

## Modelo de información para manufactura aditiva basado en STEP-NC

### Modelo de informação para fabrico de aditivos baseado em STEP-NC

DOI:10.34117/bjdv8n6-211

Recebimento dos originais: 21/04/2022

Aceitação para publicação: 31/05/2022

#### **Efraín Rodríguez Gasca**

Mestre

Institución: Universidade de Brasilia

Dirección: Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, Brasília, DF - Brasil

CEP: 70910-900, Caixa Postal: 04386

Correo electrónico: efrainrg2009@gmail.com

#### **Alberto José Álvares**

Doutorado

Institución: Universidade de Brasilia

Dirección: Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, Brasília, DF - Brasil

CEP: 70910-900, Caixa Postal: 04386

Correo electrónico: alvares@AlvaresTech.com

#### **Renan Bonnard**

Doutorado

Institución: (SENAI – SC)

Dirección: (SENAI – SC), Florianópolis - Brazil

Correo electrónico: renan.bonnard@sc.senai.br

### **RESUMEN**

El nuevo estándar de control numérico ISO 14649 e ISO 10303-238, conocido informalmente como STEP-NC, es ahora categorizado como el futuro de los sistemas avanzados de manufactura. STEP-NC es pensado para una nueva gama de controladores numéricos más inteligentes, flexibles e interoperables. Este nuevo estándar ha sido parcialmente desarrollado para los procesos de mecanizado (fresado, torneado, etc.). Sin embargo, en Manufactura Aditiva (AM) con STEP-NC el desarrollo es aún incipiente. En este contexto, el presente trabajo propone una extensión del modelo de información de STEP-NC para AM y resalta las ventajas de tal modelo. Se presenta un modelo de actividades de aplicación utilizando la nomenclatura IDEF0 para describir globalmente el modelo. Se introduce el concepto de AM-layer-feature para referenciar cada capa del modelo 3D rebanado de la parte como una feature de AM. Entonces, un modelo de referencia de aplicación en EXPRESS también es presentado. Finalmente, a partir del modelo en EXPRESS es generado un archivo de programa en STEP-NC, el cual puede ser implementado sobre un sistema de AM.

**Palabras clave:** ISO 10303-238, ISO 14949, manufactura aditiva, STEP-NC.

### **RESUMO**

A nova norma de controlo numérico ISO 14649 e ISO 10303-238, informalmente conhecida como STEP-NC, é agora categorizada como o futuro dos sistemas avançados

de fabrico. O STEP-NC destina-se a uma nova gama de contadores numéricos mais inteligentes, flexíveis e interoperáveis. Este novo padrão foi parcialmente desenvolvido para processos de maquinagem (fresagem, torneamento, etc.). No entanto, em Additive Manufacturing (AM) com STEP-NC, o desenvolvimento está ainda na sua infância. Neste contexto, este documento propõe uma extensão do modelo de informação STEP-NC para AM e destaca as vantagens de tal modelo. Um modelo de actividade de aplicação é apresentado utilizando a nomenclatura IDEF0 para descrever o modelo globalmente. O conceito de característica de camada AM é introduzido para referenciar cada camada do modelo de peça fatiada em 3D como uma característica AM. Em seguida, é também apresentado um modelo de referência de aplicação em EXPRESS. Finalmente, a partir do modelo EXPRESS é gerado um ficheiro de programa STEP-NC, que pode ser implementado num sistema AM.

**Palavras-chave:** ISO 10303-238, ISO 14949, fabrico de aditivos, STEP-NC.

## 1 INTRODUCCIÓN

La Manufactura Aditiva (AM-Additive Manufacturing), también referida como Impresión 3D o Manufactura Rápida, es un conjunto de tecnologías emergentes para la fabricación de objetos físicos a través de la adición de material, en contraste con los procesos de manufactura substractiva. Su principal ventaja, es la capacidad de producir objetos con geometrías complejas sin la necesidad de múltiples setup y con el mínimo desperdicio de material, lo cual ha representado significantes mejorías en la cadena de suministro de los procesos industriales.

Desde sus inicios en los años 1980's, la AM fue destinada exclusivamente a la creación de modelos prototipo de productos. Desde entonces, ha experimentado grandes avances en términos de velocidad, calidad, materiales y utilidades de máquina, que le han permitido ser extendida a la producción de partes funcionales directamente para un usuario final. Hoy en día, ha comenzado a ser empleada en un amplio rango de aplicaciones que incluyen la industria automotora y aeroespacial, la ingeniería biomédica, arquitectura, dispositivos electrónicos, comida, etc. (Negi, Dhiman, and Sharma 2013).

Con la incorporación de la AM en la producción real de partes funcionales, la demanda globalizada de productos fabricados con procesos aditivos es cada vez mayor y, así mismo, las exigencias en cuanto a la calidad del producto final son cada vez más altas. Fabricar un producto de calidad usando AM requiere de gran cantidad de información. Esta información incluye el modelo geométrico de la parte, información del material, información del proceso, datos de medición, etc. Por lo tanto, existe la necesidad de gerenciar apropiadamente la captura, almacenamiento y uso de toda esta información, con

el fin de atender los requerimientos de calidad en el producto final (Lu, Choi, and Witherell 2015). Esta labor ha sido dificultada principalmente por la inexistencia de un único formato estándar que contenga todas las informaciones que describen el ciclo de vida de un producto, lo cual es un problema que envuelve tanto la AM como los procesos de manufactura substractiva. Conforme esto, la integración de la cadena digital de los sistemas avanzados de manufactura, y específicamente de los sistemas de AM, a través de un único formato estándar, es el principal desafío a ser enfrentado si se piensa en incrementar la calidad de los productos y la productividad de los procesos (Lu, Choi, and Witherell 2015; Renan Bonnard, Mognol, and Hascoët 2010).

Con el advenimiento de la Industria 4.0, las tecnologías de la información y el concepto de Smart Factory, los sistemas de manufactura están siendo forzados a migrar hacia entornos colaborativos e interoperables. Es decir, entornos de globalización donde la información de diseño y fabricación de una parte es manejada por diferentes trabajadores en distintas partes del mundo. Para lograr que los sistemas de manufactura puedan adaptarse a estos ambientes de globalización, es necesaria la integración de la cadena digital a través de un único formato estándar (Nassehi, Newman, and Allen 2006).

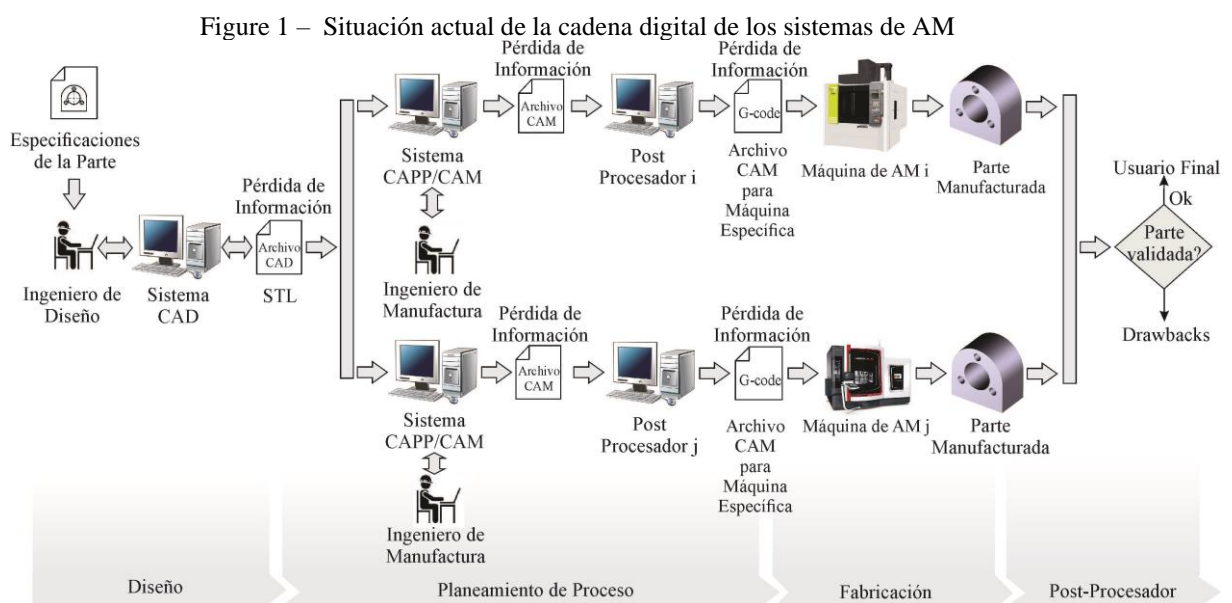
En un esfuerzo internacional por superar estos inconvenientes, surgen los estándares STEP (Standar for the Exchange of Product data models) y STEP-NC, amparados bajos las normas ISO 10303 (Pratt 2001) y ISO 14649 (2003) respectivamente. El primero, proporciona un mecanismo de naturaleza neutral que define todas las informaciones de alto nivel relacionadas a un producto basado en features y permite el intercambio de estas informaciones entre los módulos de Diseño y Manufactura Asistida por Computador-CAD/CAM. El segundo, es una extensión del STEP para la definición de programas NC, el cual representa un enlace para el intercambio de información del proceso entre el CAM y los sistemas de Control Numérico Computarizado-CNC. El STEP-NC es pensado para una nueva generación de controladores CNC inteligentes y con funciones avanzadas, lo cual es catalogado como el futuro de los sistemas avanzados de manufactura.

La integración de la cadena digital CAD/CAM/CNC basada en STEP-NC ya ha sido gradualmente desarrollada para procesos de mecanizado (Suh et al. 2003; Rauch et al. 2012). En AM, este tema se encuentra aún en una fase prematura y debe ser desafiada con nuevos modelos de información y proposiciones de nuevas plataformas basadas en STEP-NC. En este contexto, el presente trabajo explora la aplicación de los estándares STEP y STEP-NC para soportar una cadena digital de alto nivel para sistemas de AM.

Primero, se analiza la situación de la cadena digital actual de la AM. Enseguida, se resaltan las nuevas posibilidades con el estándar STEP-NC. Entonces, el modelo de información es presentado y se describen los principales requerimientos para su implementación.

## 2 SITUACIÓN ACTUAL DE LA AM

Actualmente, para fabricar un producto a través de sistemas de AM, es necesario realizar conversiones entre diferentes formatos de archivo. La Figura 1 muestra la típica cadena digital usada actualmente en AM. En esta cadena, el modelo 3D de la parte es diseñado en un software CAD y exportado al software CAPP (Planeamiento de Proceso Asistido por Computador)/CAM usualmente en formato STL (Surface Tessellation Language). Entonces, en el software CAPP/CAM se realiza el rebanado en capas (slicing) del modelo 3D, se generan los toolpath para cada una de las capas y se adicionan los parámetros de proceso basados en los recursos de una máquina específica. Luego, un post procesador genera instrucciones de máquina optimizadas (códigos G&M) para un controlador CNC específico. La parte es manufacturada por la máquina de AM a través de la ejecución secuencial de las instrucciones generadas por el post procesador.



Se puede notar que la inexistencia de un único formato estándar para la transferencia de la información es el principal problema de esta cadena.

Primeramente, el formato STL ha sido usado como standard de facto para transferir la información del modelo CAD de la parte al sistema CAPP/CAM. Sin embargo, es sabido que el formato STL es tan solo una aproximación de la geometría exacta del modelo de la parte, representada por elementos triangulares discretos (Szilvsi-Nagy and Mátyási 2003). Las informaciones de alto nivel como tolerancias, rugosidades, material, etc., necesarias para manufacturar un producto de calidad a través de un sistema de AM, no están presentes en este formato. Además, se ha evidenciado que el formato STL posee inconvenientes en la representación de la geometría tales como redundancia de información, escalabilidad deficiente, pérdida de elementos geométricos, unidades dimensionales no definidas, entre otros. Conforme esto, el formato STL se torna de lejos incompatible con el concepto de una cadena digital de alto nivel.

Por otro lado, el intercambio de información entre los sistemas CAPP/CAM y los sistemas de AM se hace a través de programas NC, los cuales continúan siendo definidos en el estándar ISO 6983 (1982), conocido como código G&M. El lenguaje del ISO 6983 define comandos alfanuméricos con información limitada principalmente al movimiento de los ejes de la máquina CNC. Además, cada fabricante define instrucciones específicas para sus máquinas, lo cual representa un problema para la flexibilidad e interoperabilidad de los sistemas CNC, debido a que por cada máquina se hace necesario un pos-procesador diferente, lo que incurre en la necesidad de una persona especializada para operar cada máquina.

Con base en el modelo de la Figura 1, se pueden resaltar los principales inconvenientes existentes en la cadena digital actual de la AM por la falta de un formato estándar:

- Pérdida de información;
- Flujo unidireccional de datos;
- Flujo unidireccional de datos;
- Inexistencia de información de alto nivel;
- Múltiples pos-procesadores;
- Inexistencia de comunicación entre los sistemas CNC;
- Falta de retroalimentación integrada con información de inspección de la parte fabricada.

Hasta el momento, la cadena digital actual ha funcionado aceptablemente. Sin embargo, las demandas de la nueva industria, incluyendo el concepto de Industria 4.0,

requieren de sistemas de manufactura con nuevas capacidades para adaptarse en ambientes de globalización. Esto es imposible de lograr con las soluciones actuales. Por lo tanto, es necesario explorar nuevas posibilidades para soportar una cadena digital de alto nivel de AM a través de un único formato estándar.

### **3 NUEVAS POSIBILIDADES PARA LA AM CON EL ESTÁNDAR STEP-NC**

Como fue expuesto antes, para superar los inconvenientes de la cadena digital actual de los sistemas de AM, los estándares actualmente usados deben ser reemplazados por un único estándar que contenga toda la información del ciclo de vida de un producto para ser manufacturado a través de procesos aditivos.

Con el fin de superar los problemas del STL, varios formatos han sido propuestos para reemplazarlo. A pesar de que han surgido distintas alternativas, varias investigaciones han conducido a que el STEP (ISO 10303) es el formato apropiado para asociar la información de alto nivel con el modelo 3D de la parte. Carleberg (Carleberg 1994) es el primero en proponer el formato STEP para conectar la información del proceso con la información del modelo de la parte. Dutta et al. (1998) sugiere adaptar el formato STEP para soportar información del diseño de partes a ser fabricadas con AM. Kumar y Dutta (1997) evalúan los requerimientos y recursos necesarios para la transferencia de información entre sistemas CAD y sistemas de AM, y concluyen que el STEP es una buena solución. Otros autores (Jee and Lee 1999; Danjou and Koehler 2008) también han afirmado que el STEP es el mejor formato para AM, ya que permite asociar el modelo geométrico de la parte con información de especificaciones e información del mismo proceso.

Ryou et al. (2006) proponen un completo modelo de información en EXPRESS para representar el modelamiento de partes para ser fabricadas con procesos de AM. La metodología de tal propuesta consiste en dividir la información de diseño de la parte en cuatro categorías:

- sub\_part\_geo\_design- contiene la información de las features geométricas del modelo CAD de la parte;
- sub\_part\_non\_geo\_design- contiene la información sobre las features no-geométricas de la parte (tolerancias, rugosidad, material, color);
- sub\_part\_process\_history- contiene un historial de los trabajos previos;

- `sub_part_locally_controlled`- esta categoría es opcional y hace referencia a la información de partes multi-colores.

La propuesta de Ryou et al. pretende incluir la AM dentro de la norma ISO 14649 e plantean con este fin, el desarrollo de un pre-procesador para la implementación del modelo de información.

En Francia, el equipo del Profesor Hascoët (Renan Bonnard, Mognol, and Hascoët 2010) ha concernido sobre la necesidad de un enfoque global con una cadena digital AM que envuelva la representación de datos de fabricación hasta el nivel del controlador NC. Por lo tanto proponen una nueva cadena digital descrita por un modelo de información jerarquizado basado en STEP-NC. Dicha cadena permite un intercambio bidireccional de datos de alto nivel de AM entre sistemas CAD-CAM-CNC y ofrece potenciales oportunidades para el desarrollo de nuevos sistemas de AM avanzados y flexibles (Renan Bonnard, Mognol, and Hascoët 2010; R. Bonnard, Mognol, and Hascoët 2009). La propuesta del equipo del Profesor Hascoët se hizo de acuerdo con la intención del comité ISO TC 184 / SC 1 de incluir los procesos AM dentro de la norma ISO 14649. En realidad, los procesos aditivos han sido propuesta como la Parte 17 de ISO 14649 (2016), el cual es un proyecto aún en desarrollo. Esta etapa crea una oportunidad para la proposición de nuevos modelos de datos de AM con STEP-NC y para el desarrollo de una plataforma STEP-NC de AM enfocada a la implementación para validar los modelos propuestos.

STEP-NC promete numerosos beneficios para una nueva cadena digital de alto nivel para los procesos de AM. El modelo de una cadena digital de alto nivel basada en el estándar STEP-NC es presentada en la Figura 2. Esta cadena está soportada sobre un único formato enriquecido con información de todos los sistemas CAx. Los principales beneficios de este nuevo concepto son:

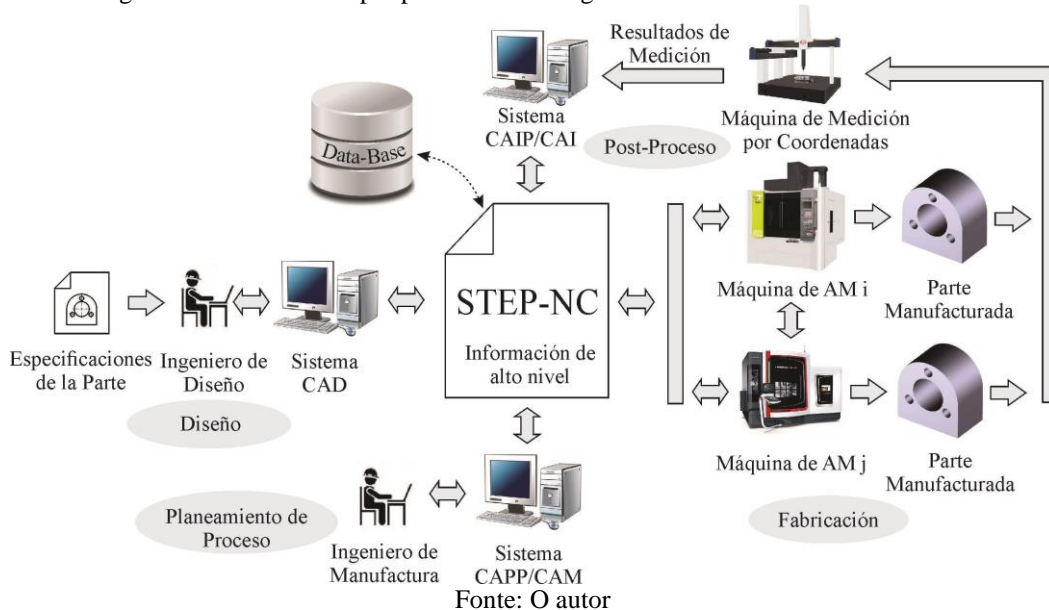
- Se elimina la multiplicidad de archivos y la pérdida de información;
- La información de alto nivel y la información del proceso pueden ser conectadas con la información del modelo 3D de la parte en un único archivo;
- Se habilita el flujo bidireccional de información los sistemas CAx;
- No hay necesidad de pos-procesadores, por lo tanto un solo ingeniero de manufactura puede operar varias máquinas con diferentes recursos a la vez;
- Existe interoperabilidad entre los sistemas CNC de AM;
- Se habilita la retroalimentación del sistema con un módulo inspección en malla cerrada (Riano Jaimes et al. 2017);



- Se facilita la disposición de información sobre una base de datos en la nube.

Las ventajas de la nueva cadena digital permitirían una completa adaptación de la AM a las exigencias de la nueva industria. Sin embargo, así como son grandes los beneficios aportados por STEP-NC a la cadena digital de los procesos, también se hace mayor la complejidad para su implementación en los actuales sistemas. Por lo tanto, para enfrentar tal complejidad y lograr una cadena digital de AM completamente soportada sobre STEP-NC, los cambios sobre ésta deben ser realizados gradualmente. Rauch et al. (2012) proponen un método basado en tres niveles de implementación para adaptar gradualmente los sistemas de manufactura al nuevo estándar STEP-NC: en el primer el control de sistema es indirecto, es decir, el programa en STEP-NC es convertido a código G para que pueda ser entendido por los controladores ya existentes; en el segundo nivel ya existe un control directo, donde los tool-path y las operaciones son ejecutadas por la máquina directamente desde el programa STEP-NC; en el tercer nivel el controlador el sistema tiene la capacidad de realizar tareas de manera inteligente y autónoma, el cual sería el nivel a alcanzar por todos los sistemas avanzados de manufactura. En AM el desarrollo e implementación de modelos de información basados en STEP-NC es aún incipiente. Esta situación crea la oportunidad para la proposición de nuevos modelos y plataformas para AM con STEP-NC, que es por lo que este trabajo pretende contribuir con la concepción de un modelo de datos que pueda ser implementado sobre una plataforma de AM. El modelo es descrito en la siguiente sección.

Figure 2 – Nuevo concepto para la cadena digital de la AM basada en STEP-NC.





## 4 PROPOSICIÓN DEL MODELO DE INFORMACIÓN

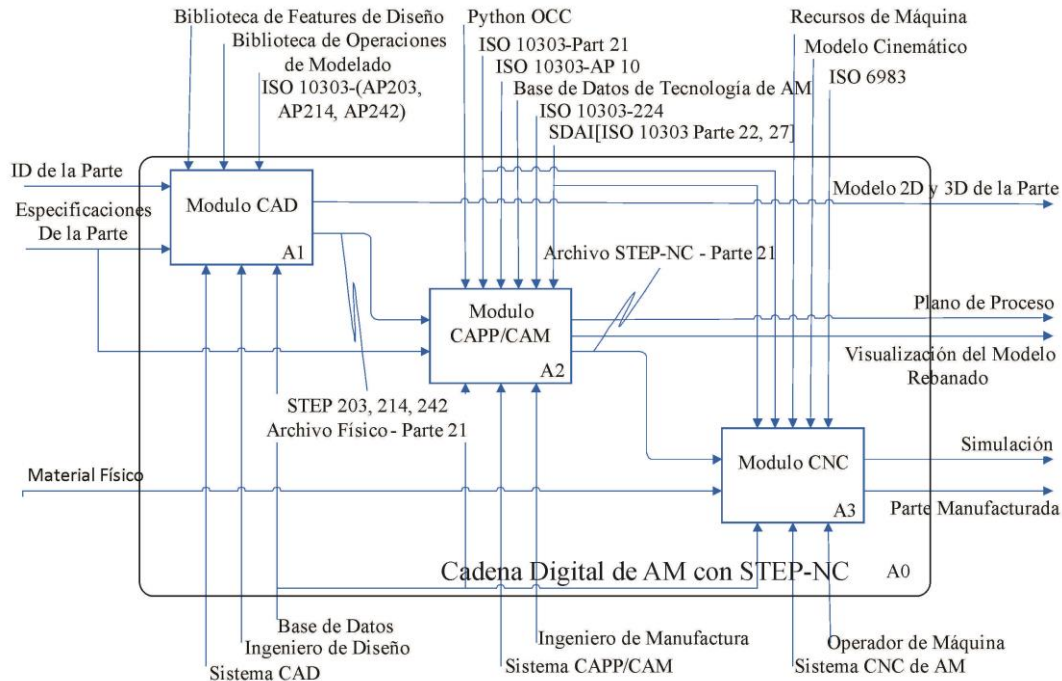
### 4.1 MODELO DE ACTIVIDADES DE APLICACIÓN

Un Modelo de Actividades de Aplicación (AAM-Application Activities Model) permite informar sobre el flujo de información entre las distintas actividades de un proceso. El modelo AAM es formalizado en la norma ISO 14649-1 (2003). Este modelo utiliza la nomenclatura IDEF0 para la representación de actividades funcionales. Cada actividad transforma una data de entrada en una data de salida a través de mecanismos y controles. Esta representación resulta en diagramas multicapas donde una actividad puede contener sub-actividades, y a su vez éstas contener otras sub-actividades.

La Figura 3 muestra el contexto para una cadena digital de AM con STEP-NC. Este primer diagrama representa la actividad A0 según la nomenclatura IDEF0, la cual es descompuesta en tres actividades principales que representan los módulos CAD, CAPP/CAM y CNC.

En el módulo CAD (Actividad A1) ocurre la tarea de diseño y modelado 3D de la parte que se pretende fabricar con AM. Esta tarea es realizada a través de un sistema de software CAD. Este software puede ser cualquier sistema comercial disponible en el mercado, ya sean licenciados o libres, siempre y cuando tengan soporte para recursos de ISO 10303. En el dominio CAD, los Protocolos de Aplicación (APs) de STEP más comunes son: AP203-configuration controlled 3D designs of mechanical parts and assemblies; AP214-core data for automotive mechanical design processes; y, AP242 managed model-based 3D engineering. El archivo STEP con la información de diseño de la parte es la data de entrada al sistema CAPP/CAM.

Figure 3 – Actividad A0: Contexto para una cadena digital de AM con STEP-NC



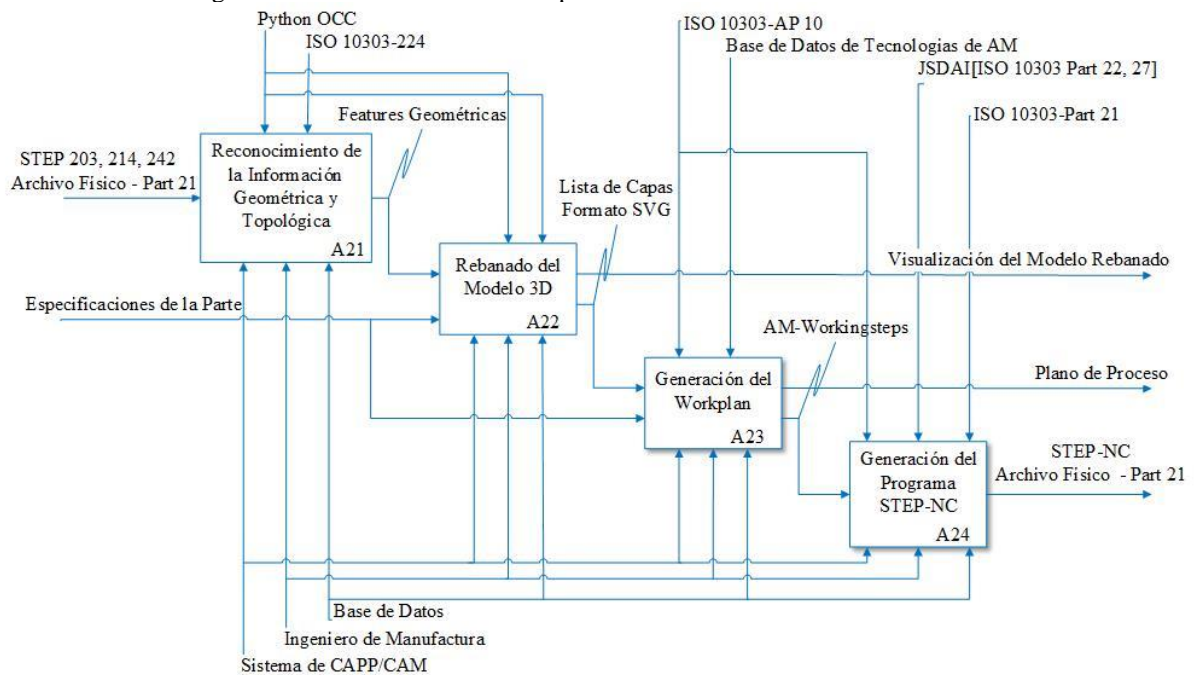
Fonte: O autor

El planeamiento del proceso y la preparación para la producción son tareas esenciales previas a la fabricación de una parte con AM. Estas tareas son llevadas a cabo en el módulo CAPP/CAM (Actividad A2). En la Figura 4 se presenta una descomposición del módulo CAPP/CAM en cuatro sub-actividades concernientes al planeamiento del proceso y preparación para la fabricación de una parte por AM. Este módulo recibe el archivo STEP con la información geométrica y topológica de la parte. En el formato STEP la data de la parte es representada por features. Las features incluyen datos de representación de contorno como shells, caras, bucles de borde, vértices; datos geométricos de superficie tales como planos, cilindros, conos, toroides, esferas y curva geometría tales como líneas, círculos, B-splines, elipses. Esta información es reconocida en la actividad A21 a través de herramientas Python OCC[20]. Desde esta actividad salen las features geométricas que en la siguiente actividad (A22) son rebanadas (slicing) en capas con un determinado espesor (features de AM – concepto explicado en la siguiente sub-sección). El conjunto de capas pasa a la siguiente actividad (A23) en formato SVG [21] para generar el plano de proceso (workplan). Dentro de esta actividad se crean los workingsteps de AM, donde cada AM-workingstep tiene asociadas una AM-feature y una operación. Además se selecciona el tipo de tecnología de AM usada, recursos de máquina y parámetros de proceso a partir de las especificaciones de diseño de la parte (e.g. tolerancias, rugosidades, material...) a través de una base de conocimiento especializada.

Los toolpath también son generados para cada una de las capas(AM-features). En seguida, en la actividad (A24) se genera el programa STEP-NC con la secuencia de los AM-workingsteps referenciando ISO 10303-Parte 21 y JSDAI (ISO 10303-Parte 22, 27). La salida de esta actividad es el archivo físico STEP-NC en Parte 21 con el programa para fabricar una pieza con un proceso de AM.

El archivo STEP-NC pasa entonces al módulo CNC (Actividad A3), en el cual se tiene un sistema CNC de AM con control indirecto, de acuerdo con el primer nivel del método de Rauch et al. (2012), donde las informaciones asociadas AM-workingstep son convertidas a código G a través de una aplicación de software adaptador. El código G generado es fácilmente entendido por los controladores existentes en las máquina de AM actuales. La interpretación de los comandos de código G es realizada a través de un firmware embebido en el controlador, el cual genera las señales sobre los drivers de los motores para generar el movimiento de los ejes de la máquina. Esto permite realizar un rápida implementación del modelo generado para el planeamiento del proceso en el módulo CAPP/CAM. Al final es posible obtener una parte manufacturada con un proceso de AM, cuyo etapa de planeamiento ha sido llevada a cabo con base en un modelo STEP-NC.

Figure 4 – Actividad A2: Descomposición del módulo CAPP/CAM



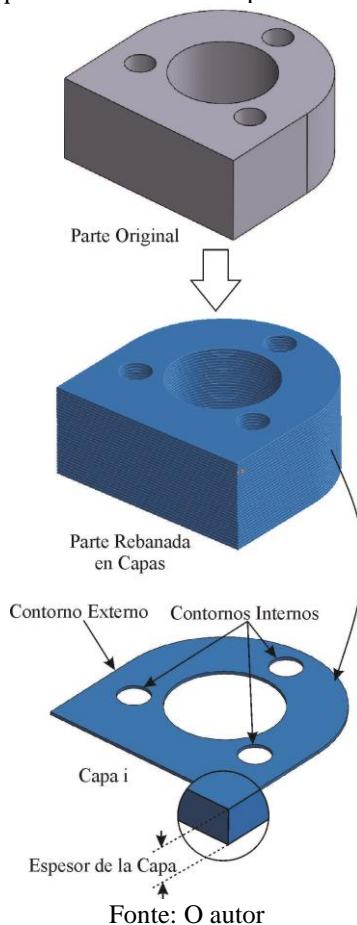
Fonte: O autor

Hasta el momento se ha descrito la arquitectura funcional del sistema global. Sin embargo, para poder pasar a la implementación es necesario construir un Modelo de Referencia de Aplicación (ARM-Application Reference Model) en lenguaje EXPRESS, pero antes se introduce un concepto para feature de AM.

#### 4.2 DEFINICIÓN DE UN CONCEPTO DE FEATURE PARA AM

El estándar STEP-NC usa el concepto de programación basada en funciones para representar un plano de proceso que incorpora información sobre las features de fabricación, la descripción de la máquina-herramienta y la tecnología y las operaciones a ejecutar. Dentro del modelo ARM de STEP-NC, la pieza que se está fabricando (workpiece) se describe mediante features de fabricación que se definen según el tipo de proceso. Por lo tanto, para los procesos de mecanizado se han definido las features mecanizado (tales como holes, pockets, slot..) basadas en las features de fabricación de ISO 10303-AP224 (Mechanical product definition for process planning using machining features). Pero las features de mecanizado no están adaptadas para procesos aditivos y, de hecho, todavía no se ha establecido formalmente un concepto de feature para AM. Por lo que definir el concepto de feature de AM es un paso esencial hacia el desarrollo de un nuevo modelo de datos. Desde el entendimiento de los autores, la feature de AM corresponde a cada capa del modelo 3D rebanado de la parte que se está fabricando. Es decir, una feature de AM es referenciada como una capa, donde cada capa se define geoméricamente mediante contornos externos e internos además del espesor. Este concepto de AM-layer-feature se ilustra en la Figura 5. Luego, la nueva feature-AM-layer debe ser modelada dentro del ARM para AM.

Figure 5 – Representación del concepto de AM-Layer-Feature

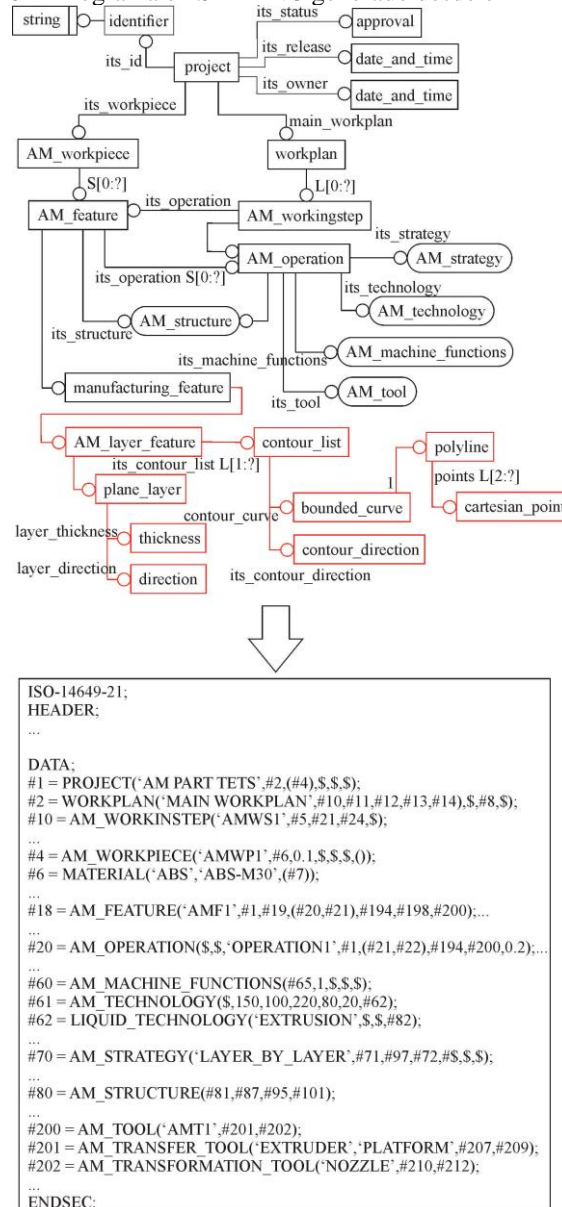


#### 4.3 MODELO DE REFERENCIA DE APLICACIÓN

El ARM contiene los requerimientos de información necesarios para la implementación. El ARM es generalmente programado en lenguaje EXPRESS o EXPRESS-G (EXPRESS-G es obtenido desde el EXPRESS), el cual es formalizado en ISO 10303-11 para la definición de modelos de datos usando programación orientada a objetos. En este lenguaje un objeto es llamado entidad y las propiedades de tal objeto son llamadas atributos. La relación entre entidades es dada por el grado de parentesco (sub-tipo y super-tipo).

En la Figura 6 se muestra parte del modelo en EXPRESS-G de AM referenciado desde la estructura general de datos de ISO 14649-10 (2004).

Figure 6 – Programa en STEP-NC generado desde el ARM de AM



Fonte: O autor

En este modelo (Figura 6), la parte resaltada en color rojo corresponde al concepto introducido de AM-layer-feature, el cual es una entidad subtipo de manufacturing\_feature. La entidad AM\_layer\_feature por un espesor (thickness), una dirección de construcción (direction) y una lista de los contornos internos y externos (contour\_list). A su vez, un contorno es definido por una dirección que determina el tipo de contorno (interno o externo) y un tipo de curva para definir la geometría (en este caso la polyline).

Teniendo el modelo lógico de entidades en EXPRESS es necesario un método de implementación para registrar y almacenar tales entidades. Típicamente el método usado es ISO 10303 Parte 21 para convertir entidades instanciadas en archivos físicos. En la



Figura 6 se muestra un fragmento del programa generado para fabricar una pieza en material ABS a través de un proceso aditivo basado en deposición de material fundido. Este archivo puede entonces ser implementado sobre un sistema de AM ya sea con control indirecto o directo. Actualmente, el LaDPRER (Laboratório de Desenvolvimento de Produto e Engenharia Reversa) de la Universidad de Brasilia, se está trabajando en el desarrollo de una plataforma abierta de AM basada en un robot de cinemática paralela delta linear (Rodríguez, Riano Jaimes, and Alvares 2017), la cual funcionará como plataforma de implementación de los modelos STEP-NC.

## REFERENCIAS

- Bonnard, R., P. Mognol, and J. Y. Hascoët. 2009. "Integration of Rapid Manufacturing Processes in a High-Level Numerical Chain." In *Proceedings of the Conference on Advanced Research in Virtual and Rapid Prototyping*, 595–601.
- Bonnard, Renan, Pascal Mognol, and Jean-Yves Hascoët. 2010. "A New Digital Chain for Additive Manufacturing Processes." *Virtual and Physical Prototyping* 5 (2): 75–88.
- Carleberg, Per. 1994. "Product Model Driven Direct Manufacturing." In *Proceedings of SFF Symposium*, 270–276.
- Danjou, S., and P. Koehler. 2008. "Bridging the Gap between CAD and Rapid Technologies Exigency of Standardized Data Exchange." In . Châtenay-Malabry (France).
- Dutta, Debasish, Vinod Kumar, Mike J. Pratt, and R. D. Sriram. 1998. "Towards STEP-Based Data Transfer in Layered Manufacturing." In *Proceedings of the Tenth International IFIP WG5. 2/5.3 PROLAMAT Conference*.
- ISO 6983-1. 1982. "Numerical Control of Machines — Program Format and Definition of Address Words — Part1: Data Format for Positioning, Line Motion and Contouring Control Systems." International Standard Organization.
- ISO 14649-1. 2003. "Industrial Automation Systems and Integration - Physical Device Control - Data Model for Computerized Numerical Controllers - Part 1: Overview and Fundamental Principles." ISO TC 184/SC1.
- ISO 14649-10. 2004. "Industrial Automation Systems and Integration - Physical Device Control - Data Model for Computerized Numerical Controllers - Part 10: General Process Data." ISO TC 184/SC1.
- ISO 14649-17. 2016. "Industrial Automation Systems and Integration - Physical Device Control - Data Model for Computerized Numerical Controllers - Part 17: Process Data for Additive Manufacturing Processes." ISO TC 184/SC1.
- Jee, H. S., and Byong Yeol Lee. 1999. "Slicing STEP-Based CAD Models for CAD/RP Interface." In *Proceedings of SFF Symposium*, 171–178.
- Kumar, Vinod, and Debasish Dutta. 1997. "An Assessment of Data Formats for Layered Manufacturing." *Advances in Engineering Software* 28: 151–64.
- Lu, Yan, Sangsu Choi, and Paul Witherell. 2015. "Towards an Integrated Data Schema Design for Additive Manufacturing: Conceptual Modeling." In *ASME 2015 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*. American Society of Mechanical Engineers.
- Nassehi, A., S.T. Newman, and R.D. Allen. 2006. "STEP-NC Compliant Process Planning as an Enabler for Adaptive Global Manufacturing." *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 22 (5–6): 456–67.

Negi, Sushant, Suresh Dhiman, and Rajesh Kumar Sharma. 2013. “Basics, Applications and Future of Additive Manufacturing Technologies: A Review.” *Journal of Manufacturing Technology Research* 5 (1–2): 75–96.

Pratt, Michael J. 2001. “Introduction to ISO 10303—the STEP Standard for Product Data Exchange.” *Journal of Computing and Information Science in Engineering* 1 (1): 102.

Rauch, Matthieu, Raphael Laguionie, Jean-Yves Hascoet, and Suk-Hwan Suh. 2012. “An Advanced STEP-NC Controller for Intelligent Machining Processes.” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 28 (3): 375–84.

Riano Jaimes, Cristhian Ivan, Renan Bonnard, João Carlos Espindola Ferreira, and Alberto Alvares. 2017. “Closed Loop Integration Model for Dimensional and Geometric Inspection of Prismatic Parts Based on the STEP-NC Standard.” In . Curitiba, Brazil.

Rodríguez, Efrain, Cristhian Ivan Riano Jaimes, and Alberto Alvares. 2017. “Projeto Mecatrônico de Un Robô Com Cinemática Paralela Delta Linear Para Manufactura Aditiva.” In *Anais Do IX Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação*. Joinville, Brazil.

Ryou, M. S., H. S. Jee, W. H. Kwon, and Y. B. Bang. 2006. “Development of a Data Interface for Rapid Prototyping in STEP-NC.” *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 19 (6): 614–26.

Suh, S.H., B.E. Lee, D.H. Chung, and S.U. Cheon. 2003. “Architecture and Implementation of a Shop-Floor Programming System for STEP-Compliant CNC.” *Computer-Aided Design* 35 (12): 1069–83.

Szilvsi-Nagy, M., and Gy. Mátyási. 2003. “Analysis of STL Files.” *Mathematical and Computer Modelling* 38 (7–9): 945–60.