MODULO PREFABRICADO DE VIVIENDA CON AISLAMIENTO SISMICO PARA ZONAS DE ALTO RIESGO SISMICO.

AUTORES:
Delgado Trejo, Juan Carlos [1]
Gonzalez Galicia, Seidy [2]
Delgado Rodriguez, Carlos Hugo [3]
Archundia Hernandez, Elier Usiel [4]
Leon Regalado, Alan Ricardo [5]

ABSTRACT

The design and simulation of a prefabricated housing module with seismic isolation is studied to withstand seismic efforts without damage in areas of high seismicity.

Review the performance of the prefabricated housing module, modeling the prestressed precast elements with their prestressing tendons included in the model, to review their efforts in the face of cyclical service and accidental loads (earthquake), with LRB's type seismic isolators.

RESUMEN

Se estudia el diseño y simulación de un módulo de vivienda prefabricada con aislamiento sísmico para resistir esfuerzos sísmicos sin daño en zonas de alta sismicidad

Revisar el desempeño del módulo de vivienda prefabricada, modelando los elementos prefabricados presforzados con sus tendones de presfuerzo incluidos en el modelo, para revisar los esfuerzos de estos ante las cargas cíclicas de servicio y accidental (sismo), con aisladores sísmicos tipo LRB’s.

OBJETIVOS

Revisar la forma de modelación integral de los módulos prefabricados en elemento finito de los elementos de concreto y su simulación ante las cargas de servicio y accidentales, tales como sismo.

Revisar el tema de fatiga de los elementos de concreto, su mejor respuesta, y su desempeño en la simulación mediante FEM LUSAS con sus LRB’s y sus ciclos histéreticos.

[1] InnovaSismo / PREFAMOVIL, director de I+D, *jcdelgado@innovasismo.com*
[2] PREFAMOVIL E INFRAESTRUCTURA, *Gerente de Arquitectura, sgonzalez@prefamovil.com.mx*
[3] InnovaSismo / ICA Fluor, Ingeniero “B”, *hugo.delgado@innovasismo.com*
[4] PREFAMOVIL E INFRAESTRUCTURA, Gerente de Procesos, *earchundia@prefamovil.com.mx*
[5] PREFAMOVIL E INFRAESTRUCTURA, Coordinado BIM, *aleon@prefamovil.com.mx*

CONTENIDO

Los productos de Concreto prefabricado industrializado son productos de construcción producidos por la colocación del Concreto en formas de moldes metálicos reutilizables, curados en un entorno controlado, transportados a la obra y levantados en su lugar de servicio final. Diferentemente, el concreto estándar se vierte en formas específicas del sitio y se cura in situ, con un bajo control de calidad.

Se puede decir que los productos de concreto prefabricado industrializado son de mejor calidad porque el concreto prefabricado se produce en un entorno controlado (industrial); por lo tanto, se le da la oportunidad de curar adecuadamente mientras es monitoreado de cerca por los empleados de la planta.

Otros beneficios de utilizar un sistema de concreto prefabricado se derivan del hecho de que el proceso de producción de concreto prefabricado industrializado se realiza a nivel del suelo, ayudando con la seguridad a lo largo de un proyecto y financieramente, las formas o moldes utilizadas en una planta prefabricada pueden reutilizarse cientos a miles de veces antes de que tengan que ser reemplazados, lo que permite que el costo de encofrado (cimbra) por unidad sea menor que para la producción en el sitio.

El uso de concreto prefabricado en la construcción es ahora ampliamente considerado como una forma de construcción económica, duradera, estructuralmente sólida, resistente al fuego y estéticamente superior.

En los últimos 10 años, la mayor disponibilidad y aplicación de revestimientos de formas para crear patrones y manchas como una alternativa sin mantenimiento de 25 años a un acabado pintado, ha proporcionado a los diseñadores una amplia gama de texturas y patrones.

A esto se suma una extensa lista de opciones en forma de posibilidades arquitectónicas tradicionales, tales como moldes construidos específicamente, grabados, arena granallada, y agregados expuestos, acabados pulidos y perfeccionados también están disponibles, al igual que la coloración integral utilizando pigmentos. Y todos estos acabados se pueden aplicar en la fábrica. Esencialmente uno sólo puede estar limitado por su imaginación.

En cualquier estructura prefabricada total hay una serie de características de diseño críticos que deben abordarse desde el principio, incluyendo alturas de techo, paredes de rodamientos de carga, alojamiento de cajas de elevación y algunos de los elementos de fachada únicos, en particular balcones.

Una vez que se determina que la calidad, la seguridad y otros requisitos alrededor de estos cumplen con el informe, el equipo de diseño en conjunto con el prefabricador está en condiciones de afinar. El resto del refinamiento del diseño se centra en esas cuestiones. El requisito esencial para cualquier proyecto prefabricado total es permitir un plazo adecuado para permitir ese refinamiento.

La flexibilidad del diseño de interiores es proporcionada por sistemas de pisos de concreto prefabricado de largo alcance que ayudan a los propietarios de edificios a adaptarse a las cambiantes necesidades de los clientes en los próximos años. Los sistemas de pisos prefabricados pueden abarcar hasta 17 metros para minimizar la necesidad de columnas interiores requeridas con sistemas in situ. Los Elementos de Concreto Prefabricado Industrializado, también proporciona una alta capacidad de carga a un costo poco adicional.

El proceso de fabricación de concreto prefabricado utiliza menos energía que los componentes comparables, con menos ruido y contaminación del aire y escombros en el lugar. De lo contrario, el concreto no es tóxico, es ambientalmente seguro y está compuesto de materiales naturales. Los productos de concreto prefabricado ayudan a transportar agua sin contribuir a la mala calidad del agua.

La eficiencia energética también se puede lograr a través de paredes prefabricados y pisos. El aislamiento se intercala entre una capa de concreto estructural interior y una capa de concreto externa y las tres capas se mantienen unidas por conectores no conductores. El sistema ofrece los beneficios de la fabricación fuera del sitio, durabilidad, resistencia al fuego y eficiencia térmica. Cuando se diseña bien, un edificio puede reducir significativamente sus requisitos de calefacción y refrigeración mediante la incorporación de paneles sándwich en su construcción.

En el caso de los pisos, el aire caliente o frío se pasa a través de los núcleos de pisos huecos de alta masa térmica y logra altos estándares de confort durante todo el año con muy bajos requisitos anuales de energía y mantenimiento.

La erección eficiente es una de las principales ventajas del concreto prefabricado; las condiciones climáticas en el lugar de trabajo no afectarán significativamente el cronograma de construcción y los productos de concreto prefabricado llegan al lugar de trabajo listo para instalar, lo que puede ahorrar semanas sobre la construcción fundida en el lugar. Los elementos de concreto prefabricado concedidos se fabrican en fábricas prefabricadas en condiciones controladas de calidad utilizando materiales de alta calidad, los diseños cumplen más exactamente las especificaciones reduciendo los ajustes de campo y creando un proceso de erección suave con sorpresas mínimas.

El Concreto Prefabricado Industrializado reduce la necesidad de mano de obra calificada en el lugar y disminuye la huella. No hay necesidad de pedir materias primas como el acero de refuerzo y el concreto, y no se perdió tiempo la creación de formas, la colocación de refuerzo, verter concreto y la espera de concreto para curar.

Aunque el concreto prefabricado es bastante pesado, casi todos los demás materiales de la competencia también requieren maquinaria para su manipulación e instalación. La velocidad de instalación depende más de la excavación que de la manipulación y colocación del producto. A diferencia de otros materiales como la fibra de vidrio, el concreto prefabricado no requiere el uso de aparejos especiales (como eslingas de tela) para evitar daños estructurales.

El uso de concreto prefabricado para un proyecto de construcción también significa una mayor seguridad porque la obra está menos desordenada.

El concreto prefabricado no sólo es no combustible, sino que exhibe un rendimiento superior en todos los desastres. También cabe destacar que no pierde su capacidad estructural tan rápidamente como el acero. El concreto prefabricado es resistente a la mayoría de las sustancias y los productos de concreto prefabricado pueden diseñarse para soportar agentes corrosivos previstos.

Los productos de concreto prefabricado producidos en un entorno de calidad controlada y utilizados con selladores de alta calidad ofrecen una solución superior a los requisitos de estanqueidad. Los selladores estancos estándar están especialmente formulados para

adherirse al concreto prefabricado, haciendo posibles estructuras de concreto prefabricado de múltiples costuras estancas.

Con una gravedad específica de 2,40 ton/m^2 (Peso Volumétrico del Concreto), los productos de concreto prefabricado resisten las fuerzas de servicio asociadas con la construcción de vivienda de bajo costo, la cual no puede pagar los enormes costos del control de calidad y supervisión que se requiere en estos casos.

Lo más importante es que los aspectos positivos de la construcción con concreto prefabricado están condicionados a una buena relación de trabajo entre el cliente, el diseñador y el contratista. Para empezar, el fabricante prefabricado debe participar lo antes posible.

En el desarrollo de sistemas constructivos de Concreto Prefabricado Industrializado y modulares, se está buscando un equilibrio entre lo pragmático y lo experimental, el prese te estudio desarrolla soluciones prefabricadas para dar respuesta a un desafío determinante de la arquitectura contemporánea: acelerar y simplificar los procesos constructivos, con seguridad y eficiencia ante los desastres naturales.

Elegimos estos sistemas porque son los que mejor responden a nuestro principal objetivo: la optimización de los tiempos y los recursos físicos en la construcción (ilustración 1). Este ha sido siempre un desafío, el camino que elegimos. Hacemos esto porque creemos que existe una necesidad real de acelerar y simplificar la arquitectura (Smith, diciembre 2010).

Primero, porque estamos siendo testigos de un crecimiento demográfico exponencial en la actualidad, particularmente en las áreas urbanas, que se está desarrollando a una velocidad y escala sin precedentes en la historia de la humanidad.

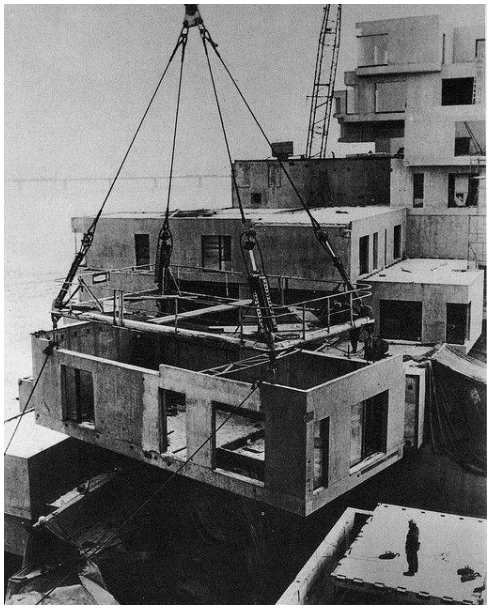


Ilustración 1.- Soluciones históricas de construcción modular.

Esto nos obliga a encontrar soluciones constructivas más rápidas y eficaces para responder a esta creciente demanda de edificios. En segundo lugar, porque actualmente somos un Mundo en la post-crisis de la Pandemia, recién salidos de los impactos de una Emergencia Sanitaria y con posibles programas de rescate financiero. En este escenario, el enfoque "austero" de nuestra arquitectura mexicana se ha convertido en algo inevitable. En resumen, trabajamos con el contexto que encontramos.

Al principio, se aceptaba que el aspecto más interesante del uso de la prefabricación en Concreto Industrializado era la velocidad.

Hoy encontramos otras ventajas en este tipo de arquitectura que nos parecen relevantes. Con el aumento demográfico mencionado anteriormente, existen cada vez más personas que necesitan casas para vivir y cada vez menos personas capacitadas o disponibles para construirlas. La falta de mano de obra en el sector de la construcción se siente en todo el Mundo y es reconocida por los principales líderes de la industria de la Construcción. En este contexto, la prefabricación, como método industrializado que nos permite "construir rápidamente con menos constructores", será la única solución y, poco a poco, pasará de ser la excepción a la regla. La construcción tradicional está condenada a desaparecer en este escenario Post-Pandemia COVID-19.

Ilustración 2.- Soluciones actuales de Construcción Modular de Concreto Prefabricado Industrializado, en New York, USA.

Al mismo tiempo, hoy hemos alcanzado un nivel de sofisticación tecnológica y una diversidad de materiales y sistemas tan grande que no sería justo culpar a la prefabricación de ninguna homogeneización formal en la arquitectura (ilustración 2). Por el contrario, encontramos numerosos ejemplos de construcciones que exploran nuevas soluciones estructurales y volumétricas que solo son posibles gracias a la prefabricación soportada por los métodos digitales. En definitiva, estos sistemas, en sus múltiples variantes, más que limitaciones, son promotores de nuevas formas de pensar la arquitectura y construirla. (Dr Mathew Aitchison (Autor), enero 2018)

La arquitectura Modular prefabricada no es producto de la arquitectura moderna. Forma parte de la historia universal de la arquitectura. Al menos desde la primera mitad del siglo XIX, ya es posible identificar casos de edificios producidos íntegramente en un entorno de fábrica, organizados por módulos, enviados y ensamblados en otro lugar, encajando perfectamente en la definición de construcción "fuera del sitio".

Ilustración 3.- Soluciones actuales modulares en Europa.

Las razones que llevaron al desarrollo de estas soluciones son de diferentes tipos. En el presente trabajo encontramos cinco razones principales que impulsaron el desarrollo de la prefabricación: la colonización o exploración (ocupación de un territorio donde no se encuentra mano de obra capaz o disponible para construir); emergencia (creación de viviendas para la población en el contexto de una catástrofe, como escenarios de desastres naturales); costo (uso de métodos industrializados para reducir el costo de la construcción); tecnología (creación de soluciones que materialicen el desarrollo tecnológico); y manifiesto (desarrollo de soluciones especulativas, que proponen nuevas formas de vivir y que anticipan posibles escenarios futuros). Estas cinco razones fueron las principales responsables del surgimiento de la propuesta arquitectónica de prefabricación que presentamos en este documento (ilustración 3).

Finalmente, en México es necesario compensar la seguridad estructural con dispositivos que aseguren un adecuado desempeño ante los terremotos que afectan a nuestro país, por esta razón estamos proponiendo un sistema de aislamiento sísmico para conectar los módulos en el sitio de montaje que permitan aislar la estructura de los movimientos del terreno, permitiendo con esto una reducción del impacto del terremoto en la estructura de concreto prefabricado industrializado modular.

METODOLOGIA

El equipo de trabajo desarrollo diversas propuestas para poder abarcar las necesidades de los diferentes estados de la República Mexicana, tomando en cuenta las diferencias culturales y de economía para proponer soluciones acorde a cada clima y región de la propuesta.

Desarrollamos una serie de propuestas de vivienda modular para resolver dos tipos de vivienda:

- Vivienda modular básica, denominada “ECO”, es un pie de casa de un nivel.
- Vivienda modular media, denominada “DOS”, es casa desarrollada en dos niveles.

Los tipos de vivienda se presentan en las siguientes ilustraciones.

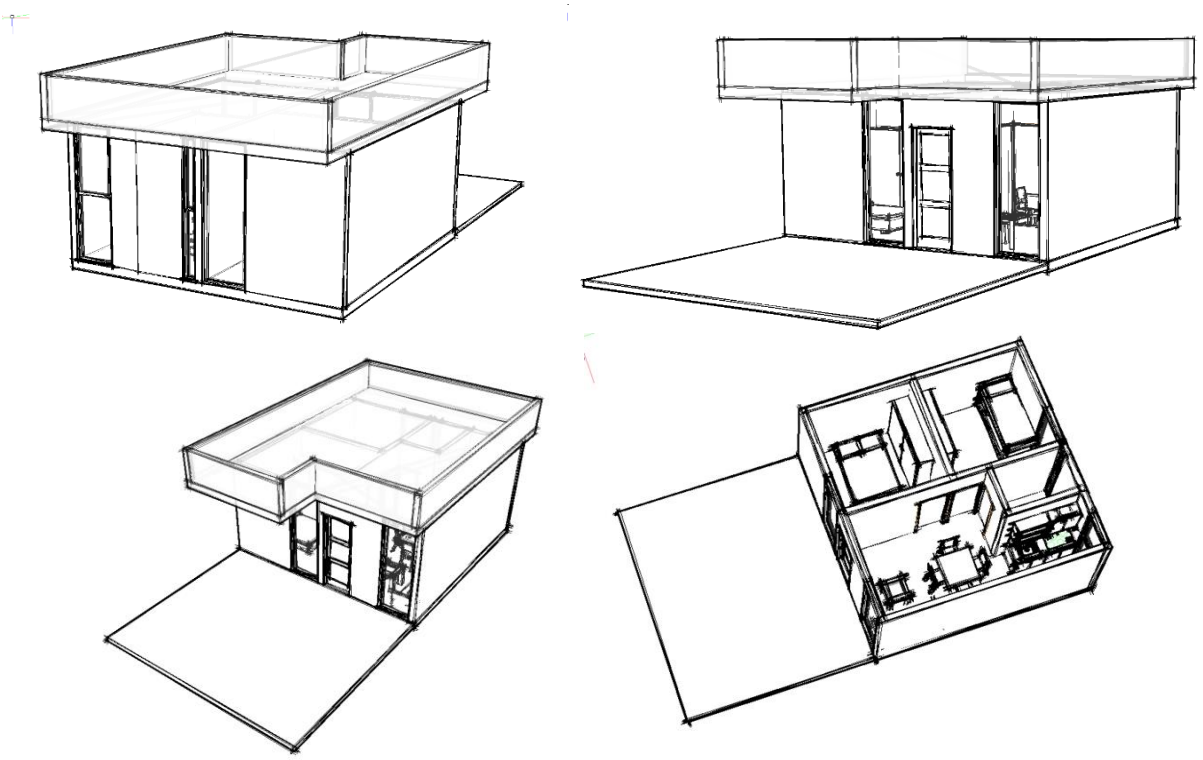
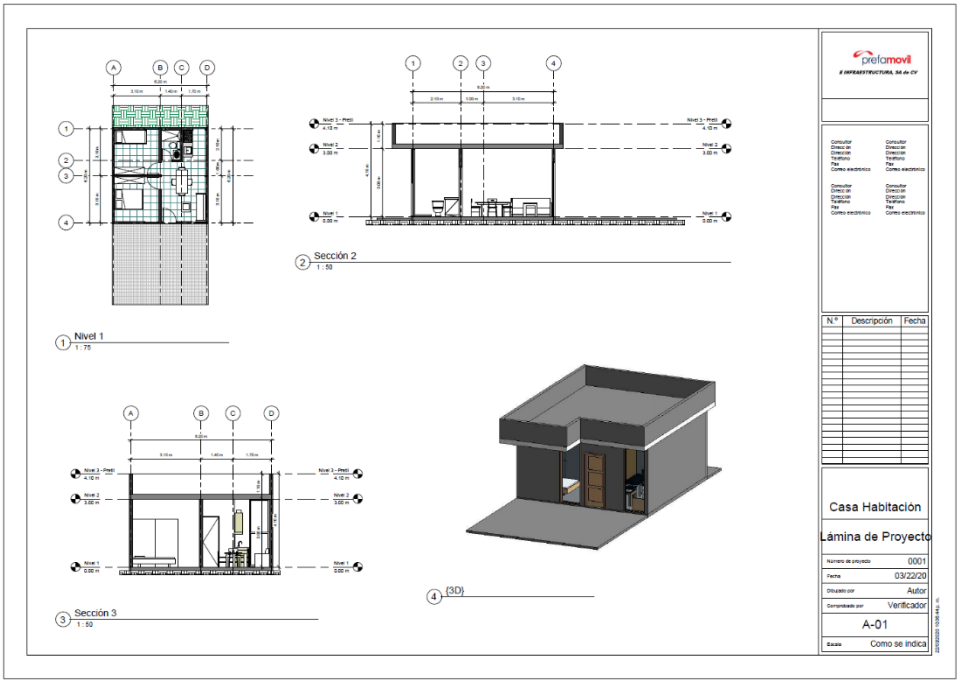


Ilustración 4.- Propuesta de casa modular "ECO".



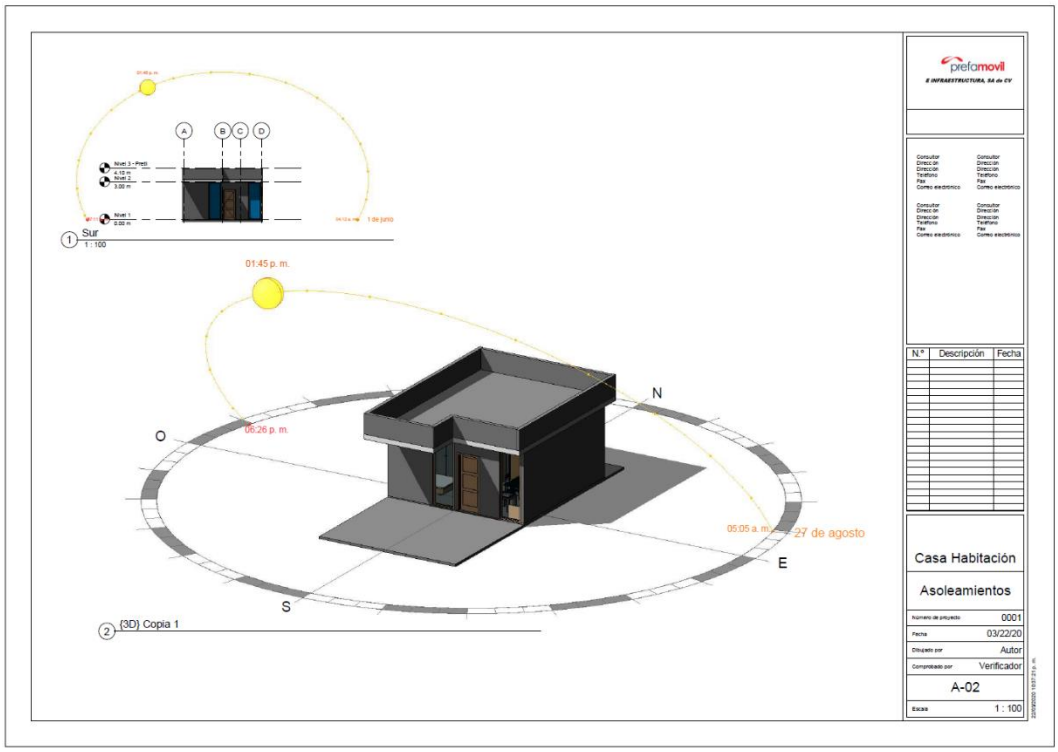
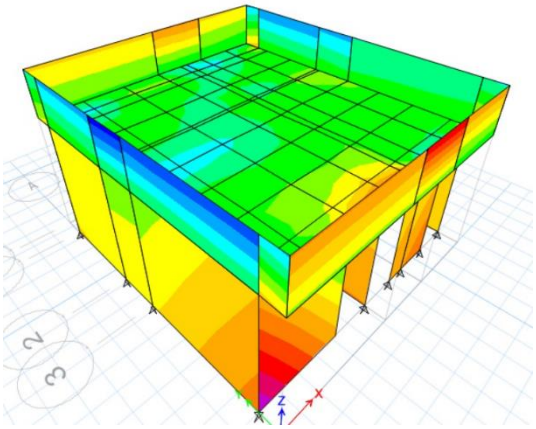
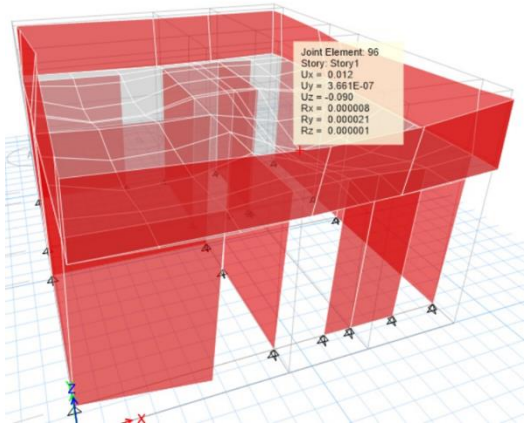


Ilustración 5.- Estudio de Montea Solar y Análisis Estructural.





Como puede verse en las ilustraciones 4 y 5, los diseños del módulo “ECO” son factibles, pero es necesario reducir los esfuerzos en la estructura del modulo de Concreto Prefabricado Industrializado, con los aisladores tipo LRB, de bajo coste, ubicados en la base del módulo prefabricado. (Delgado T., julio 2013)

Se hicieron las corridas de análisis con Time History Analysis, con sismos sintéticos obtenidos de la zona de Guerrero, con tipos de familias similares al sismo SCT E-W de septiembre 1985. (Robinson, Skinner, & Kelly, 2011)

Los datos obtenidos se observan en las imágenes mostradas en la Ilustración 6.

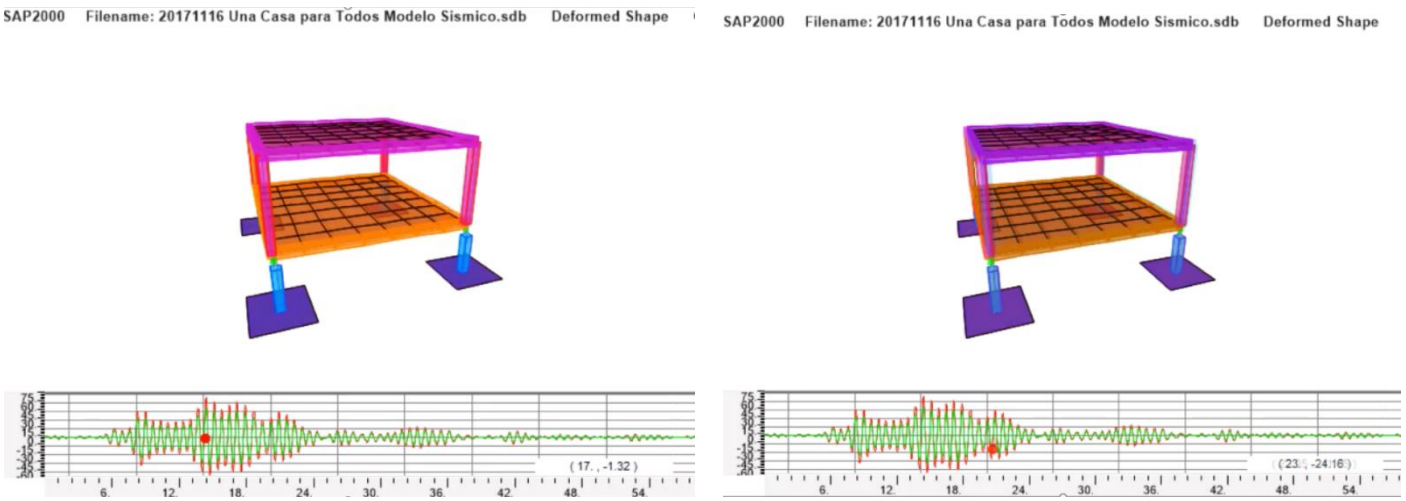


Ilustración 6.- momentos de esfuerzos y desempeño del Aislamiento en el THA realizado con Sismos sintéticos.

De esta manera también se revisó los análisis de la propuesta “DOS”:

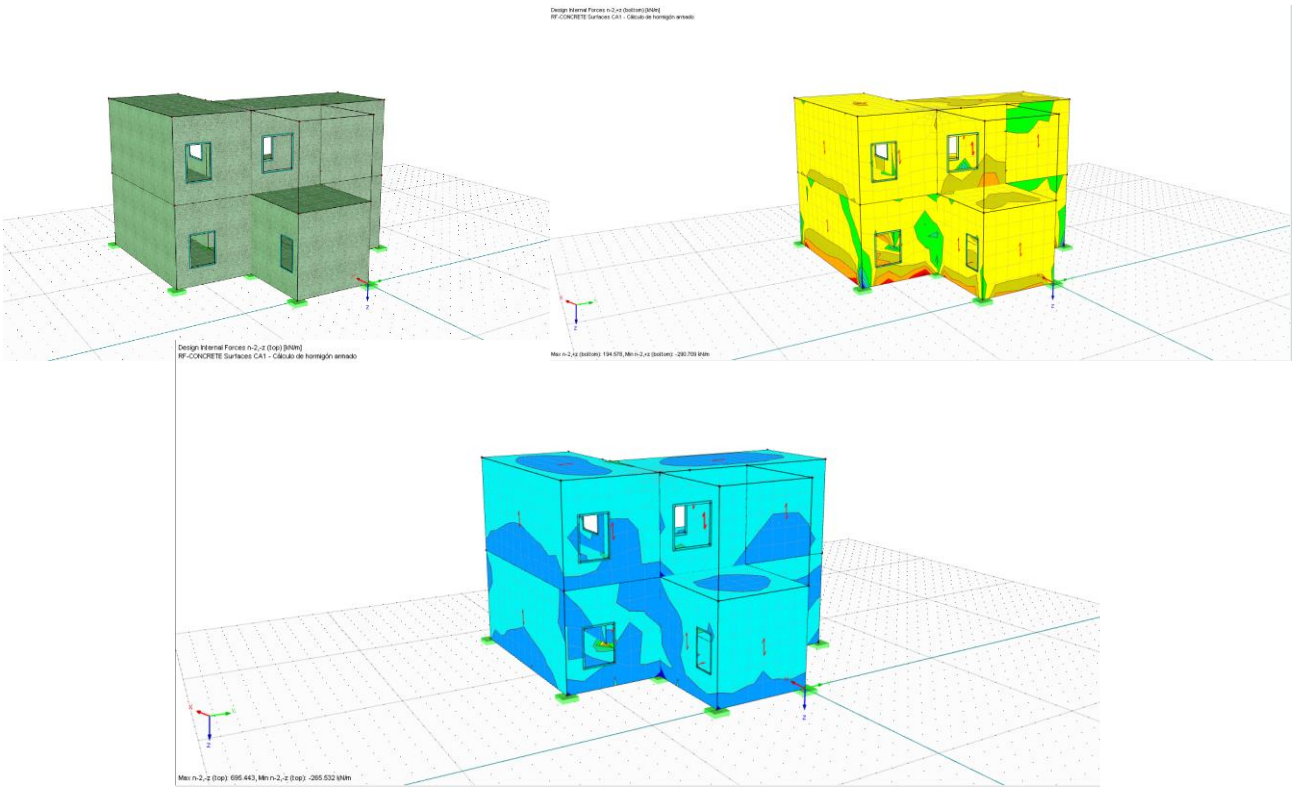


Ilustración 7.- Análisis Estructural de la Casa Modular Prefabricada de Concreto Industrializado de dos niveles.

CONCLUSIONES

El uso de los aisladores sísmicos conjuntamente con la Prefabricación Modular en Concreto Industrializado, resuelve las problemáticas que se prevén en el escenario de Postpandemia COVID-19, y retoman las ventajas arquitectónicas que se comentaban en el contenido del presente estudio.

Es importante tomar en cuenta que la adición de los sistemas de aislamiento sísmico con los aisladores de base tipo LRB's permite realizar un solo diseño estructural del modulo de concreto prefabricado industrializado y que los esfuerzos de eventos sísmicos definidos por cada región del proyecto serán tomados con el diseño de los aisladores sísmicos tipo LRB's que se diseñen para cada proyecto en particular (Ilustración 7 y 8).

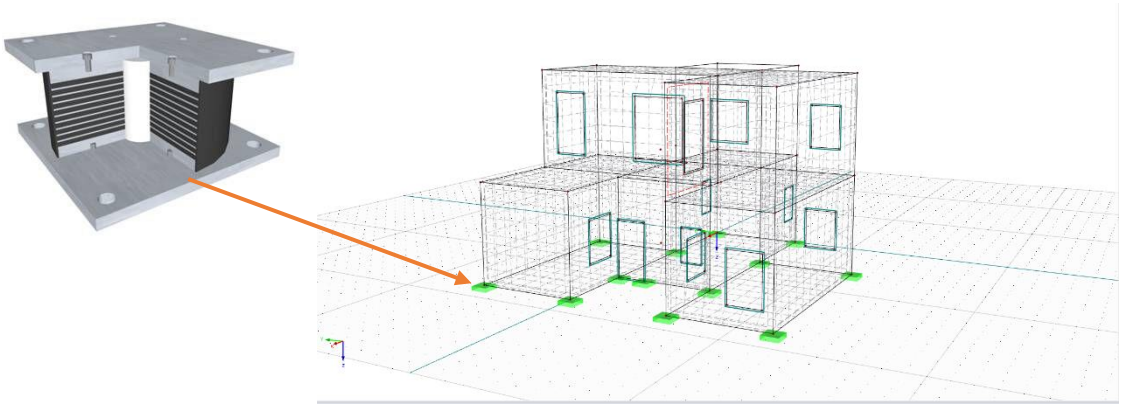
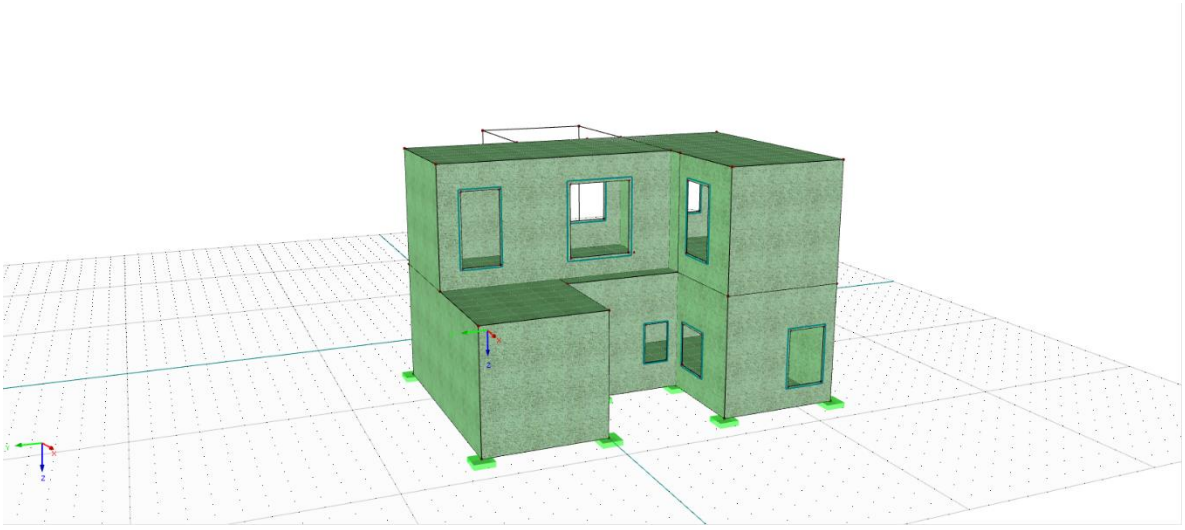


Ilustración 8.- Ubicación de Aisladores sísmicos tipo LRB's en la Casa Modular de Concreto Prefabricado Industrializado.



Los temas de construcción y logística del transporte se tratarán en una segunda fase del presente estudio, por lo cual se prevé continuar con un caso de desarrollo especifico en el interior de la república.

BIBLIOGRAFIA

Bibliografía

Delgado T., J. C. (julio 2013). *Analisis Inelástico: Un enfoque Moderno con los Sistemas de Disipación Sismica.* CDMX. México: FES Acatlan UNAM.

Dr Mathew Aitchison (Autor), J. N. (enero 2018). *Prefab Housing and the Future of Building: Product to Process.* New York, USA: Lund Humphries Publishers Ltd.

Robinson, W. B., Skinner, R. I., & Kelly, T. E. (2011). *Seismic Isolation for Designers and Structural Engineers.* Wellington, New Zealand: Holmes Consulting Group & Robinson Seismic Ltd.

Smith, R. E. (diciembre 2010). *Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction.* New York, USA: Wiley; Edición Illustrated .