

# MODELO ISO 10303-STEP PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL ACCESO A DATOS DE PROCESOS EN NUEVOS SISTEMAS DE FABRICACIÓN STEP-NC

Julio Garrido Campos, Ricardo Marín Martín, José Ignacio Armesto, Juan Sáez López  
Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática  
E.T.S. Ingenieros Industriales. Universidad de Vigo  
{jgarri, marin, armesto, juansaez}@uvigo.es

## Resumen

*Las features o geometrías mecanizables de un producto son el recurso tecnológico central para la integración de sistemas CAD/CAM. El nuevo Standard ISO 10303-AP238 (STEP-NC) abre nuevas posibilidades para la comunicación de datos entre sistemas CAD/CAM y sistemas de fabricación CNC al enriquecer los programas CNC tradicionales (según la norma ISO 6983), que se limitan a especificar cómo fabricar (how to do), con información de features (what to do). Este artículo propone una extensión del modelo de información STEP-NC con la definición de nuevas estructuras de datos y nuevas funciones NC para contemplar capacidades de acceso a datos en los procesos de fabricación CNC siguiendo el paradigma de mantener el enlace con las features. El objetivo es habilitar el acceso a información en tiempo real del proceso de mecanizado que apoye a otras actividades avanzadas como la trazabilidad o la realización y desarrollo de los llamados procesos de mecanizado closed loop en sistemas basados en STEP NC. Como casos de ejemplo, el artículo presenta la supervisión del tiempo de ejecución de las operaciones de mecanizado programadas para una feature y la medida de la desviación del feedrate en los segmentos del toolpath programados para mecanizar dicha feature.*

**Palabras Clave:** Automatización, modelos CAD/CAM/CNC, Sistemas de fabricación, trazabilidad, ISO 10303 STEP.

## 1 INTRODUCCIÓN

### 1.1 AVANCES EN SISTEMAS DE FABRICACIÓN CAD/CAM/CNC

En la actualidad, los sistemas CAD (*computer aided design*), CAM (*computer aided manufacturing*) NC (*numerical controller*) son ampliamente empleados en la industria. Aunque en los dominios CAD/CAM

se ha producido avances significativos en la última década, los programas para Controladores Numéricos siguen siendo todavía definidos usando la norma ISO 6983. Este Standard está basado en una serie de códigos G&M que representan comandos básicos de movimiento y especificación de parámetros de mecanizado [1].

Aunque la norma ISO 6983 es globalmente utilizada, supone un cuello de botella porque la información comunicada al controlador CNC se limita a información de cómo hacer (*how to make*), sin información sobre la pieza que se está haciendo, y su modelo de datos no está integrado con el los de sistemas CAD, CAPP (*computer-aided process planning*), CAM y CNC [18].

STEP AP-238 [12], informalmente conocido, junto con el ISO 16149 [10], como STEP-NC [9], es una extensión de STEP (ISO 10303: *STandard for the Exchange of Product data models*) [11] para contemplar, de forma integrada y estándar, la programación de sistemas CNC. El AP-238 es un nuevo lenguaje de programación orientado a objetos para sistemas CNC definiendo una interfaz o modelo de información más rica para el intercambio de datos entre los sistemas de diseño CAD/CAM y los CNCs que el Standard actualmente en uso ISO 6983 [21].

STEP-NC proporciona información de alto nivel al CNC describiendo no solamente cómo hacer (trayectorias de herramienta, velocidades, tipo herramienta), sino también información acerca de qué se está haciendo (descripción geométrica de la resultado e información tecnológica) [16][19]. Esto facilitará el desarrollo de una nueva generación de controladores CNCs más capaces de desarrollar funciones inteligentes y proporcionar nuevos servicios avanzados [19][22].

### 1.2 NUEVOS SERVICIOS EN SISTEMAS DE FABRICACION DISGREGADOS: TRAZABILIDAD

La investigación en la fabricación colaborativa y disgregada se ha centrado en los procesos para los

flujos de datos descendentes (desde CAD/CAM al CNC), tratando de encontrar soluciones a problemas tradicionales de intercambio de datos a lo largo de la cadena de suministro, como por ejemplo: problemas para la interrelación de datos de productos, visibilidad, calidad de los datos, integridad, etc. [20]. Sin embargo, nuevos requerimientos económicos como la fabricación flexible de productos hechos a medida y bajo pedido, de dispersión geográfica y diversidad tecnológica de los procesos de fabricación (distintas entidades pueden usar distintos sistemas de CAM y de CNC), y legales (mayores requerimientos de control de calidad), hacen necesario tener en cuenta nuevos requerimientos de información y su integración en entornos de colaboración amplios y flexibles. Así, resulta cada vez más necesario que información generada en la planta esté disponible para sistemas CAD, CAPP, y CAE [5]. Se requieren pues flujos de datos ascendentes que permitan que los sistemas de bajo nivel se integren con otros procesos de más alto nivel en entornos de fabricación colaborativos.

La trazabilidad de las actividades de fabricación es uno de estos procesos donde los datos monitorizados en planta, como resultado de requerimientos que vienen de sistemas de diseño, tienen que estar a disposición de otros sistemas de ingeniería (flujo de datos bi-direccional). La trazabilidad se puede definir como un conjunto de prácticas para el registro de información relevante acerca del proceso de fabricación [16], para su posterior análisis en caso de fallo del producto. Centrándonos en la fabricación CNC, información relevante puede ser la de tiempos empleados en cada operación de fabricación, información acerca de recursos empleados, acerca de variables del proceso absolutas o relativas, como las desviaciones sobre las trayectorias reales seguidas por la herramienta sobre las calculadas, etc.

Los mecanismos de trazado y rastreo (*tracing* y *tracking*) permiten entonces la revisión de los datos

de trazabilidad e identificar, una vez fabricado el producto, los demás productos fabricados en las mismas condiciones que las del producto defectuoso.

La dispersión de los procesos, la globalización, hace que las entidades que diseñan los productos no sean las que finalmente los fabrican. Sin embargo, las primeras son las responsables del producto de cara al mercado y, por tanto, las responsables de un proceso de trazado y rastreo en caso de defectos. La trazabilidad ya no es vista como un proceso interno, sino que ha de realizarse de forma coordinada por todos los integrantes de la cadena.

El artículo aborda la integración y automatización de tareas de trazabilidad en cadenas de suministro CAD/CAM/CNC, aprovechando el lujo de datos descendentes armonizado según las *features* STEP y del conocimiento compartido de las mismas por los sistemas a distintos niveles (Figura 1). La realización de estas tareas resulta en un flujo de datos extendido caracterizado por una bidireccionalidad entre sistemas de diseño CAD/CAM y sistemas de CNC de planta. Lo más importante de este flujo es su carácter estándar, que hace que estos sistemas heterogéneos de alto y bajo nivel, puedan comunicarse e interpretar automáticamente los datos, tanto los datos descendentes como los ascendentes. Mediante el flujo de datos descendentes, los requerimientos de configuración de la trazabilidad (flechas 2 y 3 en la figura 2) se comunican desde los sistemas de diseño a los sistemas de planta. Estos requerimientos son automáticamente interpretados en los sistemas de planta y como resultado se automatizan las tareas de acceso a datos y su registro (flecha 4 en la figura 2). Los datos registrados (enlazados con la información estándar de *features* del producto: flecha 5 en la figura 2) pueden seguir el camino ascendente para ser gestionados por los sistemas de alto nivel.

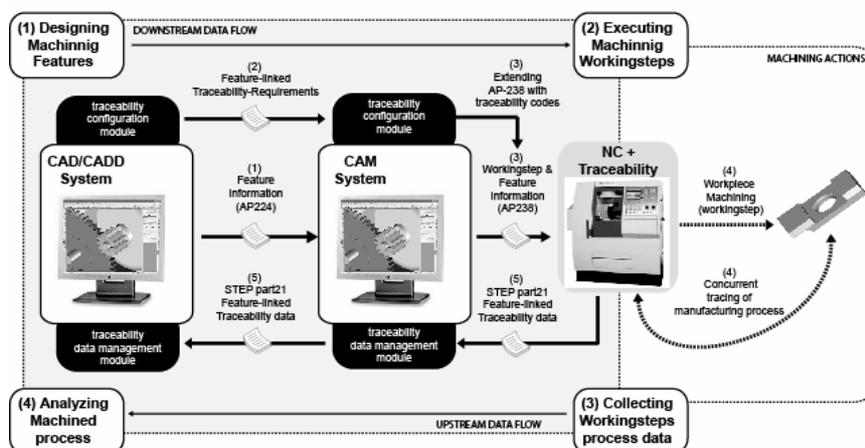


Figura 1: Actividades en entornos distribuidos: Acceso a datos y trazabilidad.

### 1.3 SISTEMAS CNC DE FABRICACION CLOSED LOOP

Por otro lado, las llamadas técnicas de mecanizado *closed loop* se basan en la ejecución de tareas de inspección geométrica realizadas después de que las *features* han sido mecanizadas [3]. Estas inspecciones se realizan por medio de palpadores (*touch probing*) que analizan las *features* mecanizadas de la pieza y las comparan con las diseñadas [18], para decidir si es necesaria una reparametrización del mecanizado y la realización de operaciones adicionales de corrección y acabado. Sin embargo, hay un interés creciente en el acceso a datos del proceso de fabricación de estas *features* en tiempo real [4]. Esta información podría ser usada en procesos de *closed loop* [8] que no respondan únicamente a los datos obtenidos a través de palpadores, sino según datos registrados durante la fabricación, como por ejemplo la desviación entre la trayectoria deseada para la herramienta y la realmente monitorizada a través de los *encoders*. Es ésta una de las funcionalidades con las que se quiere dotar a nuevas implementaciones de STEP-NC.

### 1.4 NUEVAS FUNCIONES NC PARA LA ATOMATIZACION DEL ACCESO A DATOS DE PROCESO

En este contexto de colaboración e integración entre sistemas CAD/CAM y sistemas CNC, el problema es cómo especificar al controlador que tiene que realizar tareas de acceso a datos (bien para llevar a cabo trazabilidad o para apoyar a procesos de *closed loop*), y cómo interpretar correctamente estos datos por otros sistemas distintos del controlador. Este artículo presenta cómo establecer flujos de datos bidireccionales en sistemas CAD/CAM/CNC y cómo automatizar las tareas de registro de datos por parte de los controladores CNC en entornos de fabricación bajo el Standard ISO 10303-STEP.

El artículo propone una aproximación al acceso a datos y la trazabilidad basada en *features* para integrarlas con otros procesos de diseño y fabricación que utilicen igualmente la información *features* en formato STEP como hilo conductor de la colaboración e integración de sistemas de diseño y fabricación.

Estos entornos STEP ("*STEP manufacturing suite*") se describen en la sección 2 del artículo. Con esta aproximación de trabajo colaborativo, el artículo propone el traslado de requerimientos de información de acceso a datos y trazabilidad a nuevas funciones NC especificadas en los diseños CAM y directamente interpretables durante el mecanizado (secciones 3).

Estas nuevas funciones se han propuesto dentro del comité ISO TC184/SC4 WG 3 T24 (responsable del desarrollo de las partes de STEP relacionados con datos de fabricación: *manufacturing*), y en la actualidad se está discutiendo su posible inclusión en la segunda edición del Standard.

Finalmente, la sección 4 es una implementación prototipo para la realización de trazabilidad de la fabricación en un entorno de fabricación STEP: desde la especificación de requerimientos en la fase de diseño, a la recolección automática de datos y su procesado.

## 2 SISTEMAS DE FABRICACION STEP: "STEP MANUFACTURING SUITE" O "STEP ENABLED MANUFACTURING"

Las tecnologías de la información y los avances en las tecnologías de Control Numérico están permitiendo la migración de sistemas cerrados CAD/CAM/CNC a entornos de colaboración distribuidos. Esto permitirá a usuarios geográficamente distantes y dispersos trabajar conjuntamente y de forma dinámica en el desarrollo de geometrías CAD, en tareas relacionadas con CAM y en mecanizado CNC [3][13], resultando en sistemas de fabricación DABA (*design anywhere build anywhere*).

STEP ha sido ampliamente empleado como tecnología para el intercambio de ficheros de datos entre sistemas en el mismo dominio: por ejemplo entre sistemas CAD heterogéneos. Sin embargo, STEP es un Standard en expansión y se están desarrollando nuevos modelos de datos para cubrir sistemas de ingeniería CAD/CAM/CNC. Estos modelos de datos, también conocidos como Protocolos de Aplicación (*Application Protocols: APs*), definen conjuntos de datos interpretables electrónicamente de información de ingeniería de productos [21] y que pueden ser fácilmente compartidos y comunicados empleando tecnologías de la información.

De entre ellos, uno de los más recientes es el modelo AP-238 para controladores de control numérico (*application interpreted model for computerized numerical controllers*), también conocido como STEP-NC. Todos estos modelos relacionados con fabricación intervienen en los llamados sistemas o entornos "*STEP-enabled manufacturing systems*", con modelos de datos que van desde el diseño CAD (AP-203) al modelo para programación CNC (AP-238).

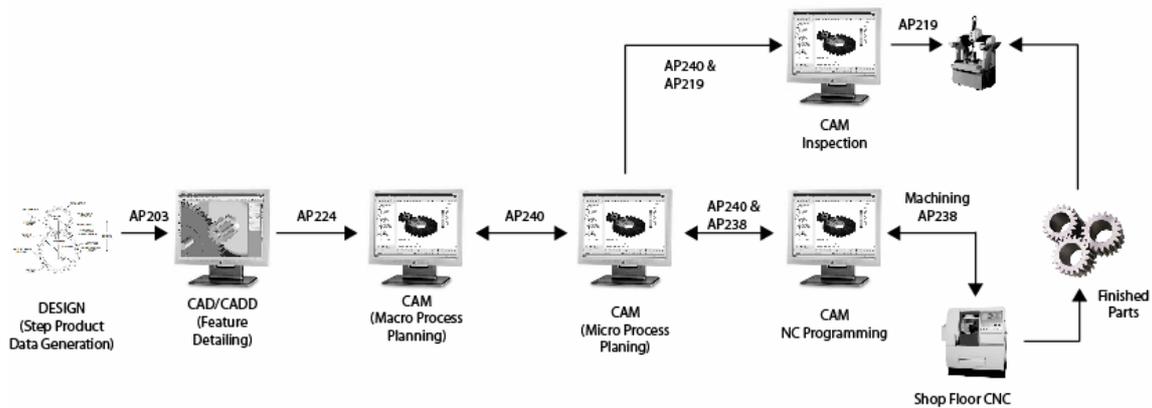


Figura 2: Escenario STEP de diseño y fabricación de piezas mecanizadas.

Los datos de los productos se organizan en las llamadas unidades funcionales (*UoF, units of functionality*), que cubren requerimientos de información específicos a distintas actividades. Protocolos de aplicación relacionados comparten Unidades Funcionales armonizadas que hace posible conseguir un alto grado de eficiencia en la integración, interoperabilidad e intercambio de datos entre sistemas de fabricación [7]. La información de características de fabricación (*features*) ha sido armonizada en una UoF común que es usada por los APs del “STEP manufacturing suite”. El uso de estos protocolos de aplicación con *features* armonizadas evita la necesidad de transformar información sobre estas *features* con el riesgo de corrupción y pérdida de la información que ello conlleva. El resultado es un flujo de información de entrada y salida en formato STEP desde los sistemas de diseño y planificación de procesos hasta los sistemas de fabricación, permitiendo un intercambio directo y una mayor conexión de la información (sintaxis STEP) entre sistemas CAD/CAM y CNC.

La Figura 2 muestra este escenario de implementación (todavía en desarrollo en muchas de sus partes) para la fabricación y ensamblado de partes mecánicas diseñadas teniendo en cuenta las características de fabricación (*features*) [15]. El flujo de datos de la figura 2 puede describirse como sigue:

- En la primera fase de diseño, el diseño del producto se especifica empleando el AP-203 Ed2. El AP-203 incluye toda la información geométrica del producto así como información básica de gestión PDM (*product data management*). Sin embargo AP-203Ed2, no incluye información de *features* de fabricación. Es necesario procesar los datos geométricos del AP-203 e identificar el diseño de las *features* para producir los datos necesarios para su

mecanización. El resultado es un diseño de datos AP-224 que contiene ambos, la información geométrica del AP-203 además de la información de las *features*.

- A partir del diseño AP-224, los sistemas CAM pueden realizar procesos de planificación de tareas. El protocolo AP-240 podría ser usado para especificar el “*macro process planning*” (información sobre facilidades, controladores numéricos disponibles, y la distribución del trabajo).
- A nivel de planta, el Protocolo de Aplicación AP-238 se usa para realizar el “*micro process planning*”. Esto significa la creación de programas para ser interpretados por controladores CNC para mecanizar una pieza con *features* descritas por el AP-224, pero manteniendo la relación entre la información geométrica de las *features* y las operaciones de mecanizado programadas.
- El uso de información de *features* armonizada dentro de STEP a través de sistemas CAD/CAM/CNC, hace posible el desarrollo de otros Protocolos de aplicación STEP basados en *features*. Por ejemplo, el AP-219 para la inspección geométrica de los productos mecanizados en máquinas CMM (*Coordinate Measurement Machines*).

La figura 2 muestra que el desarrollo se ha producido principalmente en el flujo de datos descendente desde los sistemas CAD/CAM hacia los sistemas de manufactura en planta. Sin embargo, la integración completa de los sistemas debería atender a nuevos requerimientos de colaboración basados en nuevos flujos de datos que partan del bajo nivel (de planta) y que fluyan hacia los sistemas de alto nivel de CAD/CAM. Estos datos tienen que ser recogidos por la máquina NC mientras mecaniza la pieza, y esto supone la realización de tres actividades: reconocer qué información es requerida, recoger dicha información y guardarla. En entornos de fabricación

dinámicos, estas actividades deberían ser realizadas de forma automática y no afectar al proceso de fabricación.

El artículo define la automatización de estas tareas a través de la definición e implementación por parte de las máquinas de nuevas funciones NC para acceso a datos y trazabilidad. La siguiente sección introducirá las funciones NC (*nc\_functions* en el Standard AP-238) tal como están definidas de forma general en el Standard, y cómo podrían ser modificadas para soportar actividades automáticas de acceso a datos-trazabilidad.

### 3 ESTRUCTURAS DE CONTROL EN STEP-NC Y EXTENSION DE LAS FUNCIONES NC.

#### 3.1 EL LENGUAJE DE PROGRAMACION STEP-NC

STEP-NC (STEP AP-238) extiende el Standard STEP para cubrir requerimientos de información necesarios para la programación de sistemas NC para varias tecnologías (fresado, torneado, etc). En STEP-NC estos requerimientos de información se organizan alrededor de un conjunto de Unidades Funcionales (UOFs) cubriendo datos geométricos (*workpiece*, *geometric tolerances*, *toolpath*, *manufacturing features...*), estructuras de control para el programa ejecutable (*executable*), información de tecnologías y otro tipos de datos (*management*) [6]. Los programas STEP-NC pueden definir un conjunto de tareas complejas estructuradas (*workingsteps*) para mecanizar las *features* de una pieza. Esta organización de tareas se modela dentro de la unidad funcional *executable* que se muestra en la figura 3 en forma de diagrama EXPRESS-G.

La unidad funcional *executable* especifica los requerimientos de información necesarios para describir el flujo de control de un programa de mecanizado, así como algunas acciones que no son de mecanizado pero que pueden ser realizadas por el CNC. Su entidad base es la entidad *executable*, de la cual derivan otras entidades que describen las acciones. Estas entidades derivadas se pueden clasificar en tres tipos de objetos:

- *Workingsteps* describen operaciones de fabricación o de preparación que suponen movimientos de ejes. Se ejecutan sobre una pieza (*workpiece*) y son los bloques formales principales para un programa NC.
- Las funciones NC, por otro lado, describen operaciones puntuales de encendido y

apagado o de eventos singulares que no suponen el movimiento de ejes.

- Las estructuras de programación se usan para construir bloques lógicos y para la estructuración de las operaciones de fabricación. Estas estructuras de programa tienen ascendencia sobre la secuencia real de fabricación, y la más importante de ellas es el *workplan*, que permite combinar varios *workingsteps* y funciones NC ordenados secuencialmente.

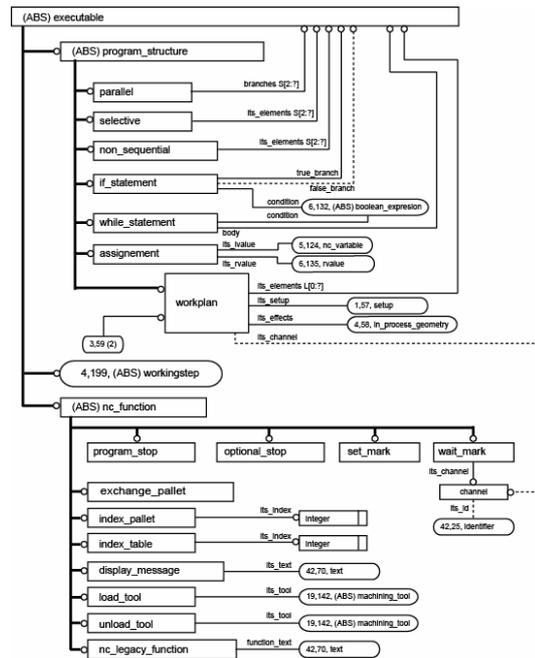


Figura 3: Estructuras de control en la Unidad Funcional *executable* de STEP-NC.

Además, como puede verse en la figura 3, la unidad funcional *executable*, permite el diseño del programa de acuerdo a estructuras más complejas. La naturaleza recursiva de la figura 3 se puede explicar mejor a través de la entidad *workplan*, que es una lista de elementos estructurales ejecutables: estos pueden ser *workingsteps*, funciones NC o incluso otros *workplans*.

#### 3.2 MODELO EXTENDIDO PARA FUNCIONES NC

El modelo propuesto para implementar el acceso y registro de datos, bien para trazabilidad o para fabricación *closed loop*, programados dentro del lenguaje de programación STEP-NC, utiliza dos elementos ya presentes dentro de los recursos de programación definidos por STEP-NC: entidades *nc\_function* y *nc\_variable*.

- Las Funciones NC (*nc\_function*) son operaciones que pueden ser realizadas por

un controlador NC pero que no suponen movimientos de ejes.

- Las variables NC de STEP (*nc\_variable*) son una clase especial de entidades que pueden modificar su valor durante la ejecución de un mecanizado.

La figura 4 muestra como las funciones NC propuestas de acceso a datos-trazabilidad se incorporan dentro del modelo STEP-NC. Las funciones han sido divididas en tres grupos. Las funciones del primer grupo son funciones empleadas para describir acciones no concurrentes de recolección de datos como: recoger tiempo de ejecución, el código que identifica al material base, de la máquina o de la herramienta actualmente en uso, etc. (desde *get\_time* hasta *get\_sensor\_data*, en la figura 4). Estas funciones son funciones bloqueantes o modales. Cuando están insertas en un programa y mientras son ejecutadas, el CNC no puede realizar la siguiente acción hasta que se complete la función de trazabilidad. Las funciones del grupo I se emplean para recoger valores individuales. Estas funciones ponen el valor en una variable nc donde puede ser revisado en tiempo real o por otra aplicación que lee los datos una vez finalizada la fabricación.

Las funciones del Grupo II se dividen en pares de funciones para el comienzo y la detención de procesos (*start\_measuring\_.../stop\_measuring\_...*). Estas funciones monitorizan la ejecución de los *tool paths* y permiten a una aplicación hacer chequeos posteriormente. Por definición, estas funciones solamente se aplican a acciones que tienen un *tool path* y ponen sus resultados en estructuras de datos compatibles con el tipo de datos *bounded curve*, de forma que pueden ser analizados posteriormente por una aplicación que leerá los datos del sensor y hará comparaciones con el correspondiente *tool path*. Las posibles variables a ser accedidas para ser trazadas o evaluadas en un proceso *closed loop* puede ser enorme [2]. Por ello, la propuesta del artículo, que coincide con la presentada en el seno del comité ISO responsable del desarrollo del Standard, dedica una serie de funciones específicas a medir, en tiempo real, la máxima desviación en segmentos de la trayectoria de herramienta, de las variables de mecanizado más significativas y que además tienen, dentro del fichero AP-238, un valor pre-establecido para dicho segmento, como por ejemplo:

- start\_measuring\_maximun\_deviation\_position\_along\_toolpath*
- start\_measuring\_maximun\_deviation\_feedrate\_along\_toolpath*
- ...

pero deja abierto el acceso a cualquier otro valor de sensor o variable interna a través de la función:

- start\_monitoring\_sensor\_data\_along\_toolpath*

Finalmente, las funciones del Grupo III extienden las funciones del II añadiendo la posibilidad de lanzar acciones en caso de que una condición se cumpla. El propósito es enriquecer las operaciones *closed loop* de STEP-NC para ser capaz de reaccionar “en proceso en tiempo de fabricación” según los datos monitorizados.

La siguiente sección mostrará, a modo de ejemplo, como la función propuesta *get\_time* puede ser utilizada en un caso de aplicación para registrar los tiempos de ejecución de un *workingstep* y como usar estos datos para implementar una operación simple de *closed loop*.

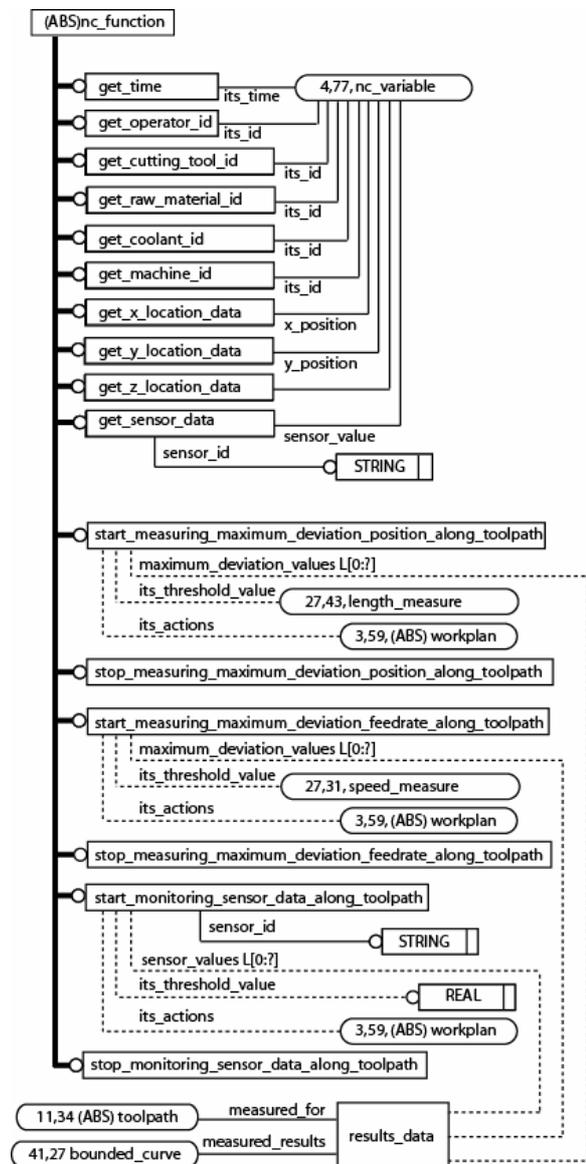


Figura 4: Algunas de las nuevas Funciones NC propuestas para el acceso a datos para el Standard STEP AP-238.

## 4 VALIDACION PRACTICA

Un escenario prototipo de ejemplo ha sido desarrollado para demostrar el funcionamiento práctico de las funciones NC propuestas en la sección 3. Como herramientas centrales de desarrollo se han empleado “STEP Tools NC-Explorer” y “STEP-NC dll” [17], con los que se procesa ficheros AP-238 y se han programado las interfaces para trabajar con las funciones propuestas. Estas interfaces se han codificado empleando el lenguaje de programación C++ junto con las librerías de “STEP Tools Developer 11”, [17] bajo MS Visual Studio .Net.

Se han realizado tres módulos principales. El primero es un módulo de configuración, compuesto de un bloque data extractor, un bloque configurador y un bloque de parser. El bloque de data extractor lee e interpreta código (ficheros) AP-238. Con esta información, el bloque configurador hace posible establecer los requerimientos de información (de trazabilidad) directamente sobre los elementos geométricos de la pieza (por ejemplo, establecer condiciones de *closed loop* y funciones de recogida de datos de determinadas *features*). Finalmente, el bloque parser traslada estos requerimientos en las funciones NC y estructuras de control correspondientes, insertándolas en el diseño original de AP-238 y generando un AP-238 extendido. El segundo módulo es un simulador nativo un CNC bajo STEP-NC que es usado para chequear y simular la ejecución del fichero extendido AP-238 generado anteriormente, tal y como será descrito en la subsección 4.2. Finalmente, un tercer módulo ha sido realizada para la visualización y revisión de los datos (presentado en la subsección 4.3).

### 4.1 CONFIGURACION: ESTABLECIENDO REQUERIMIENTOS EN EL DISEÑO CAM AP-239

El proceso de configuración permite, básicamente, la selección por parte del diseñador de los valores que se quieren monitorizar o registrar, y especificar acciones dependiendo de los valores medidos (por ejemplo, usarlos para acciones de *closed loop*, de análisis de datos, de trazado). Este módulo ha sido integrado con STEP Tools STEP-NC explorer para proporcionar un interfaz de usuario gráfica y completa, aunque también se han desarrollado configuradores completamente nativos. Por lo tanto, este módulo hace posible identificar y seleccionar de forma gráfica cada una de las *features* de una pieza y sus correspondientes *workingsteps*, y configurar una serie de parámetros para ser monitorizados y registrados durante la ejecución de los *workingsteps* de la *feature* correspondiente.

La Figura 5 muestra un pieza de ejemplo (*workpiece*), tal y como se visualiza en el “STEP-NC explorer”. La figura muestra como, a través de una ventana de configuración enlazada con el *workingstep* seleccionado, se especifica que se ha de registrar el tiempo de ejecución de dicho *workingstep* y la desviación del *feedrate* a lo largo del *tool path* recorrido durante su mecanizado.

Con esta información de configuración, la aplicación puede parsear el AP-238 insertándole el código correspondiente. Siguiendo con el ejemplo de la figura 5, funciones *get\_time* y *nc\_variables* han sido insertadas en el comienzo y el final del código correspondiente al *workingstep* seleccionado.

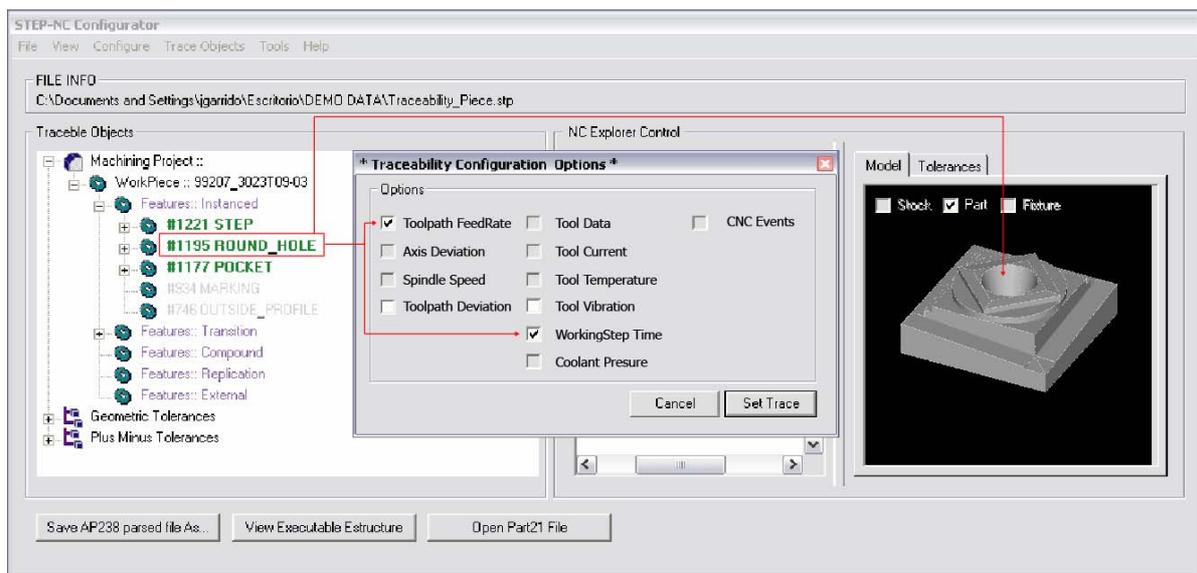


Figura 5: Configuración.

A continuación se muestra el código correspondiente para la inserción de la función *get\_time*. Un nuevo bloque de código es insertado y enlazado para recoger el momento de comienzo y fin del *workingstep*.

```

/*
Application object:
NC_MACHINIG_FUNCTION(#5360,5361)
ITS_WORKINGSTEP: #3986, #5360
ITS_RECORDED_VALUES: #5370, #5371
*/

#5360=ACTION_METHOD_RELATIONSHIP('data_colle
ction', 'link for data collection
functions', #5361,#3986);
#5361=MACHINING_NC_FUNCTION('get_time',
'workingStep time recording',$, $);
#5362=(GEOMETRIC_REPRESENTATION_CONTEXT(0)
GLOBAL_UNIT_ASSIGNED_CONTEXT($)
REPRESENTATION_CONTEXT('units_data_recording
- TIME', $)
);
#5363=ACTION_PROPERTY_REPRESENTATION('execut
ion_time_measurement',
'WS 2 time data collection',#5364,#5365);
#5364=ACTION_PROPERTY('measured
values','workingstep execution
times',#5361);
#5365=REPRESENTATION('WS 3
traceability',(#5370,#5371),#5362);

/*
Application object: NC_VARIABLE(#5370)
ITS_WORKINGSTEP: WS 4 start time
ITS_INITIAL_VALUE: #5370, #5371,
*/

#5370=(
EXPRESSION()
EXPRESSION_REPRESENTATION_ITEM()
GENERIC_EXPRESSION()
GENERIC_VARIABLE()
NUMERIC_EXPRESSION()
NUMERIC_VARIABLE()
REAL_NUMERIC_VARIABLE()
REPRESENTATION_ITEM('WS 2 start Time')
SIMPLE_GENERIC_EXPRESSION()
SIMPLE_NUMERIC_EXPRESSION()
VARIABLE()
);
#5371=REPRESENTATION_ITEM_RELATIONSHIP ('WS
4','simple nc_variable', 5370,$)

```

## 4.2 SIMULACION DE EJECUCIÓN AP-238 Y DEL ACCESO A DATOS

Código como el anterior es insertado en los ficheros AP-238 originales para generar nuevos ficheros AP-238 extendidos con capacidades de acceso a datos de proceso. Estos ficheros extendidos son leídos por un módulo simulador nativo de ejecución de programas STEP-NC. El simulador examina y chequea la estructura de ejecutable del AP-238 y simula la realización de las tareas paso a paso.

Continuando con el ejemplo de la sección anterior, cuando el simulador encuentra la función *get\_time*, captura la hora actual y actualiza el valor en una

variables *nc\_variable* asociada a la función. De esta forma, es posible evaluar lo que ha tardado la ejecución del *workingstep*, y estos valores pueden ser volcados en fichero de texto para ser almacenados.

La Figura 5 muestra la ejecución del simulador para el ejemplo en donde, al mismo tiempo que se simula la realización del mecanizado, se llevan a cabo las tareas de acceso a datos especificadas. Además del tiempo, la simulación del ejemplo requiere la medida de la desviación del *feedrate* en los segmentos del *tool path* de cada uno de los *workingsteps* programados para la mecanización de la *feature* seleccionada. La figura 5 representa simultáneamente: la estructura del ejecutable y del *workingstep* actual (ventana con nombre de cabecera “Executable view”), la trayectoria del *toolpath* del *workingstep* actual (pantalla gráfica), y la ventana de control de ejecución de la simulación (ventana con nombre de cabecera “Simulation Control”).

## 4.3 EXPLOTACION DE DATOS: CLOSED LOOP Y TRZABILIDAD

Los datos registrados pueden utilizarse durante el proceso para apoyar a operaciones de *closed loop* o bien pueden ser almacenados para tareas de trazabilidad o de análisis del proceso fuera de línea, una vez finalizado.

La figura 5 muestra, además de la simulación descrita en el apartado anterior, un ejemplo de visualización de los datos recogidos (para el caso de los datos correspondientes a la desviación del *feedrate* en los segmentos del *tool path* de un *workingstep*). La figura muestra cómo es posible seleccionar, en la estructura del ejecutable del programa CNC, un *workingstep* concreto (id10863 en la figura). Este *workingstep* se representa en la pantalla gráfica, en donde es posible acceder a cada uno de sus segmentos por separado, y visualizar los valores registrados en la ventana con cabecera “Simulation Data explorer”.

El link implícito entre los datos recogidos, y los datos de *feature* compartidos por las aplicaciones CAD/CAM/CAPP/CNC, aporta significado a dichos datos y hace posible que sean interpretables por sistemas distintos del de fabricación (CNC). Por ejemplo, es lo que permite visualizar y asociar los datos recogidos a representaciones de *features* en una aplicación CAM. Las mismas aplicaciones CAD y CAM que, convenientemente modificadas, servían para configurar sobre los diseños gráficos los requerimientos de acceso a datos, pueden servir ahora para visualizar y auditar, sobre los mismos diseños gráficos, los valores trazados (Figura 5).

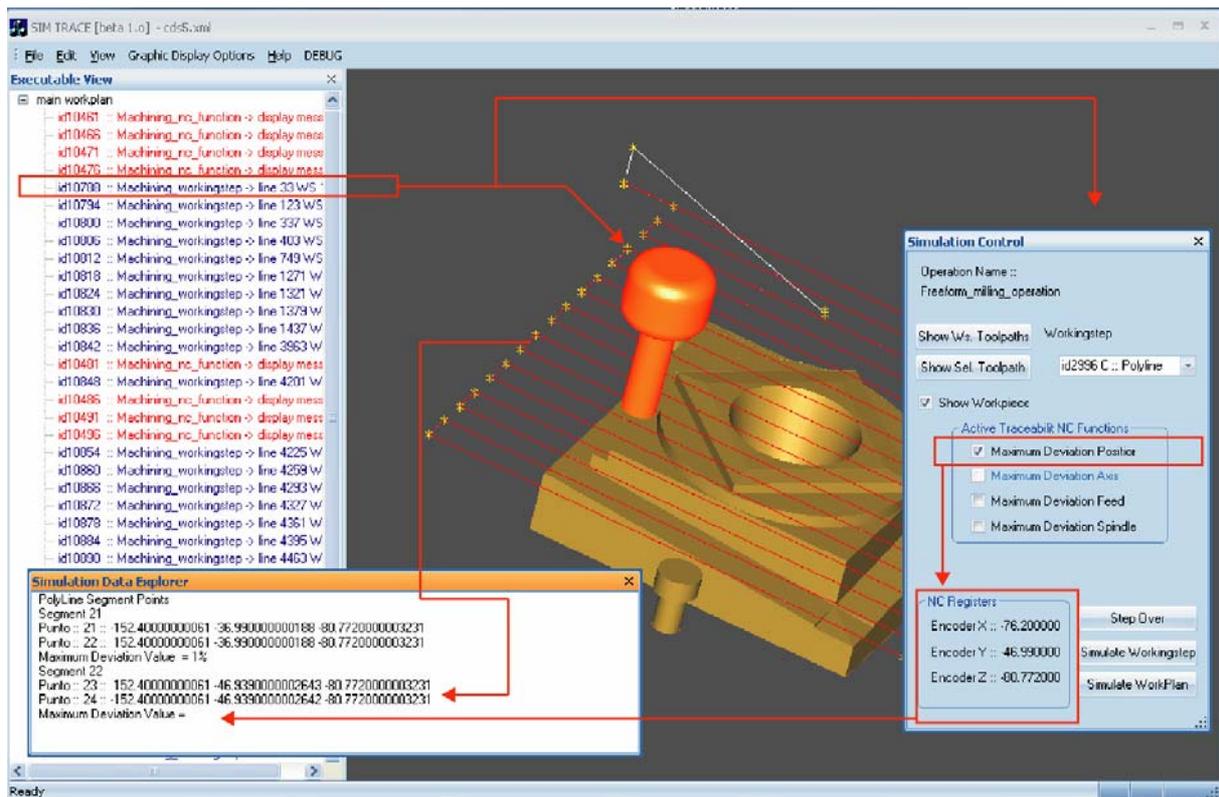


Figura 5: Visualización de datos correspondientes a la desviación del *feedrate* en los segmentos del *tool path* de los *workingsteps* de una *feature*

## 5 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

El acceso a valores de variables del proceso de mecanizado y su registro en una práctica común en las tecnologías actuales de CNC. La definición de funciones NC estándar de acceso a datos, aunque finalmente tiene que ser implementadas por cada controlador CNC, proporcionaría la posibilidad de la automatización de actividades de *closed loop* y de inspección directamente desde los sistemas CAM basados en STEP-NC.

El artículo ha mostrado como el acceso a datos y la trazabilidad basada en *features* puede ser eficientemente integrada con otros procesos CAD/CAM/CNC en torno al Standard STEP. No siempre es necesario ni deseable recolectar datos de fabricación acerca de todas las *features* de la pieza dado que los errores más críticos se pueden encontrar chequeando un grupo selecto de *features* (o incluso de un subgrupo de todos los *workingsteps* necesarios para fabricar una *feature*). Con la propuesta, los controladores CNC pueden interpretar los comandos STEP-NC de trazabilidad, ejecutar de forma automática la trazabilidad y realimentar los datos de fabricación de las *features* especificadas.

Las soluciones de trazabilidad discutidas en este artículo están siendo examinadas por el comité ISO TC184/SC4 WG3 T24, que es responsable de la estandarización de todos los Protocolos de Aplicación de STEP relacionados con procesos de fabricación y, en concreto, del AP-238. Las funciones propuestas en este artículo están siendo formalmente consideradas para su inclusión en la siguiente edición del AP238 (edición 2).

En su propuesta actual, las funciones NC están pensadas para monitorizar acciones que tienen un *tool path* explícito en los fichero AP-238. Sin embargo, tendrá que ser abordado como trabajo futuro, aquellos diseños AP-238 sin *tool path* explícito (por ejemplo, si los datos corresponden a la *Conformance Class 3* o *4*: CC3 o CC4). En ese caso, el controlador decide su propio *tool path* basado en información de *features* de un fichero AP-238. Para abordar esta situación, se definirán extensiones al estándar para el trazado de operaciones semánticas (por ejemplo, el fresado de un *pocket*). Además, futuros trabajos abordarán la definición de estructuras de datos para programas más fácilmente tareas de *closed loop*, por ejemplo, una función del grupo I que proporcione el punto actual como un punto STEP en lugar de tres funciones que proporcionan x, y y z.

## Agradecimientos

Este trabajo está siendo financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia a través del proyecto DPI2006-05772.

## Referencias

- [1] Albert M. (2000). STEP NC - The End of G-Codes? *Modern Machine Shop*, July 2002, 70-80
- [2] Brecher, C., Vitr, M. and Wolf, J. (2006). Closed-loop CAPP/CAM/CNC process chain based on STEP and STEP-NC inspection tasks. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 19 (6), 570-581.
- [3] Chen, L., Song, Z. Feng, L. (2003), "Internet-enabled real-time collaborative assembly modeling via an e-Assembly system: status and promise", *Computer-Aided Design*, 36, 835-47.
- [4] Eastec (2005). Eastec Demo Walthrough, Disponible online. Accedido en Febrero 2007: <http://www.isd.mel.nist.gov/projects/stepnc>.
- [5] Garrido, J., Hardwick, M. (2006). A traceability information model for CNC manufacturing. *Computer-Aided Design*, 38, 540-551.
- [6] Hardwick, M., Loffredo, D. (2001). STEP into NC. *Manufacturing Engineering*, 126, 38-50.
- [7] Hardwick, M. (2004). On STEP-NC and the complexities of product data integration. *ACM/ASME Transactions on Computer and Information in Science Engineering*, 4, 60-67.
- [8] Hardwick, M., Loffredo, D. (2006). Lessons learned implementing STEP-NC AP-238. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 19(6), 523-533.
- [9] IMS (2001). IMS Project 97006 (STEP-NC). STEP\_NC STEP-compliant data Interface for Numerical Controls. On-line, Acc. Feb. 2007: [http://www.ims.org/projects/project\\_info/step\\_nc.html](http://www.ims.org/projects/project_info/step_nc.html).
- [10] ISO (1982). Numerical Control of Machines — Program Format and Definition of Address Words – Part 1: Data format for positioning, line motion and contouring control systems, ISO TC 184/SC 1, Geneva, Switzerland.
- [11] ISO (1994). ISO 10303-1:1994. Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange – Part 1: overview and fundamentals principles. ISO TC 184/SC 4, Geneva, Switzerland.
- [12] ISO (2002). ISO 10303-238:2002. Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange – Part 238: application protocol: application interpreted model for computerized numerical controllers. ISO TC 184/SC 4, Geneva, Switzerland.
- [13] Li, W.D., Lu, W.F., Fuh, J.Y.H., Wong, Y.S. (2005), "Collaborative computer-aided design - research and development status, *Computer-Aided Design*", 37(9), 931-40.
- [14] Liang, S.Y., Hecker, R.L., Landers, R.G. (2004). Machining process monitoring and control: state of the art. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 126, 297-310.
- [15] OMAC (2005). STEP-NC Pilot Demonstration. OMAC STEP-NC Working Group Meeting, Disponible Online, Accedido en Febrero 2007: [www.isd.mel.nist.gov/projects/stepnc/omac-orlando-2005/pilot-scenario.pdf](http://www.isd.mel.nist.gov/projects/stepnc/omac-orlando-2005/pilot-scenario.pdf).
- [16] Simchi-Levi, D. Kaminsky, P., Simchi-Levi, E. (2003), *Designing and management the supply chain*, McGraw-Hill Irwin, New York, NY.
- [17] STEP Tools (2006). ST-Developer on line manuals. On-line. Accedido February 2007: [http://www.steptools.com/Support/stdev\\_docs/](http://www.steptools.com/Support/stdev_docs/).
- [18] Suh, S.H., Cho, J.H., Hong H.D. (2002). On the architecture of intelligent STEP-compliant CNC. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 15 (6), 168-177.
- [19] Weck, M., Wolf, J., Kristis, D. (2001). STEP-NC: the STEP compliant NC programming interface: evaluation and improvement of the modern interface. *International IMS Forum*. Ascona, Switzerland.
- [20] Xu, X.W., He, Q. (2004). Striving for a total integration of CAD, CAPP, CAM and CNC. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 20 (2), 101-109.
- [21] Xu, X.W. (2006). Realization of STEP-NC enabled machining. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 22 (2), 144-153.
- [22] Zhang, C., Liu, R., Hu T. (2006). On the futuristic machine control in a STEP-compliant manufacturing scenario. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 19 (6), 508-516.