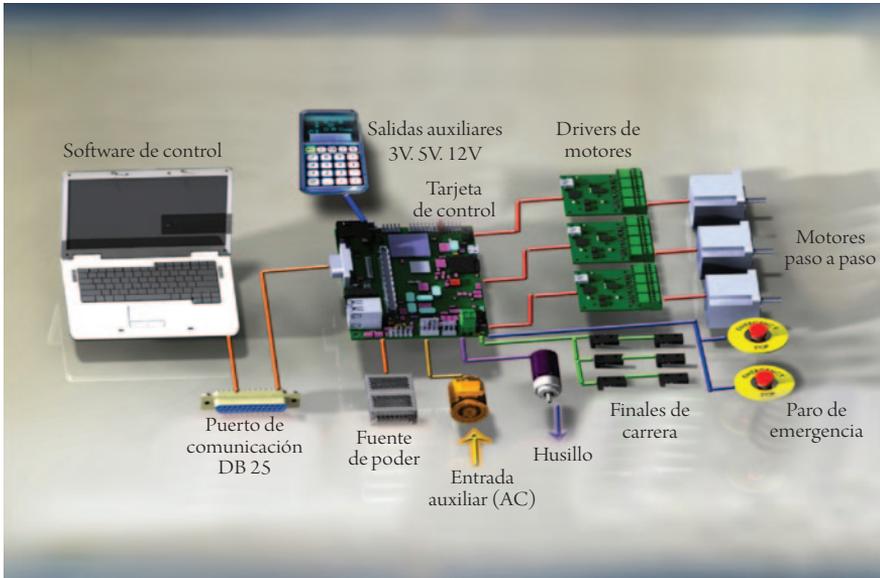


Figura 9. Esquema global del sistema de control

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la figura 9, la tarjeta de control es el dispositivo donde concurren todos los dispositivos electromecánicos del sistema; cada señal de entrada o salida en la tarjeta es interpretada por el software de control ubicado dentro del computador.

Gran parte de los elementos presentes en el sistema de control se integra en una caja metálica, la cual sirve de puente entre los diferentes módulos. La parte frontal y posterior de esta estructura denominada unidad de control se presenta en la figura 10.

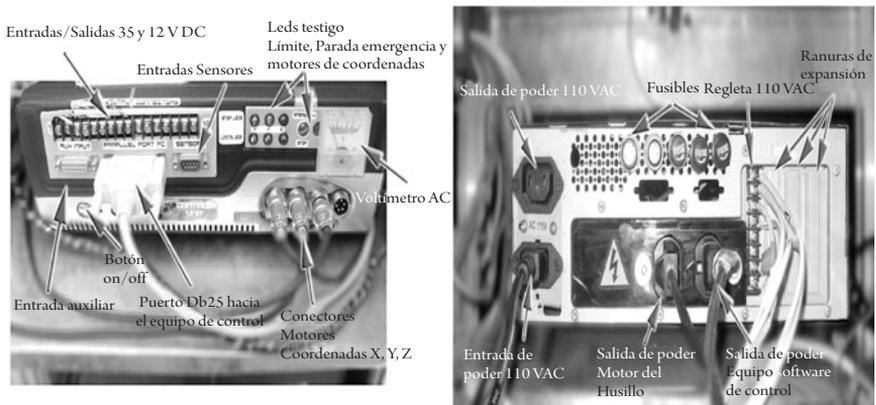


Figura 10. Parte frontal y posterior del panel de control

Fuente: elaboración propia.

Construcción

Al tener todos los requerimientos de diseño y funcionalidad se construye la estructura definitiva integrando a la vez todos los sistemas presentados. En la figura 11 se observa la construcción final de acuerdo con los planos desarrollados, este diseño final es el resultado de repetidas pruebas siguiendo la metodología de diseño presentada.

Pruebas de funcionamiento y resultados

La característica primordial en este tipo de maquinaria se relaciona con la precisión y repetibilidad. A lo largo de todo el proceso de construcción tuvieron que llevarse a cabo constantes mediciones para comprobar todas las tolerancias. El proceso de comprobación de tolerancias se aplicó en orden ascendente en cada paso de construcción con el ánimo de reducir al máximo las holguras, que finalmente son las que repercuten de manera directa en la precisión de la máquina y que se ven amplificadas en la punta de la herramienta. Esta medición de tolerancias se lleva a cabo tomado como referencia planos, caras, puntos, líneas, ejes, círculos y ángulos principalmente.

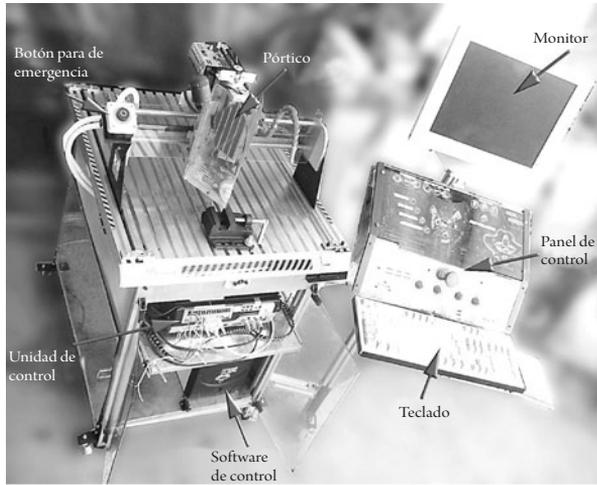


Figura 11. Construcción final de la máquina

Fuente: elaboración propia

La figura 12 muestra de manera esquemática una de las pruebas de funcionamiento realizadas durante el proceso, con el ánimo de calcular las tolerancias en cada coordenada con la fuerza de corte precalculada en los análisis matemáticos, dadas las condiciones de diseño preestablecidas.

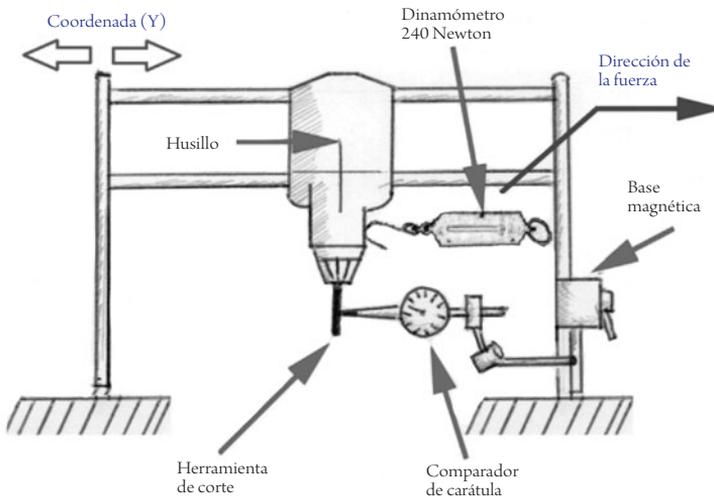


Figura 12. Pruebas de tolerancia con fuerzas de corte

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a los resultados, se realizaron pruebas de exactitud y de repetibilidad para cada coordenada. Las mediciones se llevaron a cabo con instrumentos de alta precisión, y tomando las medidas de las tolerancias resultantes en mecanizados específicos. Los resultados también provienen de aplicar a las mediciones métodos de desviación estándar. En la tabla 2 se presentan los resultados.

Tabla 2. Tolerancias en cada coordenada (en milímetros)

COORDENADA (x)	COORDENADA (y)	COORDENADA (z)
$\pm 0,4175$	$\pm 0,8235$	$\pm 0,2155$

Fuente: elaboración propia.

Estos resultados permiten mecanizar piezas que requieran tolerancias reducidas. La precisión de la máquina es satisfactoria y cumple a cabalidad con las expectativas del cliente. La inversión global estuvo por encima de los 15 millones de pesos, el costo de construcción estuvo alrededor de los 6 millones.

Conclusiones

El valor comercial de una máquina de estas características oscila entre 10 y 20 millones de pesos (Mercadolibre, 2013). Esto explica la importancia de establecer una metodología clara y coherente con el ánimo de evitar sobrecostos, muchas veces insostenibles por las partes interesadas.

El aspecto más importante por resaltar es que fácilmente se pueden reproducir las máquinas que se requieran en tiempos cortos, e incluso las mejoras y los cambios en las características funcionales referentes a aspectos dinámicos y de robustez pueden ser fácilmente realizadas al contar con bases de diseño bien estructuradas que permitan actualizar los resultados de análisis estructurales. En este escenario, se puede afirmar que el cliente (microempresario) tiene la posibilidad de construir las máquinas que requiera de acuerdo con sus necesidades.

El principal ahorro se presenta en el no pago de posibles aranceles (si aplica), fletes y costos relacionados con trámites de importación. Otra ventaja sustancial se relaciona con la personalización de la máquina construida según las necesidades específicas.

La coyuntura actual se puede mitigar con esfuerzos conjuntos, tanto de la empresa privada como de la academia. El sector privado y el Estado tienen la obligación de brindar soluciones óptimas a las mipymes en cuanto a créditos para adquisición de maquinaria con tecnología de punta y capacitación.

Es posible ofrecer soluciones óptimas y a la medida de cada necesidad, según las capacidades de cada empresario. Con una buena disposición es factible alcanzar grandes resultados que favorezcan el desarrollo del país.

Los diseñadores con experiencia saben que el proceso que más recursos requiere es la planificación, y si el deseo es optimizar al máximo dichos recursos, debe hacerse una planeación general y estructurada sobre todas las etapas posibles del diseño.

La construcción de prototipos, aunque demande mayores costos, es un paso fundamental pues saca a la luz muchos conceptos e ideas que no se han tomado en cuenta previamente en el proceso de diseño. La utilización de programas de cómputo especializados (CAD/CAE) son una excelente herramienta, pero la única forma de plasmar conceptos matemáticos, de diseño, construcción y demás, es con la construcción de un prototipo de medianas prestaciones o, de preferencia, completamente funcional.

Con los conocimientos apropiados es posible innovar en cualquier campo requerido en cualquier compañía, basta con tener disposición y el equipo de trabajo adecuado para lograr los objetivos propuestos.

Referencias

- Bralla, J. (2007). *Handbook of Manufacturing Processes*. New York: Industrial Press.
- Ernst, W. E. (2010). *Introduction to Design Engineering*. New York: CRC Press.
- Hwan, S. (2008). *Theory and Design CNC Systems*. London: Springer.
- Kohser, R. A. (2008). *Materials & Processes In manufacturing*. New York: Wiley.
- Manay, M. G. (2012). *Las micro, pequeñas y medianas empresas (mipymes) y su participación en el desarrollo social y crecimiento económico de américa latina*. Recuperado de <http://www.cesla.com/pdfs>.
- Marks, S. (2007). *Standard handbook for Mechanical Engineers*. New York: McGraw Hill.

- Marín, C. (2011). Made in China: riesgos y amenazas del gigante asiático. *Metal Actual*, 22, 12-17.
- Mark, A. (2012). México: pronósticos favorables para la industria metalmecánica en 2013. *Metalmecánica*, 17 (5), 54-58.
- Mercadolibre (2013). *Máquinas de control numérico*. Recuperado de <http://articulo.mercadolibre.com.co>
- Metalmecánica (2012). Imocom cumple 60 años. *Metalmecánica*, 17 (5), 46.
- Metal Actual (2010). Diseño de máquinas especiales: cómo enfrentar el reto y no fracasar en el intento. *Metal Actual*, 19, 8-13.
- Slocum, A. (1992). *Precision Machine Design*. New Jersey: Prentice Hall.