



DISEÑO DE PLANTAS INDUSTRIALES EN COLOMBIA.

UN ESTUDIO DE CASO

Zulma Stella Pardo Vargas (a)

(a) Department of Architecture and Engineering, Pontifical Xaverian University, Bogotá, Colombia, pardoz@javeriana.edu.co
Civil engineer, Master of Science in Structures, Building Management Specialist and MSc IT

A B S T R A C T

This article presents a methodology for BIM between mechanical and structural engineering. Two engineering companies are analyzed in a case study, during the design of an industrial project. A historical approach in the use of software in structural design and your evolution in Colombia since at beginnings 90's permits to the author to propose a model for development in five stages of BIM in engineering companies.

The author integrates her knowledge in structural engineering, building management and Information Technologies (IT) presenting incompatibilities between different software programs for mechanical engineering, structural design and detailing structures. The applied methodology for the development in an industrial project is related.

At finally, Recommendations are presented for companies that think to implement BIM for your new projects from viewpoints structural design, detailing structures and mechanical design.

Keywords:

Structural engineering, BIM, steel structures, IT, software

A B S T R A C T

Se presenta la metodología BIM para ingeniería mecánica y civil, a través del análisis de caso a dos empresas de ingeniería durante la etapa de diseño de un Proyecto industrial. A partir de un recuento histórico de la evolución del uso de software de diseño estructural y como este se hacia en Colombia desde inicios de los 90's, la autora propone un modelo de desarrollo en 5 etapas para implementación de BIM en empresas de ingeniería.

La autora integrando su conocimiento en ingeniería estructural, gerencia de construcción y tecnologías de la información relaciona incompatibilidades entre diferentes programas comerciales empleados en Ingeniería mecánica y Civil en Colombia, actualmente. Se presenta la metodología empleada para el desarrollo de un proyecto industrial.

Al final, se presentan recomendaciones para aquellas empresas que estén pensando en implementar BIM en sus nuevos proyectos desde el punto de vista diseño estructural, detallaje y diseño mecánico.

Palabras claves:

Ingeniería estructural, BIM, Estructuras de acero, Tecnologías de la Información, software

1. Introducción

Se presenta el caso del diseño de una nueva planta industrial en Tocancipá (Colombia), desde el punto de vista de la integración de las tecnologías de la información aplicadas a la Ingeniería mecánica y civil. El diseño mecánico, fue realizado por la firma FRC Ingeniería S.A.S. y el diseño estructural por la firma ZJ Ingenieros Estructurales Ltda, ambas con sede en Bogotá (Colombia). El enfoque es holístico y parte de la necesidad de un cliente industrial que desea ampliar su proceso de producción

2. Antecedentes.

2.1. Evolución uso de software para diseño estructural y despiece

Para el caso específico de Colombia, En la primera mitad de la década de los 90's, el programa de más amplio uso era el SAP90, el cual requería de conocimientos de programación del usuario, quién hacia un listado de órdenes que el software debía procesar, a partir de varios intentos el diseñador estructural obtenía un análisis que le permitía calcular los refuerzos respectivos, si se trataba de una estructura de concreto o a la determinación de los perfiles en el caso de un Proyecto metálico. A mediados de los 90's, surgió un modo gráfico para este programa denominado "SAPIN", similar a una pantalla de windows, que facilitaba la programación que previamente se hacia escribiendo listados, en este instante, el usuario a través de clicks gráficamente establecía su Proyecto y el software convertía estos clicks en códigos para ejecución del análisis.

Hecho el proceso anterior, el diseñador estructural emitía detalles estructurales para que un dibujante realizase los planos en 2D. En la primera mitad de los 90's, era usual que este proceso se hiciese a mano, a partir de 1995, el uso de software para la realización de planos 2D de diseño estructural se masificó, para el caso colombiano se empleaba el AUTOCAD de la casa Autodesk, principalmente.

Una vez el dibujante emitía sus planos 2D, el diseñador estructural, revisaba dos o tres veces antes de generar la copia final que era entregada al cliente para construcción.

Hacia finales de la década y comienzos del 2000, en el caso de diseño de estructuras metálicas que es el tema de este artículo, hubo mayor oferta de software de cálculo y dibujo. Para cálculo surgió Staad Pro (1997, (staad, 2016)), desarrollado por Research Engineers International, que fue adquirido por la casa inglesa Bentley Systems en 2005, y con el mismo nombre lo conocemos hoy. En el caso de software para despiece de estructuras metálicas, surge el Autocad Mechanical de la casa Autodesk que era una buena opción para modelación 3D de los edificios metálicos y las conexiones de los mismos, sin embargo, todas las librerías debían ser creadas, puesto que el programa tenía como propias solo librerías de perfiles y cada conexión debía ser dibujada individualmente y configurar lo que hoy se conoce como plantilla, al cambiar la unión el dibujante debía iniciar el proceso de nuevo y no hacia cambios automáticos en conexiones. Debe tenerse en cuenta que el software mechanical se creó para fabricación y diseño de ingeniería de piezas en ingeniería mecánica. El uso de esta herramienta para despiece se empleó específicamente para los planos de construcción de los edificios metálicos de la Planta de cementos Uno A, ubicada en Zipaquirá (Colombia), entre 1999 y 2002 (Pardo, Diseño estructural Planta Cementos Uno A. Zipaquirá, 1999-2002).

En la primera mitad de la década 00's, los programas de análisis estructural ya eran gráficos y el escribir listados **NO** era la práctica usual del mercado colombiano. Así es como la incursión del software SAP2000, se extendió más y otras ofertas aparecieron en el mercado. Al mismo tiempo se comienza a aplicar el programa inventor de Autodesk, que emplea el modelado paramétrico y que actualmente incluye autocad mechanical, autocad electrical, fusion 360, vault, navisworks. Este software permite hacer diseño mecánico, documentación y simulación de productos 3D.

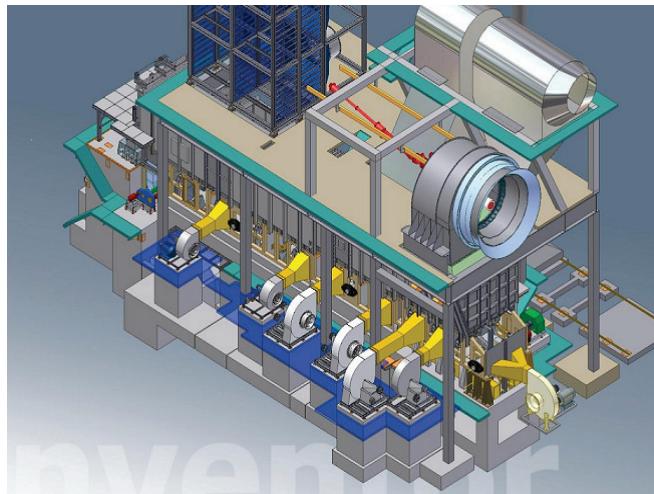


Figura 1: Modelación en inventor. (Pardo, Diseño estructural Planta de Cementos Andino Dominicanos, 2003-2006)



Figura 2: Resultado después de construcción (Pardo, Diseño estructural Planta de Cementos Andino Dominicanos, 2003-2006)

Es práctica usual en uso industrial emplear un software para diseño estructural y otro para despiece, no es convencional en la primera década de los 2000's que haya modelado 3D paramétrico. Finalizando la década y lo que va corrido de la década 10's, se introducen diseños empleando software paramétrico.

El software más empleado para despiece metálico en Colombia en este instante es el Tekla de la casa Trimble, sin embargo también ha tenido penetración el software Prosteel Structures de la casa Bentley, que será objeto de este artículo. Para cálculo estructural actualmente se emplean, en Colombia, SAP2000, STAAD, CYPE, ETABS, REVIT, ROBOT para diseño metálico.

No obstante, las Universidades Colombianas están educando los nuevos profesionales en otras tecnologías que permiten integrar la arquitectura y la ingeniería entre ellas se pueden citar los softwares Rhinoceros y Grasshopper. Programas como el Catia, el Digital Project todavía, NO son comunes en Colombia.

3. Empresas objeto de estudio

Las dos compañías estudiadas corresponden al sector de servicios de Ingeniería, desarrollan proyectos industriales.

FRC Ingeniería S.A.S: es una compañía con sede en Bogotá (Colombia), que desarrolla diseño, fabricación y montaje de proyectos industriales. En la parte de diseño se encuentra 15 % del personal. Todos ellos manejan el software inventor y a través de trabajo colaborativo desarrollan el Proyecto. La compañía NO cuenta con personal en planta que realice el diseño estructural.

ZJ Ingenieros Estructurales Ltda: es una compañía con sede en Bogotá (Colombia), que realiza diseño estructural de instalaciones industriales, obras de infraestructura vial y estructuras especiales en general. Realiza supervisión de diseño estructural y obra. NO fabrica y no realiza montajes. El personal de la empresa 100% es especialista en diseño estructural y es requisito para contratación que maneje software de diseño estructural y de despiece 3D de estructuras metálicas.

3.1. Motivación para implementar BIM

En el caso de la compañía FRC, desde 2014, se emplea porque disminuye los costos en Ingeniería.

La firma ZJ Ingenieros Estructurales Ltda, ha seguido el proceso que se relacionó en los antecedentes y a partir del diseño de la propuesta para el escenario deportivo ODESUR 2014 (Pardo, Diseño escenario piscina olímpica ODESUR 2014_Chile, 2016), donde se empleó Cathia y Digital Project, se estableció la necesidad de cambiar el perfil de profesional que se incorporaría a la compañía. Este proceso se inició en 2012, y se encuentra en una etapa avanzada actualmente, donde se han generado plantillas para algunas soluciones metálicas.

4. Proyecto caso de estudio

La nueva planta se ubica en un lote de 11500m², para el proyecto objeto de análisis se diseñaron 6 edificios metálicos correspondientes a diferentes procesos. La empresa FRC, se reunía con el Cliente y diseñaba los procesos mecánicos, cuando era avalado por este, FRC generaba unos planos con su propuesta para que el área de diseño estructural, procediera al diseño respectivo. ZJ y FRC interactuaban a través de modelos 3D de los diferentes edificios metálicos para llegar a la solución definitiva, la cual era enviada al cliente.

4.1. Metodología de trabajo

4.1.1. En FRC

Partiendo de un diagrama de proceso (Figura 3) donde se representan los equipos, los flujos y las posiciones, FRC, a través de una hoja de datos procede a dimensionar la maquinaria necesaria e identifica los apoyos, cargas, características mecánicas y geométricas de los mismos.

Procede a realizar un 3D de todos los equipos en las posiciones que ocuparán en la planta industrial, con los equipos modelados plantea una estructura de soporte que se envía a la empresa de diseño estructural para su dimensionamiento final.

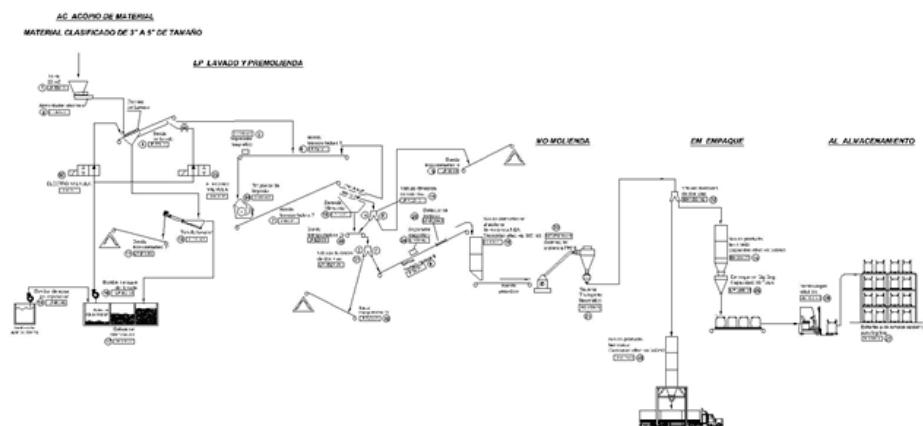


Figura 3: Diagrama de flujo planta de trituración y molienda. (FRC 2014-2016)

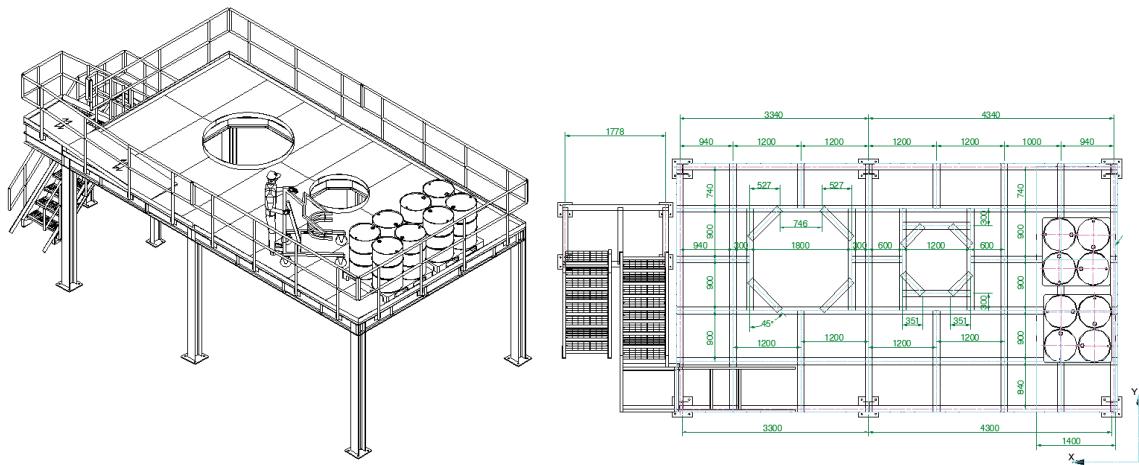


Figura 4: Edificio 1. Modelación 3D y 2D_Inventor. FRC.

4.1.2. En ZJ

Con el modelo 2D que generaba FRC, un especialista en estructuras, optimizaba el número de elementos necesarios para cada edificio desarrollaba un modelo 3D de análisis en SAP2000 generando simultáneamente un 3D en Prosteel Structures, que era enviado a FRC, para su aprobación, cuando esto ocurría se procedía al diseño definitivo. Concluido este ultimo proceso se enviaba nuevamente a FRC para definir facilidades de fabricación y disponibilidad de materiales. FRC montaba su modelo 3D en Inventor verificaba que todos los equipos quedaban adecuadamente apoyados y confirmaba el diseño definitivo. Simultáneo a la revision final de FRC, se procedia al diseño de conexiones de los edificios metálicos, que eran montadas en el modelo 3D realizado en Prosteel Structures. Al final se entregaban los planos de diseño, generados por este ultimo software.

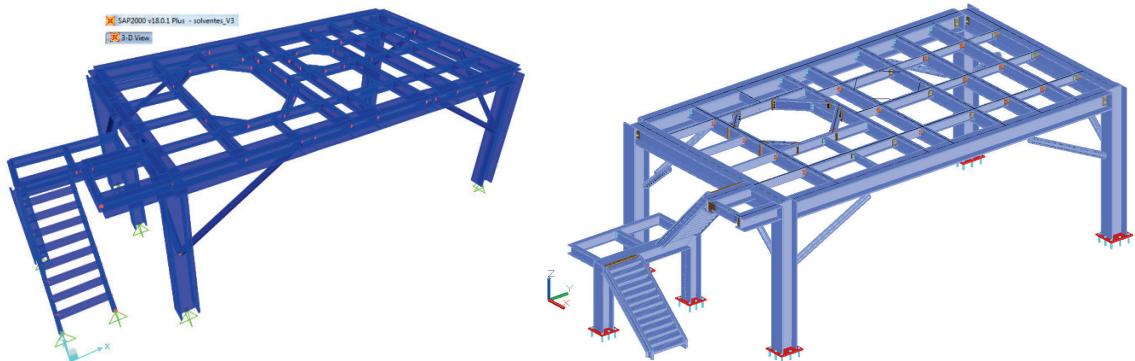


Figura 5: Edificio 1. Propuesta 3D_SAP2000. ZJ. Edificio 1. Edificio para construcción 3D_Prosteel Structures. ZJ.

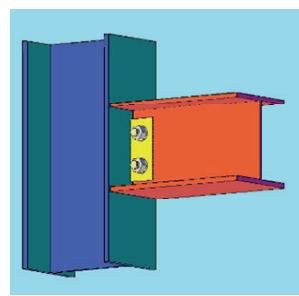


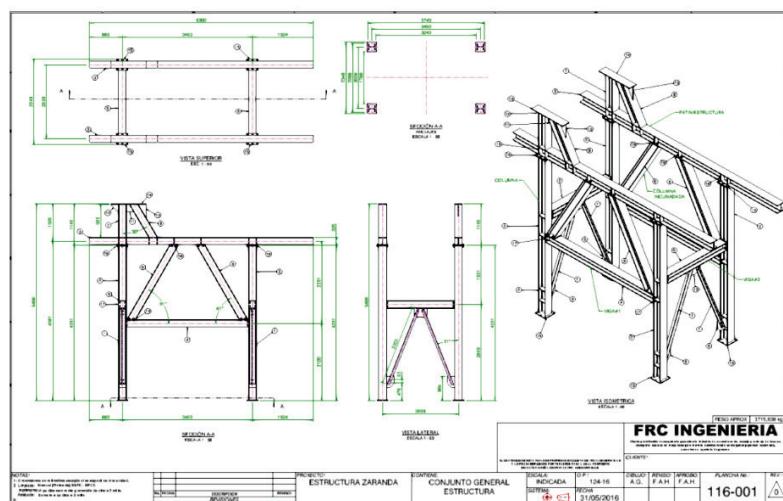
Figura 6: Edificio 1. Detalle conexión 3D_Prosteel Structures. ZJ.

4.1.3. En FRC

Con los planos generados por ZJ, FRC procede a generar los modelos de fabricación de cada estructura. Adicionalmente, se definen los proveedores para los otros equipos como son los eléctricos, los de aire comprimido e hidráulicos. Se verifican así, las posibles interferencias, los accesos para prevenir reprocesos y sobrecostos durante la construcción. La figura 8, presenta el modelo definitivo de uno de los edificios. En la figura 9, se presenta los planos de taller para el edificio.



Figura 7: Edificio final de FRC.



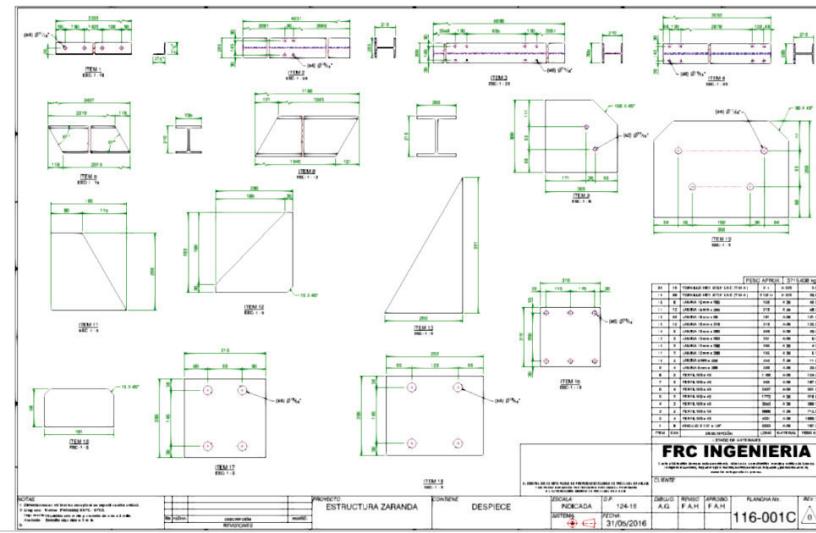


Figura 8: Edificio 3. Planos de Fabricación FRC.

5. Discusión teórica

A partir del análisis de (Ikerd II, 2008), cuya gráfica resumen se presenta en la Figura 8, se establecieron relaciones para estas dos compañías. Según Iker, para 2020, en Estados Unidos se espera se llegue al final de la curva. Es conocido que que países como Noruega, Finlandia en 2007, Holanda en 2012, Hong Kong en 2014, Corea del sur e Inglaterra en 2016 el uso de BIM es obligatorio. Se espera que Francia en 2017, lo establezca como obligatorio (Di Giacomo, 2016). La propuesta de Ikerd se enfoca a los ingenieros estructurales que harán uso de esta tecnología, ubica a Estados Unidos en el 2008, entre la zona 2 y 3 de tempranos incorporadores y la mayoría temprana. La Figura 8, se basa en las categorías de adopción con base en el tiempo relative de adopción de las innovaciones. (Everett, 1983).

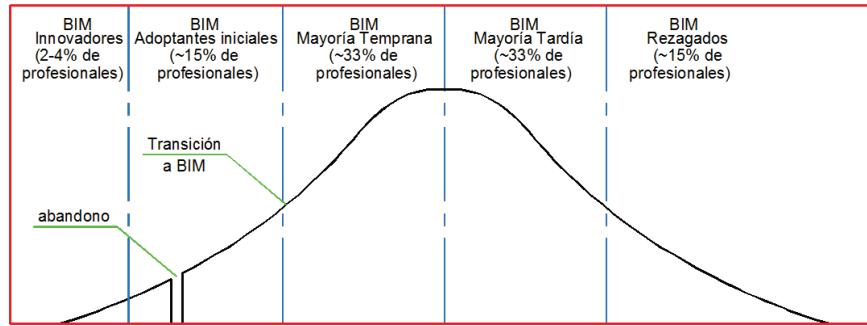


Figura 9: Adaptación adopción de BIM a ingeniería estructural según (Ikerd II, 2008)

La propuesta de la autora frente a las compañías analizadas en función de las categorías de adopción de (Everett, 1983) se presenta en la Figura 9, donde se definen 5 etapas, la primera correspondiente a la implementación en este caso de la tecnología BIM, la segunda se ubica en la adopción donde el personal ya ha sido entrenado y su práctica común en el sitio de trabajo es esa. La tercera etapa denominada Procesos con BIM, corresponde a aquella donde todo en la empresa referente a un producto se desarrolla aplicando BIM. La cuarta etapa se ubica donde aparecen tecnologías adicionales que mejoran el proceso y lo que antes se pensaba era lo mejor se está comenzando a reevaluar al interior de la empresa. La última etapa es donde después de la evaluación de la etapa 4, se encuentra que lo mejor es migrar a otra tecnología y volver a empezar el ciclo con un nuevo producto.

En la parte inferior de la misma gráfica, se presenta en qué etapa se identificó está cada una de las empresas analizadas y el tiempo que les ha llevado cambiar de una etapa a otro en años.

Nótese que la propuesta se orienta al ciclo de vida del producto en una empresa de Ingeniería y No solo a la adopción de una tecnología específica.

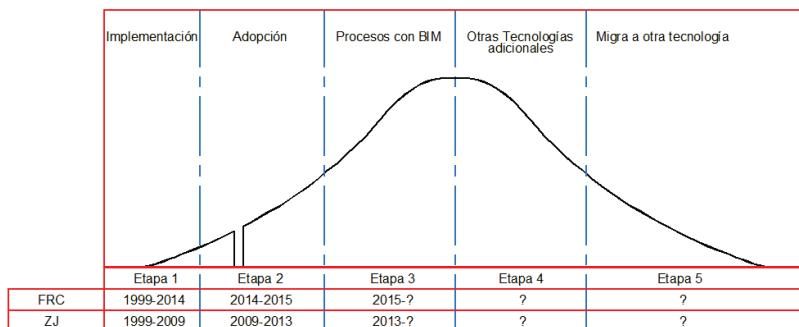


Figura 10: Modelo propuesto para la Adopción de BIM en las empresas analizadas

Las empresas han tenido que modificar el perfil de los profesionales que contratan, para alcanzar las diferentes etapas de la Figura anterior, este proceso ha encarecido sus costos fijos y encarece en las etapas iniciales el producto al cliente, una vez se llega a la etapa 2, próximo a alcanzar la etapa 3, este costo no se transfiere al cliente, al ser una práctica más de la empresa. Para reducir los costos entre estas dos etapas es necesaria una interacción entre Universidad-Empresa y Profesional, con el fin de obtener un valor de producto competitivo. Estas relaciones surgen del Mercado mismo y se presentan en la Figura 10.

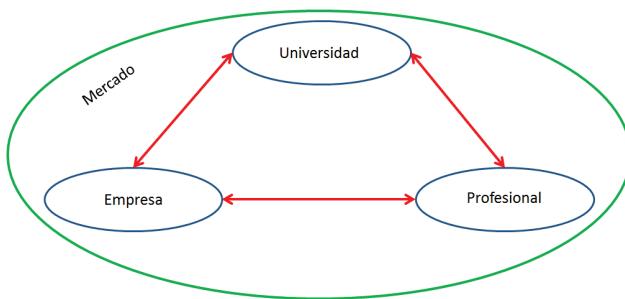


Figura 11: Relaciones de los diferentes sectores participantes

En la Tabla 1, se presenta una matriz DOFA, donde se identifican las implicaciones de la adopción de esta tecnología y que deben tenerse en cuenta cuando se inicia un proceso de estos en una empresa. La autora, recomienda que adicional a esta matriz, toda empresa debería realizar antes de embarcarse en el proceso de adopción BIM, una matriz de costos, que involucre entrenamientos, tiempos de capacitación, incentivos adicionales de personal y transferencias de costos a productos finales para tomar una decisión adecuada y establecer tiempos esperados para todos los procesos.

Table 1: DOFA para adopción de esta tecnología en Colombia

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> - Las empresas con BIM implementado hoy pueden desarrollar proyectos más complejos en menor tiempo. - Ahorros en construcción por previsión de posibles errores a través de modelos 3D, reduciendo tiempo y costos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere de profesionales altamente entrenados y el tiempo que necesita una empresa para esta capacitación es alto. - Debe implementarse en la empresa mayores incentivos para permanencia del personal. Esto puede encarecer los costos fijos anteriores a BIM.

<ul style="list-style-type: none"> - Interacción con otras empresas u otras especialidades desde el sitio de trabajo sin desplazamientos, reduciendo tiempos y recursos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sistemas incompatibles entre empresas que dificultan la interacción. No todos los formatos de los softwares actuales son estándar.
<p>Oportunidades</p> <ul style="list-style-type: none"> - Es una tecnología que tiene amplio espectro de desarrollo en Colombia y las empresas que la incoporen hoy tendrán una ventaja competitiva. - El desarrollo de nuevas empresas que ofrezcan sólo modelación a través de outsourcing. 	<p>Amenazas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Empresas de países avanzados que hace años tienen implementado el Sistema pueden ofrecer productos económicamente más competitivos que los nacionales. - La rotación del personal

Adicional, a los temas tratados previamente se hace necesario tener en cuenta que se debe contar con un departamento técnico de soporte de software o personal educado para tal fin con el objeto de minimizar los problemas de incompatibilidades que los diferentes programas involucrados en el proceso presentan. En la Tabla 2, se presenta el flujo de información de un Proyecto como el presentado y la diversidad de formatos que actualmente se tienen.

Table 2: Flujo de información BIM y formatos.

Generador	Software	Formato
Ingeniería Química	Autocad	*.dwg
Ingeniería mecánica	Autocad	*.dwg
	Mechanical	*.dwg
	Inventor	*.ipt / *.idw
Ingeniería Civil (Diseñador)	Sap2000	*.sdb / *.\$2k / *.ifc
	Revit	*.rvt / *.dwf
	Staad Pro	*.std
	Cype	*.C3E/ *.ifc
Ingeniería Civil (Dibujante)	Tekla	*.ifc/*.map/ *.db6/ *.stp/ *.db5
	Prosteel	*.ps3/ *.ifc/*.dwg/*.pxs

(Rammant & Adriaenssens, 2008), han encontrado que el formato IFC (Industry Foundation Classes), aunque actualmente pareciera ser el más transparente según la autora, **NO** lo es. Ellos manifiestan que la transferencia del banco de datos de un software a otro **NO** es total. Sugieren que interfaces como API (Application Programming Interface), les ha permitido obtener mejores resultados transfiriendo datos, no obstante esta interfase tiene su limitación porque solo algunas casas de software la usan. Para el caso analizado en este artículo el formato IFC, permitió hacer las transferencias, sólo presentando algunas incompatibilidades en perfiles europeos (HEA), entre SAP2000 y Prosteel y para transferencia entre Prosteel e Inventor a través de formatos *.dwg, fue suficiente.

6. Conclusiones

Como se ha presentado a lo largo de este artículo la implementación de BIM en una empresa de Ingeniería, implica estimar cambios de tiempos, costos y personal. Toda firma que emprenda este camino debe tener un horizonte claro y definir metas a corto, mediano y largo plazo.

La selección del software para integración de los diferentes productos que ofrezca la compañía debe ser objeto de evaluación detallada, para evitar incompatibilidades como las expuestas en este artículo.

La capacitación del personal es un aspecto muy importante para obtener la implementación BIM en una compañía. La misma se debe realizar a varios integrantes del equipo de trabajo para no tener obstáculos debido a la rotación de personal.

La empresa debe establecer políticas claras de los productos que ofrecerá empleando BIM, determinar los responsables en las diferentes etapas del proceso y los recursos con los cuales contará para cada Proyecto.

Se debe promover una política empresa-universidad-organizaciones profesionales, donde se estimule la capacitación de los nuevos profesionales con habilidades y destrezas en BIM. Del mismo modo debe establecerse un plan de aprendizaje para toda la vida (lifelong learning) entre los profesionales actuales para que NO sean excluidos en algún momento de la cadena de su círculo laboral actual y disminuir así la rotación de personal.

Se presentó un modelo de adopción de BIM para empresas de Ingeniería, que se espera sea objeto de análisis involucrando otras firmas del sector para validarla y/o mejorarlo.

7. Agradecimientos

A las empresas FRC Ingeniería S.A.S. y ZJ Ingenieros Estructurales Ltda, por facilitar la información que permitió la realización de este trabajo.

8. Bibliography

Autodesk. (1999). *Autocad mechanical 2000*.

Di Giacomo, E. (2016, 6 5). *BIM, trends from all around the world*. Retrieved from http://numerique.tech.fr/Barcelona_BIM_Summit_Feb_13th_EDG150213_P.pdf

Ikerd II, F. (2008). The importance of BIM in Structural Engineering. *Structure Magazine*, 29, 37-40. doi:10.1016/j.autcon.2012.10.003

Kaner, I., Sacks, R., Kassian, W., & Quitt, T. (2008). Case studies of BIM adoption for precast concrete design by mid-sized structural engineering firms. *ITcon*, 13, 303-323.

Pardo, Z. (1999-2002). *Diseño estructural Planta Cementos Uno A. Zipaquirá*. Bogotá: Archivo propio.

Pardo, Z. (2003-2006). *Diseño estructural Planta de Cementos Andino Dominicanos*. Bogotá: Archivo ZJ Ingenieros Estructurales Ltda.

Pardo, Z. (2016, 06 1). *Diseño escenario piscina olímpica ODESUR 2014_Chile*. Retrieved from <https://aasantiago.wordpress.com/final-projects/#jp-carousel-340>

Rammant, J., & Adriaenssens, G. (2008, 4 30). White Paper_Interoperability for BIM: a structural engineering viewpoint. Belgica.

Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Orndorff, D. (2005). A target benchmark of the impact of three-dimensional parametric modeling in precast construction. *PCI Journal*, 126-139.

Silveira, V. (2014). BIM model analysis on a structural design perspective. (pp. 1-10). Lisboa: Instituto superior tecnico-Universidad de Lisboa.

staad. (2016, 6 6). Retrieved from <https://en.wikipedia.org/wiki/STAAD>