



Enseñanza del diseño de conexiones estructurales paramétricas aplicando la metodología “design thinking”

Teaching the design of parametric structural connections applying the design thinking methodology

Álvaro Guzmán Rodríguez ¹, Nataly Revelo Morales ^{1*}, Gabriela Mejía Gómez ¹, Vinicio Velásquez Zambrano ¹

¹ Pontificia Universidad Católica del Ecuador

* Corresponding author email: email: nataly.revelo@gmail.com

Recibido: 11/12/2019 | Aceptado: 30/03/2020 | Fecha de publicación: 30/04/2020
DOI:10.20868/abe.2020.1.4414

TITULARES

- Proceso de Aprendizaje sobre Conexiones Estructurales Paramétricas
- Metodología “Design Thinking” aplicada en la Docencia
- Uso de Software BIM y Modelado Paramétrico

HIGHLIGHTS

- Learning Process on Parametric Structural Connections
- Design Thinking Methodology applied to Teaching
- Use of BIM Software and Parametric Modeling.

RESUMEN

La Pontificia Universidad Católica del Ecuador, a través de su escuela de Arquitectura, sostiene a la innovación en el diseño y la utilización de tecnología de última generación dentro de sus líneas de enseñanza. Una de ellas está orientada al uso de herramientas BIM y sus diversos campos de acción. La presente investigación busca direccionarse en el desarrollo digital de la Parametrización (PM), utilizada en programas informáticos BIM del campo arquitectónico, mediante la generación de conexiones estructurales, que permitan vincular elementos técnico-constructivos de distinta índole, función y materialidad [1].

El Ecuador, al estar situado sobre el Cinturón de Fuego del Pacífico y atravesado longitudinalmente por la cordillera de los Andes, presenta condiciones sísmicas de alto riesgo. Esto da lugar a que los sistemas estructurales en las edificaciones sean premisas básicas consideradas dentro del diseño arquitectónico, cuya finalidad está en disminuir la vulnerabilidad de las construcciones y precautelar el bienestar de los usuarios. El Ecuador, debido a su diversidad cultural, natural y climatológica con respecto al nivel del mar, ha desarrollado y combinado el uso de distintas materialidades, tecnologías y tipologías arquitectónicas para la generación de espacios habitables. Es por ello que se propone una metodología de diseño de conexión estructural parametrizada, donde el tipo de unión no solamente cumpla una función estructural entre componentes constructivos, sino que además sea un elemento arquitectónico-compositivo que enfatice el aspecto funcional y formal del proyecto de diseño [2].

La metodología aplicada involucra un trabajo de investigación donde el estudiante entienda los cinco conceptos básicos de los tipos de esfuerzos a los cuales pueden estar sometidas las estructuras: compresión, tracción, tensión, torsión y corte [3]. La segunda fase involucra la exploración en el funcionamiento general de las conexiones estructurales, enfatizando el desarrollo de detalles constructivos en los que se consideren los aspectos técnico-formales del proyecto arquitectónico. Así también, se aborda el conocimiento sobre materialidad en cuanto a las características, propiedades, beneficios y limitaciones del acero, madera y hormigón, utilizados de manera independiente y mixta. El objetivo es conjugar los conceptos revisados anteriormente y aplicarlos en un detalle de conexión estructural que sea construible, y que consiga ser un aporte formal y funcional del proyecto, para lo cual se utiliza la parametrización junto con programas informáticos de última generación, que permitan utilizar los distintos planos de proyección en 2 y 3 dimensiones para comprender el encuentro estructural y posibles interferencias de los distintos componentes constructivos en el espacio [4].

El resultado de la metodología aplicada, es la generación de un detalle constructivo de conexión estructural entre distintos materiales, el cual va a tener un resultado funcional, construible y replicable, acorde a la capacidad tecnológica del contexto. Esto va a dar lugar a múltiples ajustes dimensionales que sean adaptados a los requerimientos espaciales del proyecto y materiales de construcción locales. El detalle constructivo va a ser estudiado a profundidad y modelado en un software informático BIM, desarrollándolo de tal manera que va a poder insertarse en el proyecto arquitectónico del estudiante correctamente. La metodología puntual a desarrollar en el presente estudio, implica que el estudiante modele cada uno de los componentes de su detalle de conexión estructural en AUTODESK REVIT 2020, con la finalidad de asegurar su correcto funcionamiento, adaptabilidad y disposición de sus distintos elementos constructivos en el espacio [5] [6].

Palabras clave: *conexión estructural; diseño paramétrico; materialidad; detalle constructivo.*

ABSTRACT

The Pontificia Universidad Católica Del Ecuador, through its architecture school, maintains innovation in design and the use of last generation technology in its teaching emphasis. One of them focuses on the use of BIM tools in their different guidelines. The present research is addressed to digital development of parametric modelling (PM), used with an architectural BIM software through the development of structural connections, which allows tie diverse technical-constructive-elements, function, and materiality [1].

Ecuador is located directly above the Pacific Ring of Fire and the Andes range cross it entirely, representing an elevated seismic risk. This situation knows that structural systems in edifications should be basic premises considering within an architectural design, whose purpose is to decrease construction vulnerability and increase security for the habitants. Due to cultural, natural, and climatological diversity of Ecuador, the country has developed diverse materiality, technologies and architectural typologies to generate living spaces. For those reasons, the research proposes a parametric design methodology of structural connections between constructive components, where the union not only meets its structural function, but also includes an architectural-compositive element that emphasizes functional and formal aspects of the design project [2].

The applied methodology implies a researching work where the student understands

the five basic concepts of forces that affect to structures: tension, compression, shear, torsion and traction [3]. The second phase involves the exploration of general function of structural connections, focused on the development of constructive details where are considered technical and formal aspects of the architectural project. The knowledge related to materiality is part of the process: characteristics, properties, benefits and limitations of steel, wood and concrete, used in an independent or combined way. The objective is to link the concepts reviewed previously and apply them in a structural connection in order to build it and as the same time, develop a formal and functional input of the architectural project. Therefore, the practice of parametrization with a last generation BIM software allows using and visualizing different projection planes in two and three dimensions to understand the structural connections and possible interferences of the constructive components in the space [4].

The result of this methodology is the generation of a constructive detail about a structural connection with diverse materials, making it functional, buildable and replicable. Those conditions will allow multiple dimensional adjustments, adaptability to the project requirements and the correct use of local construction materials. The constructive detail will be developed and studied in an architectural BIM software, in order to be properly included in the student´s design project. The accurate methodology to be developed in the current research implies that each student has to model all of the constructive components of the structural connection detail in AUTODESK REVIT 2020, with the intention of ensure a correct work, adaptability and placement of all of its diverse constructive elements in the project [5] [6].

Keywords: *structural connection; parametric design; materiality; construction detail*

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el contexto cultural, social y profesional en el que se desarrolla la construcción, ha separado cada disciplina de acuerdo con sus contenidos y aplicación. En el caso de la Arquitectura, se ha contemplado por un lado lo que se refiere a diseño arquitectónico, y por otro lo que es estructuras, sus principios, función y tipos de uniones, dejando esta última parte desvinculada y sin mayor profundización en su aprendizaje.

En este punto, se debe tomar en cuenta que la función de una estructura está en materializar de forma concreta y estable a un espacio o conjunto interconectado de estos, conformándose como un elemento taxativo del diseño que indica la relación directa con un proyecto arquitectónico. Considerando también aspectos como la estabilidad, la resistencia y la economía, que son parte no solamente de la estructura sino de la obra en su totalidad, se resalta la relación del entendimiento estructural dentro de la Arquitectura.

Para ello es importante que las diferentes estructuras se construyan considerando las condiciones en las cuales estas se ubican, como, por ejemplo, el clima, la materialidad local, la gente para quien se diseña, tomando como base la empatía y el conocimiento del entorno en el cual se desarrolla una edificación, para así poder proponer e innovar desde lo general hasta el detalle específico de la obra.

En base a esta reflexión, la presente investigación se plantea a partir del contexto y conocimiento estructural direccionado al detalle, el cual está representado por conexiones estructurales, y realizada mediante la aplicación de una metodología innovadora de trabajo académico que es el Design Thinking. A través de las diferentes etapas de esta metodología, se contextualiza la situación del Ecuador en cuanto

a construcción; posteriormente, se direcciona el aprendizaje y diseño de las conexiones, entendiendo la parte técnica de estructuras; por último, se procede a la aplicación del Revit como software BIM y de parametrización para realizar las uniones y simular los distintos cambios que se pueden realizar. Es así que, a través de este proceso, se puede concebir de manera integral el contexto de trabajo, el conocimiento estructural y su aplicación real desde el diseño y la práctica arquitectónica.

1.1 SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN EN ECUADOR

El sector de la construcción es uno de los más importantes en el país, considerando el impacto que éste tiene tanto en el ámbito económico como social. Sin embargo, el ritmo de crecimiento de la construcción en el Ecuador ha presentado un descenso debido a las problemáticas económicas por las que ha atravesado el país. Actualmente, se prevé que la situación se restablezca y en base a ello, se deben considerar estrategias para mejorar los sistemas constructivos y el uso adecuado de materiales.

Según datos estadísticos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, los principales materiales de construcción utilizados en el país son: hormigón armado, utilizado en cimientos, estructura y cubierta en un 82,4%, 85,6% y 51,5%, respectivamente. En cuanto a mamposterías, el principal material es el bloque, con un 65,3% de uso. Los porcentajes restantes corresponden a otros materiales entre los que se incluyen: hormigón ciclópeo y pilotes de madera para cimientos, estructura metálica y de madera, paredes de madera, ladrillo, adobe, caña y prefabricados. Cubiertas de eternit, teja, zinc y otros. [7]. De acuerdo con eso, la investigación se centrará en los detalles estructurales con

base en hormigón, combinándolo con acero y madera.

Es importante destacar que el país cuenta con diferentes regiones y por lo tanto climas y variedad de recursos, que hacen que la construcción sea diferente de acuerdo con el lugar en el que se vaya a construir.

1.2 ESTRUCTURA

La estructura ha sido históricamente uno de los principales componentes de la arquitectura, ya que los seres humanos han debido dar forma segura a los espacios donde realizan sus actividades. Esta es la encargada de resistir cargas generadas por sismos, vientos, así como soportar su peso propio y también aquellos incorporados, considerando la importancia del uso de mano de obra y materiales varios para su construcción. Existen muchos edificios donde la estructura es parte fundamental de la composición espacial, y otros donde esta relación no ha cobrado gran relevancia. Sin embargo, la relación entre la arquitectura (aproximación artística) y la ingeniería (aproximación técnica) es cada vez más estrecha, puesto que son ramas complementarias dentro de la construcción de espacios [8].

Existe, relativamente, una limitada cantidad de materiales con los cuales los seres humanos han desarrollado ciudades y espacios arquitectónicos para habitar. Es en las últimas décadas donde se han incorporado nuevos materiales, con distintas características físicas y estructurales, y que han permitido incrementar considerablemente el campo de la construcción. Así también, el uso de elementos estructurales convencionales se ha conservado a través del tiempo, siendo estos: columnas, vigas, muros, losas, tensores, cúpulas, cerchas, bóvedas, entre otras. Con respecto a las herramientas

técnico-teóricas que han permitido prefigurar las estructuras, se han desarrollado mayoritariamente en los últimos 150 años, a través del avance en ciencias, modelos de análisis estructurales, cálculos e innovación. Aún con todo el desarrollo en cuanto a materialidad, elementos constructivos y herramientas, las estructuras han conservado sus condiciones a través del tiempo, ya que deben cumplir con las exigencias estructurales que hacen posible su función [9]:

- Equilibrio estático, se refiere a la capacidad que tiene una estructura de lograr inmovilidad en referencia a la superficie donde se apoya.
- Equilibrio elástico o resistencia, es la capacidad de los materiales, que al ser distribuidos y posicionados en forma adecuada, soportan los esfuerzos a los que la estructura es sometida.
- Deformación, se refiere a las condiciones de conservación de la forma, las cuales deben ser compatibles con las condiciones de habitabilidad del espacio.

1.2.1 Principios Básicos del Diseño Estructural

El diseño estructural incorpora imaginación, intuición, experiencia y conocimiento, suponiendo la toma de decisiones en cuanto a organización, forma y dimensiones. Es preciso entonces, diferenciar entre elementos estructurales (funcionan como unidades volumétricas estructurales individuales) y sistemas estructurales (combinación de elementos estructurales). Los elementos estructurales lineales son volúmenes en los que predomina una dimensión sobre las otras dos, donde la superficie a extruir sobre el eje predominante, el cual puede ser recto, curvo o irregular, presenta distintas geometrías: rectangular, cuadrada, tipo “L”, “T”, “U”, entre

otras. Por otro lado, los elementos superficiales corresponden a sólidos que pueden ser rectos o curvos en relación con los ejes rectores, en los que dos ejes dimensionales predominan sobre un tercero, como por ejemplo losas, placas metálicas, tabiques y membranas. En cuanto a

los elementos tridimensionales, estos corresponden a los volúmenes donde los tres ejes dimensionales son equivalentes sin importar sus medidas relativas como, por ejemplo: pirámides, presas, zapatas de cimentación, entre otras [9].

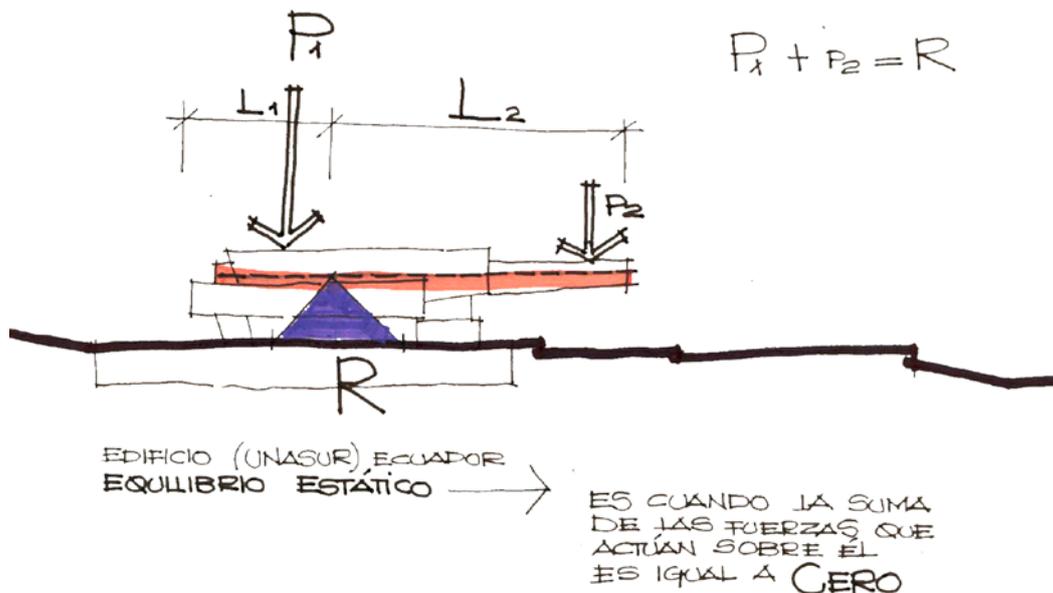


Fig. 1. Equilibrio Estático. Elaboración Propia

1.2.2 Sistemas Estructurales y Exigencias Estructurales

Los sistemas estructurales combinan elementos estructurales que organizan la transmisión de cargas al suelo, bajo condiciones de equilibrio, resistencia y deformación. Los sistemas básicos estructurales son:

- Compactos, que se conforman por pesados volúmenes de masas homogéneas.
- De armazón, que se conforman por el ensamblaje de distintos elementos estructurales lineales, superficiales o volumétricos - tridimensionales.

- Laminares, que son las estructuras donde la superficie define el espacio. No aplicable a conexiones estructurales.
- Combinados, que asocian los anteriores [9]

Así también, los elementos y sistemas estructurales en arquitectura deben cumplir satisfactoriamente con las seis exigencias estructurales:

- Equilibrio, se refiere a la capacidad de una construcción y sus componentes de no moverse, entendiendo que puede existir cierto grado de movimiento inevitable y necesario, dentro de rangos admisibles.
- Estabilidad, referida al peligro que representan ciertos movimientos

inaceptables en una construcción. Los elementos constructivos y sistemas estructurales pueden ser inestables desde el punto de vista rotatorio, si no están correctamente diseñados.

- Resistencia, enfocada en la integralidad del sistema estructural y sus partes, sometidos a todos los esfuerzos posibles. La resistencia no es sinónimo de rigidez desde el punto de vista estructural.
- Funcionalidad, señala la influencia de la estructura y sus elementos para cumplir con la finalidad con la que ha diseñado un edificio.

- Economía, hace referencia a la eficiencia en el uso de elementos y sistemas estructurales, sin que esto, necesariamente, implique bajos costos.
- Estética.

Las conexiones estructurales entre materiales deben cumplir con las exigencias estructurales para lograr espacios y usos eficientes; de ahí su importancia de diseño tanto como componentes formales y funcionales de un espacio arquitectónico [8].

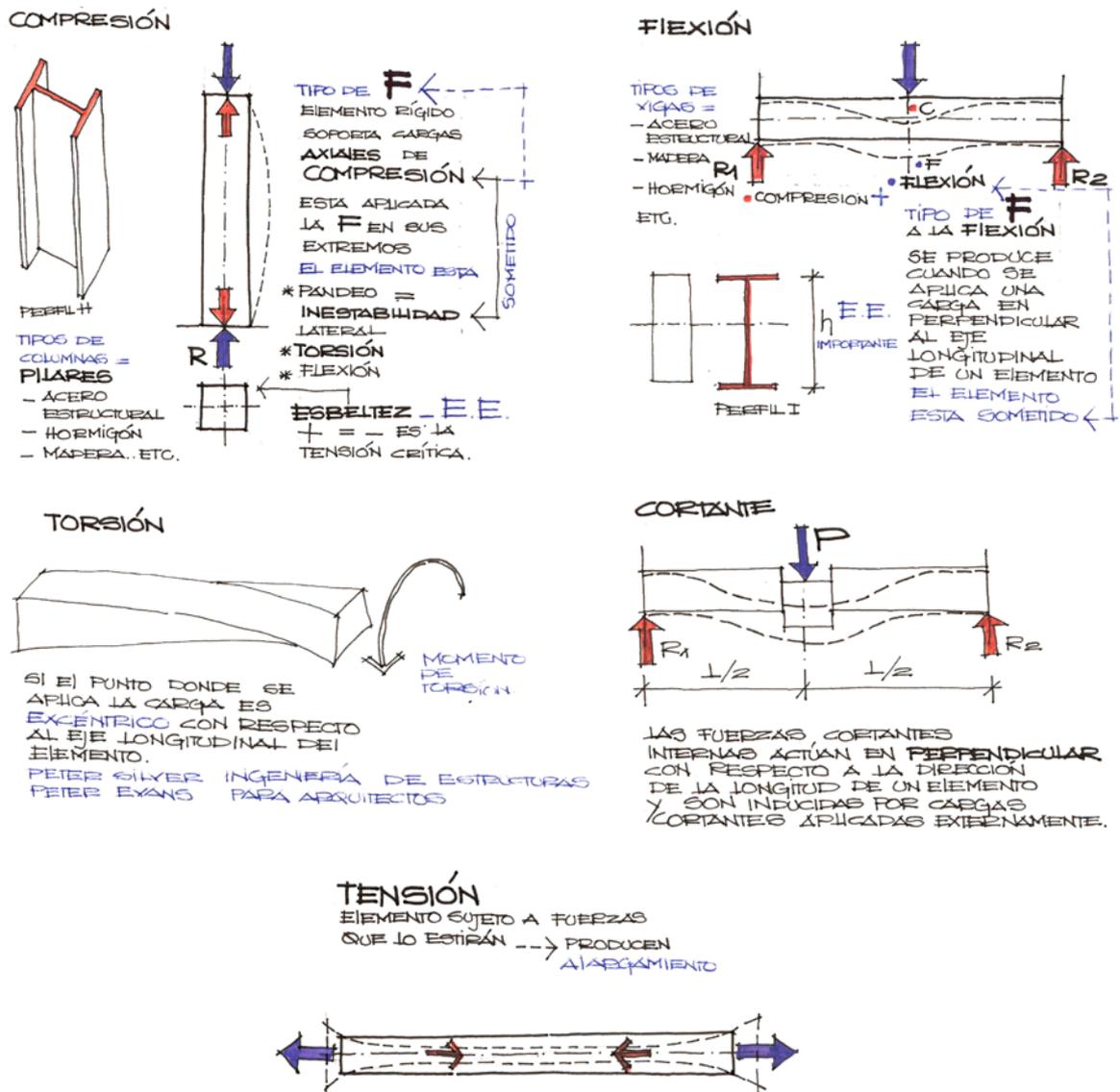


Fig. 2. Principios Estructurales. Elaboración Propia

1.2.3 Principios Estructurales

Existen cinco principios básicos sobre los que deben trabajar los elementos y sistemas estructurales, considerando que el mal entendimiento y aplicación de estos principios, da lugar a la deformación de las estructuras:

- Tracción simple o tensión, cuando las partículas de un material tienden a separarse, entendiéndose que existe una relación en el alargamiento dado entre sección transversal del elemento sometido a tracción, longitud del elemento estructural y carga.
- Compresión simple, es el estado en el cual, las partículas de un material tienden a juntarse. El acortamiento es proporcional a la carga por unidad de área. Los elementos sometidos a compresión simple son muy comunes, puesto que todas las cargas se transfieren al suelo. Los materiales deficientes para resistir tracción, son adecuados para resistir compresión.
- Corte simple, es el estado en el que las partículas de un material corren en

movimientos relativos entre unas y otras, introduciendo deformaciones capaces de modificar la forma del elemento constructivo.

- Flexión pura, dada por la combinación de compresión y tracción en un elemento estructural. Es un factor predominante en la mayor parte de los sistemas estructurales. [8]
- Torsión

Desde el punto de vista metodológico, es importante entender las propiedades y principios que rigen a los distintos materiales, las cuales les permiten trabajar de manera más eficiente a determinados esfuerzos en referencia a las solicitudes de trabajo. De acuerdo a esto, la madera estructural funciona muy bien en elementos horizontales que trabajan a tracción y compresión; mientras que la piedra y el hormigón, al ser elementos macizos, trabajan mejor a compresión; en el caso del acero, por su ligereza y ductilidad, tiene una alta resistencia a la tracción.



Fig. 3. Tipos de Uniones. [11]

1.2.4 Conexiones Estructurales

Los proyectos arquitectónicos deben también ser entendidos desde el punto de vista estructural, considerando que tanto la materialidad, el sistema constructivo y estructural, y las uniones de los distintos elementos son parte integral del proyecto.

Cuando se habla de conexiones estructurales se consideran aquellas que son rígidas (conservan

el ángulo entre ejes de barras conectadas) y flexibles (permiten rotación entre elementos conectados). Los vínculos estructurales requieren de remaches utilizados por ejemplo en puentes del siglo XIX, soldaduras, conexiones empernadas y tornillos, entendiéndose así que en la práctica no existen conexiones 100% rígidas ni flexibles [10].

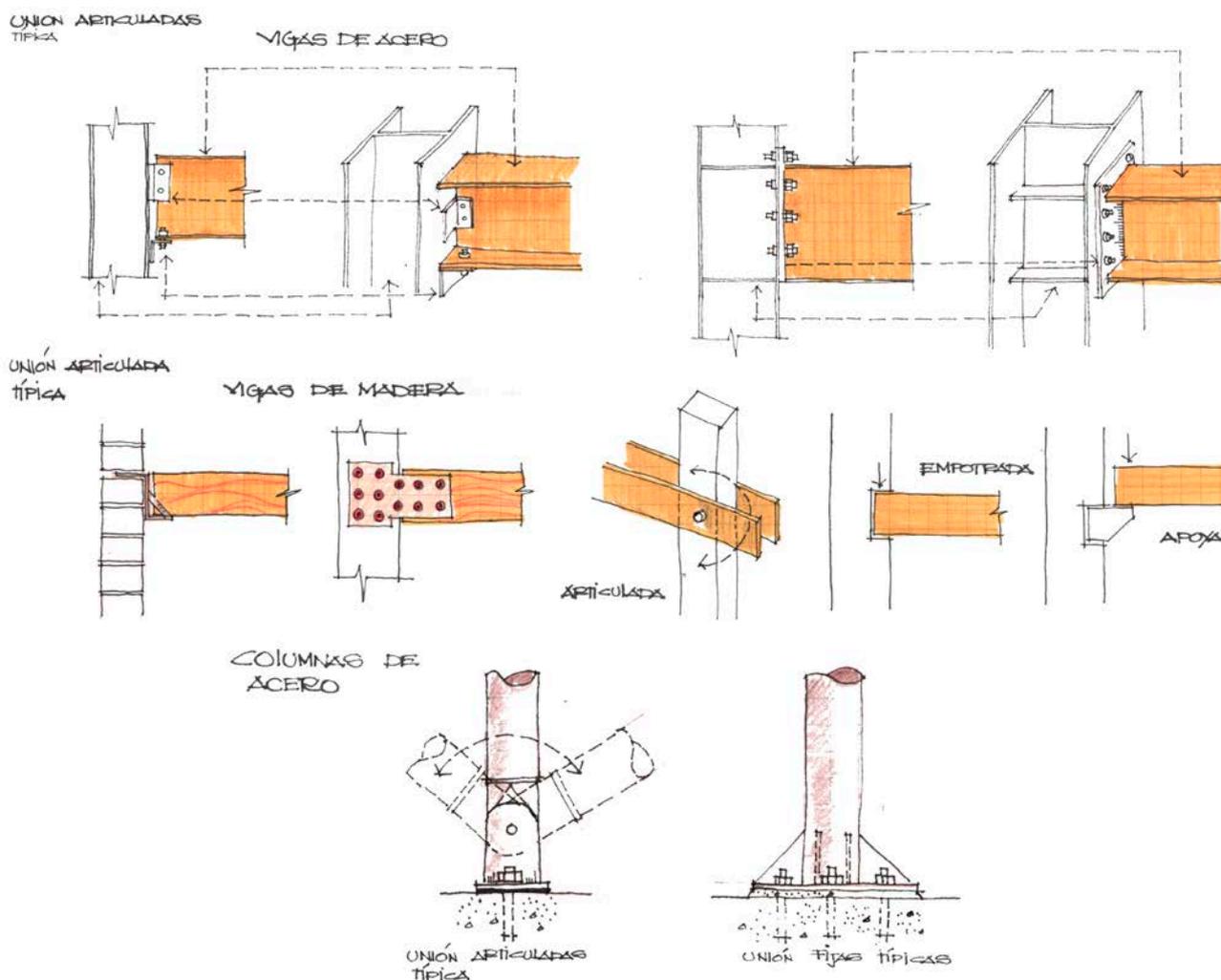


Fig. 4. Ejemplos de Tipos de Unión. Elaboración Propia

Especificando las diferentes conexiones estructurales tenemos:

- Remaches, que hacen referencia a una espiga de diámetro definido que se utiliza para unir placas, chapas o perfiles.
- Soldadura, que se utiliza para vincular piezas metálicas de igual o distinta composición por medio de la acción del calor.
- Las uniones de madera maciza requieren de entramados estructurales que puedan conservar satisfactoriamente resistencia mecánica y durabilidad a lo largo del tiempo.
- Los pernos son vástagos de diámetro calculado que vinculan chapas y/o perfiles.
- Las uniones de chaveta son de tipo soldables, que permiten vincular elementos rotativos, formando un trabe mecánico.
- Los pasadores son de distintos tipos, teniendo entre los más comunes aquellos de sujeción de dos piezas.
- Las uniones móviles se utilizan para partes de piezas, piezas y subconjuntos, destinadas a permitir o restringir ciertos movimientos.
- Las uniones deslizantes permiten vincular dos o más piezas con ayuda de elementos como lubricantes [11].

Los elementos estructurales a vincular convergen en Puntos o Nodos, sobre los cuales, los esfuerzos de los elementos del sistema estructural son transmitidos de uno a otro. Cada elemento de un sistema estructural cumple una función específica como parte integral del sistema, por lo que, la sección de la forma de la pieza debe ser apropiada en relación al esfuerzo a resistir. De acuerdo a eso, las piezas sujetas a tensión son más esbeltas, es decir su masa está concentrada con respecto a un eje, mientras que, las piezas sujetas a compresión funcionan igual, pero corren el riesgo de pandearse al momento de ser sometidas a las cargas. [12]

De acuerdo a esto, el diseño de las conexiones estructurales responde a principios básicos estructurales actuantes en cualquier construcción, por lo cual estas conexiones deben cumplir con todos los aspectos técnicos, estructurales y a su vez, ser parte formal-compositiva del espacio arquitectónico. Desde el punto de vista metodológico, es preciso comprender las propiedades físicas de los materiales, las condiciones que deben cumplir las estructuras a lo largo del tiempo y los principios básicos del diseño estructural.

1.3 BIM Y PARAMETRIZACIÓN

A día de hoy, la construcción y todos los procesos constructivos cuentan con un componente tecnológico tanto a nivel de sistemas, materiales, y software que han optimizado el desarrollo de actividades de diseño, construcción y planificación de obra. En este campo, la informática juega un papel muy importante, ya que se cuenta con nuevas herramientas en las cuales el manejo de información se vincula de manera integral entre las distintas disciplinas y, por lo tanto, se genera información técnica mucho más eficiente.

“El BIM (Building Information Modeling, ‘modelado de la información de un edificio’) es la técnica de modelar un edificio en tres dimensiones, incluyendo toda la información necesaria para analizar, definir y documentar el proyecto, construirlo e incluso operar el edificio o la instalación durante su vida útil” [13]. De acuerdo a ello, el BIM se configura como una metodología de trabajo colaborativo de un mismo proyecto, en el que además de poder realizar el diseño paralelamente en dos y tres dimensiones, se añade el tema de tiempo y costos direccionado hacia el control del proyecto, previo a su construcción.

Por otro lado, el modelado paramétrico está intrínsecamente relacionado con esta metodología, ya que permite la configuración de elementos a través de la edición de variables, lo que da lugar a optimizar el trabajo y organizar la información dentro de un proyecto BIM. “Parametrics at its most basic in this context can be illustrated by simply supplying dimensions to a generic form” [14]. Es importante señalar que el modelado paramétrico no depende de un estilo o una tipología de diseño, sino que está relacionado con el sistema de organización y representación de información, el cual, al estar digitalizado, da lugar a un modelo óptimamente desarrollado.

Es así que, a través del uso del Software BIM y las ventajas que este brinda en cuanto a procesos constructivos, junto con la parametrización de las distintas uniones estructurales, se pueden realizar simulaciones de las mismas en menor tiempo, y por lo tanto, prever a detalle, la correcta proyección de la obra. “La modelización completa de los componentes del edificio ya mejora la planificación en sí misma, porque un diseño más detallado, reduce los problemas durante la ejecución” [13].

2. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

Para la experimentación, el presente trabajo ha considerado una metodología educativa que organiza el proceso de investigación de manera integral, y que permite su desarrollo a partir del entendimiento del contexto, el conocimiento técnico, y la aplicación en el diseño de conexiones paramétricas estructurales.

2.1 METODOLOGÍA

Para enfatizar el proceso de aprendizaje, se ha utilizado una metodología actual e innovadora

que es el Design Thinking. “... es una actitud hacia el diseño y lo relacionan con palabras como empatía, creatividad y racionalidad, pues consideran que se basa en una profunda comprensión de las necesidades de los usuarios en la identificación mental y afectiva con ellos, en la ideación, el pensamiento creativo y, finalmente, la experimentación y el pensamiento analítico” [15]. El Design Thinking permite dar soluciones pasando por la creatividad que se necesita para generar conocimiento e innovar en las diferentes propuestas, considerando también la parte racional de las temáticas que se van a estudiar. Así también, dentro de la metodología se toma en cuenta el análisis, la exploración y la evaluación de las ideas, proceso que permite garantizar una correcta aplicación dentro de un proyecto.

El Design Thinking tiene cinco pasos elementales: Empatía (comprender), definir, idear, prototipar, evaluar. Considerando estos pasos, se aplica los procesos de cada uno de ellos a la investigación. Según la Guía: una Introducción al Design Thinking, la empatía se lleva a cabo a través del observar, involucrarse, mirar y escuchar, con lo cual se pretende que el estudiante entienda el contexto de la investigación, estudiando el entorno en el que se encuentra, desarrollando su conocimiento en cuanto a estructura, conexiones y materiales, y de esta manera, analizando lo que entiende y lo que le causa dudas. Comprender el qué, cómo y por qué le va a permitir pasar a la siguiente fase de Definir. En esta se busca plantear el tema que se va a desarrollar. Se determina a partir del interés y el conocimiento adquirido previamente, a través del cual, cada estudiante establece su investigación en base al contexto y al conocimiento estructural aplicado al detalle que va a proponer, considerando, además, un componente de innovación y utilidad en el proceso. Esto da paso a la siguiente etapa que

consiste en el Idear, en la cual se ordenan conceptos, pensamientos y se generan ideas direccionadas a encontrar las soluciones al problema de investigación. Para ello se utilizan diversas técnicas de representación y organización de información. En este caso específico, se establece un proceso racional de pensar y generar, en el cual se llega a determinar los parámetros, especificaciones y se generan alternativas aplicables al detalle estructural. Se va a realizar una matriz en la que se recopila y ordena la información para poder utilizarla en el paso siguiente que es Prototipar. En este, se generan modelos para probar que la o las soluciones propuestas sean efectivas. A través del prototipo, se explora y experimenta, evitando errores en aplicaciones reales. En esta etapa se utiliza el REVIT 2020, que permite realizar el modelado paramétrico aplicando la metodología BIM en los detalles constructivos, elaborando un prototipo digital y simulando los diferentes cambios que éste podría tener. Por último, se procede a la evaluación del modelo, en la cual se verifica que las variables utilizadas y la solución sean óptimas. Poder observar, afinar e incluso comparar permite comprobar que el desarrollo y por lo tanto el resultado sean correctos; caso contrario, se puede replantear y definir una nueva solución. En la evaluación del detalle estructural se controlan las variables propuestas y se da paso a la solución final, la cual, al haber sido probada, se puede ejecutar y utilizar en un proyecto académico e incluso profesional. [16]

De esta manera, se aplica cada paso de la metodología, desde la contextualización, el aprendizaje y la aplicación del conocimiento.

2.1 DESARROLLO

A través de la utilización de la metodología del Design Thinking, se ha considerado la

aplicación de todos los pasos que esta implica y que han permitido direccionar el proceso de la presente investigación, enfocada en el diseño de conexiones estructurales paramétricas y el aprendizaje de las mismas en los actores principales que son los estudiantes.

Empatía

En esta primera fase, el estudiante realiza una aproximación al contexto en el que se encuentra, analizando las condiciones sociales, económicas, ambientales, climáticas, materiales y constructivas en el Ecuador. Al empatizar con su contexto, el estudiante entiende situaciones, necesidades y problemáticas que le permiten desarrollar soluciones, ya en temas estructurales y constructivos, que mejoran no solo la parte técnica de las edificaciones sino la seguridad y calidad de vida de quienes las vayan a habitar.

Con este acercamiento, es importante que los estudiantes también aprendan los principios, así como las exigencias estructurales que son aplicadas en las conexiones y uniones, identificando con claridad los elementos que conforman el sistema estructural. Es preciso además que exista un reconocimiento de las principales propiedades y limitaciones de los materiales cuando son sometidos a los distintos esfuerzos. La metodología permite que el estudiante profundice en aspectos técnicos, constructivos, estructurales y de materialidad de acuerdo al contexto en el que se este conocimiento se va a aplicar.

Definir

Esta es la sección donde el estudiante identifica y determina el tema que va a desarrollar. Después de haber empatizado con el contexto y sus necesidades, y añadiendo el conocimiento estructural aprendido, el estudiante procede a

tomar decisiones críticas en referencia al uso de materiales y elementos estructurales, que lo direccionan a concretar su aplicación en las conexiones estructurales que busca proponer.

En este punto, es importante considerar que los aspectos técnicos como la funcionalidad, equilibrio y resistencia prevalecen a la estética. Sin embargo, las decisiones se enmarcan dentro del concepto y sensaciones que el estudiante, como próximo arquitecto, plantea generar en el espacio arquitectónico. Es aquí, que el aprendizaje arquitectónico-estructural se conjuga en la idea propuesta.

Para el desarrollo de esta investigación, se analizaron y definieron dos casos de estudio. El primero corresponde a una conexión estructural articulada de acero y pernos entre vigas de

madera, la cual permite la conformación de una cubierta. Se utilizan parámetros constantes y variables, tanto a nivel de vigas (horizontales e inclinadas) como a nivel de nudos (dimensiones de perfiles, distanciamiento de perforaciones para paso de pernos, entre otros). Se ha considerado esta conexión debido a que en esta se vinculan elementos estructurales de materiales diferentes, que cuentan con características físicas y estructurales propias, y que son parte de la tecnología constructiva en el Ecuador. Las cubiertas de dos y cuatro aguas son comunes en el país debido a la necesidad técnica constructiva de evacuar aguas lluvias. La conexión es replicable, así como adaptable en referencia a dimensiones y pendiente de cubierta.

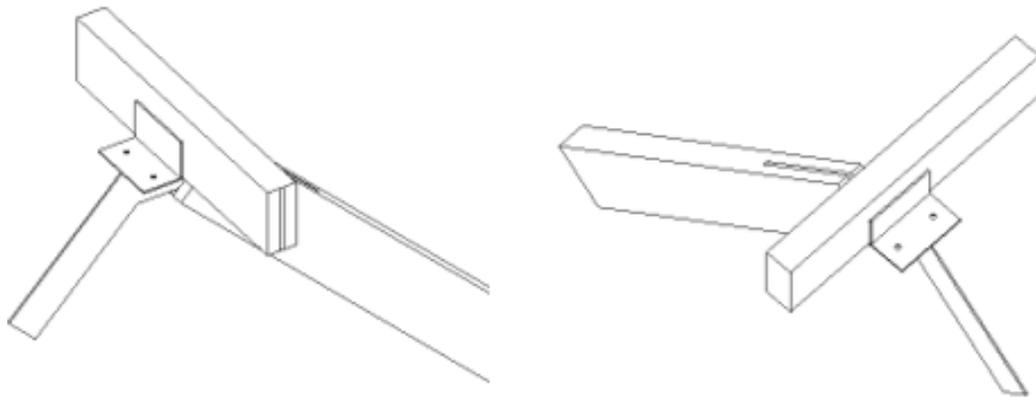


Fig. 5. Conexión Estructural Acero - Madera. Elaboración Propia

En este ejemplo, los elementos estructurales trabajan a tracción, compresión, torsión y corte, en referencia a la función que cumple cada elemento. Aquí prima el estudio y reflexión de las piezas en cuanto a proporción y dimensión, teniendo como objetivo, generar estabilidad y equilibrio a la estructura.

El segundo caso de estudio corresponde a la conexión estructural entre un plinto de hormigón

armado con una placa metálica, a la cual se sumarán piezas de madera para la conformación de una columna. El ejemplo implica la conexión de tres elementos estructurales de distintas características y comportamiento frente a esfuerzos, en cada uno de los cuales se aplican parámetros constantes y variables. Este tipo de unión también es aplicable en nuestro contexto debido a la diversidad de materiales y sistemas

constructivos utilizados en el Ecuador, siendo de los más comunes, el utilizado en este caso. Desde el punto de vista técnico-constructivo, los sistemas estructurales en madera responden de manera adecuada a movimientos sísmicos que son constantes en la región.

En este caso se observa que, dependiendo de la posición espacial de la conexión estructural, esta puede funcionar a compresión, torsión, corte y tracción. La adaptabilidad de esta unión metálica permite conectar un sistema compuesto de columnas y/o vigas a cualquier elemento de hormigón armado, visibilizando así la versatilidad y replicabilidad del detalle.

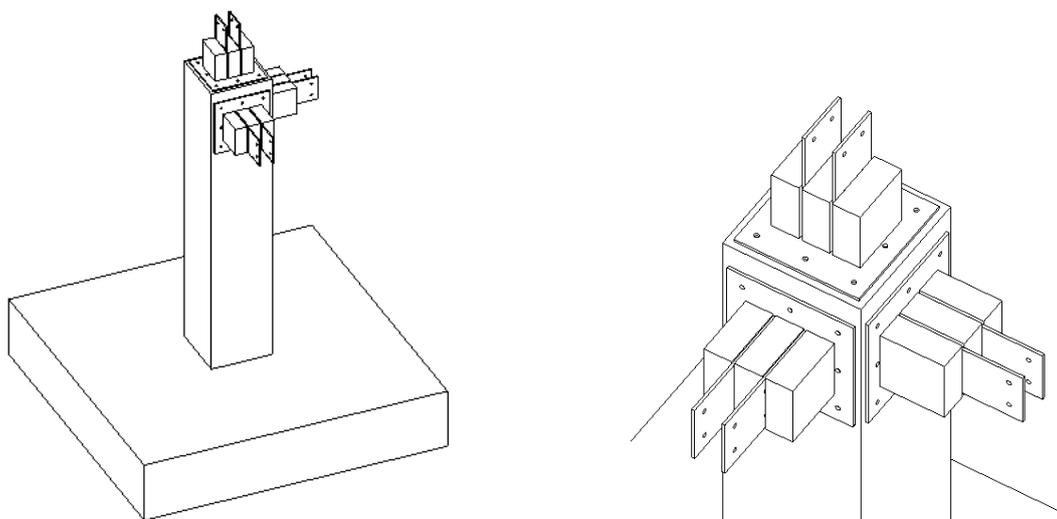


Fig. 6. Conexión Estructural Hormigón - Acero - Madera. Elaboración Propia

Idear

En esta etapa, el estudiante genera las ideas constructivas de la unión estructural, reflexionando sobre las distintas maneras de realizarla. El uso de ideogramas, bocetos, anotaciones gráficas son de gran importancia en este paso, ya que empieza a proyectar su detalle, y a su vez, necesita ordenar la información para poder desarrollarla de acuerdo a las decisiones tomadas en el punto anterior. Una forma que permite alcanzar este orden es una matriz de diseño, la cual organiza, identifica y especifica: dimensiones generales, parámetros (variables y constantes), materialidad adecuada y la representación bidimensional y tridimensional de la pieza en el

espacio, comprendiendo el encuentro de los elementos estructurales a través de la unión. En esta fase de desarrollo es donde convergen los conceptos estructurales y de materialidad, con la aplicación y adaptabilidad del detalle de conexión estructural.

Los aspectos geométricos y de proporción juegan un papel trascendental en esta parte, puesto que se logra entender, aplicar y configurar el equilibrio, estabilidad y estética. El estudio adecuado de la geometría de la conexión logra eficiencia tanto en uso como en economía, optimizando el material y el vínculo de piezas menores, en caso de que estas fueran necesarias. La conjunción de todos estos aspectos fortalece la funcionalidad del elemento

estructural, y por lo tanto, la utilidad en el espacio arquitectónico, vinculando la importancia de estas áreas en un mismo proyecto. La resolución geométrica de este nudo o unión estructural viene del proceso de aprender haciendo, en el que la prueba y error es parte intrínseca del desarrollo y que, además, resulta útil y aplicable en el ajuste constante de los elementos.

En cuanto a la matriz de diseño, esta se encuentra subdividida en seis espacios de trabajo. En el primer cuadrante (recuadro superior izquierdo) se desarrolla el dibujo de la conexión y elementos estructurales en vista ortogonal superior. El segundo recuadro (inferior

izquierdo) es donde se visualizan los componentes del detalle en vista ortogonal frontal. En el recuadro central superior se representan los elementos del detalle en vista ortogonal derecha. En el recuadro central inferior se visualiza la conexión con todos sus componentes en isometría o isometría explotada. El recuadro superior derecho guarda la información de código de piezas, dimensiones y aspectos de parametrización utilizados en la unión (medidas constantes o variables). El último recuadro (inferior derecho) está destinado a incorporar la descripción referente a materialidad e información y especificaciones técnicas de relevancia. Se recomienda que la matriz sea elaborada en formato INEN A3.

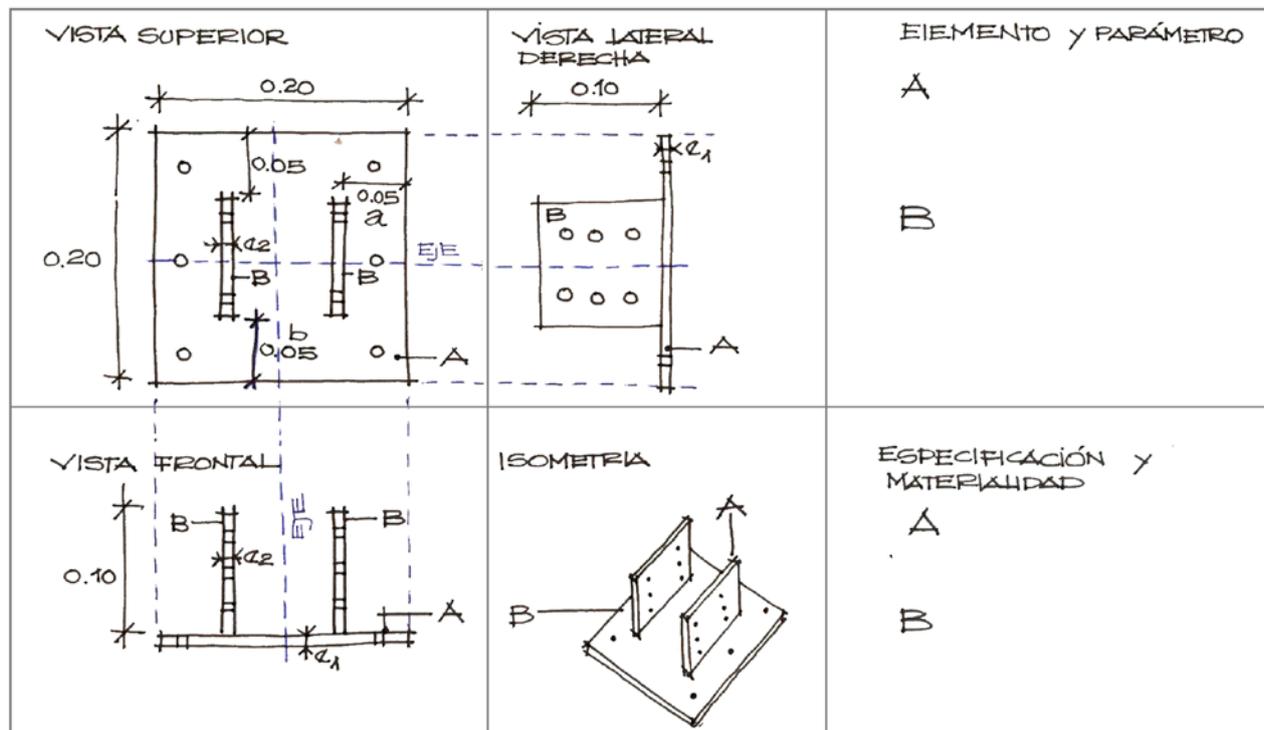


Fig. 7.: Matriz de Diseño. Elaboración Propia

Una vez avanzado el proceso en esta etapa de la metodología, el estudiante de forma implícita y lógica comienza a interpretar posibles interferencias de los elementos que conforman la unión estructural. Debido al detalle de la conexión es necesario realizar la visualización de la figura en el espacio. Por esta razón, se incorpora en la matriz de diseño, un espacio para dibujar proporcionalmente la isometría de la conexión estructural y los distintos elementos estructurales a vincular. Se recomienda realizar el ejercicio del dibujo isométrico con los diferentes elementos en explosión para entender la unión entre cada uno de ellos y poder detectar cualquier interferencia en el detalle.

El proceso constructivo, realizado en cualquier tecnología, requiere de orden y método. Esta premisa es parte fundamental en la presente metodología de diseño de conexiones estructurales. Cada una de las piezas que compone el detalle debe estar perfectamente codificada e identificada en todos los planos

ortogonales de proyección, así como en la isometría. En sí, el desarrollo de esta fase es determinante, puesto que con todo el análisis reflexivo y gráfico, se definen los parámetros (en referencia a las dimensiones) de cada uno de los componentes del detalle estructural, considerando cuales de estos permanecerán constantes y cuales podrán o deberán ser variables, con la finalidad de brindar la mayor funcionalidad al elemento de la conexión estructural. Las decisiones y especificaciones determinadas en esta etapa serán posteriormente aplicadas, en forma precisa, a través del desarrollo de familias paramétricas, utilizando el programa informático AUTODESK REVIT 2020. Con la finalidad de visualizar correctamente los distintos elementos en el espacio, el uso de códigos de color brinda efectivas ayudas al diseñador, especialmente cuando las piezas son complejas en cuanto a geometría y direccionalidad de los distintos elementos.

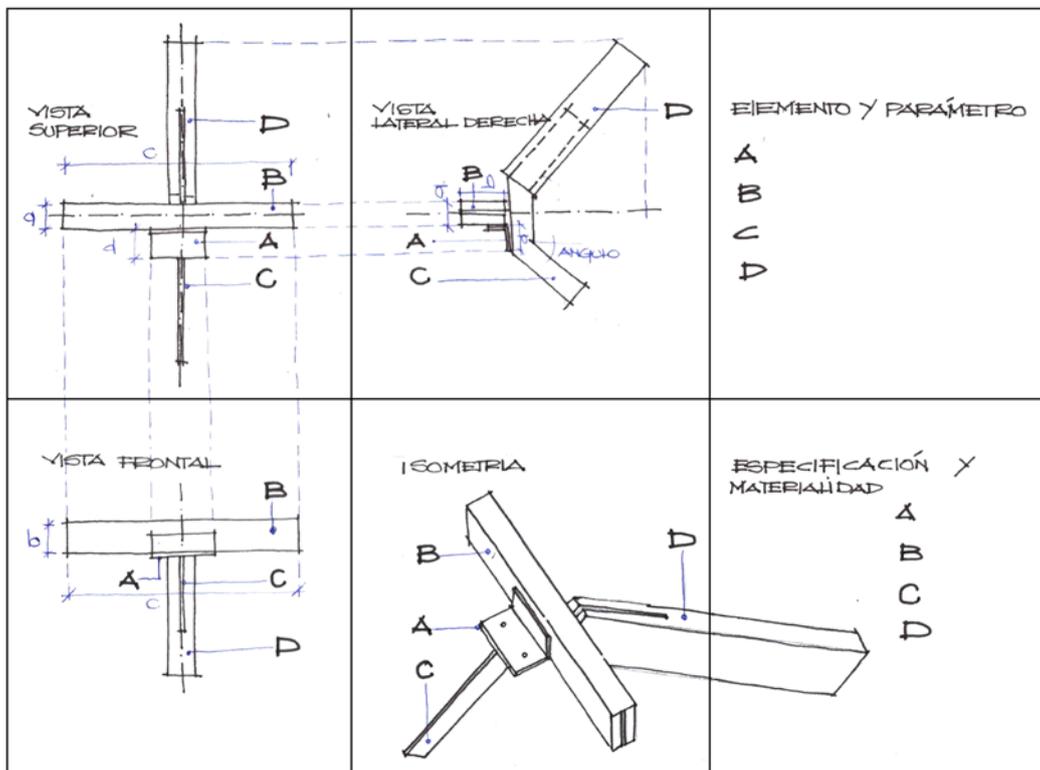


Fig. 8. Definición Conexión Estructural Acero – Madera en la Matriz de Diseño. Elaboración Propia

El dibujo a mano alzada de la conexión y elementos estructurales ayuda desde el punto metodológico a:

- Entender los distintos elementos en cuanto a sus dimensiones y proporciones, tanto entre ellos como con respecto a terceros.
- Plantear rápidamente ideas básicas que se acoplan y desarrollan en respuesta a necesidades estructurales y arquitectónicas.
- No limitar el diseño de la conexión en base al manejo de una herramienta informática.
- Solucionar efectivamente el desarrollo paramétrico de la conexión estructural.

Prototipar

En esta etapa se procede a la realización de modelos digitales que permiten contemplar la

solución integral del detalle estructural. A partir de la exploración y experimentación, se utilizan los insumos y especificaciones de la fase anterior, los cuales dan paso a parametrizar y simular las alternativas previstas en la conexión. Para ello se utilizan las propiedades de parametrización que brinda el software AUTODESK REVIT 2020, a través de la generación de familias: Genéricas Métricas y Genéricas Métricas basadas en Caras, las cuales facilitan la variabilidad y adaptabilidad de dimensiones y parámetros de los diferentes elementos que conforman la unión estructural, basándose en la información generada en el Idear. Es importante el indicar que dentro de la metodología BIM se considera tiempo (4D) y costos (5D), generando una conciencia global de todos los factores que intervienen en una construcción.

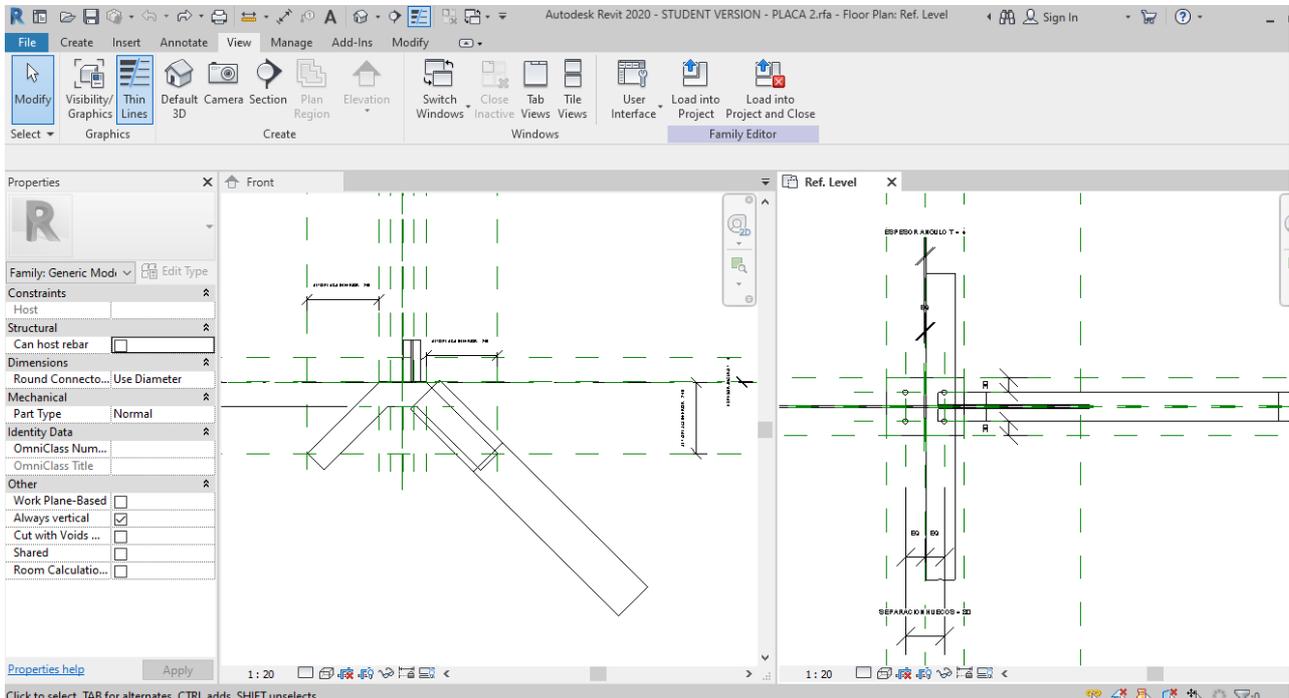


Fig. 9. Prototipo 1: Conexión Estructural Acero – Madera.
Elaboración Propia

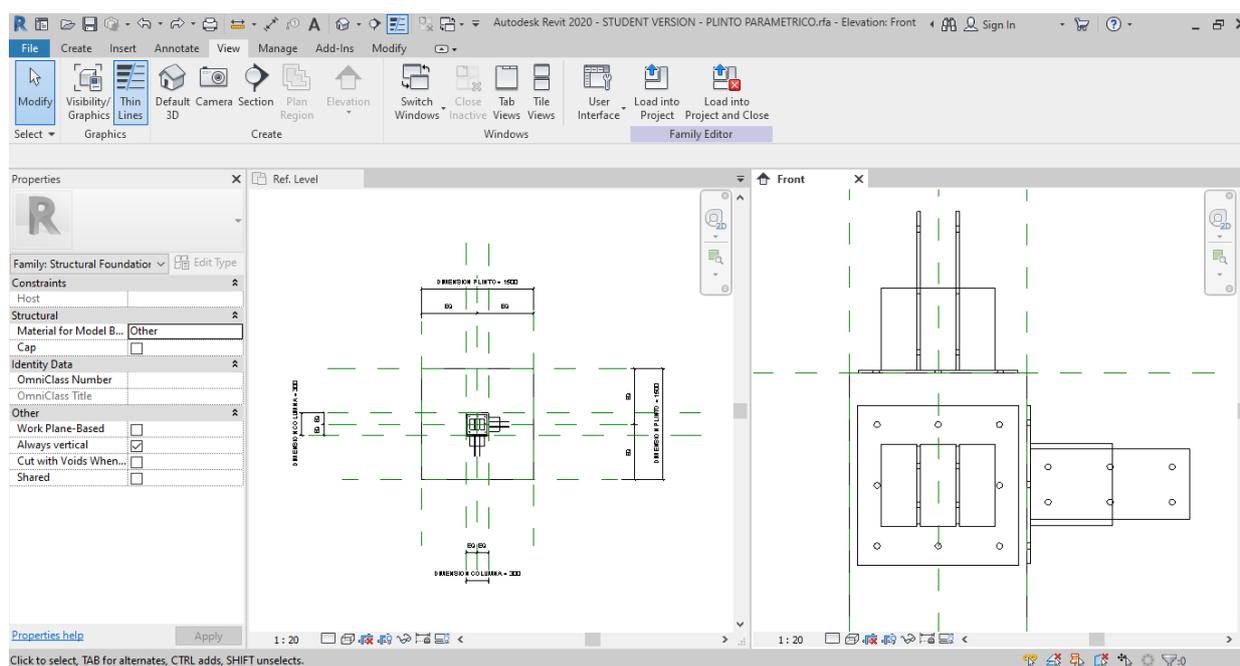


Fig. 10. Prototipo 2: Conexión Estructural Hormigón – Acero – Madera.
Elaboración Propia

El programa informático utilizado en esta metodología de diseño, requiere para la construcción de sus parámetros (constantes y variables), el establecimiento de límites en los tres ejes dimensionales. El conocimiento básico de las funciones de parámetros de medida y materialidad son fundamentales para el desarrollo del prototipo editable. Este software, por su arquitectura propia, permite visualizar la conexión estructural en todos los planos de trabajo, tanto ortogonal como tridimensionalmente, considerando la exactitud y precisión que un detalle de esta tipología debe tener, y alcanzando la proyección en costo y tiempo, adecuada a la metodología BIM y a la construcción en general.

De esta manera, el estudiante utiliza metodológicamente la tecnología a través de REVIT, así como la filosofía BIM que este implica, como una herramienta de construcción de modelos, más no como una herramienta de

dibujo o diseño. Las propiedades y facilidades del programa reemplazan, en cierta forma, la generación de maquetas físicas por virtuales, las cuales pueden adaptarse, en tiempo real, a las necesidades arquitectónicas y estructurales del proyecto. Sin embargo, la metodología no sugiere reemplazar la matriz de diseño a mano, por la subdivisión de la interfaz del software con las vistas ortogonales e isometría. Una vez obtenido el modelo tridimensional parametrizable en REVIT, el estudiante debe comprobar interferencias entre volúmenes sólidos, esto con el fin de evitar complicaciones, ya en la construcción de la conexión estructural. Por último, con respecto a la producción de información en el programa informático, es recomendable generar archivos de familias parametrizables en archivos independientes, para que, posteriormente, puedan ser compiladas en uno solo.

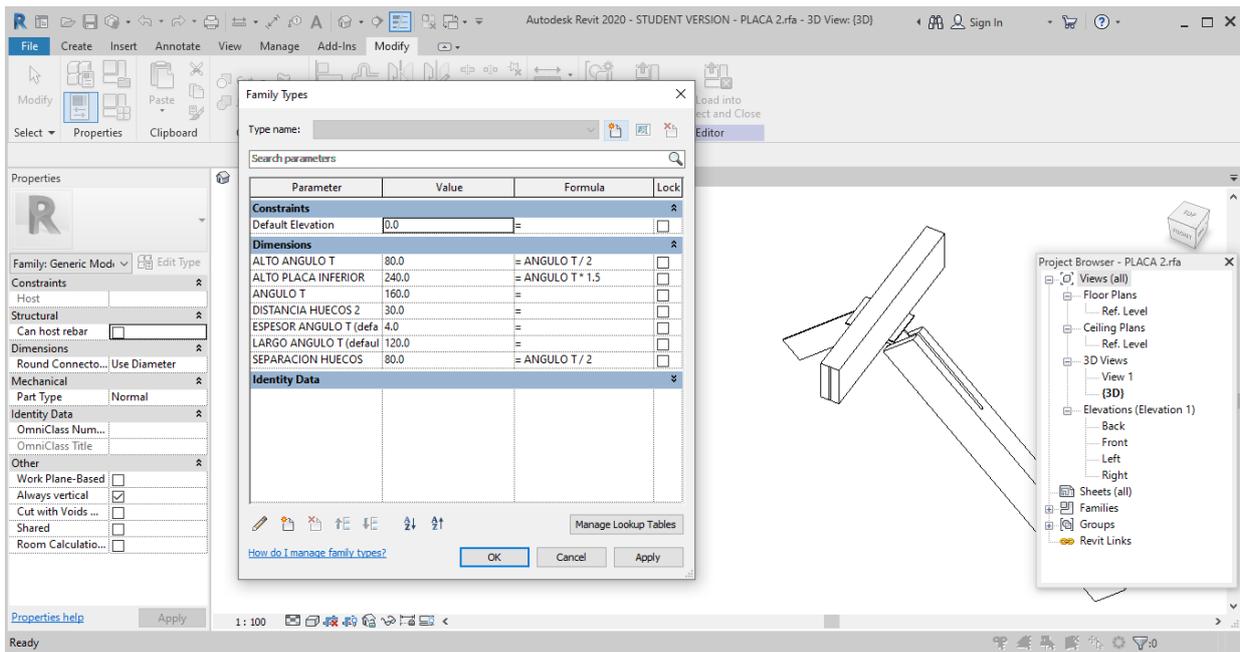


Fig. 11. Parametrización Prototipo 1: Conexión Estructural Acero – Madera.
 Elaboración Propia

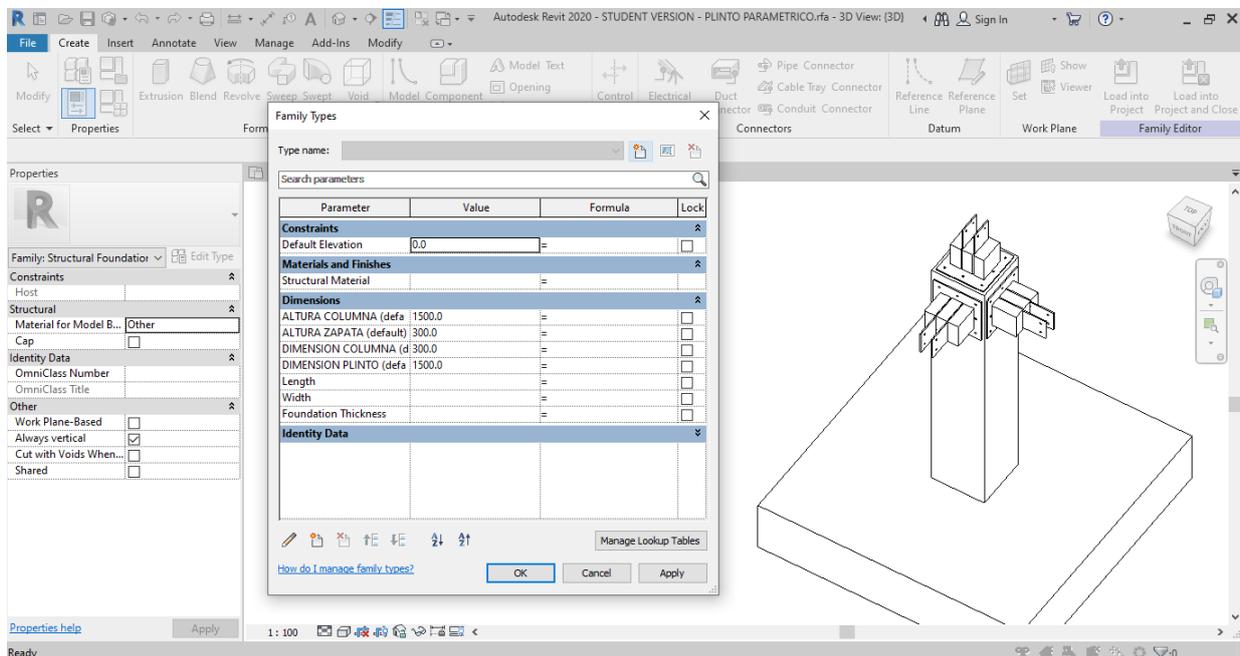


Fig. 12. Parametrización Prototipo 2: Conexión Estructural Hormigón – Acero – Madera.
 Elaboración Propia

Evaluar

En esta última parte, el estudiante, con la ayuda de su bagaje técnico-teórico, debe verificar el comportamiento de la conexión: desde el punto de vista estructural, dependiendo de la fuerza o combinación de fuerzas a las cuales estaría sometido el nudo estructural; desde el punto de vista proyectual, en base al correcto funcionamiento de los distintos parámetros planteados y de la familia como tal. Finalmente, la evaluación técnica debe responder a la factibilidad de realizar y llegar a construir la conexión estructural, la replicabilidad y funcionalidad de su diseño, y la proporcionalidad / racionalidad de los costos de producción.

3. RESULTADOS

Después de realizar este proceso metodológico, se ha llegado a los siguientes resultados:

- La metodología exige del estudiante la comprensión y profundización de conceptos técnico-constructivos y técnico-materiales, los cuales se aplican en ejercicios prácticos y construibles como es el caso de una conexión estructural. Los mismos principios estructurales desarrollados en el ejercicio se aplican al sistema estructural principal del objeto arquitectónico en fase de diseño, es decir, se potencia el conocimiento sobre la relación objeto-estructura que un arquitecto debe tener.
- El proceso desarrollado implica el aprendizaje del estudiante a través del hacer y el experimentar. El diseño del elemento de conexión estructural requiere de un constante ir y venir, tanto bidimensional como tridimensionalmente, de manera que el ajuste de la pieza deriva en un elemento estructural resistente, estable y funcional, que a su vez ha sido concienciado y definido por el estudiante.
- El alto componente gráfico, tanto a mano alzada como digital, implica que el estudiante pueda visualizar bidimensional y tridimensionalmente el elemento estructural durante todo el proceso de diseño. Esto le permite desarrollar habilidades constructivo-espaciales que aportan a la estética y detalle del proyecto arquitectónico.
- El dibujo a mano bidimensional y tridimensional realizado en la Matriz de Diseño es potencializado herramentalmente a través del programa informático AUTODESK REVIT 2020, aprovechando las facilidades de parametrización y adaptabilidad que este posee. Con ello se consigue que el proceso creativo no quede subordinado al manejo informático, y que este último sea solo un instrumento digital en el diseño previamente realizado. En fases posteriores de exploración propia e individual del estudiante, se podrían incluir parámetros avanzados en las piezas del elemento estructural, tales como: capacidad de cambio de material y/o terminado de este, aumento y disminución de piezas de la conexión estructural, tiempo y costo de la construcción de la unión de acuerdo a la modificación de parámetros, entre otras.

4. CONCLUSIONES

A través de esta investigación y el uso de la metodología del Design Thinking, se puede entender la importancia de la contextualización en todo proceso, ya que a través del comprender y empatizar con el entorno y con las necesidades del mismo, utilizando a la par el conocimiento técnico-creativo, se puede brindar

soluciones óptimas de diseño y aplicación a una problemática.

En cuanto al estudio de detalles estructurales, se concibe además de la contextualización del entorno, el aprendizaje y la aplicación del conocimiento mediante el modelo digital parametrizado de las diferentes uniones, las cuales resultan en soluciones constructivas que pueden ser utilizadas tanto en proyectos académicos como profesionales, mejorando de esta manera, la planificación a detalle de la construcción.

Por otro lado, aplicar el Design Thinking permite ordenar el proceso de la investigación y alcanzar resultados eficientes. Así también, la experimentación a través del prototipo digital da lugar a un mejor aprovechamiento de recursos y eficiencia tanto en el trabajo previo como en la aplicación real.

En conclusión, el uso de esta metodología junto con la generación de archivos digitales con modelos informáticos, facilita a que otros pares estudien y analicen el detalle de conexión estructural desde un punto de vista tecnológico e innovador, dando paso a críticas constructivas y sugerencias proyectuales que pueden ser aplicadas y puestas en práctica. Esto a su vez, permite generar un medio de retroalimentación y colaboración, aspecto primordial de la metodología BIM. De esta manera se cierra un círculo metodológico que incorpora varias áreas del saber de la arquitectura como: el entendimiento del contexto, el diseño y espacialidad desarrollada en un proyecto, la aplicación de aspectos técnicos, constructivos, estructurales y materiales, y la importancia de la representación del dibujo tanto a mano como digital, integrando así, la importancia estructural y constructiva dentro del proyecto arquitectónico.

REFERENCIAS

- [1] M. Caballero, M. Reina, D. De Souza y S. Dieste, “Diseño Conceptual de Estructuras Complejas mediante Modelado Paramétrico”, XXXVII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, 2016.
- [2] R. García y A. Lyon, Revista Arquisur, “Diseño paramétrico en Arquitectura; método, técnicas y aplicaciones”, vol. 1, 2013.
- [3] F. Moore, “Comprensión de las estructuras de Arquitectura”, McGraw-Hill, 2001.
- [4] O. Del Castillo, Revista de Investigación Pensamiento Matemático, “Arquitectura paramétrica discreta: exploración en el ámbito de la geometría ortogonal”, vol. IV, 2013.
- [5] J. Morea y J. Zaragoza, “Guía práctica para la implantación de entonos BIM en desechos de arquitectura e ingeniería”, Fe d´erratas, 2016.
- [6] E. Sánchez y J. Abelda, “Evaluación de Estrategias de Parametrización Geométrica y de la Medida de Control de la Velocidad de Convergencia en Metodologías de Optimización de Forma Basadas en Algoritmos Evolutivos”, Universitat Politècnica de Valencia, 2011.
- [7] INEC, Boletín Técnico, “Encuesta de Edificaciones, 2018”, 2019.
- [8] M. Salvadori y R. Heller, "Estructuras para arquitectos", Nobuko, pp. 13-70, 2005.

- [9] A. Cisternas y B. Pedro, “Conceptos básicos de Estructuras Resistentes”, Ediciones de la U, pp. 7-16, 2016.
- [10] Asociación Latinoamericana del Acero, “Arquitectura + Acero”, 2020. [En línea]. Available:
<http://www.arquitecturaenacero.org>.
- [11] V. C. Luna, “Revista digital para profesionales de la enseñanza”, 2020. [En línea]. Available:
<https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd6113.pdf>.
- [12] Gerdaucorsa, “Principios de Arquitectura e Ingeniería”, 2020. [En línea]. Available:
<https://www.gerdau.com/gerdaucorsa/es/products/services/products/Document%20Gallery/principios-de-arquitectura-ingenieria.pdf>.
- [13] A. Mattos, “Métodos de Planificación y Control de Obras”, Reverté, 2014.
- [14] S. Race, “Bimdemystified”, RIBA Publishing, 2013.
- [15] Nazaret Global Education, “Design Thinking”, pp. 3-11.
- [16] Hasso Plattner. Institute of Design at Stanford, “Guía: Una Introducción al Design Thinking”, pp. 4-9.
- [17] J. Zaragoza, Guía Práctica para la Implantación de Entornos BIM en Despachos de Arquitectura e Ingeniería, Fe d’erratas, 2016.