



**Restitución geométrica 3D y modelación numérica de la Edificación Patrimonial 1
en la Academia de Guerra del Ejército del Ecuador**

Cabezas Bósquez, Ángel Agustín; Flores Sandoval, María Gabriela; Gualotuña
Sánchez, Homero Samuel y Guano Quinatoa Jessica Lizbeth

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de Integración Curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

Ing. Mejía Almeida, Néstor David Msc.

15 de Febrero 2023



Restitución Geométrica 3D y Modelación numérica.docx

Scanned on: 4:52 March 11, 2023 UTC



Overall similarity score



Results found



Total words in text

	Word count
Identical	848
Minor Changes	557
Paraphrased	1540
Omitted	0



INVESTOR DAVID MELJIA
ALMEIDA



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular, "Restitución geométrica 3D y modelación numérica de la Edificación Patrimonial 1 en la Academia de Guerra del Ejército del Ecuador.", fue realizado por los estudiantes **Cabezas Bósquez, Ángel Agustín; Flores Sandoval, María Gabriela; Gualotuña Sánchez, Homero Samuel y Guano Quinatoa, Jessica Lizbeth**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 08 de marzo de 2023



Ing. Mejía Almeida, Néstor David, Msc.

C.C: 1714547898



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Cabezas Bósquez, Ángel Agustín; Flores Sandoval, María Gabriela; Gualotuña Sánchez, Homero Samuel y Guano Quinatoa, Jessica Lizbeth**, con cédula de identidad n° 1725853756, 1004654446, 1726431602 y 1726305327, declaramos que el contenido, ideas y criterios de trabajo de Integración Curricular **“Restitución geométrica 3D y modelación numérica de la Edificación Patrimonial 1 en la Academia de Guerra del Ejército del Ecuador.”** es de nuestra autoría y responsabilidad cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 08 de marzo de 2023

**Cabezas Bósquez,
Ángel Agustín**
C.C: 1725853756

**Flores Sandoval,
María Gabriela**
C.C: 1004654446

**Gualotuña Sánchez,
Homero Samuel**
C.C: 1726431602

**Guano Quinatoa,
Jessica Lizbeth**
C.C: 1726305327



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Autorización de Publicación

Nosotros, **Cabezas Bósquez, Ángel Agustín; Flores Sandoval, María Gabriela; Gualotuña Sánchez, Homero Samuel y Guano Quinatoa, Jessica Lizbeth**, con cédula de identidad n° 1725853756, 1004654446, 1726431602 y 1726305327, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de Integración Curricular **"Restitución geométrica 3D y modelación numérica de la Edificación Patrimonial 1 en la Academia de Guerra del Ejército del Ecuador."** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 08 de marzo de 2023

**Cabezas Bósquez,
Ángel Agustín**
C.C: 1725853756

**Flores Sandoval,
María Gabriela**
C.C: 1004654446

**Gualotuña Sánchez,
Homero Samuel**
C.C: 1726431602

**Guano Quinatoa,
Jessica Lizbeth**
C.C: 1726305327

Dedicatoria

Esta tesis está dedicada:

A Dios quien ha sido mi guía, mi consejero y fortaleza para poder superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A mis padres, Ángel y Mariana quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque sé que siempre estarán para apoyarme.

A mi hermana Mishel y a mí sobrino Elías por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento, gracias.

A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

A mi enamorada Gabriela, quien es mi compañera de Tesis y ha estado para mi desde el inicio de mi carrera universitaria, gracias al apoyo incondicional que nos hemos brindado, gracias al amor y paciencia que nos tenemos vamos a cumplir juntos nuestro sueño de ser profesionales.

Al Ing. David Mejía, tutor de tesis, por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a todos mis amigos, por apoyarme cuando más las necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día.

Sr. Ángel Agustín Cabezas Bósquez

Dedicatoria

Quiero dedicar la culminación de mi tesis y mi carrera:

A Dios, por iluminar mi mente y fortalecer mi corazón a lo largo de toda mi vida.

A mi mamita, Amparito, por cuidar cada uno de mis pasos, por escucharme y siempre motivarme a seguir adelante a pesar de las dificultades, por su amor incondicional, por enseñarme a ser una mujer de bien, honrada y trabajadora, de usted aprendí el respeto, la superación constante y a mirar siempre adelante, gracias mamita por ser la mejor maestra que la vida pudo darme.

A mi papito, Roger, por luchar día a día por darme un futuro mejor, y que, con amor, paciencia y arduo trabajo, me ayudó alcanzar mi sueño de ser profesional, porque nunca me faltó su amor y aliento para seguir adelante, de él aprendí el valor del esfuerzo y el trabajo, a no rendirme y alcanzar mis metas.

A mi hermana, por ser mi alegría, que desde que nació ha sido el motivo de mi felicidad y superación constante, siempre serás mi eterna compañera de vida.

Dedico mi tesis a mi abuelito que está en el cielo, te pido que desde ahí me des tu bendición, y guíes cada uno de mis pasos para ser una persona de bien y una excelente profesional.

A mi novio, Ángel, por estar a mi lado desde el primer hasta el último día de nuestra carrera profesional, por ser mi ánimo y fortaleza, por cumplir juntos nuestras metas y objetivos.

Al Ing. David Mejía, tutor de tesis, por su valiosa guía y asesoramiento en la realización de este proyecto.

Y a mis amigos y compañeros, con los que he compartido grandes momentos, los cuales llevaré siempre en mi corazón.

Srta. María Gabriela Flores Sandoval

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado a Dios por brindarme la oportunidad de culminar una meta más de mi vida y poder disfrutar este logro junto con mis seres queridos.

A mi madre que forjó una persona con buenas bases de conocimiento, que a pesar de su condición me mostró fortaleza para culminar las metas propuestas.

A mi padre Fausto, mi hermana Aracely y mi sobrina Milena que son mis pilares y un apoyo incondicional en cada proceso que he dado a lo largo de esta carrera ya que jamás me dejaron solo en cada dificultad que he pasado.

A mis amigos y seres queridos que también formaron parte de este proceso, que con sus palabras de aliento en momentos difíciles ayudaron a mantenerme de pie y haber culminado cada logro importante de mi vida.

Sr. Homero Samuel Gualotuña Sánchez

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres, Juan y Fanny, que con mucha paciencia, sacrificio y amor me han acompañado en todos los momentos importantes de mi vida, gracias por cada palabra de aliento y por enseñarme que el esfuerzo y la perseverancia son clave del éxito.

A mis hermanos mayores, Juan Carlos, Patricia y Erika, por ser mi ejemplo a seguir y me han brindado un consejo para cada momento crucial de esta historia, gracias por ser parte de este sueño.

A mis abuelitos Manuel y Adolfo que, aunque no estén ya conmigo, aun los llevo en mi corazón.

A mis sobrinos Carlos, Juan Se y Emilia por cada sonrisa y alegría que me han dado.

Srta. Jessica Lizbeth Guano Quinatoa

Agradecimiento

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por haberme permitido cumplir una meta más y por guiarme en toda mi formación profesional.

A mi madre Mariana, que con su demostración de una madre ejemplar me ha enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos.

A mi padre Ángel, que siempre ha estado presente en mis momentos buenos como malos, que con su sabiduría y consejos me ha ayudado a afrontar los retos que se me han presentado a lo largo de mi vida, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me ha demostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

A mi hermana Mishel por ser una gran amiga para mí, que junto a sus ideas y locuras hemos pasado momentos inolvidables y uno de los seres más importantes en mi vida.

A mi sobrino Elías, quien siempre me brinda todo su apoyo y cariño, hasta en mis momentos más estresantes sabe cómo sacarme una sonrisa con sus chistes y ocurrencias.

A mi enamorada Gabriela, que, durante estos años, ha sabido apoyarme para continuar y nunca renunciar, gracias por su amor incondicional y por su ayuda en mi proyecto, que en realidad es nuestro, porque juntos empezamos la carrera universitaria y juntos la vamos a culminar.

A mis amigos y amigas, que siempre supieron brindarme su apoyo, sus mejores energías y sus buenos sentimientos, para que pudiera seguir adelante y cumplir mis metas propuestas en la vida.

Sr. Ángel Agustín Cabezas Bósquez

Agradecimiento

Quiero agradecer a Dios, por guiarme y darme fortaleza para seguir adelante.

A mis padres por su trabajo arduo y gran esfuerzo por ayudarme a cumplir todos mis objetivos y metas; gracias a mi mamita, Amparito, por su esfuerzo y dedicación en mi formación personal y académica; a mi papito, Roger, por desear y anhelar siempre lo mejor para mi vida; siempre me sentiré el ser más afortunado por tener tan valiosos padres.

A mi hermana, Aracely, por ser el motivo de mi felicidad desde su nacimiento, y ser mi principal motivación para cumplir con mis todas mis metas.

Agradezco a mi querida Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” y a mis maestros, por su dedicación y esfuerzo por formarme como profesional.

Agradezco a novio, Ángel, por su apoyo, sus cuidados, sus palabras de aliento, por su paciencia y perseverancia, por ayudarme y por creer siempre en mí, gracias por compartir tus metas conmigo y hacer de mis sueños los tuyos.

Quiero agradecer a mi tutor de tesis, Ing. David Mejía, por su valiosa guía y asesoramiento en la realización de este proyecto

A mis amigos y compañeros de clase, Angélica, Daniel, Dylan, Sebastián, Johanna, Vanessa, Clara, Miguel, gracias por su apoyo y brindarme los mejores momentos en la universidad, siempre los voy a querer y a guardar en mi corazón.

A los estudiantes de cuarto semestre de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”, Romel Molina, Christopher Caiza y Fausto Soria, por su ayuda en la elaboración y culminación de mi proyecto, sigan adelante chicos y terminen esta hermosa profesión.

Gracias a todos por formar parte de este logro, Dios los colme de bendiciones.

Srta. María Gabriela Flores Sandoval

Agradecimiento

Este agradecimiento primero va para Dios por ser el motor de mi vida, debido a que me dio la sabiduría e inteligencia necesaria para haber culminado esta meta.

Asimismo, estoy muy agradecido con mi madre que gracias a ella he logrado este anhelo que tanto esperó, lo cual me llena de orgullo haber cumplido eso.

A mi padre quien estuvo apoyándome y jamás se rindió en las adversidades debido a eso me mostró fortaleza y ganas para continuar en todo este trayecto estudiantil.

A mi hermana Aracely que ha sido como mi segunda madre y ha visto por mí en cada logro que he dado, lo cual me siento agradecido por cada apoyo brindado.

A la Universidad ESPE, a mi tutor el Ing. Néstor Mejía y profesores de la carrera quienes con sus buenos conocimientos han sabido transmitir lo necesario e importante para poder ejercer en la vida profesional.

A mis Pastores Miguel y Sofía con quienes pude compartir experiencias buenas y que con sus consejos, oraciones y palabras de aliento han sido parte esencial de mi vida.

De igual manera a mis amigos y seres queridos que han ayudado incondicionalmente con un granito de arena en los momentos más importantes de mi vida.

Sr. Homero Samuel Gualotuña Sánchez

Agradecimiento

A Dios y a mi Niño de Isinche que han guiado mis pasos en estos años de vida.

A mis padres Juan y Fanny que han sacrificado parte de su vida por darme un buen futuro. Gracias por las tantas malas noches de desvelo que pasaron junto a mí apoyándome. Esto no hubiese sido posible sin ustedes.

A mi hermano y hermanas que son pilares fundamentales de mi vida.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por permitirme formarme en sus aulas y realizarme como profesional.

A todas las personas que conocí en el transcurso de mi vida universitaria y a todos aquellos que se quedaron junto a mí, gracias.

Gracias a todos los que estuvieron al principio de este sueño, y que a pesar de que los años nos haya separado, aun los aprecio.

Finalmente, deseo agradecer a todas aquellas personas que de alguna u otra manera contribuyeron en el desarrollo de este proyecto de titulación.

Srta. Jessica Lizbeth Guano Quinatoa

Índice de Contenidos

Herramienta de verificación de similitud de contenidos	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Dedicatoria.....	7
Dedicatoria.....	8
Dedicatoria.....	9
Agradecimiento	10
Agradecimiento	11
Agradecimiento	12
Agradecimiento	13
Resumen	24
Capítulo I	26
Generalidades.....	26
Introducción.....	26
Planteamiento del Problema.....	27
<i>Macro</i>	27
<i>Meso</i>	27
<i>Micro</i>	28
Justificación e Importancia	28
Objetivos	30
<i>Objetivo General</i>	30
<i>Objetivos Específicos</i>	30
Descripción del Contenido.....	31

	15
Capítulo II	33
Marco teórico	33
Antecedentes	33
Bases Teóricas.....	33
<i>Mampostería</i>	33
<i>Mampostería no confinada o simple</i>	34
<i>Mampostería de adobe</i>	34
<i>Viviendas Patrimoniales</i>	35
<i>Adobe</i>	36
<i>Propiedades físicas del adobe</i>	36
<i>Propiedades mecánicas del adobe</i>	37
<i>Comportamiento estructural del adobe</i>	38
<i>Fallas en muros de adobe</i>	39
<i>Falla por tracción</i>	40
<i>Falla por flexión</i>	40
<i>Falla por corte</i>	41
<i>Muros</i>	42
<i>Estructura de refuerzo</i>	43
<i>Madera</i>	44
<i>Techo y entrepiso</i>	46
<i>Vulnerabilidad sísmica en construcciones coloniales</i>	47
Localización del proyecto	48
<i>Modelado de edificaciones patrimoniales</i>	48
Softwares	49
<i>Rhinoceros 3D</i>	49
<i>Grasshopper</i>	51

<i>Interfase de Grasshopper</i>	54
<i>Plug-ins de grasshopper</i>	60
<i>LunchBox</i>	64
<i>OpenSees</i>	65
Renderización y edición.....	65
<i>SketchUp</i>	66
Capítulo III	68
Metodología	68
Modalidad de la investigación.....	68
Tipo de investigación.....	68
Técnicas de recolección de datos.....	69
Levantamiento de información	69
Levantamiento Arquitectónico.....	69
Levantamiento Estructural	71
Características del Inmueble	71
Capítulo IV	74
Análisis	74
Modelación arquitectónica - VisualARQ.....	74
<i>Adobe Photoshop</i>	92
Modelación numérica - OpenSees.....	94
<i>Creación geométrica de muros/vigas/Viguetas/Losas</i>	94
<i>Creación de Superficies Muros/ Losas</i>	95
<i>Cálculo de Cargas de servicio</i>	96
<i>Carga Viva</i>	98
<i>Asignación de cargas, secciones y materiales</i>	99
<i>Creación de nodos de elementos para OpenSees</i>	104

<i>Determinación de Condiciones de contorno</i>	105
<i>Parametrización Muros y Losas</i>	107
<i>Análisis elástico e ingreso de armadura con nudos</i>	108
<i>Configuración de componentes</i>	112
Creación geométrica de cerchas	113
<i>Cálculo de Cargas de servicio</i>	114
<i>Asignación de cargas, secciones y materiales</i>	114
<i>Creación de nodos de elemento para OpenSees</i>	117
<i>Lectura de información de elementos de estructura</i>	117
<i>Creación de nodos de elementos para OpenSees</i>	118
<i>Análisis elástico e ingreso de armadura con nudos</i>	119
Capítulo V	121
Resultados.....	121
Análisis de Resultados	121
<i>Visualización de resultados - Muros, vigas y viguetas</i>	121
<i>Visualización de resultados - Cerchas</i>	122
Conclusiones	124
Recomendaciones	125
Bibliografía.....	126
Apéndices	127

Indice de Tablas

Tabla 1 <i>Propiedades mecánicas del adobe</i>	37
Tabla 2 <i>Simbología tipo de secciones</i>	101
Tabla 3 <i>Nomenclatura tipo de secciones</i>	115

Índice de figuras

Figura 1 <i>Academia de Guerra del Ejército-Sangolquí</i>	35
Figura 2 <i>Consideraciones en muros de adobe</i>	38
Figura 3 <i>Rigidez y continuidad en muros de adobe</i>	39
Figura 4 <i>Acciones en los muros</i>	39
Figura 5 <i>Falla por tracción en muros de adobe</i>	40
Figura 6 <i>Falla por flexión en muros de adobe</i>	40
Figura 7 <i>Falla por corte en muros de adobe</i>	41
Figura 8 <i>Cimiento de piedra en la Academia de Guerra del Ejército</i>	41
Figura 9 <i>Muros de adobe en la Academia de Guerra del Ejército</i>	42
Figura 10 <i>Caña de forma horizontal colocada en el entrepiso</i>	43
Figura 11 <i>Estructura del tronco</i>	44
Figura 12 <i>Viga corona sencilla con vigas de carga</i>	45
Figura 13 <i>Viga corona doble con vigas de carga</i>	46
Figura 14 <i>Cerchas de madera debajo del techo</i>	46
Figura 15 <i>Ubicación de la Academia de Guerra del Ejército</i>	48
Figura 16 <i>Software Rhinoceros 3D - Logotipo</i>	49
Figura 17 <i>Área de trabajo Rhinoceros</i>	51
Figura 18 <i>Logo de Grasshopper</i>	51
Figura 19 <i>Integración de disciplinas</i>	52
Figura 20 <i>Área de trabajo Grasshopper</i>	53
Figura 21 <i>Interfase de Grasshopper</i>	54
Figura 22 <i>Barra de menú principal- Interfase de Grasshopper</i>	55
Figura 23 <i>Explorador del archivo - Grasshopper</i>	55
Figura 24 <i>Menú - Grasshopper</i>	56
Figura 25 <i>Sección matemáticas - Grasshopper</i>	56

Figura 26 <i>Sección conjuntos - Grasshooper</i>	56
Figura 27 <i>Sección Vector - Grasshooper</i>	57
Figura 28 <i>Sección Curvas - Grasshooper</i>	57
Figura 29 <i>Sección Superficie - Grasshooper</i>	57
Figura 30 <i>Sección Malla - Grasshooper</i>	58
Figura 31 <i>Sección Intersección - Grasshooper</i>	58
Figura 32 <i>Sección Transformar - Grasshooper</i>	58
Figura 33 <i>Cuadro de búsqueda para componente - Grasshooper</i>	59
Figura 34 <i>Ventana de búsqueda para componente - Grasshooper</i>	59
Figura 35 <i>Barra de Herramientas - Grasshooper</i>	60
Figura 36 <i>Software VisualARQ</i>	62
Figura 37 <i>Opciones que brinda el plug-in VisualARQ</i>	64
Figura 38 <i>Opciones plug-in LunchBox</i>	65
Figura 39 <i>Opciones plug-in OpenSees</i>	65
Figura 40 <i>Logo SketchUp</i>	66
Figura 41 <i>Área de trabajo SketchUp y los plugins instalados</i>	67
Figura 42 <i>Fotografía aérea de la edificación</i>	70
Figura 43 <i>Fotografía aérea de la edificación</i>	70
Figura 44 <i>Academia de Guerra del Ejercito</i>	71
Figura 45 <i>Muros de adobe recubierto de mortero</i>	72
Figura 46 <i>Acceso a las oficinas</i>	72
Figura 47 <i>Cerchas de madera</i>	73
Figura 48 <i>Vigas inclinadas en el comedor</i>	73
Figura 49 <i>Losas creadas con el plug-in VisualARQ</i>	74
Figura 50 <i>Muro creado con plug-in VisualARQ</i>	75
Figura 51 <i>Conjunto de muros creado con el plug-in VisualARQ</i>	76

Figura 52 <i>Aperturas de puertas y ventanas.</i>	76
Figura 53 <i>Conectores para ubicación y creación de cerchas.</i>	77
Figura 54 <i>Conectores delimitantes de ancho de ventanas, puertas y aberturas.</i>	78
Figura 55 <i>Código parametrización de techos. [Capturas de pantalla].</i>	79
Figura 56 <i>Creación de líneas para las escaleras.</i>	80
Figura 57 <i>Punto centro para las columnas.</i>	80
Figura 58 <i>Asignación de propiedades de materiales.</i>	81
Figura 59 <i>Dando colores a los diferentes grupos de materiales.</i>	81
Figura 60 <i>Academia de Guerra del Ejército ecuatoriano- Fotografía tomada con Dron</i>	82
Figura 61 <i>Modelo 3D hecho en SketchUp</i>	83
Figura 62 <i>Modelo 3D con texturas.</i>	84
Figura 63 <i>Modelo 3D hecho en SketchUp</i>	84
Figura 64 <i>Fachada del Modelo 3D del edificio.</i>	85
Figura 65 <i>Modelo 3D con texturas.</i>	85
Figura 66 <i>Logo D5 Render</i>	86
Figura 67 <i>Plugin que vincula D5 Render y SketchUp</i>	87
Figura 68 <i>Área de trabajo de D5 Render.</i>	88
Figura 69 <i>Opciones del Plugin de SketchUp</i>	89
Figura 70 <i>Lista de Texturas.</i>	89
Figura 71 <i>Lista de modelos 3D.</i>	90
Figura 72 <i>Modelo 3D con texturas y ajustes de iluminación</i>	90
Figura 73 <i>Opción de renderizado de videos</i>	91
Figura 74 <i>Apartado de creación de clips por medio de escenas.</i>	91
Figura 75 <i>Resultado del proceso de renderizado</i>	92
Figura 76 <i>Logo Adobe Photoshop</i>	92
Figura 77 <i>Resultado del cambio de cielo.</i>	93

Figura 78 <i>Capas usadas para creación de geometría.</i>	94
Figura 79 <i>Herramienta Surface.</i>	95
Figura 80 <i>Creación de superficies mediante puntos.</i>	95
Figura 81 <i>Superficies creadas para la estructura.</i>	96
Figura 82 <i>Pasos para asignar cargas, secciones, materiales y juntas.</i>	99
Figura 83 <i>Archivo .csv para entrada de datos de materiales</i>	100
Figura 84 <i>Archivo .csv para entrada de datos de secciones.</i>	101
Figura 85 <i>Definición de parámetros K, mat, sec en superficie muro</i>	102
Figura 86 <i>Definición de parámetros K, rad, Sz y Sz2 en superficie losa</i>	102
Figura 87 <i>Definición de parámetros joint, mat, sec en vigas y viguetas</i>	103
Figura 88 <i>Lectura de capas usando ReadBeam2</i>	103
Figura 89 <i>Estructura reconocida por ReadBeam2</i>	104
Figura 90 <i>Creación de Geometría usando AssembleGeometries</i>	104
Figura 91 <i>Parametrización para condiciones de contorno usando VisualModel</i>	105
Figura 92 <i>Parametrización para creación de apoyos – Boundary</i>	106
Figura 93 <i>Apoyos obtenidos usando Boundary</i>	106
Figura 94 <i>Colocación de cimentación, mat 1, sec 200.</i>	107
Figura 95 <i>Lectura y creación de superficies de carga</i>	108
Figura 96 <i>Cargas distribuidas</i>	108
Figura 97 <i>Componente EleVec</i>	109
Figura 98 <i>Ventana de Python en Grasshopper</i>	110
Figura 99 <i>Definición de carga Sísmica</i>	110
Figura 100 <i>Definición de materiales y secciones en modelo</i>	111
Figura 101 <i>Componente TimberCheck</i>	112
Figura 102 <i>Resultados obtenidos por TimberCheck</i>	113
Figura 103 <i>Capas usadas para creación de geometría.</i>	113

Figura 104 <i>Asignación de capas, secciones, materiales y juntas</i>	114
Figura 105 <i>Archivo .csv para entrada de datos de materiales</i>	115
Figura 106 <i>Archivo .csv para entrada de datos de secciones</i>	116
Figura 107 <i>Definición de parámetros, mat, sec,joint</i>	116
Figura 108 <i>Lectura de capas usando ReadBeam2</i>	117
Figura 109 <i>Estructura reconocida por ReadBeam2</i>	118
Figura 110 <i>Parametrización para condiciones de contorno usando VisualModel</i>	118
Figura 111 <i>Componente EleVec</i>	119
Figura 112 <i>Definición de carga Sísmica</i>	120
Figura 113 <i>Componente VisualizeResult</i>	121
Figura 114 <i>Resultados obtenidos por VisualizeResult</i>	122
Figura 115 <i>Resultados obtenidos por VisualizeResult</i>	123
Figura 116 <i>Fuerzas en tensión y compresión de las barras</i>	123

Resumen

La durabilidad, mantenimiento y la sostenibilidad de las infraestructuras de la Academia de Guerra del Ejército, constituyen un conjunto de aspectos que preocupan a los técnicos, miembros que conforman el Ejército Ecuatoriano. Por lo cual, desarrollar una metodología que consiga determinar indicadores mínimos de servicio, que permitan un uso seguro y adecuado de las mismas, es un requerimiento solicitado de dicha institución a la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de la Fuerzas Armadas.

La infraestructura de la Academia fue elaborada con técnicas y materiales que carecen de estudio, debido a la antigüedad de las técnicas de construcción utilizadas; es por ello que la siguiente propuesta, plantea recolectar datos topográficos, arquitectónicos, estructurales, para personalizar y automatizar numéricamente la infraestructura (Patrimonial 1 en la Academia de Guerra del Ejército del Ecuador).

Para el desarrollo de la investigación fue necesario realizar el levantamiento tanto arquitectónico como estructural del edificio Patrimonial 1 de la Academia, mediante la recolección de datos in situ, tales como los elementos y materiales utilizados en la construcción del inmueble, así como sus características cualitativas y cuantitativas, para la posterior utilización de un conjunto de software de programación visual, útiles para la posterior modelación 3D de la edificación.

Luego del levantamiento de información de la Academia, se hace uso de la tecnología computacional con el uso del software Rhinoceros y un conjunto de plugin para la modelación numérica-arquitectónica y estructural de la edificación, diseñando un escenario virtual 3D de forma interactiva, permitiendo que el modelado de la estructura pueda sufrir cambios significativos de manera fácil y rápida, procesos que dan como resultado información valiosa y necesaria para entender el comportamiento de la estructura de forma numérica.

Palabras clave: modelado, software, estructura, adobe, madera.

Abstract

The durability, maintenance and sustainability of the infrastructures of the Army War Academy, constitute a set of aspects that concern the technicians, members that make up the Ecuadorian Army. Therefore, developing a methodology that manages to determine minimum service indicators, which allow a safe and adequate use of them, is a requirement requested from said institution to the Civil Engineering Career of the University of the Armed Forces.

The infrastructure of the Academy was elaborated with techniques and materials that lack study, due to the antiquity of the construction techniques used; That is why the following proposal proposes to collect topographic, architectural, and structural data to personalize and numerically automate the infrastructure (Heritage 1 at the Ecuadorian Army War Academy).

For the development of the research, it was necessary to carry out both the architectural and structural survey of the Heritage Building 1 of the Academy, by collecting data in situ, such as the elements and materials used in the construction of the property, as well as its qualitative and quantitative, for the subsequent use of a set of visual programming software, useful for the subsequent 3D modeling of the building.

After collecting information from the Academy, computer technology is used with the use of Rhinoceros software and a set of plugins for the numerical-architectural and structural modeling of the building, designing a 3D virtual scenario interactively, allowing the modeling of the structure can undergo significant changes in an easy and fast way, processes that result in valuable and necessary information to understand the behavior of the structure in a numerical way.

Keywords: modeling, software, structure, adobe, wood.

Capítulo I

Generalidades

Introducción

Las estructuras patrimoniales e históricas se pueden entender como aquellas edificaciones que han marcado y marcarán un legado en la historia de nuestro país; dentro de esta definición está la Academia de Guerra del Ejército, que ha sido testigo de hechos importantes para el mismo desde 1923, año en el que se tiene registro de su creación oficial, hasta la actualidad; hoy en día, la edificación es de carácter profesional en el ámbito de las Ciencias Militares, con base en la seguridad y defensa nacional, ya que es parte del Comando de Educación y Doctrina del Ejército.

Tomando en cuenta la importancia de la edificación, hace necesario entender que una estructura que fue hecha con técnicas antiguas de construcción, puede acelerar su proceso de destrucción ya sea por hechos naturales o por acción propia del ser humano, reduciendo las posibilidades de preservar la estructura.

Actualmente, son de gran importancia los estudios estructurales de cualquier obra, en este caso, para comprender de mejor manera los impactos que generan las cargas en un diseño antiguo de ingeniería, y así, poder reducir los riesgos de colapso de la edificación.

La utilización de software y nuevas tecnologías, nos permite conservar y a su vez modificar la forma en la que conocemos un lugar, debido a que estas pueden ser utilizadas para reconstruir de forma virtual una estructura patrimonial por medio de la modelación 3D, permitiéndonos no solo tener una constancia real del estado actual del inmueble, sino una base de datos reales que pueden ser modificados.

El proyecto tiene como objetivo realizar la modelación numérica-estructural de Edificio 1 de la Academia de Guerra del Ejército, por medio de la utilización de un conjunto de software que nos facilitan la programación del modelado, y posterior obtención de resultados no solo arquitectónicos, sino también estructurales.

El siguiente trabajo de investigación es de gran importancia, ya que las estructuras de carácter histórico, demandan la necesidad de ser conservadas y ser rehabilitadas de ser necesario; el dejar un legado del estado actual del inmueble, ayudaría a futuras generaciones a entender la importancia de conocer los cambios que sufre una edificación a través de los años, y cómo preservar la misma para garantizar el correcto funcionamiento de la edificación y la seguridad de sus usuarios.

Planteamiento del Problema

Macro

En el Ecuador existen ciudades, parroquias, etc. con estructuras cuyas edades de edificación y métodos constructivos son similares a lo largo del tiempo están sujetos a diversos fenómenos naturales que conducen a su inevitable desgaste. Por este motivo Las Ordenanzas Municipales de la mayor parte de las ciudades del Ecuador exigen que las construcciones de valor patrimonial sean rehabilitadas, conservando sus fachadas, esta remodelación requiere un análisis estructural cuidadoso para tener una idea del comportamiento de la estructura y su estabilidad .

Aunque no se tiene datos precisos, se estima que entre un 60% y 70% de las viviendas en el Ecuador son construcciones informales o antiguas, lo que las hace más vulnerables ante estos eventos sísmicos. En el país la situación económica de las personas no es muy alta, lo que hace que no exista control ni un buen diseño estructural y peor aún un correcto diseño antisísmico; todo esto ocurre, pese a que entre 1970 y 1980 ya se comenzó a medir la peligrosidad sísmica y desde el 2002 rige en el país el Código Ecuatoriano de la Construcción, que fue presentado a la colectividad .

Meso

En 1938 se produjo un fuerte sismo con magnitud de 7.10 en las cercanías del Tingo y Alangasí, poblaciones que resultaron completamente destruidas, a menos escala también sufrieron daños las ciudades de Sangolquí y gran parte de Conocoto .

Por lo tanto, hay que tomar en cuenta que gran parte del daño que se produjo a las edificaciones existentes eran de adobe y que una gran parte de ellas no tenían mantenimiento de tal manera que fueron presa fácil del sismo de 1938. La mampostería de adobe como tal no es un material apto para soportar estos eventos sísmicos, debido a que se ha visto esto en numerosos sismos .

Estas estructuras poseen una configuración inadecuada, lo que genera una alta concentración de esfuerzos en los elementos estructurales que componen el Patrimonio Cultural, cuyas características actualmente se consideran irregulares y requieren un análisis cuidadoso debido a que aumenta la probabilidad de colapso por eventos sísmicos.

Micro

Las edificaciones Patrimoniales son construidas con materiales como adobe, piedra y madera. Estos materiales presentan un buen comportamiento a compresión, más no a tracción, debido a esto es que estas estructuras realizadas con mampostería de adobe presentan buen comportamiento ante la acción de cargas gravitatorias, y no ante la acción de fenómenos naturales como eventos sísmicos, eventos volcánicos e inundaciones. Ya que es un problema grande debido a que el Ecuador se encuentra ubicado en el Cinturón de Fuego del Pacífico, por este motivo a Ecuador se lo considera como un país de alto riesgo sísmico .

Dado los siguientes puntos refiriéndonos a fenómenos que se produjeron en el Ecuador y la zona donde se ubica nuestro proyecto, se evaluará la edificación Patrimonial Academia de Guerra del Ejercito que se encuentra en el Valle de los Chillos, Sangolquí.

Justificación e Importancia

La actividad sísmica en el Ecuador comenzó aproximadamente en el año 1541 hasta la actualidad con grandes pérdidas tanto humanas como materiales en las zonas más críticas donde se han suscitado estos eventos, principalmente en los sistemas constructivos tradicionales como lo es el adobe debido a que presenta un ínfimo comportamiento sismorresistente.

En los estudios que se realicen se debe considerar las condiciones arquitectónicas, así como las condiciones estructurales, no sólo en base a la experiencia adquirida en otras obras por otros autores, sino también en base a la investigación exploratoria que se dé en estos casos, se realizará un estudio exhaustivo de las condiciones específicas de la estructura, ya que cada edificación es única y diferente, por lo que los ajustes o refuerzos que se realicen puedan mitigar las deficiencias que se presenten en posteriores momentos.

Por esta razón es necesario comprender los mecanismos de investigación relacionados en conservar las estructuras consideradas como Patrimonios Culturales en las ciudades o sitios de análisis, a través de formas de mantenimiento y reforzamiento estructural analizando en las condiciones que se encuentran estas estructuras para así dar algunas alternativas de solución que sean prácticas, seguras y económicas en tanto se refiera a los materiales y mano de obra calificada.

Según manifestó que:

Ecuador tiene cerca de 20.000 casas patrimoniales en manos de sus propietarios, algunas en alto grado de deterioro y otras que mantienen intacta su estructura original a pesar de los años.

Por lo tanto, es importante conocer y desarrollar un estudio adecuado para evaluar el comportamiento de una estructura conformada por paredes de adobe, con el propósito de identificar las áreas críticas con la necesidad de realizar algún refuerzo empleando métodos matemáticos con programas computarizados que nos permitan modelar y encontrar las soluciones para un buen diseño de reforzamiento y momentos en la base donde se apoyan los muros.

Entendemos que los eventos sísmicos son una de las causas principales de las fallas y colapso de edificaciones. Por lo tanto, las estructuras de carácter patrimonial definidas por su degradación, deterioro, equipamiento y un control técnico estructural casi nulo, requieren de un

estudio para la verificación de su estado ya que al ser inmuebles que tienen una larga vida útil han sufrido de varios fenómenos físicos y naturales .

Este estudio requiere que esta estructura Patrimonial contemple un diseño adecuado a necesidades estructurales de seguridad a través de un desempeño estructural efectivo para resistir las condiciones de un evento sísmico, lograr un estado final de una estructura ideal y controlar los desplazamientos generados.

Por lo antes mencionado es fundamental que se realice una investigación de campo en la que se desarrolle un modelo matemático que simule la estructura equivalente Patrimonial con cargas de servicio y sísmicas con la finalidad de determinar el factor de servicio estructural y la eficiencia de trabajos de reforzamiento que se pueda dar a la misma.

Como aporte social se entiende que esta investigación ayuda a preservar el Patrimonio Cultural, así como a proteger la integridad física de los habitantes de estos lugares, pues al hacerlos resistentes a los eventos sísmicos, las generaciones presentes y futuras pueden sentirse seguros de la estructura Patrimonial en las que se encuentran viviendo, laborando, etc.

Objetivos

Objetivo General

Determinación de indicadores mínimos de servicio a través de estudios numéricos basados en la información topográfica, arquitectónica, estructural de la edificación Patrimonial 1 en la Academia de Guerra del Ejército del Ecuador.

Objetivos Específicos

Específico 1: Situación actual arquitectónica y estructural

- Levantar la información topográfica, arquitectónica y estructural para la construcción de modelos 3D.
- Escribir una memoria sobre los resultados del estado actual arquitectónico y estructural.

Específico 2: Modelo Numérico

- Entrenamiento en software para realizar el estudio.
- Capacitación de las variables teóricas y computacionales que interactúan con el software.
- Modelación numérica.
- Escribir memoria de cierre del objetivo específico

Descripción del Contenido

El trabajo contiene 5 capítulos que se describen a continuación:

Capítulo 1: En este capítulo se hace una descripción general del proyecto realizado, de forma que se pueda aclarar las principales interrogantes del trabajo: ¿Qué?, ¿Cómo? y ¿Por qué?; dando inicio al desarrollo del proyecto, con la justificación e importancia del mismo, y las actividades a realizarse para cumplir a cabalidad cada uno de los objetivos planteados.

Capítulo 2: En este capítulo se hace énfasis a toda la teoría necesaria de conocer antes de la realización del proyecto; la importancia del conocimiento del significado de los términos que se utilizarán en todo el trabajo de forma detallada y concisa, además de todos la información cualitativa y cuantitativa a utilizarse.

Capítulo 3: Este capítulo describe la metodología utilizada en la investigación y puesta en práctica del proyecto, el tipo de proyecto realizado, la modalidad de investigación que se hizo, y las técnicas de recolección de datos importantes para la elaboración del trabajo.

Además, se detalla uno de los pasos más importantes y base para cumplir con los objetivos propuestos, que es el levantamiento tanto arquitectónico como estructural de la edificación, es decir información característica del inmueble, tomando datos de los elementos: materiales, longitudes, espesores, estado actual, etc.; y finalmente una breve descripción de los softwares utilizados para la modelación, así como sus definiciones y modo de uso.

Capítulo 4: En el siguiente apartado, se explica a detalle el análisis de la obra, en dos apartados, el primero acerca de la modelación arquitectónica realizada en el Software

Grasshopper en conjunto con el plugin VisualARQ, posterior en el segundo se describe la modelación numérica de la estructura en OpenSees; también se muestran una serie de ilustraciones representativas de los pasos a realizar, y los resultados obtenidos.

Capítulo 5: En este capítulo, se realiza la parte final del proyecto con el análisis de los resultados obtenidos, las conclusiones y recomendaciones que se pueden determinar cómo las más importantes indagaciones en todo el trabajo, esto con el fin de que el proyecto pueda ser utilizado como base para futuros proyectos tomando en cuenta las observaciones realizadas en todo el estudio.

Capítulo II

Marco teórico

Antecedentes

El 13 de abril de 1923 se inicia de forma oficial a vida del instituto militar Academia de Guerra del Ejército, y cuenta aproximadamente con 90 años de vida institucional al servicio de la educación Militar, bajo el lema “SER MÁS QUE PARECER”, que va de la mano con las creencias y dominio de las ciencias militares presentes en la formación de oficiales dentro de la academia.

La Academia de Guerra del Ejército es parte del Comando de Educación y Doctrina del Ejército; en la actualidad la edificación es carácter profesional en el ámbito de las Ciencias Militares, con base en la seguridad y defensa nacional.

La edificación fue realizada con técnicas de construcción antiguas, muestra de ello son los materiales y elementos que se pueden apreciar componen la estructura, además considerando el tiempo construcción de la estructura y la importancia de la misma para el Ejército ecuatoriano, esta se puede considerar como una edificación Patrimonial del alto valor.

Las edificaciones antiguas o de carácter patrimonial necesitan de un estudio y análisis estructural, con el fin de que las mismas puedan ser conservadas y rehabilitadas de ser necesario, y presentar así la historia de la obra.

Bases Teóricas

Mampostería

Se puede definir a mampostería como el conjunto y unión de bloques hechos de arcilla o de cemento con mortero, que conforman una pared, o también un sistema de muro portante, que es capaz de soportar cargas gravitacionales, sísmicas y de viento. Es de uso constructivo en países de Europa, Asia y América, principalmente en construcciones de viviendas rurales.

Dentro de su configuración estructural se puede determinar dos tipos, los mismos que son mampostería no confinada y confinada.

Mampostería no confinada o simple

Consiste en el conjunto de muros, que están constituidos por tan solo piezas conformadas de bloques o piedras, sin considerar el uso de refuerzos. En la época colonial, la mayor parte de las construcciones de la época, están hechas con muros de adobe, debido a la manualidad de uso de los componentes de la tierra dentro de la construcción, con la elaboración de ladrillos de este material.

Mampostería de adobe

El ladrillo de adobe es un material de construcción más antiguo, hecho de tierra y compuesto de ciertas proporciones de arena, barro, arcilla, paja y agua. Estas proporciones de la mezcla son de gran importancia, pues de ellas dependen las propiedades mecánicas de este material, la cantidad de arcilla debe ser suficiente para lograr la adhesión requerida de todas las partículas, hay que tomar en cuenta que, en ausencia de arena, los ladrillos tienden a agrietarse durante la etapa de secado debido a la retracción de arcilla (Bustamante, 2018).

Las construcciones de adobe tienen la desventaja de resistir terremotos, lluvias e inundaciones, el material tiene poca resistencia a estas fuerzas, además es un material higrófilo, absorbiendo la humedad del ambiente. Sin embargo, construir con adobe tiene sus ventajas, como la facilidad de elaboración por lo tanto su bajo costo y finalmente los métodos de construcción muy simples que se utilizan.

El daño que se produce en las estructuras elaboradas de adobe se da por una mala conexión entre los elementos y la presencia de un diafragma demasiado flexible y débil. Este tipo de construcción se caracteriza por tener un gran espesor de pared, de hasta 1.5 m, lo que permite que la estructura soporte mejor las cargas. Al construir una estructura de adobe es necesario tener en cuenta ciertas consideraciones, dado que la estructura debe descansar sobre una base impermeable aproximadamente 1m de altura, ya que este material absorbe la humedad atmosférica, por lo que pierde resistencia a los esfuerzos (Ecocosas, 2016).

Viviendas Patrimoniales

Las construcciones antiguas o Patrimoniales hechas de adobe eran consideradas como el método de construcción más seguro, debido a que era la técnica más conocida por los trabajadores en ese tiempo, además de ser adaptable a cualquier lugar ya que su construcción depende directamente de los materiales de la zona, estas viviendas no son reforzadas, ya que su construcción se basa en techos y entrepisos en madera, la mampostería consiste en el trabe de bloques o ladrillos de adobe que pueden ser de diferente forma, dependiendo de la distribución interna de la obra, ya que para la época que se realizó esta edificación no se tenía conocimiento alguno de los criterios de diseño sismorresistente. Estas estructuras fueron pensadas para soportar únicamente cargas verticales y no se consideraban las cargas horizontales debido a la fuerza sísmica, por lo que no poseen rigidez de forma lateral, con una baja resistencia y ductilidad limitada (Bolívar, 2018).

Figura 1

Academia de Guerra del Ejercito-Sangolquí



Nota. Tomado de *Construcciones antiguas o Patrimoniales*, por García, 2022, Academia.com

Pese a que el estudio realizado por (Espinoza, 2017) llegó a la conclusión contraria, afirmando que los refuerzos instalados en la edificación no proporcionaron una mejora significativa en el comportamiento de deformación de la estructura y al comprobar el

movimiento, estos valores se encuentran dentro de los límites máximos de deriva inelástica, por lo que estas edificaciones pueden soportar cargas laterales provocadas por sismos.

Adobe

Se puede entender a este material como uno de los elementos utilizados en las técnicas constructivas más antiguas a lo largo de la historia, ya que su uso data de hace a más de 10 mil años de antigüedad.

La elaboración de un ladrillo de adobe puede realizarse con cualquier tipo de tierra, tomando en cuenta que no es necesario tener cantidades precisas en la mezcla de la arena y arcilla que la conforman. De fácil fabricación, su proceso de secado es frente al sol y requiere de un tiempo corto en días antes de poder ser utilizados. Es de gran importancia el control de la calidad de los bloques de ladrillo que se elaboran, sin embargo, se puede deducir que tanto la resistencia como la calidad de los elementos, son directamente proporcionales a las características de la tierra usada.

Propiedades físicas del adobe

El adobe es una mezcla de arcilla, arena, agua y aglutinante que es la mezcla básica, pero sigue siendo suelo, en algunos lugares varía la técnica de acuerdo a las costumbres, por lo que en la producción es recomendable la tierra areno arcillosa con poca cantidad de limo, si en un caso la tierra tiene más arcilla este aumenta el riesgo de presentar fisuras al momento del secado, en cambio sí posee más arena o limo en su composición este carece de cohesión interna en el bloque final y disminuye la resistencia a la compresión.

- **Temperatura:** En la utilización de diferentes materiales, donde los coeficientes de expansión térmica son variables, esto ocasiona la aparición de grietas tanto en los ladrillos como en las juntas de conexión.
- **Desgaste:** La disposición en la que se utilice este material puede presentar mayor o menor desgaste, que depende de la exposición al medio ambiente (lluvia y viento),

ocasionando erosión superficial disgregando los ladrillos de adobe que posteriormente disminuye las dimensiones originales.

- **Conductividad térmica:** Un excelente aislante térmico debido a su baja conductividad y que los ambientes contenidos mantengan temperaturas ideales en contraste con las del ambiente exterior.
- **Conductividad acústica:** Debido a grandes espesores con los que se construye el ladrillo de adobe, es capaz de reducir el ruido que se produce tanto en el exterior como en el interior.
- **Resistencia al fuego:** Debido a su composición el adobe es muy resistente al fuego, siendo superior a otros materiales como el hormigón y el acero.

Propiedades mecánicas del adobe

Las propiedades mecánicas del adobe se pueden considerar débiles en comparación al hormigón o el acero, por lo tanto, la (NEC-SE-MP, 2015) establece lo siguiente:

Tabla 1

Propiedades mecánicas del adobe

Propiedad	Valor	Unidades
Esfuerzo a Compresión	2.00	kg/cm ²
Esfuerzo a Tracción	1.50	kg/cm ²
Esfuerzo por corte	0.25-0.60	kg/cm ²

Nota. Tomado de *Las propiedades mecánicas del adobe*, por Armijos, 2018, NEC.

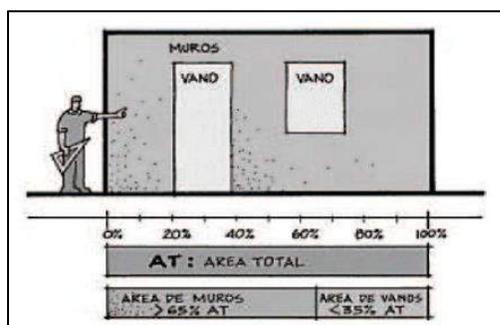
Estos valores aquí establecidos se obtienen mediante ensayos de laboratorio, en la NEC-SE-MP se definen los equipos a utilizar, dimensiones de las muestras y los tipos de ensayos a realizar.

Comportamiento estructural del adobe

Los sistemas creados en función del uso de adobe se consideran vulnerables a las acciones sísmicas, lo que se debe al hecho de que estas estructuras pueden soportar cargas gravitacionales, en caso de que se presentase una acción sísmica las cargas de acción son horizontalmente, esta condición se debe a la baja ductilidad en las propiedades de las mamposterías, hay dos tipos de acciones horizontales que deben tomarse en cuenta en este tipo de estructura. La primera son paralelas a la dirección del muro, debido a que crean un desplazamiento menor en la parte superior en comparación con la parte inferior, que se debe a su masa que produce fuerza de corte interna creando grietas cruzadas. En el caso de las fuerzas normales en el muro se genera un momento de volteo, causando un colapso parcial o general del muro. Al construir un muro es necesario tomar en cuenta el espesor que sea lo suficientemente ancho, usar mortero de buena calidad para conectar los bloques, se debe evitar construir el techo demasiado pesados, la colocación excesiva de puertas y ventanas genera espacios que reduce la resistencia del muro, además de mantener la continuidad estructural en altura regularidad en el plano (Manitio & Vásconez, 2013).

Figura 2

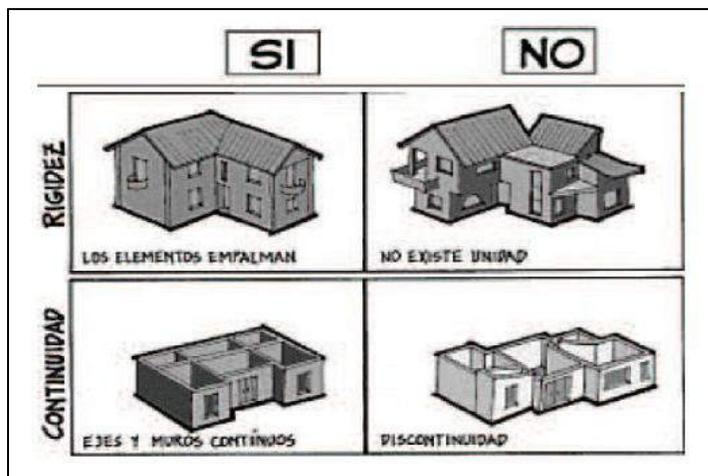
Consideraciones en muros de adobe



Nota. La figura muestra las consideraciones en muros de adobe. Tomado de *Los sistemas creados en función del uso de adobe*, por Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica, 2004, Didobe.com

Figura 3

Rigidez y continuidad en muros de adobe



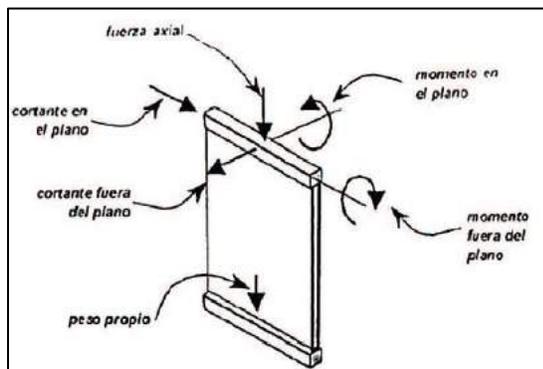
Nota. La figura muestra las consideraciones en muros de adobe. Tomado de *Los sistemas creados en función del uso de adobe*, por Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica, 2004, Didobe.com

Fallas en muros de adobe

Los muros de adobe están sometidos a cargas verticales provenientes de su propio peso y cargas laterales que se dan por la fuerza sísmica o del viento, estas acciones se muestran en la siguiente figura:

Figura 4

Acciones en los muros



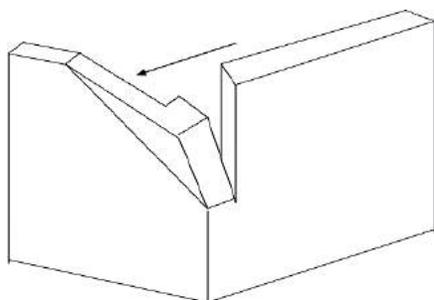
Nota. La figura muestra las direcciones en muros de adobe. Tomado de *Los sistemas creados en función del uso de adobe*, por Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica, 2004, Didobe.com

Falla por tracción

Ocurre cuando los esfuerzos de tracción se dan en una de las caras de los muros y debido a la mala conexión con los muros transversales producen este tipo de fallas, ya que no posee confinamiento en estas esquinas.

Figura 5

Falla por tracción en muros de adobe



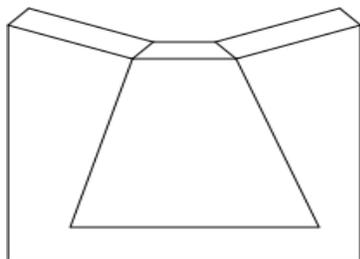
Nota. La figura muestra la falla por tracción. Tomado de *Los sistemas creados en función del uso de adobe*, por Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica, 2004, Didobe.com

Falla por flexión

Estos esfuerzos de flexión se dan debido a que el muro trabaja como losa apoyada sobre su base y transmite la carga de los elementos verticales.

Figura 6

Falla por flexión en muros de adobe



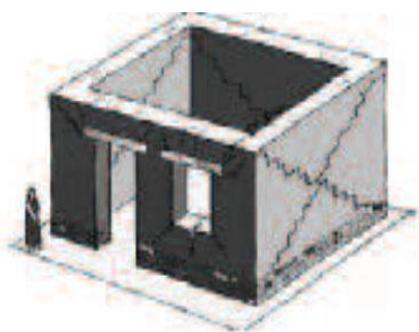
Nota. La figura muestra las consideraciones en muros de adobe. Tomado de *Los sistemas creados en función del uso de adobe*, por Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica, 2004, Didobe.com

Falla por corte

Las fisuras que aparecen por este tipo de falla se da en forma diagonal o en cruz, estas se forman en cualquier parte de la cara del muro y una vez agrietada y no poseer algún refuerzo que absorba esas fuerzas, la rigidez y resistencia se van deteriorando produciendo un colapso, esto se da más cuando los muros presentan aberturas muy grandes.

Figura 7

Falla por corte en muros de adobe



Nota. La figura muestra las consideraciones en muros de adobe. Tomado de *Los sistemas creados en función del uso de adobe*, por Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica, 2004, DIdobe.com

Figura 8

Cimiento de piedra en la Academia de Guerra del Ejercito



Nota. La figura muestra las consideraciones en muros de adobe. Tomado de *Los sistemas creados en función del uso de adobe*, por Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica, 2004, DIdobe.com

La cimentación será la encargada de trasladar la carga al suelo firme, además tiene el efecto de evitar que la humedad penetre en la pared del suelo, por lo general la cimentación tendrá una profundidad mínima de 0,60 m bajo tierra y un ancho mínimo de 0.60 m, en cualquier ámbito el ancho de la cimentación deberá ser siempre mayor al espesor del muro de adobe o sobrecimiento normalmente 0,10 m cada lado. Se colocan piedras grandes (de 0,15 a 0,25 m de diámetro) junto con piedras de diámetros más pequeños, los materiales se colocan en zanjas directamente sobre el suelo. En algunos casos, la piedra también se une con mortero de cal o cemento (Cárdenas, 2021).

Muros

Figura 9

Muros de adobe en la Academia de Guerra del Ejercito



Nota. La figura muestra la diriges en muros de adobe. Tomado de *Los sistemas creados en función del uso de adobe*, por Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica, 2004, Didobe.com

El concepto de un muro de adobe auto portante es una disposición consistente y ordenada de piezas de barro. Se disponen en hilera horizontal, repitiendo el contorno general de la edificación, de manera que la estructura se desarrolle uniformemente evitando el derrumbe del muro por su propio peso. Por recomendación no se debe subir la pared más de 3 hiladas al día debido a que el barro debe asentarse. Además, se debe evitar el secado rápido de la mampostería protegiéndola del sol y del viento.

Antes de aplicar el mortero, los ladrillos de adobe deben humedecerse moderadamente para asegurar una buena adherencia entre los elementos a conexión. Para las juntas se utiliza un mortero compuesto por fibras vegetales trituradas y arcilla en proporción volumétrica 1:1 y 1:2. El cálculo de la resistencia de los muros deberá asumir la estabilidad del área del muro a las fuerzas laterales en su plano. Al diseñar muros basados en la estabilidad, se deben considerar las limitaciones de espesor, cumplimiento vertical y horizontal, altura máxima, espaciamiento entre arriostramientos longitudinales, espacio libre para aberturas, etc (Cárdenas, 2021).

Estructura de refuerzo

Figura 10

Caña de forma horizontal colocada en el entrepiso



Nota. La figura muestra las consideraciones en muros de adobe. Tomado de *Los sistemas creados en función del uso de adobe*, por Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica, 2004, Didobe.com

La adición de refuerzo es muy importante para mejorar el desempeño de los muros, es decir colocar estructuras de madera o caña vertical y horizontalmente dentro de los muros como barras de refuerzo y rigidizadores intermedios, considerados las barras horizontales principales a lo largo del muro en la parte superior. En el caso de las aberturas, es recomendable dejar los dinteles de la puerta y la ventana al mismo nivel, aumentar su

estabilidad, ya que este elemento sirve como cadena de amarre o tira. Otro tipo de refuerzo es el uso de malla en la pared, en este caso se debe asegurar la conexión a la base y la pared al techo amarrando las paredes y travesaños con una malla de refuerzo de pared, y luego amarrando las viguetas a las vigas principales (Cárdenas, 2021).

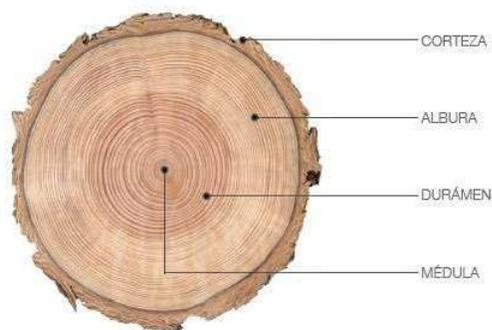
Madera

Este es un material que se obtiene de forma natural de un árbol, mismo que está compuesto de células que son capaces de generar celulosa, resina, azúcares y almidón, lo que daría la forma de cilindro representativa de la planta. El comportamiento de este material depende o está direccionado en función de las tensiones que son aplicadas en la madera.

La madera es un material utilizado en la construcción desde la antigüedad debido a su bajo peso y buena resistencia a esfuerzos de tensión, por lo que se la emplea como elemento estructural para techos, pisos, columnas y como elemento rigidizante de paredes. Entre las desventajas que posee la madera se tiene la poca durabilidad; incendios, intemperismo y ataque biológico es decir el ataque de polilla, termitas, hongos, etc. (Bustamante, 2018).

Figura 11

Estructura del tronco



Nota. La figura muestra la estructura del tronco. Tomado de *Los sistemas creados en función del uso de adobe*, por Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica, 2004, Didobe.com

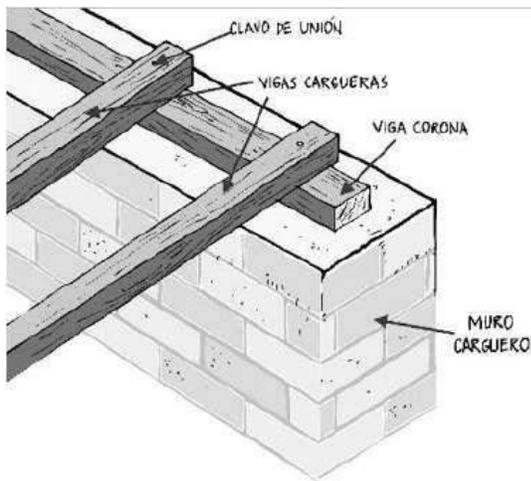
En el Manual de diseño para madera señala tres grupos para madera estructural A, B y C, la densidad está estrechamente relacionada con la resistencia, estos grupos corresponden a las densidades alta, media y baja respectivamente:

- Tipo A: densidad básica entre 0,71-0,90 T/m³
- Tipo B: densidad básica entre 0,56-0,70 T/m³
- Tipo C: densidad básica entre 0,40-0,55 T/m³

En las edificaciones Patrimoniales de adobe es usual ver que la madera tiene varias aplicaciones una de ellas en la parte estructural donde es utilizada para fines resistentes empleada en viguetas, cerchas, techos, pisos elevados, entre otros elementos que constituyen estructuralmente a la edificación, otra de las aplicaciones de la madera es cuando se la emplea en elementos no estructurales como puertas, ventanas, revestimientos, muebles, etc.,

Figura 12

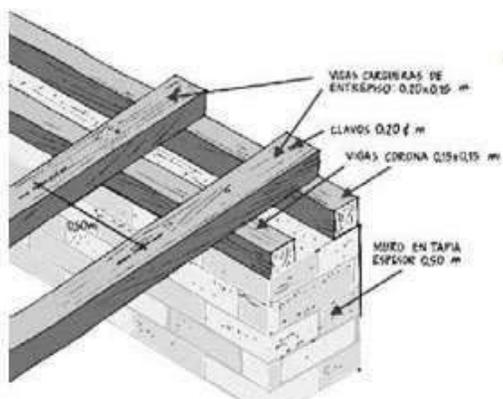
Viga corona sencilla con vigas de carga



Nota. La figura muestra la viga corona. Tomado de *Los sistemas creados en función del uso de adobe*, por Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica, 2004, Didobe.com

Figura 13

Viga corona doble con vigas de carga



Nota. La figura muestra la diriges en muros de adobe. Tomado de *Los sistemas creados en función del uso de adobe*, por Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica, 2004, DIdobe.com

Techo y entepiso

Figura 14

Cerchas de madera debajo del techo



Nota. La figura muestra las cerchas de madera. Tomado de *Los sistemas creados en función del uso de adobe*, por Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica, 2004, DIdobe.com

Los entrepisos son de madera, con vigas en función de la distancia entre apoyos normalmente 10 – 15 cm de diámetro, colocadas a 40 – 80 cm, apoyadas en las vigas principales asentadas en los muros, para evitar el movimiento se traba con los ladrillos de

adobe. Encima de estas vigas principales se colocan tablas machimbradas de 5 a 10 cm de ancho, de 3 m de largo y 0.5 -1 cm de espesor, que se fijan directamente a las vigas con tornillos o clavos.

La cubierta está compuesta por estructuras de madera llamadas cerchas, sobre las cuales se coloca una capa de carrizo, con amarres de cabuya delgadas en sentido transversal a las cerchas, la capa de carrizo es la base para colocar encima la capa de barro de 5 a 10 cm, su función es impermeabilizar el sistema y ser de asiento en estado fresco de la teja.

El techo debe distribuir la carga en mayor cantidad sobre los muros para evitar la concentración de esfuerzos. Por lo tanto, deben estar adosados al muro mediante vigas principales debido a que a la hora de diseñarlo hay que tomar en cuenta que debe resistir y transmite fuerzas de cargas verticales y horizontales sobre el muro. Hay que tomar en cuenta las pendientes, las propiedades de impermeabilización, el aislamiento y la longitud del alero de acuerdo con las condiciones climáticas de cada sitio (Cárdenas, 2021).

Vulnerabilidad sísmica en construcciones coloniales

Las edificaciones a base de mampostería en adobe sin confinar se caracterizan por una alta susceptibilidad a los eventos sísmicos, debido a los materiales utilizados en su construcción, como arena, tierra, paja y agua, haciendo que este tipo de edificación no resista grandes sismos, esto se da porque el adobe es un material frágil y debido a la gran altura de estos edificios, sus muros son macizos y por tanto sujetos a fuerzas sísmicas por su inercia. Además, la capa de mortero encargada de nivelar la mampostería es muy resistente por lo que no se deforma, ocasionando que exista una falla en el muro inicial de adobe.

El colapso por sismos se debe a propiedades del material: baja resistencia, alto peso y fragilidad, así como defectos estructurales, como muros muy largos y de gran altura sin refuerzo, sin conexión pared-techo, en gran medida, esto también se debe al severo desgaste de los materiales de la pared y el techo bajo la influencia del clima, lo que reduce significativamente la resistencia de la estructura (Manitio & Váscenez, 2013).

sistema estructural que rige a la obra, los elementos por los que está compuesto y sus características, además de los métodos que se utilizarán para el diseño.

La evaluación tanto arquitectónica como estructural de la edificación, se realiza mediante el modelado en un software, mismo que se basa en el método de elementos finitos, lo que ayudaría a que el modelo, pueda reflejar el comportamiento de la estructura frente a las cargas que debe soportar, y que se relacionan directamente con el sistema constructivo de la obra. Es necesario conocer todas las características que rigen el comportamiento y la resistencia de los materiales, tales como el adobe para los muros portantes, la madera tanto como para la estructura de entrepiso, además de vigas, viguetas, cerchas, y de ser el caso, la presencia de hormigón en elementos existentes.

Softwares

Rhinoceros 3D

Figura 16

Software Rhinoceros 3D - Logotipo



Nota. La figura muestra las consideraciones en muros de adobe. Tomado de *Los sistemas creados en función del uso de adobe*, por Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica, 2004, Didobe.com

En la actualidad existen diversos software para realizar modelaciones en tres dimensiones, uno de ellos es Rhinoceros 3D, siendo un software intérprete de JavaScript, el cual fue desarrollado por primera vez en 1997 por Norris Boyd; comúnmente usado en el

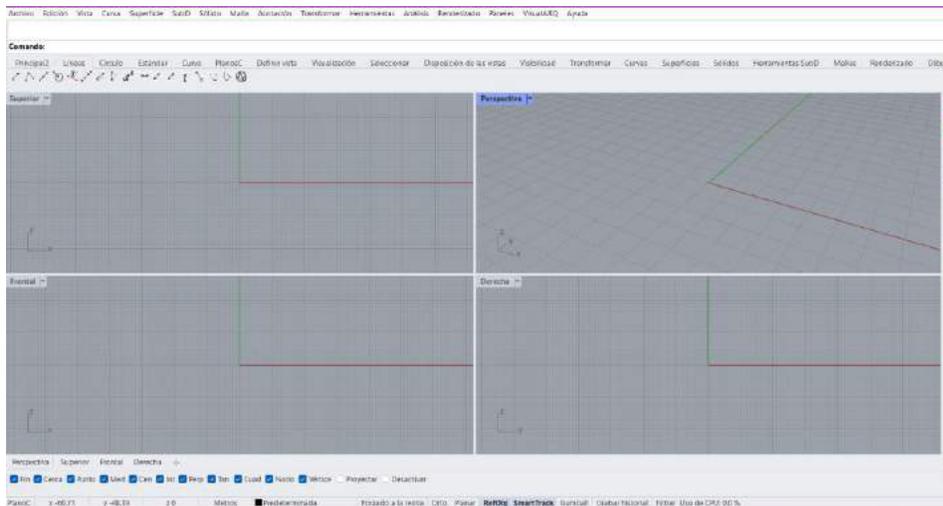
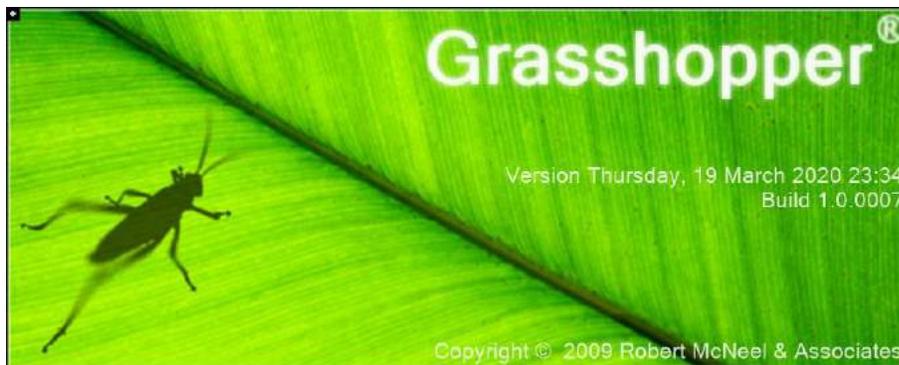
diseño industrial, arquitectura, diseño de joyas, diseños automovilísticos etc., debido a que su interfaz nos ayuda a crear objetos de forma más orgánica es decir se especializa principalmente en el modelado libre, utilizando parámetros para la creación de curvas más complejas.

Rhinoceros 3D se ha popularizado con el paso del tiempo en la mayoría de industrias, debido a su diversidad de funciones, multitareas y modelación que puede realizar, además hay una variedad de formatos con los que se puede trabajar, permitiendo así una mayor diversidad de tareas.

En la actualidad el diseño asistido por una computadora es una herramienta indispensable para cualquier tipo de trabajo, Rhinoceros incorpora diversas herramientas que permiten la realización de configuración de cualquier tipo de figura con gran precisión y detalle.

Como todo software para el uso irrestricto de su funcionalidad es necesario contar con un tipo de licencia, esta puede variar dependiendo del paquete por días meses o incluso años. Para la modelación que se realizó se utilizó una licencia de prueba de 90 días para uso irrestricto.

La interface de Rhinoceros comprende el área de trabajo donde se pueden desarrollar tomas de coordenadas, en el cual; existe el menú de comandos recientes, comandos de menú personalizables, manipulación de vistas con cámara, iconos personalizables y más.

Figura 17*Área de trabajo Rhinoceros.***Grasshopper****Figura 18***Logo de Grasshopper*

Grasshopper, es un lenguaje utilizado para realizar programación visual desarrollado por su creador David Rutten; funciona como un plugin integrado en el software de Rhinoceros, el cual ayuda al programa con acciones que normalmente el programa base no haría solo, es decir, se ocupa de implementar nuevas funciones al software para que tenga más opciones al momento de realizar cualquier tipo de proyecto, y tener un mejor alcance de las operaciones a realizar.

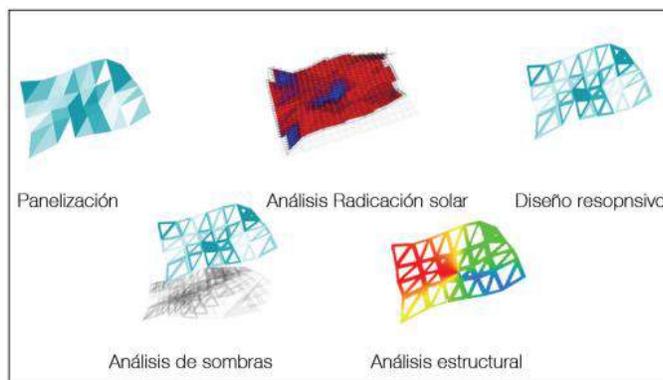
La interface de Grasshopper es una ventana extra que se activa escribiendo “Grasshopper” en el comando de Rhinoceros para poder visualizar su interfaz, esta misma tiene diferentes partes que es necesario identificar para su mejor manejo como, la barra de menú principal la cual ayuda a cambiar rápidamente entre diferentes archivos abiertos, un comando de teclas para acceder a este mismo es Ctrl-X, Ctrl-S y Del. (Payne, 2007)

Se pueden destacar varias ventajas en el uso de este programa, pero una de las más importantes es que el software no requiere de conocimiento en programación o scripting

- Comunidad: La plataforma del programa permite que las personas que usen el software puedan tanto acceder como crear información, acerca de tutoriales,
- Open Source: Es de fácil acceso al ser un programa de uso libre y gratuito, con varias opciones y herramientas que solucionan problemas en específico, por ejemplo: manipulación de mallas con Weaverbird, simulaciones (Karamba), estudio biológicos y climáticos (Geco), entre otros.
- Integración de disciplinas: Al ser de uso libre, puede relacionarse con otros software para vincular nuevas y distintas geometrías, las cuales son manejadas desde el programa base Rhinoceros, incluyendo a las que son de otros software.

Figura 19

Integración de disciplinas

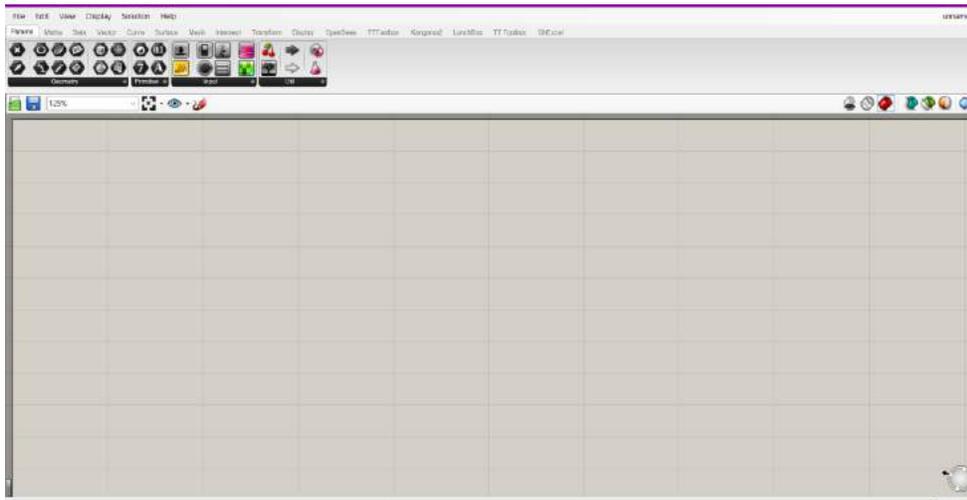


Una de las partes más importantes que encontramos en la ventana de Grasshopper es el panel de componentes como su nombre lo menciona es el área de las múltiples categorías o parámetros para cualquier tipo de datos o curvas además de poder ajustar la altura y su ancho a la preferencia del usuario.

En los paneles existe una barra en la parte inferior que, al momento de desplegarlo, proporciona acceso a todos los objetos o elementos que nosotros necesitamos, al momento de seleccionarlos y hacer clic sobre ellos, los podemos colocar en cualquier parte de nuestra área de trabajo en Grasshopper. Para mayor facilidad cada componente viene con su nombre y una descripción breve para su uso así mismo los requisitos de entrada y los resultados que da ese parámetro seleccionado.

Figura 20

Área de trabajo Grasshopper.



Llamamos lienzo al área de trabajo de Grasshopper en donde se define y edita los componentes mencionados anteriormente, el lienzo abarca tanto a los objetos y algunos dispositivos de interfaz, por ejemplo:

- a) Parámetro: Es aquel que contiene advertencias cuando algo no corre correctamente o faltan algún dato, la mayoría de estos suelen ser naranjas ya que faltan datos por conecta.

- b) Componente: Es un objeto de mayor uso ya que contiene datos de salida y entrada. Este componente tiene por lo menos una alerta relacionada a él.
- c) Componente: Todo componente tiene al menos un error, ya sea que puede venir del componente mismo o de uno de sus parámetros de entrada y salida.

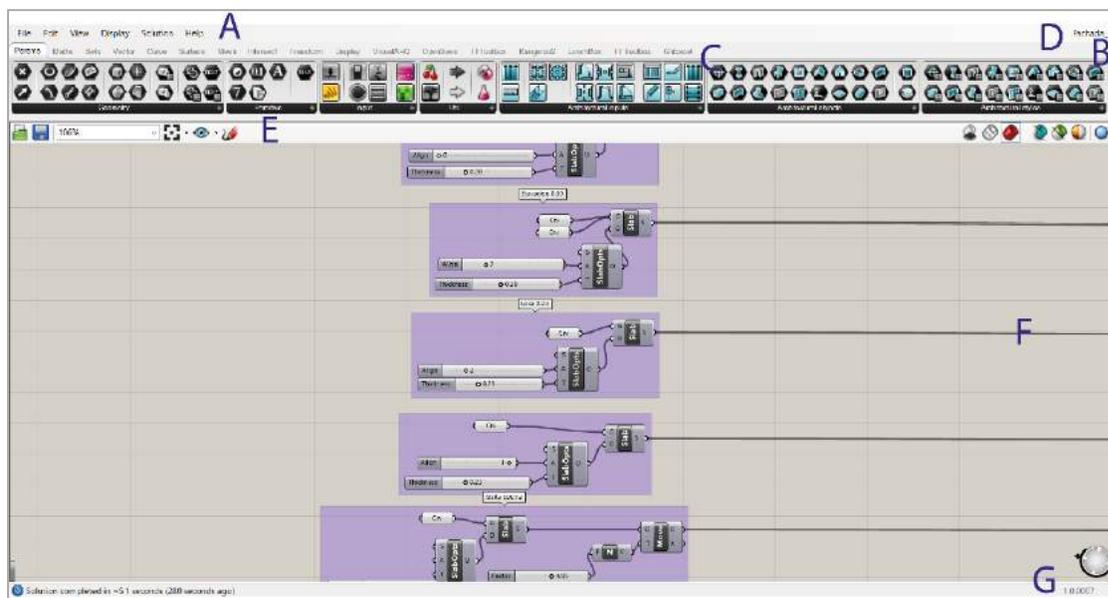
Una de las partes más importantes son las vistas previas que nos ayudaran a dar una mejor perspectiva en diferentes ángulos de visión, tenemos vistas de derecha, izquierda, frontal y perspectiva esta última ayuda a movernos en cualquier tipo de vista y ángulo (Payne, 2007).

Interfase de Grasshopper

Para cargar el interfaz de grasshopper, debemos escribir “Grasshopper” en la barra de comandos para que carga todos sus componentes y parámetros.

Figura 21

Interfase de Grasshooper.



En esta interface podemos encontrar elementos y diferentes parámetros que son familiares para Rhinoceros, los cuales son:

La barra de menú principal

Figura 22

Barra de menú principal- Interfase de Grasshopper.

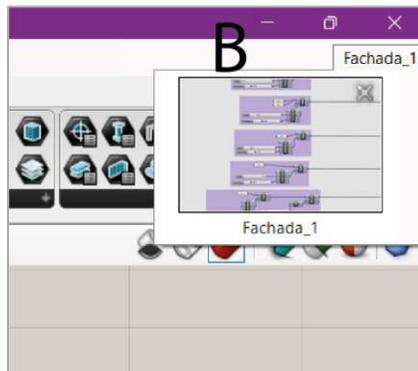


En la barra de menú es por lo general similar a cualquier tipo de programa, contiene los principales menús para la ayuda en la interface de Grasshopper, es decir se puede trasladar rápidamente a diferentes archivos mediante su selección.

Control explorador de archivo

Figura 23

Explorador del archivo - Grasshopper.



En este menú lo que podemos hacer es cambiar de diferentes trabajos que ya tenemos cargados.

Paneles de componentes

Aquí podemos encontrar todas las categorías que contiene diferentes componentes para la ayuda del momento de trabajar.

En este menú encontramos 7 paneles, con 165 componentes para cualquier tipo de datos primitivos.

Figura 24

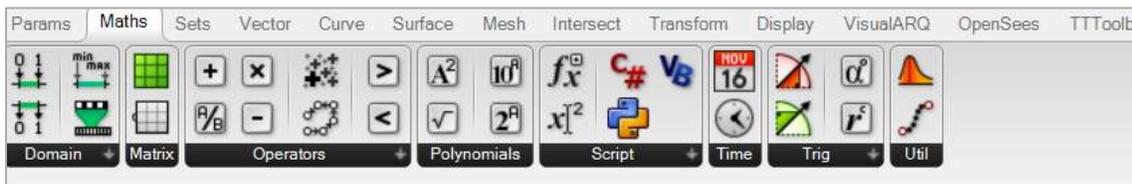
Menú - Grasshopper.



En este menú podemos realizar operaciones matemáticas con la ayuda de datos en dominio. En este tenemos 8 paneles los cuales contienen 101 componentes.

Figura 25

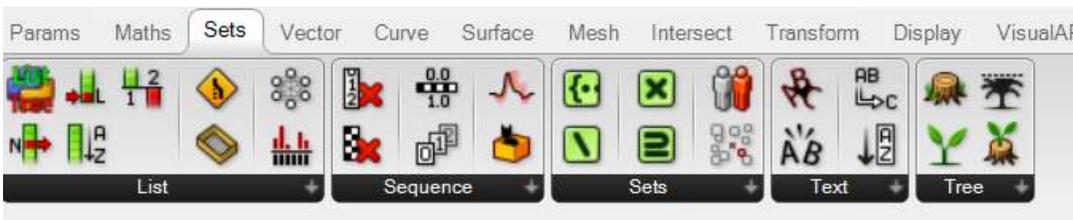
Sección matemáticas - Grasshopper.



En este menú podemos crear cualquier tipo de conjuntos, listas, secuencias numéricas, textos, etc. Aquí podemos encontrar 5 paneles en el cual tiene 90 componentes.

Figura 26

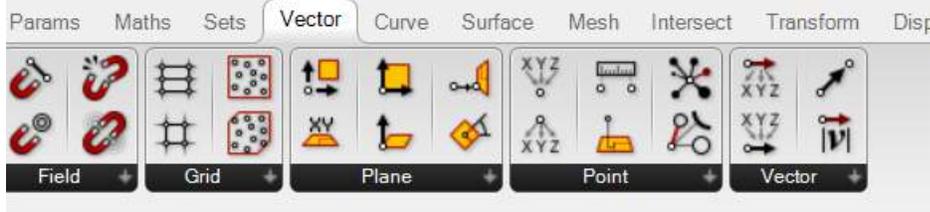
Sección conjuntos - Grasshopper.



En este menú podemos encontrar componentes para construcción de vectores, puntos, cuadrículas, planos, etc. Contiene 5 paneles y 71 componentes.

Figura 27

Sección Vector - Grasshopper.



Este menú está relacionado con cualquier herramienta que incluya curvas es decir su análisis, división, líneas, útiles, etc. Encontramos 5 paneles y 109 componentes.

Figura 28

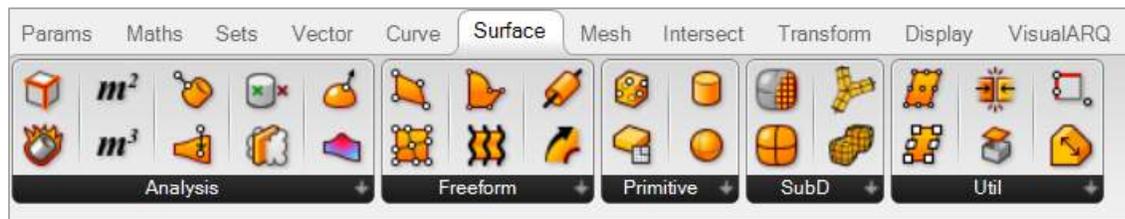
Sección Curvas - Grasshopper.



Nos ayuda crear cualquier tipo de superficie ya sea su análisis, triangulación, etc. En este encontramos 5 paneles y 90 componentes.

Figura 29

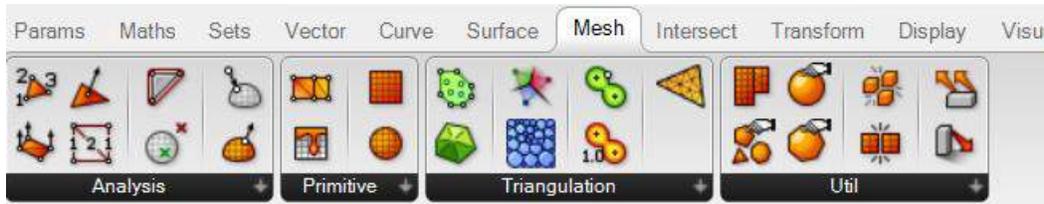
Sección Superficie - Grasshopper.



Como en el menú anterior se crean mallas que contienen diferentes puntos y realiza su análisis, triangulación, etc. En este encontramos 4 paneles y 62 componentes.

Figura 30

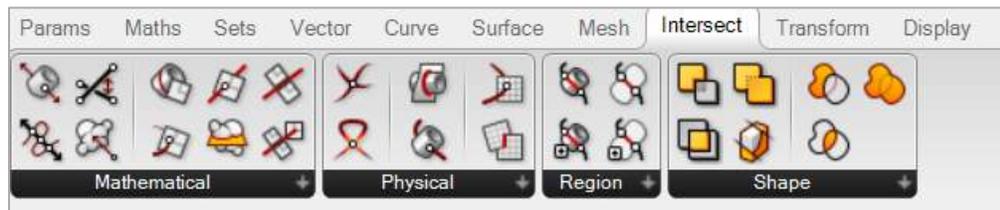
Sección Malla - Grasshopper.



Como su nombre lo dice aquí podremos realizar intersecciones de cualquier tipo físico, forma, etc. Contiene 4 paneles y 50 componentes.

Figura 31

Sección Intersección - Grasshopper.



Aquí como su nombre lo indica podemos transformar cualquier tipo de datos para distorsionar, afines, etc. Este contiene 5 paneles y 54 componentes.

Figura 32

Sección Transformar - Grasshopper.



Para utilizar los componentes solo necesitamos arrastrarlos al lienzo de Grasshopper. También para poder encontrar cualquier tipo de componente se hace doble clic en el lienzo y se procede a escribir el nombre del componente que se desea utilizar.

Figura 33

Cuadro de búsqueda para componente - Grasshooper.

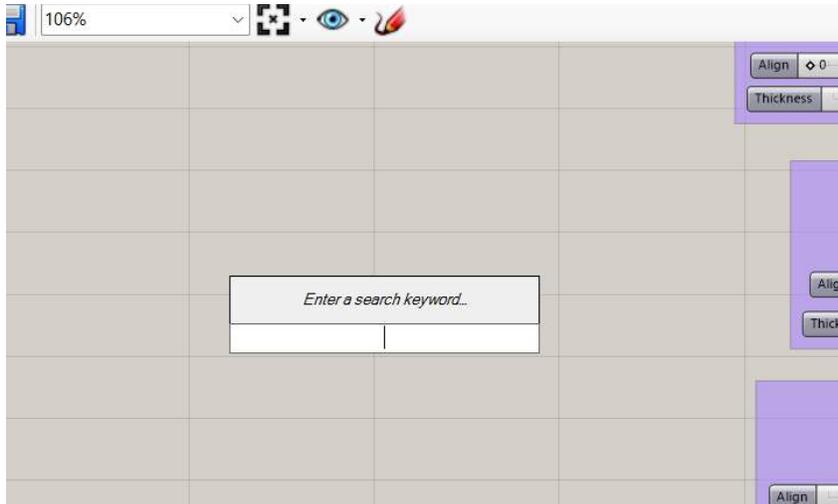
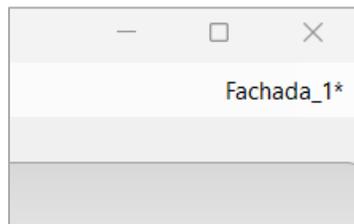


Figura 34

Ventana de búsqueda para componente - Grasshooper.



Es la mejor manera para poder movernos entre la interface de Grasshopper y de Rhinoceros, para que mediante eso podemos visualizar como va quedando el resultado final.

Teniendo en cuenta que, si nosotros cerramos el editor, todas las geometrías que hemos realizado, no podremos observar debido a que van a desaparecer, pero los archivos en realidad no se cerraran.

La barra de herramientas del lienzo

Esta barra nos ayuda con un acceso rápido a funciones principales, como cualquier barra de herramientas podemos aumentar o disminuir componentes, a su vez también de ocultarlos.

Figura 35

Barra de Herramientas - Grasshopper.



Componentes:

- a. Abrir un archivo o gh ghy.
- b. Guardar
- c. Factor de zoom
- d. Ver todo el documento
- e. Ver la ubicación
- f. Crear un nuevo objeto de dibujo
- g. No sacar ninguna vista previa de geometría
- h. Ubicar la vista previa de geometría wireframe
- i. Ubicar la vista previa de la geometría sombreada.
- j. Vista previa de geometría para una selección de objetos
- k. Configuración de vista previa del documento
- l. Calidad de malla de pre-visualización.

Plug-ins de grasshopper

Los plug-ins, que también pueden ser mencionados como plugin, puede entenderse desde la lengua inglesa de la que fue creado, como programas de inserción, los cuales son usados dentro del campo de la informática, para añadir distintas características y funciones adicionales al programa principal, y así mejorar el rendimiento del mismo.

Dentro de los principales plugin que se relacionan directamente con el programa, son los siguientes:

1. Elk: Plugin que tiene consta de un conjunto de opciones y herramientas que generan mapas y superficies por medio de información de acceso libre.
2. Hummingbird: De significado colibrí en español, es un conjunto de una serie de componentes que ayuda a la creación de geometría en Revit, de donde se exportan propiedades geométricas.
3. Rhinomembrane v2.0: Rhino membrana es una herramienta que ayuda en el diseño de una estructura tensada o a tracción.
4. GhPython: Es una herramienta que sirve para interpretar el lenguaje de programación de Python dentro del software Grasshopper, permitiendo que se pueda ejecutar scripts dinámicos, sin la necesidad de saber programar.
5. Bullant: Este plugin ofrece un conjunto e herramientas y opciones para diseño y modelado estructural, que mejora y amplía el programa Rhono3d/Grasshopper, ya que permite ampliar la forma y geometría de los elementos estructurales, tales como las vigas de acero.
6. Heliotrope-solar: Este plugin se utiliza dentro de Grasshopper para ejecución de la geometría solar, Heliotrope calcula los vectores que rigen la posición de los efectos solares a horas en específico durante el día, y así tener información acerca de la incidencia del sol en las obras estructurales.
7. Tortuga: Es una herramienta que analiza el potencial del calentamiento global que causaría la estructura de diseño a partir de los materiales y elementos que conforman la edificación, caracterizando cada uno de ellos con sus características y hasta ciclos del vida, datos muy importantes dentro de la construcción.
8. Geco: Es un plugin proporciona un enlace directo entre Rhino y Grasshopper, realiza la explración de geometrías que pueden resultar complejas al momento del diseño.

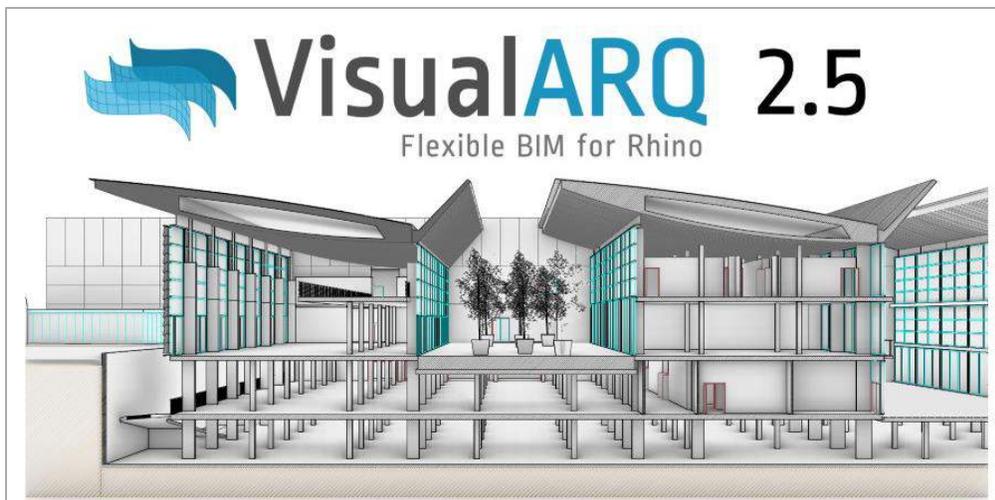
9. Starling: Es una herramienta que trabaja en base a mallas, que permiten parametrizar los elementos, dando como resultado el comportamiento de una superficie.
10. VisualARQ: Esta herramienta permite crear y manejar elementos arquitectónicos con el fin de crear de una manera más sencilla y fácil objetos como columnas, techos, losas, ventanas, aberturas, paredes, escaleras, gradas, etc., además de obtener información característica de cada uno de ellos, como el área, superficie, volumen, medidas de longitud y espesor, etc.

En este último plugin se hace un énfasis en su estudio, debido a que fue utilizada dentro de la realización del proyecto, como herramienta para el modelado de la estructura.

VisualARQ

Figura 36

Software VisualARQ



Consiste en un Plug-in de arquitectura para Rhino. Incluye herramientas para modelar proyectos de arquitectura en 2D y 3D. Incluye un potente editor para crear y editar objetos de arquitectura paramétricos. Además, potencia el flujo de trabajo y mejora la eficiencia del proceso de diseño en un entorno de producción.

Permite crear y editar fácilmente objetos arquitectónicos personalizados, agiliza y facilita el proceso de diseño y documentación. Tiene características intuitivas, fáciles de aprender y fáciles de usar.

Es de gran ayuda para arquitectos, interioristas, profesionales de la arquitectura y la construcción, profesionales del renderizado.

Se puede realizar modelado de arquitectura 2D y 2D creando un proyecto de arquitectura obteniendo planos y documentación en 2D de forma automática que se encuentra totalmente integrada en el flujo de trabajo de Rhino. Es de mucha trascendencia la complejidad del diseño ya que permite crearlas plantas, alzados y secciones de cualquier proyecto de arquitectura en pocos días.

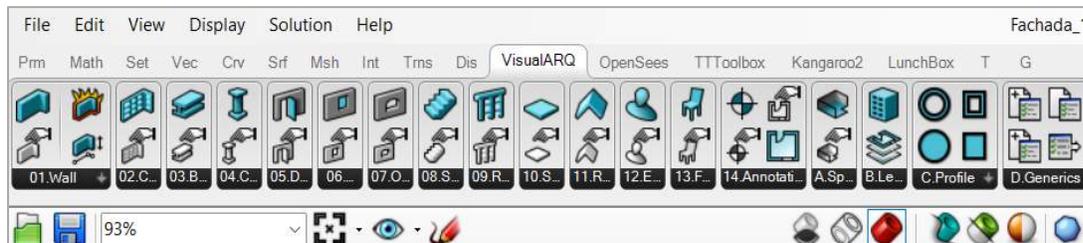
Permite que se cree y edite muros, vigas, columnas, puertas, ventanas, barandillas, escaleras, etc., con sencillez. Lo importante es que se puede editar en cualquier momento y con varios estilos personalizados. Adicionalmente se puede plasmar arquitectura de formas libres ya que los objetos pueden tener cualquier forma incluyendo sus superficies puesto que, existe compatibilidad con los volúmenes y superficies de Rhino. Para documentar los proyectos, la documentación 2D y la información de un proyecto se crea desde el modelo 3D automáticamente con tablas editables y personalizables para carpintería, espacios, muros, etc.

Por otro lado, en el modelo 3D se muestra en representación gráfica 2D en tiempo real, se puede efectuar un reajuste automático de objetos de cada edición, los documentos y planos 2D se actualizan automáticamente después de cada cambio de modelo 3D.

Finalmente se destaca la facilidad con la que tiene conexión con otros programas de software AEC de arquitectura a través de formato IFC cómo son: AUTOCAD, SOLIBRI, MODEL, VIEWER, REVIT, ARCHICAD, etc.

Figura 37

Opciones que brinda el plug-in VisualARQ



LunchBox

Es un plugin o complemento para el interfaz de Grasshopper para tener más formas matemáticas, paneles y flujos de trabajo en la categoría de Arquitectura específicamente. También con el paso del tiempo se va actualizando sus versiones y componentes. Es de uso gratis para todo usuario ya registrado en Rhinoceros, la versión que se ha utilizado es la de “LuncBox2020.11.2” para Rhinoceros 6 y 7.

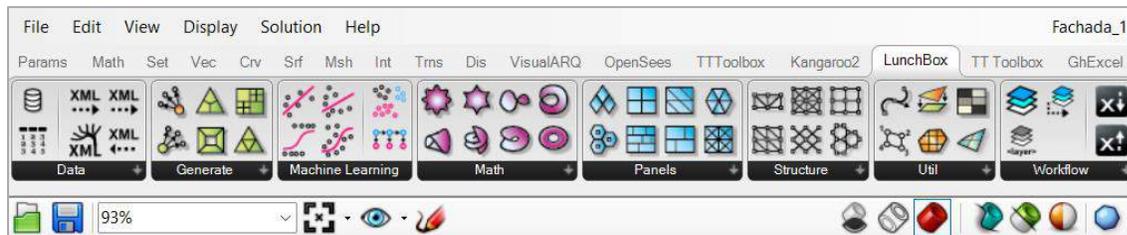
Esta herramienta permite trabajar con formas matemáticas, paneles y flujos de trabajo.

Es un plugin que incluye algunas herramientas, como:

- Generar: Un conjunto de componentes que sirve para la geometría.
- Matemáticas: Crea áreas, formas y superficies paramétricas.
- Paneles: Creación de sistemas de paneles como redes de diamantes.
- Estructura: Creación de estructuras de alambre, tales como armaduras espaciales.
- Utilidad: Trabajar con curvas tipo spline y revierte superficies (Sotomayor & Urgilés, 2015).

Figura 38

Opciones plug-in LunchBox.



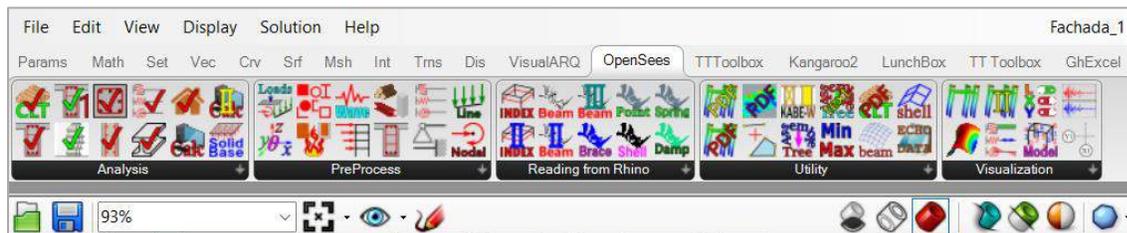
OpenSees

Es un software que nos ayuda a desarrollar un código para simular el comportamiento de sistemas estructurales sujetos a un fenómeno natural como son los sismos.

OpenSees está en constante desarrollo es decir va actualizándose, debido a que los usuarios y desarrolladores necesitan nuevos componentes para una mejor simulación computacional en ingeniería a través de cualquier código libre que se desarrolle.

Figura 39

Opciones plug-in OpenSees.



Renderización y edición

La renderización 3D es un proceso que utiliza un software de computadora para tomar datos de un modelo digital de un objeto o entorno de programas como, Sketchup, Revit, 3ds Max, Archicad o Rhinoceros 3D (que en este caso es el programa que nos proporciona el modelo principal). Estos datos de los modelos 3D pasan por un algoritmo informático que genera imágenes o videos fotorealistas. Este proceso es comúnmente utilizado en campos como la arquitectura, ingeniería, desarrollo de videojuegos y producciones filmográficas.

El modelo principal no es suficiente para poder dar realismo a las fotos y videos del proyecto, se debe utilizar algún programa de modelado 3D para generar el terreno y los detalles de fachada.

SketchUp

Figura 40

Logo SketchUp



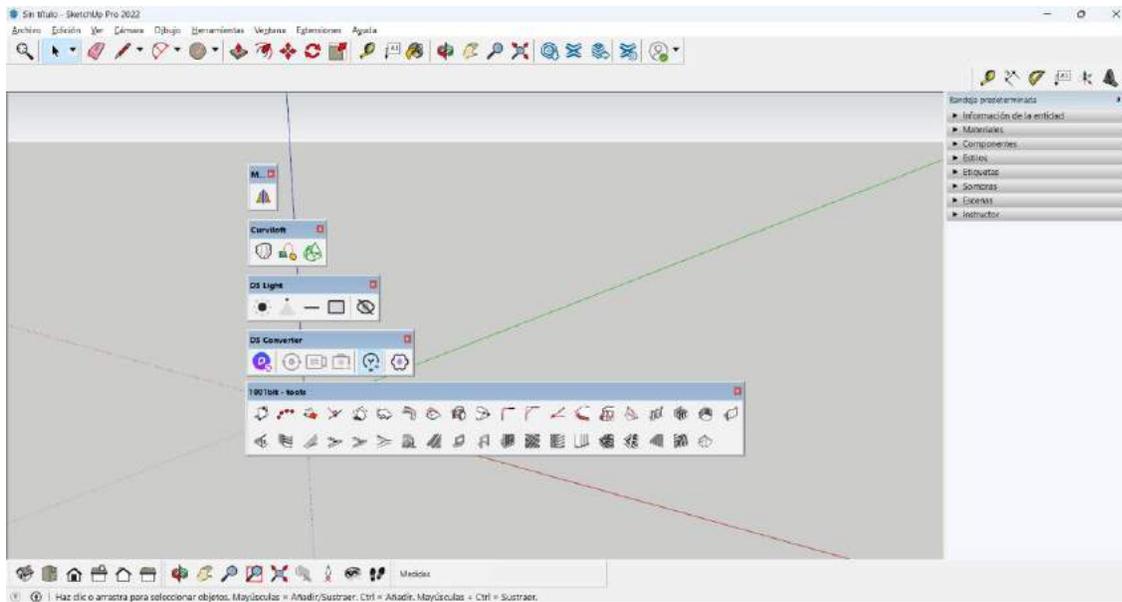
SketchUp es un software de computadora de Modelado 3D que va de la mano con el renderizado ya que también es usado para la arquitectura, ingeniería y diseño de objetos. Este software es conocido por su facilidad de uso y rápida elaboración de modelos 3D precisos. Permite crear objetos 3D simples usando sus herramientas básicas o crear diseños más complejos usando el resto de sus herramientas o plugins que se pueden encontrar en la propia web de SketchUp los cuales proporcionan nuevas herramientas que acelera el proceso de modelado.

En la interfaz se encuentran las herramientas principales como borrar, hacer líneas, crear superficies a partir de figuras geométricas, rotar, mover, escalar, entre otras que son básicas a la hora de modelar en SketchUp.

Además de las herramientas que se utilizan por defecto de SketchUp, se utilizará algunos plugins que proporcionan varias opciones que facilitan el proceso de modelar o editar sólidos o superficies dentro del software, como: 1001bits Tools, Mirror, Curviloft y uno de los más importantes para el desarrollo de los renders del proyecto, el cual es el plugin de que nos proporciona D5 Render.

Figura 41

Área de trabajo SketchUp y los plugins instalados



Además, SketchUp permite exportar e importar archivos de diferentes softwares lo que facilita el flujo de trabajo y es lo que se hará en este caso para poder pasar del modelo de Rhinoceros a SketchUp.

Capítulo III

Metodología

Modalidad de la investigación

La metodología que se aplicó en la investigación es de tipo inductivo y exploratorio, esto a través de la recolección exhaustiva de todos los datos significativos del inmueble, tanto de las características cualitativas y cuantitativas, como los elementos y materiales utilizados en la construcción, el dimensionamiento de la estructura y su arquitectura, ayudando a la caracterización de la estructura patrimonial de estudio, y posteriormente el modelado numérico 3D virtual del mismo, lo más similar a la estructura real (Edificio 1 Patrimonial de la Academia de Guerra).

Una vez obtenida la modelación 3D, lo más semejante a la estructura real, por medio de los softwares descritos, se procederá a entrar en la fase experimental de la investigación, debido a que se hace la programación del modelado con la respectiva modificación de variables relacionadas directamente con la configuración estructural del inmueble, cumpliendo de esta manera con el objetivo principal del proyecto.

Tipo de investigación

El carácter de la investigación del proyecto es de dos tipos: primero es necesario una “investigación de campo”, y que se obtienen datos reales del inmueble, tales como los elementos, materiales y características de los mismos, para posteriormente hacer un estudio de toda la información recolectada, sin manipular esta información inicial, esta vendría a ser la primera fase de la investigación.

La investigación también es de tipo “experimental”, es decir, el proyecto se basa en manipular de forma directa las variables necesarias para obtener la modelación de la estructura en 3 dimensiones, y analizar la incidencia de esta manipulación en cada una de estas variables, ésta se califica como la segunda fase de la investigación.

Técnicas de recolección de datos

La investigación requiere de obtener la información de la estructura directamente del levantamiento arquitectónico y estructural del mismo, con el fin de conocer de forma real el estado actual del inmueble.

Para lo cual fue necesario la elaboración de los planos tanto arquitectónicos y estructurales de la edificación, ya que esta no contaba con esta información necesaria para la posterior modelación y obtención de resultados.

Levantamiento de información

Levantamiento Arquitectónico

El levantamiento arquitectónico se puede entender como el proceso que nos ayuda a entender de forma más visible las características de la edificación, para que de esta manera se pueda realizar de una manera más precisa es estudio, restauración o rehabilitación de la estructura según sea necesario.

Se realizó un conjunto de investigaciones tanto dentro como fuera de la estructura, lo que nos permitió recolectar datos, tales como:

- El estado de conservación en el que se encuentra actualmente la edificación
- Grietas, fisuras, cortes, hendiduras, aberturas, huecos, en los elementos estructurales de la edificación
- Los materiales que fueron utilizados para la construcción de la edificación
- Las partes construidas finalizadas y las partes que faltarían por terminar tanto dentro como fuera de la estructura.
- Las transformaciones que ha sufrido la edificación con respecto al tiempo en caso de contar con la información estructural y arquitectónica inicial de la misma.

Para el levantamiento de la información fue necesario tomar las dimensiones de cada uno de los elementos que componen la estructura de forma manual, tanto por fuera como por dentro de la misma, además, se realizó la utilización de un dron para obtener fotografías aéreas de la edificación, con el fin de apreciar de mejor manera las vistas de la estructura.

Figura 42

Fotografía aérea de la edificación



Figura 43

Fotografía aérea de la edificación



Una vez la obra fue examinada, se tomó nota de los aspectos significativos para la elaboración de planos de la estructura, es decir las medidas tanto de altos, como de anchos y

espesores de cada uno de elementos que conforman el sitio, como muros, techos, ventanas, aberturas, puertas, etc.

Levantamiento Estructural

Como se explicó en el levantamiento arquitectónico, fue necesario la recolección de información de la edificación, en este caso es importante distinguir todos materiales que fueron utilizados para la construcción de la obra, obteniendo que los principales componentes de la estructura son: madera, adobe y hormigón.

Características del Inmueble

El inmueble de estudio es una estructura que data del segundo decenio del siglo XX, su tipología arquitectónica siendo esta una vivienda urbana tradicional de uso militar originalmente, en la actualidad el uso es compartido siendo residencial y de oficinas, el régimen de propiedad es privado de tipo particular, ocupado por el cuerpo Militar en la actualidad para su formación, con un buen estado de conservación en general.

La vivienda puede distribuirse en dos secciones: la primera parte como la edificación que cuenta con una sola planta, y la segunda sección que pertenece a la misma pero que cuenta con dos plantas.

Figura 44

Academia de Guerra del Ejercito



La mampostería está hecha de adobe, en algunas zonas estos muros poseen un espesor más grande que en otros, por lo que su configuración se da como paredes portantes debido a que transmiten las cargas hacia la cimentación de piedra.

Figura 45

Muros de adobe recubierto de mortero



Esta estructura Patrimonial está conformada por dos niveles, planta baja y planta alta. En la planta baja se encuentran: oficinas, sala de museo, bodegas, baños, comedor, cafetería, cocina, hall.

El desnivel del terreno en los costados de la edificación llega consigo hacia el otro acceso que da a las oficinas, en donde se puede observar una estructura de 2 pisos que están siendo utilizadas para oficinas.

Figura 46

Acceso a las oficinas



La cubierta está conformada de cerchas de madera en ciertas zonas y de viguetas inclinadas en otros lugares como el comedor. Además, posee cielo raso en varias áreas, las

puertas y ventanas de madera, asimismo las mamparas están conformadas por madera y vidrio.

Figura 47

Cerchas de madera



Figura 48

Vigas inclinadas en el comedor



Capítulo IV

Análisis

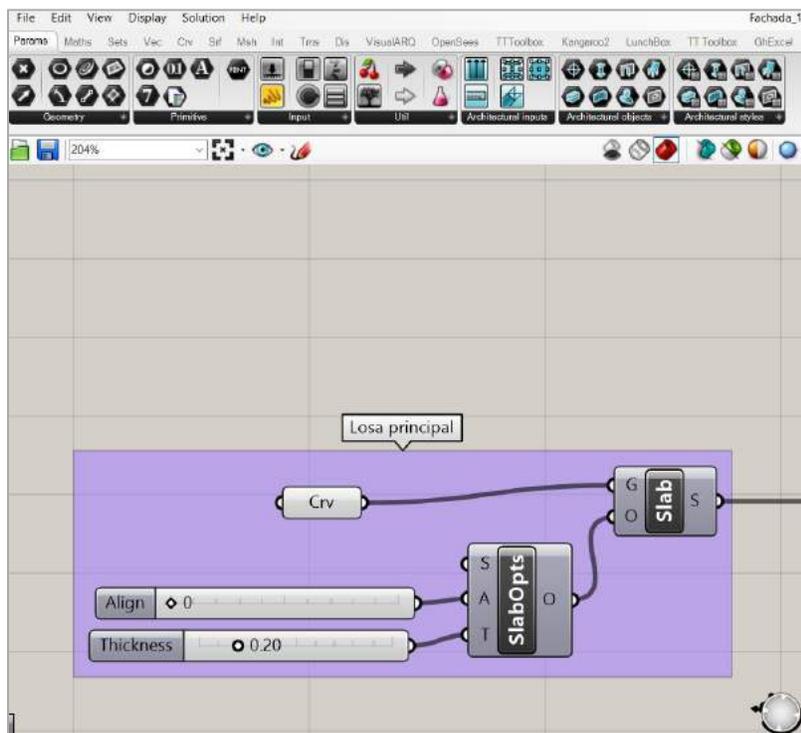
Modelación arquitectónica - VisualARQ

Para la modelación 3D se realizó con diferentes plugins que se especificara su uso a medida que se fue realizando la modelación, todo bajo una secuencia de pasos que se detallan a continuación:

Después de revisar los planos, vamos a realizar el contorno de la edificación estableciendo puntos y polilíneas para crear superficies cerradas las cuales se basarán las losas, las mismas que se conectaran con el componente de “Slab”, el cual es componente de un plugin llamado “VisualARQ” utilizado para poder modelar proyectos de arquitectura en 3D, además para poder configurar nuestra losa necesitaremos un “Slab Options” para modificar el estilo de losa, la alineación y espesor.

Figura 49

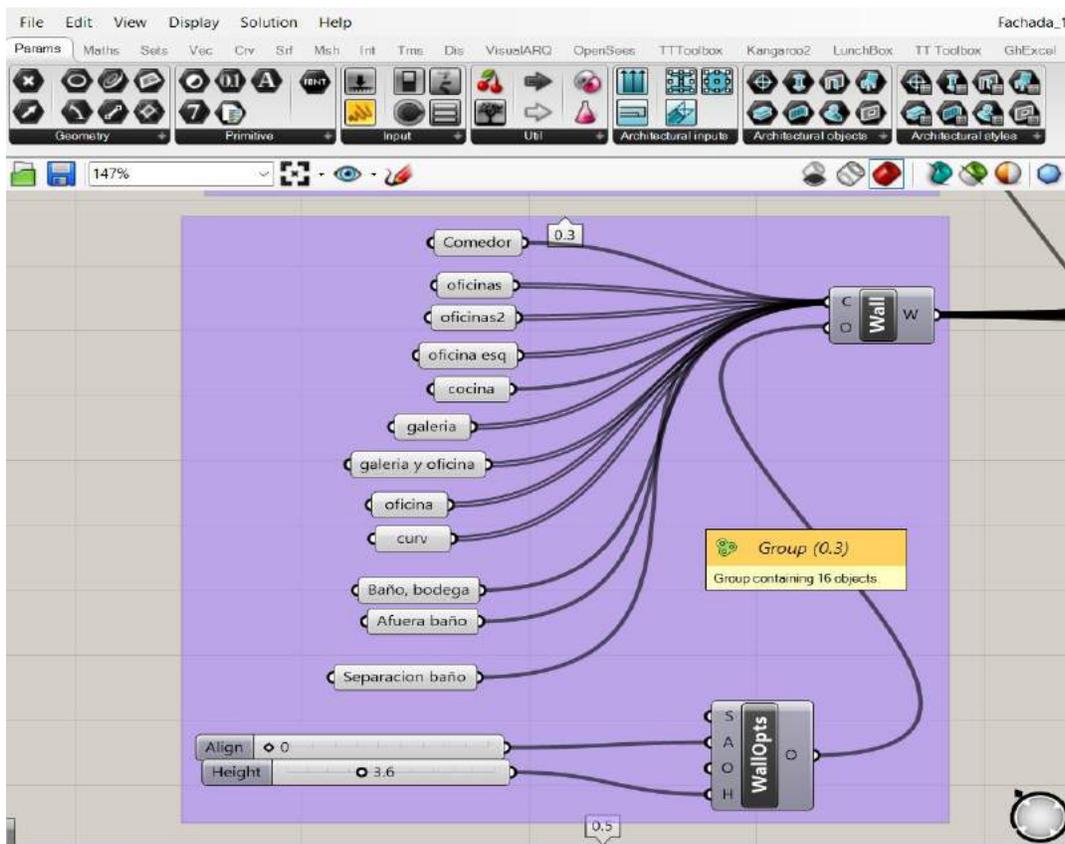
Losas creadas con el plug-in VisualARQ.



Ahora realizaremos nuestros muros utilizando el mismo método para las losas, es decir crearemos nuestras líneas de referencia para nuestros muros con el componente de “Wall”, además vamos a clasificar por grupos de grosores y alturas, en caso de ser necesario. Una vez agrupado por nuestros diferentes grosores, vamos a utilizar “Wall Options” para definir estilos de muros, alineación, desfase de curva, y su altura. Cabe recalcar que los estilos podemos crearlos desde Rhinoceros para poder guardarlos y poder vincularlos más fácil con el apartado de grasshopper.

Figura 50

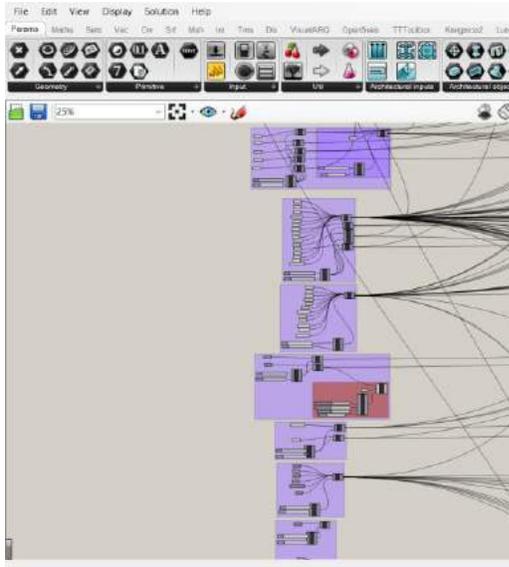
Muro creado con plug-in VisualARQ.



A continuación, se crea las paredes internas y sus divisiones, haciendo uso del mismo componente y pasos anteriores, además se clasificarán por espesores de muro y posiciones.

Figura 51

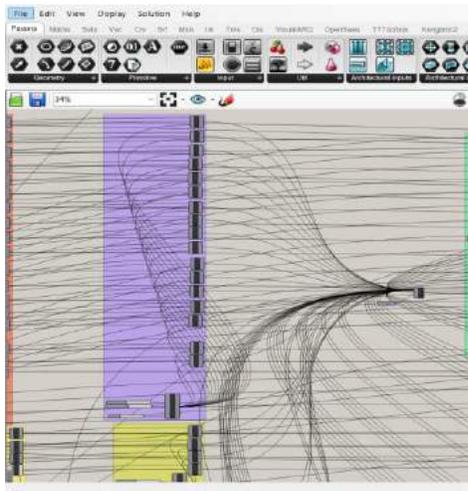
Conjunto de muros creado con el plug-in VisualARQ.



Obtenido la mayor parte del modelado estructural, se realiza la parametrización para la abertura o superficie hueca de puertas y ventanas haciendo uso de la opción de “Opening”, para los diferentes grupos de puertas y ventanas que les las ordenara dependiendo a sus dimensiones.

Figura 52

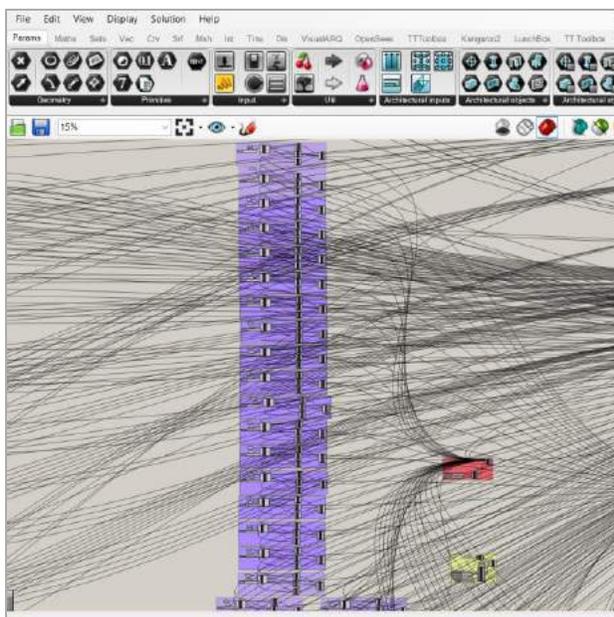
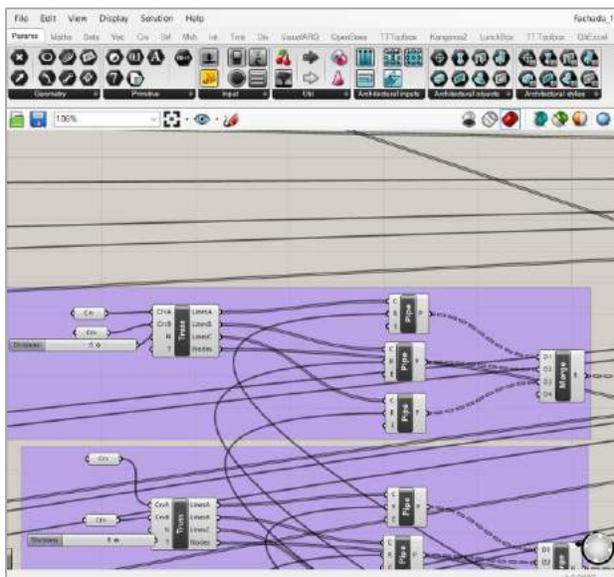
Aperturas de puertas y ventanas.



Para las cerchas que sostienen el recubrimiento del techo se necesitó un plugin adicional llamado “Lunchbox”, con el cual se realizó las cerchas en forma triangular con todos los nodos que uno necesite, para el cual se necesitó conectar dos líneas base es decir una “Curve A” y “Curve B”, también especificar la cantidad de nodos que tienen. A estas líneas se conectan con un “Pipe” el cual crea a estas líneas una superficie.

Figura 53

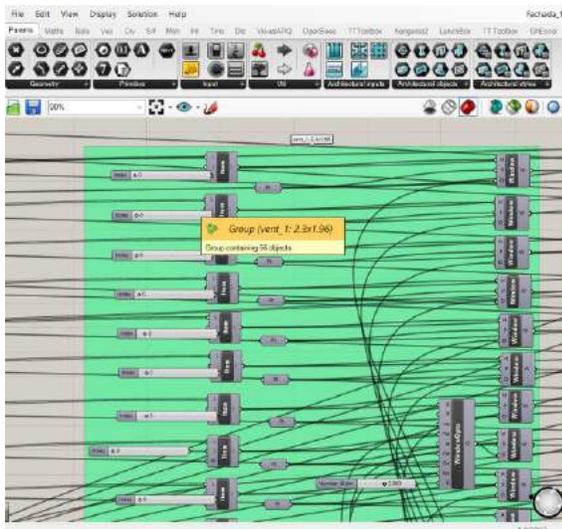
Conectores para ubicación y creación de cerchas.



1. Al proceder en la creación de las ventanas, puertas y aberturas en los muros necesitábamos delimitar mediante líneas el ancho necesario del elemento a poner, para después configurar su estilo, apertura y altura con los comandos de “Door”, “window” y “window Aperture”.

Figura 54

Conectores delimitantes de ancho de ventanas, puertas y aberturas.

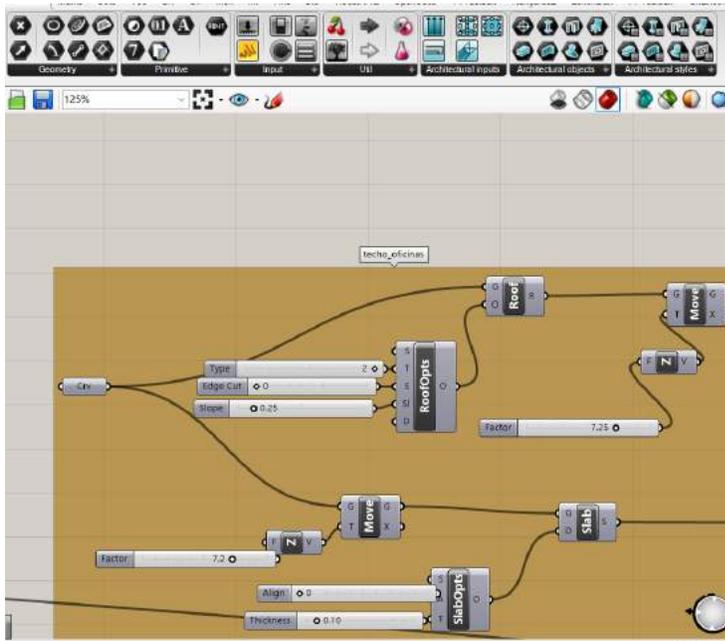


Para poder seguir con el modelado arquitectónico, realizaremos los techos para el cual necesitaremos crear una curva o polilínea cerrada, el cual sería nuestra guía donde alzaremos el techo, se conecta con el componente de “Roof” y en el apartado de “Options” podemos modificar el estilo de techo, el tipo de techo, corte de borde, pendiente y su dirección.

. Para cualquier corte de una superficie cerrada necesitaremos otra polilínea cerrada que será la abertura que deseamos en el techo se conecta el “Roof” a un “Roof Subtract Boundary” el cual ya está conectado a nuestra curva cerrada que es la abertura.

Figura 55

Código parametrización de techos. [Capturas de pantalla]

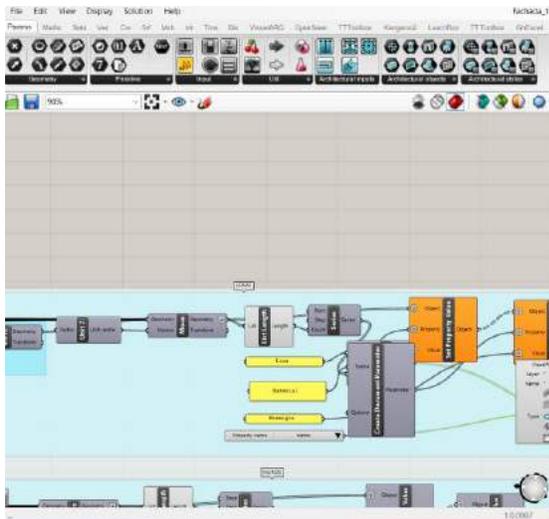


En las escaleras se tuvo que implementar una línea en donde la parte inicial de dicha línea sea la parte inicial igual de la escalera, uniéndolo con un comando llamado “Stairs” para que se forme la escalera y con sus configuraciones modificar la huella, ancho de la grada, altura, número de gradas y su estilo.

Ya al final se agrupa las geometrías para poder establecer materiales utilizando un “Create Document Parameter” y dando parámetros en un “Set Property Value”, realizando estos pasos tenemos a nuestras geometrías ya identificadas con sus materiales respectivos.

Figura 58

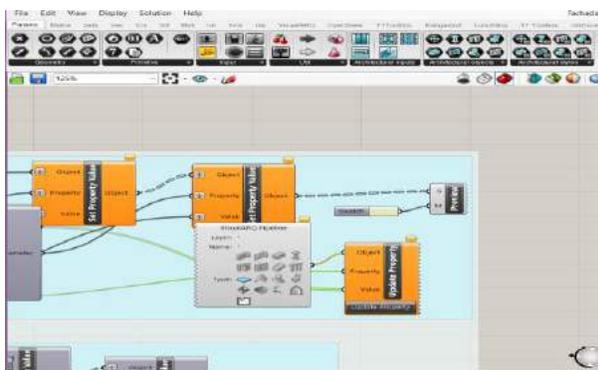
Asignación de propiedades de materiales.



Finalmente, para identificar de mejor manera visualmente cada grupo se une a un “Custom Preview” el cual podemos dar colores a los distintos grupos y materiales creados.

Figura 59

Dando colores a los diferentes grupos de materiales.



Se puede adoptar los primeros resultados:

Para tener el modelo 3D de la estructura se va a usar la opción llamada Bake que se encuentra dentro de Grasshopper. Esta opción permite imprimir todo lo que se ha seleccionado del modelo que se ha realizado en el código de Grasshopper al área de modelado de Rhinoceros. Se va a renderizar la estructura, la fachada y el área interna del edificio, así que primero se va a imprimir la estructura.

Desde el archivo donde está el modelo 3D de la estructura del edificio de Rhinoceros se exporta en formato .skp el cual es el formato con el que trabaja SketchUp.

Con el modelo ya en SketchUp se puede trabajar en el terreno que este alrededor del edificio ya que es el que se utilizará primero para el render de la estructura del edificio. Lo que primero se realiza es crear las superficies para cada de una de las texturas del terreno que este alrededor del edificio.

Figura 60

Academia de Guerra del Ejército ecuatoriano- Fotografía tomada con Dron

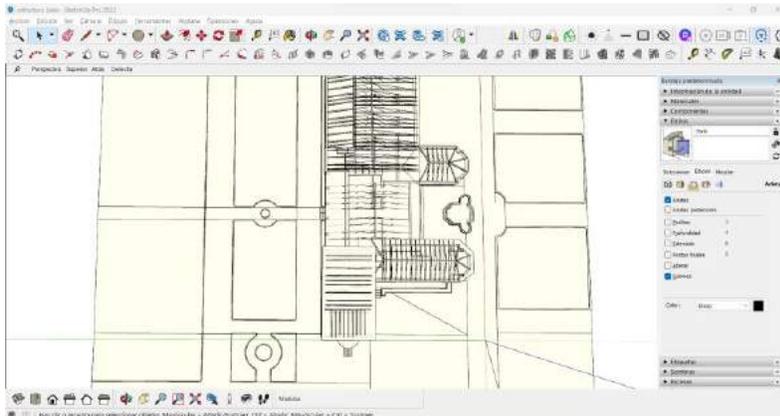


Como podemos ver en la foto se los alrededores del edificio se dividen por dos texturas, la textura del asfalto y la textura del césped, además, también existen una pequeña inclinación en el terreno por lo que se debe crear una superficie por cada textura con respecto a la

inclinación del terreno. Luego de tener las superficies se puede continuar con pequeños detalles que estén en el terreno para mejorar el aspecto del render y dar más realismo.

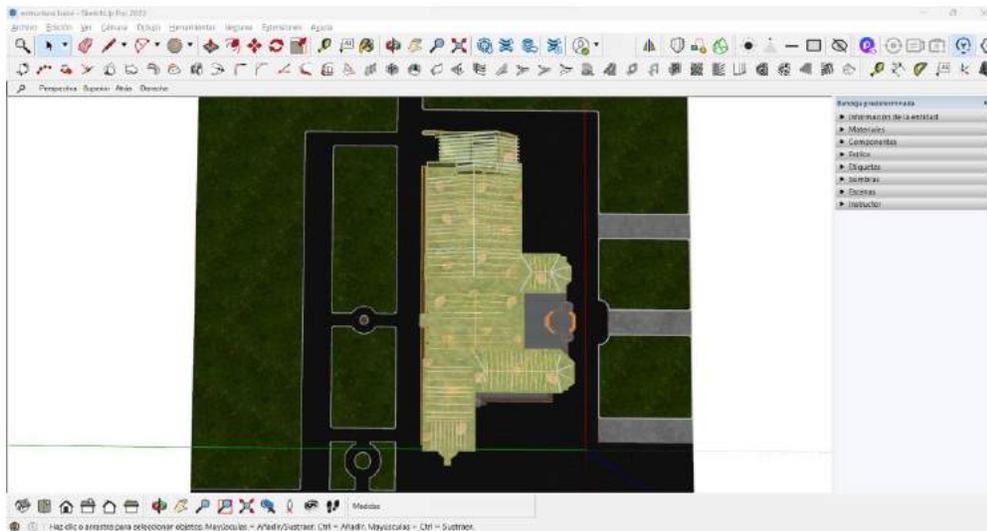
Figura 61

Modelo 3D hecho en SketchUp

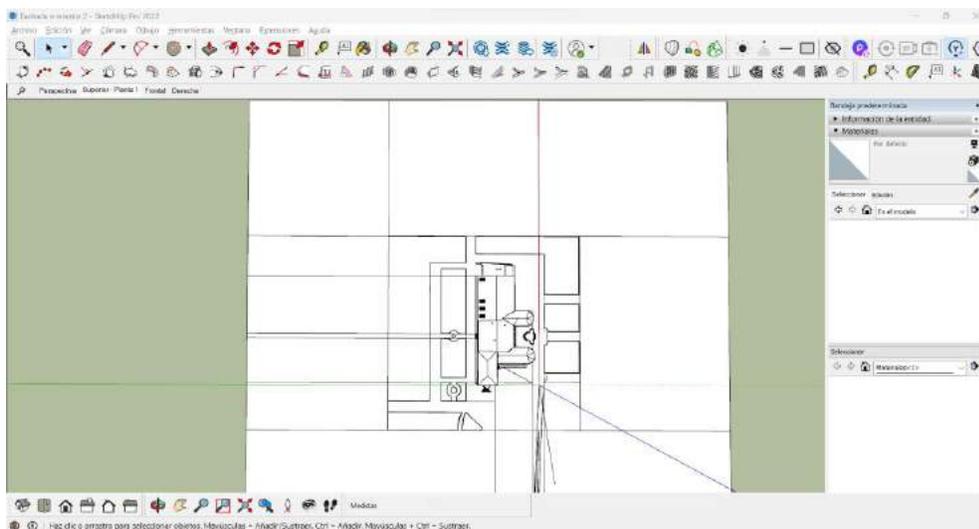


Lo siguiente es aplicar texturas a cada una de las superficies del modelo 3D exportas de Rhinoceros y las superficies creadas dentro de SketchUp.

Ya que D5 Render tiene sus propias texturas HD con relieve, se va a optar por colocar una textura cualquiera dentro del modelo de SketchUp. Pero las texturas que se apliquen deben ser diferentes para cada uno de los materiales a pesar de que se utilice texturas aleatorias, por ejemplo, una textura diferente para el césped, otra para la madera, entre otras texturas diferentes que se deben aplicar en el modelo. Esto se lo hace ya que el software de renderizado solo hace los cambios de texturas dependiendo del conjunto de texturas que tenga el modelo, en este caso si quiero cambiar la textura de madera dentro de D5 Render solo se va a poder realizar el cambio de textura a todas las superficies que tenga la textura madera dentro de SketchUp.

Figura 62*Modelo 3D con texturas*

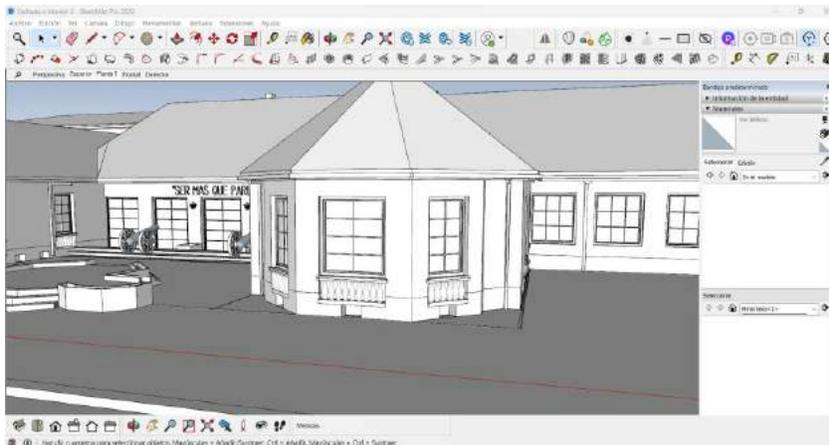
El mismo proceso que se ha realizado para ajustar el modelo 3D del apartado estructural del edificio, se debe realizar para el modelo de la fachada. Una ventaja de tener el archivo de SketchUp de la estructura es que se puede usar el mismo terreno para el otro modelo, lo único que se debe hacer es mover el modelado de los alrededores del edificio al otro archivo de SketchUp.

Figura 63*Modelo 3D hecho en SketchUp*

Lo siguiente se acomodan detalles de fachada dentro del modelo 3D, esto se lo puede hacer con cualquiera herramienta, ya sea herramientas propias de SketchUp o plugins que se pueden instalar dentro del software mismo. Estos detalles ayudan en gran medida al realismo del render.

Figura 64

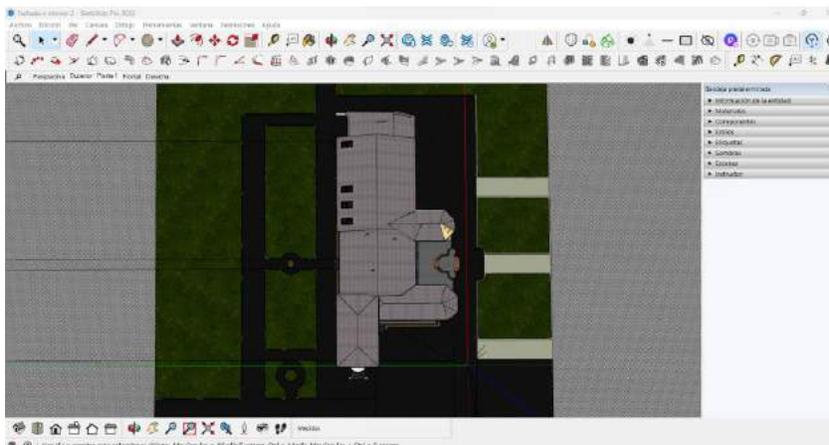
Fachada del Modelo 3D del edificio



Teniendo el modelo ya con las superficies de los alrededores solo se debe repetir el proceso de colocar cada textura en cada superficie del modelo de la fachada.

Figura 65

Modelo 3D con texturas



Se puede utilizar el archivo del modelo 3D de la fachada del edificio para hacer el render interior. Para el modelo 3D del interior del edificio se debe colocar todos los muebles dentro del modelo de SketchUp.

Para el amoblado se puede utilizar 3D Warehouse que es una opción que existe dentro de SketchUp que nos da la posibilidad de utilizar muebles ya modelados por la comunidad de SketchUp. Esto facilita el amoblado del edificio ya que ahorra bastante tiempo porque a los modelos de los muebles solo se les debe hacer pequeños cambios o usarlos como vienen por defecto. Otra opción es modelar los muebles desde cero, que es lo que se tiene que hacer con algunos de los muebles del edificio ya que no se encuentran en ningún lado modelos de ese tipo. Además de estas dos formas de amoblar, también existe la opción de colocar modelos que vienen por defecto en el software D5 Render.

Con los archivos ya ajustados lo siguiente es pasar al software renderizado.

Figura 66

Logo D5 Render



D5 Render es un software de renderizado y visualización 3D en tiempo real que se utiliza principalmente en el campo de arquitectura y diseño de interiores. Permite a los diseñadores crear visualizaciones altamente realistas e interactivas de sus modelos 3D en tiempo real, lo que puede ser útil para crear representaciones precisas de diseños de edificios.

D5 Render utiliza tecnología de trazado de rayos en tiempo real para producir imágenes y animaciones fotorrealistas de alta calidad de modelos 3D. Esta tecnología permite un renderizado rápido y eficiente, así como la capacidad de realizar ajustes rápidos y obtener una

vista previa de los cambios en tiempo real. También incluye una amplia gama de materiales, texturas y opciones de iluminación que se pueden usar para crear una variedad de diferentes estilos visuales.

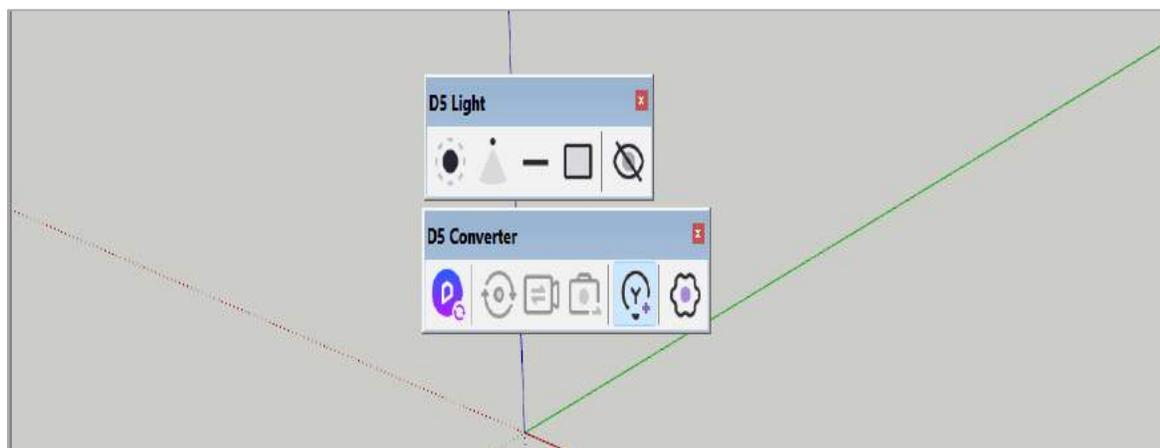
Este software tiene requisitos mínimos para funcionar en una laptop o PC. Los requisitos mínimos son una tarjeta gráfica NVIDIA RTX 1060, 8GB de memoria RAM, Windows 10 o superior y tener actualizados los drivers de Geforce Experience.

D5 Render es compatible con una gran variedad de formatos de archivo 3D populares y se puede usar como software independiente o como complemento para otro software 3D como SketchUp, 3ds Max y Revit, esto por medio del uso de un plugin que se puede instalar en los softwares que es compatible y que se puede descargar de la propia página oficial de D5 render.

Este plugin nos permite enlazar los softwares con D5 render y poder realizar cualquier modificación al modelo 3D y que estos cambios se vean reflejados dentro del software de Render en tiempo real sin tener que repetir los ajustes que se hicieron previamente dentro del software o que se deba cerrar y volver a abrir el programa.

Figura 67

Plugin que vincula D5 Render y SketchUp

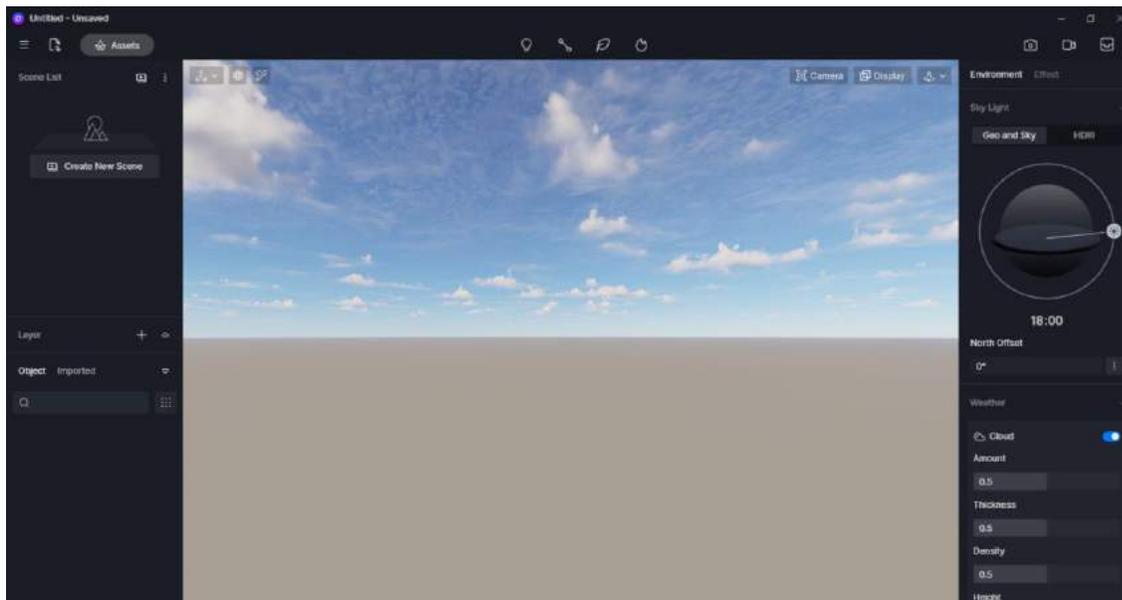


En la parte derecha de la interfaz se puede encontrar las escenas que son posiciones exactas de la cámara o vista donde se puede hacer modificaciones de manera individual en cada escena, y también se encuentran los objetos que han sido utilizados en el modelo del render, estos objetos son propios del software.

En la parte izquierda de la interfaz se encuentran la opción de Ambiente, esta opción permite controlar la iluminación del sol, pudiendo modificar la rotación de este, la altura, la hora del día para dar una iluminación específica, entre otras opciones que ayudan a dar realismo al modelo. También se encuentra la opción de Efectos que permite cambiar la saturación, el contraste, la intensidad de las sombras, el contraste, entre otras opciones que sirven para aportar calidad a las fotos y videos renderizadas.

Figura 68

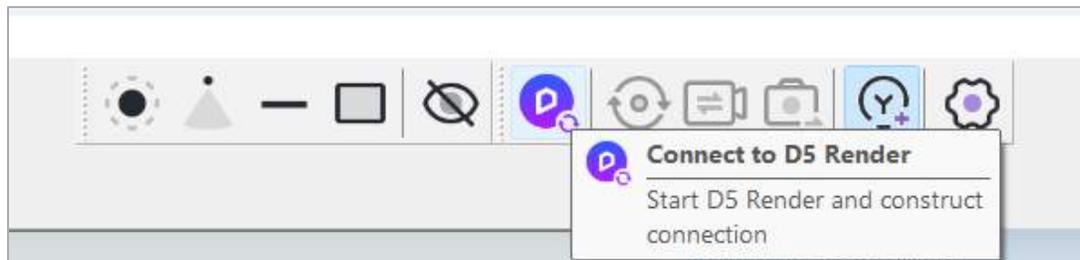
Área de trabajo de D5 Render



Dentro del archivo modificado del modelo 3D se ejecuta el plugin de D5 Render para iniciar con el proceso de modificación del render. Se selecciona la opción de “Connect to D5 Render” para enlazar ambos softwares.

Figura 69

Opciones del Plugin de SketchUp



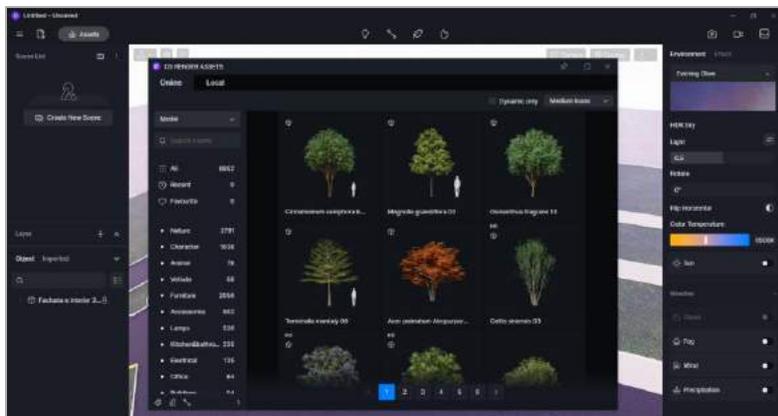
Con los dos softwares enlazados lo siguiente es acomodar las texturas. Para esto tenemos el apartado de llamado “D5 Render Assets” donde se encuentran todas texturas, modelos y partículas. Ahora se debe seleccionar cual es la textura que se desea aplicar a cada superficie del modelo.

Figura 70

Lista de Texturas

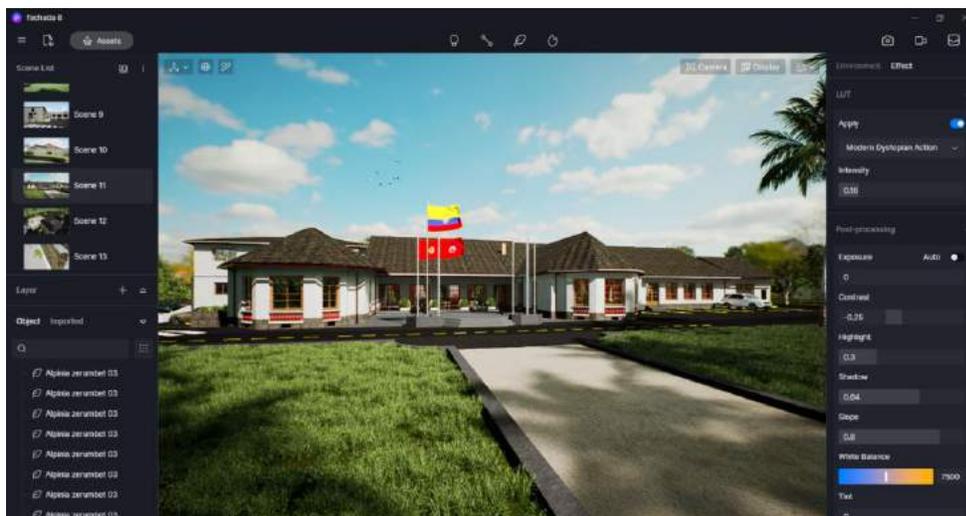


También se puede colocar modelos como árboles o plantas las cuales no fueron puestas en SketchUp porque la calidad de los modelos que nos da este software es muy superior que los que se pueden encontrar en 3D Warehouse.

Figura 71*Lista de modelos 3D*

El apartado de la iluminación es fundamental para el resultado del render, así que es una de las opciones con las que más se debe jugar, además de los efectos que ayudan a evitar que la iluminación y las sombras saturen al render.

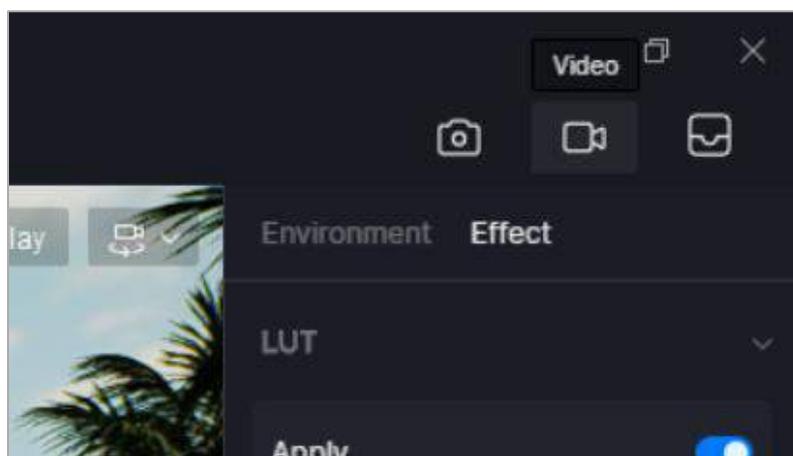
Luego de tener una iluminación que pueda funcionar con todo el modelo se crean escenas en diferentes posiciones que enfoquen al modelo del edificio. Estas escenas deben también ser modificadas una por una su iluminación y sus efectos ya que no siempre va a funcionar la iluminación de una escena con otra.

Figura 72*Modelo 3D con texturas y ajustes de iluminación*

Con las escenas creadas se realiza el proceso de renderizado para fotos, pero aún faltan la toma de clips para los videos. Para esto se selecciona la opción de Video

Figura 73

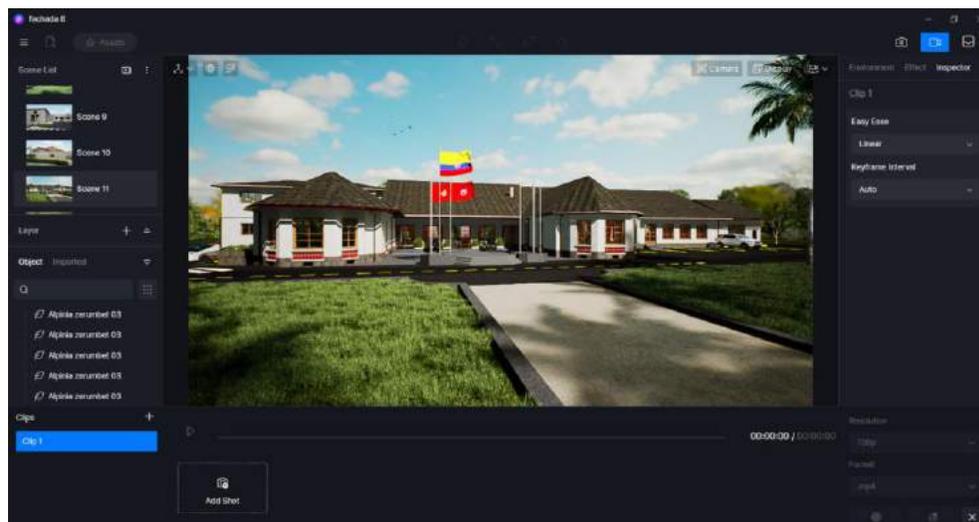
Opción de renderizado de videos



En este apartado se agregan clips los cuales van a construir en base escenas que en ese momento se pueden agregar. Estas escenas van a representar el recorrido que se va a mostrar en el video.

Figura 74

Apartado de creación de clips por medio de escenas



Al terminar de crear las escenas y los clips se puede ejecutar el proceso de renderizado. En fotos es posible renderizar en una calidad hasta de 16k y videos permite renderizar hasta 4k.

El tiempo de renderizado va a depender de la calidad a la que se está renderizando y en videos también depende del tiempo que dure el clip.

Al culminar el proceso de renderizado de las fotos, nos da 6 fotos diferentes en formato PNG las cuales nos servirán para el proceso de post producción para mejorar las fotos el modelo renderizado.

Figura 75

Resultado del proceso de renderizado



Adobe Photoshop

Figura 76

Logo Adobe Photoshop



Adobe Photoshop es un software para la edición de imágenes y el diseño gráfico. Photoshop es ampliamente utilizado por profesionales de las industrias del diseño gráfico, la fotografía y la publicidad. Sus funciones incluyen la edición basada en capas, que permite a los usuarios trabajar en elementos individuales de una imagen por separado, así como una amplia gama de filtros, efectos y herramientas para manipular imágenes.

Algunos de los usos más comunes de Photoshop incluyen retocar y mejorar fotografías, crear gráficos para impresión o web, diseñar logotipos y materiales de marca, y crear arte digital.

Con este software vamos a realizar la colocar un cielo con mucha mayor calidad y más realista utilizando la imagen SkyMask.

Figura 77

Resultado del cambio de cielo



Modelación numérica - OpenSees

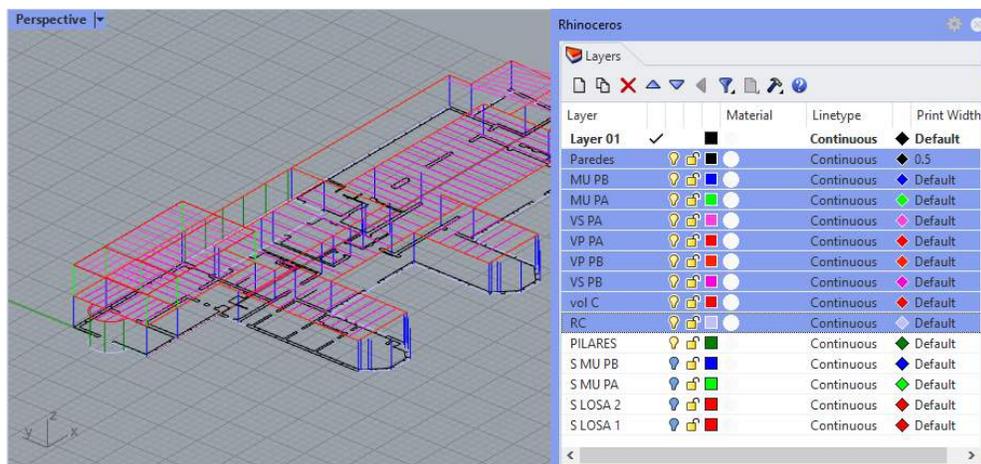
Creación geométrica de muros/vigas/Viguetas/Losas

La base de todo modelo es la geometría que se va a analizar, por ello es necesario partir con el modelado en dibujo de la estructura en particular. La modelación se realizará mediante el uso de capas o layers, dibujadas en la ventana de trabajo que ofrece el software RHINOCEROS 7, mismas que se dividirán en capas para muros, losas, vigas y viguetas. Dentro del caso de estudio se asignaron las capas observadas en la Figura 20.

Designadas las capas para cada elemento estructural se procede a dibujar cada elemento, para ello se puede comenzar a dibujar en un punto cualquiera con tan solo escoger la opción `polyline` y dando clic en cualquier parte dentro de la ventana de trabajo que ofrece Rhino, a su vez se puede contemplar la opción de trabajar usando líneas a partir de la asignación de coordenadas en sentido "x", "y", y "z", como una última opción puede importar la estructura previamente realizada con otra herramienta de dibujo como por ejemplo AutoCAD con tan solo arrastrando el archivo DWG dentro de la venta de trabajo.

Figura 78

Capas usadas para creación de geometría.



Creación de Superficies Muros/ Losas

La edificación de análisis cuenta con muros portantes, por lo que es necesario resaltar, de manera que se procede a la creación de superficies de muros y losas. Al igual que la modelación geométrica de la estructura, se deberá trabajar con capas diferentes dependiendo del tipo de superficie con la que cuente la edificación. La creación de superficies se hará utilizando la herramienta de Rhinoceros denominada como “surface”, la cual puede generar superficies mediante puntos, es decir la herramienta permite seleccionar el área que se quiere crear la superficie mediante puntos que el usuario asignara dando clic.

Figura 79

Herramienta Surface.



Figura 80

Creación de superficies mediante puntos.

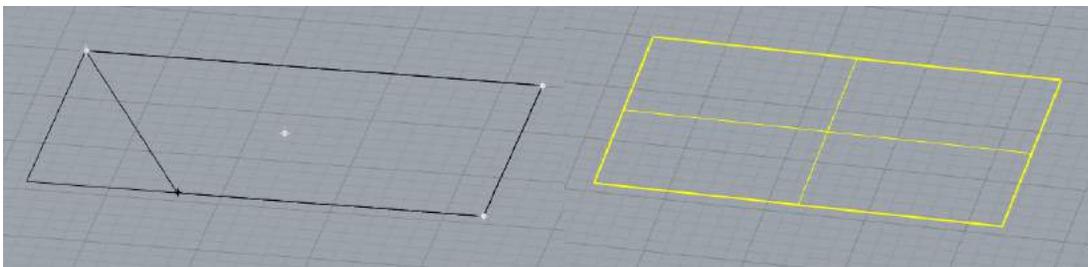
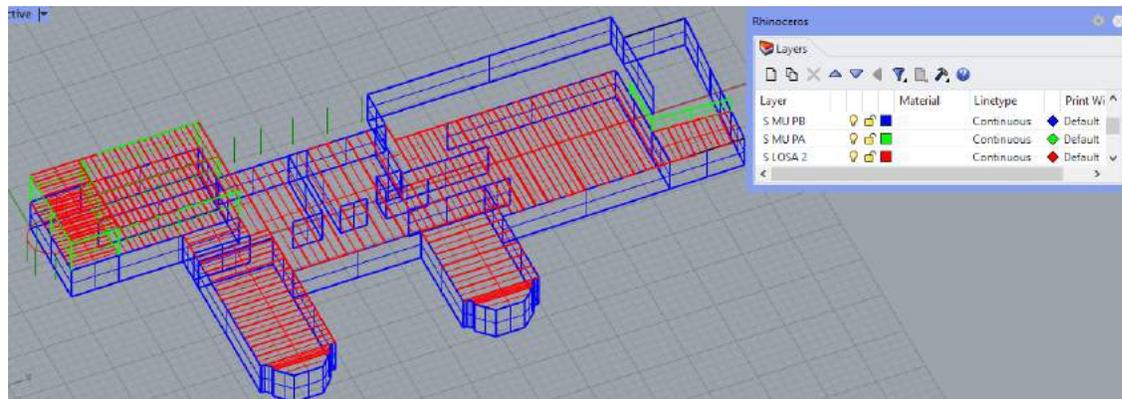


Figura 81

Superficies creadas para la estructura.



Cálculo de Cargas de servicio

Las cargas que actúan en la estructura son de importancia dentro del proceso de modelación y análisis estructural por lo que se vuelve necesario el cálculo de cargas permanentes, por el contrario, en el caso de cargas temporales los valores serán asumidos dependiendo de su ocupación, mismos que se podrán asumir de la Normativa Ecuatoriana de la Construcción NEC -15.

Carga Permanente o muerta

Consideramos como carga muerta a todo elemento estructural que actúa sobre la estructura. Las cargas se calcularán en unidades de kilogramos fuerzas por metro cuadrado, es decir se calcularán las cargas que actúan sobre una superficie o área, todos los cálculos se verán relacionados con la información que proporcionen los planos estructurales y arquitectónicos.

De acuerdo con la (NEC-SE-MP, 2015), las cargas permanentes constituyen a pesos de elementos como: muros, paredes, instalaciones, recubrimientos y todo artefacto que constituya a la estructura en sí.

Al ser una edificación patrimonial esta se constituye estructuralmente de muros de adobe; vigas, viguetas y cerchas de madera, chova, y cubierta de teja. Adicional a estas se

deben considerar los elementos de instalación como cableado de luz, ventilación, etc. Por lo tanto, las cargas son las siguientes:

$$\text{Chova}=6 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Instalaciones}=10 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Teja}= 8\text{kg/m}^2$$

La estructura cuenta con modificaciones dentro de interiores donde se puede apreciar la colocación de cielo raso para cubrir la losa original. Por lo tanto, se considera también una carga para cielo raso.

$$\text{Cielo raso}= 20 \text{ Kg/m}^2$$

El cálculo de la carga por peso propio que proporcionan las vigas dependerá de la sección que estas tengan, su densidad dependiendo del tipo de material que sea y su ancho cooperante. Los elementos de madera encontrados en la edificación fueron considerados como una madera tipo C, es decir es una madera de baja resistencia que cuenta con una densidad de 650 Kg/m³.

$$\text{Sección viguetas}= 20/20$$

$$\text{Ancho cooperante}= 1,30 \text{ m}$$

$$\text{Ppvig}=0,2 \text{ m} \cdot 0,20 \text{ m} \cdot (650 \text{ kg/m}^3) / 130 \text{ m}$$

$$\text{Ppvig}=16,92 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{CD}=6+10+8+20+16,92 \text{ (Kg/m}^2)$$

$$\text{CD}=60,92 \text{ Kg/m}^2$$

- Carga Viva Cubierta

De acuerdo con la Norma Ecuatoriana de Construcción 2014, Capítulo I (Cargas No Sísmicas), se recomienda usar un valor de carga viva de 70 kg/m² para una cubierta inaccesible, se debe tener en consideración la carga generada por granizo, adoptando un valor de carga por granizo de 100 Kg/m².

$$\text{CL}=70 \text{ Kg/m}^2 + 100\text{Kg/m}^2$$

$$CL=170 \text{ Kg/m}^2$$

- Carga Permanente entrepiso

Al igual que la cubierta se deberá tomar en consideraciones los elementos estructurales para el caso de entrepiso se tomará en cuenta cargas de instalación, cielo raso, parket, loseta y masillado.

Carga Viva

$$\text{Instalaciones}=10 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Cielo raso}= 20 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Parket}= 15,00 \text{ Kg/m}^2$$

Para el caso de la loseta se ha asumido un espesor de loseta de 8cm y al ser de material de adobe un peso específico de 1600 Kg/m³, lo mismo ocurre con el masillado considerando 2 cm de espesor y densidad un peso específico de 1900 Kg/m³.

$$\text{Loseta}= 0,08\text{m} \cdot 1900 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Loseta}=128,60 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Masillado}=0,02\text{m} \cdot 1900 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Masillado}=38 \text{ Kg/m}^2$$

El peso propio de las viguetas será el mismo debido a que comparten secciones y tipo de materia entre los 2 niveles.

$$CD= 10+20+15+128,60+38 \text{ Kg/m}^2$$

$$CD=227,92 \text{ Kg/m}^2$$

- Carga Viva Entrepiso

Para el caso de la losa de entrepiso se considera una carga de 200 Kg/m² debido a que actualmente se está dando el uso de oficinas.

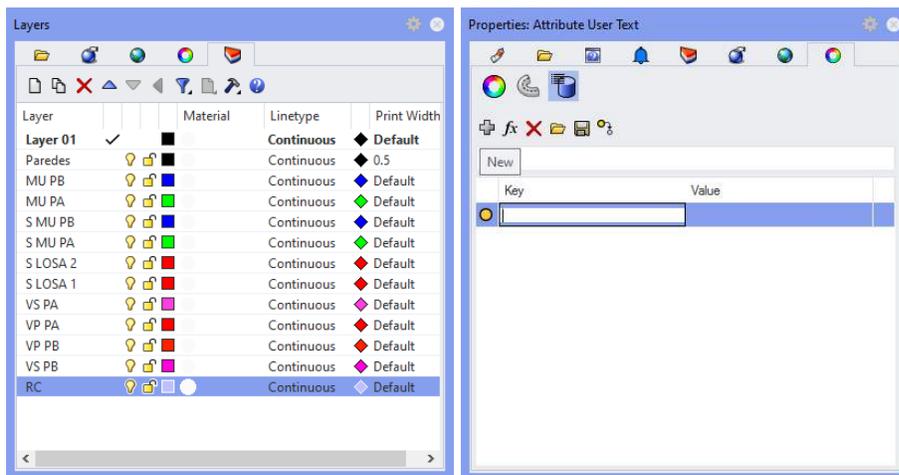
$$CL=200 \text{ Kg/m}^2$$

Asignación de cargas, secciones y materiales

La asignación de información se desarrolla usando Rhino, y consiste básicamente en seleccionar el elemento que se desea colocar las cargas, materiales, secciones y conexiones, y simplemente buscar la herramienta “Toggle layer panel” para luego dirigirse a la opción “Properties”, dentro de esta opción buscamos el icono denominado “Attribute user text”, en él se agregaran los caracteres dando clic en el símbolo más (+), apareciendo casillas para agregar todo característica del elemento estructural seleccionado.

Figura 82

Pasos para asignar cargas, secciones, materiales y juntas



Los atributos deben llenarse en base a la numeración de tipo de sección y material, previamente realizada, para ello se utiliza un archivo de Excel de valores separados por comas (.csv) para la entrada de datos, en el cual se detallaran las propiedades del material como el módulo de elasticidad [kN/m²], relación de Poisson, peso específico [kN/m³], factor de resistencia a la compresión (Fc) [N/mm²], resistencia a la tracción (Ft) [N/mm²], resistencia a flexión (Fb) [N/mm²], resistencia al corte (Fs) [N/mm²], F viene a ser el valor resistencia del acero [N/mm²], el usuario debe tener en cuenta que las resistencias antes mencionadas sin contar la resistencia F, solo se llenaran en el caso que contemos con un material de madera.

Dentro del archivo csv los espacios en los otros materiales como hormigón y adobe se deberán completar con "0", además deberá considerar que los materiales se emitirán al programa en formato de lista empezando desde "0".

Figura 83

Archivo .csv para entrada de datos de materiales

	A	B	C
1	No., E, poi, rho, Fc, Ft, Fb, Fs, F		
2	0, 21000000, 0.2, 24, 21, 0, 0, 0, 0		
3	1, 637432.3, 0.25, 0.02, 0.2, 0.15, 0, 0.04, 0		
4	2, 4500000, 0.4, 5, 17.7, 13.5, 22.2, 1.8, 0		
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			

En lo que respecta a secciones del material existen dos maneras para la asignación de geometría de la sección transversal, una de ellas se asigna de manera manual y directa y la según utilizada para el presente proyecto es mediante la lectura de la lista de datos csv. En cualquiera de los dos casos se deberá ingresar valores para las variables S, P1, P2, P3 y P4, correspondiendo a cada tipo de secciones de los elementos que puede estar constituida la estructura.

A continuación, se muestra la siguiente tabla, especificando la metodología para ingresar el tipo de sección.

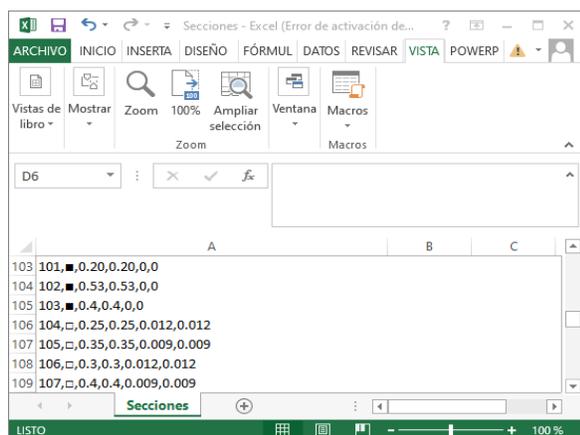
Tabla 2

Simbología tipo de secciones

Tipo de				
sección	S	P1 (m)	P2 (m)	P3 (m)
Rectangular	■	altura	ancho	-
Circular	●	diámetro		-
tubo de acero				
cuadrado	□	base	altura	espesor base
tubo de acero				
circular	○	diámetro	espesor	-
Acero forma H	H	altura	ancho	espesor

Figura 84

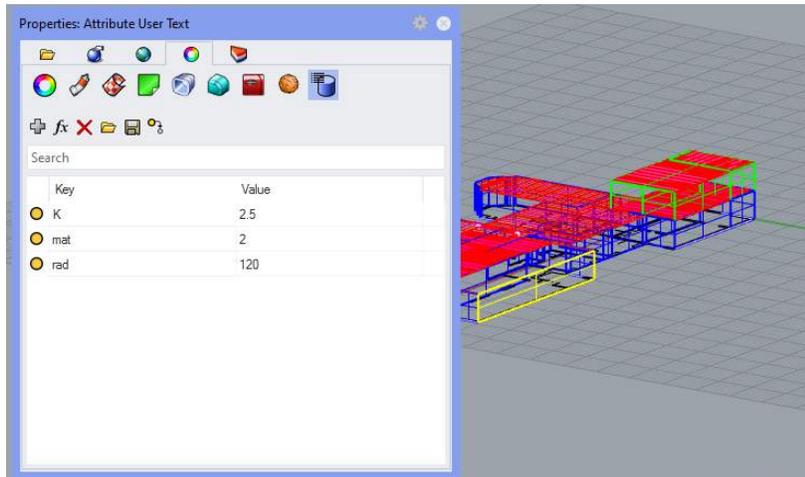
Archivo .csv para entrada de datos de secciones



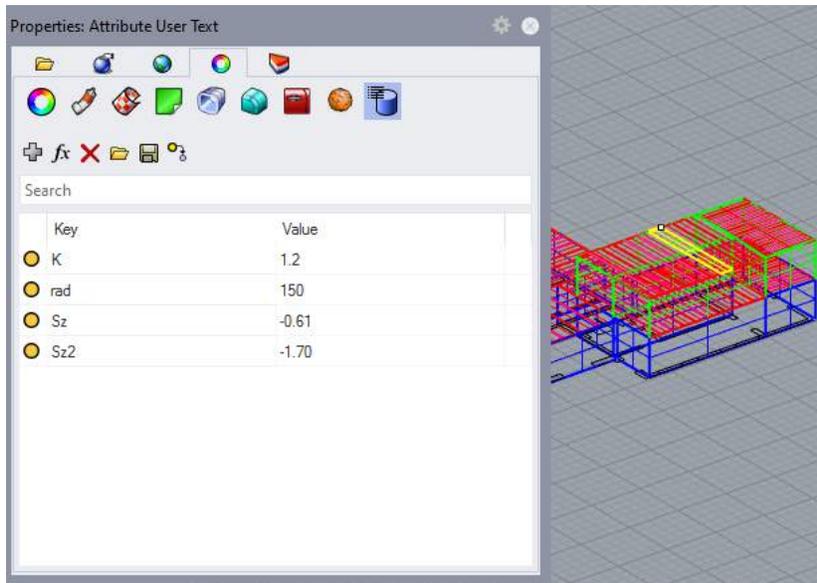
Una vez que se han definido los archivos csv con los datos de secciones y materiales procedemos a llenar el panel "Attribute user text", se colocara mat en la casilla de la izquierda para asignar nombre del material. Para el caso de superficies como muros los parámetros a ingresar serán el material (mat), sección (sec) y rigidez (K).

Figura 85

Definición de parámetros K , mat , sec en superficie muro

**Figura 86**

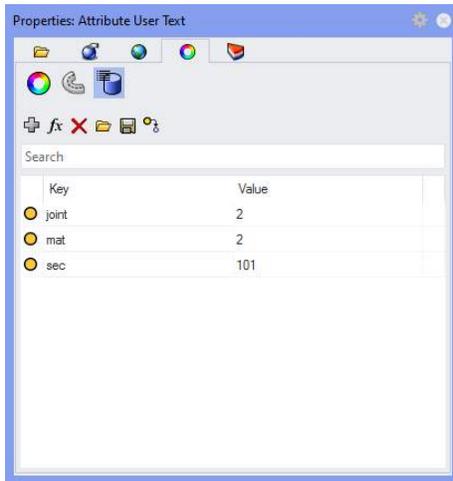
Definición de parámetros K , rad , Sz y $Sz2$ en superficie losa



En las vigas, viguetas y columnas son necesario definir el parámetro joint dependiendo del tipo de nudo, por ello se ingresará valores entre 0 y 2 para definir la conexión de borde.

Figura 87

Definición de parámetros joint, mat, sec en vigas y viguetas



El plugin de OpenSees para grasshopper ofrece la variación de herramientas para la lectura de información de datos de línea de Rhino capa por capa, uno de estas herramientas es ReadBeam2, su función es determinar las intersecciones de manera automática, y dividir las líneas por segmento para el cálculo interno. Cabe recalcar que los atributos restantes como name mat, name sec, name joint, name K, no son necesarios definirlos en grasshopper ya que el software lee la información que fue determinada en Rhino.

Figura 88

Lectura de capas usando ReadBeam2

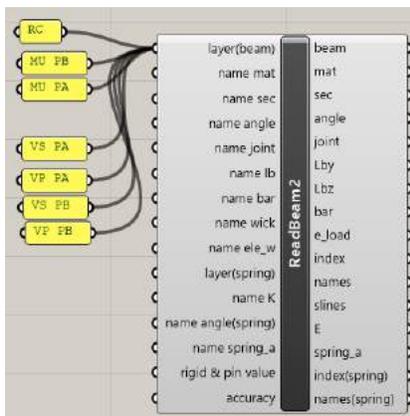
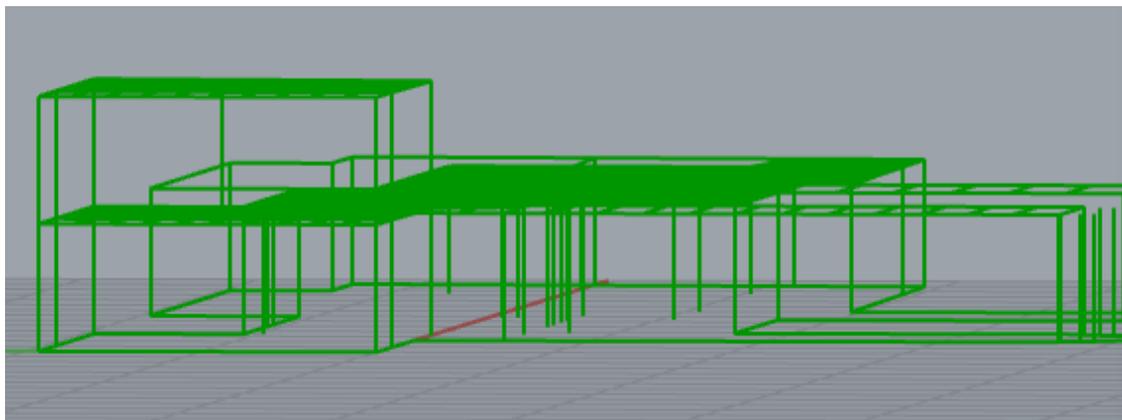


Figura 89

Estructura reconocida por ReadBeam2

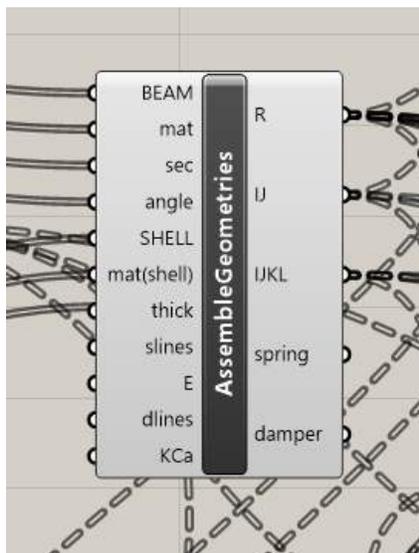


Creación de nodos de elementos para OpenSees

El componente AssembleGeometries brinda información sobre parámetros como geometría, material, sección y ángulo que posee cada elemento estructural anteriormente definido. Este componente recolecta los datos y genera los nodos a partir de esos datos.

Figura 90

Creación de Geometría usando AssembleGeometries

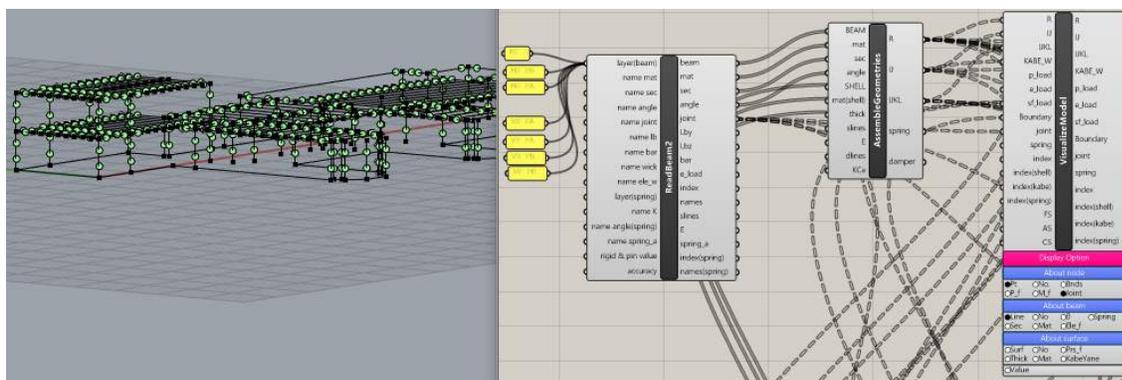


Determinación de Condiciones de contorno

VisualModel es un componente que integra los marcos creados, láminas, muros de carga, relación entre nudos, secciones, etc., y los plasma en Rhino. Por lo general, es usado para comprobar que el modelo de análisis estructural fue generado correctamente, para ello cuenta con opciones de visualización como nudos, líneas, puntos, etc. Obsérvese la siguiente figura.

Figura 91

Parametrización para condiciones de contorno usando VisualModel



Para la generación de apoyos es necesario implementar el componente Boundary que igual que Visual Model trabajo con condiciones de contorno como limites en sentido “X”. “Y” y “Z”. Dependerá del modelo que se diseñe la restricción de cada uno ellos, para el presente trabajo se ha restringido los limites en sentido “Z” colocando el valor 0. Boundary se interconecta directamente con Assemble Geometries para la creación de apoyos de la estructura.

Figura 92

Parametrización para creación de apoyos – Boundary

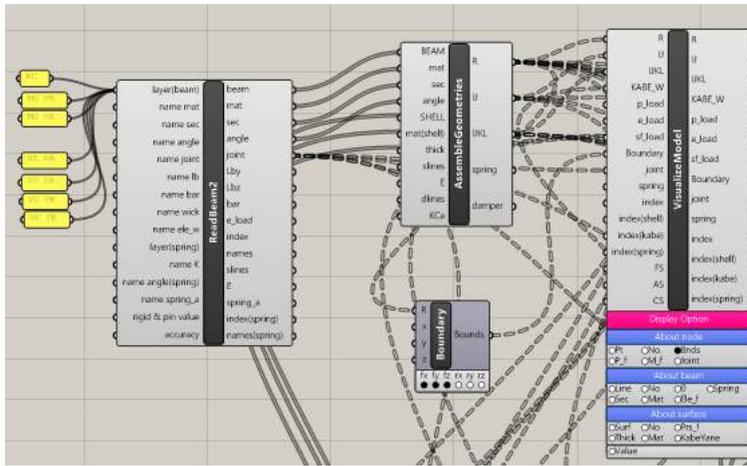
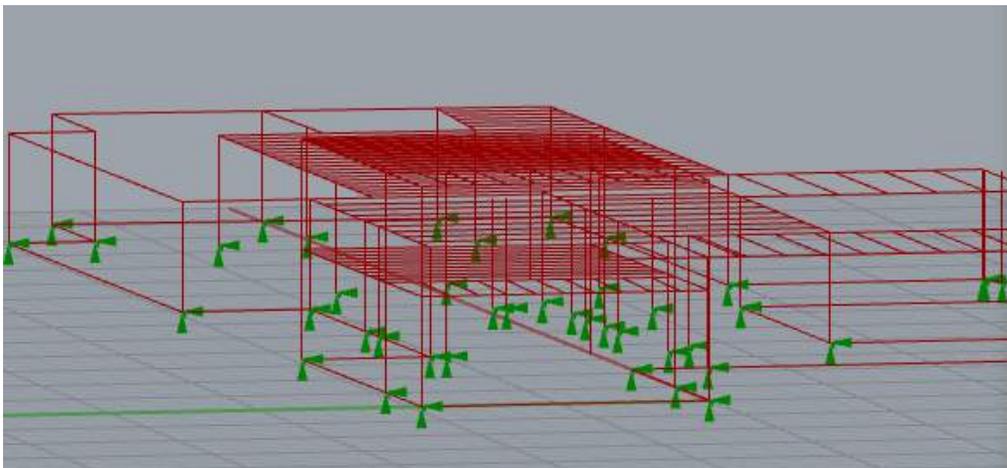


Figura 93

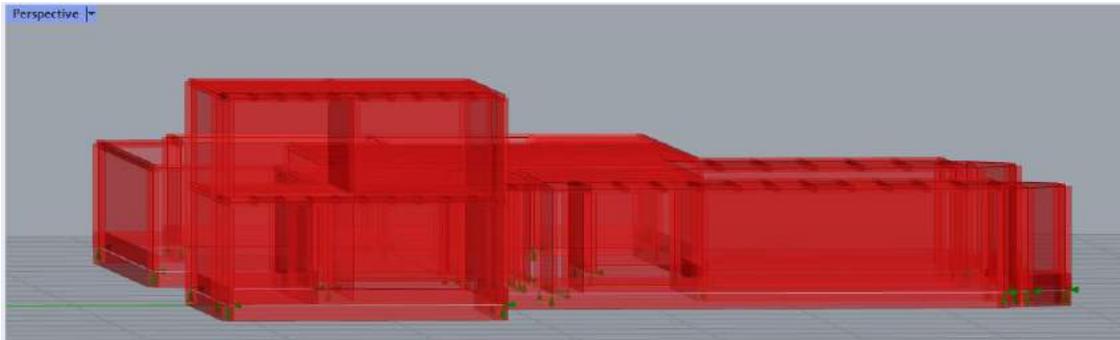
Apoyos obtenidos usando Boundary



A su vez se colocará la cimentación de la edificación teniendo en cuenta una sección 200 y material 1.

Figura 94

Colocación de cimentación, mat 1, sec 200



Parametrización Muros y Losas

La parametrización consistirá en la lectura de muros y losas, y a su vez la generación de las cargas actuantes sobre las superficies. Para la lectura de superficies usamos ReadShell, el mismo que funciona de manera similar que ReadBeam. Se encarga de leer las superficies de Rhino mediante el uso de capas generadas, el ensamblaje del componente deberá conectarse con el panel colocando los nombres exacto de las capas con las que fueron creadas. A diferencia de ReadBeam los parámetros que componen la herramienta deben estar especificados todos y cada uno de sus variables para que no existan errores en la lectura de información.

La generación de cargas se realiza con el componente Surf load la cual genera fuerzas externas en plano de dirección "Z", también puede convertir cargas al plano en dirección vertical que ya hayan sido leídos mediante el texto de atributo ingresado por el usuario. Surf load dependerá de los componentes ReadShell y AssembleGeometries, para la lectura de cargas actuantes sobre la superficie de losas, es decir; utiliza la geometría impuesta, secciones, materiales y toda la información descrita en el modelo dibujado por líneas.

Los muros se ensamblarán utilizando Assemble Walls, en específico se reconectara con la variable Shell, bairitsu y rad del componente Read Shell, que a su vez se interconectara con la geometría base del modelo que es generado por Assemble Geometries.

Figura 95

Lectura y creación de superficies de carga

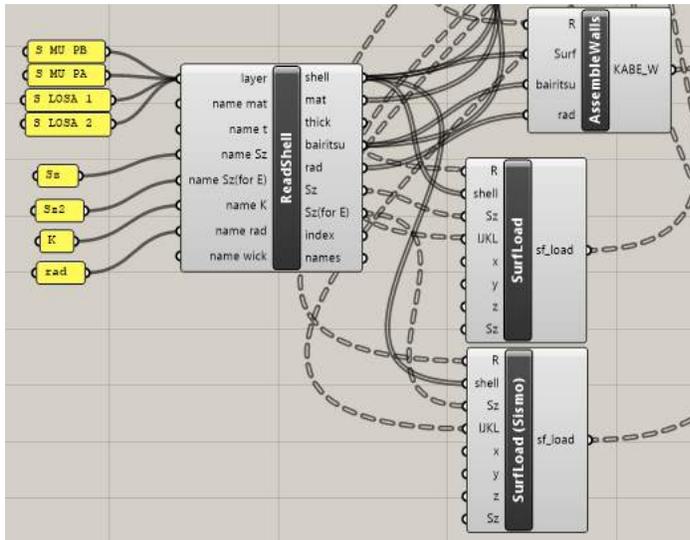
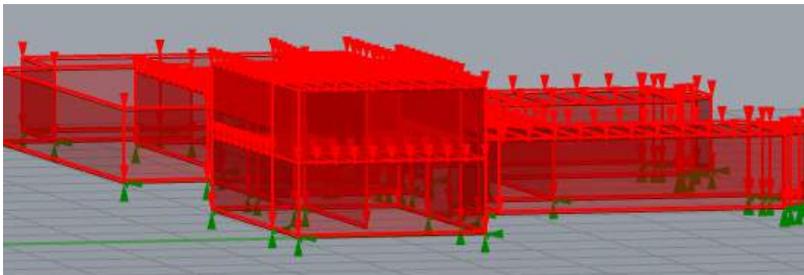


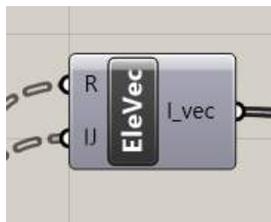
Figura 96

Cargas distribuidas



Análisis elástico e ingreso de armadura con nudos

El análisis elástico dependerá del vector de coordenadas nodales y su relación con los elementos. Por ello la creación del mismo es indispensable. El componente encargado de realizar este trabajo se denomina como Elevec. Su conexión va conectada directamente con Assemble Geometries para la lectura de datos para la generación de dicho vector.

Figura 97*Componente EleVec*

Una vez generada las coordenadas nodales se crea el vector fuerza la misma que será igual a la suma del peso propio y las cargas de área del miembro, todo este análisis se lo realiza usando AssembleLoads, la carga final resulta en una carga distribuida uniforme. El componente debe conectarse de sf_load a SurfLoad y a f_load (convertirá la carga en divisiones de área cooperante). Se requiere la creación de dos componentes, uno para cargas de servicio, mientras otro de las cargas producidas por sismo.

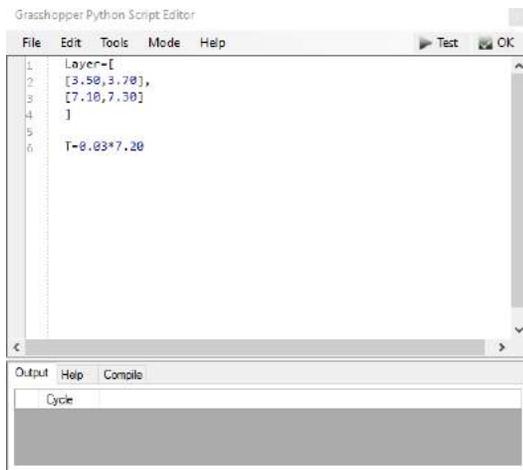
AssembleLoads debe conectarse a Seismic Loads para cargas sísmicas, que se encargará de generar automáticamente fuerzas sísmicas basada en la distribución de coeficientes de fuerza de corte de la carga sísmica de cada capa en función de la altura de la estructura, utilizando la componente vertical del vector de fuerza externa nodal como masa para todos y cada uno de los nodos.

Para lograr que corra correctamente Seismic Loads es necesario usar un pequeño código de programación para crear el layer para cada capa, para eso se ha utilizado Python donde la primera capa se encuentra ubicada en $z=3,60$ y la segunda capa en $z=7,20$ m. tomándose una distancia de sobra de $3,50\text{m} \leq z \leq 3,70$ m. Es así que los nodos que se encuentren dentro del rango $3,50\text{m} \leq z \leq 3,70$ m serán asignados a la capa uno y los que se encuentren en el rango $7,10\text{m} \leq z \leq 7,30$ m serán parte de la capa número dos. En GHPython el código que se ingresa será el siguiente:

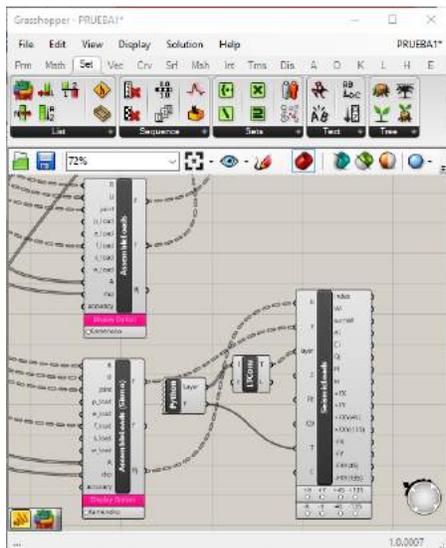
```
Layer=[[3.50,3.70],[7.10,7.30]] T=0.03*7.20
```

Figura 98

Ventana de Python en Grasshopper

**Figura 99**

Definición de carga Sísmica

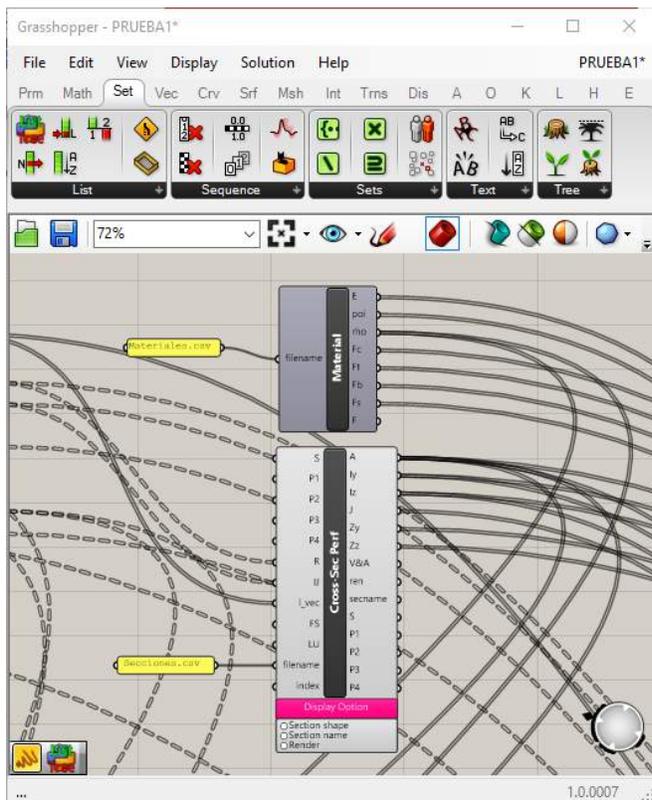


Para que el código pueda ser leído sin dificultad se debe convertir en un tipo de lista, por lo cual usamos el componente Convert list and tree para lograrlo, en ese efecto ya es posible realizar la conexión de datos de layer de salida con datos layer de entrada de Seismic Load.

El proceso dependerá también de las propiedades del material y el tipo de sección de trabajo por ende es fundamental cargar los datos para ellos se usar los componentes material y Cross-Sec-Perf, para la lectura de datos. En los dos casos las secciones y materiales serán subidas mediante el archivo csv conectándolo al parámetro de entrada filename. Cabe mencionar que el archivo puede dar error por no reconocer la dirección en donde se encuentra, por ello este tipo de archivo deberá encontrarse en la carpeta system del programa Rhino, o también podría copiarse la dirección exacta en donde se encuentra el archivo.

Figura 100

Definición de materiales y secciones en modelo



Obtenido todos los datos necesarios como geometría, cargas, secciones y materiales se procede a la conexión de variables calculas de salida con las variables de entrada de entrada la herramienta Elastic Analysis.

Configuración de componentes

Para hacer posible la configuración se hace uso del componente Timbercheck, el cual cumple la función de calcular las secciones transversales de los elementos estructurales en función de fuerzas transversales obtenidas mediante la herramienta Elastic Analysis.

Timbercheck tiene como datos de entrada las coordenadas de nodos, las relaciones de nodos de elementos, área de la sección de trabajo en [m²], momentos de inercia alrededor de los tres ejes principales y módulos de sección del miembro.

Lo que logramos con este paso es saber si los elementos estructurales satisfacen el diseño admisible bajo una escala de colores donde el color verde muestra una respuesta favorable de satisfacción, caso contrario se da con los colores que tenga escalas de rojo, ya que ese es un indicador de falla.

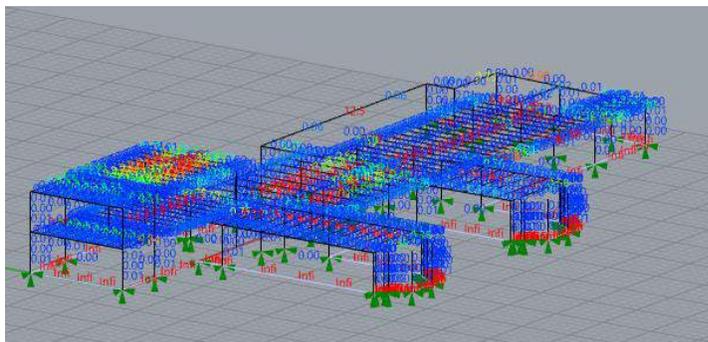
Figura 101

Componente TimberCheck



Figura 102

Resultados obtenidos por TimberCheck



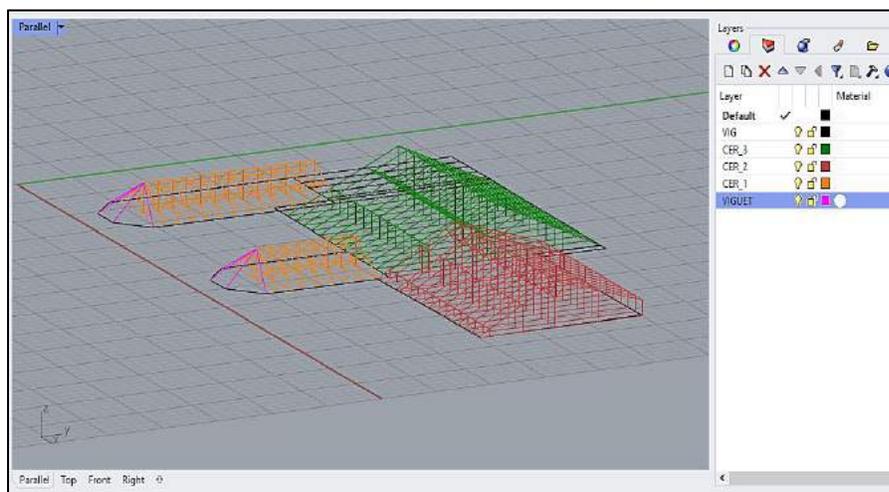
Creación geométrica de cerchas

Tomando la misma metodología que la modelación de muros se realiza asimismo la creación e implementación de cerchas.

Por lo tanto designadas las capas para cada elemento estructural se procede a dibujar cada elemento con la opción polyline y dando clic en cualquier parte dentro de la ventana de la interface de Rhino 7, a su vez se puede contemplar la opción de trabajar usando líneas a partir de la asignación de coordenadas en sentido "x", "y", y "z".

Figura 103

Capas usadas para creación de geometría.



Cálculo de Cargas de servicio

El cálculo de cargas que actúan sobre esta estructura son de importancia dentro del proceso de modelación y análisis por lo tanto los valores de la carga viva serán asumidos dependiendo de su ocupación, mismos que se podrán tomar de la Normativa Ecuatoriana de la Construcción NEC -15.

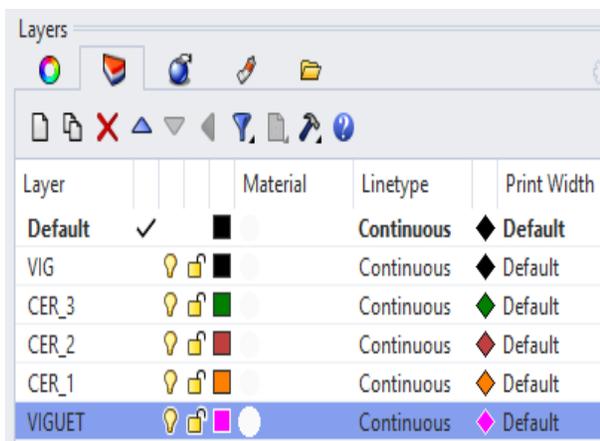
De acuerdo con la Norma Ecuatoriana de Construcción 2014, Capítulo I (Cargas No Sísmicas), se recomienda usar un valor de carga viva de 70 kg/m² para una cubierta inaccesible, se debe tener en consideración la carga generada por granizo, adoptando un valor de carga por granizo de 100 Kg/m².

Asignación de cargas, secciones y materiales

Se sigue el mismo proceso para la asignación de muros detallados anteriormente, por lo tanto, se procede a realizar la asignación a las cerchas propuestas a continuación. La asignación de información se desarrolla usando Rhino, y consiste básicamente en seleccionar el elemento que se desea colocar las cargas, materiales, secciones y conexiones.

Figura 104

Asignación de capas, secciones, materiales y juntas

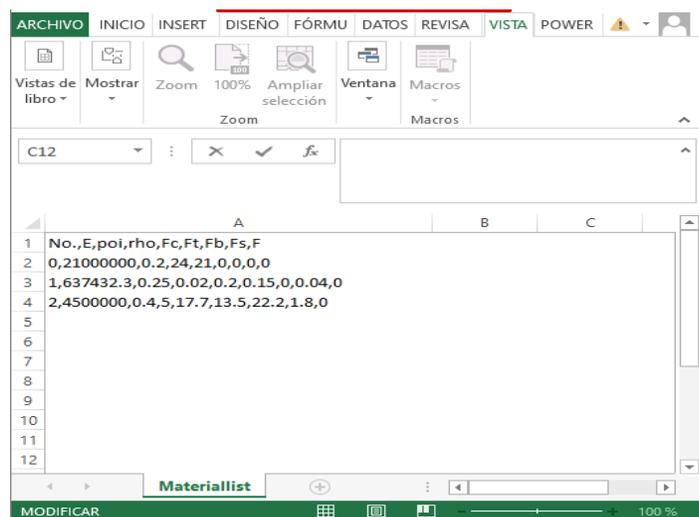


Los atributos deben llenarse en base a la numeración de tipo de sección y material, previamente realizada, para ello se utiliza un archivo de Excel de valores separados por comas

(.csv) para la entrada de datos, De igual manera el detallamiento de realizó anteriormente con la implementación de muros.

Figura 105

Archivo .csv para entrada de datos de materiales



A continuación, se muestra la tabla (), la asignación para cada tipo de sección:

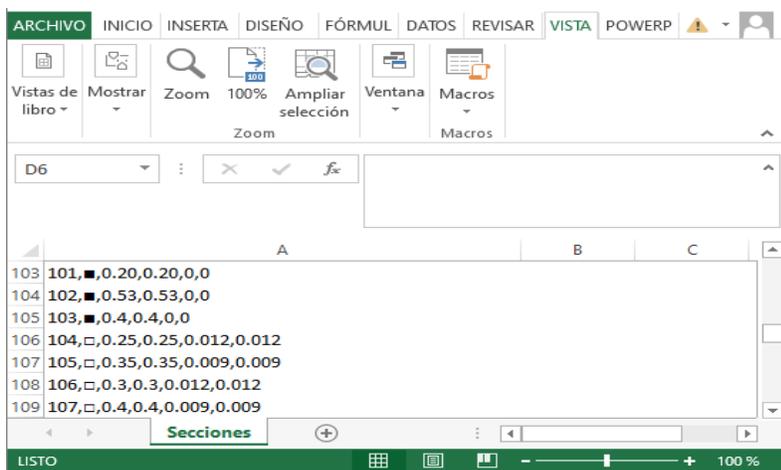
Tabla 3

Nomenclatura tipo de secciones

Tipo de sección	S	P1 (m)	P2 (m)	P3 (m)	P4 (m)	Conformación
Rectangular	■	altura	ancho	-	-	■-P2xP1
circular	●	diámetro		-	-	●-P1
tubo de acero cuadrado	□	base	altura	espesor	espesor	P1xP2xP3xP4
tubo de acero circular	○	diámetro	espesor	-	-	○-P1xP2
Acero forma H	H	altura	ancho	espesor	espesor	H-P1xP2xP3xP4

Figura 106

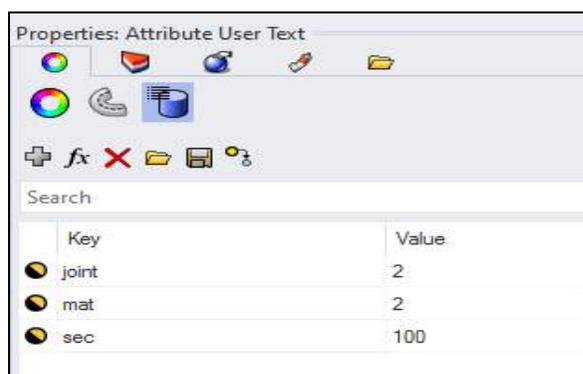
Archivo .csv para entrada de datos de secciones



Una vez que se han definido los archivos csv con los datos de secciones y materiales procedemos a llenar el panel “Attribute user text”, se colocará **mat** en la casilla de la izquierda para asignar nombre del material, y en su casilla del lado derecho se llenará con el número asignado por la lista de materiales, el procedimiento será el mismo para la sección **sec** y los nudos **joint**.

Figura 107

Definición de parámetros, mat, sec, joint



Creación de nodos de elemento para OpenSees

En las vigas, viguetas y cerchas son necesario definir el parámetro joint dependiendo del tipo de nudo, por ello se ingresará valores entre 0 y 2 para definir la conexión de borde.

Lectura de información de elementos de estructura

El plugin de OpenSees para grasshopper ofrece la variación de herramientas para la lectura de información de datos de línea de Rhino capa por capa, uno de estas herramientas es ReadBeam2, su función es determinar las intersecciones de manera automática, y dividir las líneas por segmento para el cálculo interno. Para el caso en particular solo se hará uso del atributo beam, el mismo que se interconecta a las capas mediante la creación de paneles que contengan los nombres exactos de las capas que se crearon para el dibujo de la estructura en Rhino.

Figura 108

Lectura de capas usando ReadBeam2

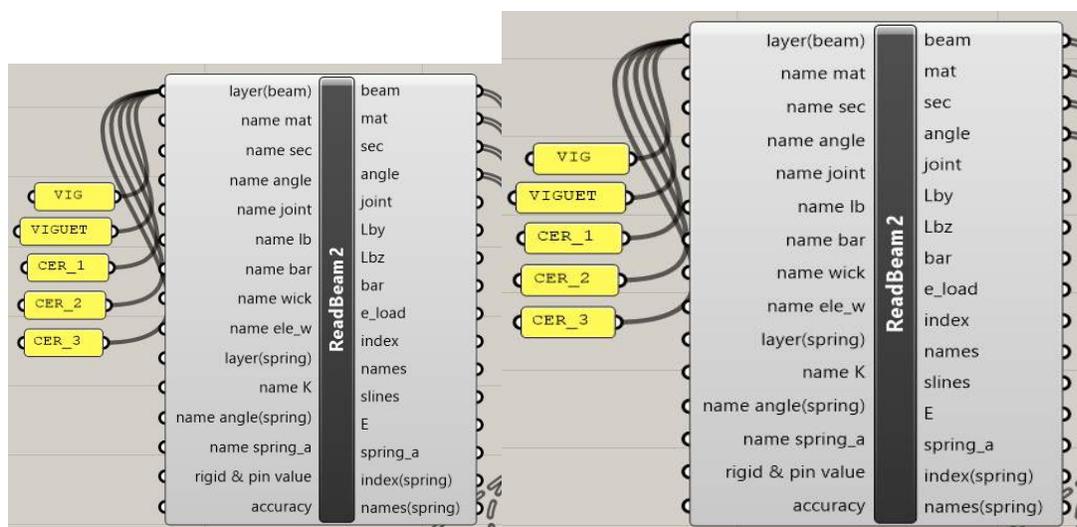
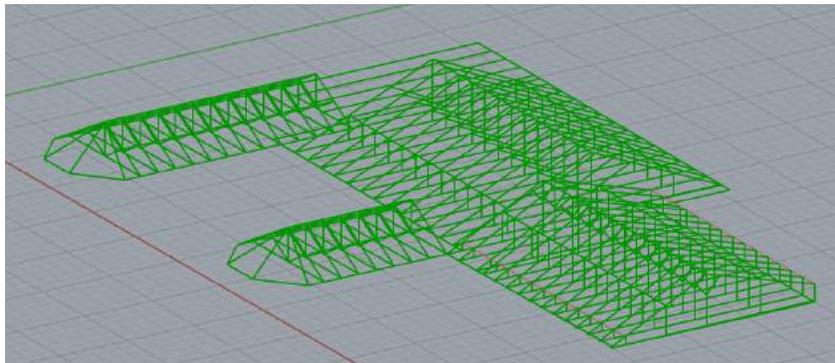


Figura 109

Estructura reconocida por ReadBeam2

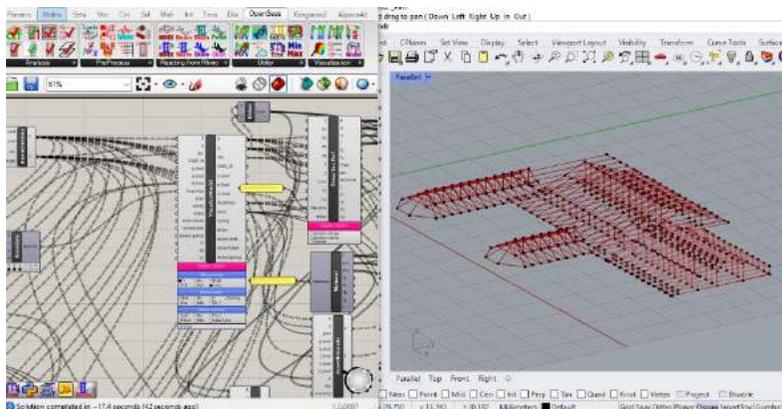


Creación de nodos de elementos para OpenSees

El componente AssembleGeometries brinda información sobre parámetros como geometría, material, sección y ángulo que posee cada elemento estructural anteriormente definido. Este componente recolecta los datos y genera los nodos a partir de esos datos. Generando nuevos parámetros de salida como: R vector de coordenadas de nodos en secuencia $[x_0, y_0, z_0]$; IJ, relación de nudos de elementos incluyendo información de material, sección, y ángulo; IJKL, al igual que IJ realiza la relación de nudos con los elementos con la única variación de considerar un nodo inicial y final.

Figura 110

Parametrización para condiciones de contorno usando VisualModel

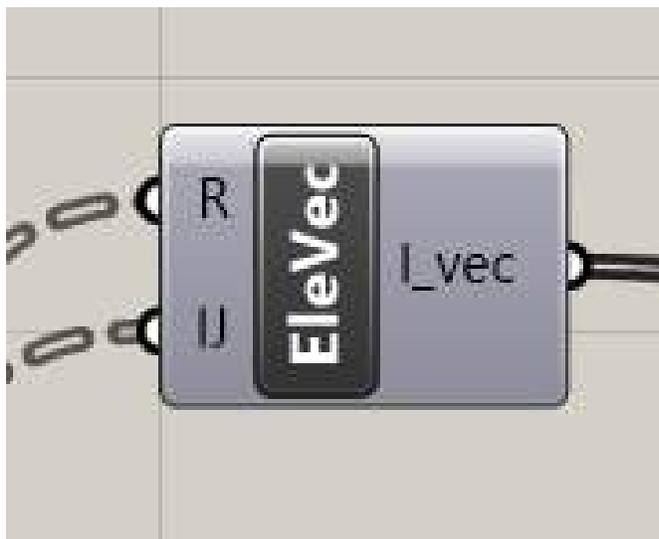


Análisis elástico e ingreso de armadura con nudos

El análisis elástico dependerá del vector de coordenadas nodales y su relación con los elementos. Por ello la creación del mismo es indispensable. El componente encargado de realizar este trabajo se denomina como **Elevec**. Su conexión va conectada directamente con **Assemble Geometries** para la lectura de datos para la generación de dicho vector.

Figura 111

Componente EleVec



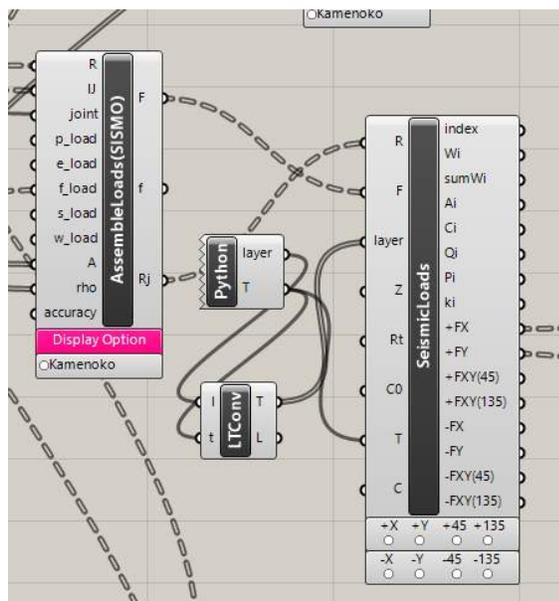
Una vez generada las coordenadas nodales se crea el vector fuerza la misma que será igual a la suma del peso propio y las cargas de área del miembro, todo este análisis se lo realiza usando AssembleLoads, la carga final resulta en una carga distribuida uniforme. El componente debe conectarse de sf_load a SurfLoad y a f_load (convertirá la carga en divisiones de área cooperante). Se requiere la creación de dos componentes, uno para cargas de servicio, mientras otro de las cargas producidas por sismo.

AssembleLoads debe conectarse a Seismic Loads para cargas sísmicas, que se encargará de generar automáticamente fuerzas sísmicas basada en la distribución de coeficientes de fuerza de corte de la carga sísmica de cada capa en función de la altura de la estructura, utilizando la componente vertical del vector de fuerza externa nodal como masa

para todos y cada uno de los nodos. La componente produce fuerzas sísmicas además de las direcciones estándar de 0 y 90 grados, que son de 45 y 135 grados (Notion, 2018).

Figura 112

Definición de carga Sísmica



Obtenido todos los datos necesarios como geometría, cargas, secciones y materiales se proceden a la conexión de variables calculas de salida con las variables de entrada de entrada la herramienta Elastic Analysis.

Capítulo V

Resultados

Análisis de Resultados

Visualización de resultados - Muros, vigas y viguetas

VisualizeResult tiene como función mostrar los resultados obtenidos por Elastic Analysis en la ventana de trabajo de Rhinoceros. Para su funcionamiento debemos arrastrar VisualizeResult desde la pestaña visualización de la barra de herramientas hasta el lienzo de grasshopper. Lo primero que se hace es conectar los resultados del análisis por efecto de la carga permanente. Luego especificamos el factor de escala usando NumberSlider para tener una mejor visualización de los resultados.

VisualizeResult brinda al usuario opciones de visualizaciones de resultados como son los desplazamientos, momentos, fuerzas axiales, reacciones, etc., todo esto tan solo dándole clic sobre el la opción de resultado que se desea saber.

Figura 113

Componente VisualizeResult

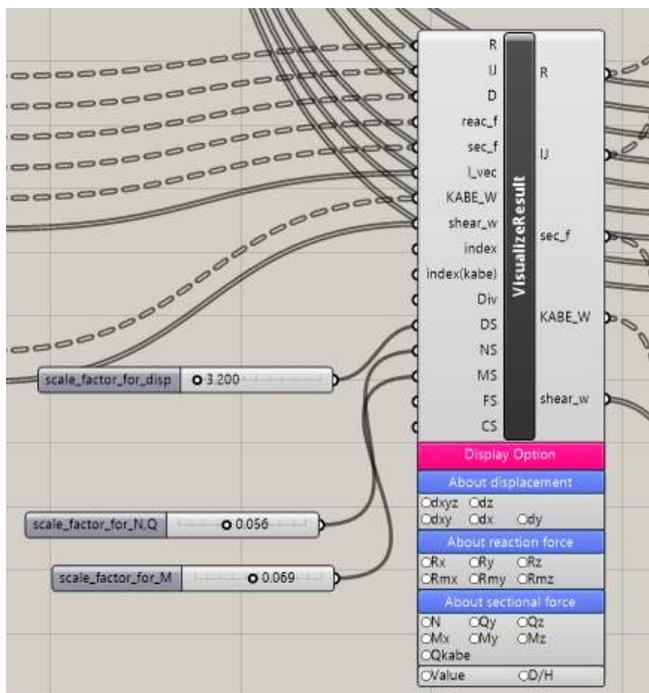
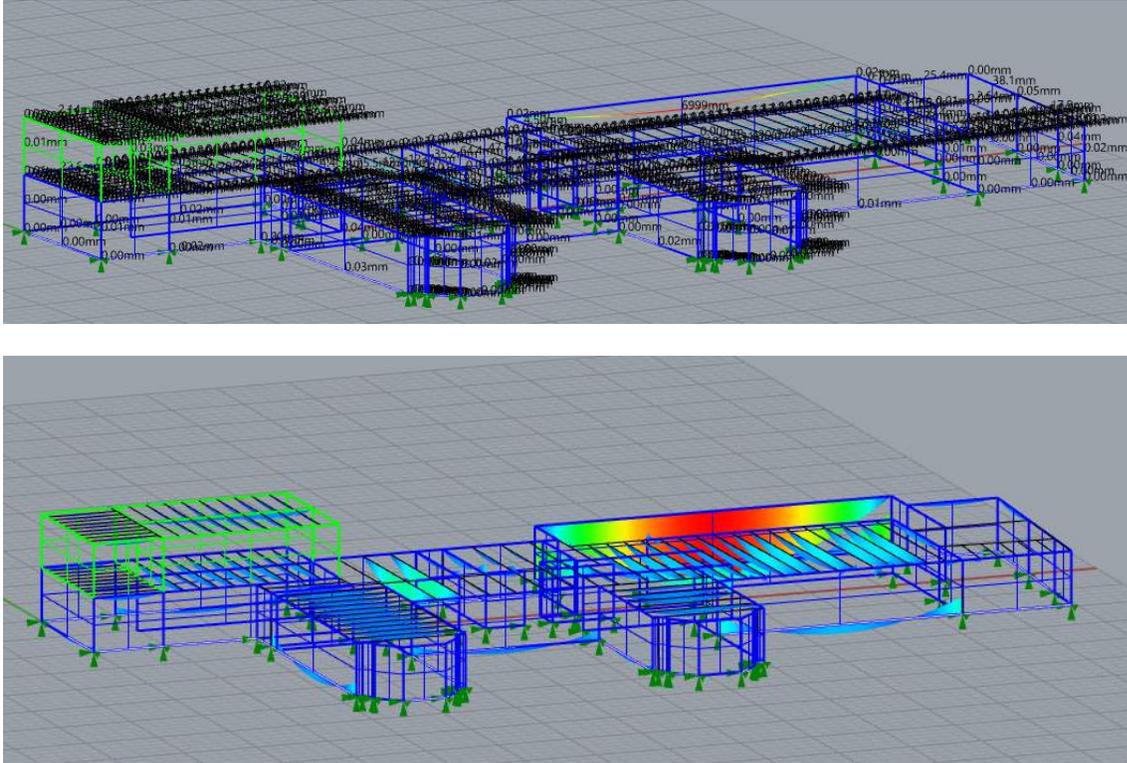


Figura 114

Resultados obtenidos por VisualizeResult



Visualización de resultados - Cerchas

VisualizeResult tiene como función mostrar los resultados obtenidos por Elastic Analysis en la ventana de trabajo de Rhinoceros. Para su funcionamiento debemos arrastrar VisualizeResult desde la pestaña visualización de la barra de herramientas hasta el lienzo de grasshopper. Lo primero que se hace es conectar los resultados del análisis por efecto de la carga permanente. Luego especificamos el factor de escala usando NumberSlider para tener una mejor visualización de los resultados.

VisualizeResult brinda al usuario opciones de visualizaciones de resultados como son los desplazamientos, momentos, fuerzas axiales, reacciones, etc., todo esto tan solo dándole clic sobre la opción de resultado que se desea saber.

Figura 115

Resultados obtenidos por VisualizeResult

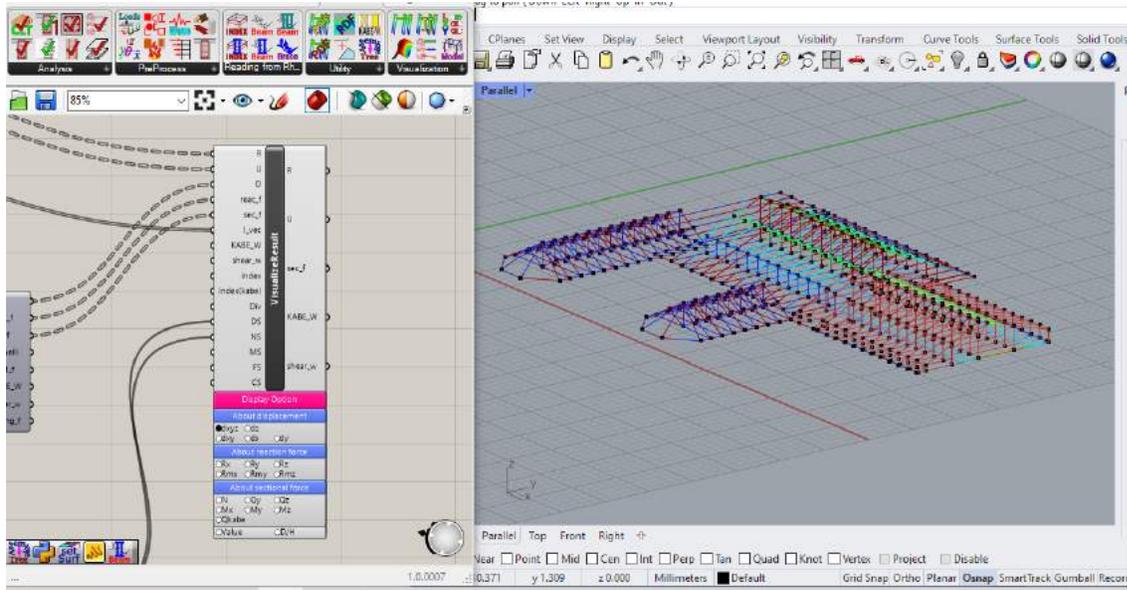
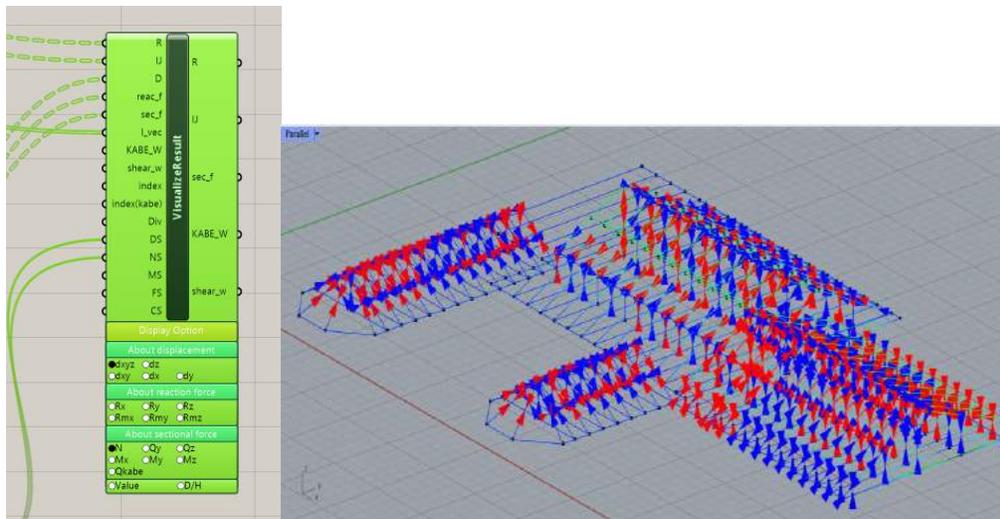


Figura 116

Fuerzas en tensión y compresión de las barras



Conclusiones

- En este trabajo se realizó la modelación estructural y arquitectónica, gracias a este software dedicado no solo a la modelación, sino también al análisis de datos sísmicos. Debido que es una estructura un poco antigua, tuvimos que buscar datos de materiales ambiguos de la estructura para mejorar la precisión de los resultados al momento de su análisis sísmico.
- Una de las características de las herramientas digitales aplicadas en la modelación numérica, en el campo de la arquitectura, ingeniería civil y específicamente del modelado paramétrico, es la complejidad, es decir, son capaces de integrar un gran número de variables, establecer relaciones complejas entre ellas y permitir realizar análisis compuestos a partir de la modificación de dichas variables. Todo esto, además, es posible visualizar en una interfaz gráfica, lo que permite generar discusiones con profesionales que no necesariamente están familiarizados con temas digitales.
- Al haberse utilizado un software modelador avanzado, como lo es Rhinoceros y Grasshopper, para la elaboración de este proyecto, se pudo concluir que este software es una herramienta computacional versátil que permite el desarrollo de modelación numérica mediante el uso de variables y componentes de análisis estructural, que pueden definir una variedad de características; al tener la ventaja de trabajar con parametrización nos brinda un medio en el cual se pueden generar diferentes análisis de diseños partiendo de una base, es decir, optimiza recursos examinando soluciones de acuerdo a los diferentes tipos de proyecto.
- La modelación de la Casa Patrimonial en la Academia de Guerra del Ejército utilizando el programa Rhino 7 con Grasshopper y la ejecución del plugin OpenSees nos dio una nueva base de conocimiento hacia la implementación de nuevos softwares muy poco conocidos en el país, debido a que emplea lenguajes de programación como Python y

C++, que tienen la capacidad de ahorrar el trabajo en el proceso de diseño, tomando en cuenta que es uno de los pocos solucionadores de FEM disponibles de forma gratuita.

- El proyecto tiene distintas finalidades, una de ellas es el aporte social de la investigación; la modelación 3D obtenida adoptada a la realidad actual de la edificación ayuda a preservar el patrimonio cultural, dejando testimonio del estado actual de la estructura para establecer la necesidad de futuras rehabilitaciones logrando que las generaciones presentes y futuras puedan gozar de la seguridad de una estructura estable.

Recomendaciones

- En la modelación numérica se recomienda definir cada parámetro tomando en cuenta las variables, las mismas que pueden ser modificadas para permitir análisis compuestos.
- En la modelación 3D podemos reducir el código, con la ayuda de un lenguaje de programación la cual nos facilite crear la base de su geométrica, para tener un orden más claro para que sea más práctico y entendible, para cualquier tipo de modificación en su futuro.
- Dentro de la modelación numérica es esencial el conocimiento de programación, por ende es recomendable que el usuario que utilice modeladores avanzados como Grasshopper cuente con un nivel intermedio de programación, de manera que agilice la parametrización de los modelados.
- Se debe tener enlistada de manera correcta una hoja de cálculo para materiales y otra para secciones para dar el ingreso a las propiedades físicas y mecánicas que requiere la estructura de análisis.

Bibliografía

- Bolivar, H. (2018). *Evaluación estructural de la edificación patrimonial rehabilitada casa Imbabura en el Centro Histórico de Quito*. Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Bustamante, M. (2018). *Evaluación estructural de la edificación Patrimonial Casa de la Academia de la Lengua de la ciudad de Quito*. Sangolquí.
- Caballero Guerrero, A. R. (Julio de 2007). *Determinación de la vulnerabilidad sísmica por medio del método del índice de vulnerabilidad en las estructuras ubicadas en el Centro Histórico de la ciudad de Sincelejo, utilizando la tecnología del sistema de información geográfica*. Sincelejo. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10584/105>
- Cárdenas, X. (2021). *Caracterización estructural y vulnerabilidad sísmica de edificaciones de Adobe*. Madrid.
- Ecocosas. (2016). *Difundiendo conocimientos ecológicos*. Obtenido de <https://ecocosas.com/construccion/el-adobe/>
- Espinoza, L. (2017). *Evaluación estructural de la edificación patrimonial Estupiñán Orejuela de la ciudad de Quito*. Quito.
- Manitio, G., & Vásconez, S. (2013). *Estudio de Vulnerabilidad y reforzamiento de un inmueble patrimonial deL Distrito Metropolitano de Quito*.
- NEC-SE-MP, N. E. (2015). *NEC-SE-MP. Mampostería Estructural*. Quito.
- Sotomayor, J., & Urgilés, R. (2015). *Simulación y análisis de vanos en edificaciones en base a modeladores avanzados:uso y aplicación de Rhino+Grasshopper*. Dspace. [Ohttp://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/12705](http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/12705)

Apéndices