



# Aplicación de una ontología para la estructuración semántica de la física estática utilizada en ingeniería civil

Angélica Muñoz<sup>1</sup>, Diego Rachen<sup>1</sup>, Yury Barbosa<sup>1</sup>, Carlos López<sup>2</sup>

Recibido: febrero 4 de 2012 Aprobado: mayo 21 de 2012

## RESUMEN

Las ontologías pueden ser utilizadas en diversos proyectos de software donde se requiera de un riguroso esquema conceptual que permita estandarizar conceptos de uno o varios dominios. Para el proyecto Engineer+ (aplicación orientada a la Web enfocada en la solución de cálculos ingenieriles) se está diseñando una ontología que haga posible la estandarización de los conceptos de la física estática utilizada en Ingeniería Civil, la cual puede apoyar fuertemente la creación de un lenguaje de propósito específico que permita a los expertos desarrollar programas de forma sencilla, utilizando su propio lenguaje.

Adicionalmente, es posible crear una lista de reglas de inferencia que admita el uso de los sistemas expertos en procesos de cálculos estructurales. Estas dos formas de empleo de la ontología propuesta en este artículo pueden ser aplicables tanto en la industria como en la educación, siendo un apoyo tanto en la automatización de procesos como en la transferencia del conocimiento.

**Palabras claves:** física estática, ingeniería civil, ontologías, lenguajes de propósito específico, sistemas basados en reglas.

## ABSTRACT

Ontologies can be used in various software projects which require a rigorous conceptual scheme that allows the standardization of concepts of one or more domains. For the project Engineer + (a website oriented application focused on solving engineering calculations), you are designing an ontology that allows standardize concepts of static physics used in civil engineering, which can be strongly supported by the creation of a specific purpose language allowing experts to development specific and simply program using their own language.

Additionally, you can create a list of rules of inferences that allows the use of expert systems in processes of structural calculations. These two ways of using the ontology proposed in this paper may be applicable both in industry and education, being a support process for automation and knowledge distribution.

**Keywords:** static physics, civil engineering, ontology, special purpose languages, rule-based systems.

1 Tecnólogo/a en informática, actualmente cursa el último semestre del programa de Ingeniería de Sistemas de UNIMINUTO.

2 Magister en Ingeniería de sistemas y Computación de la Universidad de los Andes.



## I. TRANSFERENCIA DEL CONOCIMIENTO EN INGENIERÍA CIVIL

La transferencia de conocimiento entre expertos permiten tener la posibilidad de adquirir nueva información al interactuar entre ellos a través de redes sociales que los relacionen mediante temas específicos. En particular, los ingenieros civiles pueden compartir información en este tipo de redes, apoyando a otros que la necesiten. Sin embargo, esto no es suficiente para lograr una buena transferencia del conocimiento. Existe también la necesidad de distribuir procedimientos de cálculo, en especial, aquellos que se utilizan en procesos muy puntuales que no pueden ser resueltos por las aplicaciones de software comunes. La transferencia de este tipo de procedimientos permite que las soluciones propuestas sean útiles, no sólo para quienes logran desarrollar la solución, sino para cualquier persona que esté interesada en aplicarla en otros casos. Adicionalmente, dicha transferencia de procedimientos de cálculo debe incluir las explicaciones pertinentes, generando así, una presentación de resultados que también incluya su respectiva justificación y aclaración.

### ENGINEER+ COMO HERRAMIENTA DE TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO

Engineer+ es un proyecto de la comunidad de Software Libre Arca- csl de UNIMINUTO que busca crear una aplicación orientada a la web distribuida que permita la adquisición y entrega de conocimiento en el ámbito de la ingeniería civil, con la posibilidad de expandir su dominio a otras áreas. Dentro de su diseño existen varios módulos encargados de analizar los datos suministrados por el usuario, con los cuales se realizan cálculos especializados en el ámbito del diseño estructural y la hidráulica entre otros. Siguiendo este esquema, se desarrollan dos módulos que abarcan el campo de los sistemas expertos y los lenguajes de propósito específico que en conjunto componen un software eficiente e interactivo. El primer módulo contiene reglas de inferencia obtenidas por los expertos y el segundo, enmarca un lenguaje de propósito específico que permite la interacción del usuario final con la aplicación. Estos dos módulos se desarrollan a partir de una ontología.

### NECESIDAD DE ESTANDARIZAR LOS CONCEPTOS NECESARIOS EN INGENIERÍA CIVIL

En ingeniería civil es común que se utilicen diferentes términos para referirse a un mismo objeto o concepto, y estos términos son necesarios para el planteamiento de un problema y su solución. De hecho, para el desarrollo de software que apoye la transferencia del conocimiento se debe mantener un estándar en

esos conceptos, así, los expertos pueden hablar con un mismo lenguaje y las aplicaciones desarrolladas pueden interactuar con ellos sin caer en ambigüedades. Para solucionar esto, se propone el uso de una ontología con la cual sea posible establecer claramente los conceptos utilizados en un ámbito de conocimiento dado.

### CASO DE ESTUDIO: ESTANDARIZACIÓN DE LOS CONCEPTOS DE FÍSICA ESTÁTICA

Mediante una ontología es posible establecer los conceptos necesarios para que un sistema basado en conocimiento pueda interactuar efectivamente con sus usuarios y expertos. Una ontología es una descripción formal explícita, cuyo objetivo es detallar los conceptos y relaciones de un dominio, por lo cual, permite trabajar un tema específico y sobre éste, compartir conocimiento común, reutilizarlo, analizarlo y establecer una diferencia entre sus tipos, para así mismo estructurarlo a manera de mapa mental que permita abstraer todas las relaciones existentes entre las entidades del dominio y todo aquello que pueda alterar su naturaleza (Gruber, 1993). En el proceso de construcción de ontologías, se debe tener en cuenta cada detalle del dominio, para evitar errores en su descripción y poder llegar a la construcción de reglas de inferencia. En este documento se trata sobre la física estática y sus componentes, con el objetivo de determinar las condiciones para el diseño de una estructura civil, proponiendo un marco conceptual que permita abstraer el conocimiento necesario para solucionar problemas de ésta área, aplicándola a la ingeniería civil a través de sistemas expertos y lenguajes de propósito específico. Para el caso del estudio presentado en este documento, se utiliza la metodología Methontology para la creación de ontologías, ya que permite realizar la abstracción necesaria de la información de cada entidad perteneciente al dominio a través de una serie de procedimientos específicos (Corcho, 2002).



Figura1. Descripción de actividades para la creación de una ontología. Por: los autores, 2012.

La ontología se construye con el fin de estandarizar conceptos y permitir la solución de cualquier problema de física estática, según los requerimientos del usuario final, quienes son los ingenieros civiles o estudiantes de ésta área, abarcando temas referentes a: 1) la determinación correcta de los tipos de apoyos aplicados en un elemento estructural, 2) la definición de los procedimientos de cálculo a seguir, 3) el desarrollo de cálculos como la determinación de las reacciones en los apoyos, 4) la determinación de fuerzas y momentos que permiten mantener el equilibrio en un elemento estructural o en una estructura aporticada, entre otros. De esta forma se aportan las bases para el desarrollo de sistemas expertos y de lenguajes de propósito específico que faciliten el desarrollo de los procedimientos de cálculo que normalmente realizan los ingenieros civiles en el análisis de estructuras.

## II. METODOLOGÍA

Para crear la ontología propuesta se realiza una organización de clases conceptuales, definiendo conceptos del dominio del problema tales como centro de gravedad, longitud, fuerzas, elemento estructural, apoyo, momento, viga, columna, entre otros, necesarios para asegurar la veracidad de la información realizando una especificación semi-formal bien estructurada, por medio del uso de notaciones, tabulares y gráficas, con el fin de facilitar el entendimiento tanto del experto como del desarrollador. Una vez identificados los datos, se efectúa la construcción de un modelo conceptual, para posteriormente continuar con la formalización, donde se procede a realizar una taxonomía que permita la transformación del modelo actual en un modelo formal o semi-computable (Fernández, 1997). En la etapa de la implementación, se construye el modelo computable a través de un software de desarrollo de ontologías, que para este caso es Protegé, editor basado en Java y además extensible que permite la creación rápida de prototipos y desarrollo de aplicaciones. Finalmente en la actividad de mantenimiento, se corrigen errores en caso de ser necesario, por medio de la realización de pruebas de funcionamiento para fortalecer la veracidad del software. También se deben conceptualizar tres actividades, antes de comenzar con la implementación de la ontología: La gestión, el desarrollo y el soporte, las cuales se visualizan en la Figura 2.

Los alcances del proyecto están dados en el enfoque de la física estática, en el ámbito de estructuras aporticadas y elementos estructurales simples para la ingeniería civil, con el fin de abarcar un dominio de prueba que demuestre la utilidad de la ontología en el proceso de creación de un lenguaje de propósito específico y un sistema experto, estableciendo los li-

neamientos que permitan posteriormente aumentar dichos alcances a otras áreas de conocimiento.

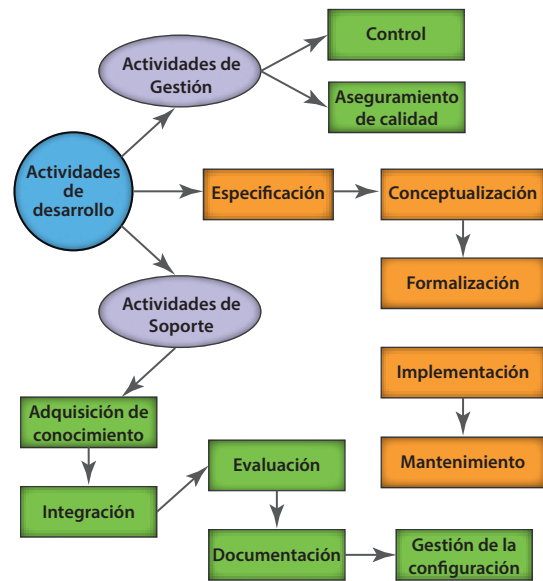


Figura 2. Descripción de actividades para el desarrollo de una ontología, usando Menthontology. Por: los autores, 2012.

## ONTOLOGÍA PROPUESTA PARA EL CASO DE ESTUDIO

La física estática es una de las ramas de la mecánica que se encarga de analizar las cargas que actúan en un sistema físico y de equilibrio, la cual determina que las posiciones de los subsistemas no varían con el tiempo (Ferdinan, 2008). Para la creación de la ontología se realiza un estudio sobre el dominio construyendo tabulaciones necesarias para la implementación, obteniendo los conceptos que se definen en la Tabla 1.

Concepto o clase	Definición
Elemento estructural	Componentes que sostienen un edificio
Apoyo	Elemento que sirve de base en una estructura
Momento	Proyección de un cuerpo en un instante
Viga	Elemento estructural que soporta un peso mediante la resistencia a las fuerzas internas
Columna	Soporte vertical de forma alargada que permite sostener el peso de una estructura
Centro de gravedad	Efecto de atracción de la tierra sobre un cuerpo centrado en un solo punto
Fuerza	Magnitud física que mide la intensidad del intercambio de momento lineal entre dos partículas o sistemas de partículas
Longitud	Magnitud que corresponde a la distancia entre dos puntos
Reacción	Acción generada frente a un trabajo diverso
Coordenadas	Conjunto de valores que muestran determinados puntos sobre un plano

Tabla 1. Conceptos utilizados en la creación de la ontología propuesta

Luego se verifican las asociaciones entre estos conceptos, denominadas relaciones. Por ejemplo, los tipos de fuerza influyen en cuerpos rígidos, que en ingeniería civil se toman comúnmente como elementos estructurales, estos cuentan con características de estudio comunes, tales como el centro de gravedad, las fuerzas que deben soportar, los momentos producidos y las reacciones en sus apoyos.

Para el análisis de estas relaciones los ingenieros realizan un diagrama de cuerpo libre que les permite determinar el estado del cuerpo rígido. A través de dicho estudio se establece un sistema de equilibrio que es la finalidad última. Esto se hace por medio de cálculos que requieren de los conceptos de la física estática.

Teniendo definidos los conceptos, con sus relaciones e instancias, se procede a realizar una taxonomía sobre el dominio, identificando cada concepto en su jerarquía correspondiente y la dependencia entre las clases. En la Figura 3 se describe la ontología inicial planteada, desarrollada de forma general. Se observa como clase principal el concepto de elemento estructural, el cual puede ser una columna o una viga, con sus características como centro de gravedad, coordenadas de ubicación y longitud, además interactúa con fuerzas, que se clasifican en puntuales y distribuidas, y de esta manera se sigue interpretando el mapa mental, que implementado en Protegé, dará respuestas a través de la definición de clases, subclases, atributos, relaciones, instancias y axiomas.

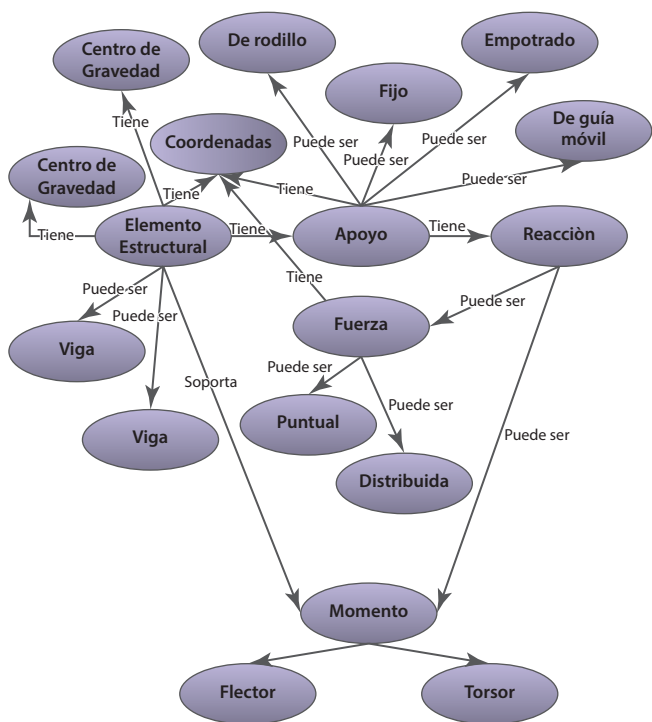


Figura 3. Ontología propuesta para el dominio de la física estática en ingeniería civil. Por: autores, 2012

Es posible describir una estructura aportada a través de esta ontología, debido a que se puede utilizar en la enseñanza de la estática y para el desarrollo de sistemas expertos que permitan generar diagnósticos del comportamiento de los apoyos y los elementos estructurales, en función de las fuerzas externas que estén involucradas.

### III. UTILIDAD DE LA ONTOLOGÍA PROPUESTA

#### Creación de lenguajes de propósito específico

Los lenguajes de dominio específico (DSL por sus siglas en inglés) son lenguajes de programación o especificación pequeños dedicados a un problema o a un aspecto específico de un sistema que requiere de una solución precisa.

Por lo general, los lenguajes de programación son desarrollados de manera algo genérica para poder solucionar cierto tipo de problemas comunes con el mismo comportamiento y facilitar su uso multidisciplinar en varias áreas afines. A diferencia de estos, la idea básica de un lenguaje de dominio específico es que en vez de ser un lenguaje de propósito general dirigido a cualquier clase de problema de programación de computadoras, es un lenguaje de programación que aborda un problema en particular. Si bien no se puede construir un software completo usando DSL, este sirve como complemento para los demás lenguajes y es posible usar varios tipos de DSL para mejorar la aplicación. No obstante, teniendo en cuenta que el problema se centra en la comunicación entre los ingenieros civiles y el software, ya que cada uno maneja un lenguaje e instrucciones diferentes para expresar las operaciones que realizan, se tiene que los lenguajes de dominio específico son la solución por las siguientes razones:

- La estructura de los DSL permite crear sentencias de código adaptables a la comunicación necesaria.
- Es posible crear sentencias de código que permitan solucionar requerimientos relacionados con la comunicación que el lenguaje PHP (con el cual está construido el software) no puede hacerlo debido a limitaciones en el lenguaje y a sus alcances; de esa forma, el DSL producto será un complemento de PHP para establecer conexiones con otros módulos dentro del software.
- La estructura interna del DSL permite crear una codificación que podrá ser comprendida por cualquier persona que en el futuro desee tomar el código y quiera referenciarlo para la creación de su propio DSL o para realizar cambios al software.

### Ejemplo de utilidad: representación sintáctica del lenguaje utilizado en el caso de análisis de una viga simplemente apoyada

Debido a que el dominio de la física estática es muy extenso, es necesario reducirlo para mostrar de forma explícita como se usaría un lenguaje de dominio específico en el contexto del problema presentado anteriormente, para esto se plantea el siguiente problema dentro del dominio.

Se aplican tres cargas a una viga como se muestra en la Figura 4.

- Carga 1 =  $P$
- Carga 2 = 6 Kips
- Carga 3 = 6 Kips

La viga se apoya en un rodillo en A y en un perno en B. Sin tomar en cuenta el peso de la viga, se pide determinar las reacciones en A y B.

Determinar las reacciones en A y B cuando  $P=15\text{kips}$

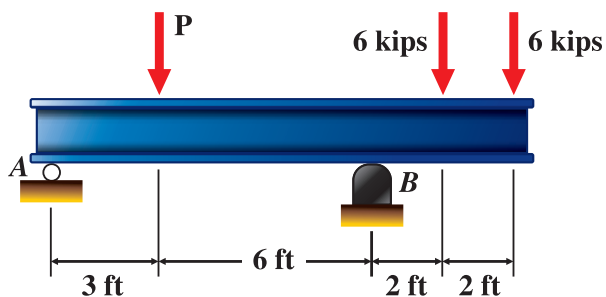


Figura 4. Problema de una viga simplemente apoyada. Adaptada por autores, 2012.

En el desarrollo de la ontología no se manejan valores ni tampoco fórmulas para la resolución de problemas, lo que se busca es realizar el primer paso que determina una solución, es decir, la definición conceptual del problema o la etapa de observación. Para el desarrollo de un DSL es necesario un pleno conocimiento del dominio y experiencia en el desarrollo del lenguaje, por estas razones se usa la ontología creada, la cual adicionalmente proporciona un vocabulario claro para referirse a los diferentes términos del dominio, una taxonomía para la clasificación de entidades y una fuente de intercambio y reutilización de conocimiento.

Existen varios autores que definen diferentes formas y procesos para crear y diseñar DSLs, entre ellos están Merniketal (2005) que propone cuatro fases: decisión, análisis, diseño, implementación y despliegue; Fowler (2011) que expone la creación de un modelo sintáctico a partir de un script y a su vez el modelo semántico representado en una codificación clara, y Feilkas (2006) que sugiere algunas tareas para construir un DSL: definición de una sintaxis abstracta, de-

finición de una sintaxis concreta y la definición de una semántica.

Para efectos de practicidad, en este ejemplo se usará el procedimiento establecido por Feilkas hasta el desarrollo de las reglas que regirán la gramática del lenguaje, pero para la posterior construcción del DSL, relacionado con la física estática se usará el procedimiento establecido por Fowler. Para la definición de la sintaxis abstracta, es necesario hacer un estudio del lenguaje natural que maneja el ingeniero civil. Uno de los factores a tener en cuenta es que el ingeniero civil no tiene formación especializada acerca de comandos de programación de computadoras, es por eso que es primordial generar una sintaxis que le permita comunicarse de forma correcta con la aplicación. Su propósito es presentar la descripción de un caso de cálculos físicos que involucre elementos como vigas, apoyos y cargas y que le sea informado de las reacciones que se presentan en dichos apoyos; de esta forma se genera la siguiente sintaxis:

Descripción de Viga:

Inicio viga  
 Viga 180 grados  
 Viga coordenada 0,0  
 Viga longitud 13 pies  
 Fin viga

Descripción de apoyo:

Inicio apoyo  
 Apoyo tipo rodillo  
 Apoyo coordenadas 0,0  
 Fin apoyo

Descripción de fuerza:

Inicio fuerza  
 Fuerza valor 6 kips  
 Fuerza coordenadas 11,0  
 Fuerza orientación positiva  
 Fin fuerza

Descripción de pregunta:

Inicio pregunta  
 Pregunta reacción coordenadas 0,0  
 Fin pregunta

Descripción de respuesta:

Inicio respuesta  
 Respuesta reacción coordenadas 0,0 valor unidades  
 Respuesta reacción coordenadas 9,0 valor unidades  
 Fin respuesta

Siguiendo con la definición de la sintaxis concreta se toman cada una de las descripciones anteriores y se generalizan de la siguiente forma:

- Descripción de Viga:  
*Inicio sustantivo*  
*Sustantivo numero unidad*  
*Sustantivo adjetivo coord*  
*Sustantivo longitud número unidad*  
*FinSustantivo*
- Descripción de apoyo:  
*InicioSustantivo*  
*Sustantivo tipo Sustantivo*  
*Sustantivo adjetivocoord*  
*Fin sustantivo*
- Descripción de Fuerza:  
*Inicio sustantivo*  
*Sustantivo valor unidad Sustantivo adjetivo coord*  
*Sustantivo orientación adjetivo*  
*Fin fuerza*
- Descripción de pregunta:  
*Inicio sustantivo*  
*Sustantivo sustantivo adjetivo coord*  
*Fin sustantivo*
- Descripción de respuesta:  
*Inicio sustantivo*  
*Valor unidad*  
*Sustantivo sustantivo adjetivo coord valor*  
*Unidad*  
*Fin respuesta*

A partir de estas definiciones se puede generar la gramática comprobable con la realización de un árbol de sintaxis, como la que se muestra en la Tabla 2.

Comando ->	Lineas   "Calcular"
Lineas ->	Lineainicio [Ordenes]+ LineaFin
Linea Inicio->	"Inicio" Sustantivo
Ordenes ->	Sustantivo (numero unidad   adjetivo coord.   adjetivo numero unidad   adjetivo sustantivo   adjetivo adjetivo   sustantivo adjetivo coord.   sustantivo numero unidad)
Linea Fin ->	"Fin" Sustantivo
Sustantivo ->	"Viga"   "apoyo"   "fuerza"   "reacción"   "pregunta"   "respuesta"
Unidad ->	"Kips"   "Newton"   "Kilogramo fuerza"   "pies"   "grados"
Adjetivo->	"longitud"   "angulo"   "coordenada"   "positiva"   "negativa"   "tipo"   "Orientación"
Coord.->	[0-9]+ " ," [0-9]+
Numero->	[0-9]+

Tabla 2. Gramática utilizada para el caso de estudio: física estática Por: autores, 2012.

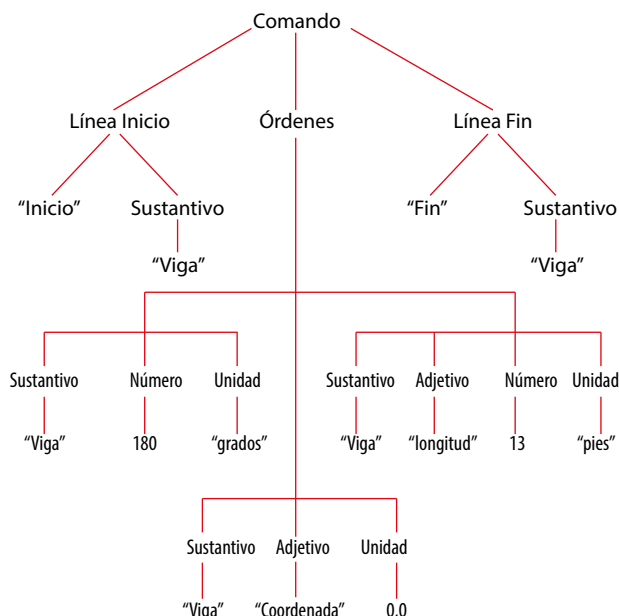


Figura 4. Árbol de sintaxis para la declaración de una viga. Por: autores, 2012.

A partir de la gramática generada anteriormente y usando herramientas para desarrollo de lenguajes, como por ejemplo xtext, es posible tomar las reglas y transformarlas para generar un analizador sintáctico, un compilador entre otros elementos que permitirá que el software se pueda integrar de forma exitosa con las instrucciones de los expertos del dominio. Una vez se haya generado el DSL, será posible para un ingeniero dar las órdenes en la estructura sintáctica establecida previamente, éstas serán traducidas en instrucciones que el software pueda entender y transmitir a otros módulos del mismo para realizar las operaciones solicitadas y presentar los resultados a los usuarios de la aplicación.

**Reglas que pueden ser utilizadas en un sistema experto para determinar los procedimientos de cálculo de reacciones en apoyos para una viga simple**  
 A partir de la ontología se generan las reglas que se explican en la Tabla 3, las que posteriormente serán utilizadas para la solución del problema planteado.

Al utilizar estas reglas mediante lenguajes especializados en inteligencia artificial como Prologo Jess, es posible crear sistemas expertos que tomen decisiones y realicen procedimientos de cálculo de la misma forma que lo hacen los expertos. A continuación se presentan algunas reglas presentadas en lenguaje Jess:

```

;Definición de reglas-----
;1 regla
(defrule r1
?rodillo<- (apoyo(reaccionX
FALSE)(reaccionY FALSE)) (hayCarga)
=>
    
```

```
(modify?rodillo(reaccionY TRUE)) (printout t "Se debe calcular reacción
en y apoyo tipo rodillo ademas tiene una incognita" crlf)
)
;2 regla
(defrule r2
?patin<-(apoyo(reaccionX FALSE)(reaccionY FALSE)) (hayCargaPatin)
=>
(modify?patin(reaccionY TRUE)) (printout t "Se debe calcular reacción en y apoyo tipo patinademas tiene una
incognita" crlf)
)
```

Premisa	Conector	Conector	Conclusiones
Si es Viga	entonces	Es	Elemento estructural
Si es Columna	entonces	Es	Elemento estructural
Si elemento estructural	entonces	Tiene	tiene longitud
Si elemento estructural	entonces	Tiene	coordenadas
Si elemento estructural	entonces	Tiene	Centro de gravedad
Si elemento estructural	entonces	Soporta	Momento
Si elemento estructural	entonces	Soporta	Fuerza
Si elemento estructural	entonces	Tiene	Apoyo
Si Apoyo	entonces	Tiene	Coordenadas
Si momento	entonces	Puede ser	Flector
Si momento	entonces	Puede ser	Torsor
Si fuerza	entonces	Puede ser	puntual
Si fuerza	entonces	Puede ser	Distribuida
Si Apoyo=rodillo	entonces	Tiene	Reacción en eje y
Si Apoyo=patín	entonces	Tiene	Reacción en eje y
Si Apoyo=balancín	entonces	Tiene	Reacción en eje y
Si Apoyo=rodillo	entonces	Tiene	Una incógnita
Si Apoyo=patín	entonces	Tiene	Una incógnita
Si Apoyo=balancín	entonces	Tiene	Una incógnita
Si apoyo= perno ^ perno sin fricción	entonces	Tiene	Reacción en eje x y eje y
Si apoyo= perno ^ perno sin fricción	entonces	Tiene	hay rotación
Si apoyo= perno ^ perno sin fricción	entonces	Tiene	Incógnita x
Si apoyo= perno ^ perno sin fricción	entonces	Tiene	Incógnita y
Si superficie= rugosa	entonces	Tiene	Reacción en x y y
Si superficie= rugosa	entonces	Tiene	hay rotación
Si superficie= rugosa	entonces	Tiene	Incógnita x
Si superficie= rugosa	entonces	Tiene	Incógnita y
Si superficie= rugosa	entonces	Se aleja	Componente perpendicular a la superficie
Si apoyo= fijo	entonces	no tiene	Movimiento
Si apoyo= fijo	entonces	Tiene	Reacción en x y y
Si apoyo= fijo	entonces	Tiene	Incógnita momento y un par
Si apoyo= fijo	entonces	Tiene	Incógnita x y y
Si apoyo= fijo	entonces	Tiene	Sistema momento y un par

Tabla 3.Reglas generadas a partir de la ontología propuesta

Retomando el problema presentado anteriormente, gracias a las reglas propuestas en este artículo, la información que se obtiene es: el rodillo en A es un apoyo con reacción en la coordenada y no tiene un componente horizontal, el perno en B es un apoyo con componentes en x o en y. Así, un sistema experto que use estas reglas está en capacidad de determinar cuántas incógnitas se deben tener en cuenta en el análisis y de qué forma es posible llegar a la

solución, decidiendo que algoritmo se debe utilizar para determinar los valores solución, cumpliendo con el sistema de equilibrio definido por la sumatoria de fuerzas igual a cero.

### Usos en educación

La ontología propuesta permite a los profesores explicar, de forma precisa, la física estática así como su utilidad en el cálculo de las reacciones y compor-

tamiento de los elementos estructurales sometidos a fuerzas externas. Adicionalmente, puede permitir la creación de un software educativo que describa los procedimientos de cálculo y las razones por las cuales estos se realizan.

Particularmente, un lenguaje de propósito específico aplicado deja que los estudiantes interactúen más fácilmente con el sistema, ya que pueden utilizar el lenguaje que aprenden. En cuanto al sistema experto, este puede presentar los cálculos realizados y las razones por las cuales se llega a esos resultados, siendo útil en la comprensión de la física estática aplicada en ingeniería civil. Por último, si se crean aplicaciones orientadas a la web, como el proyecto Engineer+, tanto el sistema experto como el lenguaje de propósito específico pueden facilitar la transferencia del conocimiento entre profesores y estudiantes.

#### Usos en la industria


En la industria el uso de un lenguaje de propósito específico y de un sistema experto basado en la ontología propuesta apoya a los expertos en la toma de decisiones en los diseños que realicen. Adicionalmente, la transferencia de conocimiento facilita el debate y la discusión acerca de los procesos de cálculos, reduciendo los márgenes de error debido a malas decisiones.

## IV. CONCLUSIONES

La transferencia de conocimiento, a través de una herramienta libre, permite la adquisición de información entre expertos de forma eficaz, accesible y en menor tiempo.

Las ontologías son herramientas que posibilitan estructurar el conocimiento de un dominio específico para que éste pueda ser utilizado en el desarrollo de aplicaciones que incluyan inteligencia artificial.

El dominio de la física estática para ingeniería civil puede ser representado con una estructura ontológica simple, facilitando el desarrollo de proyectos como el de un lenguaje de dominio específico que puede ser útil en la interacción entre expertos y el sistema.

Es posible aumentar el dominio propuesto hacia otros ámbitos de conocimiento, de acuerdo con las necesidades de los usuarios expertos, haciendo que la adquisición de conocimiento sea verdaderamente útil. 

## V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Beer, F.; Johnston, E. y Eisenberg, E. (2008). *Mecánica vectorial para ingenieros, Estática*. McGraw-Hill.
2. Corcho, M.; Fernández-López, M. y Gómez-Pérez, A. (2003). Methodologies, tools and languages for building ontologies. Where is their meeting point? *Data & Knowledge Engineering* 46: 41-64
3. Fernández-López, (1997). METHONTOLOGY: From OntologicalArt
4. Fowler, M. (2010). *Domain-Specific Languages*. Estados Unidos: Addison Wesley Professional
5. Gruber, T. (1993). A translation approach to portable ontology specification, Knowledge Acquisition. *Knowledge Systems Laboratory*. California: Universidad de Stanford
6. Justiniani H., Lourdes; Henríquez, Gaspar O. Panamá, PA; Vulnerabilidad de las instalaciones de salud ante la ocurrencia de desastres naturales en la República de Panamá. Recuperado el 15 de Marzo de 2012 de [http://www.crid.or.cr/CD/CD\\_Hospitales\\_Seguros/pdf/doc13038/doc13038-4b.pdf](http://www.crid.or.cr/CD/CD_Hospitales_Seguros/pdf/doc13038/doc13038-4b.pdf)
7. Medina, O. (s.f.) Predimensionado de vigas. *Sistemas Estructurales de 20*. Venezuela: Facultad de Arquitectura y Diseño. Universidad de Los Andes. Recuperado el 20 de marzo de 2012, de <http://www.slideshare.net/AnnaV08/vigas-2663184>
8. Towards Ontological Engineering. *Spring Symposium on Ontological Engineering of AAAI*. California: Stanford University.