

Interoperabilidad Semántica entre Estándares de Datos Industriales para Productos

Alvaro L. Fraga, Marcela Vegetti, Horacio P. Leone
INGAR, Instituto de Desarrollo y Diseño
Avellaneda 3657, Santa Fe, República Argentina
{alvarofraga, mvegetti, hleone}@santafe-conicet.gov.ar

Abstract

Las organizaciones industriales que necesitan adaptarse para continuar siendo competitivas deben establecer metodologías de trabajo colaborativo y distribuido. Implementar este tipo de trabajo requiere alcanzar la interoperabilidad de los sistemas de información de las diferentes empresas que colaboran. Los estándares propuestos por el comité técnico TC184/SC4 de la ISO (International Standard Organization), surgieron como una posible solución a este problema de interoperabilidad, para los sistemas que administran. Sin embargo, entre estos estándares no se logra la interoperabilidad a nivel semántico. En los distintos estándares, muchos de los conceptos usados para definir los términos difieren entre sí. En este trabajo se propone la definición de una red de ontologías capaz de integrar semánticamente un conjunto de estándares pertenecientes al comité TC184/SC4.

1. Introducción

La globalización impulsó a las organizaciones industriales a integrar sus procesos productivos con otras empresas distribuidas geográficamente para mantener su competitividad. Esto llevó a las industrias a unificar sus sistemas de información conformando una red colaborativa, donde los términos empleados deberían tener una conceptualización uniforme a través de los nodos de la red. La información que se debe compartir entre los diferentes sistemas no solo es amplia, sino que debe poder ser apreciada desde cada una de las áreas de las organizaciones involucradas. Sin embargo, las organizaciones reconocen que están muy lejos de lograr dicha integración [1]. Para afrontar el desafío del intercambio de información entre los nodos de una red de organizaciones industriales, se incorpora el concepto de “interoperabilidad”. La interoperabilidad se define, como la habilidad de intercambiar información, a través de diferentes

sistemas de información que estén involucrados en un mismo entorno [2]. Para que los sistemas logren la interoperabilidad requerida es de vital importancia conocer la semántica existente detrás de los términos manejados en cada dominio involucrado.

En las organizaciones de manufactura, los estándares han tenido bastante aceptación para facilitar la interoperabilidad entre los distintos sistemas, particularmente aquellos que se centran en el intercambio de datos relacionados con la geometría de productos, un área donde el significado de la terminología es compartido y claramente entendido por los expertos involucrados. Sin embargo, en áreas donde la terminología está menos rigurosamente definida, los estándares comienzan a enfrentarse a problemas de tipo semántico [3, 4]. En diferentes estándares el mismo término es utilizado para nombrar cosas distintas o diferentes términos son usados para referirse a un mismo concepto. Esta situación conduce a problemas potencialmente importantes de interoperabilidad [5]. Tal vez uno de los mayores esfuerzos para proveer modelos comunes como base para el intercambio de datos se ven reflejados en el trabajo realizado por el comité TC 184/SC4 de la ISO [6].

La organización del comité ISO TC 184/SC4 tiene como meta lograr estándares que logren implementarse en industrias que manejan modelos de productos informatizados a lo largo del ciclo de vida del producto. El alcance de los estándares del comité TC184/SC4 incluyen todos los datos industriales relacionados al producto: calidad, planes de eliminación, proceso de diseño, materiales, funciones, procesos, producción, y datos sobre el ciclo de vida.

Los estándares generados por el comité son numerosos y aplicables a los sistemas de gestión de producción de diferentes niveles. Si bien proveen una amplia cobertura del dominio del producto, se observan, al analizarlos en forma conjunta, algunos problemas semánticos entre

los que se destaca la falta de compatibilidad entre los modelos de información y el vocabulario utilizado por cada uno [7]. Un aspecto importante de los estándares existentes es la falta de formalización en los conceptos que definen, lo cual permite que dos actores diferentes interpreten los conceptos de un mismo estándar de dos maneras distintas. Asimismo, las definiciones de términos en los diferentes estándares no son consistentes entre sí. Un ejemplo muy evidente que se presenta al emplear un grupo de estándares propuestos por ISO TC 184/SC4, es que los términos proceso, producto y recurso, son definidos en forma diferente en los mismos, lo cual es particularmente destacable a partir de la importancia de estos conceptos en los sistemas de manufactura.

Si bien los estándares son un paso hacia la interoperabilidad de sistemas de manufactura, no abordan de manera completa lo que denominamos interoperabilidad semántica. Desde hace algunos años, las ontologías son consideradas como potentes herramientas para abordar estos problemas. Las mismas especifican la semántica de un sistema de terminologías sin ambigüedades, mediante la representación explícita y formal de una conceptualización compartida.[8].

El presente trabajo propone una red de ontologías que puede ser representada en una arquitectura de tres niveles para dar solución al problema de la interoperabilidad, formalizando el significado de los distintos conceptos de un conjunto de estándares del comité ISO TC 184/SC4.

En la próxima sección se mencionan algunos de los trabajos relacionados en esta temática. En la sección 3 se introducen los estándares involucrados en el análisis, y las principales definiciones empleadas para la conformación del esquema conceptual. La sección 4 describe brevemente la metodología y los pasos generales llevados a cabo para el desarrollo de la red de ontologías. En la sección 5 se presenta la red de ontologías propuesta, destacando los diferentes niveles con sus conceptos, así como la forma en que se vinculan entre sí. En la Sección 6 se especifica una primera implementación. La sección 7 presenta una prueba de conceptos. Finalmente, en la última sección se exponen las conclusiones y trabajos que se realizarán en el futuro.

2. Trabajos Relacionados

La gestión del ciclo de vida de productos (PLM) es un área de investigación que apunta al desarrollo y mejora del trabajo colaborativo entre todos los actores involucrados en dicho ciclo [9]. Esta área resulta un reto en la práctica de la ingeniería al ser un campo donde distintas disciplinas intervienen en la gestión de los productos, sin

mencionar el ámbito globalmente distribuido, que presentan las industrias actuales. Diferentes normas coexisten para las diversas funciones de manufactura, lo que hace prácticamente imposible llegar a un acuerdo sobre la utilización de un único estándar.

Por esta razón uno de los mayores temas de investigación se enfoca en la habilidad de alcanzar la interoperabilidad completa entre todos los sistemas de información que intervienen en el ciclo de vida de producto [10]. Algunas propuestas se han presentado para lograr el intercambio de datos entre sistemas CAD y PDM [11], PLM y ERP [12], y ERP y MES [13]. Estas tres propuestas remarcan la necesidad de alcanzar la interoperabilidad, como así también la dificultad en la transformación de los distintos modelos que manejan los sistemas sin perder información en el proceso.

Si bien la idea de la estandarización ha ayudado mucho a mejorar el nivel de comunicación (al menos a nivel sintáctico) en varios dominios, las normas relativas a la representación de la información son mucho más difíciles de acordar. Varias propuestas y enfoques en relación con el modelado de información de productos han sido propuestos por la academia en las últimas décadas, incluyendo diferentes alternativas para la representación de información en el diseño de procesos y productos [14-16], la administración de proyectos [17-19], o el control de equipos de producción [20]. Otros enfoques limitan su alcance a un dominio de aplicación particular, desde telecomunicaciones [21] e industria de procesos [22], [23], hasta la industria farmacéutica [24]. Sin embargo, ninguna de estas ideas han encontrado suficiente aceptación en la práctica industrial [3].

En [25] se presentó un primer avance de esta propuesta que trata de dar una posible solución al problema de interoperabilidad semántica entre distintas industrias de manufactura. Formalizando el significado de los conceptos que se emplean en un conjunto de estándares del TC184/SC4. En ese primer avance, se detallaron los límites y los estándares que se abordarán, junto a estos, un análisis de los términos principales y sus discrepancias, como así también, una descripción de dos de los tres niveles de la arquitectura propuesta, siendo este trabajo la continuación del escrito anteriormente mencionado.

3. Términos Involucrados

En este trabajo se aborda el aspecto semántico de los estándares del comité TC184/SC4, focalizando la propuesta en cuatro términos claves para la representación de los datos de productos: “Process”, “Product”, “Resource” y “Enterprise (Entity)”. En [25] se describe la

definición que cada uno de los estándares analizados utiliza para los términos mencionados. Allí puede observarse que algunas de ellas entran en conflicto. Por ejemplo las definiciones dadas para “Resource” en el estándar ISO 10303-232 [26] y para “Product” en ISO 13584-102 [27] son las mismas. Otro caso se puede observar en los términos “Resource”(ISO 10303-239 [28]), “Product”(ISO/TS 8000-311[29], ISO/TS 15926-11 [30], ISO 10303-1 [31], ISO 15531-32 [32], ISO 15531-43 [33], ISO 18629-1 [34], ISO 18629-11 [35], ISO 18629-12 [36], ISO 18629-41[37], ISO 18629-42 [38], ISO 18629-43 [39], ISO 13584-1 [40], ISO 13584-24 [41], ISO 13584-42 [42]) y “Process” (ISO 10303-49 [43]). “Process” se define como proveedor de productos, propiedades o aspectos del mismo, mientras que a “Resource” se lo define como resultado de un proceso, y “Product” como cosa o sustancia producida por un proceso natural o artificial. Claramente se destaca que “Resource” entra en conflicto con la definición de “Process”, debido a que “Resource” no es el resultado de un “Process” para el ISO 10303-49.

Aparecen una gran cantidad de conflictos a medida que se avanza en el estudio de los múltiples estándares. Nombrarlos a todos no es el propósito de este trabajo, pero otro ejemplo importante es: “Product Information”. Los estándares ISO 18629-1 y ISO 10303-1 definen “Product Information” de igual manera que al término “Product” (ISO 13584-102) y que “Resource” (ISO 10303-232). Estos ejemplos dan más énfasis a la importancia de los términos, “Product” y “Resource”.

4. Metodología utilizada para el Desarrollo de red de ontologías propuesta

Todas las metodologías para el desarrollo de ontologías poseen tres etapas generales [44] estas son: (1) alcance y propósito; (2) capturar los conceptos y relaciones entre dichos conceptos, así como los términos usados para referirse a los conceptos y sus relaciones, y (3) Codificar la ontología.

Durante el desarrollo de este trabajo se accedió a diversas fuentes de información, recursos ontológicos como así también no ontológicos. Se optó por utilizar una metodología que tenga un enfoque para varios tipos de recursos, que permita la reutilización y la reingeniería de los mismos, por lo que se tomó la decisión de utilizar la metodología NeOn [45] para el desarrollo de la red propuesta.

La metodología NeOn tiene un enfoque por escenarios y plantea guías de actividades para cada uno de éstos. Algunos de los escenarios propuestos se adaptan a nuestra necesidad.

Los recursos no ontológicos provienen directamente de la documentación de los estándares del comité ISO TC184/SC4 y los ontológicos de trabajos previamente realizados, [6, 13, 46, 47]. En estos trabajos se analizaron estándares del mencionado comité y se presentaron como resultado las ontologías de los mismos. Por lo que nuestro escenario para el desarrollo del trabajo no se circunscribe solo a uno, sino que es una combinación de ellos, donde cada escenario considera los tipos de fuentes con los que se trabajará y sus guías de actividades. Si bien cada escenario propuesto por NeOn tiene actividades particulares, todos tienen en común tres etapas para el desarrollo:

- Especificación de Requerimientos: esta etapa idéntica el propósito y alcance de la ontología
- Conceptualización: organiza y convierte una vista informal del dominio utilizando diagramas UML.
- Formalización: involucra la codificación de la ontología en un lenguaje formal entendible y usable por los razonadores automáticos.

Estas etapas no se cumplen en un orden secuencial, sino que cualquier ontología pasa por un proceso de desarrollo iterativo e incremental en algún punto de sus actividades. En las siguientes secciones se introduce brevemente los resultados más importantes de las actividades de conceptualización (Sección 5) y Formalización (Sección 6).

5. Definición del Esquema Conceptual

La red de ontologías propuesta en este trabajo, posee una arquitectura de tres niveles, como se muestra en la Figura 1:

- Superior (Top Level Ontology): define los términos más importantes.
- Intermedio (Middle Level Ontologies): contiene Ontologías modulares que especifican un conjunto de términos, comunes a varios estándares, que permiten refinar los conceptos definidos en la capa superior.
- Inferior (Lower Level Ontologies): agrupa un conjunto de ontologías que formalizan cada uno de los estándares y/o partes de estándares.

La ontología del nivel superior especifica cuatro términos relevantes para todos los estándares involucrados.

Este nivel tiene un contexto general mostrando solamente las relaciones definidas en los estándares que involucran los términos principales.

El nivel intermedio permite refinar los términos del nivel superior, a través de especificaciones de nuevos conceptos y relaciones que extienden la definición de los

la cual enuncia: “Un procedimiento particular para hacer algo que involucra uno o más pasos u operaciones. El proceso puede producir un producto, una propiedad de un producto o un aspecto de un producto”.

El término “Process” aparece relacionado a “Enterprise” en los estándares ISO 15531 e ISO 18629. Ambos

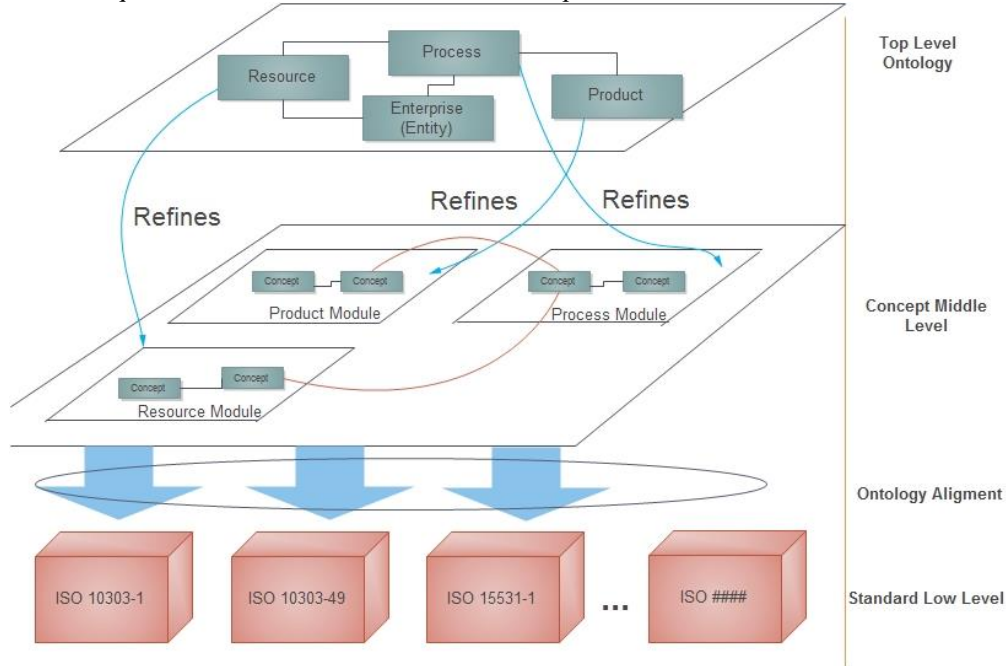


Fig 1. Arquitectura de Tres Niveles de la Red de Ontologías Propuesta

mismos. Para una mejor organización, este nivel se divide en módulos, uno por cada término del nivel superior.

Los módulos del nivel intermedio se comunican verticalmente con los términos del nivel superior y horizontalmente con conceptos definidos en distintos módulos del mismo nivel.

El nivel inferior consta de las ontologías que formalizan cada estándar o parte de estándar. Cada estándar posee esquemas, los cuales están definidos en un contexto. Estos esquemas son ontologías y pueden relacionarse con otros esquemas de estándares más genéricos.

5.1. Descripción del Nivel Superior

En la Figura 2, se observa el esquema conceptual de la capa superior “Top Level Ontology”. Esta figura señala las relaciones entre los términos “Product”, “Process”, “Resource” y “Enterprise (Entity)” y los estándares que los definen.

Se decidió asociar los términos “Product” y “Process” a causa de la definición de “Process” en ISO 10303-49,

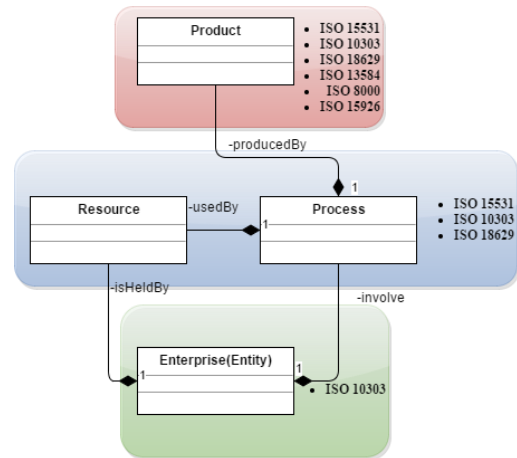


Fig 2. Esquema Conceptual de la Capa Superior

estándares describen a “Process” como: “Conjunto de actividades involucrando varias entidades empresariales que están organizadas con un propósito”. Asimismo, “Enterprise (Entity)” es definido en ISO 100303-239,

como una o más organizaciones con un conjunto de metas y objetivos para ofrecer productos y/o servicios.

5.2. Descripción del Nivel Intermedio

Las Figuras 3, 4 y 5 ilustran los diagramas que corresponden a los módulos de la capa media de la arquitectura: Process, Product, Resource y Enterprise.

El módulo del término "Process", que se muestra en la Figura 3 incluye los términos "Natural_Process", "Artificial_Process". Estos dos términos participan de la definición de "Product" en los estándares ISO 8000, ISO 10303, ISO 13584, ISO 15531, ISO 15926, ISO 18629. En la Figura 3 se observa que el término "Procedure" materializa al término "Process", de acuerdo con su definición en ISO 10303. Una "Process_Activity" es un paso u operación que forma parte de un "Process" y "Procedure_Activity" es una ejecución específica de un "Process_Activity". El recurso requerido para ejecutar un "Process_Activity" se denomina "Process_Material". El conjunto de procesos necesarios para fabricar un producto, están vinculados por medio de un "Process_Plan", el cual se ejecuta en una "Process_Plant".

En la Figura 4 se presenta el diagrama que corresponde al módulo del término "Product". En dicha figura se observa los términos "Instruction", "Fact", y "Concept" como especializaciones de "Product Information". El término "Instruction" describe información sobre el cómo hacer o como usar algo, mientras que "Fact" es la información atómica del producto y "Concept" es la noción o idea acerca del mismo.

En el estándar ISO 10303-1, aparecen dos definiciones para el término "Product", una de ellas es la misma para "Product Information". En la propuesta se introduce el concepto "Product Information" al módulo de Product y se lo asocia al concepto "mediante la relación, *definedBy*". Se observa en la figura que también aparecen en el diagrama los términos "Substance" y "Thing" como subsunción del término "Product". Esta decisión se fundamenta en que los estándares ISO 8000, ISO 10303, ISO 13584, ISO 15531, ISO 15926 y ISO 18629, definen a "Product" como una cosa o sustancia producida por un proceso natural o artificial.

El módulo que refina el término "Resource" se introduce en la Figura 5. Según ISO 10303-49, un "Resource" está definido por sus comportamientos y capacidades, por lo que se asocia con los términos "Behaviour" y "Capability". Asimismo, forman parte del módulo los términos "Tool", "Equip", y "Device", que los estándares ISO 15531 e ISO 18629 describen como recursos. Estos mismos estándares no reconocen, ni consideran al término

"Raw Material" como un tipo de recurso. Otros estándares agregan más términos a esta relación de subsunción como "Proces Material" y "Product Material".

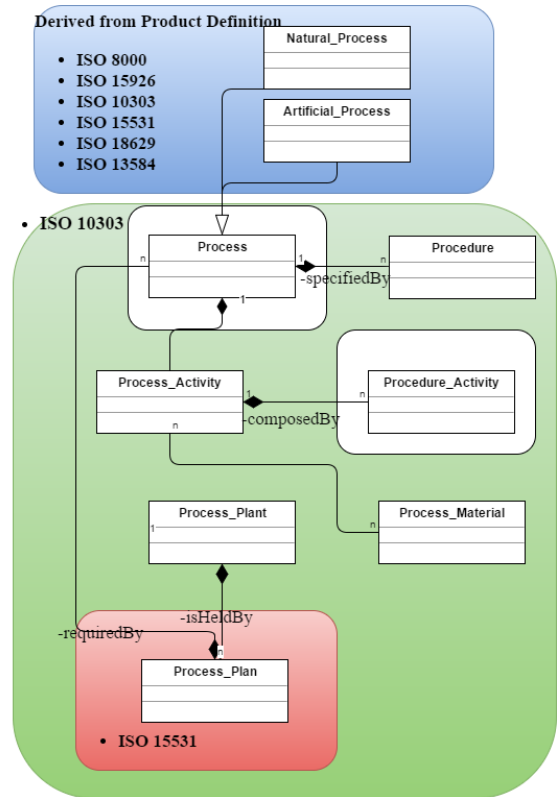


Fig. 3. Términos del Módulo "Process"

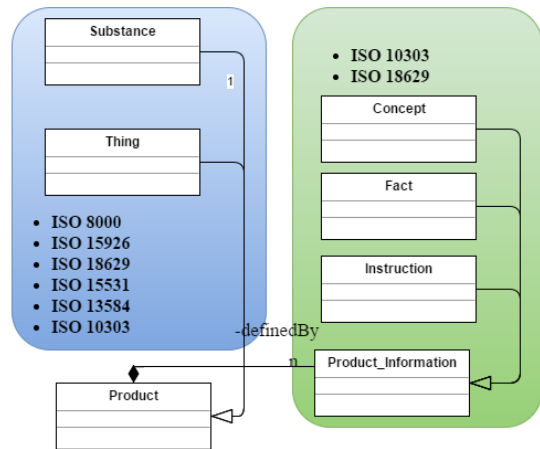


Fig. 4. Términos Pertencientes al Módulo "Product"

Según ISO 10303-227, el primer término, define el material usado o transportado por una actividad de proceso. En tanto, el segundo término, se refiere, de acuerdo a ISO 10303-235, al objeto físico que fue fabricado según una

especificación y del cual se puede fabricar otro producto. Teniendo en cuenta esto, se define una relación de subsunción entre "Material" y los términos "Product Material", "Process Material" y "Raw Material".

El módulo del término Enterprise (Entity) es refinado usando el modelo de manufactura de cuatro niveles presente en [48]. Este modelo representa los niveles en los cuales un proceso o plan de proceso puede ser ejecutado e incluye desde la organización hasta las estaciones de trabajo, como muestra la Figura 6. Una estación de trabajo, "Station", es donde se realiza un trabajo en especial. El término "Cell" es un grupo de operaciones relacionadas en el flujo de producción, mientras que "Shop" es el área donde se lleva a cabo la producción, y "Factory" es el lugar donde se encuentran esas áreas de producción. A su vez el conjunto de "Factory" son miembros de "Enterprise".

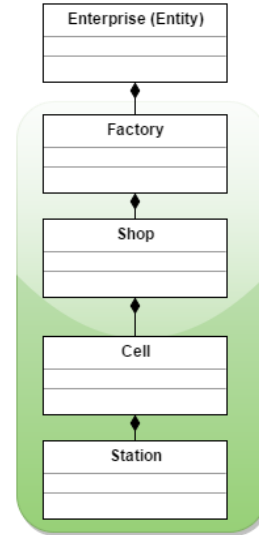


Fig. 6. Términos del Módulo "Enterprise"

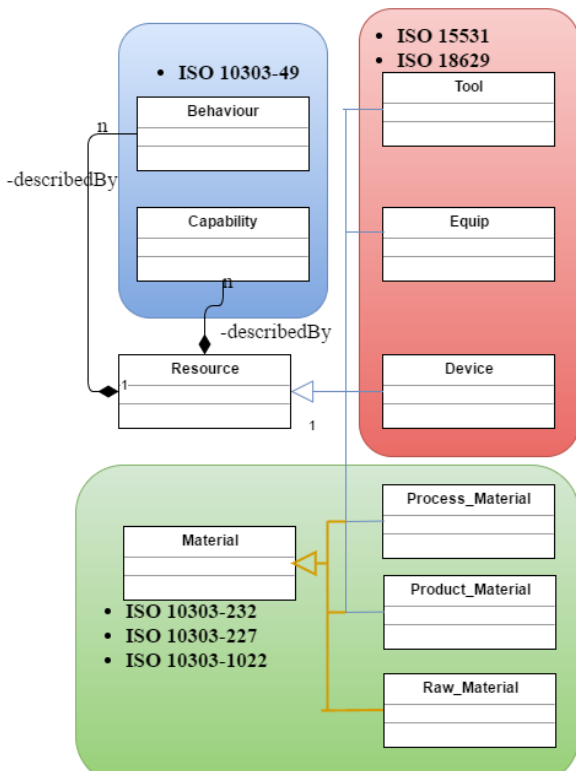


Fig. 5. Términos del Módulo "Resource"

5.3. Descripción del Nivel Inferior: ISO 10303-49

Se decidió incluir en este trabajo la descripción de las ontologías que formalizan el estándar 10303-49: Integrated generic resources: Process structure and properties, que es una de los componentes que conforman el nivel inferior de la propuesta.

Para comprender las partes del estándar ISO 10303 hay que tener en cuenta dos términos imprescindibles, construcción de recurso y protocolo de aplicación.

La construcción de recurso es una colección de entidades, tipos, funciones, normas y referencias que en conjunto definen una descripción válida de un aspecto de los datos de producto.

Un protocolo de aplicación es una parte del estándar ISO 10303, que especifica un modelo de aplicación que cumple con los requisitos de alcance y de información para esa aplicación específica [31].

La parte 49 del estándar ISO 10303 especifica la construcción de recurso que definen acciones o acciones posibles para llevar a cabo un proceso. La construcción de recurso integrado dentro de esta parte del estándar define la estructura para especificar: relaciones entre los procesos, la efectividad de un proceso, las propiedades de un proceso, los recursos necesarios para el proceso, las propiedades del recurso, la representación del proceso, la representación del recurso, y la relación del proceso con los productos. Cuando esta construcción de recurso integrado se utiliza en el contexto de un protocolo de aplicación, pueden llegar a representar un plan de trabajo.

Esta parte del estándar está dividida en tres esquemas:

- Method Definition Schema: proporciona estructuras para especificar la descomposición y el orden de las

acciones o acciones potenciales que efectúan un proceso. Este esquema sirve para determinar los recursos que son empleados por los procesos.

- Process Property Schema: son las propiedades de las acciones, recursos, y productos que realizan o son parte de un proceso.
- Process Property Representation Schema: es la representación de las propiedades requeridas por un recurso, una acción, o una posible acción para realizar un proceso.

Cada uno de estos esquemas se formaliza con una ontología en esta propuesta. Estas ontologías forman un módulo que representa el estándar implementado, por medio de técnicas de alineamiento se comunica con el nivel intermedio.

Uno de los términos más importantes en este estándar es `product_definition_process` del esquema `process_property` que representa un proceso que está asociado a un conjunto de productos por medio del término `process_product_association`. El producto es especificado haciendo uso de los términos presentes en el esquema `product_property` y el término `characterized_product_definition` del estándar 10303 parte 41.

Los recursos que operan en los procesos definidos, están asociados al término `action_resource_requirement`. Este término se relaciona con los procesos por medio de la propiedad `operation`.

Los términos aquí nombrados no son todos los que define el estándar, pero son algunos de los más importantes que se usaran para la prueba de conceptos del presente trabajo.

6. Implementación de la Red de Ontologías

Una primera implementación de las ontologías propuestas se ha realizado en OWL (Ontology Web Language) utilizando el editor Prótege 5.0.0 build beta-23. La ontología principal (`CoreConcepts.owl`) importa los conceptos de los diferentes módulos del nivel intermedio (`ProductMod.owl`, `ProcessMod.owl`, `ResourceMod.owl`, `EnterpriseMod.owl`). La ontología `CoreConcepts.owl` especifica los conceptos y relaciones presentados en la Figura 2. En tanto las ontologías `ProcessMod.owl`, `ProductMod.owl`, `ResourcesMod.owl` y `EnterpriseMod.owl`, definen los conceptos y relaciones que han sido introducidos en las Figuras 3, 4, 5 y 6 respectivamente.

Los diferentes módulos de la arquitectura propuesta, los cuales se implementan en OWL, se vinculan mediante relaciones tanto verticales como horizontales. En el primer caso, relaciones binarias vinculan términos pertenecientes a módulos de las primeras capas de la arquitectura, como se puede apreciar en la Figura 7.

El ObjectProperty llamado “specifiedBy”, definido en OWL, se emplea para la representación de una relación binaria entre los conceptos “Procedure” (definido en el nivel intermedio) y “Process” (especificado en el nivel superior).

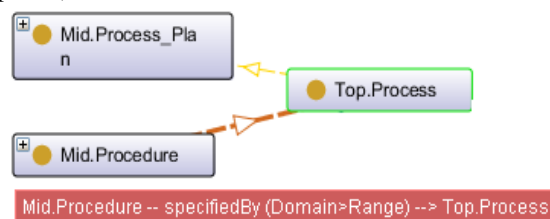


Fig. 7. Ejemplo de Relación entre Términos del Nivel Intermedio y Superior

Para la comunicación entre los niveles intermedio e inferior, se definieron un conjunto de reglas utilizando el lenguaje SWRL (Semantic Web Rule Language).

La Tabla 1, muestra un ejemplo de tres reglas que están involucradas para la interacción entre el módulo del estándar ISO 10303 parte 49, formalizado en una ontología del nivel inferior, y las ontologías en el nivel intermedio. Estas reglas describen cómo los individuos del módulo pueden ser inferidos, con la ayuda de un razonador, como individuos de los conceptos del nivel intermedio de la red de ontologías.

La regla cuyo nombre es `R_Process` específica que si `X` es un individuo en la población del concepto `process_property_schema_product_definition_process`, entonces, `X` es un `process` en el nivel intermedio. La regla `R_Resource` detalla que si `X` es un `process_property_schema_action_resource_requirement` y está relacionado con `Y` a través de la propiedad `operation`, entonces, `X` es un `process_material` y está relacionado a `Y` por medio de la propiedad `usedBy`. Finalmente, la regla `R_Product` puntualiza que si `X` es un `process_property_schema_product_association` y está relacionado con `Y` por el término `process`, entonces, `X` es un `product` y se encuentra asociado a `Y` empleando el término `producedBy`.

Tabla 1. Reglas para Comunicación entre ISO 10303-49 y el Nivel Intermedio

Nombre	Regla
R_Process	<code>process_property_schema_product_definition_process(?x) => process(?x)</code>
R_Resource	<code>process_property_schema_action_resource_requirement(?x)^operation(?x,?y)=>usedBy(?x,?y)^process_material(?x)</code>
R_Product	<code>process_property_schema_product_association(?x)^process(?x,?y)=>product(?x)^producedBy(?x,?y)</code>

7. Prueba de Conceptos: IDEF3 a 10303-49

El objetivo de esta sección es ejemplificar cómo la red de ontologías propuesta puede ser utilizada para comunicar aplicaciones que se basan en estándares diferentes.

En la Figura 8 se muestra un esquema de los 2 sistemas que se pretende interoperar, indicando en cada caso el estándar utilizado.

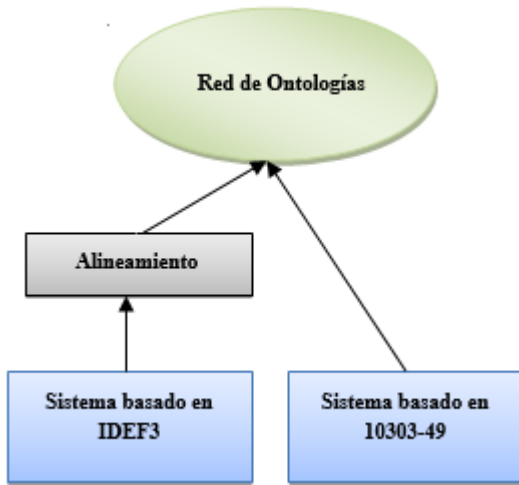


Fig. 8. Componentes de la Prueba de Conceptos

Como se muestra en la figura uno de los sistemas utiliza IDEF3 (Integrated DEFINition for Process Description Capture Method) y debe comunicarse con otra aplicación que adhiere al estándar ISO 10303-49.

En el primer caso, fue necesaria la creación e instancia de una ontología que formaliza los conceptos de IDEF3, así como la definición de un componente de alineación entre esta nueva ontología y los conceptos de la red propuesta. En el caso del estándar utilizado por la otra aplicación, el ISO 10303-49, la ontología que for-

maliza dicho estándar ya forma parte de la red de ontologías (ver sección 4.3) y por lo tanto no es necesario crear un componente de alineación.

IDEF3 se usa para el modelado de procesos, captura de restricciones, requerimientos y relaciones de los recursos de cada acción involucrada en el sistema incluyendo su temporalidad.

Las unidades de comportamiento (UOB), en IDEF3, son bloques que representan actividades. Estas se relacionan entre sí mediante los enlaces temporales (TemporalLink) con asociaciones que representan si una entidad es predecesora o sucesora.

Para representar la divergencia o convergencia de los procesos, se utilizan las junctiones. Estas pueden ser de ejecución en paralelo (AndJunction) o alternativo (OrJunction o XORJunction). Así también, las ramificaciones de los caminos de ejecución pueden ser asincrónicas o sincrónicas. Los UOB pueden interactuar con objetos que pueden ser entradas (InputObject) o salidas (OutputObject) que produzcan los mismos.

El ejemplo en IDEF3, que se muestra en la Figura 9, está compuesto por cuatro Unidades de Comportamiento, un objeto de entrada requerido por la primera unidad, un objeto de salida en el nodo terminal, y dos conectores And sincronizados, uno como sucesor de la primera unidad y otro como predecesor de la última unidad.

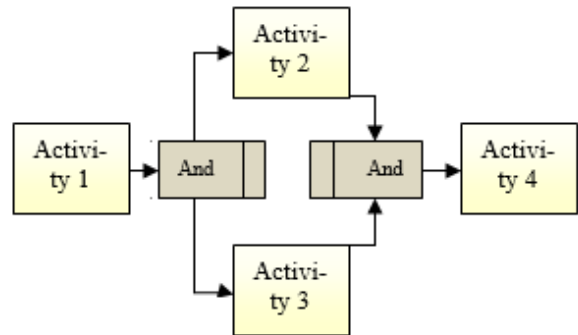


Fig. 9. Ejemplo Genérico en IDEF3 de un Proceso

Para lograr el alineamiento de las ontologías, se definieron reglas en SWRL. Por medio de un razonador y las reglas, logramos un puente entre la ontología del IDEF3 y la de ISO 10303-49. Este es el mismo método que se utiliza para lograr una comunicación entre el nivel inferior y el nivel intermedio de la red de ontologías presentada.

En la Tabla 2, se muestra las entidades que están involucradas en la prueba de concepto y las entidades de la

red de ontologías que serán empleadas en la conformación de las reglas para la alineación. Los términos utilizados en estas reglas se definieron en las secciones 4.3.

Tabla 2. Términos Involucrados en el Caso de Estudio

IDEF3	Standard Low Level: 10303-49	Concept Middle Level
UOB	process_property_schema_product_definition_process	Process
TemporalLink	action_schema.action_relationship ^ action_schema.action_method_relationship ^ action_schema.serial_action_method	
InputObject	action_schema.action_resource ^ action_resource_requirement ^ characterized_action_definition	Process_Material
OutputObject	process_property_schema_process_product_association ^ product_property_definition_schema.characterized_product_definition	Product
AndJunctionSynchronous	action_schema.action_relationship ^ action_schema.action_method_relationship ^ action_schema.concurrent_action_method	

La Tabla 3, presenta algunas de las reglas que se necesitan para tener alineadas las ontologías de IDEF3 e ISO 10303-49.

La regla R_UOB, señala que, si existe un X que es instancia de UOB entonces, X es instancia de process_property_schema_product_definition_process, término presente en el estándar 10303-49. Las reglas R_Predecesor y R_Successor definen el mapeo entre el concepto TemporalLink de IDEF3 y sus vinculaciones entre procesos de ISO 10303-49. En ambos casos se especifica que, si X es un TemporalLink e Y es un UOB relacionados por las asociaciones hasPredecesor o hasSuccessor, dependiendo si la regla es R_Predecesor o R_Successor, entonces X es una instancia del concepto action_schema.action_relationship. Asimismo, en la Tabla 3 se define la regla R_AndJunctionSyn para mapear el concepto AndJunctionSyn. Esta regla especifica que, si X es un TemporalLink e Y es un AndJunctionSyn, relacionados por la propiedad hasJunction entonces, X es un individuo que pertenece a la población del concepto action_schema.action_relationship e Y es una instancia

de concurrent_action_method. Por último, se observa en la mencionada tabla las reglas R_Input y R_Output para los objetos de entrada y salida, respectivamente, de las unidades de comportamiento (UOB) de IDEF3. R_Input especifica que, si X es un individuo de InputObject e Y es un UOB asociados por la propiedad from, entonces, X es un process_property_schema_action_resource_requirement que está relacionado con la propiedad operation. En cambio, la regla R_Output especifica que, si X es un OutputObject e Y un UOB, donde estos dos términos se asocian por la propiedad to, entonces, X es un process_property_schema_process_product_association relacionado con Y por la propiedad process_property_schema_process_product_association_process.

Tabla 3. Reglas SWRL para Alineamiento entre IDEF3 e ISO 10303-49

Nombre	Regla
R_UOB	UOB(?x) => product_definition_process(?x)
R_Predecesor	TemporalLink(?x) ^ hasPredecesor(?x, ?y) ^ UOB(?y) => action_schema.action_relationship(?x)
R_Successor	TemporalLink(?x) ^ hasSuccessor(?x, ?y) ^ UOB(?y) => action_schema.action_relationship(?x)
R_AndJunctionSyn	TemporalLink(?x) ^ hasJunction(?x, ?y) ^ AndJunctionSyn(?y) => action_schema.action_relationship(?x) ^ concurrent_action_method(?y)
R_Input	Input_Object(?x) ^ from(?x, ?y) ^ UOB(?y) => action_resource_requirement(?x) ^ operation(?x, ?y)
R_Output	Output_Object(?x) ^ to(?x, ?y) ^ UOB(?y) => process_property_schema_process_product_association(?x) ^ process_property_schema_process_product_association_process(?x, ?y)

8. Conclusiones

En este trabajo se presentó una propuesta para el uso de una red de ontologías para lograr la interoperabilidad de sistemas heterogéneos usando estándares de ISO del comité técnico 184 subcomité 4. Se mostró la división de la estructura en tres niveles, el nivel superior posee los términos más importantes, estos módulos se definen con mayor detalle en el nivel intermedio. El nivel intermedio a través de reglas y un motor de inferencia alcanza un

alineamiento con el nivel inferior. Por último, se describió un caso de estudio, en el que se presenta un ejemplo usando una ontología de IDEF3. Alineamos la misma con nuestra red de ontología, haciendo uso del módulo que describe al ISO 10303-49. Este no logra representar por completo todo lo que se puede expresar con la ontología de IDEF3, sino que necesita otras ontologías a las que se hace referencia, presentes en el ISO 10303-41.

Los próximos pasos serán seguir con la implementación de los módulos de distintas partes y estándares, comprobar la integridad de la propuesta con múltiples casos y aplicaciones.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer el apoyo brindado por las siguientes instituciones: CONICET y Universidad Tecnológica Nacional (PID 3810).

Referencias

- [1] V. Srinivasan, "An integration framework for product lifecycle management," *Comput. Des.*, vol. 43, no. 5, pp. 464–478, May 2011.
- [2] S. R. Ray and a. T. Jones, "Manufacturing interoperability," *J. Intell. Manuf.*, vol. 17, no. 6, pp. 681–688, 2006.
- [3] A. Wiesner, J. Morbach, and W. Marquardt, "Information integration in chemical process engineering based on semantic technologies," *Comput. Chem. Eng.*, vol. 35, no. 4, pp. 692–708, Apr. 2011.
- [4] N. Chungoora, R. I. Young, G. Gunendran, C. Palmer, Z. Usman, N. a. Anjum, A. F. Cutting-Decelle, J. A. Harding, and K. Case, "A model-driven ontology approach for manufacturing system interoperability and knowledge sharing," *Comput. Ind.*, vol. 64, no. 4, pp. 392–401, 2013.
- [5] R. I. M. Young, a. G. Gunendran, a. F. Cutting-Decelle, and M. Gruninger, "Manufacturing knowledge sharing in PLM: a progression towards the use of heavy weight ontologies," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 45, no. 7, pp. 1505–1519, 2007.
- [6] a. F. Cutting-Decelle, R. I. M. Young, J. J. Michel, R. Grangel, J. Le Cardinal, and J. P. Bourey, "ISO 15531 MANDATE: A Product-process-resource based Approach for Managing Modularity in Production Management," *Concurr. Eng.*, vol. 15, no. 2, pp. 217–235, 2007.
- [7] N. Chungoora, R. I. Young, G. Gunendran, C. Palmer, Z. Usman, N. A. Anjum, A. F. Cutting-Decelle, J. A. Harding, and K. Case, "A model-driven ontology approach for manufacturing system interoperability and knowledge sharing," *Comput. Ind.*, vol. 64, no. 4, pp. 392–401, 2013.
- [8] N. Guarino, "Formal Ontology and Information Systems," *Proc. first Int. Conf.*, vol. 46, no. June, pp. 3–15, 1998.
- [9] S. Terzi, A. Bouras, D. Dutta, M. Garetti, and D. Kiritsis, "Product lifecycle management - from its history to its new role," *Int. J. Prod. Lifecycle Manag.*, vol. 4, no. 4, pp. 360–389, 2010.
- [10] F. Noël and L. Roucoules, "The PPO design model with respect to digital enterprise technologies among product life cycle," *Int. J. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 21, no. 2, pp. 139–145, 2008.
- [11] T. Paviot, S. Lamouri, and V. Cheutet, "A generic multiCAD/multiPDM interoperability framework," *Int. J. Serv. Oper. Informatics*, vol. 6, no. 1–2, pp. 124–137, 2011.
- [12] T. Paviot, V. Cheutet, and S. Lamouri, "A PLCS framework for PDM/ERP interoperability framework," *Int. J. Prod. Lifecycle Manag.*, vol. 5, no. 2–3–4, pp. 295–313, 2011.
- [13] a Tursi, H. Panetto, G. Morel, and M. Dassisi, "ONTOLOGICAL APPROACH FOR PRODUCTS-CENTRIC INFORMATION SYSTEM INTEROPERABILITY IN NETWORKED MANUFACTURING ENTERPRISES," *Annu. Rev. Control*, vol. 33, pp. 238–245, 2009.
- [14] D. Yang, R. Miao, H. Wu, and Y. Zhou, "Product configuration knowledge modeling using ontology web language," *Expert Syst. Appl.*, vol. 36, no. 3, pp. 4399–4411, Apr. 2009.
- [15] M. Vegetti, H. Leone, and G. Henning, "PRONTO: An ontology for comprehensive and consistent representation of product information," *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 24, no. 8, pp. 1305–1327, Dec. 2011.
- [16] J. Nanda, H. Thevenot, T. W. Simpson, R. B. Stone, M. Bohm, and S. B. Shooter, "Product family design knowledge representation, aggregation, reuse, and analysis," *Artif. Intell. Eng. Des. Anal. Manuf.*, vol. 21, pp. 173–192, 2007.
- [17] H. K. Lin and J. A. Harding, "A manufacturing system engineering ontology model on the semantic web for inter-enterprise collaboration," *Comput. Ind.*, vol. 58, no. 5, pp. 428–437, Jun. 2007.
- [18] A. H. Badradabi and S. Mohammadi, "An assistant for large scale software project management: Hybrid of agents and semantic web services," in *2008 4th IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology*, 2008, pp. 635–640.
- [19] S. Mohammadi and A. Khalili, "A Semantic Web Service-Oriented Model for Project Management," in *2008 IEEE 8th International Conference on Computer and Information Technology Workshops*, 2008, pp.

667–672.

- [20] J. Puttonen, A. Lobov, M. A. C. Soto, and J. L. M. Lastra, “A Semantic Web Services-based approach for production systems control,” *Adv. Eng. Informatics*, vol. 24, no. 3, pp. 285–299, Aug. 2010.
- [21] A. Duke, J. Davies, M. Richardson, and N. Kings, “A Semantic Service Orientated Architecture for the Telecommunications Industry,” *Intell. Commun. Syst.*, pp. 236–245, 2004.
- [22] S. L. T. D. S. Jon Atle Gulla, “Semantic Interoperability in the Norwegian Petroleum Industry.”
- [23] “OntoCAPE - A Re-Usable Ontology for Chemical Process | Wolfgang Marquardt | Springer.” [Online]. Available: <http://www.springer.com/us/book/9783642046544>. [Accessed: 10-May-2016].
- [24] V. Venkatasubramanian, C. Zhao, G. Joglekar, A. Jain, L. Hailemariam, P. Suresh, P. Akkisetty, K. Morris, and G. V. Reklaitis, “Ontological informatics infrastructure for pharmaceutical product development and manufacturing,” *Comput. Chem. Eng.*, vol. 30, no. 10–12, pp. 1482–1496, Sep. 2006.
- [25] A. L. Fraga and H. P. Leone, “Una Arquitectura de Niveles Basada en Ontologías para Lograr la Interoperabilidad entre Estándares,” in *45º Jornadas Argentinas de Informática*, 2016, no. 3000.
- [26] “ISO 10303-232:2002 - Industrial automation systems and integration -- Product data representation and exchange -- Part 232: Application protocol: Technical data packaging core information and exchange.” [Online]. Available: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=27831. [Accessed: 09-May-2016].
- [27] “ISO 13584-102:2006 - Industrial automation systems and integration -- Parts library -- Part 102: View exchange protocol by ISO 10303 conforming specification.” [Online]. Available: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=43987. [Accessed: 09-May-2016].
- [28] “ISO 10303-239:2005 - Industrial automation systems and integration -- Product data representation and exchange -- Part 239: Application protocol: Product life cycle support.” [Online]. Available: http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?csnumber=38310. [Accessed: 09-May-2016].
- [29] “ISO/TS 8000-311:2012 - Data quality -- Part 311: Guidance for the application of product data quality for shape (PDQ-S).” [Online]. Available: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=60010. [Accessed: 09-May-2016].
- [30] “ISO/TS 15926-11:2015 - Industrial automation systems and integration -- Integration of life-cycle data for process plants including oil and gas production facilities -- Part 11: Methodology for simplified industrial usage of reference data.” [Online]. Available: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=57859. [Accessed: 09-May-2016].
- [31] “ISO 10303-1:1994 - Industrial automation systems and integration -- Product data representation and exchange -- Part 1: Overview and fundamental principles.” [Online]. Available: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=20579. [Accessed: 09-May-2016].
- [32] “ISO 15531-32:2005 - Industrial automation systems and integration -- Industrial manufacturing management data: Resources usage management -- Part 32: Conceptual model for resources usage management data.” [Online]. Available: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=34726. [Accessed: 09-May-2016].
- [33] “ISO 15531-43:2006 - Industrial automation systems and integration -- Industrial manufacturing management data -- Part 43: Manufacturing flow management data: Data model for flow monitoring and manufacturing data exchange.” [Online]. Available: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=42272. [Accessed: 09-May-2016].
- [34] “ISO 18629-1:2004 - Industrial automation systems and integration -- Process specification language -- Part 1: Overview and basic principles.” [Online]. Available: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=35431. [Accessed: 09-May-2016].
- [35] “ISO 18629-11:2005 - Industrial automation systems and integration -- Process specification language -- Part 11: PSL core.” [Online]. Available: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=33529. [Accessed: 09-May-2016].
- [36] “ISO 18629-12:2005 - Industrial automation systems and integration -- Process specification language -- Part 12: Outer core.” [Online]. Available: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=35184. [Accessed: 09-May-2016].
- [37] “ISO 18629-41:2006 - Industrial automation systems and integration -- Process specification language -- Part 41: Definitional extension: Activity extensions.” [Online]. Available: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=35191. [Accessed: 09-

- May-2016].
- [38] “ISO 18629-42:2006 - Industrial automation systems and integration -- Process specification language -- Part 42: Definitional extension: Temporal and state extensions.” [Online]. Available: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=35192. [Accessed: 09-May-2016].
- [39] “ISO 18629-43:2006 - Industrial automation systems and integration -- Process specification language -- Part 43: Definitional extension: Activity ordering and duration extensions.” [Online]. Available: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=35193. [Accessed: 09-May-2016].
- [40] “ISO 13584-1:2001 - Industrial automation systems and integration -- Parts library -- Part 1: Overview and fundamental principles.” [Online]. Available: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=25103. [Accessed: 09-May-2016].
- [41] “ISO 13584-24:2003 - Industrial automation systems and integration -- Parts library -- Part 24: Logical resource: Logical model of supplier library.” [Online]. Available: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=34070. [Accessed: 09-May-2016].
- [42] “ISO 13584-42:2010 - Industrial automation systems and integration -- Parts library -- Part 42: Description methodology: Methodology for structuring parts families.” [Online]. Available: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=43423. [Accessed: 09-May-2016].
- [43] “ISO 10303-49:1998 - Industrial automation systems and integration -- Product data representation and exchange -- Part 49: Integrated generic resources: Process structure and properties.” [Online]. Available: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=25101. [Accessed: 09-May-2016].
- [44] M. USCHOLD, M. KING, S. MORALEE, and Y. ZORGIOS, “The Enterprise Ontology,” *Knowl. Eng. Rev.*, vol. 13, no. 1, pp. 31–89, Mar. 1998.
- [45] M. C. Suárez-Figueroa, “NeOn Methodology for Building Ontology Networks: Specification, Scheduling and Reuse,” unpublished, Jun. 2010.
- [46] R. Barbau, S. Kríma, S. Rachuri, A. Narayanan, X. Fiorentini, S. Foufou, and R. D. Sriram, “OntoSTEP: Enriching product model data using ontologies,” *CAD Comput. Aided Des.*, vol. 44, no. 6, pp. 575–590, 2012.
- [47] L. C. Pouchard, A. F. Cutting-Decelle, J. J. Michel, and M. Grüniger, “ISO 18629 PSL: A Standardised language for specifying and exchanging process information,” *IFAC Proc. Vol.*, vol. 16, pp. 37–45, 2005.
- [48] A. Molina and R. Bell, “A manufacturing model representation of a flexible manufacturing facility,” *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.*, vol. 213, no. 3, pp. 225–246, Mar. 1999.