

# Una experiencia docente en el empleo de los simuladores gráficos en el desarrollo de prácticas de laboratorios de Sistemas Integrados de Manufactura.

**G. González Rey\***, **J. Wellesley-Bourke Funcasta\*\***

Facultad de Ingeniería Mecánica, Instituto Superior Politécnico *José Antonio Echeverría*,

Teléfono: (537) 2602267 Fax: (537) 2671644

E-mail: \* cidim@mecanica.cujae.edu.cu

\*\* jwellesley@mecanica.cujae.edu.cu

(Recibido el 14 de Noviembre de 2003; aceptado el 22 de febrero de 2004)

## Resumen.

En el trabajo se presentan algunos ejemplos de simuladores gráficos con empleo en el desarrollo de las prácticas de laboratorio de Sistemas Integrados de Manufactura, a partir de experiencia de los autores en una Celda de Manufactura con integración de máquinas de control numérico, robots manipuladores y ensambladores, líneas flexibles de transportación, sistemas de inspección y un software de simulador de procesos.

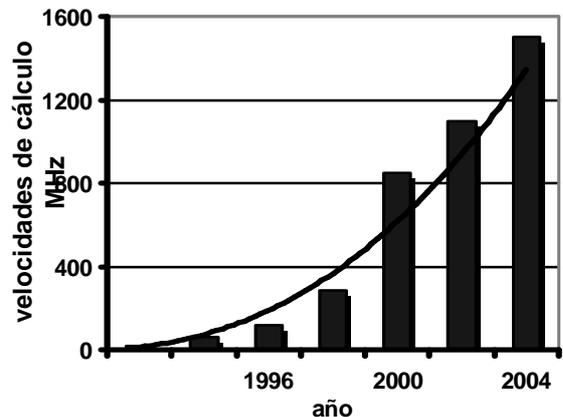
**Palabras claves:** Sistema Integrado de Manufactura, SIM, CIM, simuladores gráficos, AMNET, MasterCAM, inspección por visión.

## 1. Introducción.

En general, la actividad del ingeniero en diseño o proceso requiere del empleo de algoritmos de cálculo, claridad en la interrelación de los complejos procesos de manufactura, evaluación de diferentes propuestas aceptables como respuesta a problemas y situaciones, conocer de los orígenes y resultados de los procesos y proponer ejecuciones productivas efectivas, entre otros problemas. Es conocido, que en la práctica de la ingeniería cada respuesta puede ser una solución de compromiso. Para suerte de muchos, en nuestros días las prestaciones de las máquinas computadoras, los programas de cálculo y los simuladores gráficos han evolucionado a una escala tal que permiten desarrollar diseños complejos y operar sistemas y procesos productivos cada vez más complicados, hecho que ha permitido que la actividad del ingeniero pueda ser más efectiva.

En nuestros tiempos, la denominación de simuladores gráficos, comprendidos en un conjunto multifacético y de amplia perspectiva, permite referirse a la recreación virtual de un procedimiento, una pieza, una máquina, o de un proceso con empleo de gráficas, dibujos o modelos funcionales generados por programas de computación. Usualmente, los simuladores gráficos generan prototipos virtuales poco realistas pero muy efectivos y baratos para particularizar las soluciones a problemas de ingeniería que

pudieran necesitar la construcción de costosos prototipos o la ejecución de innumerables cálculos matemáticos.



**Figura 1** - Velocidad promedio de cálculo de las actuales computadoras personales [1].

En las últimas décadas, la introducción de poderosos medios de cómputos con elevadas velocidades de cálculo (véase Fig. 1), permitió una consolidación del empleo de las nuevas técnicas de análisis numérico y la divulgación de simuladores gráficos bidimensionales (2D) y posteriormente tridimensionales (3D). El auge alcanzado por las técnicas de

computación y el empleo de las nuevas computadoras con procesadores matemáticos cada vez más veloces, posibilitan incluir las nuevas técnicas de ingeniería, diseño y manufactura asistidas por computadoras (CAE, CAD y CAM) como nuevas y efectivas herramientas de diseño. En esta situación, los simuladores gráficos continúan con un sorprendente desarrollo y con amplias aplicaciones en la ingeniería moderna.

Un análisis del empleo actual de los simuladores gráficos permite comprender su difusión, y la importante herramienta que es en el “pañol” de los utilitarios de un ingeniero moderno. Por solo citar algunos casos, en los que los autores de este trabajo han requerido la asistencia de algún simulador gráfico, pueden ser mencionados los siguientes ejemplos clásicos.

1) *Diagramas de bloques para organizar procedimientos de cálculo.* Esta sencilla herramienta permite un ordenamiento lógico de los procesos de cálculo que posibilita reflejar complicadas metodologías de cómputo y procesamientos de datos.

2) *Diagramas de grafos.* Este procedimiento de análisis gráfico es muy útil para la elaboración de algoritmos que brindan respuestas a complejos problemas de la más diversa naturaleza. Los grafos pueden ser variados en su forma y procesamiento pero generalmente se emplean para la representación gráfica de un modelo matemático que permite visualizar las variables participantes y sus relaciones.

3) *Sistemas de diseño asistido por computadora.* Este es un conjunto de programas de computación, generalmente empleado para dibujar piezas y conjuntos, que se agrupan en el conocido término CAD (*Computer Aided Design*). Estos sistemas pueden ser utilizados para generar modelos bidimensionales y tridimensionales. Es una herramienta muy útil en el diseño geométrico paramétrico y cuando se requiere la integración de la labor de varios diseñadores que trabajan con empleo de redes informáticas. En las versiones modernas de los sistemas CAD es posible la simulación gráfica del funcionamiento de las partes y piezas de un conjunto.

4) *Modelaciones por Elementos Finitos.* Este método tiene su base en una amplia y compleja metodología de cálculo, conocida como el *Método de los Desplazamientos*, la cual es aplicable en la búsqueda de respuesta de diversos problemas físicos en ingeniería. El *Método de los Elementos Finitos* (MEF) y sus programas permiten al ingeniero, no sólo resolver diferentes problemas de ingeniería, sino analizar y ahondar en los mismos, pues multiplica las posibilidades para trabajar de forma efectiva nuevos campos de extrema complejidad como es la modelación matemática de los sistemas de ingeniería.

Por otro lado, en la industria moderna de manufactura el proceso productivo ha requerido de la introducción de sistemas controladores e integradores del equipamiento que interviene en el fabricado y ensamble de las partes y piezas

de las máquinas. Por muy simple que sea un sistema de manufactura este pudiera requerir de la integración de máquinas de control numérico, robots manipuladores y ensambladores, líneas flexibles de transportación, sistemas de inspección y, por supuesto, de un simulador de procesos. En estos casos, es indiscutible que los simuladores gráficos constituyen una útil herramienta en el desarrollo de los sistemas integrados de manufactura.

A partir de nuevas experiencias de los autores, como profesores del curso de Sistema Integrado de Manufactura desarrollado en el bien dotado Laboratorio de Celda de Manufactura del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) en el Campus de Ciudad México, en este reporte se pretende presentar algunos ejemplos de efectivos simuladores gráficos con empleo en el desarrollo de las prácticas de laboratorio de Sistemas Integrados de Manufactura (SIM).

## 2. Sistemas Integrados de Manufactura.

El desarrollo de procesos productivos como un sistema integrado de equipos con diferentes prestaciones y funciones es sin lugar a dudas una realidad en el mundo actual.

En años anteriores, la integración de diferentes equipos para lograr la manufactura de un elemento o conjunto de piezas ensambladas se ejecutaba por los obreros con acción directa sobre las máquinas, y dependía en muy buen grado de la pericia y experiencia de los operarios; solo algunos procesos de manufactura con riesgo para la vida humana eran instrumentados de forma automatizada y cuando fuera posible por la tecnología disponible. Ejemplo de estos casos, eran relevantes en partes de los procesos de obtención del acero donde las altas temperaturas exigidas en los hornos requerían de una manipulación semiautomática de los semiproductos y manipulación en los hornos. En algunos casos, la necesidad de lograr una calidad estable de la producción en procesos repetitivos y monótonos fue fuente generadora de sistemas automatizados de producción, tal fue el caso de la industria del automóvil, en particular durante la ejecución de las carrocerías de los automóviles.

Hace no muchos años, la competencia en el mercado mundial ha creado la necesidad de disminuir los costos de producción y elevar la productividad en la manufactura de equipos y piezas, motivo por el cual los Sistemas Integrados de Manufactura con empleo de procesos automatizados han sido aplicados cada vez más. Además, las técnicas computacionales han creado facilidades para lograr estos procesos a poco costo, por ello, la mayoría de los procesos productivos en la actualidad hacen un empleo parcial o total de los Sistemas Integrados de Manufactura Automatizados.

Los Sistemas Integrados de Manufactura (SIM) con ayuda de computadoras ofrecen significativas ventajas al ser comparados con los métodos más tradicionales de control de la fabricación y los procesos de producción. Por lo general, estos sistemas conllevan la eliminación de los errores del

operador y la reducción de los costos de fabricación. Sin embargo, la precisión constante y el uso óptimo previsto para el equipo representan ventajas aún mayores que las integradas a sistemas automatizados de manufactura que reportan un menor desgaste de las cuchillas y una mayor vida útil de sus herramientas de corte que sus contrapartes tradicionales.

Adicionalmente, los Sistemas Integrados de Manufactura aprovechan plenamente el potencial de varias tecnologías al combinar una amplia gama de actividades asistidas por computadoras como el Diseño Asistido por Computadoras (CAD), la Manufactura Asistida por Computadoras (CAM), el control por computadoras de las bases de datos de existencias, el cálculo de costos por materiales y el control total de cada proceso de producción. Todo lo antes mencionado, ofrece una mayor flexibilidad al fabricante y permite responder con mayor agilidad a las demandas del mercado y al desarrollo de nuevos productos.

La flexibilidad que garantiza un Sistema Integrado de Manufactura, a la hora de enfrentar producciones variadas en volumen y cantidad de productos, hace que en la época actual las alternativas de su aplicación sean mayores que los procedimientos tradicionales o los más modernos con procesos totalmente automatizados.

En nuestros días, los programas asociados al control de los Sistemas Integrados de Manufactura hacen un amplio uso de los simuladores gráficos y proporcionan indiscutibles ventajas para operar sistemas y procesos productivos mediante la visualización de una planta virtual con posibilidad de generar múltiples opciones y situaciones reales. El elemento principal de este control es una computadora central contenedora de un programa especializado para el gobierno de los mandos de inicio y fin de las funciones de los equipos participantes en la integración y ejecutora del control programable (PLC) de las máquinas componentes del sistema de manufactura.

### 3. Los simuladores gráficos en un sistema integrado de manufactura.

Con la intención de presentar objetivamente la utilidad de los simuladores gráficos como herramientas significativas en el desarrollo de los Sistemas Integrados de Manufactura, se ha preferido ejemplificar su aplicabilidad a partir de una experiencia de los autores, como profesores del curso de Sistema Integrado de Manufactura desarrollado en el bien dotado Laboratorio de Celda de Manufactura del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) en el Campus de Ciudad México.

La experiencia en particular consistió en la ejecución del proyecto final de 20 equipos, conformados por 5 alumnos cada equipo, durante el desarrollo de 6 cursos de Laboratorio de Sistemas Integrados de Manufactura. El mencionado proyecto final tenía como tema el desarrollo de un sistema integrado para la manufactura de un conjunto

mencionadas. Por ejemplo, es bien conocido el caso de máquinas herramientas con proceso de corte por arranque de virutas manipuladas mediante control numérico (CNC) e ensamblado árbol – rueda dentada. El proyecto pretendía la ejecución en tiempo real de un proceso productivo con integración de máquinas de control numérico, robots manipuladores, línea flexible de transportación, un sistema de inspección por imagen y un simulador de procesos. Los datos de partida corresponden a la solicitud de un cliente (profesor) que informa sobre las dimensiones y materiales de los elementos componentes del conjunto ensamblado. En el proyecto, eran ejecutadas las siguientes tareas técnicas:

1. Diseño y construcción de la base-soporte de los semiproductos y piezas elaboradas.

2. Programación y definición de las locaciones de almacén y puntos de referencia en el vínculo transportador-almacén requerido por el sistema automático de almacenamiento y recuperación (Robot AS/RS).

3. Elaboración de un programa de CNC, con asistencia del simulador gráfico *FanucL*, para controlar la ejecución en un torno CNC encargado de maquinarse el árbol.

4. Elaboración de un programa de control de un *Robot Puma-500* para la necesaria manipulación de la pieza en la transferencia de posición entre la banda transportadora y el torno. Definición y manejo de las señales para el sincronismo e integración entre la banda transportadora, el *Robot Puma-500* y el torno CNC.

5. Elaboración de un programa de CNC, con asistencia del simulador gráfico *MasterCam Mill 7.0*, para controlar la ejecución en un centro de maquinado (fresadora) de la rueda dentada.

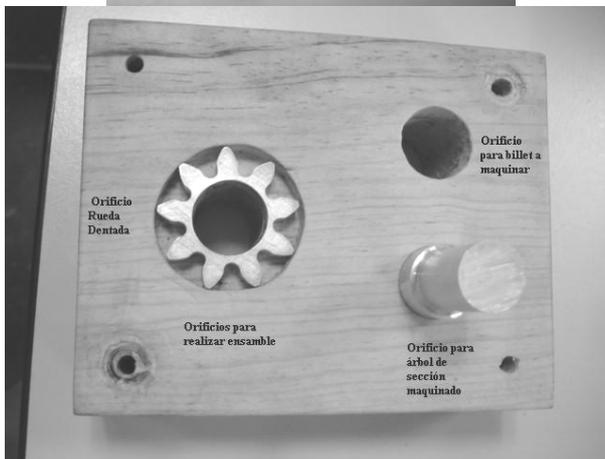
6. Elaboración de un programa de control de un *Robot Mitsubishi* para la necesaria manipulación de las piezas en el proceso de ensamble de la rueda y el árbol, con inclusión del sincronismo e integración entre la banda transportadora y el *Robot Mitsubishi*.

7. Elaboración de una imagen patrón (simulador gráfico) y de un programa integrador de la acción de inspección efectuada por el sistema de visión y la estación de trabajo que aporta la banda transportadora.

8. Integración del proceso de producción en un nivel de Celda mediante la asistencia de un simulador gráfico *AMNET*.



**Figura 2.** Prototipo del árbol y la rueda elaborada.



**Figura 3.** Base para el soporte de los elementos a ensamblar. La rueda y el árbol son de aluminio y la base de madera.

En aras de no hacer excesivamente extenso este artículo, será particularizado el uso de los simuladores gráficos en el proceso productivo antes presentado, concretándose los detalles en los simuladores gráficos *AMNET*, *MasterCam Mill 7* y el sistema de visión 866 de *Amtrol*



**Figura 4.** Autor presentando a un equipo de alumnos el sistema

*AMNET* ejecutado en la computadora central Muestra parcial de la Celda de Manufactura donde fue desarrollada la experiencia. A la izquierda y fondo *Robot AS/RS*, a la derecha y extremo superior el *Torno CNC*. La pequeña pantalla encendida (derecha extremo inferior) corresponde al visor del sistema de inspección por visión.

### 3.1 AMNET.

En los sistemas de producción complejos es de gran ayuda poder planificar y simular la producción antes de ejecutar la construcción e instalación de las máquinas que participan en el proyecto de la planta productiva. Muchas veces la instalación de las máquinas que integran un proceso de manufactura representan aproximadamente entre el 10 y 15% del costo de adquisición de los equipos, por ello es conveniente un análisis previo de la instalación y el flujo de producción. Adicionalmente, es siempre conveniente analizar diferentes situaciones que pueden ocurrir durante el proceso de producción y que requerirían de alternativas productivas como puede ser: paradas de líneas y equipos por mantenimiento, interrupciones por fallos y cambios en el proceso de manufactura, entre otros. En la actualidad, una buena herramienta para enfrentar estas situaciones son los sistemas de simulación y control de Sistemas Integrados de Manufactura.

Generalmente, los programas asociados al control de los Sistemas Integrados de Manufactura involucran cuatro pasos esenciales para la simulación gráfica y puesta en marcha de la línea de producción, denominados:

(1) *Diseño o planeación de la planta de producción.* En esta etapa son ubicados en la planta los elementos que participaran del Sistema Integrado de Manufactura, con principal énfasis en la línea de transportación, el almacén (sistema automático de almacenamiento y recuperación) y las estaciones de trabajo.

(2) *Configuración de las instalaciones de trabajo.* En este paso se brinda a la computadora central la información que describirá la posibilidad de trabajo de las estaciones de trabajo y la forma en que está efectuada la conexión física (cableado) entre los puertos del controlador programable (PLC) y las estaciones de trabajo.

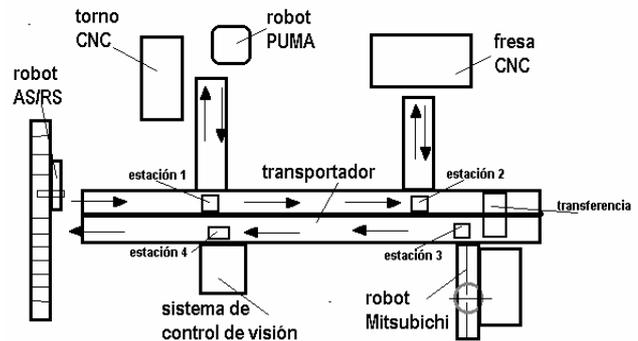
(3) *Configuración del proceso.* En esta fase se declaran las estaciones de trabajo que serán activadas, las partes y materiales necesarios para la producción que serán solicitados automáticamente a la estación almacén y se dará un indicativo al proceso.

(4) *Compilación.* En este paso es ejecutada por la computadora central una recopilación de los datos suministrados en las anteriores etapas y se desarrolla automáticamente un programa para el control del sistema integrado de manufactura. En caso de existir omisión o errores en los datos necesarios la compilación revela la improcedencia del proceso.

En la práctica de laboratorio que ha servido como base a este trabajo fue empleado un software para simular una línea de manufactura integrada por computadoras. El mencionado software es denominado *AMNET-versión 5.3* y fue producido por la compañía *Amatrol* en 1991. En particular, el *AMNET* es un programa de computación asociado al control de los Sistemas Integrados de Manufactura que permite la manipulación de aquellos elementos que participarán del proceso de fabricación y posibilita la modelación y simulación a diferentes niveles de un proceso de fabricación. Un elemento primordial de la Celda de Manufactura es la computadora central, la cual administra el PLC (control programable) y sobre la cual gobierna el programa *AMNET* con un control de la línea transportadora y de las diferentes estaciones de trabajo. Todo este control es ejecutado a partir de sensores de entrada y salida dispuestos en los diferentes puertos del PLC y que permiten la comunicación, administración y control de la secuencia de las partes y componentes del proceso productivo.

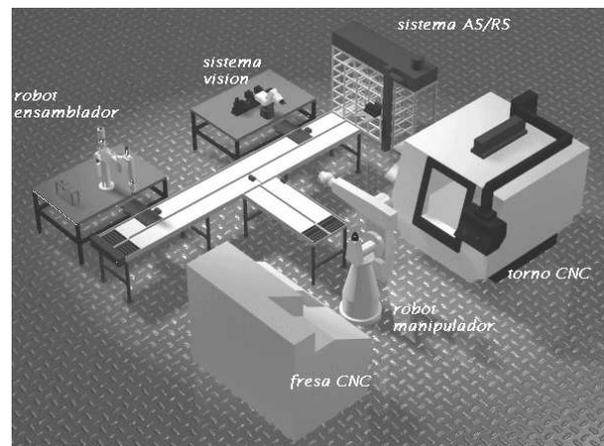
El programa *AMNET* permite la simulación de una corrida de manufactura para cualquier proceso productivo. Esta simulación permite visualizar como operará cada uno de los robots y máquinas dentro del sistema de manufactura. Este programa es vital para poder integrar todos los dispositivos con determinación de sus funciones y características dentro de la integración total. Generalmente, los desconocedores de los sistemas integrados de manufactura, no tienen una verdadera magnitud del problema que debe resolverse durante la integración de diferentes plantas, pisos y celdas de manufactura que intervienen en una producción relativamente compleja.

En el caso que se analiza, la Celda de Manufactura contiene una gran parte de las máquinas y sistemas que se emplean en la industria moderna con sistemas integrados de manufactura. El mencionado laboratorio de Sistema Integrado de Manufactura posee una estructura semejante a muchos procesos productivos actuales, con la salvedad de que este se ha instalado en una escala pequeña. En la Figura 5, se brinda un esquema en planta de la Celda de Manufactura y los equipos que participaron en el proceso productivo.



**Figura 5.** Croquis de la planta del Sistema Integrado de Manufactura empleado para la elaboración del conjunto ensamblado árbol - rueda dentada.

En la etapa de diseño de la Celda de Manufactura fue creada una representación gráfica de los elementos que fueron utilizados en la integración como fue el Robot Manipulador de Almacén *AS/RS*, el Robot Manipulador *PUMA-500*, el Torno de CNC, la Fresa de CNC, el Robot Ensamblador Mitsubishi, el Sistema de Visión y la Línea de Transporte. En esta etapa, el *AMNET* permite escoger iconos de acuerdo a como sea previsto el funcionamiento del sistema y se ubican las estaciones de trabajo en el sentido propuesto del movimiento de las piezas a fabricar y ensamblar en el transportador. En la Fig. 6, se muestra una imagen virtual simuladora de la Celda de Manufactura de referencia con los equipos empleados en el sistema integrado de manufactura.



**Figura 6.** Imagen virtual de la Celda de Manufactura.

Al *AMNET*, en la etapa de configuración de la Celda de Manufactura, se suministra la información que describirá la posibilidad de trabajo de las estaciones de trabajo y la forma en que está efectuada la conexión física (cableado) entre los puertos del controlador programable (PLC) y las estaciones de trabajos. En particular fueron definidas 5 estaciones de trabajos, y dos de ellas de transferencia.

Tabla 1 – Datos (según solicitud de preguntas del AMNET) de las estaciones de trabajo correspondiente al trazado de la Celda de Manufactura declarado en la etapa de diseño.

Estación #	1	2	3	4	5
Operación	Inventario	Torneado	Ninguna	Ensamble	Inspección
Tipo de estación	ASRS	Robot	Continuar	Robot	Visión
Forma de suministro.	N/A	Solicitar	Automática	Automática	Automática
Cant. límite de paletas	2	2	2	2	2
Forma de parada	En posición	Transferir	En posición	En posición	Transferir
Puerto #	1	2	4	5	3
Transferencia	N/A	1	N/A	N/A	2
Modo de control	No Scan	N/A	N/A	N/A	N/A

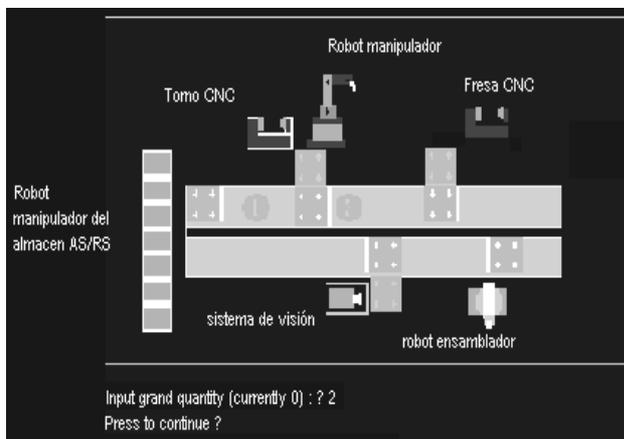


Figura 7 Simulación de la Celda de Manufactura durante la integración del sistema de producción.

Una vez ejecutada la compilación puede ser efectuada una simulación del proceso o una corrida de la línea. En particular, la simulación de la línea flexible de producción permite al usuario poner a prueba la distribución y configuración de las estaciones de trabajo y el flujo de la producción antes de poner en marcha la línea.

### 3.2. MasterCam Mill 7.0

Con el avance tecnológico, han sido desarrollados diversos tipos de máquinas herramientas que han cambiado la forma de hacer las cosas en los sectores productivos y manufactureros. Un ejemplo de este desarrollo son las máquinas de control numérico, identificadas con las siglas CNC (*Computer Numerical Control*). En la actualidad las máquinas de CNC son prácticamente equipamientos indispensables para las industrias de manufactura al enfrentar la construcción de piezas compleja, así como producciones en grandes cantidades y con un excelente acabado.

Alarma	No	No	No	No	No
--------	----	----	----	----	----

En la Fig. 7, se muestra el simulador gráfico del programa AMNET ejecutando una reproducción de la Celda de Manufactura con integración de sus componentes básicos y las estaciones de trabajo.

Una vez configurado el sistema con asistencia del AMNET es ejecutada la compilación. La compilación combina la configuración del proceso con la distribución y configuración de las instalaciones, de tal manera que la computadora central las pueda utilizar correctamente. El resultado de este proceso es un archivo que será utilizado para la posterior simulación o puesta en marcha del proceso de manufactura.

En el ambiente de control numérico, se define a un sistema controlado numéricamente, como una máquina o proceso gobernado por un programa de computación. El programa está formado por un conjunto de números y letras que siguen un estándar creado por la EIA (*Electronic Industries Association*) o la ISO (*International Standards Organization*). En general, el control numérico involucra diferentes áreas de conocimiento como dibujo e interpretación de planos, procesos de manufactura, hardware y software y lenguajes de programación entre otros. Mediante el control numérico, con instrucciones expresadas en serie de números y letras, en las máquinas herramientas son incorporadas funciones de trabajo en los equipos y descrito el control de movimientos de los útiles de cortes y piezas. Esta idea es mostrada gráficamente en la Figura 8.

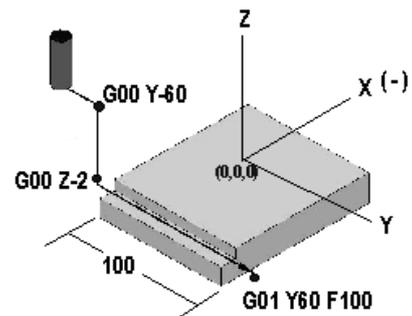


Figura 8. Demostración de códigos de CNC para el desplazamiento rápido (G00) y desplazamiento con corte de la herramienta (G01) en coordenadas absolutas. El corte se ejecuta con avance acorde con el material del semiproducto.

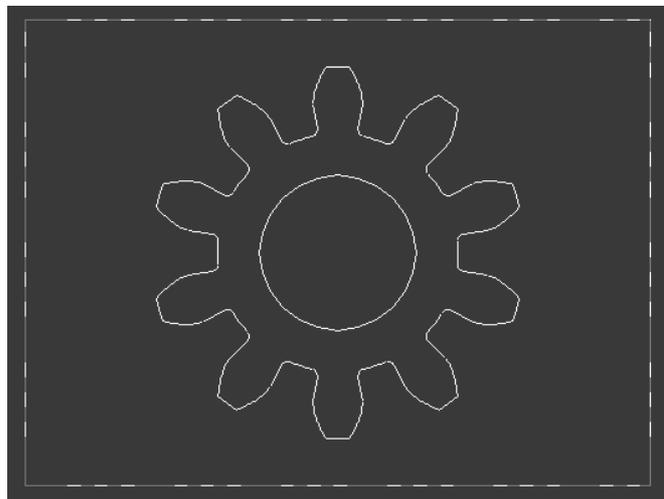
En las prácticas de laboratorio se tuvo la oportunidad de trabajar con un centro de maquinado (fresadora CNC) del tipo *Triac-Fanuc-ATC* de la firma inglesa *Denford* para el tallado de ruedas cilíndricas de dientes rectos (módulos entre 3,5 y 4,5, número de dientes entre 9 y 12).

El programa de control numérico fue elaborado con la ayuda del programa y simulador gráfico *Mastercam Mill 7*. El referido software permite la creación de un programa de CNC de manera fácil y rápida con asistencia de simulaciones gráficas de maquinados, herramientas para dibujo, bases de datos de materiales y cortadores, entre otros utilitarios. El simulador gráfico *MasterCam* es un software de avanzada en los utilitarios para el trabajo con máquinas de CNC. De antiguas variantes, en que la simulación se ejecutaba en base a un programa de CNC antes elaborado, ahora esta moderna versión genera automáticamente el programa de CNC a partir de una modelación gráfica de la pieza a construir. En particular, el programa *Mastercam Mill – 7* requiere para la generación automática del programa de CNC un conjunto de pasos básicos dirigidos a diseñar el semiproducto, definir la geometría de la pieza a producir y

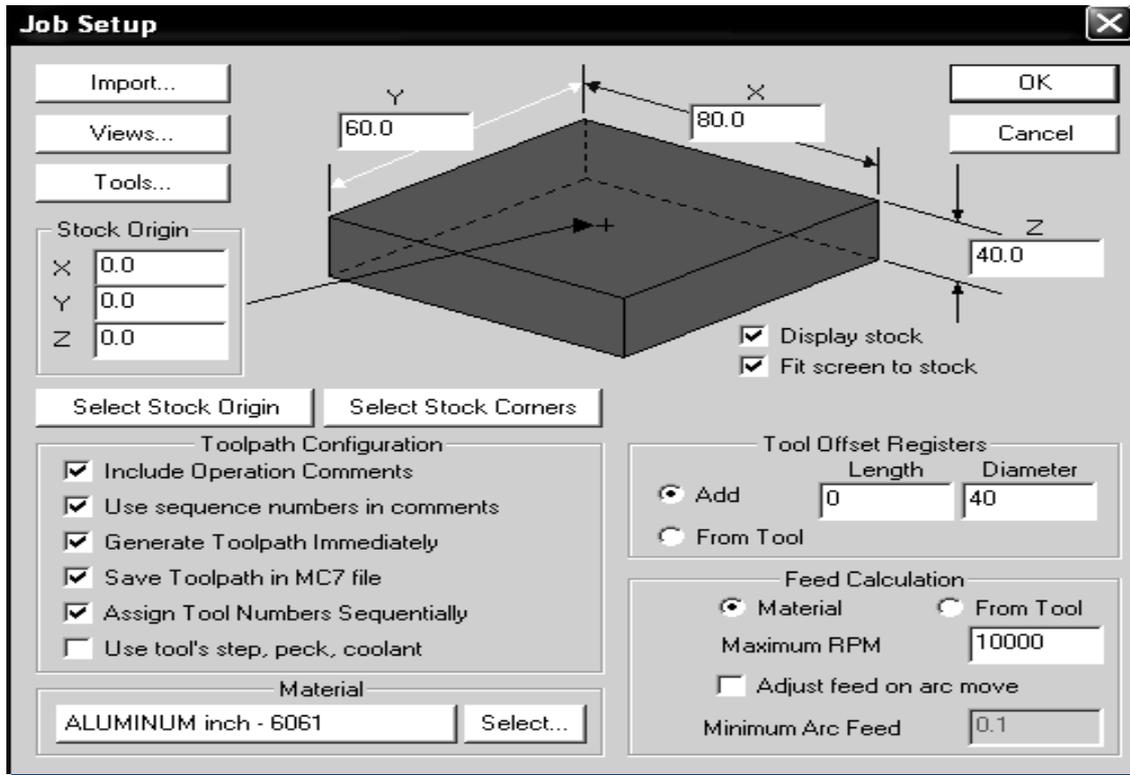
precisar la forma de ejecutar el maquinado. En las Figuras. 9 – 15 son explicados los pasos mencionados.

La gran ventaja del uso de este simulador gráfico es que permite corregir errores en el proceso de codificación del programa CNC que pueda producir una pieza errónea sin la necesidad de ejecutarla en la fresadora o romper los útiles de corte. Realmente, el simulador gráfico *Mastercam Mill-7* es una útil y potente herramienta para la generación de los programas de CNC, pues permite que usuarios con una base mínima de conocimiento sobre procesos de maquinado, como fue el caso de los estudiantes de las carreras de Ingeniería Industrial y de Sistemas de los grupos de laboratorio, puedan generar los códigos de un complejo programa de CNC como corresponde al tallado de una rueda cilíndrica de dientes rectos a partir del contorno de sus flancos

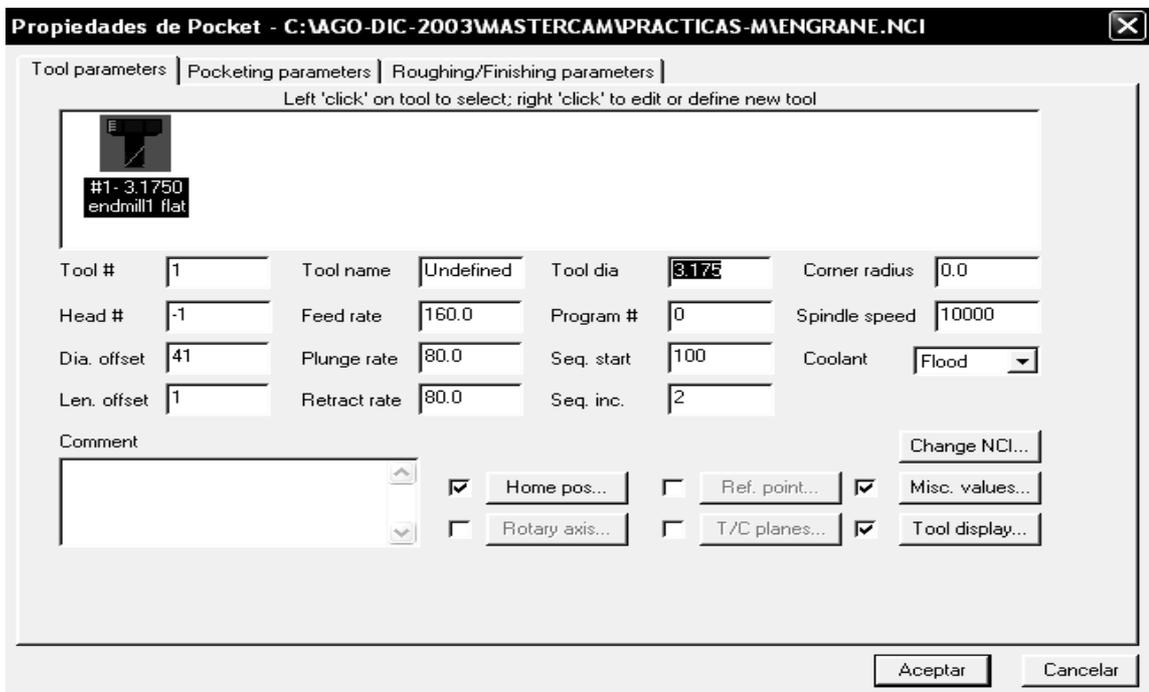
Gear Parameters	
<input type="button" value="Cancel"/> <input type="button" value="Done"/>	
Parameter name	c:\mill7\prm\ENGRANE.pr
Type of gear	<input checked="" type="radio"/> External <input type="radio"/> Internal
Roll measurement method	<input checked="" type="radio"/> External <input type="radio"/> Internal
Number of teeth	10
Number of teeth to create	<input type="radio"/> One <input checked="" type="radio"/> All
Number of pairs of arcs in involute	6
Pitch diameter	40.000
Diametral pitch	0.250
Outside diameter	48.000
Root diameter	30.744
Pressure angle	14.500
Roll diameter	6.912
Circular tooth thickness	6.283
Roll measurement	49.360
Flank angle	0.000
Root fillet type	<input checked="" type="radio"/> Specified <input type="radio"/> Full
Root fillet radius	0.837
Tip fillet radius	0.000



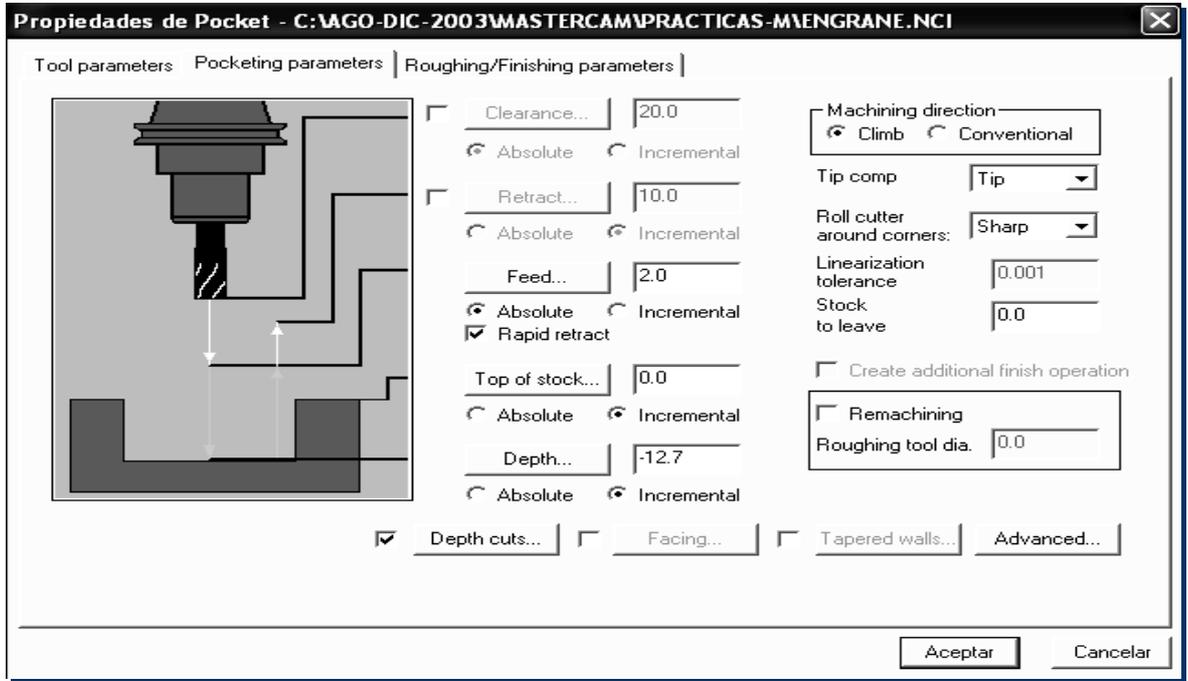
**Figura 9.** Generación de la geometría de la pieza a maquinar. Para el caso de tallado de ruedas dentadas, *Mastercam Mill* posee una subrutina de cálculo del perfil del dentado que produce una generación automática del contorno de la rueda dentada. A la izquierda se muestra el menú de entrada de datos geométricos de la rueda dentada y a la derecha la simulación gráfica de los contornos para el recortado en la fresadora.



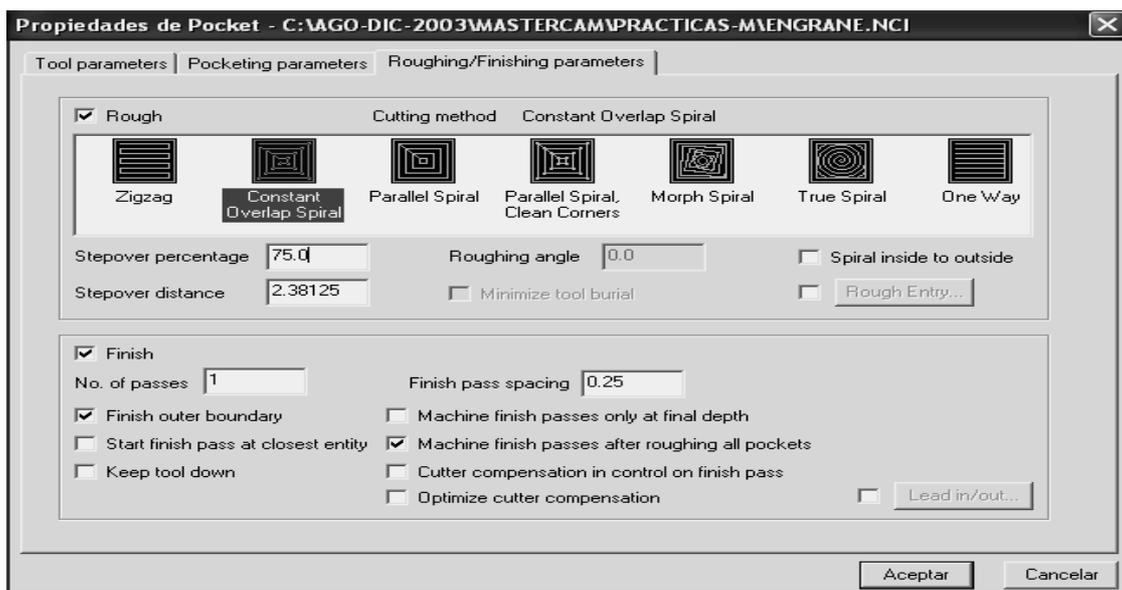
**Figura 10.** Definición de los parámetros del semiproducto. En esta etapa son especificadas las formas y dimensiones límites del semiproducto, es definida la ubicación del cero pieza, el material de la pieza y las cotas del cortador, entre otros aspectos.



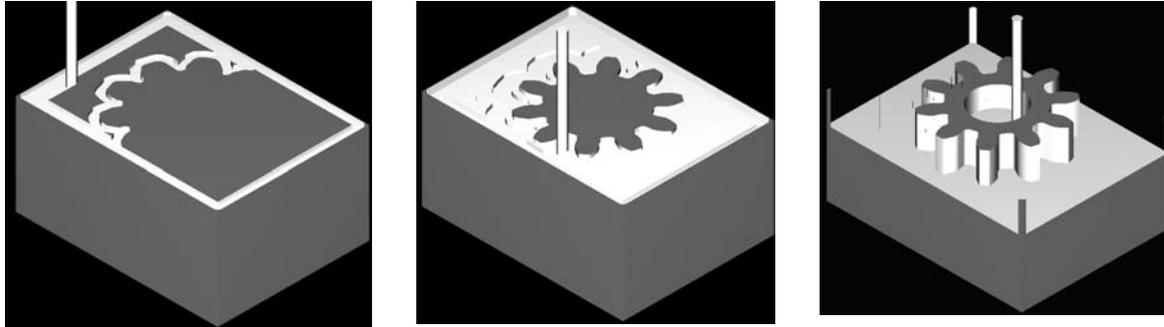
**Figura 11.** Definición de los parámetros de la herramienta de corte. En esta fase son establecidos los parámetros del cortador como diámetro, avances del corte y penetración, radio de la punta y velocidad del husillo.



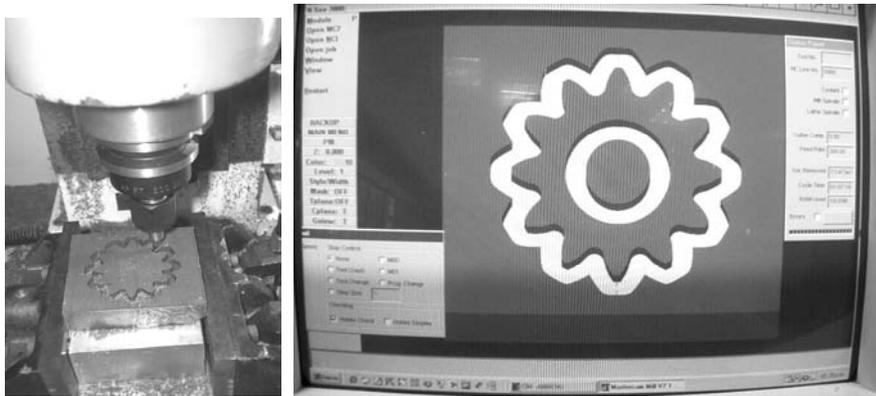
**Figura 12.** Definición de la forma del fresado. En esta etapa se establece la penetración del corte, los incrementos del desbaste y el acabado, la compensación por punta del cortador y la forma de los bordes.



**Figura 13.** Definición de la trayectoria básica del cortador. En esta fase se precisa el recorrido del cortador en el desbaste, el solape entre líneas de fresado y la cantidad de pases para el acabado.



**Figura 14.** Simulación del proceso de maquinado. En esta etapa se produce la simulación gráfica del proceso de maquinado y son observados los errores que pudieran existir en el fresado ulterior. En caso de ser aceptado el proceso de maquinado se puede orientar la generación del programa de CNC para el maquinado de la pieza.



**Figura 15.** Tallado de la rueda dentada en la fresa (derecha) con un programa elaborado con el simulador gráfico *Mastercam Mill 7*. A la derecha la simulación del fresado frontal de la rueda.

### 3.3 Sistema de Inspección por Visión.

Debido a los grandes volúmenes de producción, y a los altos estándares de calidad que demandan los consumidores actuales, las compañías de vanguardia que pretenden ser líderes han tenido que adoptar tecnologías cada vez más avanzadas para optimizar sus procesos y al mismo tiempo lograr niveles de calidad que superen las expectativas de sus clientes. Es por eso que la idea de implementar un sistema de inspección totalmente automatizado, rápido y efectivo en un ambiente de producción, ya no es una idea futurista, sino una solución del presente con los sistemas de inspección por visión. En general, un sistema de inspección por visión está basado en comparar una imagen digitalizada obtenida del producto que se analiza con una muestra patrón previamente

preparada y que tiene prefijado un porcentaje de claros-oscuros, en una zona del producto o en su totalidad. Este porcentaje o razón, permite definir si el artículo cumple con el estándar de calidad exigido. Para esta finalidad, el sistema posee una combinación de cámaras, luces, hardware y software, que funcionan en conjunto para capturar y analizar imágenes. Adicionalmente, el sistema de visión está vinculado a un programa de control que origina una integración de la inspección al sistema de manufactura y pueda ser realizada una inspección en el tiempo y lugar preciso. Finalmente, el resultado de la inspección permita el rechazo o la aceptación de partes y piezas durante el sistema flexible de manufactura (ver Fig. 16).

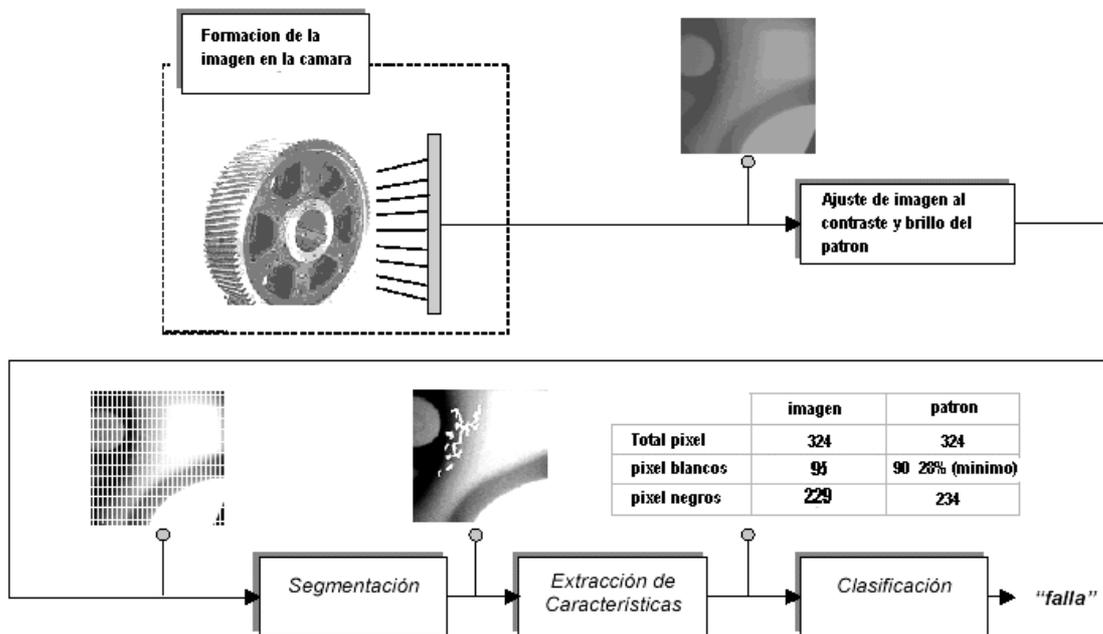


Figura 16 –Proceso de un sistema de inspección por visión con empleo del Método Binario [1].

### Método de Zona Binaria.

Por medio de este método el sistema examina la brillantez que le proporciona cada píxel de imagen, comparándola con un valor límite que define el programador. Asignando un valor 1 para los píxeles que estén por encima del nivel de referencia y un valor de 0 para los que estén por debajo de dicho nivel. Una vez realizada la asignación, los valores son promediados y el resultado se compara contra el valor límite asignado por el programador para dar como resultado una aceptación o un rechazo de la pieza. Este método asume que píxeles más claros que el valor límite sean considerados como píxeles "blancos" y píxeles más oscuros que el valor del umbral sean "negros". El uso primordial de este método de inspección es detectar la presencia o ausencia de algún elemento en el producto inspeccionado.

### Método de Grises.

Este método es similar al de método de Zona Binaria, con la diferencia de que a cada píxel se le asigna un valor de acuerdo a su brillantez en una escala continua, después de lo cual, los valores son promediados y el resultado es comparado con el valor del umbral. Este método permite medir diferentes niveles de gris dentro del producto.

### Detección de Contornos.

Este método de inspección, encuentra el contorno de un objeto por comparación de brillo u oscuridad de las áreas adyacentes a ésta. Una muestra del contorno es seleccionada previamente por la persona que generó la muestra patrón y almacenada en la computadora para ser utilizada como referencia en el momento de la inspección.

### Método de Calibre de Medición.

Este método se utiliza para realizar una medición lineal, con base a una escala, del artículo o producto bajo inspección. Al realizar el ajuste del patrón debe ser creada una línea de medición que será utilizada como estándar al momento de estar realizando el proceso físico de inspección. El sistema de visión toma en cuenta automáticamente la brillantez de los píxeles en los extremos de la línea de medición y en el momento de la inspección compara esa brillantez previamente obtenida con la de los píxeles que en ese momento está captando la cámara y determina si el producto se acepta o se rechaza.

### Experiencia Docente.

En particular, el sistema de inspección utilizado en la experiencia relatada en este trabajo hace uso del sistema visual 866 de Amatrol. El referido sistema basa su funcionamiento en una descomposición de la imagen en centenares de elementos individuales llamados *píxeles*, los cuales pueden ser caracterizados por un nivel de brillo y color particular. El sistema visual 866 permite el análisis de las muestras mediante los 4 procedimientos descritos anteriormente (2).

La solución aplicada para el sistema de inspección por visión fue conceptualizada para trabajar y cumplir con los requerimientos de un ambiente a nivel de Celda de Manufactura. El sistema de inspección fue aplicado al finalizar el ensamble de la rueda y el árbol. La mayoría de las prácticas de laboratorio fueron ejecutadas con los métodos en base al sistema binario o de grises. Los alumnos mostraron preferencia por el método de grises, considerando la facilidad de la opción de analizar un área correspondiente al soporte de madera con una coloración oscura, lo que facilitaba el análisis de contrastes de grises pero dificultaba el estudio en el caso de un

procedimiento binario. Algunos alumnos más audaces, fueron capaces de realizar una inspección de la zona del ajuste rueda/árbol y del perfil de los dientes con el método de detección de contorno.

La particularidad de los sistemas de inspección visual basa su trabajo en la simulación mediante una imagen de la pieza ideal (patrón) que es comparada con otra simulación gráfica de la pieza manufacturada. Demostrando una vez más, la utilidad de los simuladores gráficos como herramientas indispensables para el desarrollo de sistemas integrados de manufactura.

#### 4. Conclusiones.

La simulación de un proceso productivo en la actualidad ha sido un área de gran desarrollo dentro de la ingeniería de software, gran cantidad de paquetes están disponibles en el mercado para realizar esta labor. En particular, mediante la simulación gráfica se tiene la enorme ventaja de analizar como operará el sistema productivo y sus partes antes de su puesta en marcha y corregir cualquier error o dificultad durante el sistema de producción. En este sentido, los simuladores gráficos son valiosas herramientas en el desarrollo de Sistemas Integrados de Manufactura según puede ser apreciado en los ejemplos presentados en este trabajo.

La futura evolución incluirá la integración aún mayor de sistemas de realidad virtual, que permitirá a los diseñadores e ingenieros de la producción interactuar con los prototipos virtuales de los productos mediante la computadora, en lugar de tener que construir costosos modelos o prototipos simuladores para comprobar su viabilidad. También el área de

prototipos rápidos es una evolución de las técnicas de CAD/CAM, en la que las imágenes informatizadas tridimensionales se convierten en modelos reales empleando equipos de fabricación especializados, como por ejemplo un sistema de estereolitografía.

#### 5. Agradecimientos.

Los autores agradecen a sus alumnos de Ingeniería Industrial y Sistemas del ITESM en el campus de Ciudad México por la motivación y entera dedicación al desarrollo de los Proyectos Finales de Integración en el curso de Laboratorio de Sistemas Integrados de Manufactura de los cursos académicos 2002 – 2003 y 2003-2004, en particular a las alumnas Sandra Galindo y Ximena Álvarez por su esmerada colaboración y asistencia en la preparación del presente trabajo. El reconocimiento al técnico Rogelio Escamilla por su dedicación y entusiasmo al garantizar un funcionamiento óptimo de la Celda de Manufactura y su valiosa ayuda en los problemas técnicos, y gracias a la Dirección del Departamento de Ingeniería Mecánica del ITESM-CCM por hacernos participe de su trabajo académico.

#### 6. Bibliografía.

- 1 - Mery, D.; Inspección Visual Automática. Disponible en el sitio <http://www.diinf.usach.cl/~dmery> (2002)
- 2 -Theuss Thomas, Escamilla Rogelio. Manual de Practicas de la celda de manufactura, ITESM CCM 2001.

---

## —An educational experience with graphical simulators in course of Computer Integrated Manufacturing.

### Abstract.

In the work some examples of graphical simulators are presented as important tools in the development of an educational activity in a Cell of Manufacturing during a course of Computer Integrated Manufacturing. In this experience, was developed an integration of CNC machines, robots, conveyor flexible lines, inspection systems and software for direction of all processes.

**Key words:** Computer Integrated Manufacturing, CIM, CAD, graphical simulators, AMNET, MasterCAM, visual inspection.