

Metodoloxía BIM e Industrialización

O papel do desenrolo paramétrico na industrialización do sector da construción

Cristian Iglesias Rodríguez

cristian.iglesias@udc.es

Titores: Francisco Javier López Rivadulla

André Garrido Iglesias

Escola Técnica Superior de Arquitectura

TFG. Grao en estudos de Arquitectura

Universidade da Coruña

TFG. 4 de Setembro 2020

RESUMO

Este traballo fin de grao céntrase no estudo da parametrización de sistemas construtivos mediante o linguaxe de programación GDL de Archicad, entendendo que o deseño paramétrico en contornas BIM é unha das chaves do futuro da industrialización no eido da construción. Despois de unha breve introdución á metodoloxía BIM, á metodoloxía LEAN e á industrialización e á súa evolución ó longo da historia, expoñerase como se debe desenrolar un obxecto paramétrico en linguaxe GDL, atendendo ó desenrolo xeométrico pero tamén ó tratamento da información, tanto ós parámetros de información como á interface na que se visualizan. A continuación farase un análise dos recursos existentes en repositorios online en canto a obxectos paramétricos en BIM para, en conxunto co obxecto desenrolado no presente traballo, estudar a información que conteñen e deben conter e o seu grao de parametrización e utilidade.

INDUSTRIALIZACIÓN PARAMETRIZACIÓN BIM GDL ARCHICAD

Este traballo fin de grado se centra en el estudio de la parametrización de sistemas constructivos mediante el lenguaje de programación GDL de Archicad, entendiendo que el diseño paramétrico en entornos BIM es una de las claves del futuro de la industrialización en el sector de la construcción. Después de una breve introducción a la metodología BIM, a la metodología LEAN y a la industrialización y a su evolución a lo largo de la historia, se expondrá cómo se debe desarrollar un objeto paramétrico en lenguaje GDL, atendiendo al desarrollo geométrico pero también al tratamiento de la información, tanto a los parámetros de información como a la interfaz en la que se visualizan. A continuación se hará un análisis de los recursos existentes en repositorios online en cuanto a objetos paramétricos en BIM para, en conjunto con el objeto desarrollado en el presente trabajo, estudiar la información que contienen y deben contener y su grado de parametrización y utilidad.

INDUSTRIALIZACIÓN PARAMETRIZACIÓN BIM GDL ARCHICAD

This degree final project focuses on the study of the parameterization of construction systems by the Archicad's GDL programming language, understanding that the parametric design in BIM environments is one of the keys to the future of industrialization in the construction sector. After a brief introduction to the BIM methodology, the LEAN methodology and industrialization and its development throughout history, it will be explained how to develop a parametric object in GDL language, taking into account the geometric development but also the treatment of information, both the information parameters and the interface in which they are displayed. Then we will make an analysis of existing resources in online repositories in terms of parametric objects in BIM to study, together with the object developed in this project, the information they contain and should contain and their degree of parameterization and usefulness.

INDUSTRIALIZATION PARAMETERIZATION BIM GDL ARCHICAD

ÍNDICE

1. OBXETIVOS E MOTIVACIÓNS	4
2. ANTECEDENTES.....	5
2.1. METODOLOXÍA BIM.....	5
2.1.1. METODOLOXÍA LEAN	8
2.2. ESTADO DO COÑECEMENTO. DEFINICIÓN DO CONCEPTO INDUSTRIALIZACIÓN	10
2.2.1. BREVE RESEÑA HISTÓRICA.....	11
2.2.2. AFIRMACIÓNS E REFLEXIÓNS	14
3. DESEÑO PARAMÉTRICO.....	15
3.1. EXEMPLO DE ELEMENTO PARÁMETRICO	16
3.2. DESENROLO PARAMÉTRICO COA LINGUAXE DE PROGRAMACIÓN “GDL”	21
3.2.1. EMPREGO DO OBXECTO PARAMÉTRICO	25
4. ANÁLISE DE RECURSOS EXISTENTES EN REPOSITARIOS ONLINE.....	30
4.1. SISTEMA DE FIESTRA CORTIZO	31
4.2. PISO LAMINADO FINFLOOR DE FINSA	33
4.3. SISTEMA DE PARTICIONAMENTO PLADUR.....	34
4.4. SISTEMA DE REVESTIMENTO DE XUNTA ALZADA ELZINC	37
4.5. SISTEMA DE CIMENTACIÓN PILOEDRE	39
5. CONCLUSIÓNS	41
6. BIBLIOGRAFÍA	43
7. RELACIÓN DE FIGURAS	44

1.OBXETIVOS E MOTIVACIÓNS

O presente documento pretende ser o resultado dunha investigación sobre o deseño paramétrico de sistemas construtivos industrializados dentro da metodoloxía BIM. A decisión deste camiño de estudo débese ó protagonismo que están cobrando no sector da construción a vivenda industrializada e a metodoloxía BIM.

A vivenda industrializada, a pesar de estar librando unha batalla case que cultural contra a construción tradicional, estase convertendo nunha tendencia construtiva, que seguindo os principios de racionalización e estandarización, pretende dar solución a problemas reais da arquitectura contemporánea, como son os riscos que implican as obras, a incerteza da execución *in situ* en canto a calidade e custos, e os longos períodos de entrega. Do mesmo xeito, pretenden dar resposta a unha sociedade que busca sistemas sostibles, que sexan reutilizables e respectuosos co medio ambiente, tanto na xeración de residuos como nas emisións de CO₂, en todo o seu ciclo de vida.

A metodoloxía BIM, que tamén libra a súa particular batalla contra o sistema de traballo CAD (esta batalla tamén está preto de considerarse cultural, alomenos no eido dos proxectos de arquitectura) estase convertendo na metodoloxía de traballo do presente. Pola súa mellora da produtividade na redacción de proxectos, e polo maior control que outorga sobre os mesmos, que se traduce nunha mellora da calidade final e nunha redución dos erros e polo tanto dos custos.

Recoñecendo a industrialización da construción e a metodoloxía BIM como dous dos pilares sobre os que cimentar a construción do futuro e recoñecendo que ámbolos dous temas buscan a eficiencia e a sostibilidade da arquitectura, este traballo busca profundar no lugar de encontro entre estes dous campos, en como se debe utilizar a metodoloxía BIM no desenrolo de proxectos de construción industrializada. Pois a pesar de que semella obvio que están condenados a entenderse, é moi común ver proxectos actuais de vivendas modulares que se limitan a conter información 3D, pero que están desenrolados coa metodoloxía de traballo 2D.

Debido ó acoutado deste traballo escóllese un sistema construtivo existente como son os paneis de pedra para revestimentos de fachada, para establecer como debe reproducirse dentro de unha metodoloxía BIM, centrando a atención na parametrización dos elementos que o compoñen. Profundaremos nos parámetros xeométricos mais tamén nos parámetros de información, dada a importancia que esta ten en contornas de traballo BIM.

Estudaranse tamén os recursos existentes no mercado de sistemas industrializados desenrolados en BIM por parte dos fabricantes, para analizar a información que conteñen, a información que aportan, o seu grao de parametrización e a súa utilidade.

2. ANTECEDENTES

2.1. METODOLOXÍA BIM

A palabra BIM é un acrónimo que proven das verbas en inglés “Building Information Modelling”, que traducido de maneira literal sería modelado de información do edificio ou da construción. É dicir, modelar un edificio existente ou por construír, dotando o modelo de toda a información necesaria para construílo ou representalo á perfección. Entendendo como información non solo a xeometría en 3 dimensións, si non tamén os sistemas construtivos e os materiais, os fabricantes de ditos materiais, os prezos dos mesmos e os custos da man de obra que os coloca, os tempos de execución etc.

Máis si falamos de BIM como unha metodoloxía é porque vai máis alá do modelado da información de unha construción. De feito, a pesar de que o termo BIM funciona moi ben como “verba forza”, estase a quedar curto á hora de expresar o espírito da metodoloxía, e unha proposta cada vez máis estendida para dotar o termo de máis exactitude é o que se refire a “ Business Information Management”, Si ben mantemos a información como eixo, o contexto da metodoloxía pasa a ser un negocio e non só un edificio, e en lugar de modelar a información, esta é xestionada de maneira coordinada polos diferentes axentes. (Carmona, 2019)

Debe facerse fincapé de maneira clara en que BIM é unha metodoloxía de traballo multidisciplinar e integrada, con máis de 30 anos de antigüidade, e que cobrou forza na última década no sector da construción. É moi común escoitar “BIM es Revit, no?”, dando por feito que se reduce a un software de modelado tridimensional que automatiza procesos e nos aforra tempo, máis debe entenderse non como unha ferramenta, si non como unha metodoloxía que implica a xestión integrada e a participación directa de todos os axentes ó longo de todo o ciclo de vida do proxecto. A metodoloxía BIM é a resposta do sector da construción ós avances tecnolóxicos propios da industria 4.0 no sector industrial, tamén coñecida como a cuarta revolución industrial. Analizando detidamente algúns dos principios de deseño da industria 4.0, veremos as similitudes que comparte coa filosofía BIM. (Ibermática, 2020)

- **Interoperabilidade:** No contexto industrial, entendémolo como a habilidade de persoas, dispositivos ou ferramentas para comunicarse e operar entre si, independentemente do formato que utilicen e do lugar do mundo.

A interoperabilidade é tamén unha das bases do BIM, que mediante arquivos de intercambio unificados e de código aberto, como o formato IFC, se permita o entendemento entre distintos software, e polo tanto entre distintos axentes.



Figura 1: Símbolo do formato IFC
Fonte: www.buildingsmart.es

- **Transparencia da información:** Podemos entendelo como o acceso universal e ilimitado á información por parte de todos os axentes intervintes no proceso, ou tamén como a habilidade dos sistemas de información de crear copias virtuais de elementos físicos, a traveso de modelos dixitais, permitindo as tomas de decisións baseadas en datos reais.

Outros dos principios sobre os que se basea o método de traballo BIM son a colaboración e o concepto de modelo único, ter toda a información do proxecto nunha base de datos aloxada nun servidor online, permitindo o acceso de todos os axentes á información en tempo real e de maneira centralizada, actualizada e sen duplicidades. Pero un dos aspectos máis esquecidos do BIM é a colaboración externa, pois segue moi estendido no sector da construción o celo excesivo polo secreto profesional, máis un profesional do BIM debe entender que si ocultamos información o modelo resultará incompleto. A maneira de conseguir que a interoperabilidade e o traballo colaborativo teñan éxito é a aplicación do OpenBIM, concepto que representa a implantación de BIM baseada en estándares e fluxos de traballo abertos para o deseño, execución e mantemento de proxectos de edificación.

- **Asistencia técnica:** Enténdese como a capacidade das ferramentas ou sistemas para axudar ás persoas. Tanto engadindo e visualizando a información para tomar decisións informadas e resolver problemas de maneira urxente, como tamén realizando as tarefas máis esgotadoras ou non seguras para as persoas.

Este principio casa a perfección coas benevolencias do BIM, que nos permite facer simulacións de obra para tomar decisións con máis información e estudos de colisións para o control da calidade. Do mesmo xeito, sabemos tamén que os software que están dentro do fluxo de traballo BIM nos permiten automatizar procesos que anteriormente se facían de maneira máis manual, como poden ser as medicións ou o trazado de seccións.

Da mestura de dous conceptos que viamos en parágrafos anteriores, como a xestión da información e a automatización de procesos, xorde o concepto de deseño paramétrico. O deseño paramétrico, concepto no que profundaremos ó longo deste traballo, é outra das características fundamentais do BIM, e entendémolo como a abstracción dunha idea desenrolada con procesos xeométricos e matemáticos, que permiten manipular con maior precisión o noso deseño na busca de resultados óptimos. *(Garcelán Docio, 2016)*

- **Decisións descentralizadas:** Capacidade dos sistemas informáticos de exercer tarefas e tomar decisións de maneira autónoma, que reducen as decisións a tomar por persoas a excepcións por interferencias ou conflitos de obxectivos.

Podemos observar que incluso no último punto aínda que en menor medida, todos os principios de deseño e produción da Industria 4.0 son características intrínsecas á metodoloxía BIM. Esta coincidencia de principios reforza e motiva a realización do presente traballo, ó entender que son dous eidos que comparten orixes e futuro, e que compre estudalos de maneira conxunta. *(Garrido Iglesias, 2018)*

De calquera xeito, para comprender a metodoloxía debemos profundar nas dimensións BIM, que é o xeito en que se dividen todos os campos que envolven un proxecto BIM.



Figura 2: Imaxe Dimensións BIM. Fonte: <https://econova-institute.com/blog/las-siete-dimensiones-de-bim/>

- **2D:** Dimensión que caracteriza a metodoloxía de traballo 2D, representado os elementos de forma bidimensional. Dentro da metodoloxía BIM, esta dimensión encárgase de facer as representacións diédricas e detalles construtivos, ademais de engadir textos asociados ós elementos representados en 2 dimensións.
- **3D:** Representación en 3 dimensións dos proxectos, non só de cara a obter imaxes renderizadas, si non para coñecer como interactúan os distintos elementos na terceira dimensión.
- **4D: Tempos.** Nesta dimensión xestiónanse e estúdanse os tempos de obra do proxecto. Mediante simulacións permite detectar posibles problemas de tempos con anterioridade, e planificar e organizar as tarefas e recursos, para evitar esperas ou retrasos.
- **5D: Costes.** Esta dimensión abrangue todo o relacionado co presuposto, os custos e as medicións de un proxecto ó longo de todo o seu ciclo de vida. Cada un dos elementos do proxecto son asociados a partidas aloxadas nunha base de datos, e os software de xestión de custos obterán un prezo a partir de dita partida e da información xeométrica do modelo. Débese facer fincapé en que o presuposto nunca será algo que se xere de maneira automática, xa que hai partidas que non se poden asociar a certos elementos, e ó igual que para as medicións, detrás do software sempre terá que haber un técnico. Esta dimensión e a anterior están moi vencelladas entre si, xa que os tempos sempre supoñen unha repercusión nos custos, e viceversa. Ademais a maioría de bases de prezos inclúen información de prezos e tamén de tempos.
- **6D: Sostibilidade.** Nesta dimensión fanse simulacións do comportamento enerxético do edificio, permitindo tomar decisións en canto ás distintas alternativas ou solucións construtivas en materia de eficiencia, e permitindo o estudo do impacto económico e ambiental das solucións ó longo de todo o ciclo de vida do proxecto. Entendendo o concepto de ciclo de vida dende a primeira liña do anteprojecto ata unha posible rehabilitación ou demolición.
- **7D. Mantemento.** Abrangue a xestión do activo inmobiliario, as revisións periódicas de equipos de extinción e climatización, cambios de propietarios e alugueres, e incluso avisos de labores de mantemento periódicos, tamén ó longo de todo o ciclo de vida do edificio.

Con respecto a este epígrafe débese mencionar que o concepto de dimensión BIM é algo en permanente cambio. Non hai moito tempo que se concibía a sostibilidade como dúas dimensións distintas, separando o ciclo de vida como unha dimensión independente.

É habitual en diversas publicacións, considerar a calidade como a oitava dimensión, abarcando as simulacións de colisións entre elementos 3D ou a verificación de normativa de maneira automatizada. Mais tamén se fala da calidade como algo intrínseco á metodoloxía BIM e a todas as súas dimensións e non como unha dimensión en concreto. Tampouco é estraño ver que se considera a seguridade como a oitava dimensión.

2.1.1. METODOLOXÍA LEAN

É recorrente escoitar cando falamos de industrialización e da metodoloxía BIM, que unha das súas grandes vantaxes é o incremento da produtividade, máis o sector da construción nas últimas décadas pode definirse como o paradigma do fenómeno contrario; Quizais porque nos tempos anteriores á crise e nun contexto de burbulla inmobiliaria, primaba a produción masiva de vivenda por enriba da produtividade, mais ponse de relevo este feito si comparamos os datos de produtividade do sector da construción fronte os datos de outros sectores como o automobilístico ou o aeronáutico.

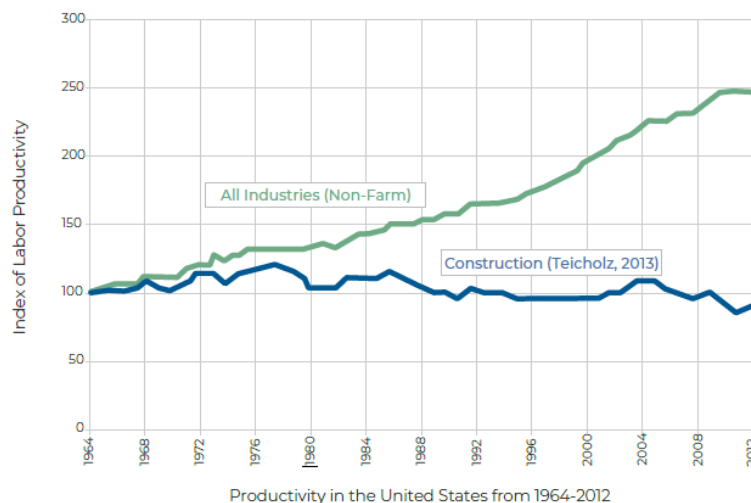


Figura 3: Produtividade en EEUU 1964-2012. Fonte: Estudo levado a cabo por Teicholz, Goodrum e Haas, baseado en datos do US Department of Commerce. (Pons

A metodoloxía BIM xorde neste contexto de baixa produtividade como resposta a un proceso de deseño case que artesanal baseado na metodoloxía de traballo en CAD, onde a definición dos proxectos resulta defectuosa, os procesos automatizados son practicamente inexistentes e a información do proxecto atópase fragmentada ou repetida, traducíndose todo isto nunha merma da calidade do proxecto e do produto final.

Máis non podemos profundar no BIM sen falar do Lean. A metodoloxía Lean define un modelo de xestión no que se pretende reducir ó mínimo a perda de recursos no proceso de produción e en paralelo busca a creación do máximo valor para o cliente final.

Coñecida popularmente como “método Toyota”, foi concibida nos anos 40 por Taiichi Ohno, enxeñeiro da marca nipoa, e alcanzou a fama nos 70 cando no marco da crise do petróleo, Toyota alcanzou grandes beneficios mentres o resto de empresas do sector automobilístico concurrían en perdas.

O método, coñecido tecnicamente como “*Toyota production system*” ou TPS, baséase na estratexia das 5 “S”, verbas en xaponés que traducidas significarían Clasificación, orde, limpeza, estandarización e disciplina, e algunhas das claves do método son:

- Traballo en equipo.
- Filosofía a longo prazo.
- Sistema Pull. solicitar o material necesario xusto en cantidade e tempo.
- Análise da cadea de fluxo. Estudar e documentar qué actividades producen retrasos ou perdas para eliminalas.
- Toma de decisións pausada e por consenso.
- Estandarización de tarefas.
- Cultura de mellora continua e aprendizaxe de erros propios.
- Uso de tecnoloxía fiable e probada.

Nos anos 90 e como aplicación de este modelo de xestión ó sector AEC¹, xorde o sistema Last Planner System, ou LPS. Este sistema pretende levar a filosofía Lean, desenrolada para cadeas de montaxe de coches, á planificación de obras de construción. E centra a peculiaridade das obras de construción en dous puntos de partida:

- Todos os plans son pronósticos e todos os pronósticos son incorrectos.
- Canto máis se detalla o pronóstico a longo prazo, máis incorrecto se volve.



Figura 4: Esquema do “Débese-Pódese-Farase”
Fonte: (Pons & Rubio, 2019)

Glenn Ballard e Greg Howell, creadores do LPS, poñen o ollo nas planificacións a longo prazo, tan características das obras de construción, que so transmiten unha falsa percepción de control pero que finalmente nunca se cumpren. Dende esta perspectiva, apostan por focalizarse nos fluxos de traballo a curto prazo, dentro do esquema “Débese-Pódese-Farase”. É dicir, dentro do escenario de deber realizar unha produción, hai que crear as condicións para que se poida facer, desta maneira o traballo farase. (Miró Sardá, 2020)

Compre entón, no contexto dun traballo que mestura industrialización e BIM, non esquecerse da metodoloxía de xestión Lean. Pois podemos entender a metodoloxía BIM como o sistema que nos outorga información estruturada, clasificada, actualizada e accesible para todos os axentes, permitindo a toma de decisións pausada e en consenso, ou como a tecnoloxía fiable e probada que nos da a capacidade de anticipación, previsión e control requiridos polo *Lean*.

¹Sector AEC: “Architecture, engineering and construction” - Sector da arquitectura, enxeñaría e construción.

É dicir, pódese entender o BIM como un vehículo, pero tamén como unha resposta, unha evolución da filosofía *Lean* aplicada e adaptada ó sector AEC.

A estandarización de procesos e a optimización de recursos está deixando de ser unha opción para converterse nunha obriga. E o escenario ideal, ou quizais o único válido, para o desenrolo desta nova forma de traballo é o desenrolo destas dúas metodoloxías, BIM e “Lean Construction”², no marco contractual do IPD³ (*Integrated Project Delivery*).

2.2. ESTADO DO COÑECEMENTO. DEFINICIÓN DO CONCEPTO INDUSTRIALIZACIÓN

Antes de falar das orixes da industrialización debemos establecer a diferenza entre os conceptos de prefabricación e industrialización, pois a pesares de que son similares e incluso complementarios, non son iguais. Xa para comezar, a verba prefabricación non está contemplada no DRAG nin no DRAE, dicionarios das reais academias galega e española respectivamente, máis podemos describilo como o sistema construtivo baseado no deseño e a produción de compoñentes en serie nunha fábrica para despois proceder ó seu montaxe de unha maneira simple, precisa e non laboriosa na súa ubicación final, conformando todo ou parte dun edificio. Unha referencia para coñecer o grao de prefabricación dun edificio é mediante o estudo da cantidade de residuos xerados en obra; canta maior cantidade de escombros e lixo, menor índice de prefabricación. (*Gómez Jáuregui, enero-marzo 2009*)

Pola súa parte, o termo industrialización, que xa aparece reflexado nos dicionarios, podería definirse como o proceso produtivo que de forma racional e automatizada, emprega materiais, medios de transporte e técnicas mecanizadas en serie e con menor man de obra, para obter unha maior produtividade. É importante facer énfase neste concepto, pois a industrialización ten como meta a maior produtividade e non a produción masiva. Son características propias da industrialización, a produción en cadea ou en serie, a racionalización, a estandarización, a automatización e a robotización.

Serve como exemplo para discernir entre os termos a construción do edificio Hábitat 67 para a Expo de Montreal de 1967, pois para construílo instalouse unha factoría a pe de obra para conformar os caixóns de formigón armado mediante moldes especiais feitos para a ocasión, estacionados nun medio controlado e manexados de maneira mecánica. Non cabe dúbida de que se trata de un proceso de carácter prefabricado, máis sería difícil considerar o proceso como industrializado, por non ser automatizado, en serie ou en cadea, con pouca man de obra ou de gran produtividade.

Mención aparte merece a paradóxica situación que arrodea ó termo da prefabricación, que segue tendo unha connotación despectiva, asimilando unha edificación prefabricada como provisional, cando este proceso construtivo conleva un aumento da calidade, perfeccionamento e seguridade.

² **Lean Construction:** Aplicación da metodoloxía Lean á construción. (“Lean” – Axustar)

³ **IPD:** “Proxecto Integrado” (*Integrated Project Delivery*): metodoloxía de traballo e xestión que se basea na integración dos equipos nunha fase temprana do proxecto. Consiste en conxuntar os esforzos dos intervinientes (Propiedade-Deseño-Construción) no proceso dende o inicio do proxecto (idea de proxecto, necesidade - “Berce”) ata o final do mesmo (demolição e xestión de residuos, rehabilitación, “Berce”) para chegar a conseguir unhas metas comúns entre eles. O éxito do proxecto.

2.2.1. BREVE RESEÑA HISTÓRICA

Hai varios precedentes de prefabricación ó longo da historia, poderíamos falar de como os romanos elaboraban as pezas en talleres artesanais fora de obra para construír os templos nas súas colonias no norte de África. Pero quizais o primeiro exemplo de construción industrializada se remonta ó século XVI, cando Leonardo Da Vinci recibiu o encargo de proxectar unha sucesión de cidades na rexión de Loire. O seu plantexamento consistiu en establecer, no centro e orixe de cada cidade, unha fábrica de elementos básicos que permitiran conformar os edificios do seu redor. Previamente Da Vinci deseñou unha gran diversidade de tipoloxías edificatorias con moitos elementos construtivos comúns. Tamén no século XVI, durante a guerra entre Inglaterra e Francia, os exércitos franceses construíron para albergar os soldados, pavillóns de madeira prefabricados que eran facilmente transportados por barco e que ademais podían ser montados e desmontados polos propios soldados. En 1624 os ingleses levaron a Massachussets unha casa modular a base de paneis de madeira, a Great House de Edward Winslow. A casa foi desmontada, trasladada e reensablada en repetidas ocasións, e aínda que non respondía a un método de produción en serie, si que se comezaba a apreciar un cambio de mentalidade aplicado ó proceso construtivo.

Mais non será ata finais do século XVIII cando comeza a ser tanxible a posibilidade de industrializar a construción. Mentres en Europa se comezan a construír pontes e cubertas con ferro fundido, material que despois se empregará na elaboración de vigas e pilares, en Estados Unidos comezan a xurdir construcións de edificios co sistema Balloon Frame, constituídos con listóns de madeira provintes de fábrica e ensamblados mediante cravos fabricados industrialmente.

Coa Revolución industrial (1760-1840) xorde unha nova arquitectura que ten a obriga de facer fronte ás novas necesidades da industrialización, como son os aumentos de poboación e as grandes migracións do rural á cidade. Comeza unha época de gran cambio; a aparición da máquina substitúe en gran medida á man de obra, convertendo os talleres artesanais en industrias onde o avance da técnica posibilita unha produción rápida, masiva e barata. Os novos materiais como o ferro e o vidro cobran protagonismo, e con eles traen novas técnicas construtivas que se traducirán nunha nova arquitectura. O formigón desenrólase enormemente no século XIX e xeralízase o uso do formigón armado na arquitectura ó longo do século XX. (Sandoval Fernández, 2013)

É na segunda metade do século XIX cando na construción se comeza a impoñer a utilización de sistemas prefabricados. En 1889, Edward T. Potter patenta un sistema de edificio prefabricado mediante módulos tridimensionais en forma de caixón apilable. E en 1891, prefabricáanse as primeiras vigas de formigón armado para a construción do Casino de Biarritz.

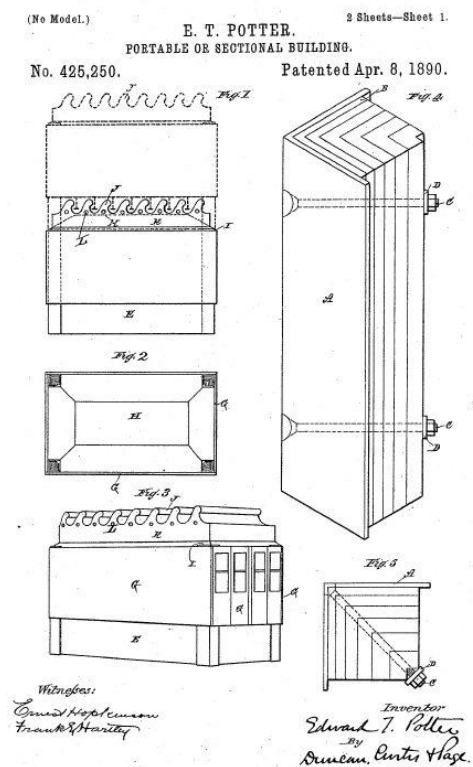


Figura 5: Patente Edward T. Potter, 1889.

Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fa/Patente_1889.jpg

Podemos concibir a Primeira Guerra Mundial (1914-1918) como unha impulsora da industrialización da construción, pois é debido á escaseza mundial de materiais e man de obra, que se comeza a pensar no desenrolo da prefabricación do formigón como un medio de reducir o uso do encofrado e os custos das construcións de formigón vertido *in situ*. En 1917 en New York, o construtor Roger Corbetta concibe a idea de construír unha vivenda usando paneis de formigón, sistema estrutural a base de prefabricados que se comercializará con gran éxito e que pode definirse como a base do inicio formal da industrialización da vivenda.

Walter Gropius, fundador do movemento Bauhaus na Alemaña de 1908, avogaba pola racionalización da industria da construción para permitir construír de forma máis rápida e económica, recomendando a produción repetitiva de elementos feitos a máquina con dimensión estandarizadas. Entre 1920 e 1930, no contexto de recuperación económica de posguerra, xorde o movemento moderno comandado por Le Corbusier. A revolución industrial estaba cambiando a forma de vida da xente, era posible fabricar máis, máis rápido e con menores custos. Neste contexto Le Corbusier propón a “maquina de habitar”, con ela quería resaltar un novo modelo de vivenda na que se optimizara a forma, suprimindo elementos superficiais e onde todos os seus compoñentes se puidesen ensamblar e se producisen de maneira industrializada. En 1928 tralo primeiro CIAM, Le Corbusier, Walter Gropius e Richard Neutra entre outros arquitectos, xeran un vívido debate; non só era preciso proxectar con novos materiais, se non que tamén había que normalizar e estandarizar elementos susceptibles de ser industrializados, sen deixar de garantir a liberdade proxectual.



Figura 6:Cadea de montaxe Ford e imaxe empregada por Le Corbusier en “Vers une architecture”
Fonte: <https://www.biografiasyvidas.com/monografia/ford/fotos4.htm>

Ó longo da segunda guerra mundial (1939-1945) nun contexto de masiva e xeralizada destrución e coa urxencia de unha pronta reconstrución, xérase unha gran necesidade de vivenda barata que se constrúa en masa e rapidamente. Este feito resulta ser un trampolín para a industria da prefabricación, axudada polos emerxentes novos materiais e os coñecementos tecnolóxicos xurdidos durante o desenrolo do feito bélico.

Entre 1950 e 1970 a industria da prefabricación xa é unha realidade en Estados Unidos e Europa, expresándose con máis intensidade nos países máis industrializados. Nos antigos países comunistas xorde a primeira xeración de vivendas prefabricadas, conformadas con sistemas cerrados a base de grandes paneis, constrúense milleiros de vivendas agrupadas, que se caracterizaban pola súa uniformidade e rixidez, pola diminución do número de elementos distintos e pola carencia de infraestruturas. Este tipo de edificacións serán os que durante moito tempo caractericen a imaxe pexorativa do concepto de vivenda prefabricada.

Na década dos 70 xorde a coñecida primeira crise do petróleo, a caída da actividade económica que tanto dependía deste produto, fai que se debilite o crecemento económico trala segunda guerra mundial. É neste contexto de crise mundial cando o método Toyota acadou éxitos e fama mundial.

Ante a baixada do número de vivendas construídas debido á crise e á nova demanda de edificación en horizontal, a prefabricación a base de sistemas cerrados de vivendas trata de saír adiante introducindo flexibilidade e variación, sentando as bases dunha incipiente industrialización aberta en 1975. Mais a finais do século XX prodúcese numerosas demolicións de vivendas prefabricadas construídas entre guerras e trala segunda guerra mundial. Pola contra, a industrialización da construción de naves e polígonos industriais execútase maioritariamente a base de grandes elementos prefabricados de formigón.

No século XXI materialízase unha nova filosofía construtiva que se denomina industrialización a base de compoñentes. Se examinamos o panorama mundial no campo da industrialización da edificación nos últimos tempos, percatámonos de que quizais por primeira vez na historia, estamos a presenciar unha evolución, non só tecnolóxica, se non fundamentalmente metodolóxica.

Compróbase que os sistemas de compoñentes se adaptan mellor que os sistemas cerrados ás novas tendencias, resistindo a crise e introducíndose favorablemente no crecente mercado da vivenda unifamiliar. A drástica redución de obras de gran volume comeza a penalizar os sistemas de formigón vertido en favor de outros sistemas, e a elasticidade das solucións construtivas a base de compoñentes da respostas a outros tipos de arquitectura e facilita o cumprimento de novas normativas como as de aforro enerxético.

Esta evolución metodolóxica é a tendencia ó emprego de compoñentes complexos de distinta procedencias e xerados con diferentes formas de produción, baixo directrices de proxecto pensadas con mentalidade e disciplina industrial, que se poden ensamblar en obra grazas ás súas compatibilidades dimensionais, de tolerancias e de xuntas, dando lugar a sistemas construtivos moito máis diversos. Presenciamos pois o que se está acuñando como industrialización por compoñentes compatibles ou industrialización aberta.

Compre separar o concepto de industrialización aberta de outros *a priori* similares como os sistemas baixo pedido e os sistemas “mecano”. Os sistemas baixo pedido traballan mediante encargos a medida que se adaptan a cada proxecto e non volven utilizarse en outros proxectos, e os sistemas “mecano” funcionan mediante catálogos cerrados propios de cada fabricante e nos cales figuran elementos que solo se poden ensamblar con outros elementos do mesmo catálogo. As dúas solucións gardan multitude de vantaxes e poderíanse definir como industrializadas xa que se producen integramente en fábrica, máis ambas carecen do requisito de universalidade que caracteriza ós compoñentes empregados na industrialización aberta. Outras alternativas que están emerxendo na actualidade son as células tridimensionais que chegan a obra rematadas, minimizando as xuntas necesarias na súa colocación, mais son moi criticadas pola súa rixidez en canto ó deseño arquitectónico. (Rollón de la Mata, 2011)

Este epígrafe do traballo pretende facer unha panorámica de como foi evolucionando o concepto de industrialización na edificación, e que feitos influíron neste proceso. Este análise abarcou dende os primeiros orixes, pasando polos sistemas de prefabricación cerrada (maioritariamente mediante grandes paneis de formigón dos anos 60) ata as formas de proxectar e construír actuais, que conlevan o emprego de compoñentes e subsistemas construtivos de diferentes procedencias e aptos para colocarse en obras industrializadas ou non industrializadas. Empréganse de maneira cada vez máis frecuente as xuntas universais e as gamas modulares, máis os sistemas abertos requiren regras máis precisas e de maior aceptación por proxectistas, construtores e fabricantes.

2.2.2. AFIRMACIÓNS E REFLEXIÓNS

Tras profundar no estudo da evolución histórica da industrialización e do que neste eido se ven facendo nos últimos tempo, xorden algunhas afirmacións que debemos recalcar, como que a industrialización non é unicamente prefabricación, e que a idea que asocia as vivendas prefabricadas ou industrializadas como algo efémero é errónea, pois unha vivenda industrializada leva aparelado un aumento da calidade e da sostibilidade respecto da construción tradicional e tamén unha redución dos custos e dos tempos de obra.

Do mesmo xeito, extráense deste estudo certas reflexións sobre o futuro da industrialización da construción das que compre deixar constancia:

- Este proceso de industrialización non se trata dun desexo de cambio tecnolóxico, que podería traducirse nun cambio de sistema cerrado a outros abertos, se non de un cambio metodolóxico.
- É obrigación desta xeración a busca do acercamento mutuo entre industrialización e arquitectura que tanto tempo se leva botando en falta. Se ficamos na historia da arquitectura, esta sempre se foi desenrolando acorde ós materias e os coñecementos do seu tempo.
- A industrialización debe funcionar como reactivador das industrias da construción, tanto principais como auxiliares.
- É preciso atopar unha linguaxe común para industrialización e rehabilitación, pois nelas reside o futuro do sector da construción.
- Nin a escala de actuación nin o entorno deben ser condicionantes para o emprego de sistemas industrializados. Estes sistemas deben ser capaces de converterse nun instrumento satisfactorio arquitectónicamente, incluíndo a escala urbanística, con vontade de universalidade. Deben tamén ser capaces de intervir con respecto no entorno rural con sistemas industrializados, máis está claro que non se pode proxectar en tradicional e executar de maneira industrializada.
- Os motivos da adopción da industrialización non deben ser só económicos ou produtivos. A procura de un sistema produtivo sostible, que reduza emisións e xeración de residuos tórnase capital.
- Os sistemas de unión e o estudo das xuntas resultan ser uns dos temas máis importante para o desenrolo dos compoñentes de sistemas industrializados, preferíndose os sistemas de xunta seca como a soldadura ou o ensamblado, fronte ó emprego de formigón e morteiro. De calquera xeito debe primar a calidade en canto a comportamento enerxético e estanquidade, executando con man de obra especializada.

A última das reflexións é unha das que que motiva o presente traballo, pois semella acertado concluír que hoxe en día non se pode etiquetar un sistema construtivo como totalmente industrializado en canto a automatización e produtividade, se non está deseñado dentro de unha contorna de traballo BIM.

3. DESEÑO PARAMÉTRICO

Falábase a comezos de este traballo de como a adopción e o emprego da metodoloxía BIM se amosa determinante á hora de afrontar o proceso de industrialización da construción. De pouco serve desenrolar un sistema de fabricación eficiente, sostible e de maior produtividade se o proceso de deseño non cumpre con ningunha desas premisas. Este traballo pretende profundar nun dos aspectos que define a metodoloxía e que máis inflúe na automatización do deseño e polo tanto na produtividade do traballo, como é a parametrización.

Recollendo verbas de epígrafes anteriores, entendemos o deseño paramétrico como a abstracción dunha idea desenrolada con procesos xeométricos e matemáticos, permitindo manipular con maior precisión o deseño na busca de resultados óptimos. Os parámetros ou variables que se introducen nos modelos paramétricos soen ser algoritmos, restricións ou límites que permiten modificacións importantes no modelo con pequenos cambios de parámetros. Xerar xeometrías complexas como estruturas laminares ou maias espaciais con un esforzo moitísimo menor que co método tradicional, ou cambiar todas as carpinterías do modelo dun edificio de vivendas con un solo clic de rato, son algúns dos exemplos das bondades de modelar un proxecto de maneira paramétrica.

Se observamos a maneira en que están ideados moitos dos sistemas construtivos industrializados, darémonos conta de que o deseño paramétrico é o método idóneo para representar os xa ideados e para proxectar os que están por idear. Acotío atopámonos con elementos que teñen unhas medidas estandarizadas que adoitan ter certas relacións dimensionais unhas coas outras. Do mesmo xeito, as variacións dimensionais entre os tipos de un mesmo elemento adoitan estar relacionadas de maneira proporcional. Este tipo de condicionantes dimensionais e relacións xeométricas son moi doadas de introducir en ferramentas de modelado BIM, e aportan un control máis preciso sobre o deseño.

Profundaremos en como se deben desenrolar sistemas construtivos industrializados nunha contorna de traballo BIM. Estudaranse as posibilidades de deseño que un software de modelado BIM como Archicad nos pode conceder á hora de deseñar un sistema construtivo industrializado, e tamén as facilidades que pode outorgar á hora de representar un sistema xa ideado para a automatización da redacción de proxectos deste tipo. Do mesmo xeito, estudarase que información é preciso outorgar a un modelo BIM destas características, e toda a información que a posteriori podemos extraer do mesmo mediante a introdución de fórmulas de cálculo e mediante parámetros de información.

Chegados a este punto debemos lembrar que dentro da metodoloxía BIM, atopamos gran número de software que se adican a multitude de tarefas, dende cálculo de estruturas ou control de colisións ata o desenrolo de medicións e presupostos. Porén semella obrigado facer fincapé en que Revit ou Archicad son dúas das moitas ferramentas que coexisten dentro do BIM, e que existen outras ferramentas de modelado como Allplan, Edificius, Aecosim ou mesmo Bentley. E si ben todas elas deben incluír o deseño paramétrico no seu fluxo de traballo para se considerar BIM, debido ó acoutado do presente traballo para o estudo do desenrolo de elementos paramétricos, limitarémonos ó estudo de Archicad, de Graphisoft e de Revit, de Autodesk.

3.1. EXEMPLO DE ELEMENTO PARÁMETRICO

Para exemplificar de maneira xenérica o deseño paramétrico nun software de modelado BIM, comezaremos por estudar unha fiestra estándar desenrolada en Archicad. Esta ferramenta de modelado permite deseñar elementos construtivos de maneira paramétrica a partir de certas premisas iniciais. Se botamos unha ollada a interface principal do programa, na súa barra de ferramentas aparecen os elementos construtivos máis comúns.

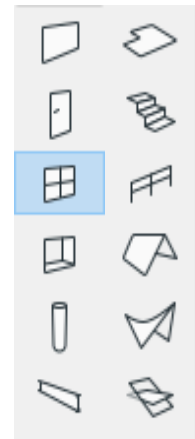


Figura 7: Barra de ferramentas interface inicial de archicad 23. Fonte: Propia

Unha característica propia de Archicad, fronte a multiplicidade de ferramentas de modelado BIM, é a súa biblioteca de elementos paramétricos integrada. É habitual poder desenrolar un modelo xenérico de un edificio de complexidade alta en Archicad recorrendo soamente ós obxectos e sistemas dispoñibles na súa biblioteca, sen ter que desenrolar ningún dos sistemas de maneira personalizada, como é o caso das familias de Revit, pois Archicad proporciona unha gran cantidade de sistemas paramétricos dentro da propia interface do programa que cobren moitas posibilidades.

Inicialmente, para o deseño dos elementos construtivos Archicad permite seleccionar na súa biblioteca de obxectos integrada, unha primeira xeometría básica, que en trazos xerais se asemelle á xeometría definitiva que queremos obter. Se por exemplo falamos de fiestras, Archicad dispón de máis de 30 tipos que abranguen case todas as tipoloxías.

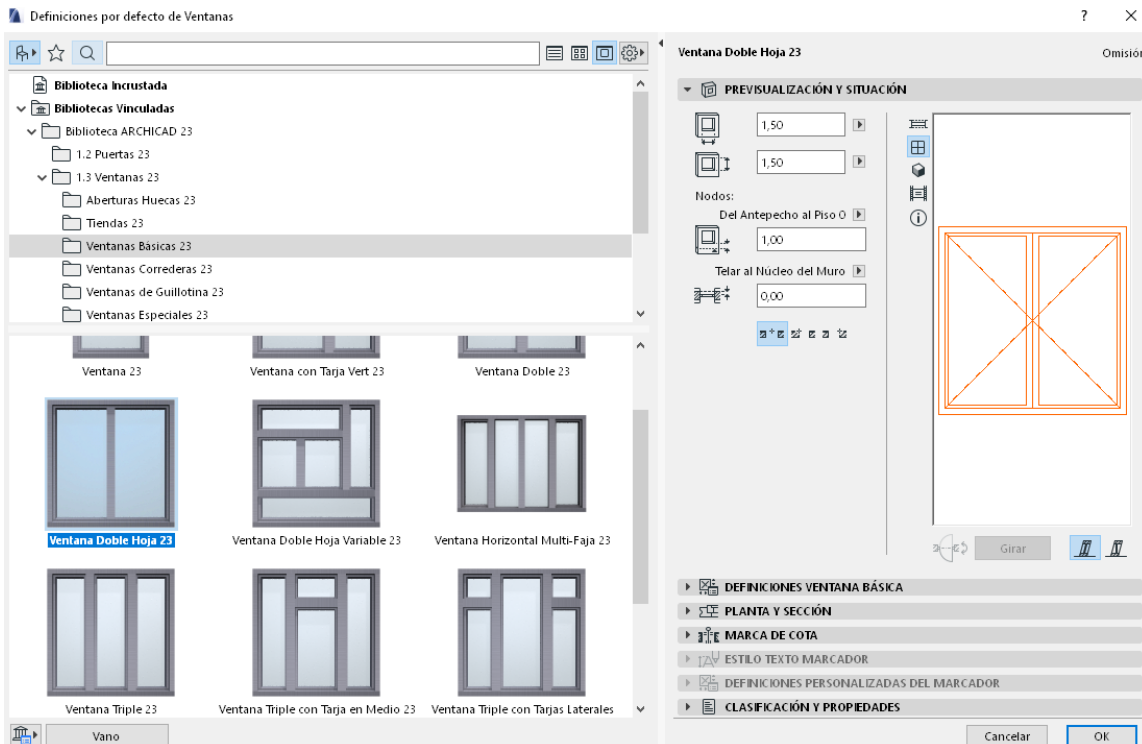


Figura 8: Fiestra inicial do obxecto fiestra, Archicad. Selección de tipoloxía dentro da Biblioteca vinculada. Fonte: Propia

Unha vez seleccionada unha primeira xeometría base de fiestra, o programa permite facer modificacións baseadas en todo tipo de parámetros.

Parámetros xeométricos

- Dimensións e morfoloxía xerais da fiestra.
- Dimensións e morfoloxía de cada unha das follas da fiestra.
- Dimensións e morfoloxía de perfilaría, marcos e premarcos.
- Situación e morfoloxía de ferraxes.
- Disposición e dimensións de dispositivos de aireación.
- Morfoloxía e dimensións de elementos como: Telar, verte augas, parasol etc.

Parámetros de representación

- Grao de detalle de representación en 2D.
- Plumax de representación 2D en planos.
- Visualización de Materiais 3D.
- Visualización de liñas de apertura en alzados e 3D.
- Transparencia a traveso dos vidros en alzados e 3D.
- Visualización de ID en planos.

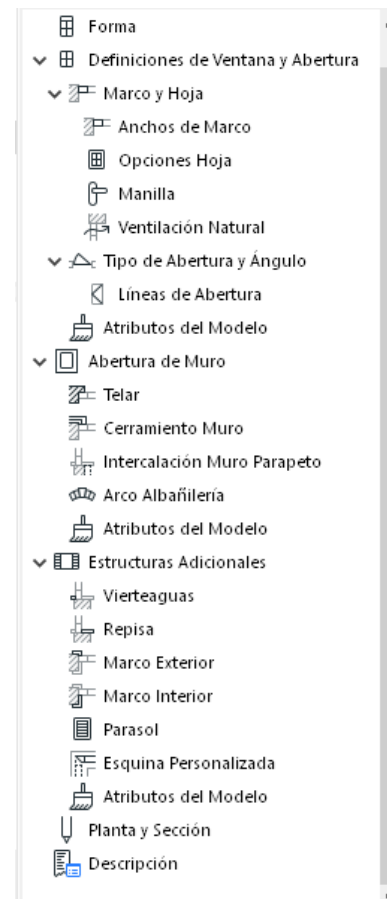


Figura 9: Subfiestras de parámetros modificadores de fiestras, Archicad. Fonte: Propia

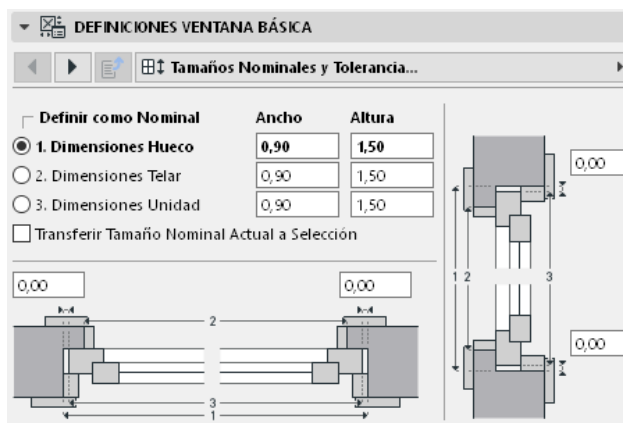


Figura 11: Tamaños nominais e tolerancias de fiestra. Fonte: Propia

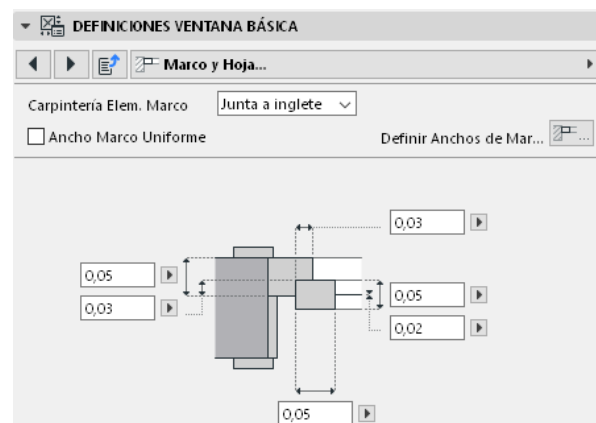


Figura 10: Modificadores das dimensións de marco de fiestra. Fonte: Propia

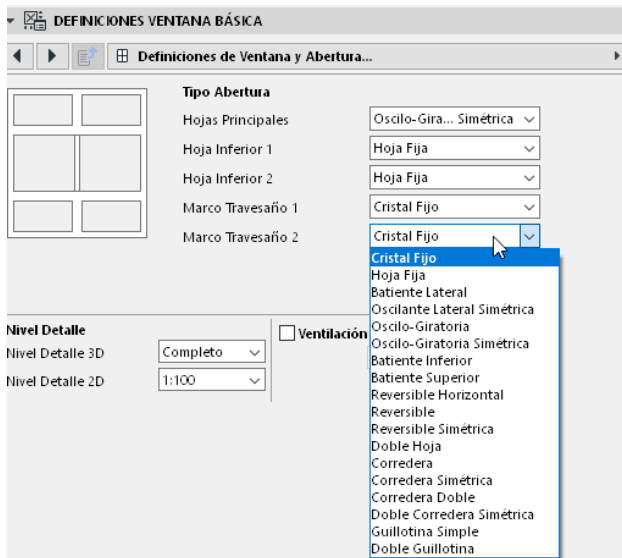


Figura 12: Despregables de tipoloxías de follas de fiestra. Fonte: Propia

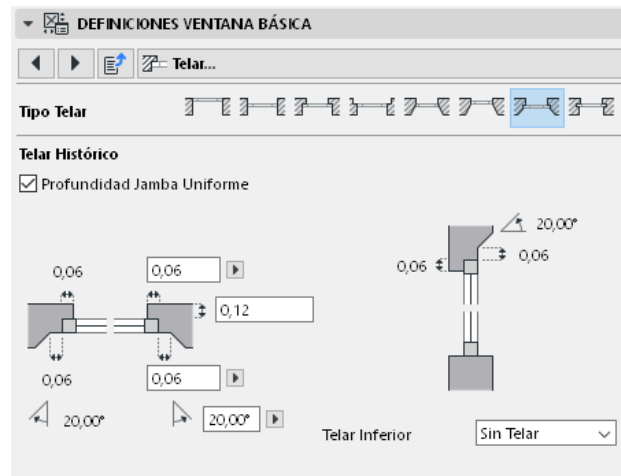


Figura 13: Modificadores de morfoloxía e dimensións de xamba de fiestra. Fonte propia.

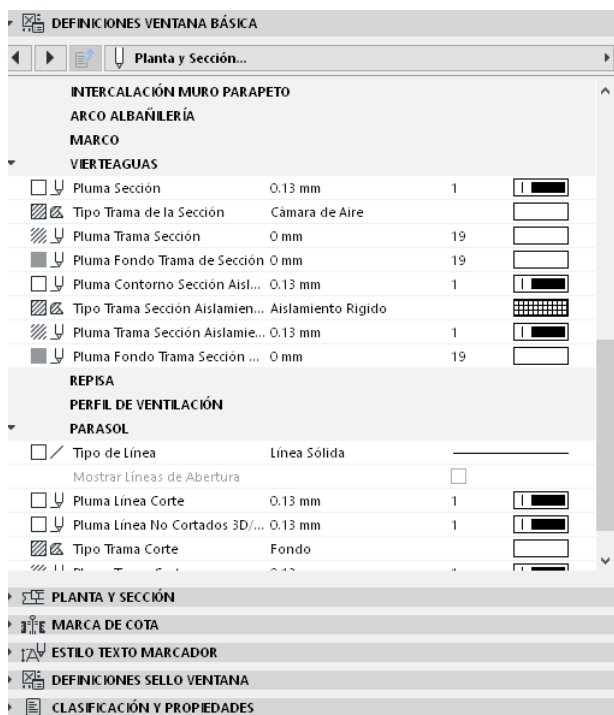


Figura 14: Parámetros de representación 2D de fiestras 1. Fonte: Propia

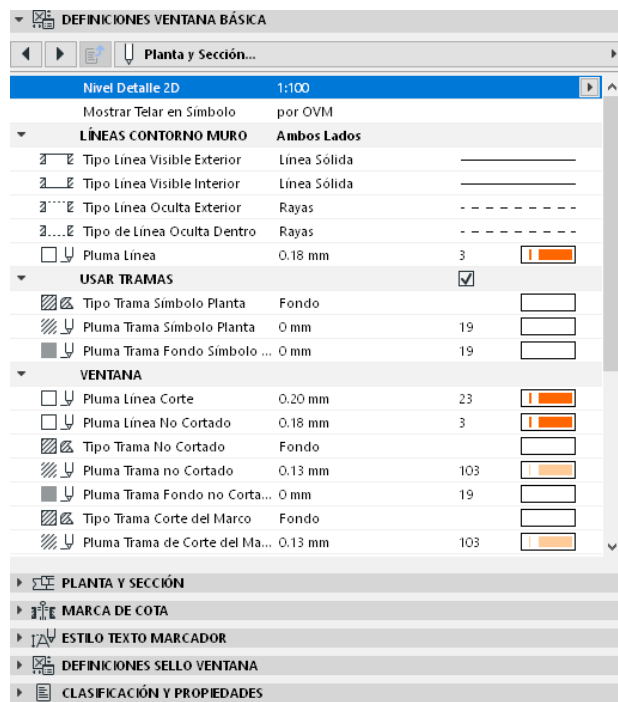


Figura 15: Parámetros de representación 2D de fiestras 2. Fonte: Propia

Como xa se citou en epígrafes anteriores, baseamos a metodoloxía en dotar o modelo da maior cantidade de información dispoñible. Dentro da nosa fiestra de exemplo, e en calquera dos elementos que compoñen un modelo BIM, Archicad permite dotar de todo tipo de información ó elemento.

Parámetros de información

- ID do elemento (cada elemento no modelo ten un ID de identificación único).
- Fase de rehabilitación (Estado actual, derruído ou plantexado).
- Parámetros físicos: Transmitancia e Resistencia térmica, resistencia a lume ou clase sonora.
- Orixe e fabricante.
- Modelo e prezo.

Propiedades IFC

Dentro das propiedades IFC outorgamos información ó elemento a efectos de interoperabilidade, a información que outros programas van a interpretar. Como por exemplo o código que asocia certo elemento con unha partida dunha base de datos nun software de medicións, ou a función estrutural de dito elemento para que sexa procesada por un software de cálculo de estruturas.

Os parámetros de información tamén son propiedades IFC, por exemplo se exportamos o modelo a un programa de análise enerxético, este precisará os parámetros físicos.



Figura 16: Subcategorías de parámetros de información. Fonte: Propia

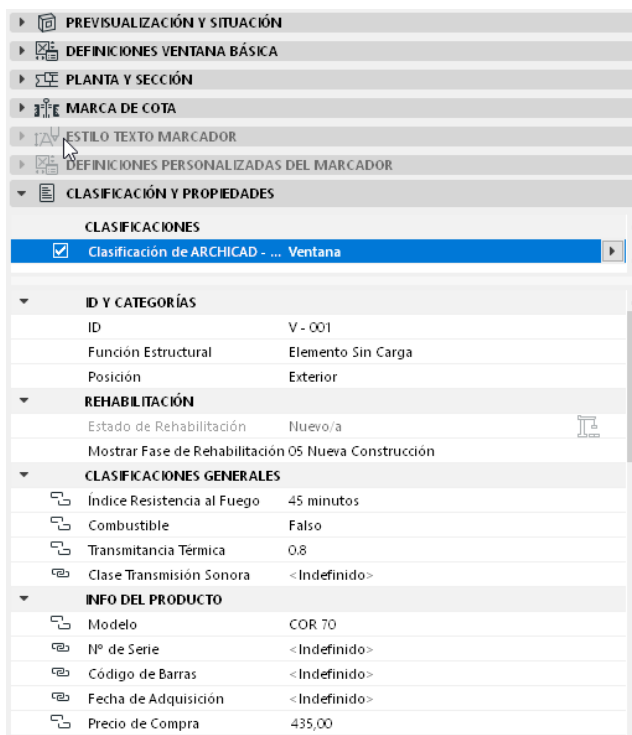


Figura 18: Parámetros IFC de Fiestra 1. Fonte: Propia

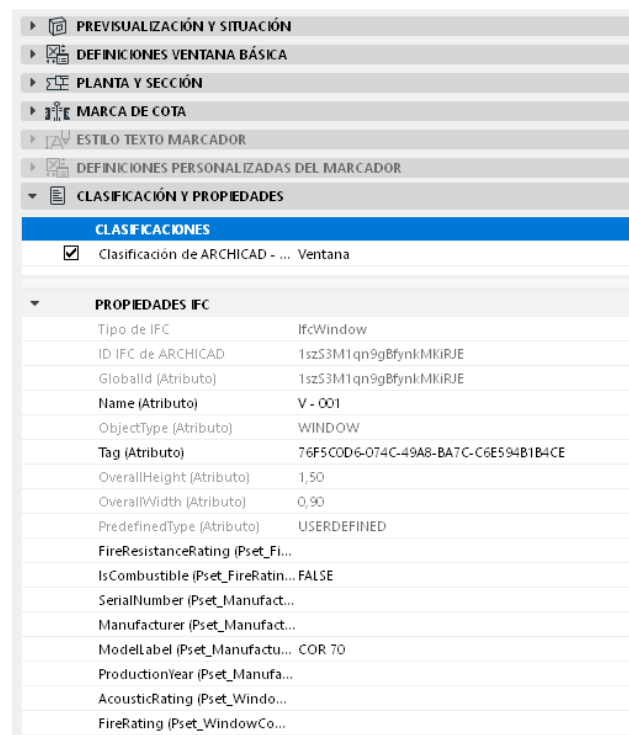


Figura 18: Parámetros IFC de Fiestra 2. Fonte: Propia

4.1.1. LOD

Dentro de unha contorna de traballo BIM, onde coexisten multitude de programas capaces de xerar inxentes cantidades de información, resulta capital decidir que nivel de desenrolo precisan os proxectos, pois non se definirá do mesmo xeito un proxecto básico que un de execución.

Neste contexto xorde o termo LOD (Level of development) ou nivel de desenrolo, acuñado polo Instituto Americano de Arquitectura durante o BIMforum de 2011, o LOD podería definirse como unha escala de niveis que informan ata que punto se desenrola un elemento do modelo en canto a xeometría e información. (BIMForum, 2018)

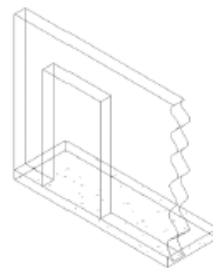
LOD 100

-Modelado conceptual -Representación gráfica simbólica -Sen información non gráfica



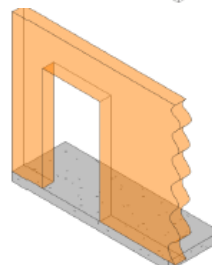
LOD 200

-Deseño esquemático / Proxecto Básico
-Representación gráfica básica. Forma, dimensións, ubicación.
-Con Información non gráfica básica.



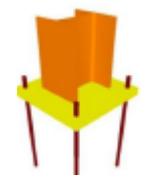
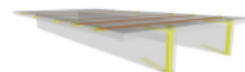
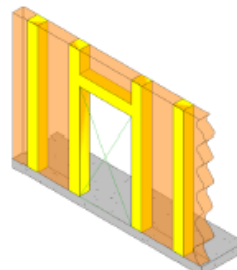
LOD 300

-Proxecto Básico / Desenrolo do deseño
-Representación gráfica detallada. Apoios unións e montaxe.
-Con Información non gráfica básica/ detallada



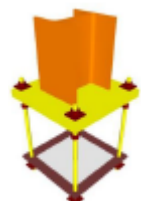
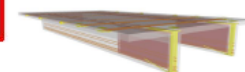
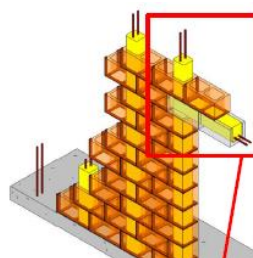
LOD 350

-Desenrolo do deseño / Proxecto Execución
-Similar a LOD 300 pero con detección de colisións
-Representación suficiente para programación e coordinación.



LOD 400

-Proxecto Execución
-Obxecto definido en detalle con información para fabricación e posta en obra.



LOD 500

-As Built (tal como se construíu)
-Obxecto definido con todo detalle, adoita utilizarse este nivel para levantamento de edificios xa executados. No documento do BIMForum non se fai referencia a elementos LOD 500 xa que estes están referidos á verificación e non son unha indicación de progresión a un nivel superior da xeometría ou da información do elemento.

Figura 19: Progreso no nivel LOD de sistemas ou elementos BIM
Fonte: (BIMForum, 2018)

As definicións de estes niveis foron desenroladas polo grupo de traballo do BIMforum para elementos xeométricos do modelo con tres usos principais en mente: Medicións, coordinacións 3D e control e planificación 3D.

Compre aclarar que o LOD en ningún caso se refire á totalidade do proxecto e tampouco ten vinculación coa fase de construción. Define o nivel de desenrolo ou madurez de información que posúe un elemento do modelo, entendendo o elemento como un compoñente, un sistema construtivo ou parte do mesmo.

3.2. DESENROLO PARAMÉTRICO COA LINGUAXE DE PROGRAMACIÓN “GDL”

O GDL “Geometric Description Language “ ou linguaxe da xeometría descritiva, é unha linguaxe de programación creado por Graphisoft para desenrolar elementos paramétricos dentro da interface de Archicad. Este linguaxe baséase en liñas de código de texto que van dando instrucións ó obxecto á hora de crealo e modificalo. Por exemplo para modelado en 3D, o GDL funciona inserindo as cordeadas XYZ dos puntos e liñas, e introducindo fórmulas matemáticas para xerar as xeometrías, todo isto con instrucións escritas en texto. GDL permite tamén introducir condicionantes e restricións, por exemplo “ espesor non maior a 0.10”, “valor entre 1.5 e 1.9” ou “se selecciono A, cor vermello”, todo isto recollido en parámetros que poden ser visualizados nunha interface tamén persoalizable mediante código.

Este epígrafe aborda o estudo do deseño paramétrico con GDL desenrolando un sistema de paneis de fachada de pedra natural. A elección para o estudo de esta solución concreta, que pretende ser unha versión industrializada da cachotería, débese sobre todo a que o seu desenrolo precisa abordar todos aspectos do GDL.

A interface inicial do editor de obxectos de biblioteca de Archicad, onde opera a linguaxe GDL está dividida en varias fiestras que veremos a continuación, son fiestras de edición de script⁴ onde se introducen as distintas instrucións para que o obxecto funcione correctamente en canto a xeometría 2D e 3D, parametrización e Interface.

O linguaxe GDL so funciona en Inglés, e Graphisoft outorga ós usuarios unha guía onde aparecen todas as instrucións ou comandos que podemos inserir no script e a función de cada un deles, a “GDL Reference Guide”. (Graphisoft, 2020)

Detalles

Nesta primeira fiestra, introdúcense datos descritivos do obxecto tales como a subtipoloxía do mesmo, a descrición ou o autor. Aínda non é unha fiestra de edición de Script.

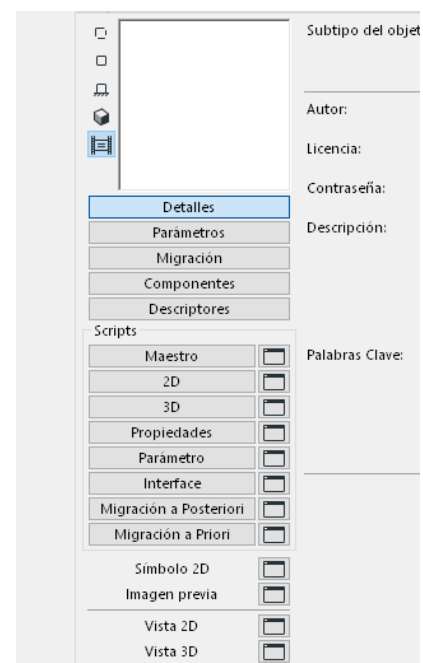


Figura 20: Listaxe de fiestras do editor de GDL de archicad. Fonte: Propia.

⁴ **Script:** (Guión en galego) é un documento que contén instrucións, escritas en códigos de programación. É unha linguaxe de programación que executa diversas funcións no interior de un programa de ordenador.

Parámetros

Nesta fiestra é onde se introducen os parámetros que podemos seleccionar para definir o obxecto, tales como tipo de panel, dimensións ou características físicas. Nesta fiestra, que tampouco é de edición de Script, solo se crea o parámetro pero será nas fiestras de Maestro e Parámetro onde realmente se fará que o parámetro funcione e modifique o obxecto.

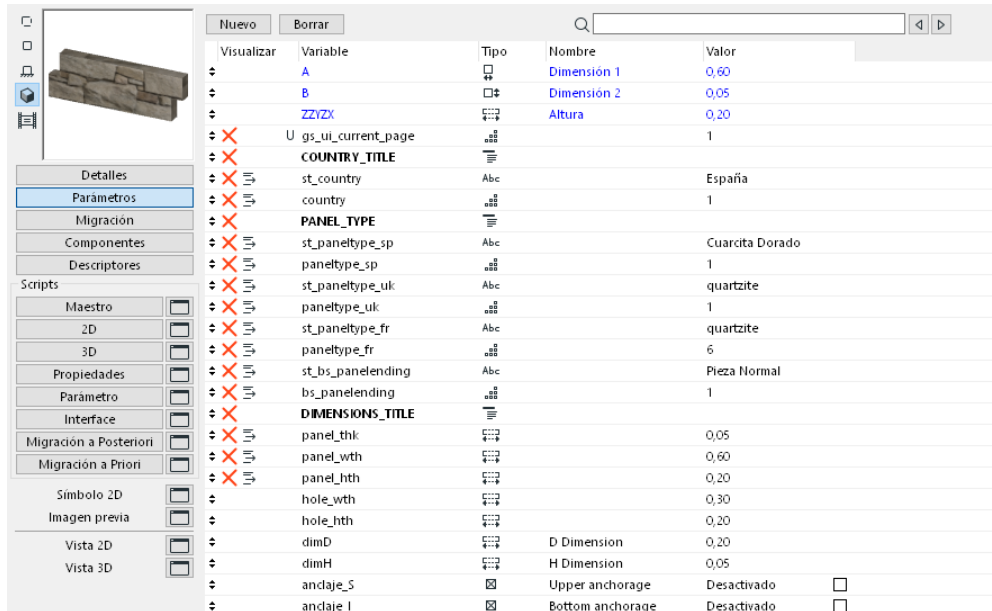


Figura 21: Fiestra de edición de Parámetros GDL. Fonte: Propia.

Maestro

Onde introducimos as listaxes, as diferentes opcións que saen en cada un dos parámetros que teñen selectores múltiples.

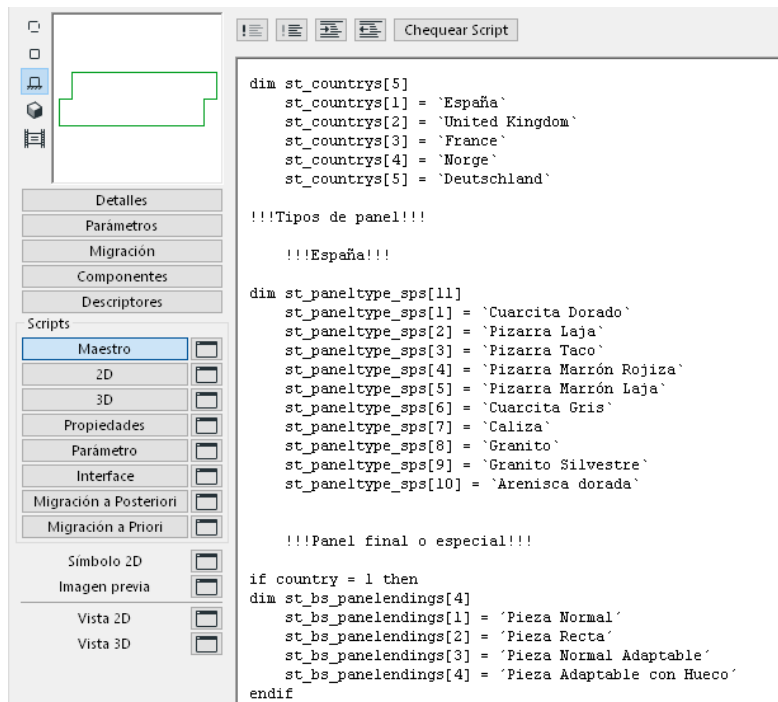


Figura 22: Fiestra de Script de Maestro coas listaxes de tipo de panel.

Fonte: Propia.

2D

Na script de 2D é onde definimos mediante coordenadas de puntos e fórmulas, a xeometría coa que se vai representar en dúas dimensións o obxecto. Pódense xerar distintas xeometrías e mediante condicionantes introducidos en Parámetro, que se poida escoller unha das xeometrías en función da escala ou o do LOD.

Na imaxe utilízanse para xerar a xeometría 2D os parámetros de espesor dos paneis, e os comandos de trama, liña e poliliña: FILL LINE2 e POLY2. (Graphisoft, 2020)

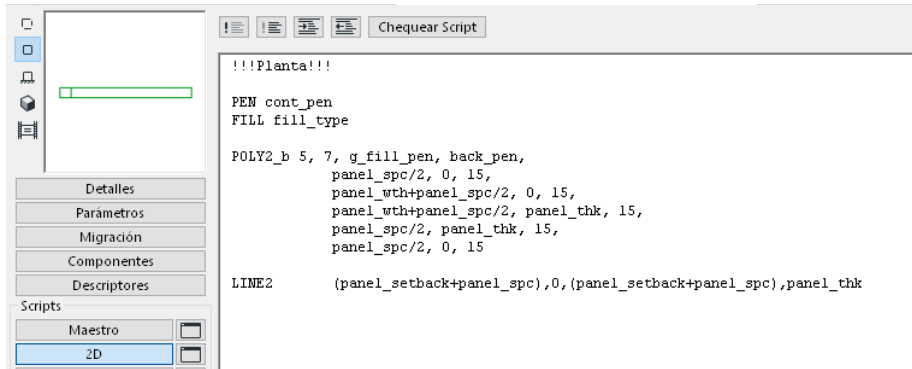


Figura 23: Fiestra de Script 2D de GDL con creación de símbolo 2D de panel. Fonte: Propia

3D

Nesta fiestra defínese a representación 3D. Este script baséase nos eixos de cordeadas XYZ. Nesta fiestra é onde se relacionan os parámetros de dimensión coas dimensións da xeometría. Tamén se poden facer “chamadas” a outros obxectos, para inserir as súas xeometrías. Na figura 24 da esquerda están definidos os “hotspots”, os puntos que no modelo se utilizarán para seleccionar e modificar o obxecto, relacionando entre eles os parámetros dimensionais dos paneis. Na imaxe da dereita, defínense os ganchos mediante comandos FPRISM, prisma con bordes curvos e BLOCK, que son os anacos que se lle restan para as perforacións.

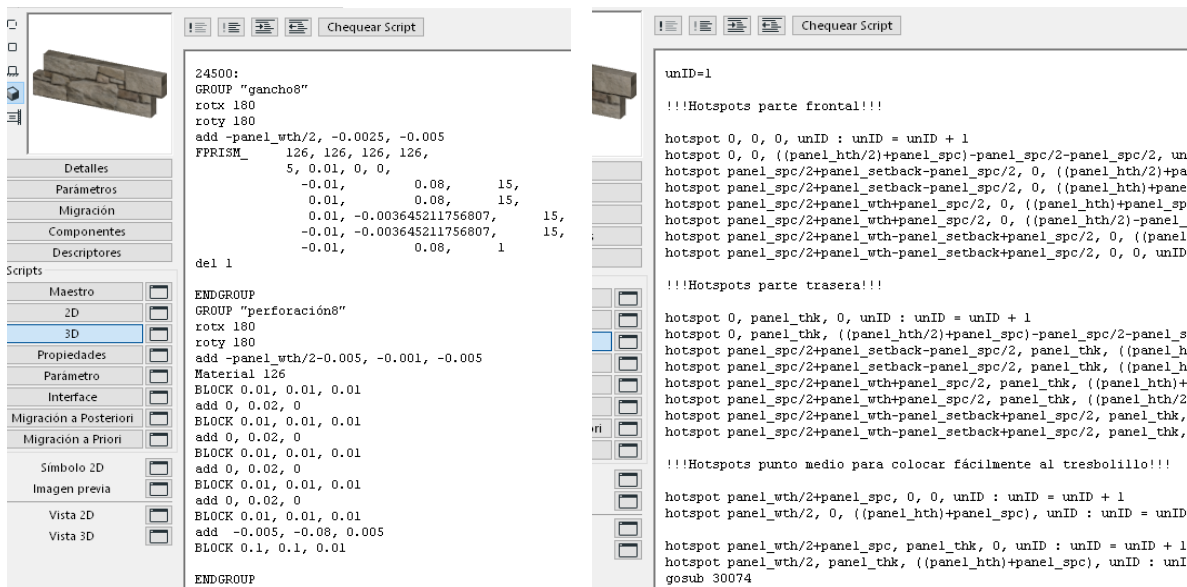


Figura 24: Fiestra de Script 3D de GDL con creación de ganchos coas perforacións e hotspots de edición. Fonte: Propia

Parámetro

Aquí é onde introducimos os condicionantes, limitacións e restricións que fan funcionar o obxecto. En Parámetro é onde relacionamos os parámetros cos valores e coas listaxes de Maestro, e onde introducimos os rangos de valores. Quizais sexa a fiestra de edición de script máis importante xunto a de 3D, e dende logo a que máis liñas de código adoita ter. Na figura 25 utilízase o comando condicionante IF para relacionar parámetros coa selección de paneis e coa escolla de dimensións.

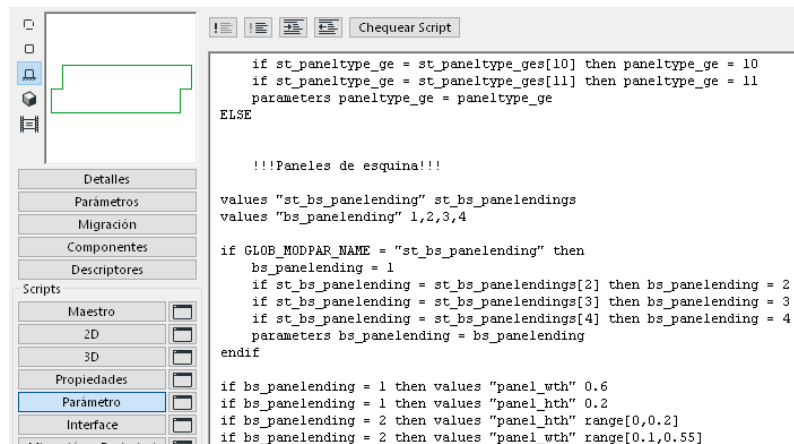


Figura 25: Fiestra de Script de Parámetro de GDL coa asignación de dimensións por tipo de panel. Fonte: Propia

Interface

A interface simplemente é un lenzo dividido en cordeadas XY, onde situamos os botóns e os selectores de parámetros. É necesaria unha boa interface para que o obxecto sexa utilizado de maneira intuitiva polo usuario final, mais aínda que a script de interface quede en branco, o obxecto funcionará igualmente, pois os parámetros aparecen automaticamente como listado (non tan intuitivo) na fiestra de definicións. Na figura 26 aprecíase como se introducen textos OUTFIELD, o botón da pagina web BUTTON, a liña que separa a fiestra a metade SEPARATOR ou os despregabres de selección INFIELD.

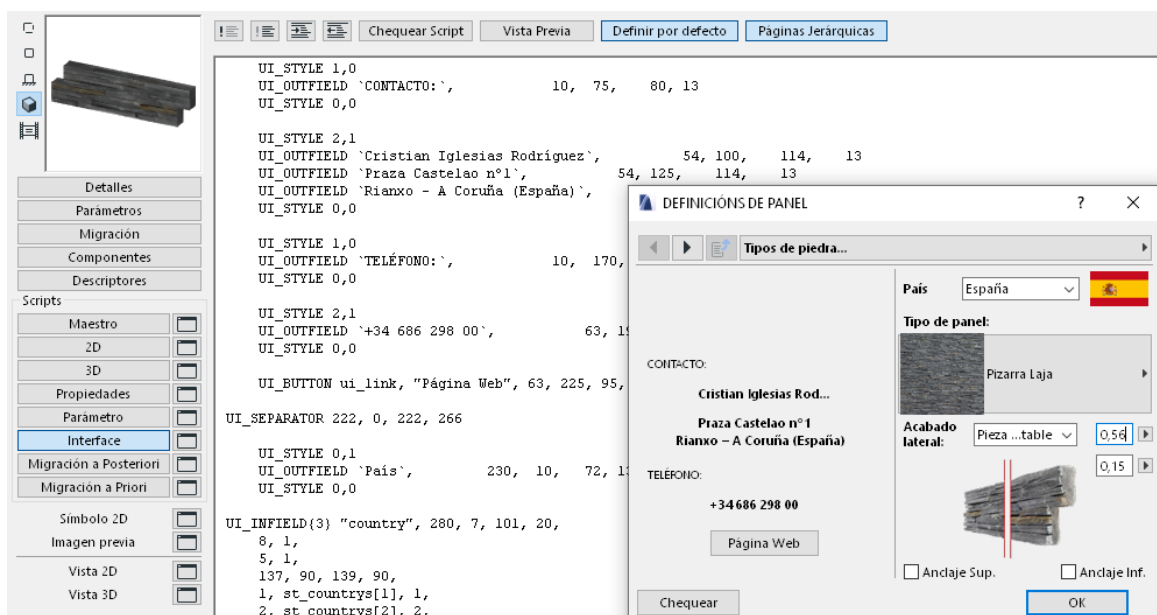


Figura 26: Fiestra de Script de Interface de GDL coa creación do lenzo de interface e a súa vista previa. Fonte: Propia

3.2.1. EMPREGO DO OBXECTO PARAMÉTRICO

Os obxectos paramétricos desenrolados en GDL gárdanse en arquivos “.gsm”, e estes poden engadirse directamente na biblioteca de Archicad. Se temos varios arquivos de obxecto “.gsm”, estes poden agruparse nun arquivo “.lcf” que é o formato de arquivo de bibliotecas de archicad e funciona como un arquivo contedor de “.gsm”.

Para comezar a utilizar o obxecto, debese de engadir o seu “.lcf” no administrador de bibliotecas de Archicad.

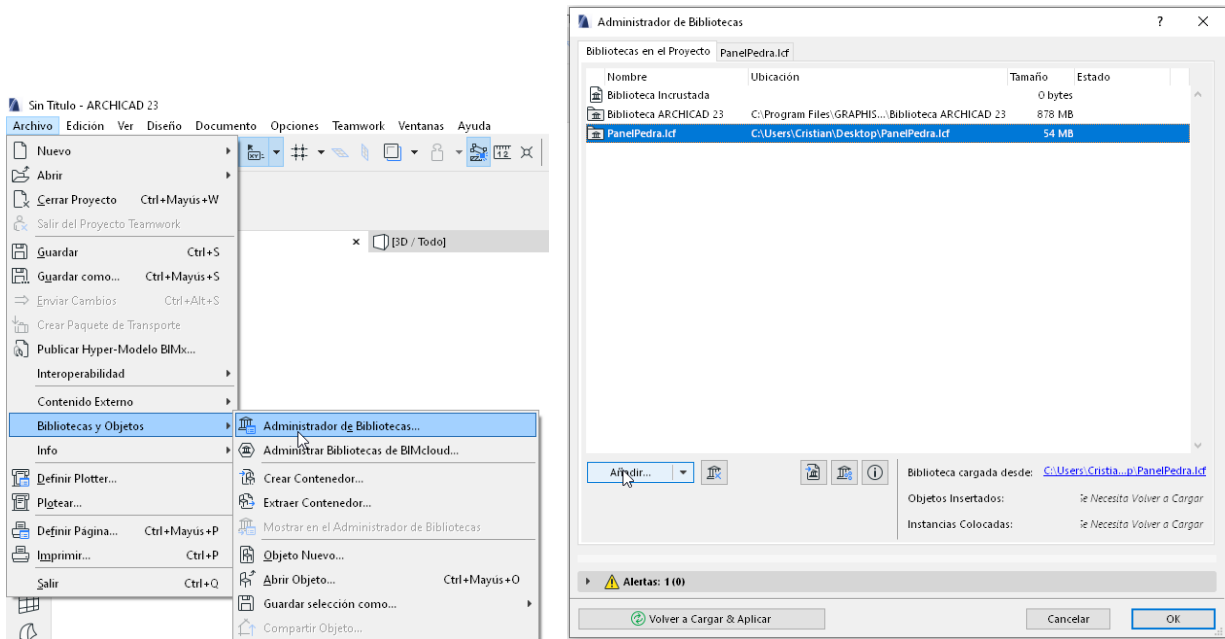


Figura 27: Método para engadir arquivos .lcf á biblioteca de Archicad. Fonte: Propia

Unha vez engadido no administrador de biblioteca, este aparecerá dentro da ferramenta obxecto da interface principal de Archicad.

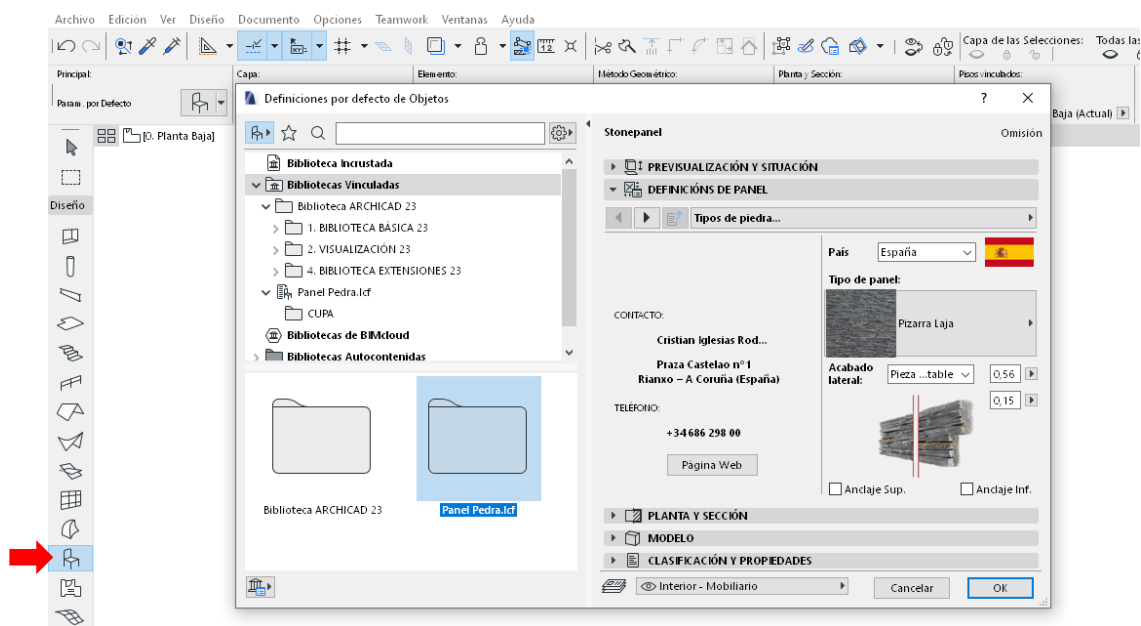


Figura 28: Fiestra da ferramenta obxecto de Archicad coa interface dos paneis. Fonte: Propia

Aínda que no epígrafe anterior menciónase que a interface non é imprescindible para o funcionamento de un obxecto paramétrico, si que é importante para que o usuario final poida empregar dito obxecto con facilidade. Que as opcións de modificación paramétrica estean explicadas de maneira gráfica e clara mellora a fluidez de emprego.

Na figura 29 vemos a fiestra na que aparecen todos os parámetros aínda que non se faga ningún tipo de modificación de interface. Na figura 30 vemos o interface desenrolado para o obxecto, con vistas previas do seleccionado e despregables para o tipo de acabado lateral e as dimensións.

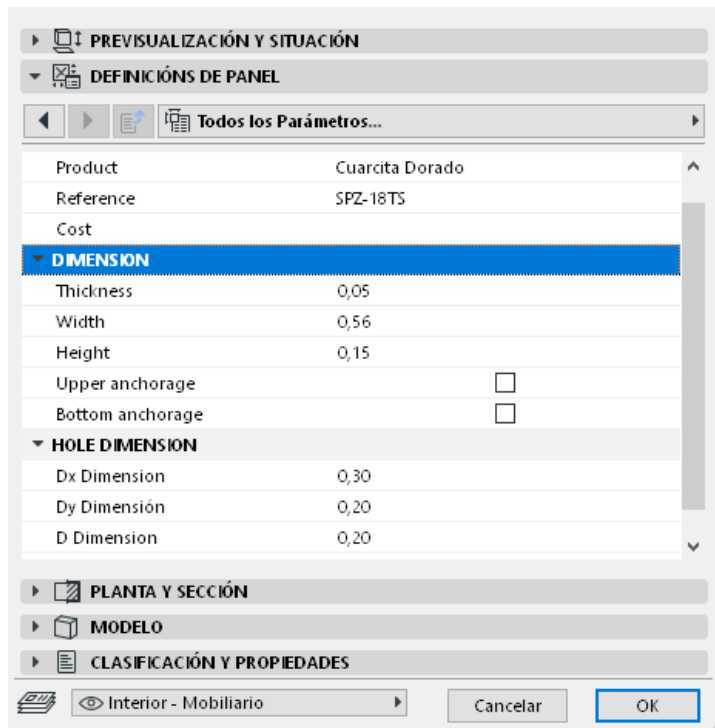


Figura 29: Fiestra “todos los parámetros” dos paneis. Fonte: Propia

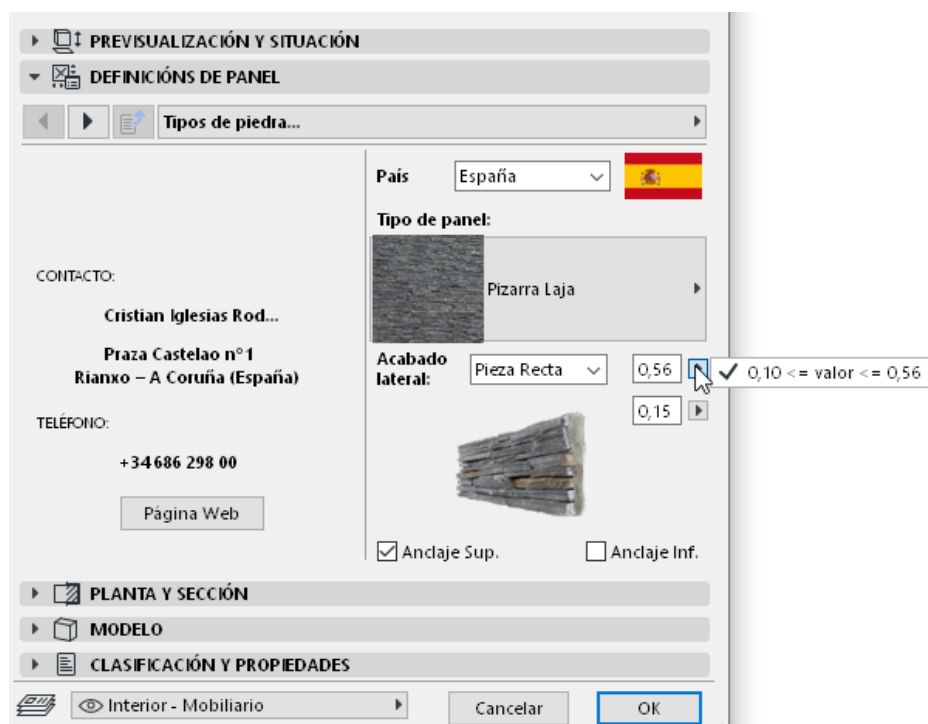


Figura 30: Interface do obxecto cos parámetros ordenados. Fonte Propia.

Neste obxecto introdúcense catro tipos de peza.

- Peza Normal, que ten dimensións que varían segundo o material escollido.
- Peza Recta, ideada para execución de remates e esquinas.
- Peza Normal Adaptable, que dispón de parámetros para modificar as dimensións e facer pezas especiais.
- Peza Adaptable con oco, concede a posibilidade de dispoñer de un oco e definir as dimensións do mesmo.

A maiores, o obxecto tamén dispón de tics para colocar ancoraxes enriba e debaixo da peza.

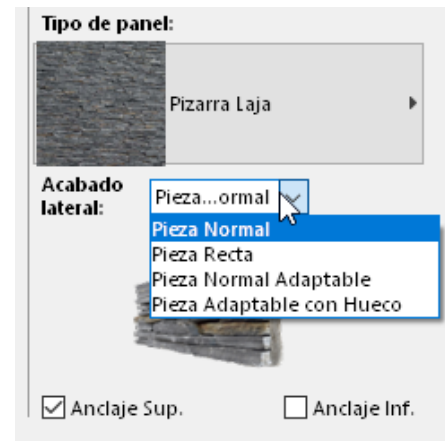


Figura 31: Tipos de peza. Fonte: Propia

Na figura 32, de esquerda a dereita aparecen: Unha peza normal de cuarcita gris (60x20cm) con anclaxe superior, unha peza adaptable con oco e anclaxe inferior de pizarra taco, unha peza recta para esquina de pizarra marrón e por último unha peza adaptable para pezas especiais de granito.



Figura 32: Distintos tipos de peza de panel cos distintos materiais. Fonte: Propia

Na figura 33 vemos o interface do obxecto co despregable de materiais e coa imaxe explicativa para os parámetros que modifican as dimensións da peza adaptable con oco.

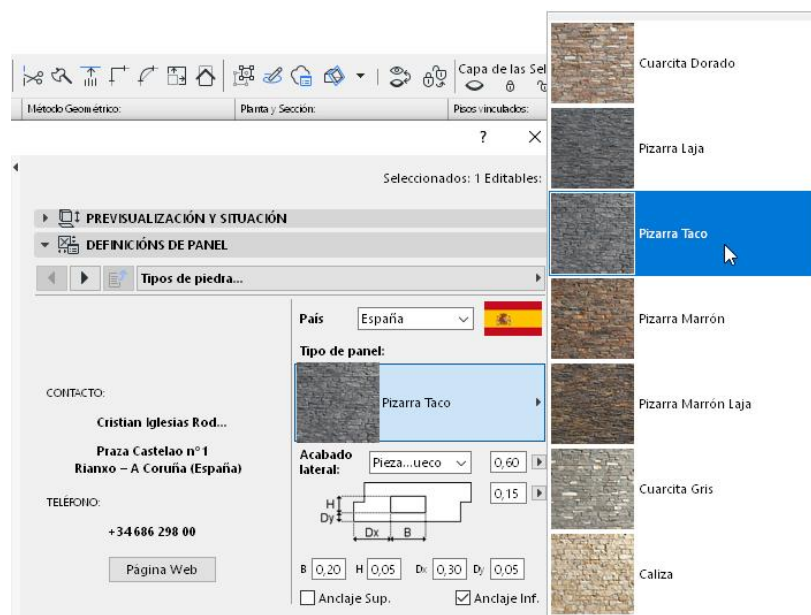


Figura 33: Interface dos paneis coa listaxe de paneis dispoñibles. Fonte: Propia

O desenrolo paramétrico deste obxecto pensase de xeito que se poida compoñer un alzado peza a peza, intercalando pezas normais, con pezas adaptables e rectas. Falamos de un obxecto con un LOD 400, con nivel de representación e información para un proxecto de execución, que permitiría enumerar a cantidade de pezas á hora de facer medicións e orzamentos precisos.

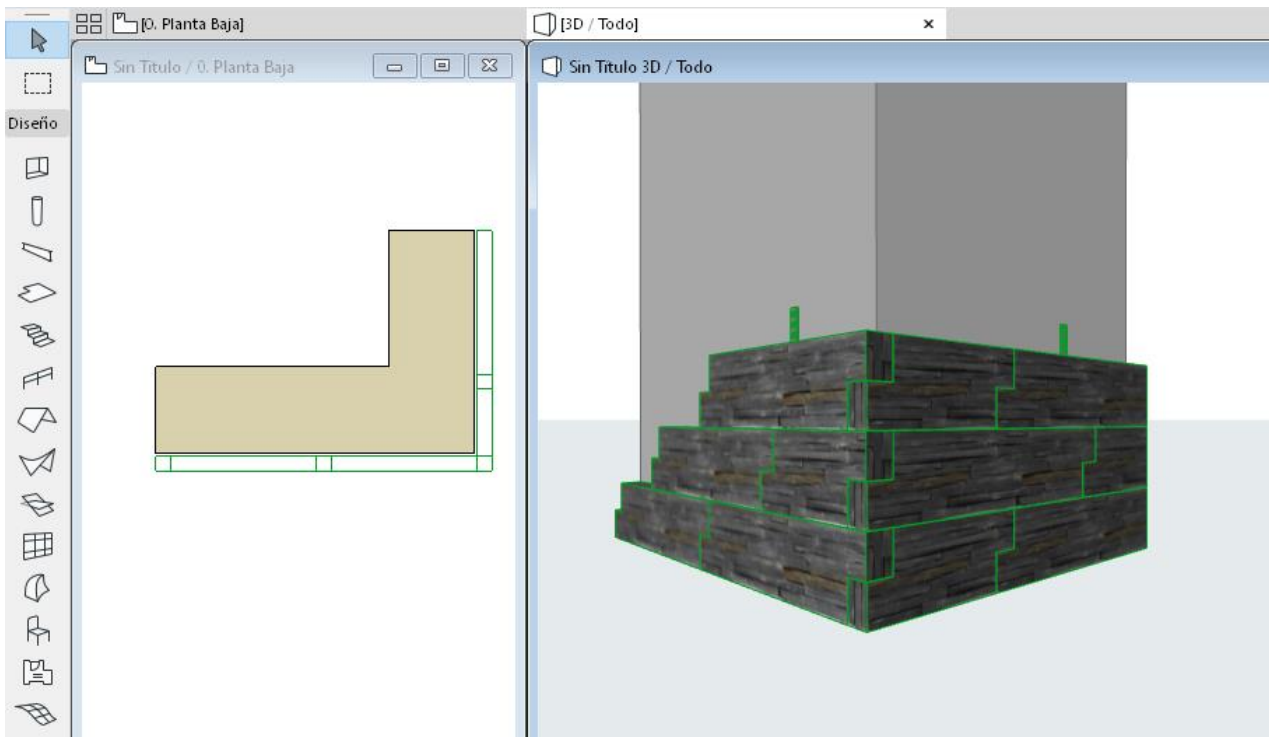


Figura 34: Visualización dos paneis e 2D e 3D con posible composición en esquinas. Fonte: Propia.

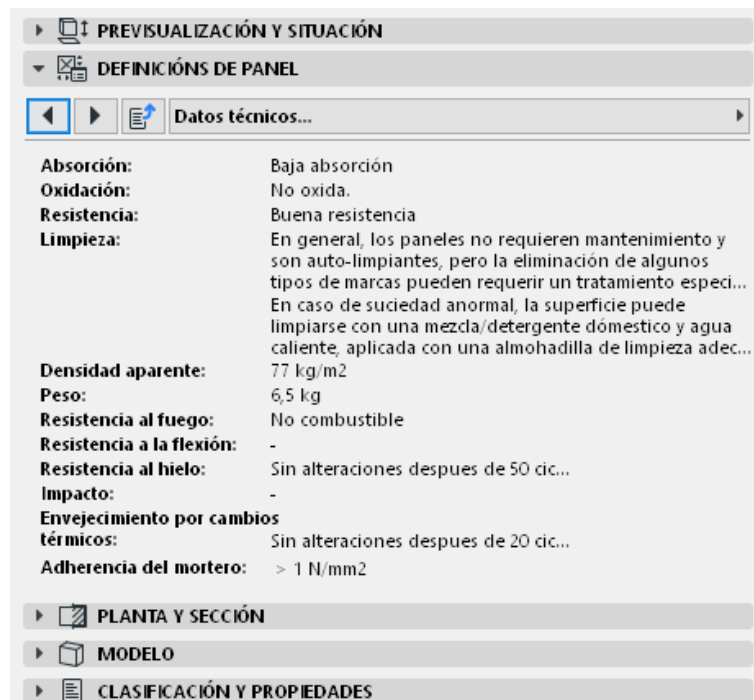


Figura 35: Datos técnicos dos paneis na interface do obxecto. Fonte: Propia

O desenrolo paramétrico mediante GDL outorga ó usuario maior control sobre o obxecto, máis dependendo do nivel de desenrolo ou LOD, en Archicad existen outras opcións para modelar de maneira paramétrica, como poden ser os perfís complexos paramétricos, ou gardar como obxecto outros elementos do modelo. Para os paneis de pedra do estudo, unha opción válida se o LOD estivese entre 200 e 300, sería crear un Material de Construción de Archicad coa textura da pedra, e outorgarlle a información mediante parámetros asociados a dito material.

Este método permitiría modelar un muro de revestimento coa visualización de pedra, máis fronte ó obxecto paramétrico, non se podería compoñer xunta a xunta, nin cuantificar o número de pezas en canto a custos e tempos.

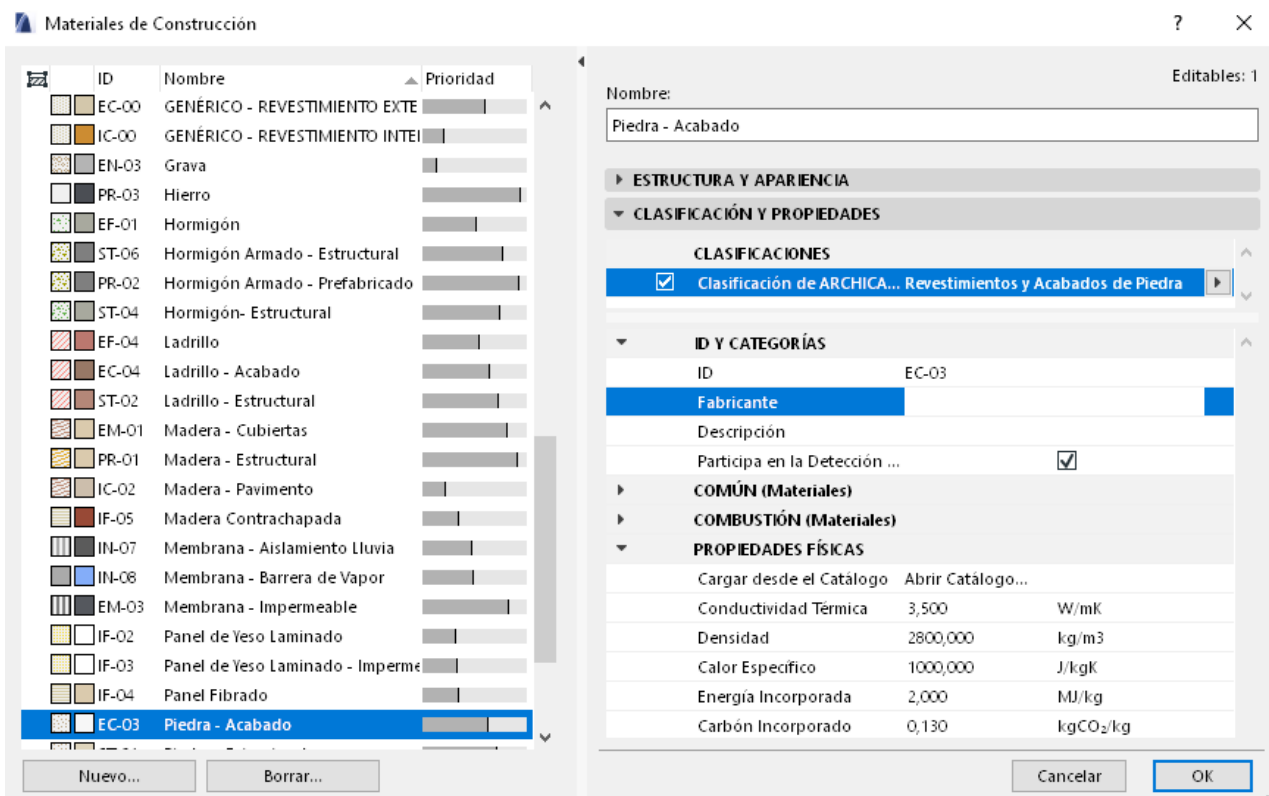


Figura 36: Fiestra de Materiais de Construcción de Archicad con un material de pedra acabado e as súas propiedades físicas. Fonte: Propia.

4. ANÁLISE DE RECURSOS EXISTENTES EN REPOSITORIOS ONLINE

Semella que os profesionais e as empresas da construción comezan a entender que o futuro do sector pasa pola industrialización aberta. Son cada vez máis numerosas as patentes de sistemas industrializados que emerxen no eido da construción, sistemas deseñados con vontade de universalidade que se poidan ensamblar en obra xunto con outros sistemas baseándose en compatibilidades dimensionais, de tolerancias e de xuntas.

Algúns destes novos sistemas de empresas fabricantes de solucións construtivas, adoitan estar dispoñibles en internet para os usuarios da metodoloxía en forma de elementos paramétricos cargables nun modelo BIM. A pesar de que este doado acceso aos recursos responde maiormente a motivos comerciais, pois as empresas entenden que si podes empregar con facilidade o elemento BIM de certa empresa no teu modelo, é moi probable que en obra empregues tamén o produto de dita empresa, o certo é que este servizo das empresas contribúe tamén á industrialización do sector.

Neste epígrafe analízanse os recursos existentes na rede en canto a elementos paramétricos BIM. BIMObject, Bimética e BIM&Co son os principais repositorios online de sistemas construtivos en BIM. Outros sitios web como Archiup, BIMtool, Synchronia e Revit City son tamén coñecidos repositorios online pero céntranse máis nos obxectos BIM, tales como mobles ou compoñentes, e non tanto nos sistemas construtivos. Por exemplo Polantis é coñecida por ter desenrolado parte do catálogo de IKEA.

Escóllense distintos sistemas BIM dispoñibles no mercado para facer unha análise sobre o seu grao de parametrización e utilidade, atendendo tamén ó seu grao de accesibilidade no senso de se están desenrolados para varias (maiormente Archicad e Revit) ou só para unha das ferramentas BIM.

EMPRESA	OBXETO	DISPOÑIBILIDADE WEB / REPOSITORIOS	DISPOÑIBILIDADE FERRAMENTAS BIM
CORTIZO	SISTEMA DE FIESTRA COR 60	https://bim.cortizo.com/	REVIT
FINSA	PISO LAMINADO FINFLOOR	https://www.bimandco.com/ https://www.bimobject.com/ https://www.bimetica.es/	REVIT
PLADUR	SISTEMA DE TABIQUERÍA	https://www.pladur.es/es-es/bim https://www.bimobject.com/	REVIT ARCHICAD
ELZINC	REVESTIMENTO XUNTA ALZADA	https://www.bimobject.com/	REVIT ARCHICAD
PILOEDRE	SISTEMA DE CIMENTACIÓN	https://bimetica.com/	REVIT IFC

Figura 37: Táboa de obxectos BIM estudados no traballo. Fonte: Propia

4.1. SISTEMA DE FIESTRA CORTIZO

Cortizo proporciona só para revit e dende a súa propia web, todo o seu catálogo de produtos: Sistemas de fiestras e portas, sistemas de paneis de fachada, varandas e protección solar.

O obxecto COR 60, descargable como un único arquivo de proxecto “.rvt”, contén máis de 20 familias coas principais morfoloxías de fiestra polo que en canto a variedade e utilidade é bastante completo. Cada un dos arquivos de familia “.rfa” dispoñen de poucas restricións xeométricas, pois as fiestras cortizo adoitan ser fabricadas a medida por montadores externos. Este factor é importante pois son habituais os erros por restricións en familias de revit.

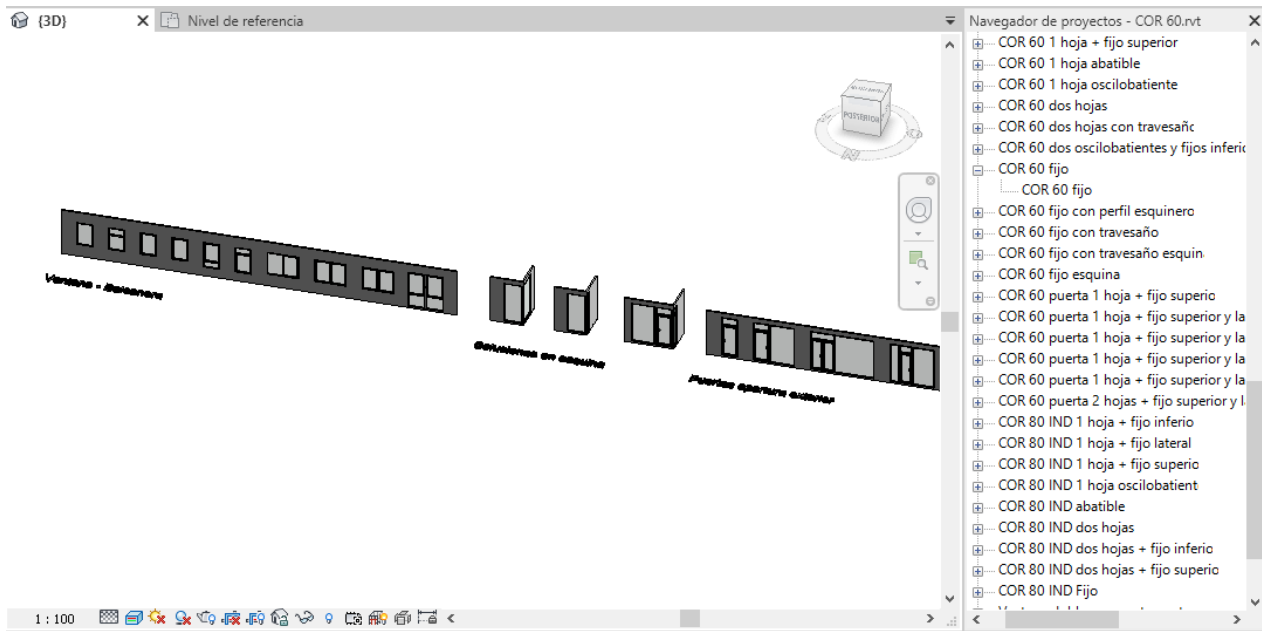


Figura 38: Familias de fiestra de cortizo dispoñibles dentro do “.rvt” descargable da fiestra COR 60. Fonte: Propia.

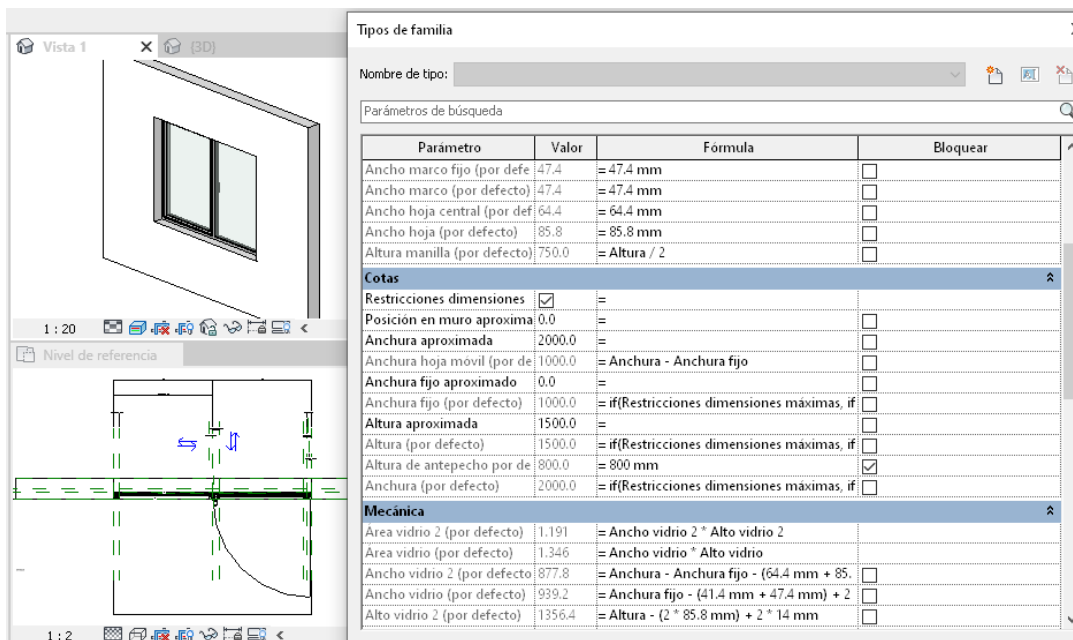


Figura 39: Representación 2D e 3D, e parámetros dispoñibles na familia de fiestra COR 60 1. Fonte: Propia

Con un LOD 400, os parámetros de información aportan a información necesaria para medicións e cálculo enerxético, e tamén para cálculos de por exemplo a superficie vidrada ou de ventilación a efectos de normativa.

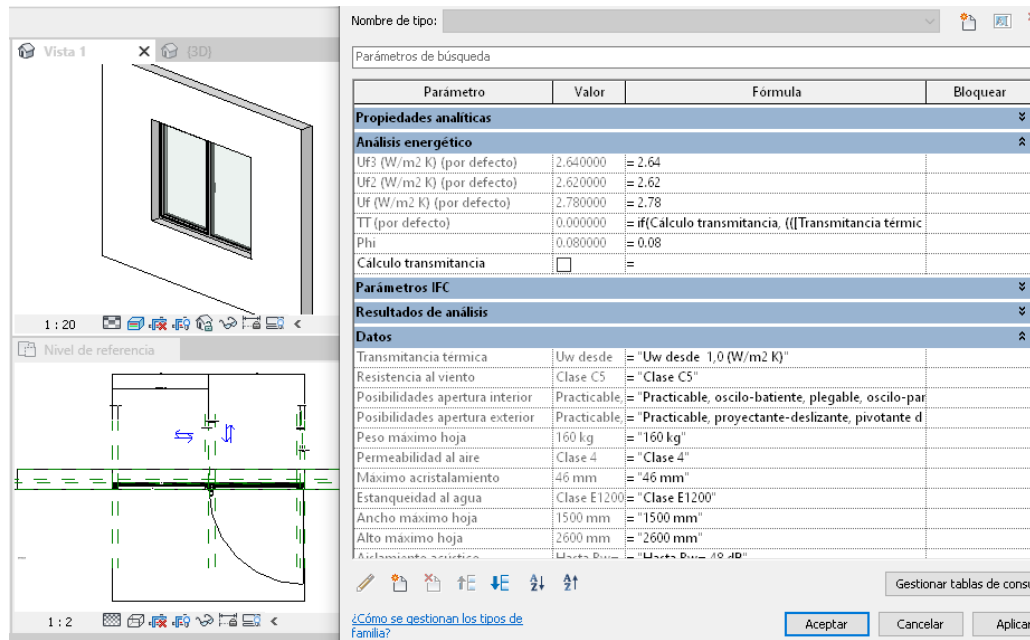


Figura 40: Representación 2D e 3D, e parámetros dispoñibles na familia de fiestra COR 60 2. Fonte: Propia

Un a priori punto en contra é a desactualización de versións, pois as fiestras cortizo están dispoñibles en Revit 2014, e Autodesk na súa "knowledge network" recomenda ir actualizando o obxecto versión a versión para evitar a perda de información, o que obrigaría ó usuario a dispoñer de 6 licencias do programa, cousa inviable. Entón semellaría convinte que fosen as empresas as que poñan a disposición do usuario os obxectos actualizados, máis isto non é viable porque Autodesk non deixa gardar en versións anteriores, polo que as empresas estarían restrinxindo o uso dos obxectos a usuarios que teñan a última licenza de Revit. En definitiva un problema a corrixir por Autodesk.

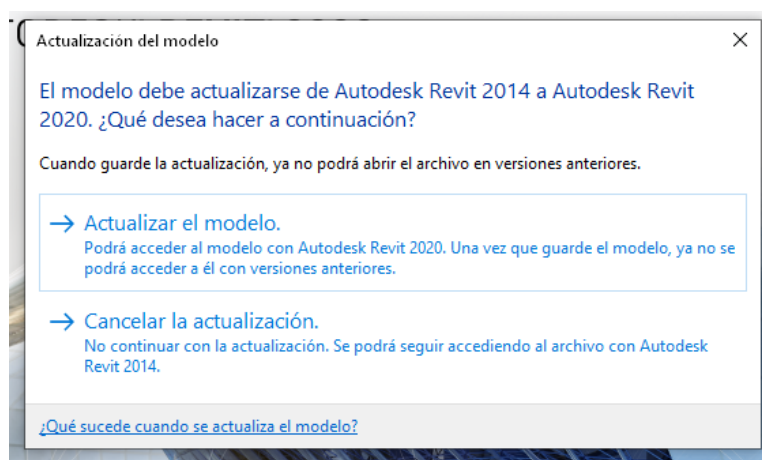


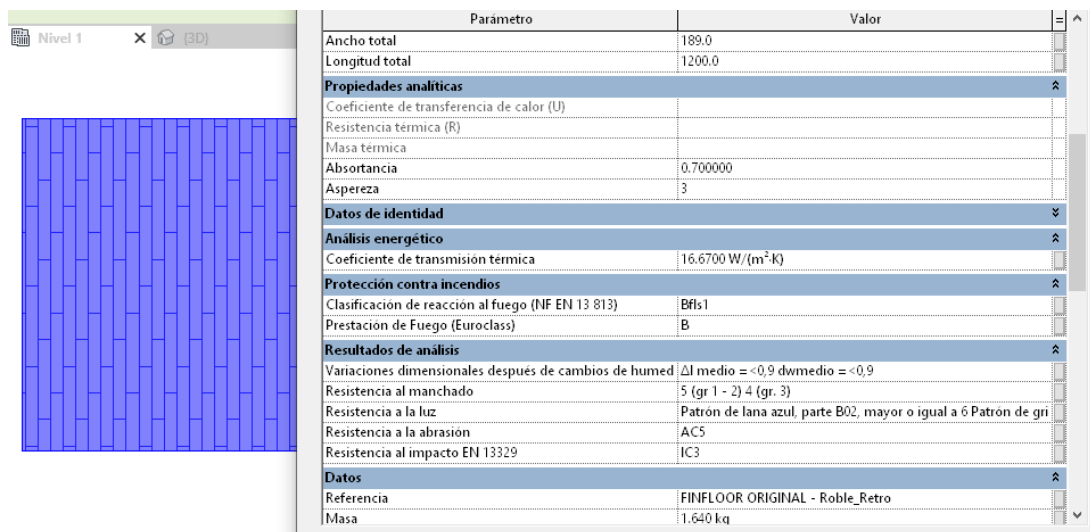
Figura 41: Aviso de Revit sobre actualización de modelo a nova versión. Fonte: Propia.

4.2. PISO LAMINADO FINFLOOR DE FINSA

Finsa proporciona só para revit e dende os repositorios web mencionados na táboa 37, todo o seu catálogo de pisos e de paneis de fachada.

O obxecto Finfloor, está dispoñible con un .rvt distinto para cada un dos materiais, o que significa que si queremos probar distintas texturas, deberemos abrir varios “.rvt”. A maiores é o usuario o que ten que descargar e vincular a textura ó arquivo, pois por defecto aparece sen ela.

ó tratarse de unha familia de piso, é igual de paramétrico xeometricamente que calquera “suelo” de Revit, e os parámetros de información aportan a información necesaria para medicións e cálculo enerxético, máis non permite a posibilidade de resolver encontros en detalle, polo que falaríamos de un LOD 300 ou 350.



Parámetro	Valor
Ancho total	189.0
Longitud total	1200.0
Propiedades analíticas	
Coefficiente de transferencia de calor (U)	
Resistencia térmica (R)	
Masa térmica	
Absortancia	0.700000
Aspereza	3
Datos de identidade	
Análisis enerxético	
Coefficiente de transmisión térmica	16.6700 W/(m²·K)
Protección contra incendios	
Clasificación de reacción al fuego (NF EN 13 813)	Bfls1
Prestación de Fuego (Euroclass)	B
Resultados de análisis	
Variaciones dimensionales después de cambios de humid	Δl medio = <0,9 dwmedio = <0,9
Resistencia al manchado	5 (gr. 1 - 2) 4 (gr. 3)
Resistencia a la luz	Patrón de lana azul, parte B02, mayor o igual a 6 Patrón de gri
Resistencia a la abrasión	AC5
Resistencia al impacto EN 13329	IC3
Datos	
Referencia	FINFLOOR ORIGINAL - Roble_Retro
Masa	1.640 kg

Figura 42: Parámetros da familia de piso laminado Finfloor. Revit. Fonte: Propia

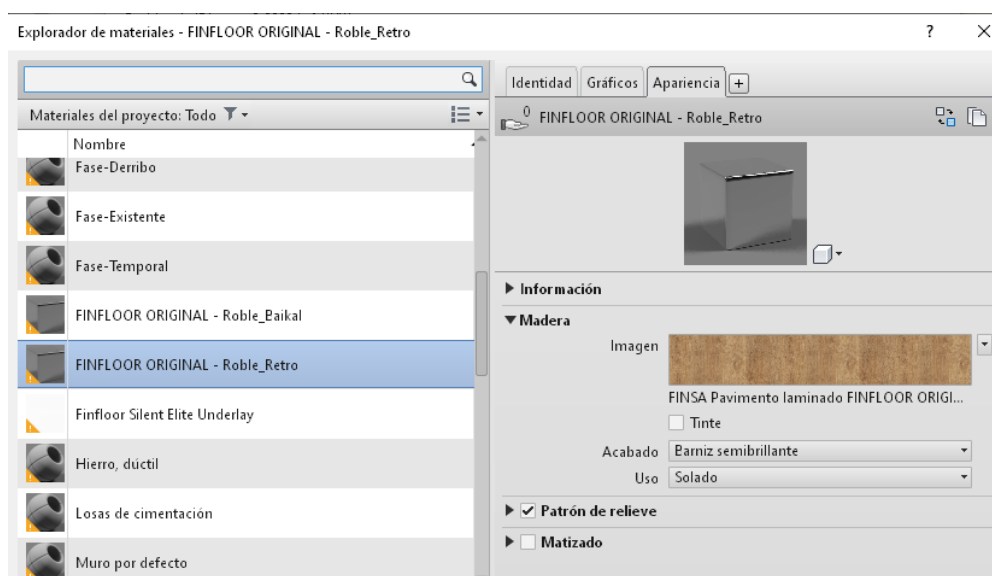


Figura 43: Vinculación de textura a materiais en obxecto Finfloor. Revit. Fonte: Propia

Do mesmo xeito que Cortizo, Finsa colga os obxectos nunha versión desactualizada en favor dos usuarios que non dispoñen de últimas versións de Revit.

4.3. SISTEMA DE PARTICIONAMENTO PLADUR

Pladur ten na súa páxina web e en Bimobject todos os seus sistemas de particionamento, trasdosados, teitos e sistemas especiais desenrolados para Revit e para Archicad. Para Archicad aportan dous arquivos contedor “.lcf” para muros e teitos, e un arquivo “.gsm” para cada un dos catro grupos de produtos: particionamentos, trasdosados, teitos e sistemas especiais; sendo estes 6 arquivos os que conteñen todas as tipoloxías dispoñibles. Sen embargo para Revit aportan un arquivo “.rvt” para cada unha das máis de 20 tipoloxías dispoñibles. Mentres en Archicad nun único proxecto se poden engadir na biblioteca os dous arquivos contedor e dentro todos as tipoloxías dispoñibles, en revit terase que abrir un proxecto por cada tipoloxía que se queira probar.

En Archicad o usuario dispón de un accesorio de muros que permite non so modelar particionamentos se non tamén converter muros en particionamentos Pladur.

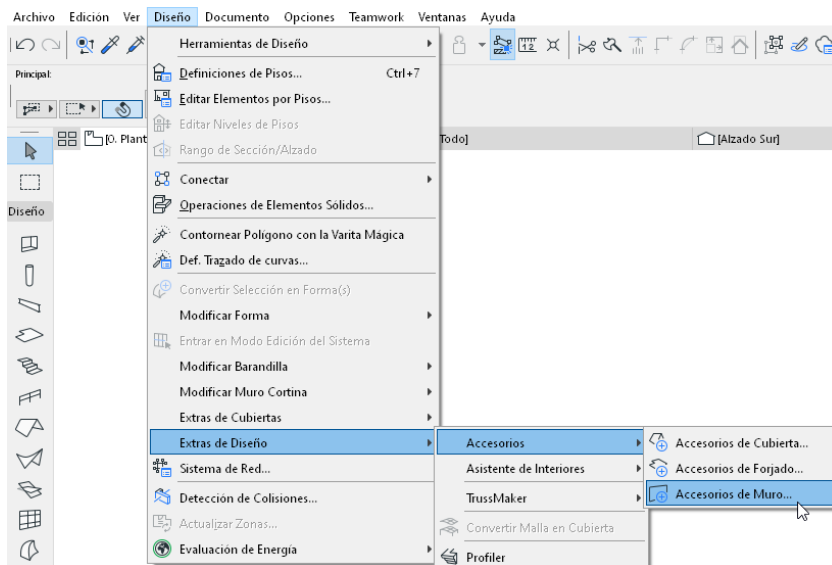


Figura 44: Proceso de apertura do accesorio de muro de Pladur. Archicad. Fonte: Propia

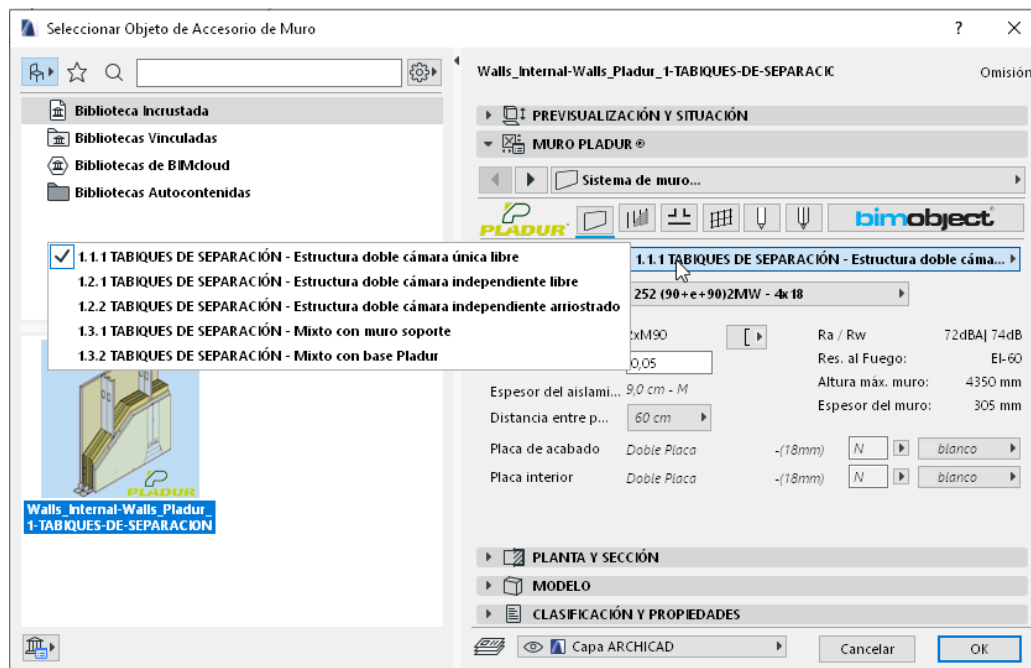


Figura 45: Interface de obxecto de Pladur con selección de estrutura. Archicad. Fonte: Propia

Nas imaxes 45 e 46, vemos a interface do obxecto en Archicad, onde se pode seleccionar os distintos tipos de estruturas e as dimensións dispoñibles de cada unha. Vemos na imaxe 47 que se da a opción de personalizar as dimensións máis Pladur advirte que resultará nunha opción non contemplada no seu catálogo.

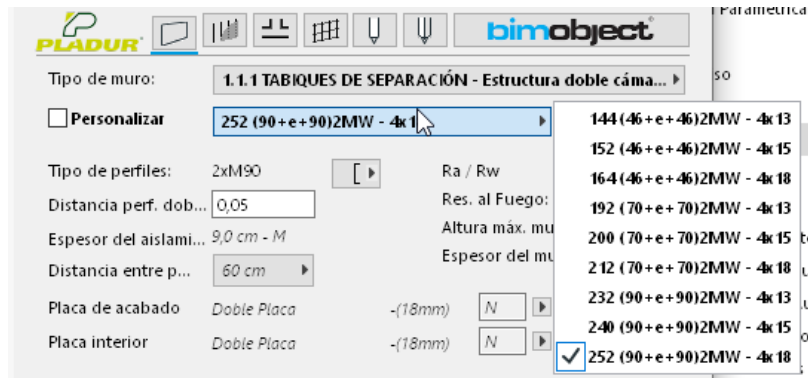


Figura 46: Interface de obxecto de Pladur con selección de dimensións en Archicad. Fonte: Propia

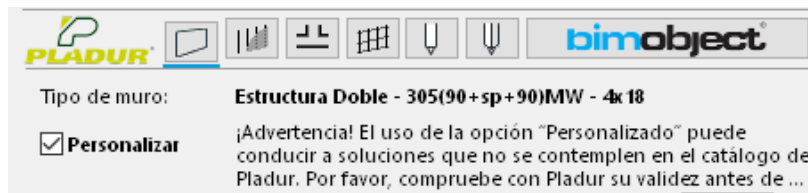


Figura 47: Aviso de personalización de Pladur en Archicad. Fonte: Propia



Figura 48: Parámetros de edición de xuntas en obxecto de Pladur en Archicad. Fonte: Propia.

O obxecto desenrolado por BIMObject, totalmente paramétrico e con un LOD 400, permite decidir ata a disposición de montantes nas xuntas e o nivel de representación no caso de Archicad, e resulta máis fluída para esta ferramenta que para Revit.

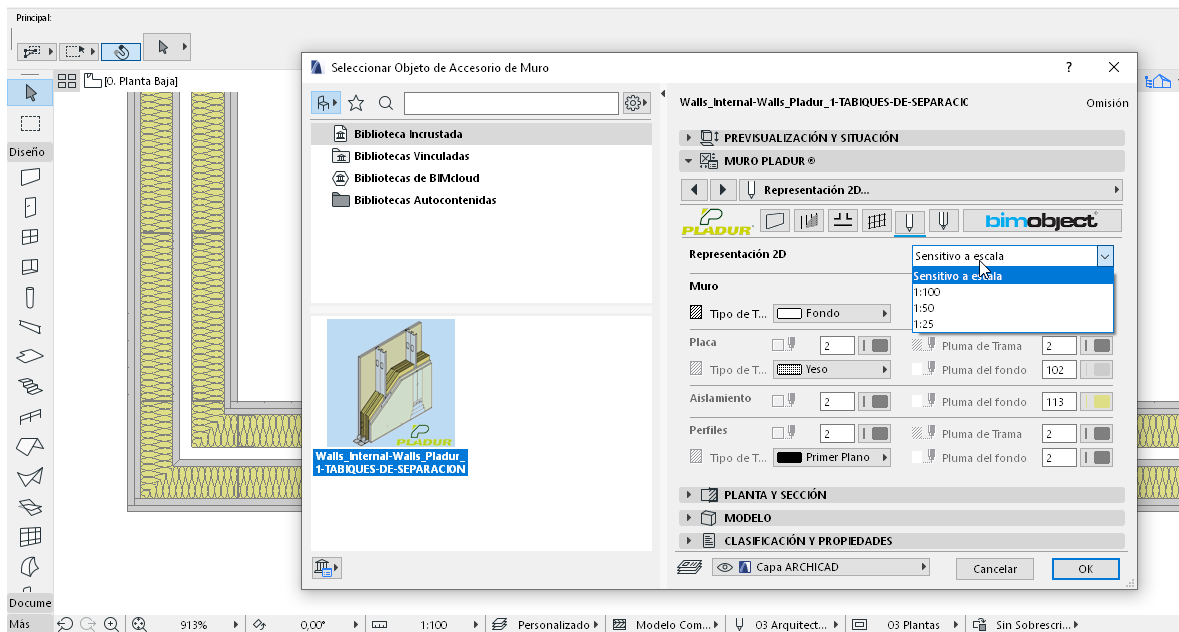


Figura 49: Selección de grao de representación 2D con fiestra de Planta a escala 1:25. Archicad. Fonte: Propia

En revit, en cada un dos “.rvt” descargables aparecen anacos de cada unha das subtipoloxías de particionamentos cos distintos parámetros asociados, máis non outorga control sobre as xuntas e as esquinas, polo que se trataría de un LOD 350.

Do mesmo xeito que Cortizo, Finsa e todos os sucesivos obxectos analizados neste traballo, os obxectos están en versións desactualizadas en favor dos usuarios de Revit.

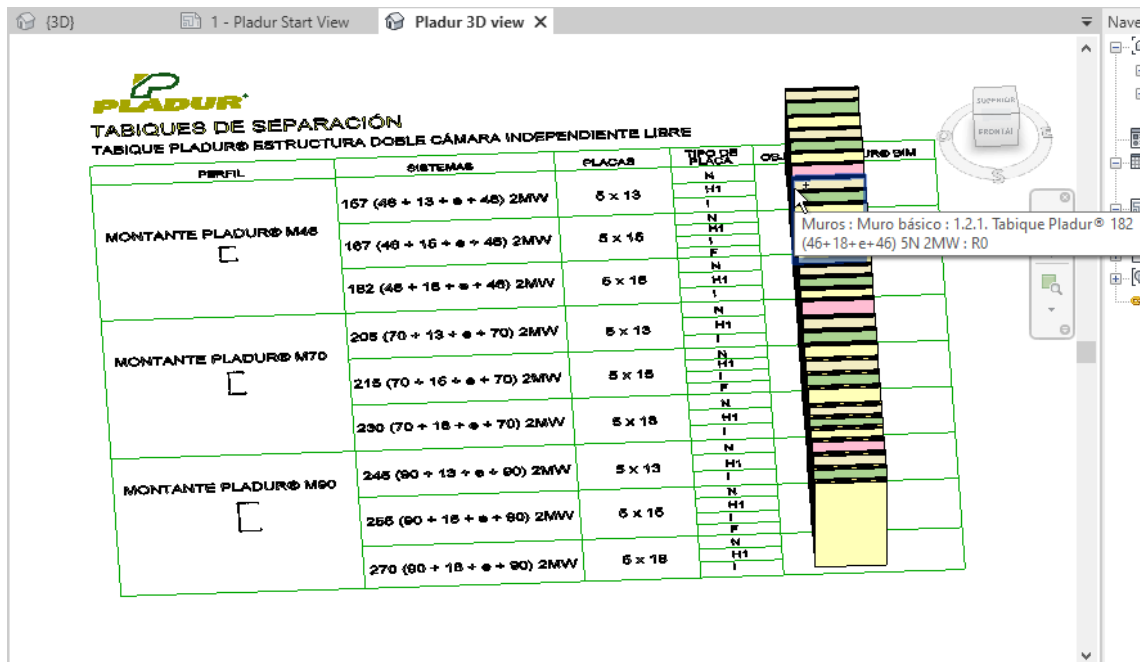


Figura 50: Fiestra inicial do obxecto de Pladur en Revit coas distintas tipoloxías de perfil, sistema e placa. Fonte: Propia

4.4. SISTEMA DE REVESTIMIENTO DE XUNTA ALZADA ELZINC

Elzinc ten en BIMObject os seus principais sistemas de revestimento: paneis de fachada, sistemas de revestimento con distintos tipos de xunta e sistemas de tella, para Archicad e para Revit.

No caso de Archicad, o obxecto “.lcf” limitábase a ser un contedor de texturas para aplicar a superficies 3D visibles como trama vectorial en 2D, con unha interface sen ningún parámetro que solo explica o proceso de utilización do obxecto. O feito de que sexan superficies, implica que o obxecto se limita a tarefas de representación e non pode conter parámetros de información, polo que falaríamos de un LOD 200.

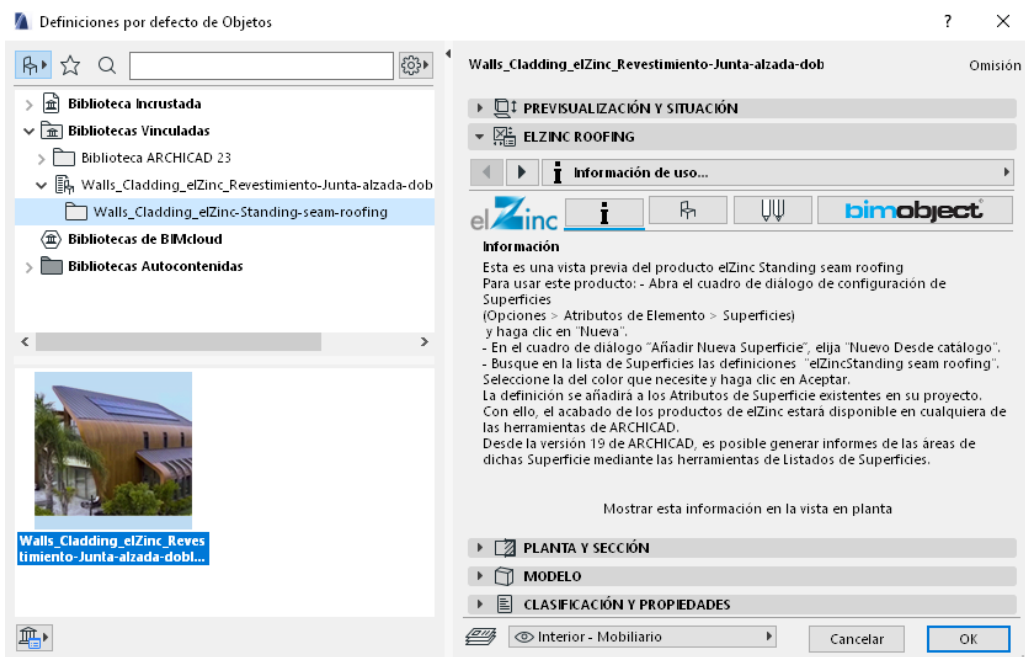


Figura 51: Interface do obxecto Elzinc sen parámetros, solo con instrución para cargar as texturas nas superficies de Archicad. Fonte: Propia.

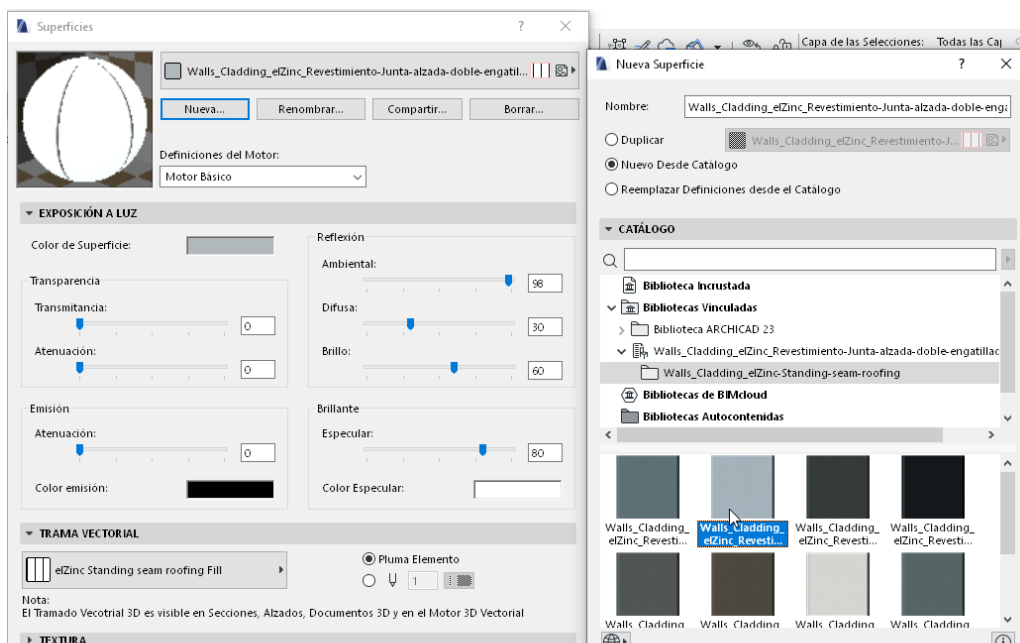


Figura 52: Fiestra de superficies de archicad, creando unha superficie coa textura que porta o “.lcf” do obxecto Elzinc. Fonte: Propia.

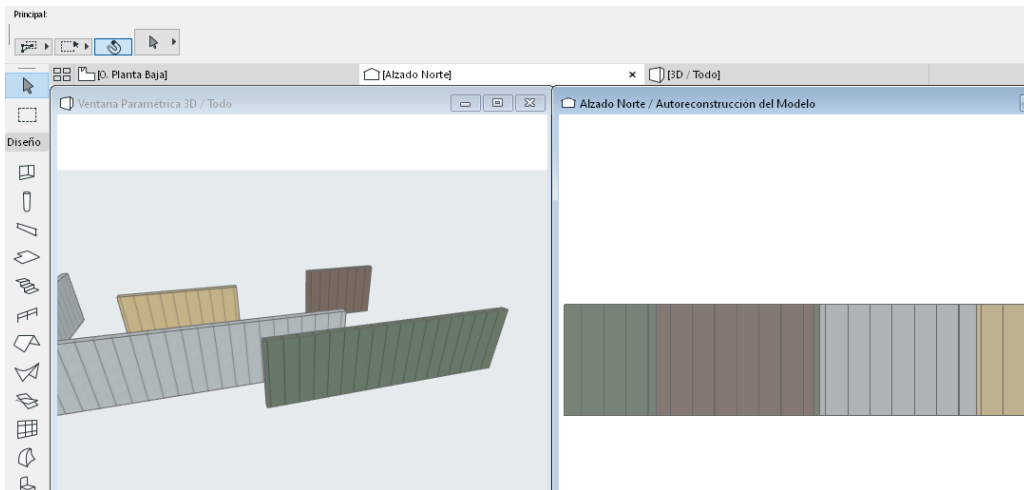


Figura 53: Visualización 3D e en alzado de superficies coas distintas texturas de Elzinc.. Archicad.
Fonte: Propia

No caso de Revit, dentro de un arquivo “.rvt” aparecen varios elementos cuberta cos distintos tipos de acabado pero é o usuario quen ten que vincular as texturas dende un segundo arquivo. O obxecto tamén se centra na representación, máis neste caso sí que porta parámetros de información polo que falamos de un LOD 300.

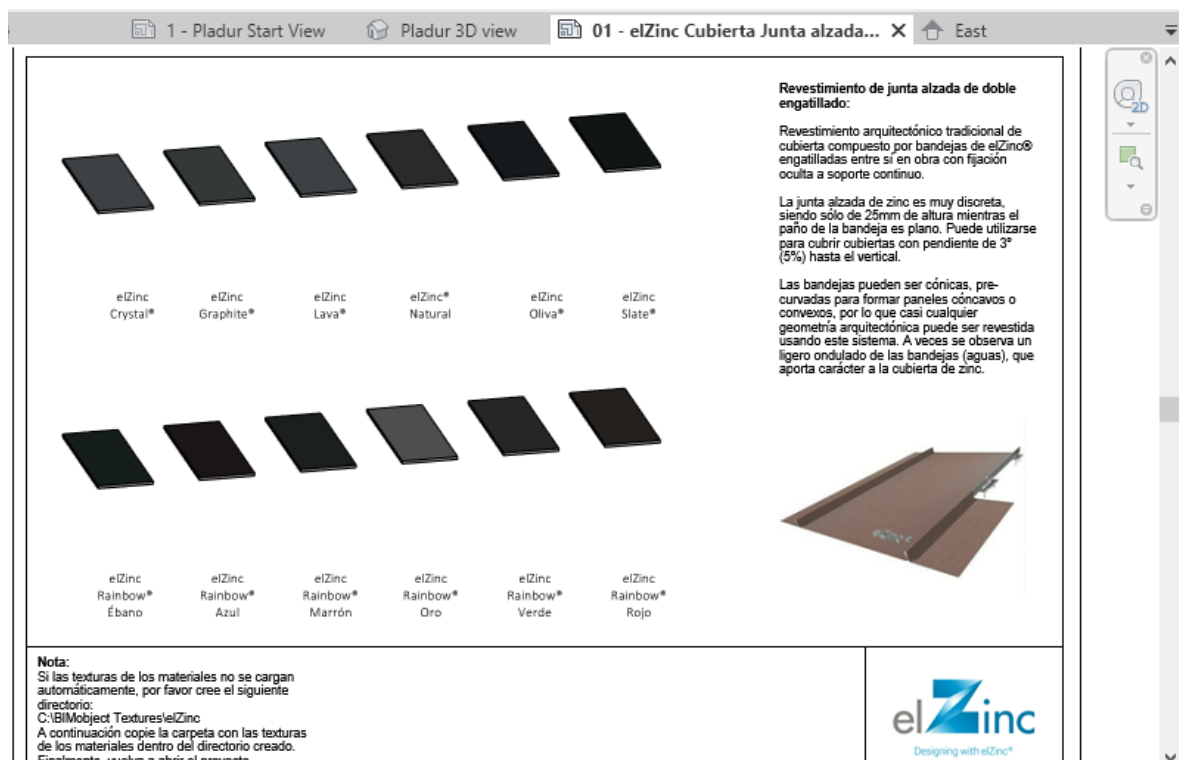


Figura 54: Vista inicial do obxecto Elzinc en Revit, con cubertas coas distintas texturas e parámetros do catálogo.
Fonte: Propia.

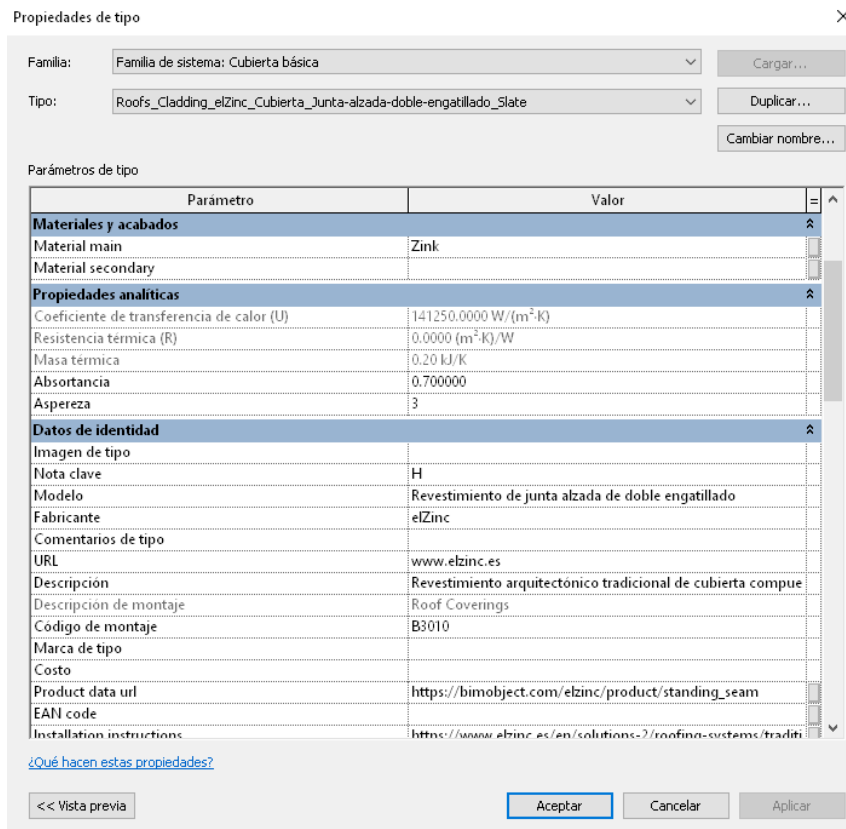


Figura 55: Parámetros de información de obxecto Elzinc en Revit. Fonte: Propia

4.5. SISTEMA DE CIMENTACIÓN PILOEDRE

Os Piloedre, en verbas dos seus inventores, son elementos prefabricados pensados para substituír as cimentacións tradicionais en estruturas lixeiras.



Figura 56: Imaxes do proceso de colocación de un Piloedre. Fonte: <https://piloedre.es/>

Piloedre ten o seu obxecto BIM en Bimétrica dispoñible para Revit e tamén en formato IFC para que poida ser aberto en outras ferramentas (no presente traballo ábrese en Archicad de maneira correcta). O obxecto límitase á reprodución xeométrica, máis non dispón de case ningunha información paramétrica, polo que falaríamos de un LOD 200, por ter a xeometría exacta.

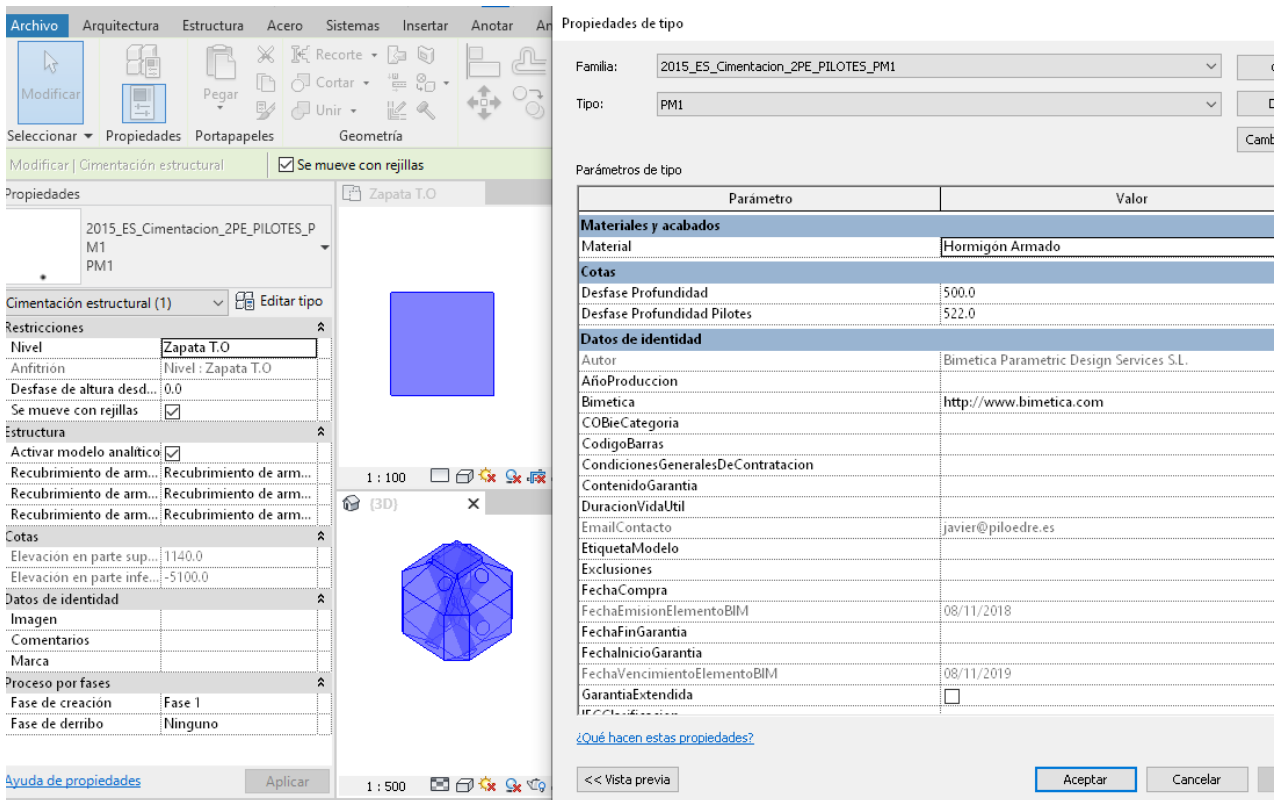


Figura 57: Representación 2D e 3D e parámetros de información asociados ó obxecto en Revit. Fonte: Propia

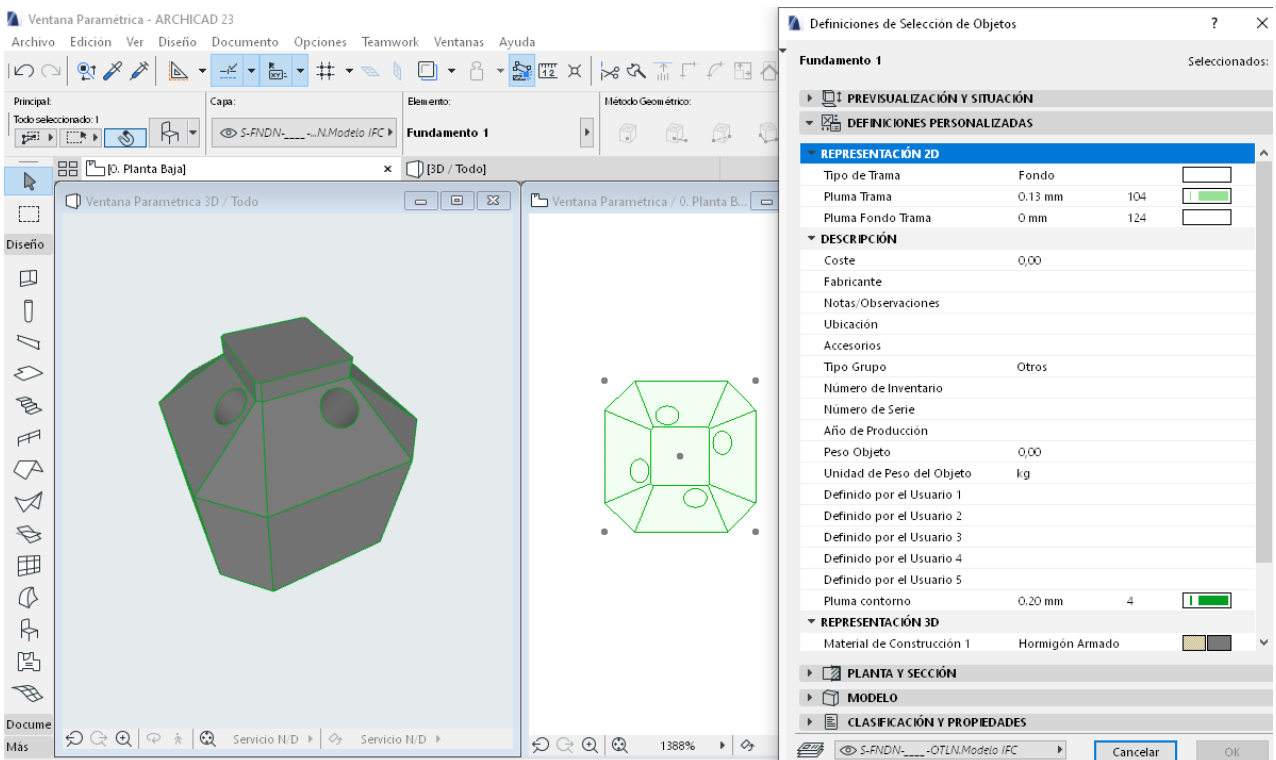


Figura 58: Representación 2D e 3D e fiestra de parámetros de información valeira do obxecto IFC de Piloedre en ArchiCAD. Fonte: Propia

5. CONCLUSIONES

Se algo queda patente nos primeiros epígrafes deste traballo é a necesidade de industrialización do sector da construción, tanto por razóns de sostibilidade como de produtividade, e o papel capital que a metodoloxía BIM ten neste proceso. Un dos problemas a abordar pola nosa xeración é a industrialización do sector AEC sen que a arquitectura se vexa penalizada, e a industrialización aberta é a resposta do presente a esta problemática.

O lugar de encontro entre a metodoloxía BIM e a industrialización aberta, como cabalos de batalla para a industrialización, é o deseño paramétrico de sistemas construtivos industrializados.

Este traballo pretendeu profundar nese eido, e unha das primeiras conclusións que se extraen do mesmo é o gran descoñecemento que existe sobre a materia. Son realmente escasas as publicacións sobre deseño paramétrico de obxectos en Revit e Archicad, xa nin se fale de outras ferramentas, mentres abundan as guías xenéricas sobre BIM. Semella que existe unha barreira que poucos técnicos están dispostos a traspasar, a do nivel medio de coñecemento informático.

Outra conclusión que se extrae deste traballo é a importancia da información, que a pesar de ser a verba central do acrónimo, adoita ser a gran esquecida en proxectos BIM. Víamos no epígrafe de análise de recursos un obxecto de cimentación que non contiña nin sequera o seu peso propio, detalle crucial a efectos de análise estrutural, que fai que o obxecto so acade para un LOD 200. Este feito pon de manifesto a necesidade de iniciativas como o estándar *ecob* (estándar de creación de obxectos BIM) do ITeC, normativas que estandaricen a información que un obxecto BIM debe conter segundo o seu LOD.

A importancia de proporcionar un bo obxecto paramétrico é un factor a ter en conta por parte das empresas de solucións construtivas, pois un obxecto BIM paramétrico flexible e intuitivo, que facilite a redacción e a execución dos proxectos pode ser o factor diferencial fronte a competencia. No que concirne a un usuario BIM, o feito de utilizar obxectos de casas comerciais fronte ás solucións xenéricas dos software de modelado, supón unha mellora nas vantaxes que xa de por si aporta a metodoloxía BIM. O obxecto de paneis de pedra desenrolado no traballo permite estudar a composición de un alzado peza a peza, e saber o número exacto de pezas necesarias a efectos de medición. Tamén no obxecto de Pladur analizado podemos modelar tendo en conta estes factores, e con todo o catálogo de solucións de Pladur dispoñible nunha mesma interface. Debemos recoñecer que o desenrolo paramétrico dos seus produtos por parte das grandes empresas do sector, contribúe en gran medida á industrialización do sector da construción

Este traballo pon de manifesto certos deberes dos xigantes do BIM. No caso de Archicad, este dispón de unha gran biblioteca de obxectos paramétricos que fai que o usuario medio nunca teña que traballar en GDL. Máis de ter que facelo, é certo que resulta un salto considerable por tratarse de un sistema baseado en liñas de código de texto, inicialmente pouco intuitivo e pouco visual. É unha obriga de archicad mellorar a experiencia do usuario que quere profundar no deseño de obxectos paramétricos, aínda que semella que en Archicad 24 (lanzada en xullo de 2020) se mellora a parte de xeración xeométrica 3D con un novo plug-in chamado “param-o” que se baseará nun linguaxe de programación visual, aínda que polo momento semella non substituirá ó GDL en canto a representación 2D, parámetros e interface.

Pola contra, Revit non dispón de unha biblioteca extensa e é moi habitual ter que utilizar o deseño paramétrico mediante familias, polo que semella necesario que Revit mellore a súa biblioteca interna de obxectos, para que un usuario BIM medio non teña que recorrer a familias con tanta asiduidade para desenrolar proxectos medios. Mais unha vez que o usuario ten que desenrolar obxectos propios, o sistema de familias de Revit resulta máis intuitivo e moito máis visual que GDL.

Xa para rematar, e despois de estudar o pasado e o presente dos temas tratados neste traballo, permítome facer unha valoración a futuro. En epígrafes anteriores falábase da capacidade que a arquitectura tivo de ser ó longo do tempo un reflexo dos materiais e dos coñecementos da súa época, e creo firmemente que non podemos fuxir da época que nos tocou vivir. Unha roda de carro do século I pouco dista da roda dos primeiros automóviles do século XIX, máis os avances que antes se facían en séculos agora fanse en lustros; vivimos nun tempo de continuo avance tecnolóxico, e en vez de tentar negalo, debemos tentar aproveitalo.

Antes falabamos da barreira que para moitos técnicos supoñía o coñecemento informático, e dela xorde a última das conclusións, pois detrás de esa barreira que moitos técnicos se poñen, atópase un nicho de mercado emerxente con un perfil que cada vez será máis demandando, o de arquitecto/informático. Quen xa traspasou dita barreira sabe que ademais de ese da mellora da produtividade que ofrecen, os software informáticos en xeral e o deseño paramétrico en particular, aportan unha enorme liberdade proxectual e de deseño.

6. BIBLIOGRAFÍA

- BIMForum. (July de 2018). *Level of development specification part I & commentary*. Obtido de <https://bimforum.org/lod/>
- Carmona, F. (Enero de 2019). (expanda.es) Obtido de El acrónimo BIM: <https://expanda.es/blog/el-acr%C3%B3nimo-bim>
- Eastman, C. M. (2018 3ª edición). *BIM handbook: a guide to building information modeling por owners, managers, designers, engineers and contractors*. New Jersey: Wiley Online Library.
- Garcelán Docio, J. (2016). *Impacto del BIM en la gestión de un proyecto y obra arquitectónica: de Autocad a Revit. Aplicación al campo de la arquitectura modular*. Valencia: ETSA, Universidad Politécnica de Valencia.
- Garrido Iglesias, A. (2018). *Integración de la metodología BIM en la certificación energética*. A Coruña: Máster Universitario en Edificación Sostenible. EUAT Coruña.
- Gómez Jáuregui, V. (enero-marzo 2009). *Habitide: Viviendas modulares industrializadas*. 61,513,33-46(0020-0883).
- Graphisoft. (2020). *GDL Reference Guide*. Obtido de <http://gdl.graphisoft.com/reference-guide/gdl-guide>
- Gutiérrez Fidalgo, A. (2015). *Comportamiento energético de las construcciones prefabricadas, modulares e industrializadas de metal*. A Coruña: ETSA Coruña.
- Ibermática. (Marzo de 2020). *NDUSTRIA 4.0. Definición y principios básicos*. (Ibermaticaindustria.com) Obtido de <https://ibermaticaindustria.com/blog/que-es-la-industria-4-0/#:~:text=4%20son%20los%20principios%20b%C3%A1sico,maquinas%2C%20sensores%2C%20y%20personas>.
- Leoz, R. (1981). *Arquitectura e industrialización de la construcción*. Madrid: Fundación Rafael Leoz para la investigación y promoción de la Arquitectura social.
- Miró Sardá, A. (Abril de 2020). *BIM +LEAN: Más necesarios que nunca*. (Tallerbim.com) Obtido de <https://www.tallerbim.com/2020/04/bim-lean-mas-necesarios-que-nunca.html?spref=tw>
- Pons, J. F., & Rubio, I. (2019). *Lean construction y la planificación colaborativa. Metodología last planner system*. Madrid : Consejo General de la Arquitectura Técnica de España.
- Rollón de la Mata, J. (2011). *Influencia del grado de industrialización en la planificación de una obra*. Madrid: EUAT. Universidad politécnica de Madrid.
- Sandoval Fernández, A. (2013). *Industrialización y construcción. Estudio Relativo a sistemas industrializados estructurales y de envolvente*. Cartagena: Escuela de arquitectura e ingeniería de edificación. Universidad politécnica de Cartagena.
- Tectónica: monografías de arquitectura, t. y. (2012). *Industrialización*. (38).
- Terrados Cepeda, F. J. (2013). *Prefabricación ligera de viviendas: nuevas premisas*. Sevilla: Secretariado de publicaciones de la Universidad de Sevilla. Textos de doctorado. Serie Arquitectura 44.

7. RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1: Símbolo do formato IFC Fonte: www.buildingsmart.es	5
Figura 2: Imaxe Dimensións BIM. Fonte: https://econova-institute.com/blog/las-siete-dimensiones-de-bim/	7
Figura 3: Produtividade en EEUU 1964-2012. Fonte: Estudo levado a cabo por Teicholz, Goodrum e Haas, baseado en datos do US Department of Commerce. (15)	8
Figura 4: Esquema do “Débese-Pódese-Farase” Fonte: (15)	9
Figura 5: Patente Edward T. Potter, 1889. Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fa/Patente_1889.jpg	11
Figura 6: Cadea de montaxe Ford e imaxe empregada por Le Corbusier en “Vers une architecture” Fonte: https://www.biografiasyvidas.com/monografia/ford/fotos4.html	12
Figura 7: Barra de ferramentas interface inicial de archicad 23. Fonte: Propia	16
Figura 8: Fiestra inicial do obxecto fiestra, Archicad. Selección de tipoloxía dentro da Biblioteca vinculada. Fonte: Propia	16
Figura 9: Subfiestras de parámetros modificadores de fiestras, Archicad. Fonte: Propia	17
Figura 10: Modificadores das dimensións de marco de fiestra. Fonte: Propia.....	17
Figura 11: Tamaños nominais e tolerancias de fiestra. Fonte: Propia	17
Figura 12: Despregabres de tipoloxías de follas de fiestra. Fonte: Propia.....	18
Figura 13: Modificadores de morfoloxía e dimensións de xamba de fiestra. Fonte propia.	18
Figura 14: Parámetros de representación 2D de fiestras 2. Fonte: Propia	18
Figura 15: Parámetros de representación 2D de fiestras 1. Fonte: Propia	18
Figura 16: Subcategorías de parámetros de información.	19
Figura 17: Parámetros IFC de Fiestra 2. Fonte: Propia.....	19
Figura 18: Parámetros IFC de Fiestra 1. Fonte: Propia.....	19
Figura 19: Progreso no nivel LOD de sistemas ou elementos BIM	20
Figura 20: Listaxe de fiestras do editor de GDL de archicad. Fonte: Propia.	21
Figura 21: Fiestra de edición de Parámetros GDL. Fonte: Propia.	22
Figura 22: Fiestra de Script de Maestro coas listaxes de tipo de panel. Fonte: Propia.	22
Figura 23: Fiestra de Script 2D de GDL con creación de símbolo 2D de panel. Fonte: Propia.....	23
Figura 24: Fiestra de Script 3D de GDL con creación de ganchos coas perforacións e hotspots de edición. Fonte: Propia	23
Figura 25: Fiestra de Script de Parámetro de GDL coa asignación de dimensións por tipo de panel. Fonte: Propia.....	24
Figura 26: Fiestra de Script de Interface de GDL coa creación do lenzo de interface e a súa vista previa. Fonte: Propia	24
Figura 27: Método para engadir arquivos .ifc á biblioteca de Archicad. Fonte: Propia.....	25
Figura 28: Fiestra da ferramenta obxecto de Archicad coa interface dos paneis. Fonte: Propia	25
Figura 29: Fiestra “todos los parámetros” dos paneis. Fonte: Propia	26
Figura 30: Interface do obxecto cos parámetros ordenados. Fonte Propia.	26
Figura 31: Tipos de peza. Fonte: Propia	27
Figura 32: Distintos tipos de peza de panel cos distintos materiais. Fonte: Propia.....	27
Figura 33: Interface dos paneis coa listaxe de paneis dispoñibles. Fonte: Propia	27
Figura 34: Visualización dos paneis e 2D e 3D con posible composición en esquinas. Fonte: Propia.....	28
Figura 35: Datos técnicos dos paneis na interface do obxecto.....	28
Figura 36: Fiestra de Materiais de Construción de Archicad con un material de pedra acabado e as súas propiedades físicas. Fonte: Propia.	29
Figura 37: Táboa de obxectos BIM estudados no traballo. Fonte: Propia	30

Figura 38: Familias de fiestra de cortizo dispoñibles dentro do “.rvt” descargable da fiestra COR 60. Fonte: Propia.....	31
Figura 39: Representación 2D e 3D, e parámetros dispoñibles na familia de fiestra COR 60 1. Fonte: Propia	31
Figura 40: Representación 2D e 3D, e parámetros dispoñibles na familia de fiestra COR 60 2. Fonte: Propia.....	32
Figura 41: Aviso de Revit sobre actualización de modelo a nova versión. Fonte: Propia.....	32
Figura 42: Parámetros da familia de piso laminado Finfloor. Revit. Fonte: Propia	33
Figura 43: Vinculación de textura a materiais en obxecto Finfloor. Revit. Fonte: Propia.....	33
Figura 44: Proceso de apertura do accesorio de muro de Pladur. Archicad. Fonte: Propia	34
Figura 45: Interface de obxecto de pladur con selección de estrutura. Archicad. Fonte: Propia	34
Figura 46: Interface de obxecto de pladur con selección de dimensións en Archicad. Fonte: Propia	35
Figura 47: Aviso de personalización de Pladur en Archicad. Fonte: Propia	35
Figura 48: Parámetros de edición de xuntas en obxecto de Pladur en Archicad. Fonte: Propia.....	35
Figura 49: Selección de grao de representación 2D con fiestra de Planta a escala 1:25. Archicad. Fonte: Propia.....	36
Figura 50: Fiestra inicial do obxecto de Pladur en Revit coas distintas tipoloxías de perfil, sistema e placa. Fonte: Propia	36
Figura 51: Interface do obxecto Elzinc sen parámetros, solo con instrución para cargar as texturas nas superficies de Archicad. Fonte: Propia.	37
Figura 52: Fiestra de superficies de archicad, creando unha superficie coa textura que porta o “.lcf” do obxecto Elzinc. Fonte: Propia.	37
Figura 53: Visualización 3D e en alzado de superficies coas distintas texturas de Elzinc.. Archicad. Fonte: Propia.....	38
Figura 54: Vista inicial do obxecto Elzinc en Revit, con cubertas coas distintas texturas e parámetros do catálogo. Fonte: Propia.	38
Figura 55: Parámetros de información de obxecto Elzinc en Revit. Fonte: Propia.....	39
Figura 56: Imaxes do proceso de colocación de un Piloedre. Fonte: https://piloedre.es/	39
Figura 57: Representación 2D e 3D e parámetros de información asociados ó obxecto en Revit. Fonte: Propia.....	40
Figura 58: Representación 2D e 3D e fiestra de parámetros de información valeira do obxecto IFC de Piloedre en Archicad. Fonte: Propia.....	40