



Análisis estructural de una edificación a partir de la integración del Autodesk Robot y Revit

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

Autor: Carlos Alberto Bonet Serrano

HOLGUÍN 2021





Análisis estructural de una edificación a partir de la integración del Autodesk Robot y Revit

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

Autor: Carlos Alberto Bonet Serrano

Tutor: P.T Dr.C. Luis Enrique Acosta González

Consultantes: Ing. Enrique Leandro Carballo Hernández

Ing. Yander Orlando Pelfort Tamayo

HOLGUÍN 2021



PENSAMIENTO

“Si haces proyectos concretos, si cultivas tus ambiciones, si trabajas duro con humildad, si agudizas tu ingenio, los sueños se harán realidad”.

Mahoko Yoshimoto

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Misladys y José, por su amor y esfuerzo, por forjarme y guiarme, y hacer de mí la persona que soy.

A mi hermano José Antonio, por apoyarme durante todos estos años, siempre estar pendiente de mi carrera y transmitirme sus experiencias.

A toda mi familia por el apoyo incondicional.

A mi tutor, por el tiempo dedicado, orientación, confianza y sabios consejos.

A mis consultantes, por su interés, colaboración y asesoría.

A todos los profesores y profesionales que durante estos cinco años me transmitieron sus conocimientos y contribuyeron a formarme como ingeniero.

A todos mis amigos y compañeros, que brindaron su amistad y entusiasmo en todo momento.

DEDICATORIA

A mi mamá y papá, por ser las personas más importantes para mí y estar siempre a mi lado.

A mi hermano, por ser un ejemplo y fuente de inspiración.

A mi familia, por toda la confianza e impulsarme en mis estudios.

RESUMEN

Las nuevas tecnologías en el sector de la construcción son una realidad, estas se encuentran en constante avance y actualización, proporcionándoles softwares y herramientas a los ingenieros, que humanizan su trabajo. El Modelado de la Información de la Construcción (BIM) incluye todas las especialidades, arquitectura, estructura e instalaciones, permitiendo la visualización en 3D de los componentes físicos de todas las disciplinas que participan en el proyecto. En este trabajo de investigación se realiza un estudio del estado actual y las perspectivas de los softwares Autodesk Robot y Revit para el análisis estructural en un entorno BIM gracias a la interoperabilidad entre estas herramientas que permiten un enlace bidireccional. Se desarrolla un flujo de trabajo que posibilita obtener el análisis estructural en el programa Robot Structural a partir de un modelo geométrico creado en Revit. Se aplica el esquema de trabajo al caso de estudio “Nave Universidad de Holguín” obteniéndose datos precisos del análisis de la estructura, como parte de la solución a tareas de un proyecto sectorial del MICONS. Como resultado de la investigación se fortalecen los vínculos Universidad-Empresa y se amplía el uso de las nuevas tecnologías, así como se potencian líneas de trabajo priorizadas en el país. Durante la investigación se emplearon métodos de la investigación científica de naturaleza teórica, empírica y estadísticos-matemáticos; y es usado el sistema APA como norma para la edición bibliográfica.

ABSTRACT

New technologies in the construction sector are a reality, they are constantly advancing and updating, providing software and tools to engineers, which humanize their work. The Building Information Modeling (BIM) includes all the specialties, architecture, structure and facilities, allowing 3D visualization of the physical components of all the disciplines that participate in the project. In this research work a study of the current state and perspectives of Autodesk Robot and Revit software for structural analysis in a BIM environment is carried out thanks to the interoperability between these tools that allow a bidirectional link. A workflow is developed that makes it possible to obtain the structural analysis in the Robot Structural program from a geometric model created in Revit. The work scheme is applied to the case study "Nave Universidad de Holguín" obtaining precise data from the analysis of the structure, as part of the solution to tasks of a sectoral project of the MICONS. As a result of the research, University-Company links are strengthened and the use of new technologies is expanded, as well as priority lines of work in the country are promoted. During the investigation, scientific research methods of a theoretical, empirical and statistical-mathematical nature were used; and the APA system is used as a standard for bibliographic editing.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL Y LAS PERSPECTIVAS DE LOS SOFTWARE AUTODESK ROBOT Y REVIT PARA EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL SOBRE PLATAFORMA BIM.....	7
1.1 Generalidades sobre la tecnología BIM.	7
1.1.1 Etapas y áreas abarcadas.	9
1.1.2 Dimensiones de la tecnología BIM.	10
1.1.3 Niveles de desarrollo.	11
1.1.4 Aplicaciones en el ámbito internacional y nacional.	13
1.2 Softwares Autodesk Robot y Revit.	17
1.2.1 Autodesk Revit.	18
1.2.2 Autodesk Robot.....	24
1.2.3 Ventajas y Desventajas de cada software.	27
1.3 Análisis estructural mediante la integración de los softwares Autodesk Robot y Revit.	30
Conclusiones parciales del capítulo.	32
CAPÍTULO 2: ANÁLISIS ESTRUCTURAL EN AUTODESK ROBOT A PARTIR DE UN MODELO GEOMÉTRICO CREADO EN REVIT.	33
2.1 Caso de estudio " Nave Universidad de Holguín ". Procedimiento para el análisis estructural utilizando las herramientas BIM Autodesk Revit y Robot.	33
2.1.1 Esquema de trabajo para el análisis de una estructura en Robot Structural a partir de un modelo creado en Autodesk Revit.	34
2.2 Importación del modelo geométrico creado en Revit. Caso de estudio " Nave Universidad de Holguín ".	35
2.2.1 Creación del modelo analítico.....	36
2.2.2 Exportación del modelo en Revit a Robot Structural.....	39
2.3 Análisis estructural.....	41
2.3.1 Modelación de cargas y combinaciones.	41
2.3.1.1 Creación de los casos de carga.	41
2.3.1.2 Creación de las combinaciones de carga.....	42
2.3.1.3 Aplicación de las cargas.	44
Peso propio de los elementos.....	44
Carga permanente y carga de uso en cubierta.	46
Carga de viento.	49
2.3.2 Cálculo de la estructura.....	53
2.3.2.1 Resultados del cálculo.	53

Conclusiones parciales del capítulo.....	60
CONCLUSIONES GENERALES:	61
RECOMENDACIONES:	62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	63

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el uso de las nuevas tecnologías se ha convertido en una necesidad debido a las ventajas que ofrecen para realizar los nuevos proyectos de construcción, que cada vez son más complejos y exigen el procesamiento de una gran cantidad de información. El uso de las herramientas que brindan las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs) permiten realizar con eficacia en cortos períodos de tiempo hasta los más engorrosos proyectos constructivos. Las herramientas proporcionadas por la metodología BIM (Building Information Modeling) marcan las tendencias actuales en la elaboración de proyectos asistidos por computadoras.

El concepto BIM, existe desde la década del 70, en el año 1975 se publica el primer trabajo sobre BIM por el profesor Charles Eastman. Entre las primeras empresas que implementaron el concepto se encuentra Graphisoft de Hungría, esta lo implemento con el nombre Virtual Building desde 1984 en su programa ArchiCad, también VectorWorks en 1985, estos son reconocidos como los primeros softwares CAD capaces de crear dibujos en 2D y 3D.

El BIM consiste en la recopilación e interacción de la información de un proyecto constructivo en un modelo virtual en 3D, que abarca la geometría y características técnicas de los elementos individuales y los sistemas constructivos que configuran (estructura, cerramientos, instalaciones), las relaciones espaciales entre éstos, la planificación de su construcción, los costes, incluso aspectos medioambientales. Además, esta información puede servir para la gestión posterior del inmueble o de la infraestructura (servicios, mantenimiento, reparaciones) e incluso su demolición al final de su ciclo de vida. (López Vidal, 2016)

La implementación de BIM permite administrar la información del proyecto de un edificio o infraestructura desde la fase de diseño hasta su mantenimiento y operación. El modelo BIM puede manejar toda la información y documentación del proyecto utilizando una base de datos como depósito de un modelo 3D virtual. Las empresas de la industria de la construcción que implementan BIM se benefician del desarrollo de tecnologías colaborativas, la disminución de los costos del ciclo de vida de los proyectos, la integración de soluciones más sostenibles y la mejora de su

competitividad en el mercado. Sin embargo, las empresas que han decidido implementar BIM también están haciendo un esfuerzo para cambiar su cultura de innovación. Al considerar diferentes "conceptos de innovación" y modelos actuales que explican el desarrollo de la innovación de las empresas. (Pinzón Florez, 2020)

Para la implementación de la metodología BIM, existe un nutrido abanico de programas computacionales, que abarcan las distintas etapas del desarrollo de un proyecto de construcción, diseño de arquitectura, modelación y cálculo estructural, diseño de instalaciones sanitarias, eléctricas y de acondicionamiento ambiental, detección de interferencias, cuantificación de materiales y costos, programación de ejecución, programas que tienen la característica de interoperar entre sí mediante el uso de formatos de intercambio, como IFC u otros. (Bilbao Salazar, 2019)

El software **Autodesk Revit** es una de las herramientas más usadas a nivel mundial para el modelado en entorno BIM. Permite crear modelos 3D ricos en datos de todos los elementos del proyecto, para esto cuenta con interfaces para arquitectura, estructuras e instalaciones. El proyecto está definido por familias paramétricas donde todos los elementos del modelo están relacionados, de forma tal que al modificar en cualquier momento y sitio un elemento, este se actualiza automáticamente en todo el proyecto. Cuantifica el modelo, genera una base de datos bidireccional, tablas de cuantificación y gestión de información, facilita el trabajo en equipo mediante la generación de fases y subproyectos.

Dentro de las herramientas para el análisis de estructuras dentro de un entorno BIM encontramos **Autodesk Robot**, considerada a nivel internacional como la mejor para el cálculo, diseño y simulación de estructuras. Robot permite crear estructuras, efectuar cálculos estáticos y dinámicos para luego verificar los resultados. Está integrado por varios módulos, cada uno responsable de una etapa específica dentro del diseño de la estructura (creación del modelo de la estructura, cálculos de la estructura, dimensionamiento, etc.). Posibilita obtener informes de los análisis y la documentación del proyecto.

La interoperabilidad entre los software BIM es una de sus principales fortalezas al permitir compartir la información gracias a la compatibilidad de las herramientas, posibilitando que cada una se especialice en un apartado específico. Autodesk

Robot y Revit resaltan en este aspecto, la última por su parte se especializa en crear modelos de arquitectura, estructuras e instalaciones, mientras que la primera en el cálculo, diseño y simulación de estructuras. Los modelos creados en Revit pueden ser exportados a Robot donde se realiza un análisis estructural detallado del mismo, a partir del cual se puede realizar el diseño o predimensionamiento de una edificación en fase de proyecto o la revisión de una ya construida.

En Cuba se hacen grandes esfuerzos por informatizar la sociedad y se trabaja para la implementación de las nuevas tecnologías en las empresas de la construcción. En este sector hace algunos años se han empezado a usar los softwares BIM, aunque de forma aislada y sin lograr explotar todas sus potencialidades como es la interoperabilidad entre las diferentes herramientas. La Empresa de Servicios de Ingeniería y Diseño (Vértice) de Holguín, utiliza Revit para modelar la arquitectura, estructura e instalaciones de las edificaciones; para realizar el análisis estructural, modela nuevamente en Robot toda la estructura, debido a que cuando exportan los modelos creados en Revit a Robot, se producen errores en el software de cálculo; desaprovechándose los innumerables beneficios que tiene el uso combinado de estos programas en un entorno BIM.

Atendiendo lo anteriormente expuesto se plantea como **problema de investigación**: ¿Cómo realizar el análisis estructural de una edificación a partir de la integración de los softwares profesionales Autodesk Robot y Revit sobre una plataforma BIM? Este problema se concreta en el siguiente **objeto de estudio**: el proceso de modelación de la información de la construcción. Y el **campo de acción**: el análisis estructural de una edificación a partir del empleo de los softwares profesionales de Autodesk "Robot y Revit".

Para contribuir a la solución del problema se determina el siguiente **objetivo general**: realizar el análisis estructural de una edificación a partir de la integración de los softwares Autodesk Robot y Revit sobre una plataforma BIM, que permita obtener los datos precisos necesarios para el diseño o predimensionamiento en fase de proyecto o la revisión de una obra construida.

Objetivos específicos:

1. Analizar el estado actual y las perspectivas de la utilización de los softwares Autodesk Robot y Revit para el análisis estructural sobre plataforma BIM.
2. Elaborar un esquema de trabajo para obtener las solicitudes en el modelo 3D BIM de la edificación "Nave Universidad de Holguín" a partir de la integración de los softwares Autodesk Robot y Revit.
3. Comprobar los resultados del análisis estructural en el caso de estudio "Nave Universidad de Holguín" a partir de la consulta a expertos.

Hipótesis: Si se emplean los softwares Autodesk Robot y Revit en el análisis estructural de una edificación, así como su integración en un consecuente esquema de trabajo, es posible obtener datos precisos contenidos en un modelo BIM.

Métodos de la investigación:

Métodos teóricos:

Histórico – lógico: Se utilizó para analizar la evolución histórica del tema, y el estado actual a nivel nacional e internacional.

Hipotético – deductivo: Se emplea para proponer la hipótesis inicial, la precisión de las variables y deducción de los resultados esperados.

Sistémico – estructural – funcional: Para concebir la estructura y componentes de los programas Robot y Revit, así como la interoperabilidad entre estos.

Análisis – síntesis: Para el análisis de los elementos e informaciones que se refieren al uso de Robot y Revit en la realización del análisis estructural de una edificación en entorno BIM.

Modelación: Para modelar los resultados obtenidos a partir del análisis en Robot.

Métodos empíricos:

Observación científica: Para conocer la realidad del tema y en el diagnóstico del problema de investigación.

Análisis documental: Se empleó en la caracterización empírica del objeto y el análisis histórico del mismo.

Consulta a expertos: Para ampliar y complementar los conocimientos del tema, y comprobar los resultados obtenidos.

Experimento: Se utilizó en la constatación de la hipótesis.

Métodos estadísticos – matemáticos:

Estadístico descriptivo: En la interpretación de los resultados del análisis estructural en Robot y la validación de los mismos.

Aporte: La investigación tiene un importante aporte teórico sobre el uso y las bondades de la tecnología BIM; la implementación de los programas Robot y Revit en la realización del análisis estructural de una edificación, lo que permite obtener datos precisos necesarios para el diseño o predimensionamiento en fase de proyecto o la revisión de una obra construida. Contribuye a la preparación del ingeniero civil en el uso de los softwares BIM en proyectos de estructura.

Novedad: Está dada en la combinación de los softwares Robot y Revit para obtener el análisis estructural de un modelo 3D de una edificación en entorno BIM.

Actualidad del tema: El trabajo responde a una de las tareas de investigación de un proyecto empresarial que contribuye al desarrollo y actualización del modelo económico cubano que llama a la necesidad de fomentar y ampliar el uso de las nuevas tecnologías y a fortalecer el vínculo Universidad-Empresa. Está dentro de una de las líneas del Departamento de Construcciones “Innovación para el desarrollo sostenible”. Tributa al proyecto “Integración Geomática-BIM para el perfeccionamiento de la gestión de proyectos y el control de obras”, que se ejecuta actualmente con la Empresa GEOCUBA Oriente Norte, además está vinculado al programa Sectorial 03 del MICONS “Desarrollo de sistemas y tecnologías para la Optimización de las Inversiones”.

Límite de la investigación: Análisis estructural de la edificación a partir del uso de los softwares Autodesk Robot y Revit.

Estructura de la investigación:

- ✓ Introducción: Revela el diseño de la investigación, se expone la novedad, importancia y actualidad del tema. Se establece el límite del trabajo.

- ✓ Capítulo I: Se analiza el estado actual y las perspectivas de la integración de los softwares Autodesk Robot y Revit para el análisis estructural sobre plataforma BIM.
- ✓ Capítulo II: Se elabora un esquema de trabajo para la aplicación e integración de los softwares Autodesk Robot y Revit en el análisis estructural de una edificación. Caso de estudio " Nave Universidad de Holguín " .

CAPÍTULO 1: ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL Y LAS PERSPECTIVAS DE LOS SOFTWARE AUTODESK ROBOT Y REVIT PARA EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL SOBRE PLATAFORMA BIM.

1.1 Generalidades sobre la tecnología BIM.

El término BIM se refiere al conjunto de metodologías de trabajo y herramientas caracterizado por el uso de información de forma coordinada, coherente, computable y continua; empleando una o más bases de datos compatibles que contengan toda la información en lo referente al edificio que se pretende diseñar, construir o usar. Esta información puede ser de tipo formal, pero también puede referirse a aspectos como los materiales empleados y sus cualidades físicas, los usos de cada espacio y la eficiencia energética de los cerramientos. (Villena Zúñiga, 2017)

Es necesario aclarar que BIM no es un software, aunque obviamente el software forma parte de él. BIM es un método de trabajo que se define en el contexto de la cultura colaborativa y de la práctica integrada, y supone una profunda transformación que afecta a todos los procesos de diseño, constructivos y de gestión de activos que hemos conocido hasta ahora.

Este nuevo método de trabajo, integra a todos los agentes que intervienen en el proceso de edificación, arquitectos, ingenieros, constructores, promotores, facilities managers, y establece un flujo de comunicación transversal entre ellos, generando un modelo virtual que contiene toda la información relacionada con el edificio durante todo su ciclo de vida, desde su concepción inicial, durante su construcción y toda su vida útil, hasta su demolición. (KAIZEN, 2020)

Los proyectos desarrollados con esta tecnología, desde sus inicios se crean en 3D, dándole volumen y la forma real de todos los elementos. A los que se les puede asociar de forma inmediata los productos y materiales reales que se van a utilizar para la construcción, también se les pueden ir añadiendo los costos, a partir de los cuales se va creando automáticamente el presupuesto de la obra.

La información concentrada y registrada en este modelo virtual es muy diversa y cada vez más completa. Va desde los agentes intervinientes en el proceso, el propio modelo del edificio, aspectos técnicos, estructurales, de instalaciones, de eficiencia

energética, económicos, de materiales, comerciales, fases de ejecución, mantenimiento y administración.

Cada agente que interviene en el proceso de edificación, es parte del método de trabajo BIM, cada uno de ellos tiene unas competencias propias y acceso a la parte de información que le es relevante. Por eso es fundamental que todos ellos conozcan el método y cómo funcionan sus herramientas.

El entorno de trabajo BIM supone la asignación de funciones a personas concretas con unas habilidades o conocimientos específicos para su intervención en un proyecto bajo diferentes perspectivas. Dependiendo de la envergadura de un proyecto, la relación personas-rol puede ser diferente y en cada caso se debe adoptar la configuración más eficiente del equipo que participa. En algunas ocasiones, una misma persona puede asumir más de un rol. En otros, hace falta un nivel de especialización alto y un determinado rol es llevado a cabo por un especialista en los conocimientos de aquel rol. (Bermejo Nualart, Coloma Pico, & Diéguez Lorenzo, 2019)

BIM se está convirtiendo en un lenguaje mundial en el sector de la construcción y las infraestructuras, al permitir una mayor colaboración y circulación de las capacidades a través de las fronteras. Se prevé que BIM se convertirá en la norma para la ejecución de los proyectos de infraestructura pública en todo el mundo. (EUBIM TASKGROUP, 2017)

Es fundamental aclarar que BIM no es un “todo o nada”, sino que existen ciertos niveles de desarrollo que evolucionan desde un nivel básico de proyecto (forma e información general del edificio/infraestructura y sus unidades constructivas) y va profundizando en la medida que se añade mayor contenido de información (económica, secuencia constructiva, logística, medioambiental) hasta llegar a un nivel máximo en que se logra una representación virtual completa del proyecto construido. (López Vidal, 2016)

El modelado de la información de la construcción es el paso del diseño y la construcción analógica a la digital. Es una tecnología basada en modelos vinculada con una base de datos de información de proyectos y preparada para cambiar

fundamentalmente la forma en que se construyen los proyectos y la forma en que las partes interesadas se comunican entre sí.

Es una tecnología relativamente nueva en una industria que suele tardar en adoptar el cambio. Sin embargo, muchos de los primeros usuarios confían en que crecerá para jugar un papel aún más crucial en la construcción de documentación.

1.1.1 Etapas y áreas abarcadas.

Toda la información del proyecto, incluyendo las áreas de trabajo involucradas, se introduce en un modelo único tridimensional. Además, los materiales y productos tienen asociadas sus características físicas y funcionales, como el peso, la resistencia y el fabricante.

De esta forma los componentes físicos de las distintas disciplinas que participan en el proyecto son visualizados en tres dimensiones, permitiendo el cálculo de materiales y la definición de especificaciones. Entre las principales áreas y tareas que cubre el modelo se encuentran:

Arquitectura: Plantas de distribución, cortes, planta de localización con terreno, vistas volumétricas, cuadros de puertas y ventanas, cuadro de acabados.

Diseño interior: Carpinterías, cielorrasos, vistas de presentación con materiales.

Estructuras: Plantas de fundaciones, plantas de columnas, plantas de estructura de las losas, estructura de cubierta y elevaciones de cada eje.

Ingeniería mecánica: Diseño de aire acondicionado, cuadros de volúmenes de aire y circulación mecánica.

Ingeniería eléctrica: Planta de luminarias, planta cableado de energía y cuadro de cargas.

Ingeniería sanitaria: Planta de red de agua fría, alcantarillado y distribución de gas.

Construcción: Programación de fases de construcción, actualización del modelo según lo construido y coordinación técnica.

Instalaciones de seguridad: Protección al fuego, sistemas de detección, sistemas de extinción y evacuación.

1.1.2 Dimensiones de la tecnología BIM.

Las distintas etapas de diseño y gestión de una infraestructura, junto con las fases de mantenimiento y desmantelamiento de la misma, transcurren inmersas en una dinámica de trabajo en la que pueden destacarse varias dimensiones. La mayoría de los textos citan hasta siete dimensiones, aunque algunos hacen referencia hasta una dimensión 10D.

Dimensión 1D (La idea): Todo proyecto implantado de acuerdo a la metodología BIM parte de una idea inicial. En esta primera dimensión se incluirían actuaciones tales como la determinación de la localización y las condiciones iniciales de la estructura.

Dimensión 2D (El boceto): Tras la fase inicial, se procede a la preparación de la fase de boceto, en la cual se determinan las características genéricas del proyecto. Forman parte de esta fase la preparación de la modelación mediante el software BIM, el planteamiento de los materiales, la definición de las cargas estructurales, la determinación de la dimensión energética del proyecto y el establecimiento de las bases para la sostenibilidad general de este.

Dimensión 3D (El modelo gráfico tridimensional): Una vez recopilada la totalidad de la información respectiva a las dos primeras dimensiones, es momento de proceder a la modelación geométrica de la infraestructura en formato 3D. Todos los entes involucrados se coordinan para el control de la calidad y el estudio de la viabilidad de la construcción.

Dimensión 4D (El tiempo): He aquí la principal seña de identidad que caracteriza y diferencia a BIM de otras metodologías y/o softwares de trabajo tradicionales: el dinamismo. Frente a los modelos de proyecto puramente estáticos en la realidad, la metodología BIM aporta una nueva dimensión temporal. Se pueden realizar simulaciones de fases de ejecución y revisiones del estado de demora o adelanto. Aquí se incluyen el tiempo de instalación, el tiempo de funcionamiento y la conservación de los materiales, entre otros factores.

Dimensión 5D (El coste): Esta fase comprende el análisis y estimación de los costes del proyecto, además de su control a medida que este avance o se vea modificado. Al integrar BIM información detallada de cada una de los elementos integrantes, es

relativamente sencillo generar informes presupuestarios en cualquier momento de la vida de la infraestructura. Todas las dinámicas de gestión y control de proyecto en este sentido van directamente relacionados con mejorar la rentabilidad del proyecto.

Dimensión 6D (El análisis de sostenibilidad): En esta fase se plantea y simula el desarrollo sostenible de la construcción para determinar cuáles son las opciones más adecuadas desde el punto de vista ambiental, económico y social. Algunos parámetros interesantes para esta dimensión son por ejemplo la conductividad térmica, el aislamiento acústico, viscosidad, lúmenes, potencias o reflectividad entre otras. Cada elemento incorpora sus características específicas por defecto, no es necesario que el diseñador las introduzca.

Dimensión 7D (La gestión del ciclo de vida): Aquí se establece la gestión del mantenimiento y se organiza toda la información final de la construcción para determinar las operaciones a llevar a cabo durante la vida útil de la misma.

De esta forma, existe un proceso de modificación y retroalimentación continuas que registran todas las variaciones entre el proyecto inicial y la realidad, de tal manera que exista una total correspondencia entre el modelo BIM y el resultado real.

1.1.3 Niveles de desarrollo.

El Nivel de desarrollo viene definido por las siglas LOD (Level of development). Está definido por el instituto Americano de Arquitectura como el nivel de desarrollo o madurez de la información que posee un elemento del modelo, y este es la parte de un componente, sistema constructivo o montaje del edificio. (González Pérez, 2015)

La Asociación Americana de Arquitectos, define cinco tipos de niveles de desarrollo aunque señala que cualquier agente tiene la libertad de incluir otros niveles de desarrollo dependiendo de sus necesidades. Estos cinco niveles definidos varían en el nivel de madurez del elemento, a medida que aumenta el LOD son añadidos más parámetros al modelo y además estos se van convirtiendo en parámetros modificables.

Existe una relación entre los niveles de desarrollo y la función que el elemento muestra. Es decir, un nivel LOD 100 nos permite estimar en su conjunto como va a ser el elemento; LOD 200 de una manera más específica, LOD 300 ofrece tanto

detalle como para poder “comprarlo”, LOD 400 define la instalación o construcción del elemento y LOD 500 su mantenimiento. (González Pérez, 2015)

A continuación se describen los niveles mencionados anteriormente:

- LOD 100: Es el nivel básico. Puede estar representado simplemente por un símbolo o un elemento genérico, no es necesaria una representación geométrica. En este nivel se precede al análisis en base de dimensiones geométricas si existen o la ubicación respecto a otros elementos. Además, es factible para la determinación de costes en función de parámetros como área, volumen o longitud. Por último, permite ser utilizado para la programación de fases y duraciones.
- LOD 200: En este nivel de desarrollo ya se comienza a definir el elemento gráficamente y se especifican, si bien aproximadamente, su tamaño o forma. Destacar que es el primer nivel donde se puede incluir información no gráfica, es decir, parámetros como puede ser el coste, peso, fabricante y manuales. El elemento puede ser analizado para su funcionamiento en base a criterios generales de proyecto, corresponde a este nivel la estimación de costes vinculados a datos geométricos, puede ser utilizado para mostrar planificación de tiempos y por último, el elemento puede ser utilizado para coordinarse con otros elementos de proyecto en base a dimensiones, ubicación, trayectorias y criterios de prioridades.
- LOD 300: Se definen de forma precisa características gráficas como tamaño, forma, y/o ubicación. Además el elemento queda definido con detalle geométricamente, así como su posición, pertenencia a un sistema constructivo específico, uso y montaje, dimensiones, forma, ubicación y orientación. Además cabe la posibilidad de incluir información no gráfica vinculada al elemento. Los costes son valorados de una manera específica y precisa en base a datos concretos de fabricación y puesta en obra. La planificación y la coordinación no varían respecto al LOD anterior.
- LOD 400: El elemento es definido geométricamente en detalle, así como su posición, pertenencia a un sistema constructivo específico, uso y montaje en términos de cantidades, dimensiones, forma, ubicación y orientación con detallado completo, información de fabricación específica para el proyecto, puesta en

obra/montaje e instalación. También cabe la posibilidad de incluir información no gráfica vinculada al proyecto.

- LOD 500: El elemento constructivo está definido geométricamente en detalle, así como su posición, pertenencia a un sistema constructivo específico, uso y montaje en términos de cantidades, dimensiones, forma, ubicación y orientación. También se indica la posibilidad de incluir información no gráfica vinculada al elemento. Este nivel es prioritario, es decir, sustituye a la información que pueda haber en conflicto con otros niveles. Está pensado para el futuro por ello debe incluir determinación del estado actual, especificaciones y aprobaciones de productos, uso y mantenimiento, directos e indirectos, gestión y explotación, así como renovaciones y modificaciones. Este nivel está relacionado con el llamado “as built”.

1.1.4 Aplicaciones en el ámbito internacional y nacional.

Aunque el proceso de implementación de BIM en el campo de la construcción no ha sido tan rápido como en otros campos, actualmente se ha venido presentando un mayor auge en temas relacionados con el mejoramiento de las tecnologías y su implementación como un elemento que brinda una ventaja frente a otras empresas que compiten en el mismo campo de la construcción. Según encuestas mundiales realizadas para el seguimiento de la evolución y la aplicación de BIM en la industria mundial de la construcción desde 2001, se encontraron cambios significativos en ese período y aumentos bastante dramáticos de la aplicación durante los últimos años en particular. (Polanco Guerra, 2019)

El sistema BIM es conocido y utilizado a nivel mundial por la mayoría de países desarrollados y en vía en desarrollo. Entre estos los más representativos son Estados Unidos, Canadá, Finlandia, Singapur, Irán, India, Corea del Sur, Francia, Holanda y el Reino Unido. En lo que respecta a Sudamérica, recién a partir del año 2006 se ha implementado el uso de las nuevas tecnologías en Brasil, para luego integrarse Chile, México y Colombia. Actualmente en el Perú, las empresas más prestigiosas del medio se encuentran en plena investigación, implementación, desarrollo y experimentación de estas innovadoras herramientas para el continente.

Hoy en día a nivel internacional son numerosos los proyectos que se han desarrollado con la tecnología BIM, destacándose la construcción de obras como estadios, aeropuertos, hoteles, centros de exposiciones, hospitales, escuelas y viviendas. A continuación en la Figura 1.1 y Figura 1.2 se muestran ejemplos de obras que se desarrollaron bajo esta tecnología.



Figura 1.1: Estadio Nacional de Singapur. Fuente:
(<http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-para-el-deporte/estadio-nacional-de-singapur>)



Figura 1.2: Filarmónica de París. Fuente:
(<https://es.wikiarquitectura.com/edificio/filarmonica-de-paris/>)

En Cuba la introducción de la tecnología BIM ha sido paulatina impulsada por los procesos de informatización de la sociedad que desarrolla el país. La Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas (EMPAI), en el año 2014, fue la

primera entidad de su tipo en el país en implementar el uso de esta metodología. En ese año 2014, de mucha experimentación y tropiezos, el Grupo de Proyectos de la EMPAI destinado al desarrollo del polo turístico de Varadero alcanzó el éxito con esta tecnología al diseñar el teatro de animación del complejo hotelero Las Conchas. Ese objeto de obra marcó el punto de partida.

Actualmente en el país numerosos de los hoteles que se construyen utilizan la tecnología, tanto así que existe una guía de usuario orientada a estandarizar la metodología de trabajo BIM llamada Manual Estándar BIM-BBI creada por un equipo de trabajo en conjunto con otros profesionales al cual pertenece el arquitecto peruano José Manuel Galfré el cual pertenece a la empresa francesa Bouygues Bâtiment International (BBI).

En Cienfuegos la Empresa de Diseño e Ingeniería (IDEAR) en aras de ir introduciendo las tecnologías BIM desde 2015 se vienen preparando algunos proyectistas en el tema. Para esto se aplicó un plan para implementar la tecnología, plan de formación que abarcó con el inicio de formación en curso básico sobre BIM y Revit en la Habana. Posteriormente se sigue ampliando con superación específica para BIM Managers y especialidades (MEP) en Matanzas. Entre los proyectos que han desarrollado empleando la tecnología BIM se encuentran: Proyectos Ejecutivos para Ampliación Oficinas del aeropuerto Internacional Abel Santamaría Cuadrado de Villa Clara, Fábrica de fertilizantes NPK Cienfuegos y diseño conceptual Hotel San Carlos Cienfuegos.

La ENPA, UEB Villa Clara es una construcción dedicada a Centro de Confección de Proyectos. Tiene la misión de brindar los servicios de Consultoría, Ingeniería, Diseño y Topográficas a los Programas de Desarrollo Agropecuario y Forestal del territorio. La ENPA se destaca por ser una de las empresas que sobresale en el uso de la tecnología BIM como herramienta para la gestión integrada de proyectos. Llevan aplicando en su empresa esta metodología de trabajo desde los últimos años y ha demostrado ser eficiente debido a la significativa cantidad de recursos que ahorra. Un recurso importantísimo en un proyecto es el tiempo y con la utilización de esta tecnología se ahorra hasta en un 80 % la duración de los proyectos en la Empresa.

En Holguín la Empresa de Servicios de Ingeniería y Diseño (VÉRTICE) se destaca por los avances alcanzados en materias de implementación de la metodología BIM. Para la implementación de esta metodología fueron preparados por el BIM Manager de la EMPAI Matanza Eddy Junco Deroncelé, durante un curso de 15 días se adiestraron dos representantes de cada especialidad y un BIM Manager. El primer proyecto donde empezaron a utilizar la tecnología fue en el hotel Baracutey 59, donde se modeló la arquitectura de tres objetos de obra (Bar de Playa, Punto Náutico y Club de Niños). La madurez la lograron en los proyectos del Centro de Servicio Extrahotelero de Baracutey y el hotel Baracutey 61 donde trabajaron todas las especialidades (Arquitectura, Estructura e Instalaciones Eléctricas y Sanitarias) en BIM. Hoy en día la empresa trabaja con la metodología BIM en varios proyectos pertenecientes a la hotelería y extiende el uso de la tecnología a otros servicios como Viviendas UEB Cemento Holguín y Campismo Cayo Guan.Moa. (Pelfort Tamayo, 2021)

A continuación se muestran algunas de las obras que se han desarrollado con Sistema BIM en el país; Figura 1.3, Figura 1.4 y Figura 1.5.

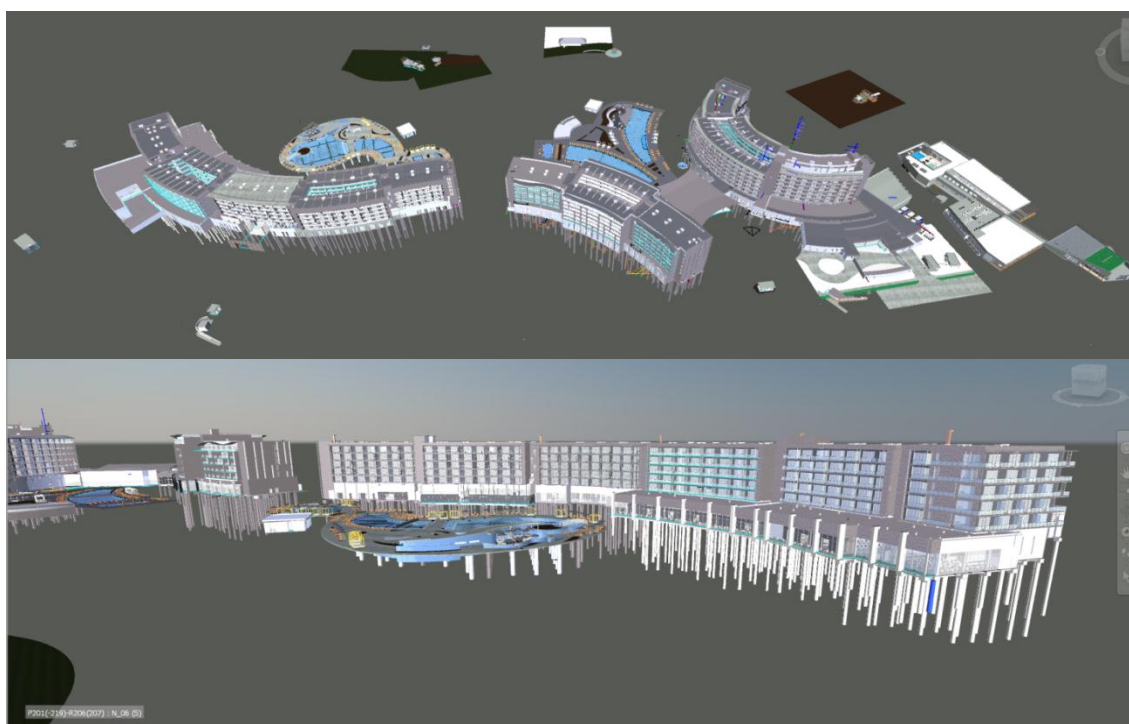


Figura 1.3: Modelo Hotel Oasis. Fuente: (Pelfort Tamayo, 2021)



Figura 1.4: Vistas Hotel Internacional. Fuente:
(<https://constructivo.com/noticia/priorizan-en-cuba-construccion-del-hotel-internacional-de-varadero-1515073879>)

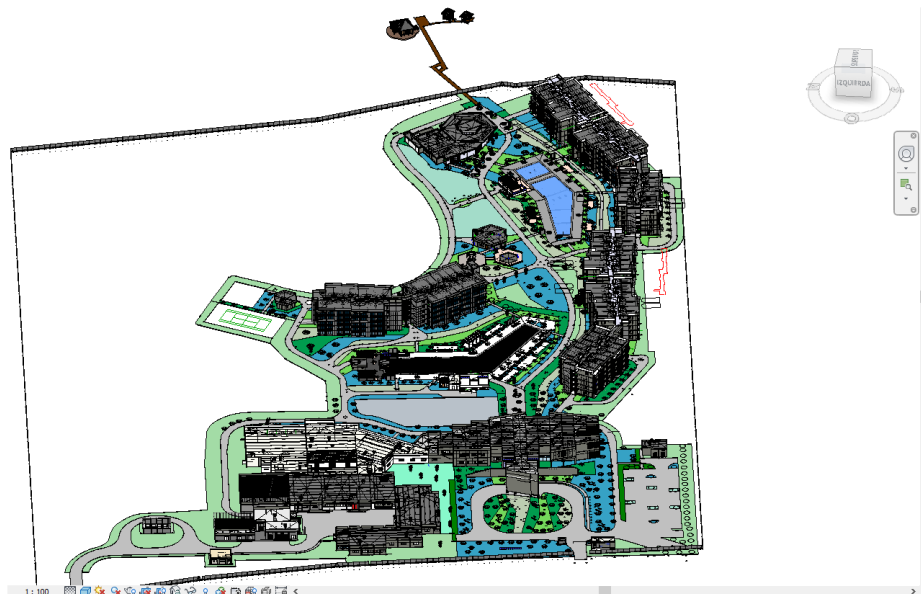


Figura 1.5: Modelo Hotel Baracutey 61. Fuente: (Pelfort Tamayo, 2021)

1.2 Softwares Autodesk Robot y Revit.

Entre las herramientas BIM más utilizadas a nivel mundial en el modelado y análisis de edificaciones encontramos los softwares Autodesk Robot y Revit. Estos programas de la compañía Autodesk permiten crear un flujo de trabajo eficiente, rápido y preciso; capaz de modelar, calcular, predimensionar, dimensionar y simular hasta las más complicadas estructuras obteniendo resultados confiables y precisos.

1.2.1 Autodesk Revit.

Revit es el software con tecnología BIM de Autodesk, su historia se remonta a 1997 cuando un grupo de programadores que había trabajado en el programa Pro-Engineer decidió unirse para crear un programa paramétrico para arquitectura, para ello fundaron Revit Technology Corporation que lanzó “Revit” con el eslogan “Revise Instantly” (cambios actualizados instantáneamente en todos los espacios del dibujo). El éxito del software fue limitado debido a la costumbre entre los arquitectos de usar programas en 2D como AutoCAD o MicroStation. (Cámac Leonardo, 2015)

Sin embargo, el interés por Revit fue creciendo a medida que el concepto BIM se difundía entre los diseñadores y sus enormes ventajas eran más evidentes. En el año 2000 ya el interés por Revit había llegado a preocupar tanto al gigante Autodesk como para considerarlo un rival demasiado fuerte para su producto Architectural Desktop. En 2002 Autodesk aplicó una solución clásica de los gigantes, compro Revit Technology Corporation y a partir de ese momento con sus enormes recursos financieros a desarrollado un magnifico programa BIM que está llamado a dominar el mercado. (Cámac Leonardo, 2015)

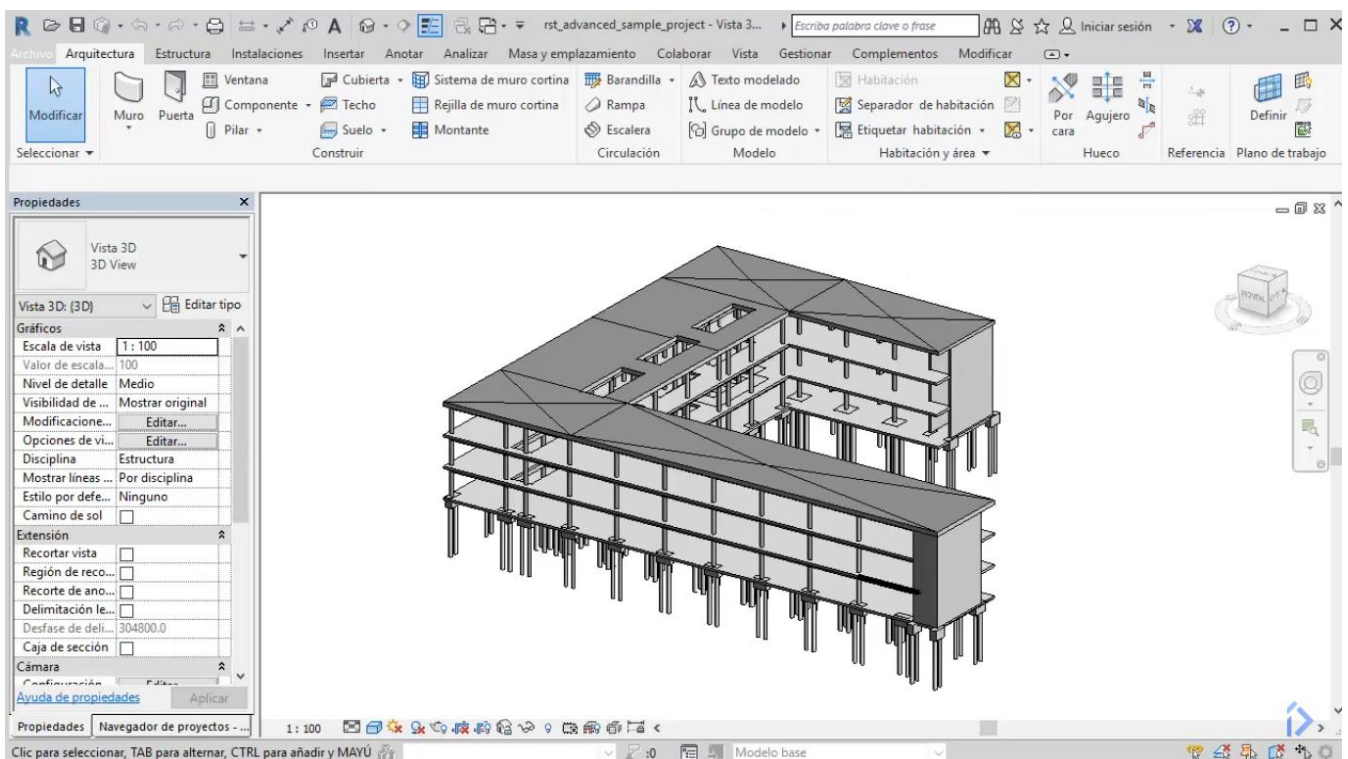


Figura 1.6: Estructura Modelada en Autodesk Revit. Fuente:
(<https://construccionafondo.blogspot.com/2019/02/planos-estructurales-en-revit-2018>)

Autodesk Revit es un programa especializado para el diseño y modelación de elementos de la construcción, que permite a los usuarios realizar trabajos con mayor precisión, calidad y economizar tiempos de manera significativa, debido a que su plataforma se maneja con el sistema BIM permite que todos los datos procesados, y que en algún momento se vean modificados se puedan actualizar en tiempo real en los diferentes ambientes en los cuales se maneja como son: estructural, arquitectónico, instalaciones eléctricas y sanitarias. (Villena Zúñiga, 2017)

Es un programa dirigido a profesionales de la construcción: equipos de diseño - arquitectos, aparejadores e ingenieros, jefes de obra, contratistas, subcontratistas, fabricantes, interioristas, decoradores, promotores, y propietarios. Es un sistema de diseño y documentación de un proyecto de construcción, las iniciales BIM están referidas a la compartición por los múltiples agentes implicados de la información del modelo constructivo, entendiendo este como un desarrollo continuo, desde los primeros croquis y análisis del modelo, pasando por el anteproyecto, el proyecto básico, el proyecto de ejecución, la obra, el control de calidad, la gestión de residuos, hasta las últimas fases de mantenimiento y conservación del edificio.

Con Revit se pueden crear modelos BIM que incluyan la información de la arquitectura, estructuras e instalaciones que permitan visualizar, comunicar y coordinar el proyecto entre el especialista y el personal involucrado en el proyecto. Asimismo, puede conseguir un nivel completo y avanzado de documentación del proyecto de construcción, logrando en conjunto una mayor eficiencia y colaboración entre especialidades. Al usar Revit es posible maximizar la predicción del rendimiento antes de la construcción, con herramientas que ayuden a los arquitectos e ingenieros a crear modelos analíticos arquitectónicos, estructurales así como los relacionados a las instalaciones y a mantener la coherencia en cada modelo.

Sin embargo, es importante saber que no es una herramienta de dibujo, sino una de modelado, que hace una construcción virtual. Basado puramente en 3D, no dibuja simplemente líneas sino directamente sólidos paramétricos dentro de un solo modelo 3D. Esto en el futuro será el lenguaje universal de los proyectos.

Con su tecnología de cambio paramétrico, se puede hacer cualquier cambio, en cualquier momento, en cualquier lugar y Revit coordina automáticamente ese

cambio en todo el proyecto (vistas de modelo, hojas de dibujo, tablas, secciones y planta). Su diseño y documentación permanecen coordinados, consistentes y completos.

Principales características del programa:

- **Componentes de diseño y construcción:** El programa cuenta con herramientas para diseñar el edificio desde su conceptualización hasta la planimetría de la construcción. Esto abarca detalles en muros, pisos, cielos y cubiertas, incluyendo los muros cortina. Además, permite realizar un estudio volumétrico mediante masas, calcular áreas por pisos y experimentar con texturas, materiales y colores, entre otras aplicaciones.
- **Sombras Vectoriales:** Al realizar cualquier cambio en la estructura, orientación y otros detalles que modifiquen la disposición de elementos frente a la luz, las sombras se ajustan inmediatamente, permitiendo visualizar el efecto de los cambios en la iluminación.
- **Perspectivas seccionales:** Permite analizar todos los ángulos del edificio desde distintas perspectivas y en distintas secciones, incluyendo vistas con líneas ocultas, sombras y siluetas.
- **Modelo de proyecto integrado:** Posee un conjunto de herramientas para coordinar las distintas áreas del proyecto, sus documentos e información relacionada. Produce referencias automáticas de dibujo, estima costos, permite modificar la geometría solo al ingresar números, coordina las versiones para que todos los datos, gráficos, detalles y dibujos estén actualizados en todas partes, entre varias otras funciones orientadas a optimizar los tiempos y mejorar la calidad de las entregas.
- **Modelado de terreno y exteriores:** Permite diseñar el edificio tomando en cuenta el contexto exterior, entregando diseños de pisos y patrones. También ofrece una biblioteca con vegetación y otros elementos, como la maquinaria de construcción, para planificar los procesos de construcción de forma adecuada.
- **Ambiente de trabajo multidisciplinario:** Los distintos equipos pueden trabajar de forma simultánea en un edificio y el programa coordinará todos los cambios ingresados.

- Presentación y visualización: Cuenta con renderización integrada que incluye puertas, ventanas y tragaluces en sus cálculos para simular las condiciones de luz natural, entre varias otras funciones. También realiza análisis de área para producir esquemas, tiene un pantone integrado y permite exportar a PDF para imprimir o enviar vía email.

Revit Architecture

Autodesk Revit Architecture es el software estrella de diseño de arquitectura; es el más utilizado en el sector por una razón fundamental: es capaz de aprovechar como ningún otro todo el potencial de BIM y en consecuencia, aporta las mayores ventajas y beneficios que esta metodología proporciona. Es utilizado por arquitectos y diseñadores para desarrollar diseños arquitectónicos con mayor calidad y precisión. Permite capturar y analizar conceptos mientras conserva la visión en las fases de diseño, documentación y construcción. Proporciona herramientas adecuadas para evaluar la viabilidad de la obra y la finalidad del diseño antes de empezar a construir, ayuda a utilizar modelos avanzados para conocer más rápido los medios, los métodos, los materiales y cómo interactúan para hacer realidad el diseño del proyecto. (González Sato, 2018)

Ofrece nuevas herramientas de diseño conceptual fáciles de usar que respaldan su flujo creativo. Dibujar con libertad, crear modelos de forma libre fácilmente y manipular las formas de forma interactiva. Puede definir formas y geometrías como componentes reales de construcción para una transición fluida al desarrollo de diseño y la documentación. A medida que diseña, construye automáticamente un marco paramétrico alrededor de sus formularios, ofreciendo mayores niveles de control, precisión y flexibilidad. Puede llevar el diseño desde el modelo conceptual hasta el modelo final totalmente controlado.

Los componentes paramétricos, también conocidos como familias, son base para todos los componentes de construcción diseñados en Revit Architecture. Ofrecen un sistema gráfico abierto para el diseño, así como la oportunidad de expresar intención de diseño en niveles cada vez más detallados. Usar componentes paramétricos para los conjuntos más elaborados, como armarios y equipos, así como para las partes más elementales de la construcción, como paredes y columnas.

Revit Structure

Autodesk Revit Structure es una herramienta BIM especialmente enfocada para los ingenieros estructurales pues les permite diseñar todos y cada uno de los elementos estructurales de un proyecto de construcción, ofreciendo un elevado nivel de detalle y una muy elevada precisión espacial. Brinda modelación física y analítica para hacer diseños, coordinación y documentación, como también enlaces bidireccionales a aplicaciones de análisis que son líderes en la industria. (EADIC DEL PERÚ, 2019)

Esta herramienta permite modelar la estructura como volúmenes, de cualquier material estructural, tanto sea hormigón armado o prefabricado, estructuras metálicas, de madera, y en el caso del hormigón armado podremos modelar las barras de acero que dicho hormigón contenga, pero nunca como resultado de cálculo. El programa nos va a permitir introducir cargas, comprobar geometrías, para que la transición a cualquier programa de cálculo sea lo más limpia posible. Es evidente que el programa de cálculo de estructuras que mayor compatibilidad tiene con Revit, será Robot Structural Analysis. (ESDIMA , 2018)

Se puede modelar desde el borrador o sobre archivos 2D CAD hechos por el arquitecto. Para tener una coordinación aún más poderosa, puede hacer enlace directamente a modelos arquitectónicos 3D inteligentes desde los softwares AutoCAD Architecture o Revit Architecture.

El programa mejora la forma en que trabajan los ingenieros estructurales y los redactores. Minimiza las tareas repetitivas de modelado y dibujo, así como los errores debidos a la coordinación manual entre ingenieros estructurales, arquitectos y dibujantes. Ayuda a reducir el tiempo de producción de planos de construcción final y aumenta la precisión de la documentación, mejorando los resultados del proyecto general para los clientes.

Facilita crear textos destacados para detalles típicos y específicos. Se pueden crear hojas enteras de detalles típicos desde cero utilizando sus herramientas tradicionales de dibujo 2D. Los diseñadores también pueden importar detalles DWG del software AutoCAD y vincularlos a Revit Structure, utilizando el navegador del proyecto para administrarlos.

Los detalles específicos provienen directamente de las vistas del modelo. Estos detalles basados en modelos se completan con componentes paramétricos 2D (plataforma de metal, unidad de mampostería de concreto, pernos de anclaje en zapatas, cierres, símbolos soldados, placas de conexión de acero, barras de hormigón, y más) y anotaciones como texto y dimensiones.

El modelo analítico contiene información como cargas, combinaciones de cargas, tamaños de miembros y condiciones de publicación para su uso en aplicaciones líderes de análisis de terceros. Podría ser todo el modelo de construcción, un ala del edificio o incluso un único armazón estructural. Los ingenieros utilizan filtros de selección con condiciones de contorno estructural para enviar subestructuras (como un marco, piso o ala del edificio) a su software de análisis sin enviar todo el modelo. (González Sato, 2018)

Revit MEP

Autodesk Revit MEP (Mecánica, Eléctrica y Tubería) es una herramienta intuitiva de diseño de sistemas mecánicos, eléctricos y de tuberías que permite una coordinación mejorada y un diseño rápido dentro de un modelo de información de edificios. Optimiza la ingeniería de sistemas a través del dimensionado y diseño del sistema basado en datos. (ARCUX, 2021)

Proporciona herramientas integradas de análisis de cargas de calefacción y refrigeración para ayudar a realizar análisis de energía, evaluar cargas del sistema y producir informes de carga de calefacción y refrigeración para un proyecto. Proporciona un diseño de sistemas óptimo con el mismo modelo de información integral, con escenarios realistas de diseño en tiempo real que ayuden a una mejor toma de decisiones.

Los programas de cálculo incorporados permiten realizar cálculos de tamaño y pérdida de presión de acuerdo con métodos y especificaciones estándar de la industria. Las herramientas de dimensionado del sistema actualizan instantáneamente el tamaño y los parámetros de diseño de los elementos de conductos y tuberías, sin necesidad de intercambios de archivos ni de terceros. Se puede seleccionar un método de dimensionado dinámico para los sistemas de conductos y tuberías utilizando las herramientas Dimension Duct y Pipe Sizing.

Utilizando modelos de dimensionado de fricción, velocidad, recuperación estática del conducto. Utilizar el modelado de velocidad o fricción para el dimensionamiento de tuberías.

Facilita verificaciones de continuidad del modelo en tipos de sistemas definidos, observar rápidamente las cargas desequilibradas e identificar elementos huérfanos no conectados a los sistemas. Ayuda a garantizar que todos los elementos del sistema mecánico, eléctrico y de tuberías estén conectados y contribuyan a los requisitos de carga del sistema para un dimensionado preciso. El software Revit MEP brinda a los ingenieros la confianza de que los diseños de sistemas mecánicos, eléctricos y de tuberías están completos. (Marín, 2020)

1.2.2 Autodesk Robot.

En el 2007 la compañía Autodesk adquirió la empresa ROBOBAT, con la intención de que su producto estrella Robot Millenium, el software de cálculo estructural más influyente del mercado global en aquel momento, se convirtiera en el programa de referencia en el cálculo de estructuras a nivel internacional, propósito que fue alcanzado. Autodesk Robot ha supuesto una enorme ayuda para los profesionales gracias a su enorme potencia, y amplias posibilidades para el intercambio de información con otros programas con Microsoft Excel, Autodesk structural detailing, AutoCAD, siendo por tanto el programa de cálculo que mejor se integra en el entorno BIM de Revit.

Autodesk Robot Structural es una herramienta avanzada de análisis estructural que permite realizar análisis lineales y no lineales de los modelos de construcción, puentes y otros tipos de estructuras industriales. Este programa nos permite definir una amplia gama de análisis avanzados como análisis estáticos, modales, sísmicos, espectrales, armónicos y de historial de tiempo. Además, es posible efectuar el dimensionamiento de los elementos que componen la estructura en base a diferentes normativas y crear la documentación correspondiente. (Vásquez Carrillo, 2018)

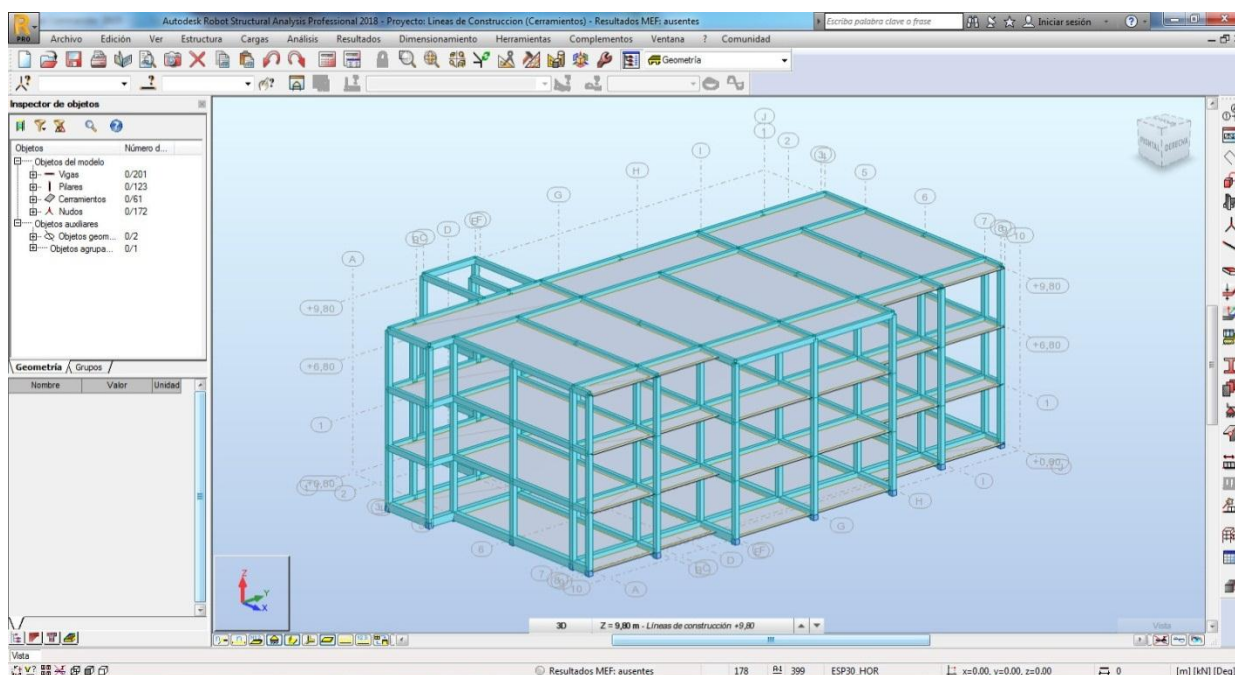


Figura 1.7: Estructura Modelada en Autodesk Robot. Fuente: (Elaborado por el autor)

Este software de ingeniería estructural es suficientemente versátil tanto para análisis de armados sencillos como para complejas estructuras de elementos finitos y ofrece un flujo de trabajo bastante ágil además de la interoperabilidad con Autodesk Revit Structure para ampliar BIM, que es una técnica de modelado de información aceptada como estándar a nivel mundial, así como una interfaz abierta de programación de la aplicación.

Posee más de 60 bases de datos de materiales y secciones procedentes de todo el mundo, además de contar con una matriz de 70 códigos de diseño, los ingenieros de estructuras pueden trabajar con formas de sección específicas de cada país, unidades imperiales o métricas, así como con códigos de construcción específicos del país con el mismo modelo. (Echevarría Landeta, 2016)

Principales características del programa:

- La definición completa de la estructura efectuada de modo gráfico en el editor gráfico (también es posible cargar, por ejemplo, archivos de formato DWG, DXF, SAP 2000, STAAD y otros conteniendo la geometría de la estructura, las cuales se han preparado en diversos programas graficadores como AutoCAD u otros programas de cálculo estructural).

- La facilidad de vincular bidireccionalmente o importar la estructura ya creada desde el Revit Structure.
- La posibilidad de presentar en modo gráfico la estructura diseñada y los resultados de cálculos (fuerzas, desplazamientos, trabajo simultáneo en varias ventanas en la misma pantalla).
- La posibilidad de efectuar el análisis dinámico y estático de estructuras.
- La modelación y el cálculo por elementos finitos.
- La facilidad de crear secciones y materiales personalizados.
- La posibilidad de composición arbitraria de copias impresas (notas de cálculo, captura de pantalla, composición de copia impresa, planos de detalle, copia de objetos a otros programas).
- La oportunidad de exportar los planos a AutoCAD Structural Detailing para lograr el manejo y presentación de planos con alto nivel de detalle.

Según (2ACAD, 2019) entre las cualidades que más se destacan de Robot encontramos las siguientes:

Análisis por el método de elementos finitos (MEF): Robot Structural Analysis Professional efectúa detallados análisis por elementos finitos constituyéndose en una práctica propuesta para un Calculista de Estructuras. El programa incluye barras, placas, láminas, estructuras en tensión plana o en deformación plana, estructuras axi-simétricas, uniones y sólidos. Los elementos pueden ser combinados a elección para componer estructuras de pórticos y superficies. En este sentido, es posible modelizar una estructura completa y estudiar la estabilidad y el descenso de cargas.

Simulación de la carga de viento: El programa incorpora una herramienta dinámica de fluidos computacional (CFD), aplicable a todos los tipos de estructuras, que permite a los usuarios someter rápidamente sus modelos a un flujo de viento simulado alrededor de una estructura y generar automáticamente las cargas de viento. Se pueden simular y generar cargas de viento directamente en Robot, o

exportar la estructura a Autodesk Simulation CFD si el programa está instalado en nuestra máquina. Esta tecnología de simulación de viento actúa como un túnel de viento, y permite visualizar mapas de presión coloreados sobre nuestro modelo para entender los efectos del viento, incluso con estructuras complicadas. La simulación permite modificar parámetros del viento, tales como la dirección, velocidad y la presión del viento. También puede especificar el nivel del suelo, y los elementos que están expuestos al viento.

Análisis no lineal: Robot supera en capacidades a muchos otros programas de su condición y permite al usuario analizar de forma rigurosa el verdadero comportamiento no lineal de una estructura. Gracias a la aplicación de la carga mediante incrementos de la misma, a la actualización de la matriz de rigidez y de la geometría después de cada incremento, nos permite la realización de un análisis simple y eficaz de varios tipos de no linealidad, incluso análisis con grandes deformaciones, barras en sólo tracción o compresión, apoyos unidireccionales, cables con o sin pretensado, rótulas plásticas y despegue del apoyo. Asimismo, es posible también definir la carga crítica debida al pandeo para las estructuras tipo pórtico o lámina.

Análisis dinámico: Autodesk Robot Estructural aporta capacidades líderes en el mercado para el análisis dinámico de las estructuras. El programa automáticamente convierte cargas en masas añadidas conforme a los requisitos exigidos y realiza a su vez informes relativos a la frecuencia de cada modo. Tras el análisis modal, el usuario puede efectuar el análisis sísmico, espectral o temporal. Gracias a los solvers de que dispone, es posible llevar a cabo de forma sencilla el análisis dinámico para cualquier tipo de estructura. Adicionalmente, proporciona informaciones relevantes respecto de la velocidad, desplazamiento y características de la aceleración bajo el impacto de la carga dinámica.

1.2.3 Ventajas y Desventajas de cada software.

La implementación de estos programas ofrece un grupo de ventajas y desventajas; en cuanto a su rendimiento, capacidades de diseño y modelación de elementos de la construcción, cálculo y simulación de estructuras; según varios autores como (Chipana Mamani, 2019) y (Villena Zúñiga, 2017).

Principales ventajas de Autodesk Revit:

- Ofrece una interfaz cuidadosa y ordenada, donde todos los elementos cuentan con un fácil acceso y entendimiento.
- Es un programa muy flexible, ya que resulta válido tanto para pequeños proyectos arquitectónicos como para construcciones de gran envergadura.
- Como herramienta de trabajo colaborativo, ofrece gran potencia y rendimiento; todos los cambios introducidos por un usuario actualizan todos los elementos a los que afectan y están disponibles en tiempo real para el resto.
- Abarca la totalidad del proyecto, desde su más temprana fase hasta su entrega al cliente, lo que nos facilita una gestión y control más eficiente, optimizando tiempos, costos y asegurando la calidad.
- Todos los elementos del proyecto se conciben en 3D, desde un inicio, lo que permite asociar cantidades, materiales, costos y así crear de forma automática el presupuesto.
- Integración de herramientas de múltiples disciplinas. Existen tres módulos que abarcan el diseño arquitectónico, la construcción, las instalaciones y la estructura, con lo que la idea de un BIM multidisciplinar es una realidad.
- Detallado. Puede crear, editar y compartir bibliotecas de detalles para adaptarse mejor a las normas de la empresa, o bien recurrir a la amplia biblioteca integrada en el producto.
- Permite visualizar diseños con herramientas de renderización que son integradas, con nitidez de alta calidad.

Principales desventajas de Autodesk Revit:

- El gran enfoque en el diseño estructural. Si bien el enfoque de Revit en la precisión es uno de sus aspectos más destacados, lo quita de algunas otras áreas del software. Por ejemplo, otros paquetes de software de diseño digital tienden a crear modelos más desarrollados. Esto se debe a que tienen acceso a herramientas de diseño más generales, como comandos y mallas, que no están integradas en el paquete de Revit.
- Difícil edición en perspectiva. Los diseñadores de interiores pueden sentirse frustrados, esto se debe a que Revit no es el software más fácil de usar si desea

trabajar en la construcción de interiores desde una perspectiva diferente. El programa tiene una perspectiva isométrica predeterminada, que puede dificultar ver los planos que no muestra.

Principales ventajas de Autodesk Robot:

- Trabaja con la Tecnología MEF de cálculo y diseño de estructuras por elementos finitos, que permite analizar la estructura en conjunto, así como diseccionar y enfocar el análisis en partes concretas del mismo.
- Dispone de opciones tan interesantes como el cálculo de estructuras de acero, estructuras de madera, esquemas automáticos de cargas, losas, efectos de torsión, secciones de armado, y análisis rápido del punzonamiento; en este aspecto, MEF y Robot, se integran a la perfección.
- Está dotado de la mayor capacidad de análisis y procesamiento del mercado, superando a muchos otros programas en este aspecto, lo que supone una gran ventaja en cuanto a ahorro de tiempo y fiabilidad en los resultados.
- Cuenta con una interfaz amigable y productiva, donde todas sus herramientas son continuamente revisadas en cada versión nueva que publica Autodesk para mejorar el trabajo del diseñador y calculista de estructuras.
- Permite realizar el armado automático de los elementos estructurales, considerando el corte de acero.
- Simula automáticamente las cargas de viento. Calcula los efectos dinámicos del viento, y permite visualizar mapas de presión coloreados para entender los efectos del viento.

Principales desventajas de Autodesk Robot:

- Solo permite definir combinaciones de carga, no permite definir la envolvente manualmente.
- No permite definir a detalle las propiedades de la cubierta tipo Deck.
- No es posible definir secciones compuestas de acero y hormigón.

TABLA 1.1

**Resumen de las principales ventajas y desventajas de cada software. Fuente:
(Elaborado por el autor)**

Software	Ventajas	Desventajas
Autodesk Revit	<ul style="list-style-type: none"> • Interfaz cuidadosa y ordenada, de fácil acceso a todos los elementos. • Todos los elementos del proyecto se conciben en 3D. • Integración de herramientas de múltiples disciplinas (Arquitectura, Estructura, Instalaciones eléctricas y sanitarias). • Tecnología de cambio paramétrico. • Interoperabilidad con otros softwares. • Gran potencia y rendimiento como herramienta de trabajo colaborativo. • Visualización de diseños con herramientas de renderización. 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesidad de aprendizaje y formación para usar el software. • Difícil edición en perspectiva. • El gran enfoque en el diseño estructural. • Necesidad de una infraestructura tecnológica avanzada, debido a los requerimientos de hardware para usar fluidamente la herramienta.
Autodesk Robot	<ul style="list-style-type: none"> • Cuenta con una interfaz amigable y productiva. • Dispone de opciones como el cálculo de estructuras de acero, estructuras de madera, esquemas automáticos de cargas, losas, efectos de torsión, secciones de armado, y análisis rápido del punzonamiento. • Simula automáticamente las cargas de viento. • Está dotado de la mayor capacidad de análisis y procesamiento del mercado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesidad de aprendizaje y formación para usar el software. • Solo permite definir combinaciones de carga, no permite definir la envolvente manualmente. • Requerimientos de hardware para realizar las operaciones de cálculo y simulación con rapidez.

1.3 Análisis estructural mediante la integración de los softwares Autodesk Robot y Revit.

Se define el Análisis Estructural como el área encargada de determinar el comportamiento de las estructuras cuando éstas están sometidas a diversas acciones de cargas durante su construcción y vida útil. Consiste en un proceso por el cual se descompone una estructura en sus partes (elementos estructurales: vigas, losas, columnas, muros, cimentaciones), identificando los valores de las fuerzas externas (componentes de reacción) y las fuerzas internas (axial, cortante, momento, torsión), tomando en cuenta el módulo, dirección y sentido de las mismas. (Flores Mena, 2018)

Entonces el Análisis Estructural calcula las fuerzas y deformaciones de un sistema de cargas y de esta manera determina si el elemento estructural de un cierto material, con una determinada sección y cuantía de acero resiste o no las solicitaciones aplicadas, adicionalmente es necesario revisar que los esfuerzos generados no sobrepasen los valores normados.

La interoperabilidad existente entre los diferentes software involucrados en un proceso BIM, que es facilitada por la compatibilidad de las herramientas. Permiten que un modelo desarrollado en un programa como Autodesk Revit Architecture pueda ser transferido a plataformas de modelación especializada en estructuras como Autodesk Revit Structure y su análisis estructural en Autodesk Robot.

Para obtener el análisis estructural de una edificación mediante la integración de los softwares Revit y Robot, se parte de la elaboración de un modelo físico en Revit que permite crear elementos tanto arquitectónicos como estructurales. En este se hace todo el análisis geométrico de los elementos que van a componer la estructura, ya sea columna, viga, losa, muros y cimentación, se elige el material que los compone, así como el recubrimiento que tendrán los mismos. Se define la luz, ancho y la altura de puntal del objeto.

Una vez creado el modelo físico se hace necesaria la obtención del modelo analítico, este es una representación 3D simplificada de la descripción de ingeniería completa de un modelo físico estructural. El modelo analítico está formado por los componentes, la geometría, las propiedades de materiales y las cargas estructurales que constituyen un sistema de ingeniería. Un modelo analítico de una estructura se compone de una serie de modelos analíticos de elementos estructurales que incluye uno para cada elemento de la estructura. Estos elementos estructurales tienen modelos analíticos de elementos estructurales: pilares estructurales, elementos de armazón estructural (como vigas), suelos estructurales, muros estructurales y elementos de cimentación estructural. (Chipana Mamani, 2019)

La creación del modelo analítico usa reglas de ingeniería para producir una representación analítica consistente de la estructura física. Los expertos pueden anular las configuraciones analíticas iniciales y editar el modelo analítico antes de vincularlo a los paquetes de análisis estructural. También se pueden verificar

automáticamente inconsistencias analíticas tales como soportes que faltan, inestabilidades globales o anomalías de encuadre. (González Sato, 2018)

La exportación del modelo a Robot se hace a través de un link de enlace que ofrece Revit al usar versiones del mismo año. Una vez exportado el modelo a Robot se deberá proceder a realizar las adecuaciones que tengan lugar a fin de realizar los cálculos y diseño estructurales, actualizar la información en Revit y realizar todas las configuraciones a fin de obtener los planos del proyecto.

Conclusiones parciales del capítulo.

- La implementación de la metodología BIM ofrece múltiples beneficios, aumentando la calidad y la eficiencia en las construcciones, lo que está provocando su expansión a nivel mundial y que se empieza a convertir en un estándar internacional.
- Se demuestran las ventajas de los softwares Autodesk Revit y Robot, los que figuran entre las herramientas BIM más utilizadas a nivel mundial para modelar y diseñar edificaciones gracias a su interoperabilidad. Lo que demuestra la factibilidad de la realización de la presente investigación.
- En Cuba se han empezado a utilizar los softwares BIM por las principales empresas de diseño y construcción, principalmente en las que se vinculan con la construcción hotelera.

CAPÍTULO 2: ANÁLISIS ESTRUCTURAL EN AUTODESK ROBOT A PARTIR DE UN MODELO GEOMÉTRICO CREADO EN REVIT.

2.1 Caso de estudio " Nave Universidad de Holguín ". Esquema de trabajo para el análisis estructural utilizando las herramientas BIM Autodesk Revit y Robot.

El caso de estudio a analizar corresponde a la "Nave Universidad de Holguín" ubicada en la Universidad de Holguín sede "Oscar Lucero Moya", la construcción de dicha nave se efectuó hace más de 30 años sin llegar a concluir la obra proyectada "Sala de Conferencia". El sistema constructivo utilizado en el proyecto, es el sistema de naves prefabricadas de hormigón de una sola planta, con columnas de sección rectangular de 0.40x0.60m que permiten lograr un puntal libre de 7.2m e intercolumnios de 6m y cerchas que logran una luz de 24m, usándose losas cajón de 6x1.5m para conformar la cubierta. Estructuralmente la edificación está formada por pórticos compuestos por columnas y cerchas en las que se apoyan losas y a la vez las columnas están sostenidas por vasos de hormigón armado en los cuales se empotran las columnas.



Figura 2.1: Imagen caso de estudio" Nave Universidad de Holguín "Fuente: Elaborado por el autor)

2.1.1 Esquema de trabajo para el análisis de una estructura en Robot Structural a partir de un modelo creado en Autodesk Revit.

Con el propósito de organizar el trabajo se crea el esquema de la Figura 2.2, en este se muestra una secuencia lógica de los pasos a seguir para llegar al análisis de una estructura en el software Robot Structural a partir de un modelo creado en Revit.

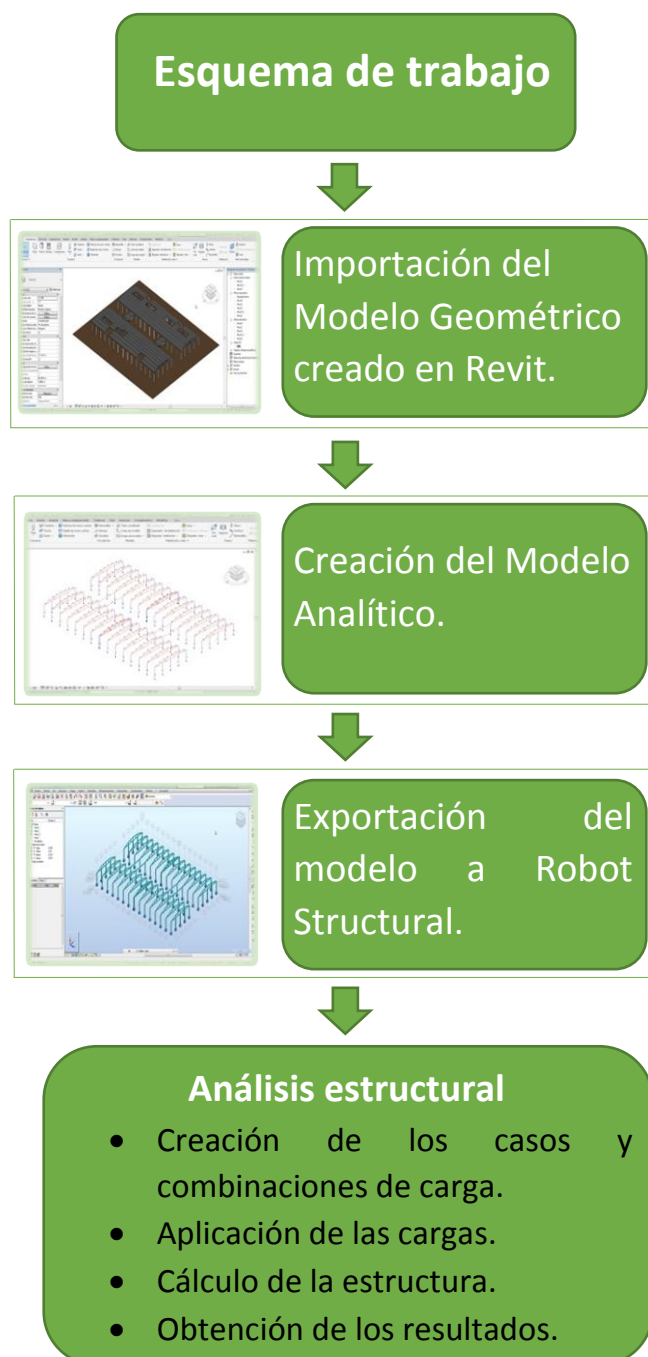


Figura 2.2: Esquema de trabajo para el análisis de una estructura a partir de un modelo de Revit. Fuente: (Elaborado por el autor)

2.2 Importación del modelo geométrico creado en Revit. Caso de estudio “Nave Universidad de Holguín”.

Para importar el modelo geométrico creado con anterioridad por (Carballo Hernández, 2020), se abre el programa Revit 2018 donde se muestra la siguiente interface (Ver Figura 2.3).

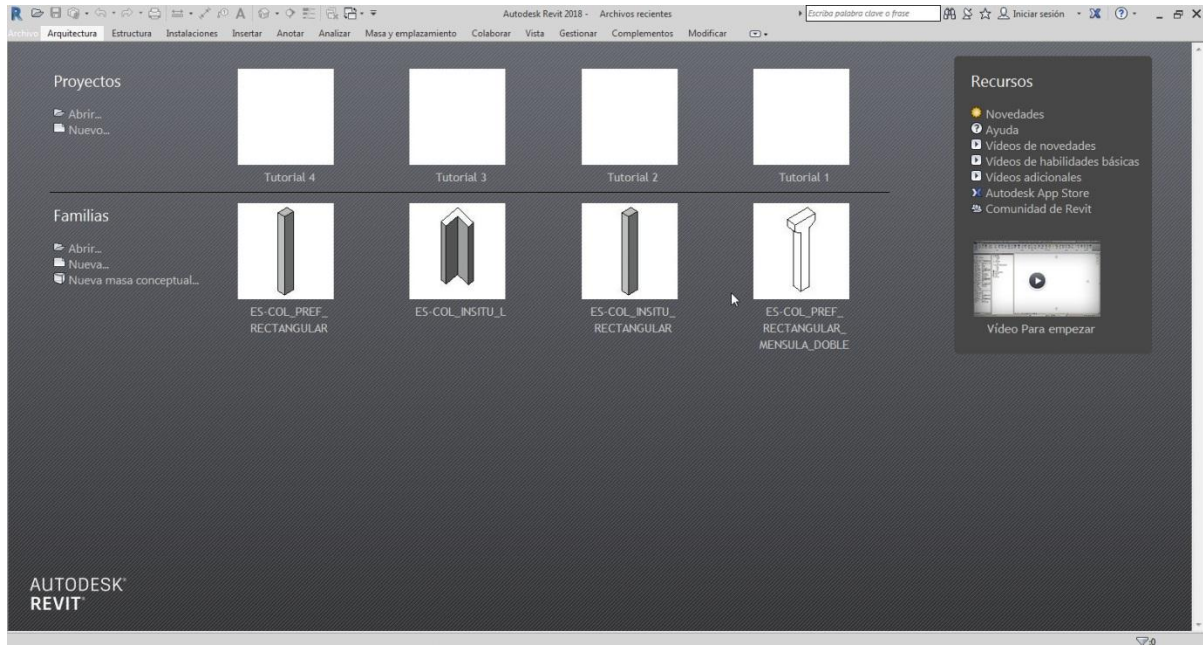

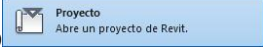


Figura 2.3: Interfaz inicial Autodesk Revit 2018. Fuente: (Elaborado por el autor)

Se selecciona la opción Archivo **Archivo** /Abrir  /Proyecto , se busca la ubicación del archivo y se hace clic en Abrir (Ver Figura 2.4).

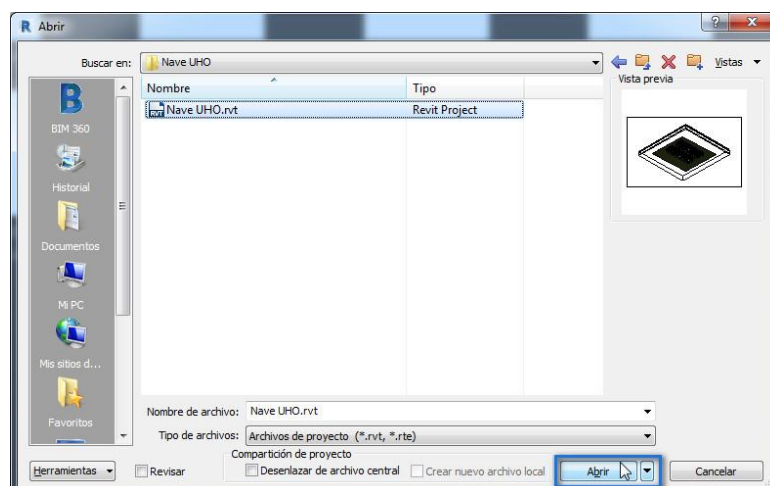


Figura 2.4: Ventana de Windows para abrir el proyecto en Revit 2018. Fuente: (Elaborado por el autor)

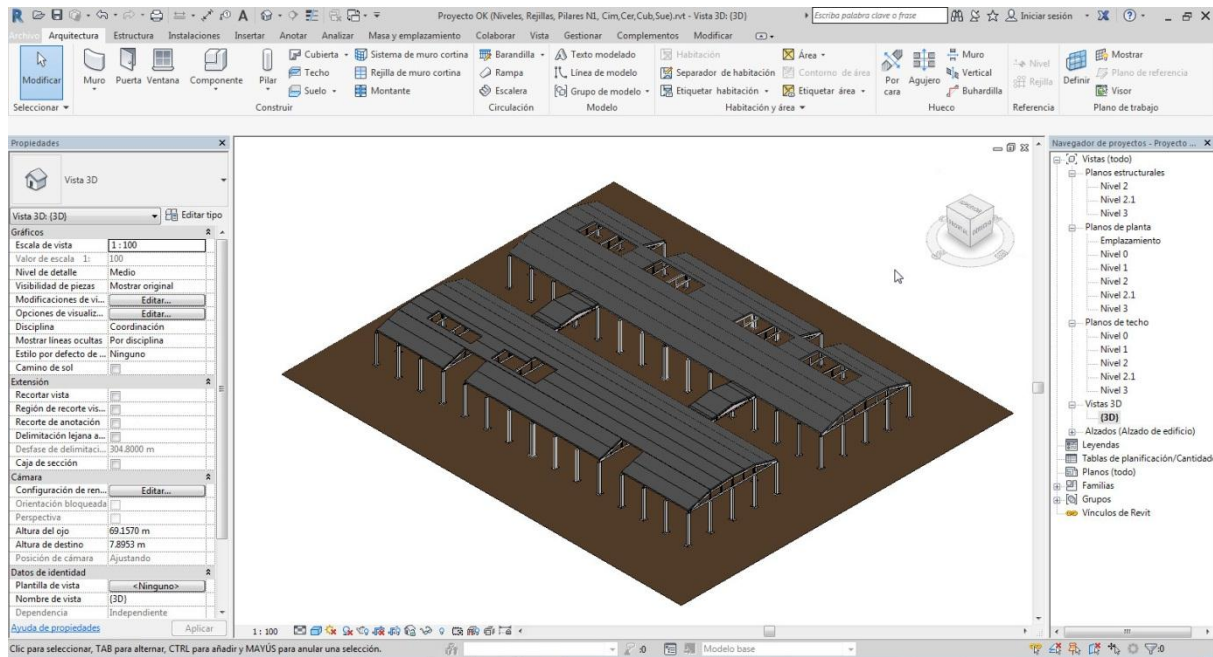


Figura 2.5: Modelo Geométrico Autodesk Revit 2018. Fuente: (Elaborado por el autor)

La modelación geométrica del objeto se realiza entre las especialidades de arquitectura y estructura, para de esta manera, llegar a la solución más idónea según las características específicas del proyecto. El modelo importado contiene toda la información del proyecto: cimentaciones, columnas, cerchas, cubierta, relaciones espaciales; así como vistas 3D, planos de plantas y alzados que permiten inspeccionar los detalles de todos los elementos. En la Figura 2.5 se puede observar el modelo geométrico de la “Nave Universidad de Holguín”.

2.2.1 Creación del modelo analítico.

En la modelación analítica, se fijan las conexiones y condiciones de apoyo que van a tener los elementos que conforman la estructura, como las uniones con respecto a la forma de trabajo, uniones entre elementos (viga - viga, viga - columna).

Para la creación del modelo analítico se siguieron los siguientes pasos:

1. Se abrió la Vista 3D en el Navegador de Proyectos (Ver Figura 2.6).

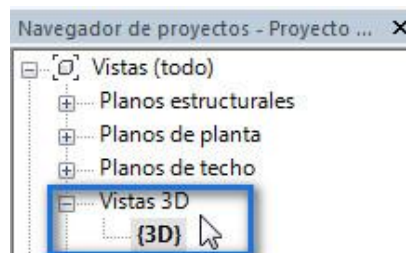



Figura 2.6: Navegador de proyectos. Fuente: (Elaborado por el autor)

- Se duplica la vista 3D: clic derecho sobre la vista / Duplicar vista/ Duplicar con detalles.
- Se cambia el nombre de la vista: clic derecho sobre la vista / Cambiar nombre/ “3D Modelo Analítico”/ Aceptar.
- Se hizo clic en el menú Vista **Vista** / Visibilidad – Gráficos  Visibilidad/ Gráficos donde aparece una ventana con diferentes opciones (Ver Figura 2.7).

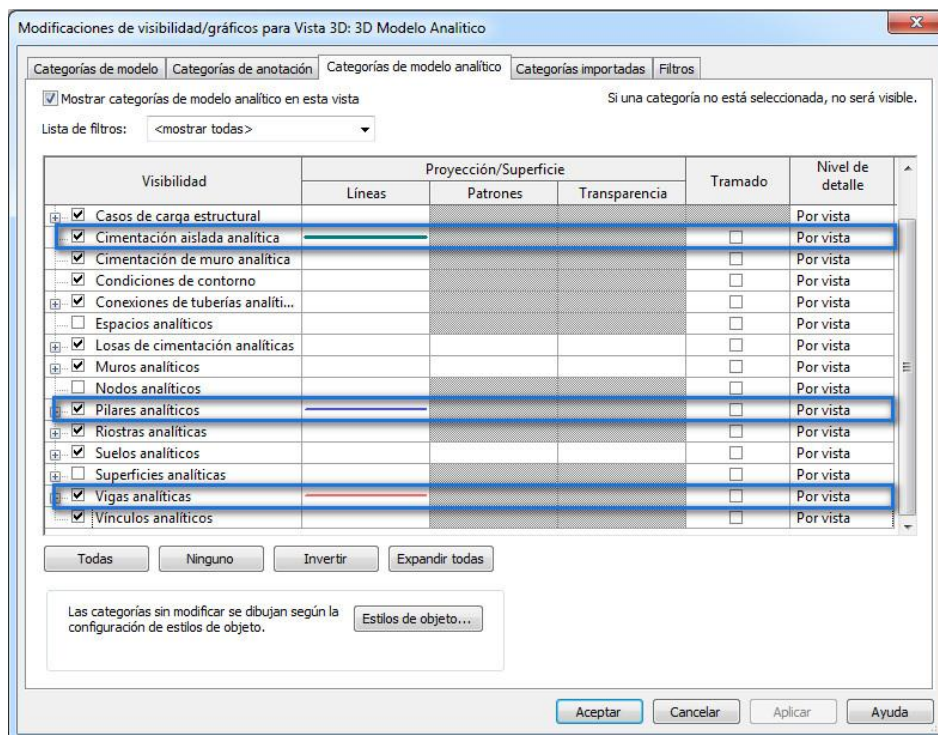


Figura 2.7: Navegador de proyectos. Fuente: (Elaborado por el autor)

- En Categorías de modelo se desactiva la opción: Mostrar categorías de modelo en esta vista.
- Clic en Categorías de modelo Analítico, donde se activa la opción: Mostrar categorías de modelo analítico en esta vista.
- Se seleccionan los elementos que se desean mostrar en el modelo, se modifican las opciones de visibilidad de las líneas, y presionamos Aceptar.

Se realizan los ajustes necesarios en el modelo analítico, siendo este un paso fundamental para el análisis estructural, evitando posibles errores en el software de análisis.

- Se hace clic en el menú Analizar **Analizar** / (Ver Figura 2.8).
- Se hacen las comprobaciones de soportes, coherencia y los ajustes necesarios.

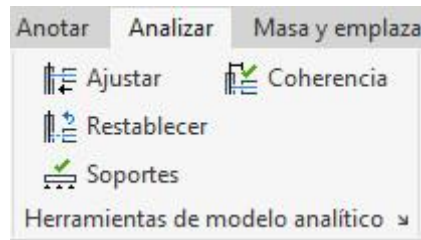


Figura 2.8: Ajustes del modelo analítico. Fuente: (Elaborado por el autor)

Los apoyos de los diferentes elementos que componen la estructura pueden permitir distintos grados de libertad, como, por ejemplo: movimiento de rotación o traslación. Es importante comprender su comportamiento y cómo intervienen en la estructura, y de esta manera escoger el más apropiado para el análisis. Estos van desde el empotramiento que restringe los tres grados de libertad, por lo cual no permite la rotación ni desplazamientos, hasta el simple apoyo que solo restringe un grado de libertad, que puede ser desplazamiento horizontal o el vertical. (Junco Deroncelé, 2016)

Los apoyos de los diferentes elementos en Revit se eligen de la siguiente forma:

1. Clic sobre el elemento que se desee analizar.
2. En propiedades analíticas del elemento, en la opción esfuerzos/ Fuerzas de elementos, se definen las condiciones de enlace inicial y final de cada elemento (Ver Figura 2.9).

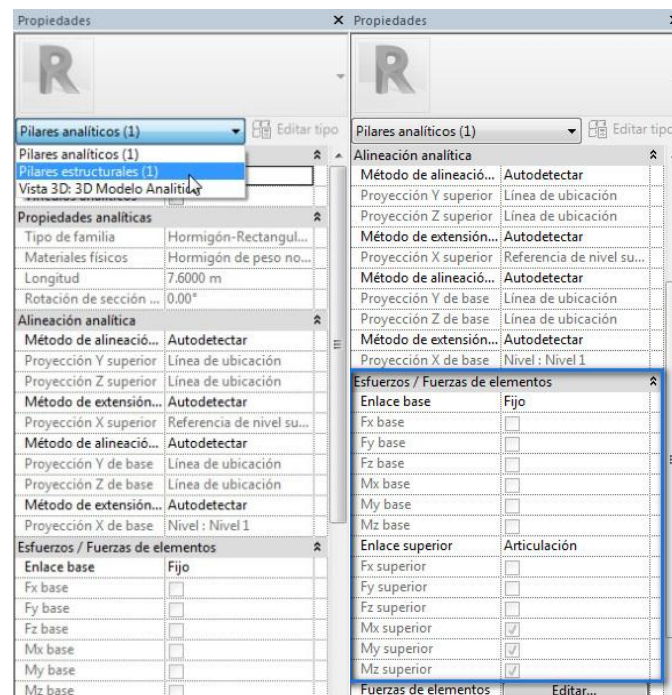
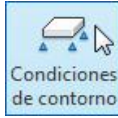


Figura 2.9: Definición de apoyos de los elementos. Fuente: (Elaborado por el autor)

Se define la forma de apoyo según el elemento que se esté analizando. A partir de estos soportes se transmiten las cargas de la superestructura a la cimentación o el suelo sobre el cual descansa esta. Los elementos pueden estar apoyados de tres maneras diferentes: puntual, lineal o en un área determinada (Ver Figura 2.10).



Figura 2.10: Formas de apoyo. Fuente: (Elaborado por el autor)

1. Se hace clic en el menú analizar **Analizar**.
2. Se selecciona la opción Condiciones de contorno .
3. Clic sobre la condición de contorno que se desea agregar y se selecciona el o los elementos a los que se le desea agregar dicha condición.

En la Figura 2.11 se observa el modelo analítico.

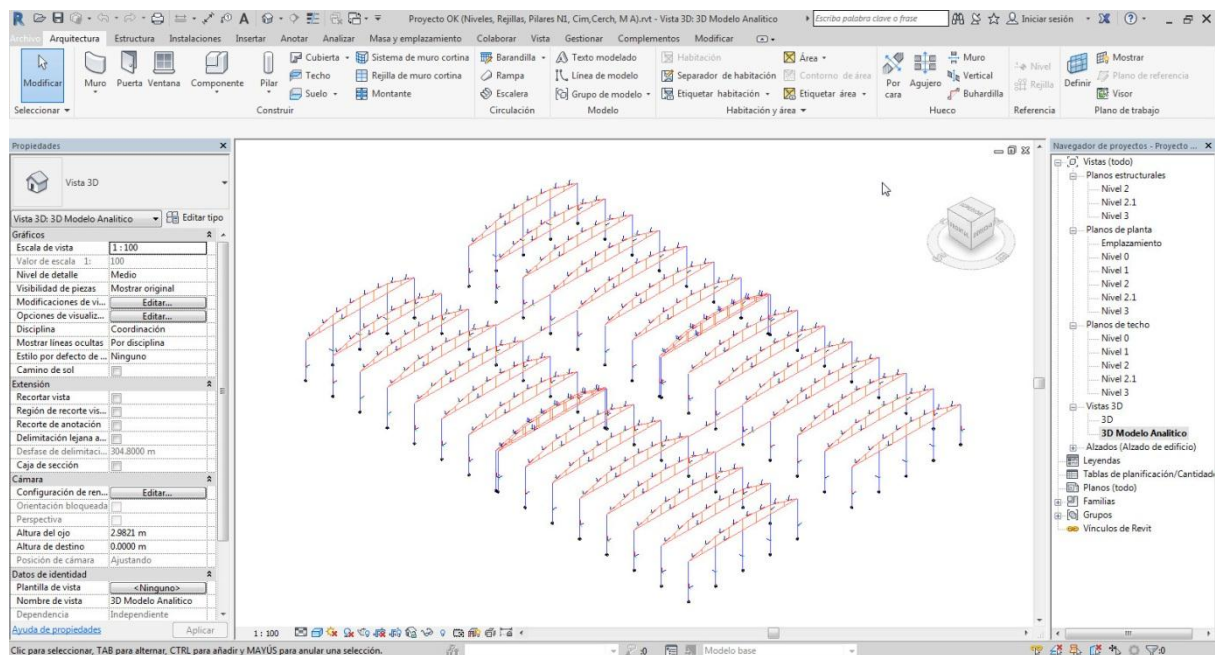
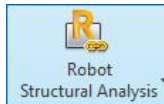


Figura 2.11: Modelo Analítico. Fuente: (Elaborado por el autor)

2.2.2 Exportación del modelo en Revit a Robot Structural.

Una vez realizado todos los ajustes necesarios al modelo, se procede a exportarlo al software de análisis.

1. Se selecciona en la barra de menú la pestaña Analizar **Analizar** / Robot Structural Analysis



2. Clic en Robot Structural Analysis Link (Ver Figura 2.12).

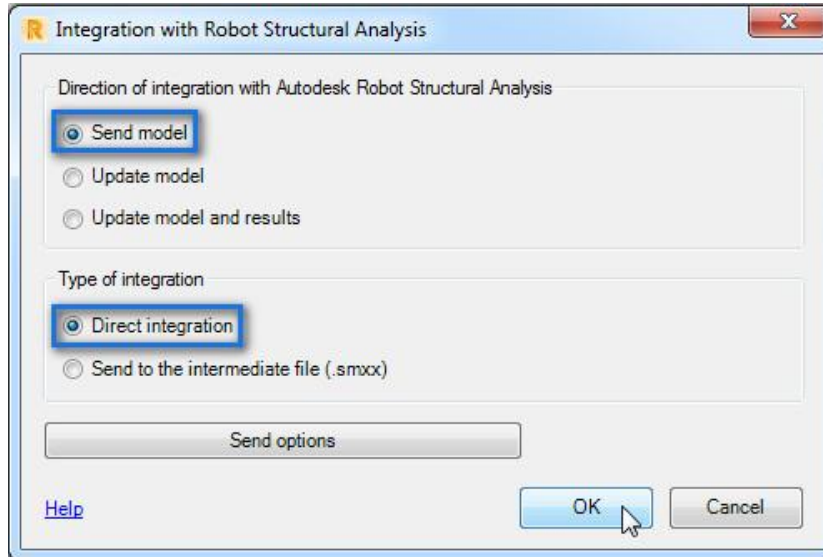


Figura 2.12: Opciones de vinculación con Robot Structural. Fuente: (Elaborado por el autor)

3. Se marcan las opciones Enviar modelo e Integración directa / OK.

En la Figura 2.13 se puede observar que se exportó correctamente el modelo al software de análisis.

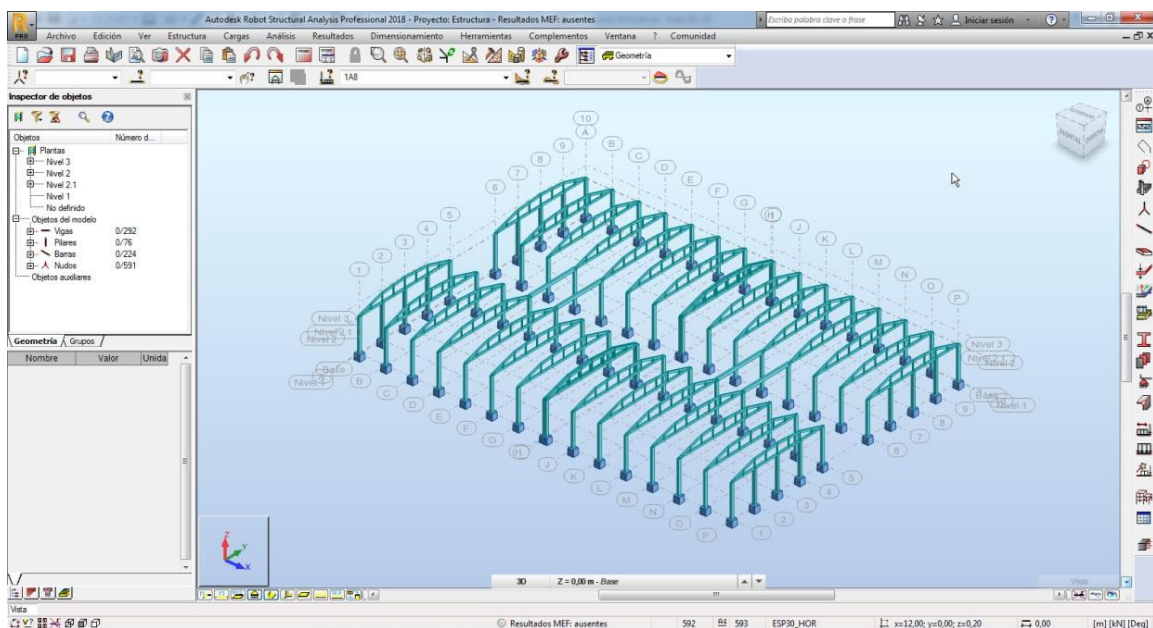


Figura 2.13: Modelo en Robot Structural 2018. Fuente: (Elaborado por el autor)

2.3 Análisis estructural.

Para analizar el comportamiento de la estructura ante las cargas a la que está expuesta se realiza el análisis estructural de la misma. En esta fase se parte de la información contenida en el modelo, para hacer un análisis profundo del comportamiento que tendrá la estructura ante las acciones que está sometida y de esta manera obtener los valores de las fuerzas externas e internas de los elementos de la edificación.

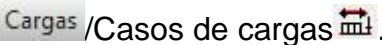
2.3.1 Modelación de cargas y combinaciones.

Desde el punto de vista ingenieril se denomina carga a cualquier acción capaz de producir alteración en el estado de tensiones y deformaciones en una estructura o parte de ella. Están constituidas principalmente por el peso de todos los elementos que constituyen las edificaciones, incluyendo el peso de la estructura en sí misma, las cargas de uso, utilización o servicios, así como por todas las acciones eventuales que llegaran a afectarla directamente.

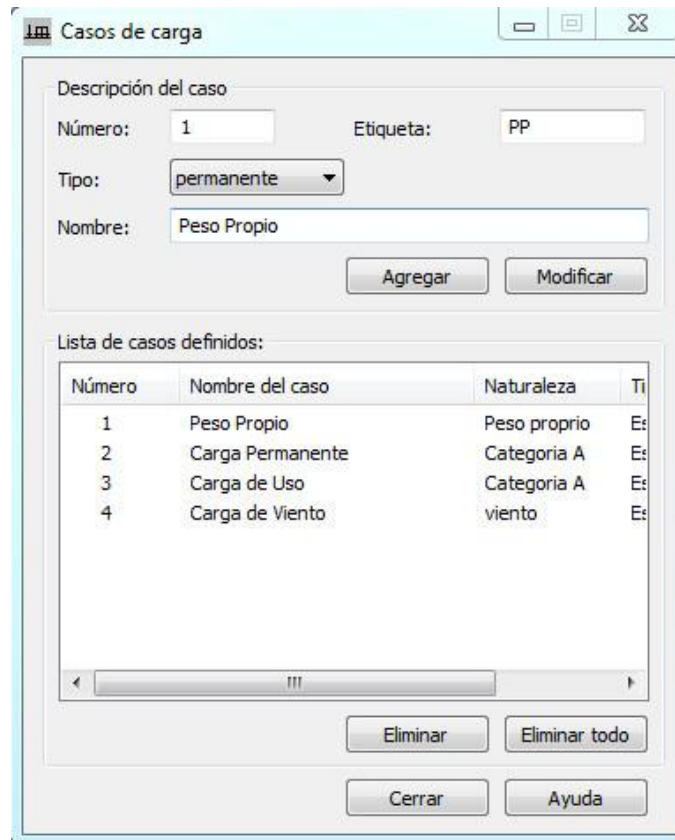
Se produce una combinación de carga cuando más de un tipo de carga actúa sobre la estructura. Los códigos de construcción generalmente especifican una variedad de combinaciones de carga junto con factores de carga (ponderaciones) para cada tipo de carga con el fin de garantizar la seguridad de la estructura bajo diferentes escenarios de carga máxima esperada.

2.3.1.1 Creación de los casos de carga.

El modelo importado desde Revit trae por defecto varios casos de cargas, de los cuales solo se mantendrá el correspondiente a la carga de peso propio. Se crearán diferentes casos para las cargas permanentes (G), carga de uso (Q_c) y viento (W). Cuando se elige el tipo de carga Permanente, el programa asigna el peso propio de la estructura en función de la sección y el material de las barras.

1. Se accede a la barra de menú en la pestaña Cargas .
2. Se eliminan los casos de carga que no se desean conservar, haciendo clic sobre cada caso/ Eliminar.
3. Clic sobre el caso de carga DL1, se cambia el nombre por “Peso Propio” y la etiqueta “PP”/ Modificar.

4. Posteriormente se añaden los casos de cargas necesarios. Se selecciona el tipo de carga; se escribe el nombre del caso, el número y la etiqueta/ Agregar/ (Ver Figura 2.14).



Descripción del caso

Número: 1 Etiqueta: PP

Tipo: permanente

Nombre: Peso Propio

Agregar Modificar

Lista de casos definidos:

Número	Nombre del caso	Naturaleza	Ti
1	Peso Propio	Peso propio	Es
2	Carga Permanente	Categoría A	Es
3	Carga de Uso	Categoría A	Es
4	Carga de Viento	viento	Es

Eliminar Eliminar todo

Cerrar Ayuda

Figura 2.14: Casos de carga. Fuente: (Elaborado por el autor)

2.3.1.2 Creación de las combinaciones de carga.

Para el análisis de la estructura se tuvieron en cuenta cuatro combinaciones de carga de forma general, de acuerdo a los casos de cargas que actuarán sobre el modelo y lo establecido en la (NC 450: 2006) (Edificaciones – Factores de carga o ponderación– Combinaciones).

1- 1.4G

2- 1.2G + 0.5Q_c

3- 1.2G + 1.6Q_c + 0.8W

4- 1.2G + 1.4W + 0.5Q_c

En el caso de las combinaciones que incluyan carga de viento, se modelará para las cargas de vientos en las direcciones (X+, X-, Y+, Y-), quedando cuatro variantes para las combinaciones tres y cuatro.

3.1- $1.2G + 1.6Q_c + 0.8W(X+)$

3.2- $1.2G + 1.6Q_c + 0.8W(X-)$

3.3- $1.2G + 1.6Q_c + 0.8W(Y+)$



3.4- $1.2G + 1.6Q_c + 0.8W(Y-)$

4.1- $1.2G + 1.4W(X+) + 0.5Q_c$

4.2- $1.2G + 1.4W(X-) + 0.5Q_c$

4.3- $1.2G + 1.4W(Y+) + 0.5Q_c$

4.1- $1.2G + 1.4W(Y-) + 0.5Q_c$

1. Para ingresar las combinaciones de cargas manuales se hace clic en el menú Cargas  / Combinaciones manuales  (Ver Figura 2.15).

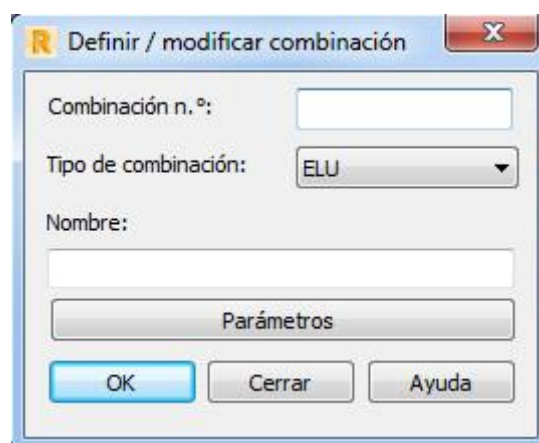



Figura 2.15: Cuadro de diálogo de combinaciones. Fuente: (Elaborado por el autor)

2. En el cuadro de diálogo de la Figura 2.15, se escribe el número de la combinación, el nombre y el tipo. El programa automáticamente crea una combinación simple para cada caso de carga, por lo que se empezarán a enumerar las combinaciones a partir del número de casos de cargas agregados. Por ejemplo, para la segunda combinación correspondería el número seis porque se agregaron cuatro casos de cargas. Se selecciona en tipo de combinación estado límite último (ELU) y se escribe el nombre de la combinación/ OK.
3. En el cuadro de dialogo que aparece, se van seleccionando los casos de cargas, se escribe el coeficiente de ponderación correspondiente y se presiona el botón , para crear la lista de casos en la combinación con el coeficiente de ponderación de cada caso (Ver Figura 2.16).

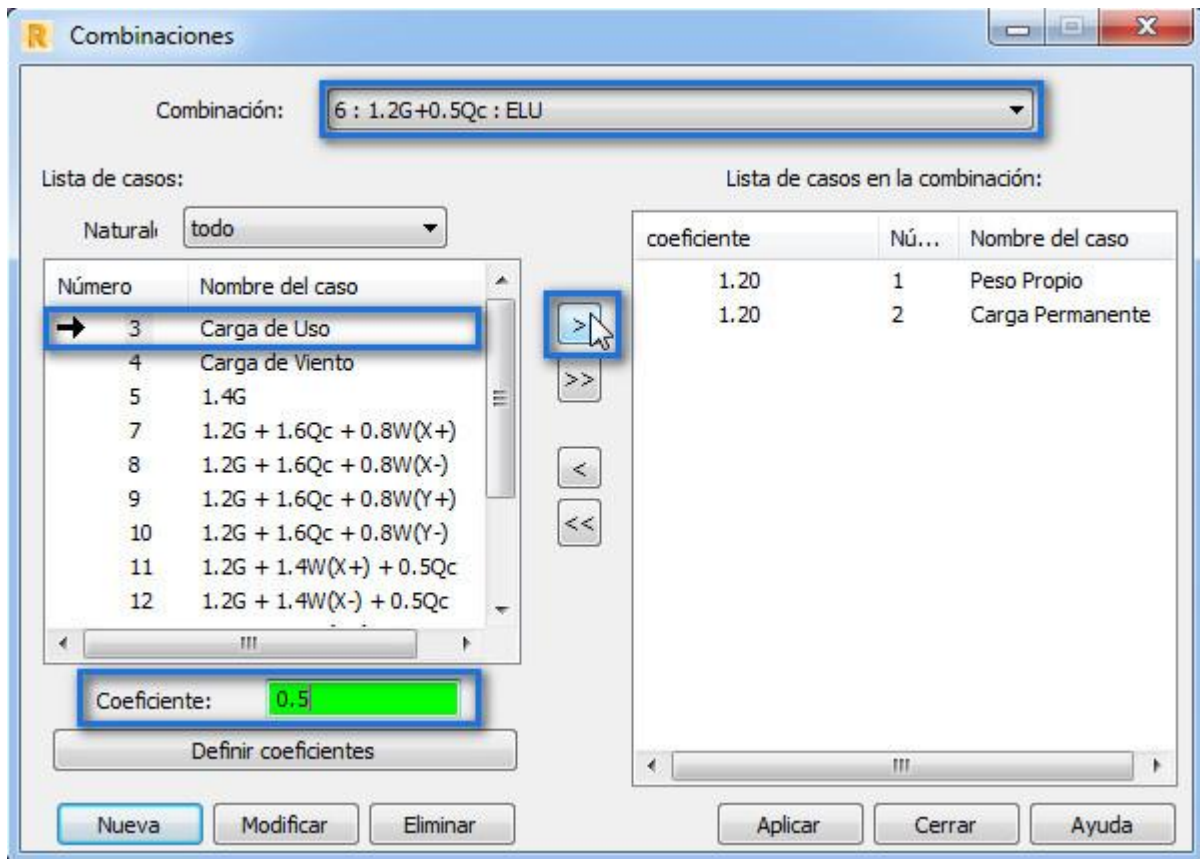


Figura 2.16: Creación de las combinaciones. Fuente: (Elaborado por el autor)

4. Clic en la opción Aplicar y de esta forma queda guardada la combinación.
5. Para agregar otra combinación, se hace clic en Nueva y se sigue el procedimiento desde el paso dos hasta el cuatro.

2.3.1.3 Aplicación de las cargas.


La modelación de las cargas es uno de los pasos más engorrosos que los ingenieros civiles tienen que enfrentar en el proyecto. La representación de las cargas en el modelo es un factor importante en el proceso de análisis estructural, ya que mediante ellas podemos conocer el comportamiento que tendrá la estructura. Las cargas en Robot, se agregarán en su mayoría en el modelo 3D, colocar las cargas en el modelo de forma adecuada es fundamental porque esto garantizará que los resultados del cálculo sean confiables.

Peso propio de los elementos.

El programa calcula automáticamente el peso de los elementos de la estructura, para ello multiplica las dimensiones del elemento por el peso específico del material y agrega este peso en la dirección (-Z). Las dimensiones de los elementos ya se

encuentran definidas en el modelo, por lo que solo es necesario definir el material y asignarlo a los elementos.

Para definir el peso específico del material, la resistencia y asignarlo a los componentes de la estructura se realizan los siguientes pasos:

1. Hacer clic en el menú Herramientas **Herramientas** / Preferencias para el proyecto .
2. Se selecciona la opción Materiales/ Modificar/ aquí aparece un cuadro de dialogo que permite configurar varios materiales (Acero, Hormigón, Aluminio, Madera y otros definidos por el usuario).
3. En material Hormigón, el programa trae por defecto diferentes hormigones, se selecciona HA - 35, se modifica el peso específico a 25kN/m^3 y la resistencia por defecto es la indicada 35 MPa/ OK.
4. Para asignar el material a los elementos existen varias vías, en este caso se escogió la más sencilla debido a que el material coincide para todos los elementos. Presionando la combinación de teclas Ctrl+A se selecciona toda la estructura.

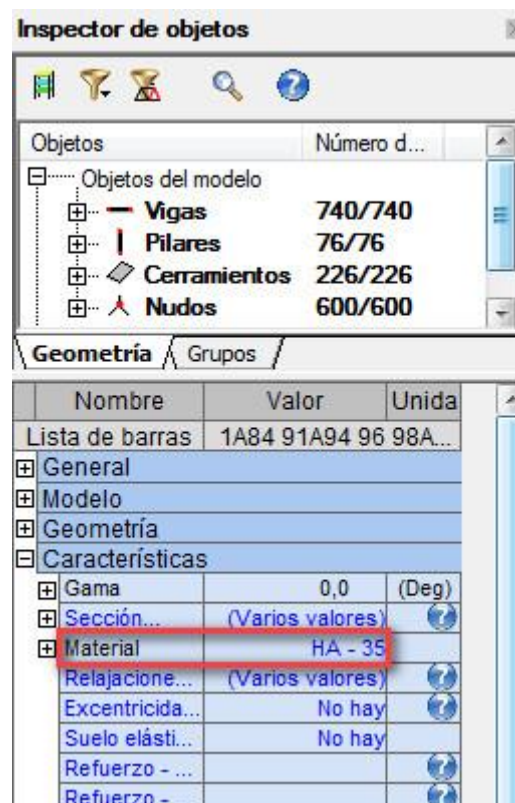


Figura 2.17: Inspector de objetos. Fuente: (Elaborado por el autor)

- En el inspector de objetos (Ver Figura 2.17) que aparece a la izquierda de la pantalla aparecen seleccionados todos los elementos, dentro de Geometría/ Características / Material/ se escoge HA - 35.

En la Figura 2.18 se observa la carga debida al peso propio de los elementos.

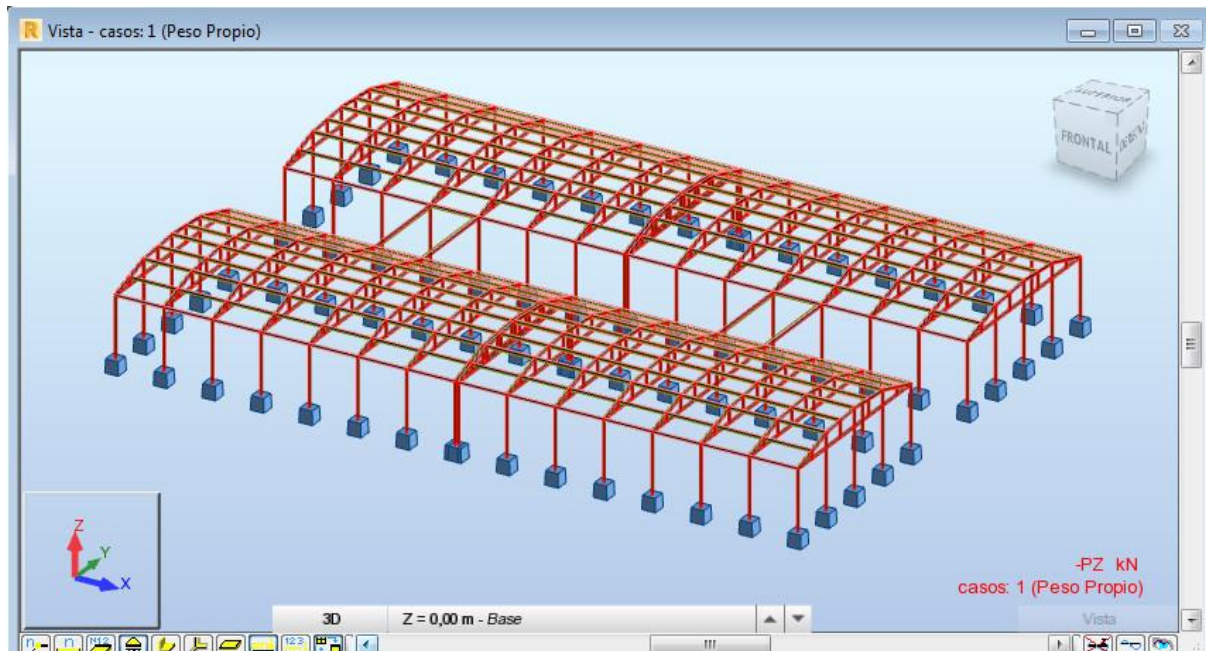



Figura 2.18: Carga debida al Peso Propio. Fuente: (Elaborado por el autor)

Carga permanente y carga de uso en cubierta.

La carga permanente que se tendrá en cuenta es la debida al peso de las losas cajón de la cubierta, estas provocan una carga de 1.64 kN/m^2 .

Las losas se encuentran simplemente apoyadas en sus extremos sobre las cerchas. La carga de uso en la cubierta es de 0.6 kN/m^2 según la (NC 284: 2003) (Edificaciones. Cargas de uso). Para agregar las cargas sobre las cerchas, se modelan cerramientos sobre los cuales se asignan las cargas y además se define la dirección en la que se distribuyen. Los cerramientos son paneles a modo de losa que no tienen rigidez ni espesor y se usan para distribuir las cargas en los elementos de barras.

- En la barra de menú se hace clic en Estructura **Estructura** / Cerramientos .
- Se escoge distribución de carga en la dirección X y en método de generación rectángulo.
- Los cerramientos se crean formando rectángulos entre los nudos de las cerchas de dos pórticos consecutivos. En el modelo 3D se seleccionan tres de los puntos

que conforman el rectángulo y automáticamente se crea el cerramiento (Ver Figura 2.19).

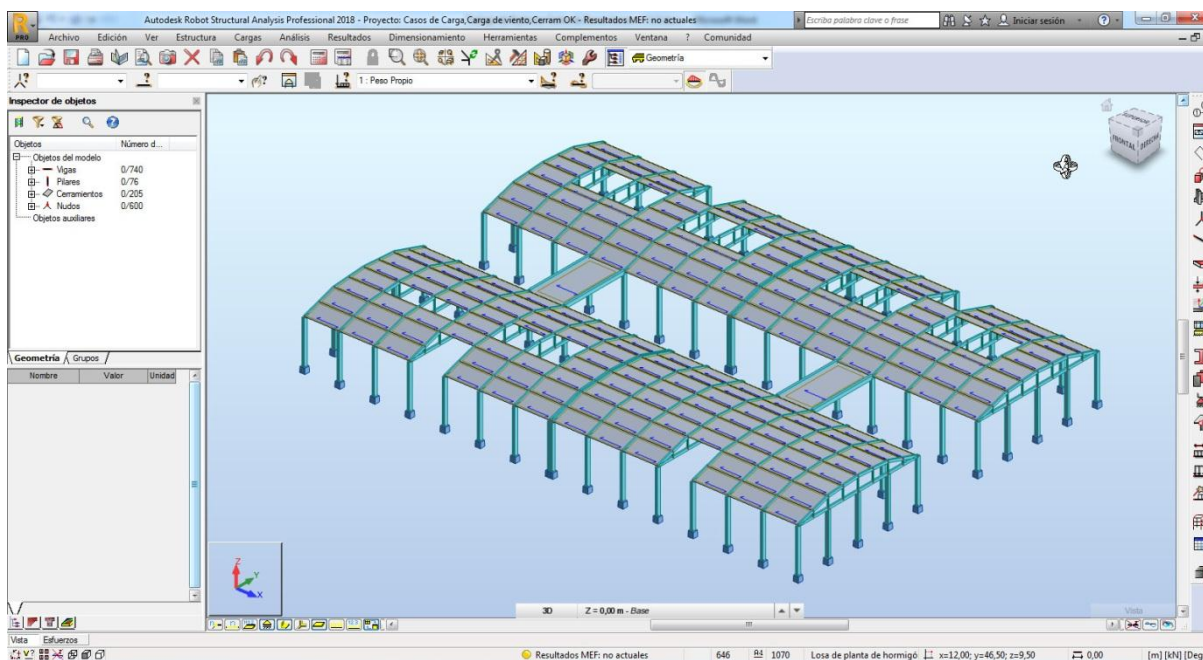


Figura 2.19: Creación de los Cerramientos. Fuente: (Elaborado por el autor)

Una vez creados los cerramientos se procede a agregar la carga debida al peso de las losas.

1. En la pantalla geometría, se coloca el modelo en una vista superior y se coloca como caso de carga actual la de “Carga Permanente” (Ver Figura 2.20).

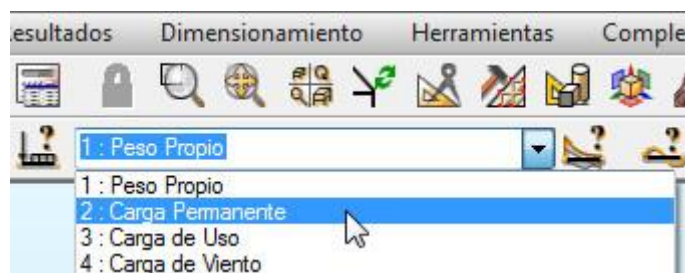


Figura 2.20: Listado de casos de cargas. Fuente: (Elaborado por el autor)

2. Clic en el menú Cargas **Cargas** / **Cargas** (Ver Figura 2.21).
3. Se selecciona la pestaña superficie/ Carga superficial uniforme.
4. Se coloca el valor de la carga de 1.64 kN/m^2 en la dirección Z con valor negativo (hacia abajo).
5. Se presiona Agregar y luego se hace clic sobre los cerramientos para asignar la carga/ Aplicar/ Cerrar.

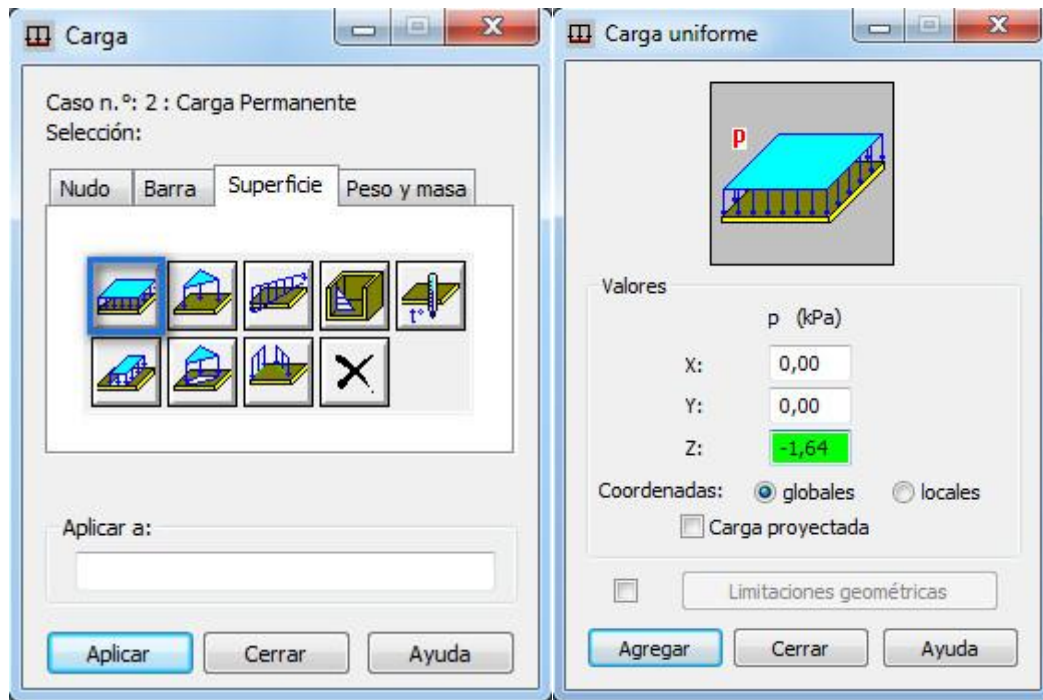


Figura 2.21: Cuadros de diálogos para adición de cargas. Fuente: (Elaborado por el autor)

En la Figura 2.22 se observa como se distribuye en los cerramientos la carga permanente debida al peso de la cubierta.

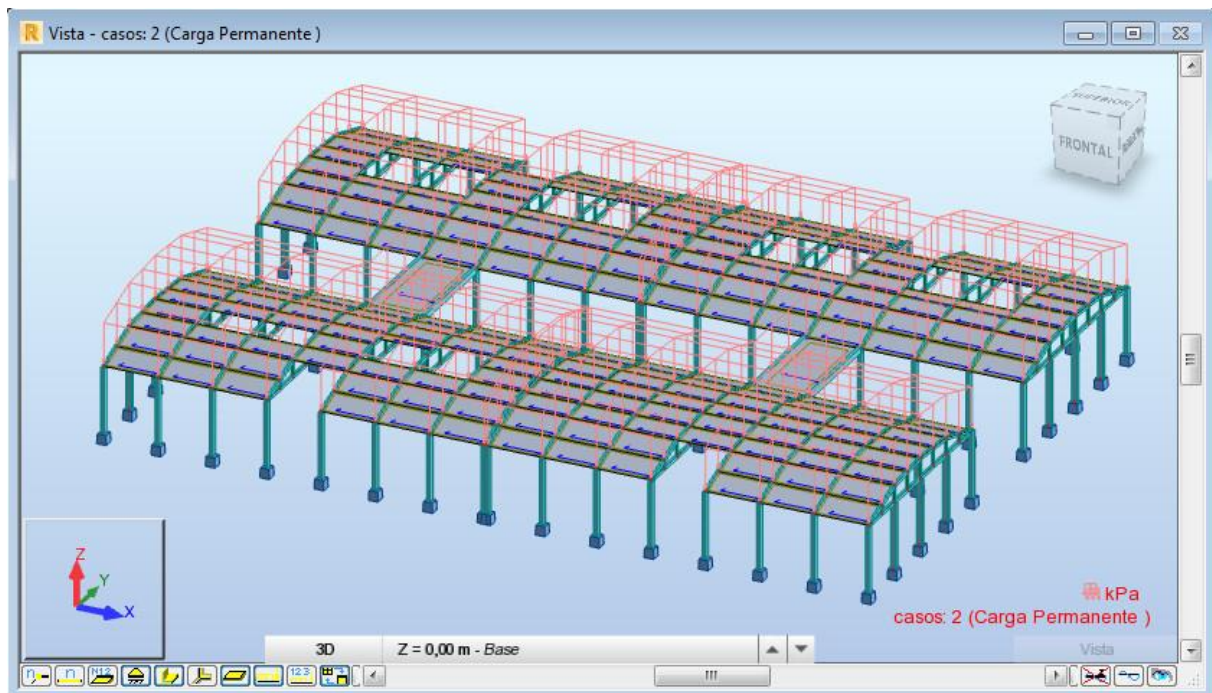


Figura 2.22: Carga Permanente. Fuente: (Elaborado por el autor)

En el caso de la carga de uso en la cubierta se coloca de la misma forma que la carga permanente. Teniendo en cuenta que se debe de colocar el modelo en el caso “Carga de uso”. En la Figura 2.23 se observa la carga de uso en cubierta.

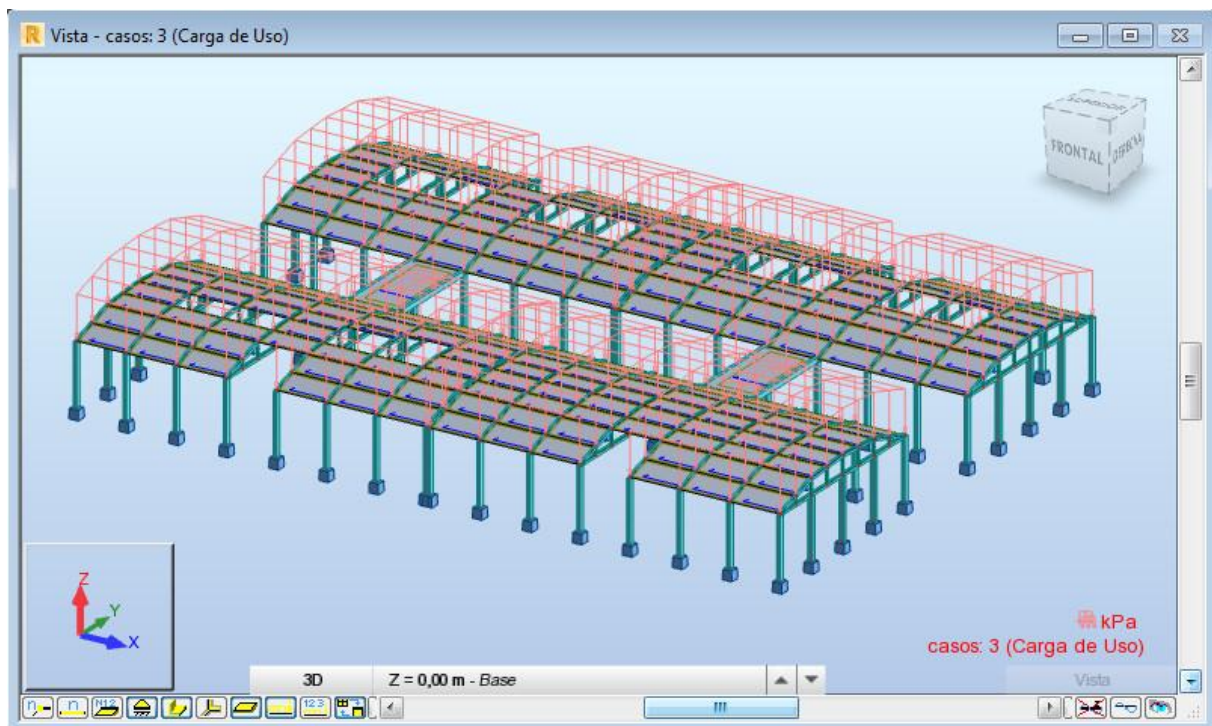


Figura 2.23: Carga de uso. Fuente: (Elaborado por el autor)

Carga de viento.

Para analizar la carga de viento que afecta la estructura se empleó la (NC 285: 2003) (Carga de viento. Método de cálculo).

$$q = q_{10} \cdot C_t \cdot C_s \cdot C_h \cdot C_r \cdot C_{ra} \cdot C_f$$

Para generar la carga de viento en Robot, se introduce en el software la presión básica para la zona, y con los coeficientes que afectan la presión según la ecuación de cálculo se crea un perfil de viento para la dirección X y la dirección Y. El coeficiente de forma lo tiene en cuenta el programa según las características aerodinámicas de la estructura.

q_{10} : Presión básica del viento por provincias o regiones para una recurrencia de 50 años.

Zona III: Comprende las provincias de Las Tunas, Holguín, Granma, Santiago de Cuba y Guantánamo.

$$q_{10} = 0.9 \text{ kN/m}^2$$

C_t : Coeficiente de recurrencia.

$C_t = 1.00$ (Tiempo de recurrencia 50 años)

C_s : Coeficiente de sitio.

$C_s = 1.00$ (Sitio normal)

Para el cálculo de los coeficientes de altura y de ráfaga se tiene en cuenta la clasificación del terreno según la variación de su rugosidad. Se determinó que la nave está ubicada en un terreno tipo B.

C_h : Coeficiente de altura.

$C_h = 0.48$ de 0 a 5m de altura

$C_h = 0.56$ para 7.4m de altura

$C_h = 0.66$ para 10.4m de altura

C_r : Coeficiente de ráfagas.

$C_r = 1.46$ para alturas menores de 10m

$C_r = 1.36$ para una altura de 10.4m

C_{ra} : Coeficiente de reducción.

$C_{ra} = 0,78$ para 24m en la dirección del eje X

$C_{ra} = 1$ porque la mayor dimensión en la dirección del eje Y no supera los 15m

En la dirección del Eje X

Coeficiente del perfil de 0 a 5m = $1.00 \cdot 1.00 \cdot 0.48 \cdot 1.46 \cdot 0.78 = \mathbf{0.55}$

Coeficiente del perfil para 7.4m = $1.00 \cdot 1.00 \cdot 0.56 \cdot 1.46 \cdot 0.78 = \mathbf{0.64}$

Coeficiente del perfil para 10.4m = $1.00 \cdot 1.00 \cdot 0.66 \cdot 1.36 \cdot 0.78 = \mathbf{0.70}$

En la dirección del Eje Y

Coeficiente del perfil de 0 a 5m = $1.00 \cdot 1.00 \cdot 0.48 \cdot 1.46 \cdot 1.00 = \mathbf{0.70}$

Coeficiente del perfil para 7.4m = $1.00 \cdot 1.00 \cdot 0.56 \cdot 1.46 \cdot 1.00 = \mathbf{0.82}$

Coeficiente del perfil para 10.4m = $1.00 \cdot 1.00 \cdot 0.66 \cdot 1.36 \cdot 1.00 = \mathbf{0.90}$

1. Se accede al menú **Cargas** / Simulación de cargas de viento/ Generar cargas de viento (Ver Figura 2.24).

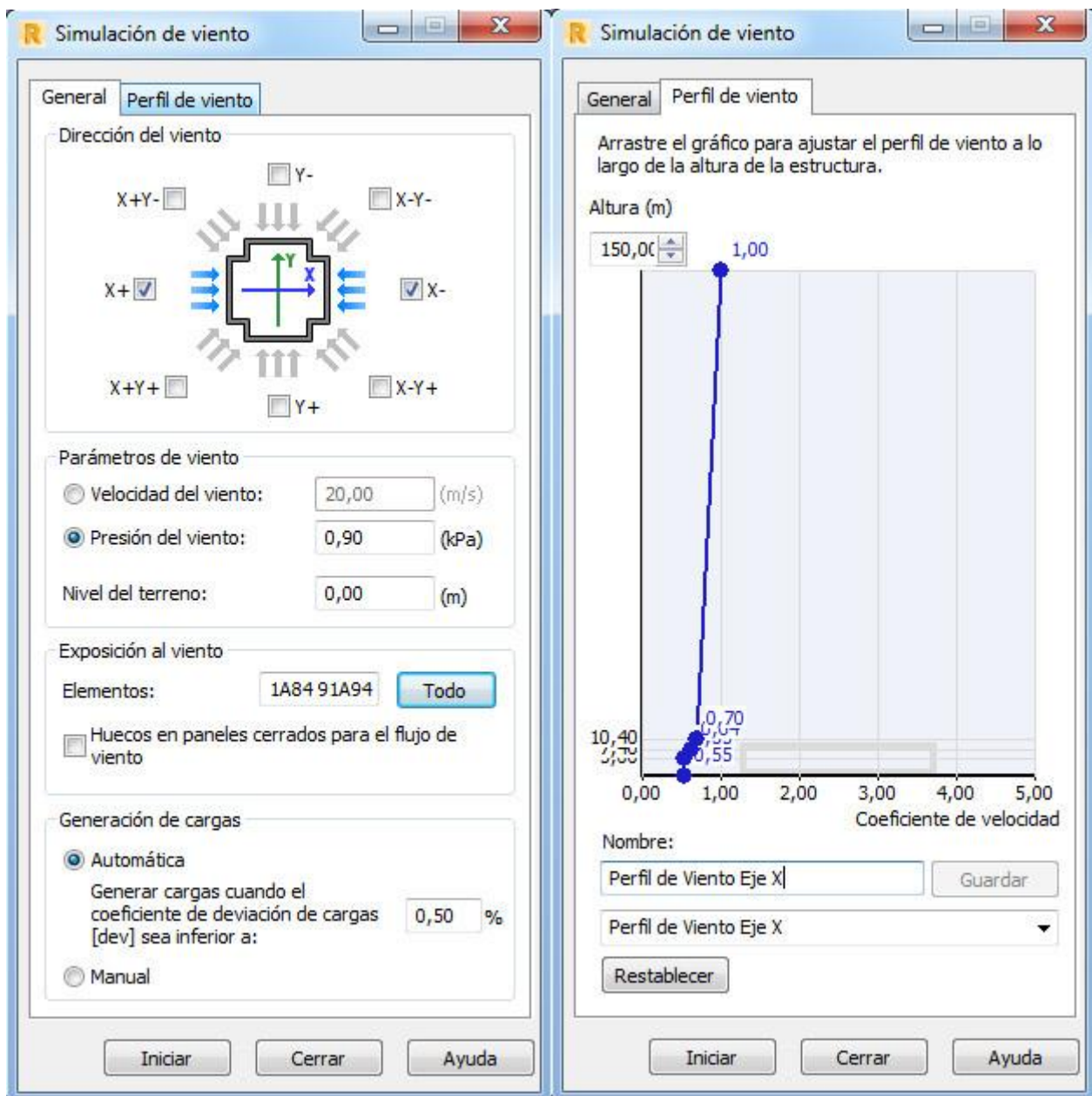


Figura 2.24: Configuración de simulación de viento. Fuente: (Elaborado por el autor)

2. En el cuadro de diálogo de simulación de viento, se seleccionan las direcciones en las que se desea analizar el viento (X+, X-) o (Y+, Y-).
3. Se selecciona el parámetro de viento “Presión del viento” y se introduce el valor de 0.9kN/m^2 .

4. En exposición al viento, se hace clic en “Todo” para seleccionar todos los elementos y se verifica que no esté seleccionada la opción de huecos en paneles para el flujo de viento.
5. Se hace clic en la pestaña “Perfil de viento” y se configura el perfil de viento según la dirección en que se vaya a analizar X o Y.
6. Se presiona el botón “Iniciar”.

En la Figura 2.25 y Figura 2.26 se observa la simulación del viento.

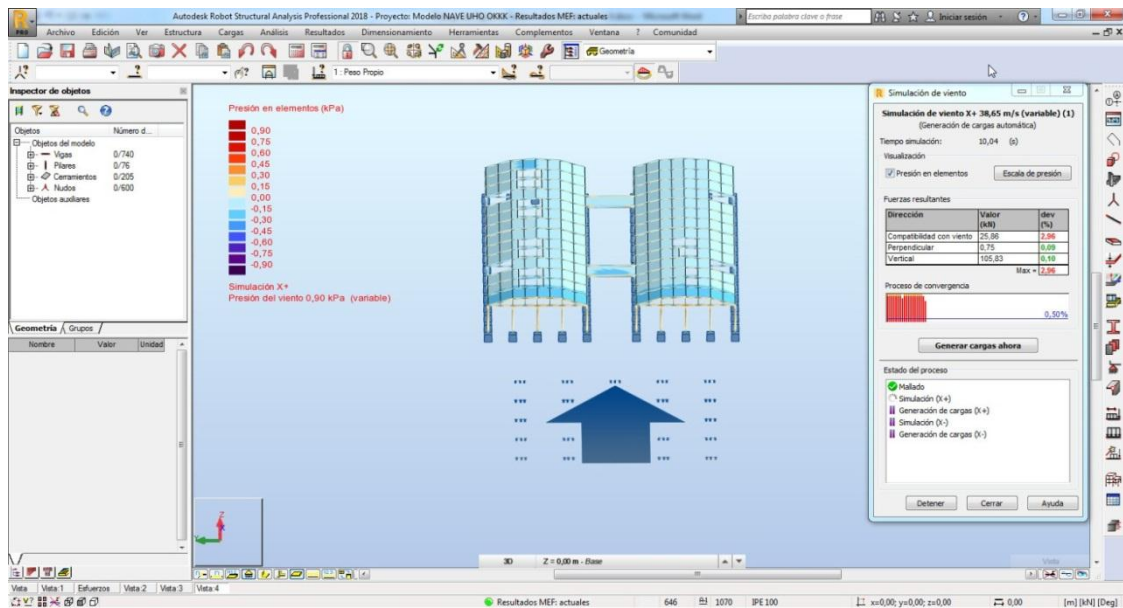


Figura 2.25: Simulación de viento (X+). Fuente: (Elaborado por el autor)

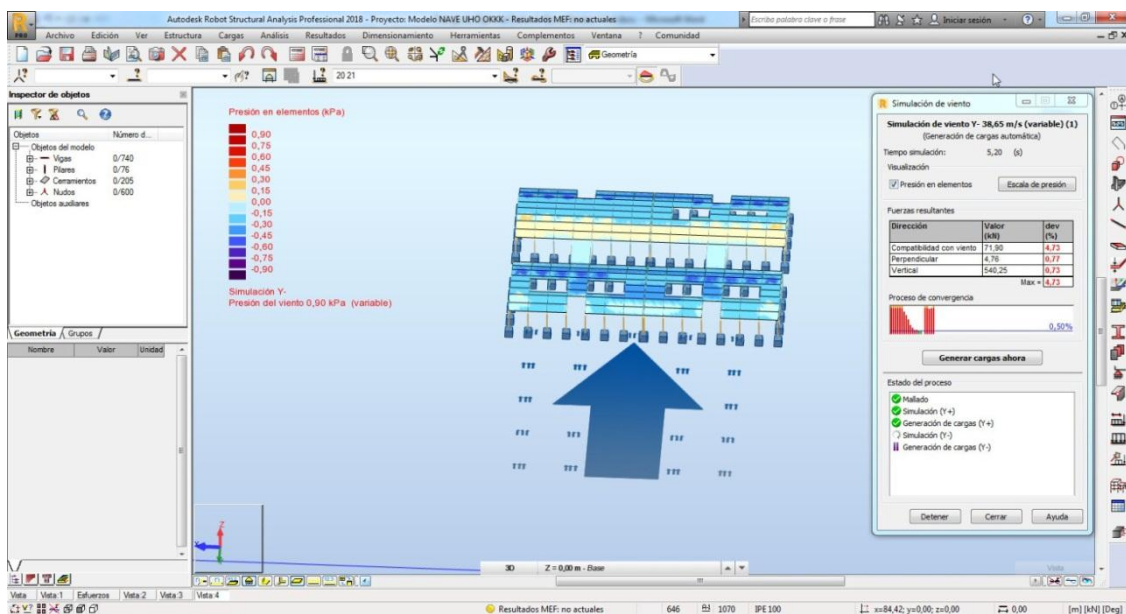




Figura 2.26: Simulación de viento (Y-). Fuente: (Elaborado por el autor)

2.3.2 Cálculo de la estructura.

Las solicitaciones son los esfuerzos internos los cuales debe resistir la estructura, estas se obtienen a partir de métodos matemáticos, los cuales se diferencian en cuanto a su complejidad y precisión. En el programa Robot, y en la mayoría de los paquetes de análisis estructural, se adopta por defecto el análisis elástico lineal, que dispone de diversos tipos de análisis basados en métodos matriciales como: análisis estático, análisis dinámico, análisis modal, análisis armónico, análisis espectral, entre otros. Robot elige el tipo de análisis automáticamente en función del tipo de estructura que se esté analizando. (Junco Deroncelé, 2016)

Se procede a realizar el cálculo de la estructura presionando el botón “Calcular” . En el proceso de cálculo, si el programa detecta inconsistencias en la estructura, mostrará ventanas emergentes sugiriendo los ajustes necesarios y al finalizar muestra una ventana con un resumen de errores, advertencias y notas (Ver Figura 2.27). Una vez calculada la estructura, se puede verificar esta situación en la barra de estado  Resultados MEF: actuales . El punto verde indica que los resultados del cálculo están actualizados.

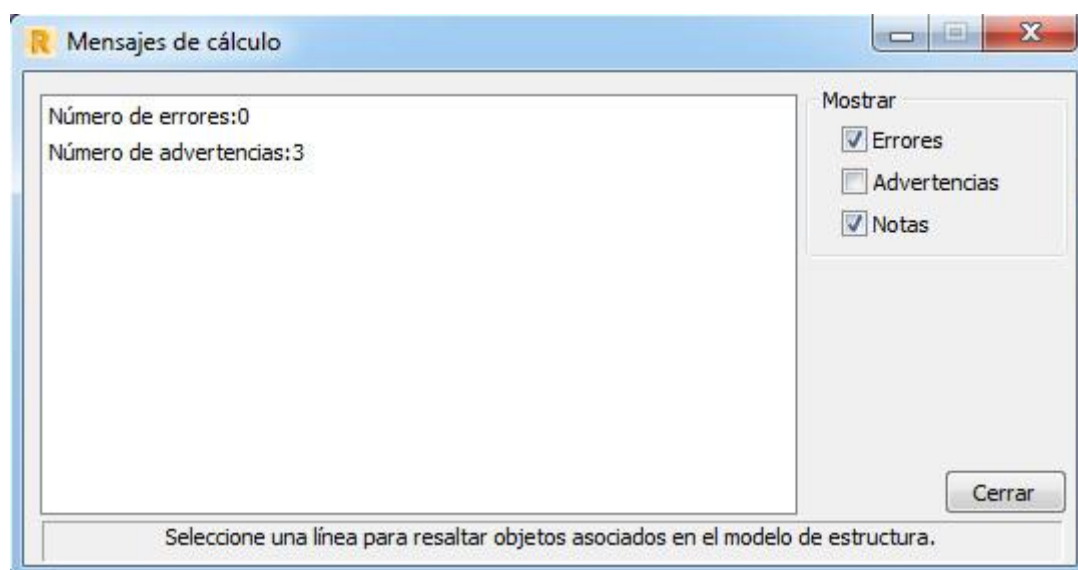


Figura 2.27: Mensajes de cálculo. Fuente: (Elaborado por el autor)

2.3.2.1 Resultados del cálculo.

El software dispone de herramientas que permiten observar los diagramas de los resultados de cálculo de una forma sencilla y con un excelente nivel de detalle.

1. Se hace clic en el menú Resultados  Resultados/ Diagramas - barras .

- En el cuadro de diálogo “Diagramas” se seleccionan los esfuerzos, momentos, reacciones y demás resultados que se desean visualizar en el modelo, así como los parámetros de visualización (Ver Figura 2.28).

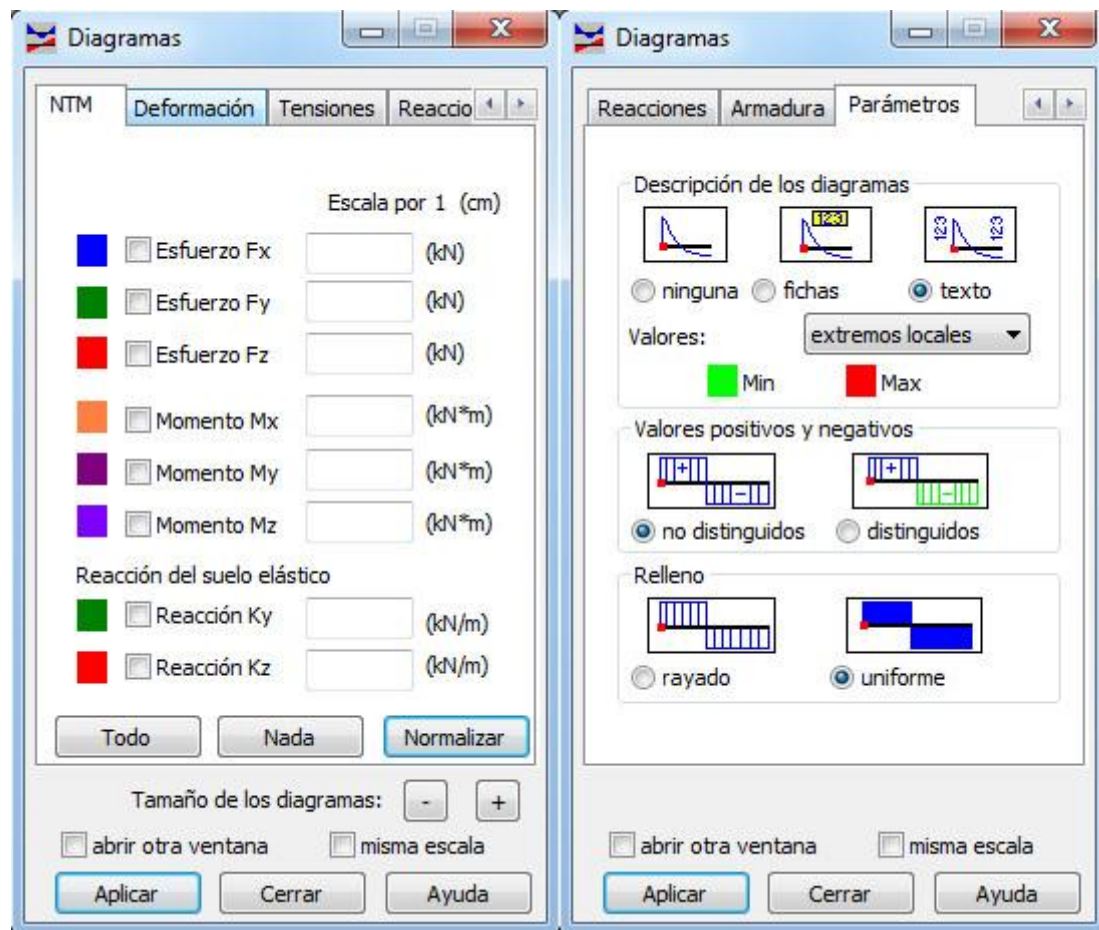


Figura 2.28: Ajustes de visualización de diagramas. Fuente: (Elaborado por el autor)

- En la lista de casos de cargas se selecciona el caso simple o la combinación, de los que se desea tener los resultados de cálculo.
- Se hace clic en aplicar, y de esta forma se observan los diagramas. En la parte inferior izquierda de la pantalla aparecen los valores extremos de los resultados que se estén observando.
- Para mejorar la visualización de los diagramas se hace clic en “Normalizar” y el programa automáticamente ajusta la escala.

A continuación se muestran los gráficos de solicitaciones de elementos que forman parte de la estructura.

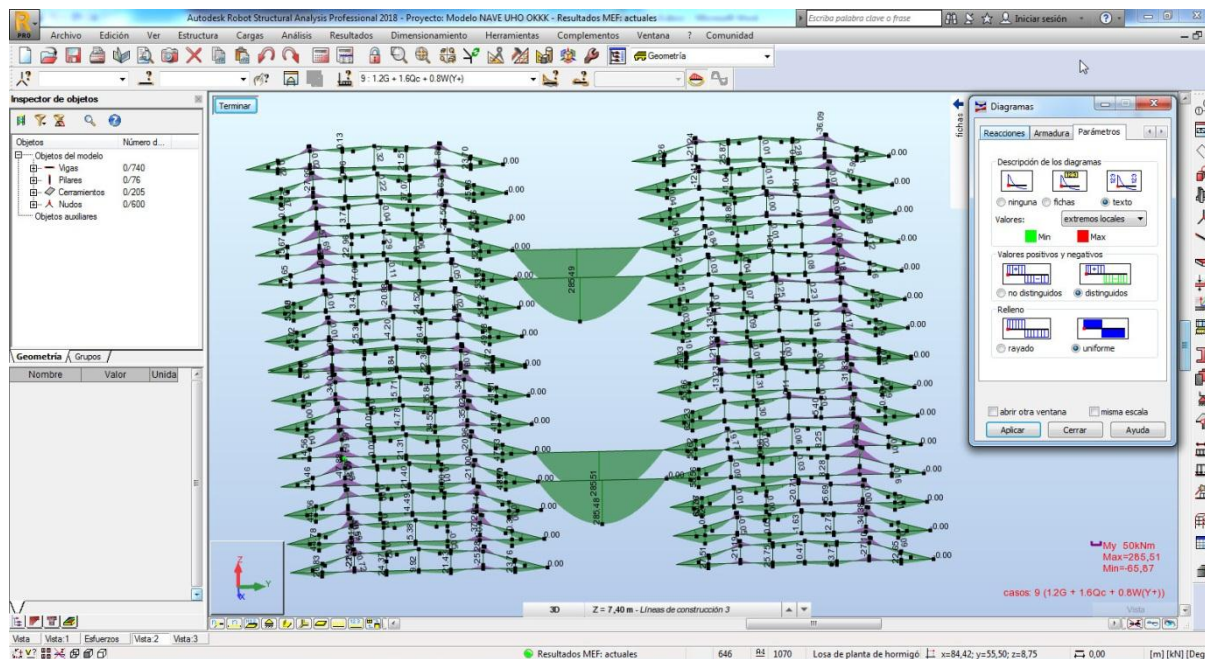
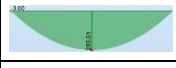
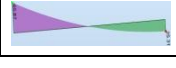


Figura 2.29: Solicitaciones de momento en cerchas y vigas centrales. Fuente: (Elaborado por el autor)

En la Figura 2.29 se observan los diagramas de momentos en las cerchas y vigas centrales, provocados por la combinación que generó los mayores valores de momentos $1.2G + 1.6Q_c + 0.8W(Y+)$. El mayor positivo corresponde a una viga central y el mayor momento negativo a una viga de un tramo de cercha.

Tabla 2.1: Valores máximos de momentos en cerchas y vigas centrales. Fuente: (Elaborado por el autor)

Elemento	Diagrama	Mayor momento positivo (kNm)	Mayor momento negativo (kNm)
Viga central		285.51	-
Viga de tramo de cercha		-	-65.87

Los esfuerzos de cortante son tan importantes en el análisis del comportamiento de la estructura como lo son las solicitaciones de momento. En la Figura 2.30 se pueden observar las solicitaciones de cortante de las cerchas y vigas centrales correspondientes a la combinación más desfavorable $1.2G + 1.6Q_c + 0.8W(Y+)$.

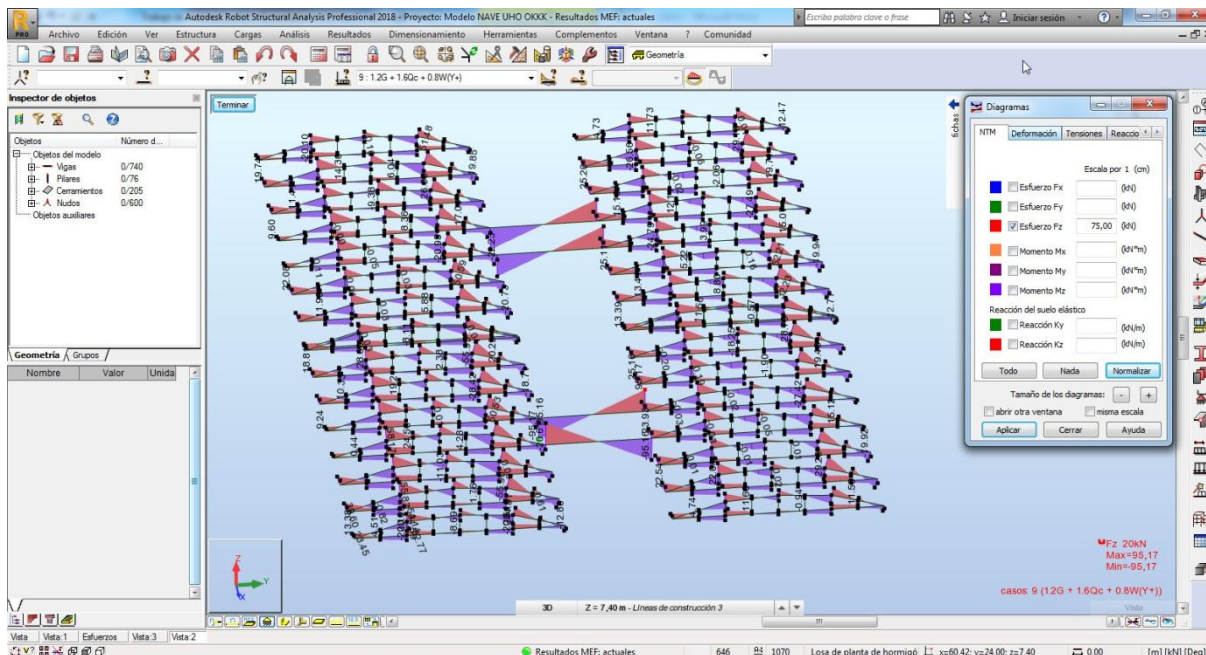



Figura 2.30: Solicitaciones de cortante en cerchas y vigas centrales. Fuente: (Elaborado por el autor)

Los mayores valores de cortante se encuentran en una viga central como se muestra en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2: Valores máximos de cortante en cerchas y vigas centrales. Fuente: (Elaborado por el autor)

Elemento	Diagrama	Mayor cortante positivo (kN)	Mayor cortante negativo (kN)
Viga central		95.17	-95.17

Para determinar las solicitaciones de momento más críticas en las columnas se analizaron las distintas combinaciones, obteniéndose los valores más desfavorables para la combinación $1.2G + 1.6Q_c + 0.8W(Y-)$. En la Figura 2.31 se observan las solicitaciones de momento en las columnas.

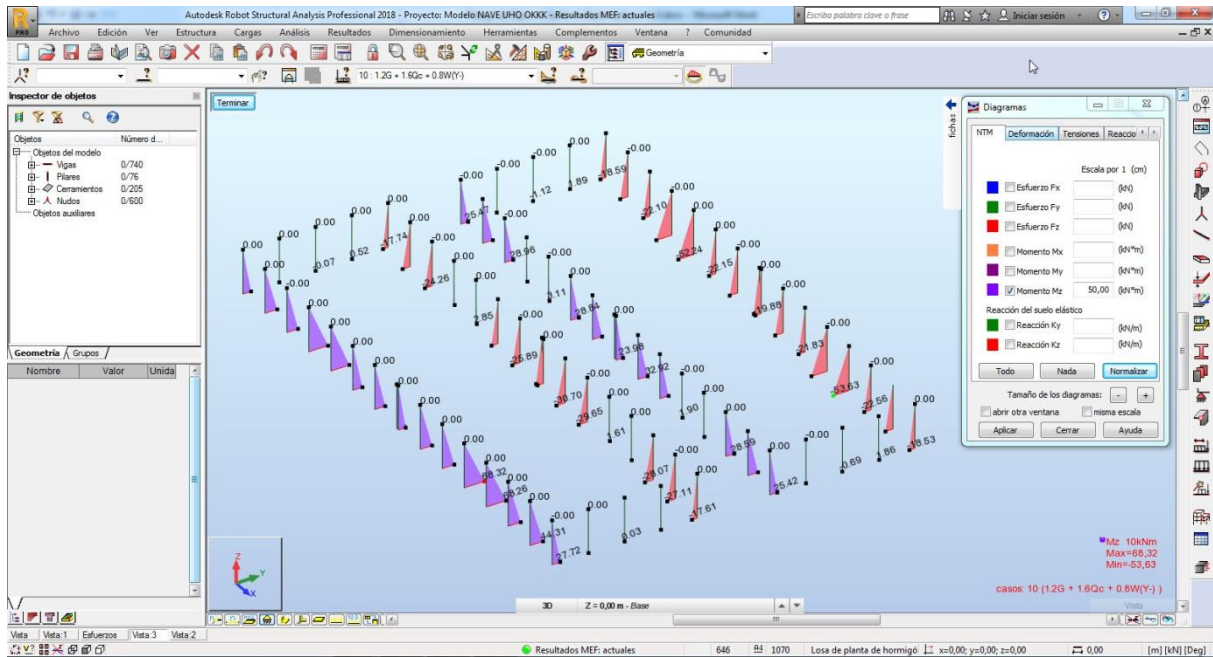
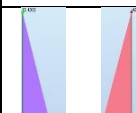


Figura 2.31: Solicitaciones de momento en columnas. Fuente: (Elaborado por el autor)

En la Tabla 2.3 se muestran los esfuerzos de momentos máximos en las columnas.

Tabla 2.3: Valores máximos de momentos en columnas. Fuente: (Elaborado por el autor)

Elemento	Diagrama	Mayor momento positivo (kNm)	Menor momento negativo (kNm)
Columna		68.32	-53.63

Los máximos valores de fuerza axial se obtienen para la misma combinación crítica de los momentos en las columnas, estos se observan en la Figura 2.32.

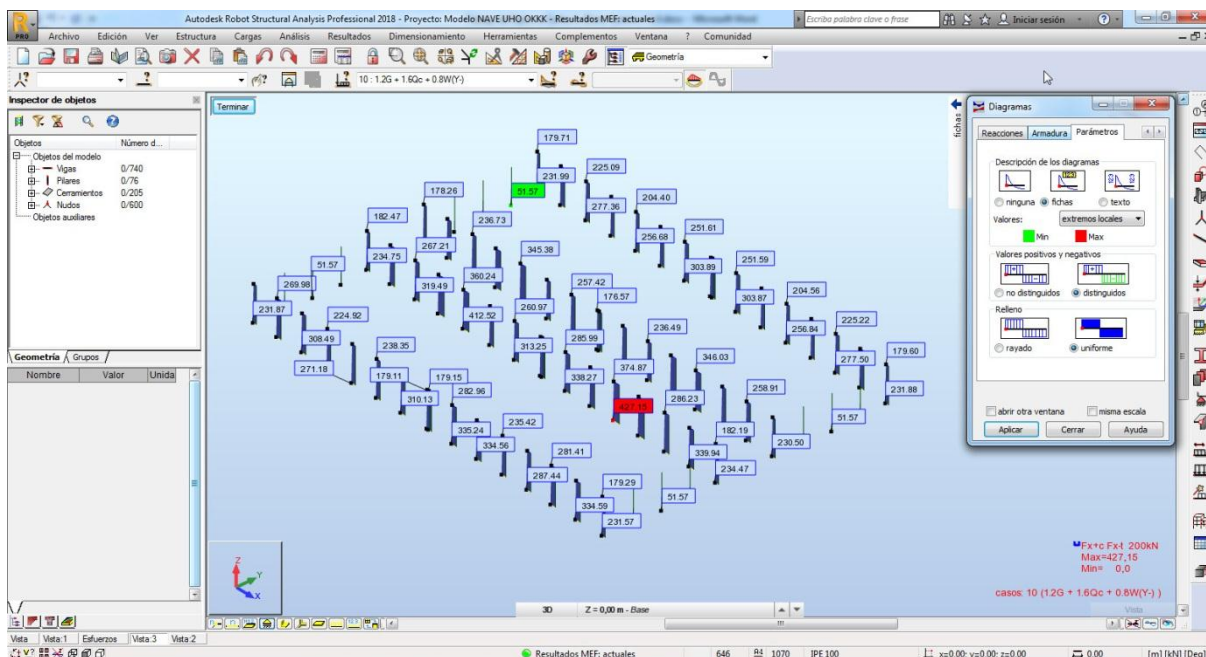
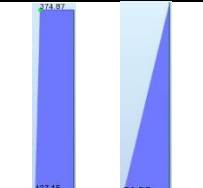


Figura 2.32: Solicitaciones de axial en columnas. Fuente: (Elaborado por el autor)

En la Tabla 2.4 pueden apreciarse los valores máximos y mínimos de fuerza axial.

Tabla 2.4: Valores máximos y mínimos de fuerza axial en columnas. Fuente: (Elaborado por el autor)

Elemento	Diagrama	Mayor axial (kN)	Menor axial (kN)
Columna		427.15	51.57

Los valores de momento y carga axial en los apoyos, debidos a la combinación de carga crítica $1.2G + 1.6Q_c + 0.8W(Y+)$ se observan en la Figura 2.33.

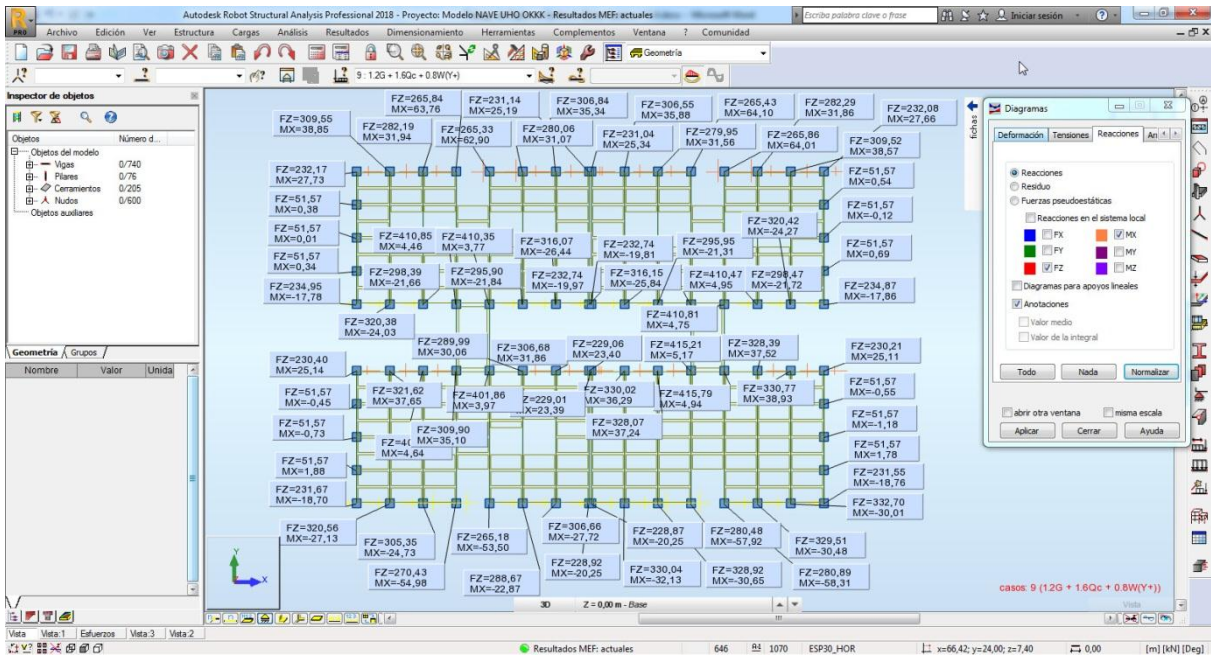


Figura 2.33: Reacciones de axial y momento en los apoyos. Fuente: (Elaborado por el autor)

En la Figura 2.34 se observa el pórtico perteneciente a la línea de construcción número 12, este presenta la mayores solicitaciones de momento para la combinación crítica.

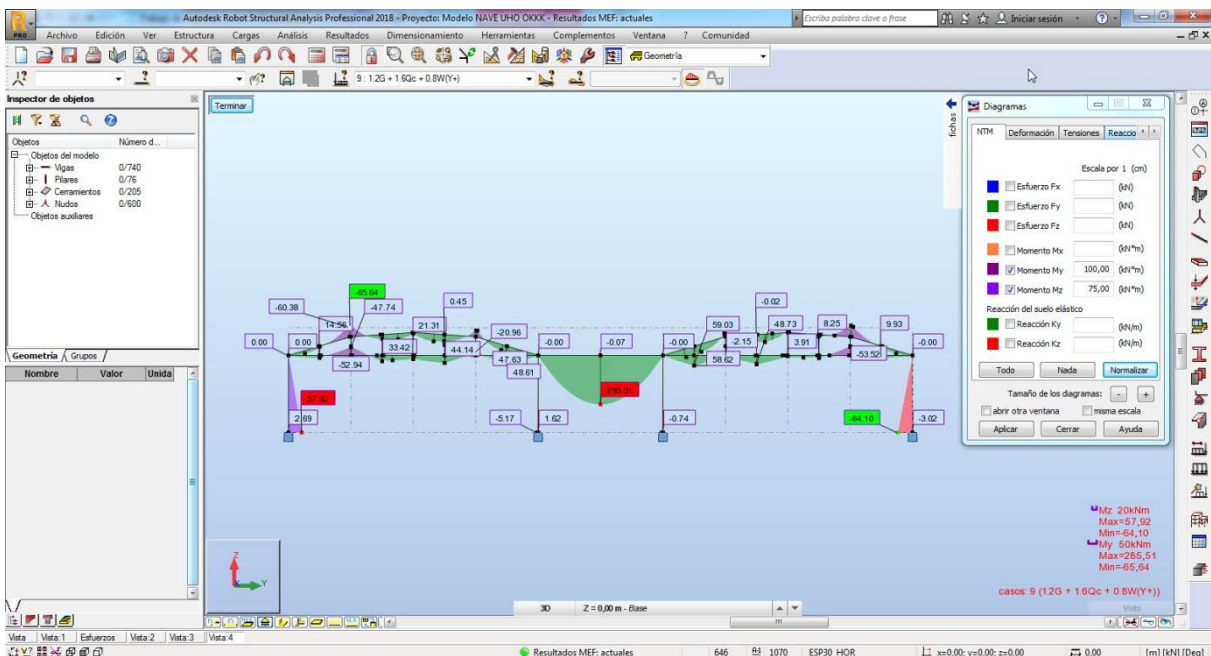


Figura 2.34: Pórtico de mayores solicitaciones. Fuente: (Elaborado por el autor)

Conclusiones parciales del capítulo.

- Se elaboró un esquema de trabajo, para lograr el análisis de una estructura, que permite vincular los softwares de modelado y análisis, Autodesk Revit y Robot Structural en una plataforma BIM.
- A partir del modelo geométrico Revit de la “Nave Universidad de Holguín”, se realizó el análisis de la estructura en el programa Robot Structural hasta obtener los gráficos de solicitaciones.

CONCLUSIONES GENERALES:

1. El empleo de los softwares Autodesk Revit y Robot como herramientas de la metodología BIM, proporciona muchas ventajas que permiten al ingeniero civil potencializar su trabajo a partir de modelos 3D, así como lograr proyectos de mayor eficiencia, calidad y competitividad como premisas emergentes del creciente desarrollo del proceso inversionista en nuestro país.
2. Se elaboró un esquema de trabajo para obtener el análisis de una estructura mediante el empleo de las herramientas de Autodesk “Revit y Robot Structural”, gracias a la interoperabilidad que brindan estos programas, lo que ha permitido obtener datos precisos de las solicitaciones a partir de la visualización de los resultados en un modelo BIM.
3. Se realizó el análisis estructural para el caso de estudio “Nave Universidad de Holguín” a partir del empleo de los softwares BIM: Revit y Robot, estos resultados permiten su utilización en un proyecto real; lo que contribuye además a la formación del ingeniero civil y amplía su preparación para enfrentar proyectos de estructura.

RECOMENDACIONES:

1. Continuar la investigación, fundamentalmente de las herramientas del software Robot Structural para el análisis de las acciones dinámicas de sismo y para el diseño de los elementos estructurales, para lograr explotar todas las potencialidades del programa.
2. Incluir el estudio de los softwares Revit y Robot Structural en la formación del ingeniero civil, por las ventajas que proporcionan estos modernos programas en plataforma BIM que son tendencia a nivel internacional y para su preparación en la solución a futuros proyectos en su vida profesional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- EUBIM TASKGROUP. (2017). Manual para la introducción de la metodología BIM por parte del sector público europeo.
- NC 284. (2003). Edificaciones. Cargas de uso. Oficina Nacional de Normalización. La Habana, Cuba.
- NC 285. (2003). Carga de viento, Método de cálculo. Oficina Nacional de Normalización. La Habana, Cuba.
- NC 450. (2006). Edificaciones—Factores de carga o ponderación—combinaciones. Oficina Nacional de Normalización. La Habana, Cuba.
- Hildebrandt Gruppe. (2015). Recuperado el 25 de febrero de 2021, de <http://www.hildebrandt.cl/en-que-consiste-el-modelo-bim/#>
- Instituto Tecnológico del Cantábrico. (2018). Obtenido de <https://itcformacionyconsultoria.com/ventajas-autodesk-robot/>
- En Matanzas: BIM adentro de la Empai . (2018). Recuperado el 30 de Noviembre de 2020, de <http://www.tvyumuri.cu/cuba/matanzas-bim-adentro-la-empai-fotos/>
- 2ACAD. (2019). Recuperado el 28 de Junio de 2021, de <https://www.2acad.es/portfolio-item/robot-structural-analysis-professional/>
- EADIC DEL PERÚ. (2019). Recuperado el 17 de Junio de 2021, de Revit Structure: Diseño estructural BIM: <https://www.eadic.pe/revit-structure/>
- KAIZEN Arquitectura & Ingeniería. (2020). Recuperado el 6 de Junio de 2021, de <https://www.kaizenai.com/>
- ARCUX. (2021). Recuperado el 18 de Junio de 2021, de <https://arcux.net/blog/que-es-revit-mep-y-cuales-son-sus-principales-funciones/>
- Autodesk. (2020). Revit para ingeniería estructural . Obtenido de <https://latinoamerica.autodesk.com>

- Bermejo Nualart, F., Coloma Pico, E., & Diéguez Lorenzo, F. (2019). Libro blanco sobre la definición estratégica de implementación del BIM en la Generalitat de Catalunya.
- Bilbao Salazar, A. E. (2019). Análisis y aplicación del programa bim orientado al diseño y cálculo estructural “SDS/2”, de la empresa NEMETSCHEK.
- Cámac Leonardo, L. M. (2015). Identificación de incompatibilidades en la construcción de estructuras y arquitectura utilizando un modelo 3D en REVIT ARCHITECTURE 2014.
- Carballo Hernández, E. L. (2020). Modelado de edificaciones a partir de nubes de puntos con el uso del Autodesk Revit. Holguín.
- Chipana Mamani, E. M. (2019). Análisis y diseño del edificio Montoya Salazar de concreto armado de 1 semisótano + 6 pisos en Arequipa interactuando los programas Revit Y Robot Analysis.
- Cuartero, J. A. (2018). Obtenido de <https://gestion.pe/opinion/siete-dimensiones-del-bim-metodologia-cambiara-construccion-america-latina-228053-noticia/>
- Echevarría Landeta, M. J. (2016). Análisis y diseño estructural de los edificios Loaiza, Unach y Plus I, en los programas ETABS, STAAD.PRO y ROBOT considerando para el diseño la NEC 2015.
- Ekon. (2020). Recuperado el 6 de Junio de 2021, de <https://www.ekon.es/que-es-bim/>
- Esarte Eseverri, A. (2020). Recuperado el 17 de Junio de 2021, de <https://www.espaciobim.com/software-bim/revit>
- ESDIMA . (2018). Cursos de Gráfico, Web y Revit en Madrid - Escuela ESDIMA. Recuperado el 18 de Junio de 2021, de <https://esdima.com/para-que-sirve-revit-structure/>
- Flores Mena, E. A. (2018). Modelación, Diseño Estructural Comparativo y Propuesta de Ampliación Vertical de la Edificación FLORES MENA, ubicada en la Ciudad de Quito-Ecuador, Sector Cofavi.

- González Pérez, C. (2015). Building Information Modeling: Metodología, aplicaciones y ventajas. Casos prácticos en gestión de proyectos.
- González Sato, J. (2018). Análisis y Evaluación de la tecnología (BIM) Building Information Modeling.
- Hernández, R. (2018). SONDA - Autodesk CBP. Recuperado el 17 de Noviembre de 2020, de <https://www.sonda-mco.com/>
- Junco Deroncelé, A. I. (2016). Guía de trabajo para el uso del Revit como herramienta en proyectos de estructuras.
- López Vidal, A. (2016). Una revolución llamada BIM.
- Marín, R. F. (2020). Recuperado el 21 de Junio de 2021, de <https://www.rfaeco.com/revit-mep-para-ingenieria-instalaciones-mecanicas/>
- Montoya Martínez, D. A. (2016). Optimización de estructuras de naves industriales empleando tecnología BIM.
- Nieto Salas, M. D. (2016). Manejo del software revit y su incidencia en el modelado de información para la construcción de edificaciones en la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua.
- Pelfort Tamayo, Y. O. (24 de Septiembre de 2021). (C. A. Bonet Serrano, Entrevistador)
- Pinzón Florez, H. H. (2020). Implementación de la metodología BIM en el proyecto Carra- Cusezar para la supervisión técnica en etapa de estructura. Bogotá.
- Polanco Guerra, S. (2019). Acercamiento a la Tecnología BIM. Software Cype aplicado a proyectos de ingeniería en Ccrea, Villa Clara.
- Sánchez Bonilla, J. H., Rivas Varón, A. F., & Ott Serrano, J. P. (2019). Diseño y modelación de proyectos en dos y tres dimensiones con la metodología BIM (BUILDING INFORMATION MODELING) soportado en herramienta AUTODESK REVIT.
- Structuralia. (2018). Recuperado el 25 de Septiembre de 2021, de <https://blog.structuralia.com/aplicaciones-de-la-metodologia-bim-en-ingenieria>

Vásquez Carrillo, J. E. (2018). Análisis y diseño estructural de una “CUBIERTA TIPO” de bambú, para canchas de uso multiple mediante el uso de los programas REVIT, ROBOT y ETABS.

Villarroel Bejarano, C. E. (2016). Análisis y Diseño de Estructuras con AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS 2016.

Villena Zúñiga, M. G. (2017). “Diseño y Modelación de un edificio con una configuración en planta irregular, mediante la utilización del software de diseño “Revit Structure” y su análisis mediante un software especializado “Robot Structural Analisis” (BIM).