

**Análisis integral técnico-económico de una vivienda de interés social en los sistemas constructivos
steel frame, acero, hormigón armado y muros portantes, utilizando la metodología BIM**

Astudillo Veintimilla, Jonathan Javier y Rocha Quinatoa, Milton David

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

Ing. Caiza Sánchez, Pablo Enrique, PHD

1 de marzo del 2021



Document Information

Analyzed document TESIS_ASTUDILLO_ROCHA URKUND.docx (D96463987)
Submitted 2/24/2021 9:09:00 PM
Submitted by Caiza Sánchez Pablo Enrique
Submitter email pecaiza1@espe.edu.ec
Similarity 0%
Analysis address pecaiza1.espe@analysis.orkund.com



Firmado electrónicamente por:
**PABLO ENRIQUE
CAIZA SANCHEZ**

Sources included in the report



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA
CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“Análisis integral técnico-económico de una vivienda de interés social en los sistemas constructivos steel frame, acero, hormigón armado y muros portantes, utilizando la metodología BIM”** fue realizado por los señores **Astudillo Veintimilla, Jonathan Javier y Rocha Quinatoa, Milton David**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 24 de febrero del 2021

Firma:



Firmado digitalmente por:
**PABLO ENRIQUE
CAIZA SANCHEZ**

.....
Ing. Caiza Sánchez, Pablo Enrique, PhD.

C. C: 1707597272



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Astudillo Veintimilla, Jonathan Javier y Rocha Quinatoa, Milton David**, con cédulas de ciudadanía n°1718174905 y 1723130405, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación **“Análisis integral técnico-económico de una vivienda de interés social en los sistemas constructivos steel frame, acero, hormigón armado y muros portantes, utilizando la metodología BIM”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 24 de febrero del 2020

Firma

Astudillo Veintimilla, Jonathan Javier

C.C: 1718174905

Firma

Rocha Quinatoa, Milton David

C.C: 1723130405



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros **Astudillo Veintimilla, Jonathan Javier y Rocha Quinatoa, Milton David**, con cédulas de ciudadanía n°1718174905 y 1723130405, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación “**Análisis integral técnico-económico de una vivienda de interés social en los sistemas constructivos steel frame, acero, hormigón armado y muros portantes, utilizando la metodología BIM**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 24 de febrero del 2021

Firma

Astudillo Veintimilla, Jonathan Javier

C.C: 1718174905

Firma

Rocha Quinatoa, Milton David

C.C: 1723130405

Dedicatoria

“Dedico principalmente a Dios por darme las fuerzas y la sabiduría de culminar uno de mis grandes anhelos. A mis padres por todo su sacrificio y trabajo duro, ellos me han demostrado que para lograr lo que quieres tienes que esforzarte todos los días, gracias por formar a la persona que soy y en especial quiero dedicarle a mi madre esta felicidad y decirle gracias por estar siempre para mí y brindarme todo su cariño.

A mis hermanas por su amor incondicional y darme ese empujón para seguir adelante. A mi familia y amigos que siempre me han apoyado y han creído en mi desde el principio, gracias por estar en mi vida.

Al Arquitecto David Román y al Ingeniero Pablo Caiza. PhD por haber creído en nosotros y llevar a cabo este proyecto de investigación con sus valiosos conocimientos y habernos guiado durante el desarrollo del mismo”.

Astudillo Veintimilla, Jonathan Javier

Dedicatoria

“Dedico este proyecto de investigación al ser que me dio la oportunidad de vivir y bendecirme todos los días con su amor, DIOS, el cual me ha entregado a dos personas maravillosas que son el pilar fundamental de mi vida y a quienes dedico también este proyecto, mis padres Milton y Yolanda, quienes me brindan su inmenso cariño y apoyo incondicional desde el día que nací, formándome además con grandes valores, principios y personalidad.

A mis hermanas Viviana y Anita quienes forman parte esencial de mi vida al estar en muchos momentos difíciles y alegres desde mi niñez, siendo las personas que me han incentivado a ser un mejor ser humano, tío y amigo.

A mis amados abuelitos Sabino (+), Gertrudis, papito Manuel y mamita Rosa a quienes admiro y respeto por sus enseñanzas, valores y ejemplo de vida que representan.

A mis queridas tías, tíos, primos y primas con los cuales he podido compartir muchos momentos de felicidad y camaradería. En especial a mis tías Aida, Rocío, Blanca y Rosa quienes me incentivaron y apoyaron de distintas formas durante mi formación académica.

A Michelle Molina por acompañarme en este camino y alentarme a seguir adelante a pesar de los obstáculos y dificultades”.

Rocha Quinatoa, Milton David

Agradecimiento

“Agradezco a Dios principalmente por darme esa luz y guiarme siempre en todo paso que doy, A mis padres por darme siempre su apoyo y toda su sabiduría, mi madre Teresa Veintimilla, que ha sido y será siempre mi todo y la que me acompañado en las peores batallas, le agradezco infinitamente y este logro es suyo todo te lo debo a ti, también a mi padre Victor Astudillo que me ha enseñado el valor del trabajo duro y siempre estar para nosotros.

A mis hermanas Alexandra y Carina, que han estado para mí siempre en cada paso que doy y han sabido cuidarme en todo momento, en serio gracias por enseñarme que la vida es muy bonita.

A mi familia y amigos por ser un pilar muy fundamental en todo este proceso y enseñarme el valor de la familia y la amistad, estoy muy agradecido porque estén en mi vida.

Al Arquitecto David Román por su apoyo y su conocimiento al habernos guiado y dado el camino inicial para este trabajo de investigación y al Ingeniero Pablo Caiza. PhD nuestro director de tesis quien nos brindó su tiempo y todo su conocimiento a lo largo de este proceso quedo infinitamente agradecido.

Finalmente, a la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe y a todos sus docentes que ayudaron a la realización de este trabajo de investigación”.

Astudillo Veintimilla Jonathan Javier

Agradecimiento

“Agradezco a Dios por bendecirme con mis padres, quienes me dieron la oportunidad de estudiar e inculcarme el valor del trabajo y reciprocidad desde temprana edad, tener principios y valores que me ha permitido ganar muchas amistades y grandes vínculos con las mismas.

A mi compañero y amigo Jonathan Astudillo con quien entable una gran relación desde el inicio de nuestra etapa universitaria y que se ha ido fortaleciendo a través de los años, permitiéndonos realizar y culminar este proyecto de investigación de manera satisfactoria.

A nuestro tutor, el Ing. Pablo Caiza PhD. por brindarnos su conocimiento, apoyo y confianza para realizar este proyecto.

Al Arq. Alejandro Román Noble, quien inicialmente fue nuestro tutor y nos brindó su guía y colaboración para el desarrollo del mismo a pesar de que por razones ajenas a su voluntad le impidieron continuar en este proceso.

A mis amigos Stiven Sarmiento y Antonio Guevara por sus enseñanzas, su tiempo y confianza. Y en especial a una de las personas más sinceras y carismáticas que he conocido, Priscila Carvajal.

A mis compañeros y compañeras de aula, con quienes adquirí los fundamentos teóricos y prácticos necesarios para ejercer esta maravillosa carrera.

Finalmente, quiero agradecer a todos mis docentes y a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por ser mi segunda casa e instruirme en esta bella profesión”.

Rocha Quinatoa, Milton David

Índice de Contenido

Urkund	2
Certificación	3
Autoría de responsabilidad	4
Autorización	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento	8
Índice de Contenido	10
Índice de Tablas	19
Índice de Figuras	22
Resumen	29
Abstract.....	30
Descripción del proyecto.....	31
Capítulo I	34
Generalidades.....	34
Planteamiento del problema	34
Macro.....	35
Meso	37
Micro.....	39
Antecedentes	41
Área de influencia.....	44

	11
Justificación e importancia	46
Objetivos generales y específicos	46
Objetivo general	46
Objetivos específicos	47
Capítulo II	48
Marco teórico	48
Sistemas constructivos	48
Hormigón armado.....	48
Muros portantes	49
Acero.....	50
Steel Frame	51
Building information modeling	53
Objetivos BIM	54
Ventajas del BIM.....	55
BIM en la industria de la construcción.....	57
BIM para diseñadores y arquitectos.....	57
BIM para estimadores de costos	57
BIM para directores de proyecto.....	58
BIM para subcontratistas.....	58
Campos del BIM.....	58

	12
Niveles de madurez BIM.....	60
Nivel 0 BIM.....	61
Nivel 1 de BIM.....	61
Nivel 2 de BIM.....	62
Nivel 3 de BIM.....	65
Modelado Paramétrico	66
Herramientas BIM.....	67
Software REVIT	67
Revit Architecture	68
Revit Structure	69
Revit Mep.....	70
Dimensiones BIM.....	71
BIM 3D (Geometría).....	72
BIM 4D (Tiempo).....	72
BIM 5D (Costos en función del tiempo).....	73
BIM 6D (Simulación)	73
BIM 7D (Mantenimiento).....	73
Nivel de desarrollo (LOD) BIM	73
LOD 100.....	76
LOD 200.....	76

	13
LOD 300.....	76
LOD 400.....	77
LOD 500.....	77
Variables de investigación.....	77
Variables dependientes	77
Variables independientes	77
Normativa relacionada.....	77
Nacional	77
Internacional.....	77
Metodología de desarrollo del proyecto	77
Capítulo III	79
Modelo arquitectónico e instalaciones	79
Vivienda de diseño.....	79
Descripción y disposición arquitectónica.....	79
Modelamiento MEP (Mecánica/Electricidad/Plomería).....	83
Instalaciones eléctricas	83
Instalaciones hidrosanitarias	84
Capítulo IV.....	87
Hormigón armado.....	87
Parámetros y materiales.....	87

	14
Pre-dimensionamiento de losa.....	87
Análisis de cargas.....	88
Carga viva.....	88
Carga muerta y sobrecarga.....	89
Distribución de cargas.....	90
Pre- dimensionamiento de vigas.....	95
Áreas cooperantes.....	96
Peso de cubierta.....	98
Pre- dimensionamiento de columnas.....	100
Carga de servicio P (Toneladas).....	100
Cálculo del factor para A_g	101
Diseño y análisis estructural.....	101
Inercias agrietadas.....	102
Combinaciones de carga.....	103
Dimensiones de elementos estructurales.....	103
Acciones sísmicas.....	106
Derivas en hormigón armado.....	111
Armadura de los elementos.....	112
Modelamiento BIM-hormigón armado.....	115
Capítulo V.....	120

	15
Acero.....	120
Parámetros y materiales.....	120
Pre-dimensionamiento de losa.....	120
Carga muerta y sobrecarga.....	121
Pre dimensionamiento de vigas.....	123
Pre-dimensionamiento de columnas.....	125
Diseño y análisis estructural	130
Determinación de secciones de viga por ductilidad	130
Relación ancho-espesor para elementos a compresión.....	131
Capacidad resistente a pandeo flexional.....	134
Modelamiento estructural.....	135
Acciones sísmicas.....	137
Cortante basal.....	139
Chequeo de deriva	140
Cimentación	143
Modelamiento BIM-acero	145
Capítulo VI.....	151
Muros portantes.....	151
Materiales	151
Predimensionamiento de losa	151

	16
Análisis de cargas	152
Diseño estructural.....	153
Modelamiento de muro.....	153
Acciones sísmicas.....	155
Derivas en muro de hormigón armado.....	160
Armadura de los elementos.....	161
Modelamiento BIM-muros portantes	163
Capítulo VII.....	166
Steel frame	166
Materiales	166
Carga muerta y sobrecarga.....	166
Presión del viento	169
Distribución de cargas.....	169
Carga muerta	170
Carga viva.....	171
Diseño estructural.....	171
Geometría de la edificación.....	173
Acciones sísmicas.....	177
Cortante basal.....	179
Derivas	181

	17
Cimentación	182
Esfuerzos	184
Esfuerzo último	185
Armadura de losa.....	186
Familia de perfiles NTE INEN 2526	187
Generación de Familia	189
Modelamiento BIM-steel frame	194
Capítulo VIII.....	202
Gestión de costes-BIM 5d.....	202
Herramientas BIM 5D.....	203
Arquímedes.....	203
Qex Express y Qex Studio.....	205
Presto.....	207
Cost-it.....	208
Criterio de medición	212
Presupuesto de obra	214
Modelación BIM 5D	221
Capítulo IX.....	229
Análisis técnico-económico	229
Peso de la estructura	229

Período de vibración.....	230
Cortante basal.....	232
Derivas de piso.....	232
Cimentación.....	234
Losas.....	235
Vida útil y sustentabilidad.....	237
Costo por metro cuadrado.....	240
Duración de obras.....	245
Capítulo X.....	251
Conclusiones.....	251
Recomendaciones.....	253
Reconocimiento.....	255
Referencias.....	256
Anexos.....	266

Índice de Tablas

Tabla 1 Capacidades de Programación de Revit.....	76
Tabla 2 Equivalencia Entre Losa Bidireccional Maciza y Alivianada	88
Tabla 3 Eje A-G.....	92
Tabla 4 Eje B-F.....	93
Tabla 5 Eje D	93
Tabla 6 Eje C-E	93
Tabla 7 Eje 6.....	94
Tabla 8 Eje 5.....	94
Tabla 9 Eje 4.....	95
Tabla 10 Eje 3.....	95
Tabla 11 Eje 1.....	95
Tabla 12 Tabla de Secciones Mínimas de Vigas en Hormigón Armado	96
Tabla 13 Tabla del Peso de Cubierta.....	100
Tabla 14 Tabla Para las Secciones Mínimas de Columnas	101
Tabla 15 Acciones Sísmicas.....	108
Tabla 16 Tabla Cálculo de Fuerzas Laterales Por Piso	109
Tabla 17 Tabla Resumen Armado de Losas N+2.72.....	113
Tabla 18 Tabla Resumen de Secciones y Armado de Vigas, Piso 1.....	113
Tabla 19 Tabla Resumen de Secciones y Armado de Vigas, Piso 2.....	114
Tabla 20 Tabla Resumen de Secciones y Armado de Columnas.....	114
Tabla 21 Tabla Resumen de Secciones y Armado de Zapatas	115
Tabla 22 Catálogo de Losa Tipo Steel Deck	121
Tabla 23 Peso de la Sección Simple	122

Tabla 24 Volumen de Hormigón en Losa Colaborante	122
Tabla 25 Catálogo de Perfiles IPE	125
Tabla 26 Esfuerzos de Diseño para Miembros a Compresión:	127
Tabla 27 Tabla Resumen Columnas	129
Tabla 28 Radio de Giro Para Secciones IPE.....	131
Tabla 29 Longitudes Admisibles por Ductilidad en Vigas Tipo IPE	131
Tabla 30 Relación Ancho-Espesor.....	132
Tabla 31 Acciones Sísmicas.....	139
Tabla 32 Tabla Cálculo de Fuerzas Laterales Por Piso	140
Tabla 33 Valores de desplazamiento lateral.....	141
Tabla 34 Dimensiones de Zapata y Armadura	145
Tabla 35 Espesor Mínimo de Losas en una Dirección Macizas no Preesforzadas	151
Tabla 36 Acciones Sísmicas.....	156
Tabla 37 Tabla Cálculo de Fuerzas Laterales Por Piso	159
Tabla 38 Armadura en Muros.....	162
Tabla 39 Tabla Resumen de Armado de Losa, Piso 1 y 2.....	162
Tabla 40 Carga de viento para la edificación.....	169
Tabla 41 Coeficientes para el Período de Vibración de la Estructura	177
Tabla 42 Factor de Reducción R.....	178
Tabla 43 Acciones Sísmicas.....	179
Tabla 44 Distribución del Cortante Basal por Piso.....	180
Tabla 45 Sentido X	181
Tabla 46 Sentido Y	182
Tabla 47 Cálculo de excentricidad	184

Tabla 48 Presto en Distintas Etapas de un Proyecto	207
Tabla 49 Presupuesto de Hormigón Armado	217
Tabla 50 Presupuesto de Acero	218
Tabla 51 Presupuesto de Muros Portantes	219
Tabla 52 Presupuesto de Steel Frame	220
Tabla 53 Costo Hormigón Armado m2	241
Tabla 54 Costo Muro de Hormigón m2	242
Tabla 55 Costo Acero m2.....	243
Tabla 56 Costo Steel Frame m2	244
Tabla 57 Duración de obra Hormigón Armado.....	246
Tabla 58 Duración de obra Acero	247
Tabla 59 Duración de obra Muro.....	248
Tabla 60 Duración de obra Steel Frame	249

Índice de Figuras

Figura 1 Objetivos BIM en Europa	37
Figura 2 BIM en Latinoamérica	39
Figura 3 Déficit Habitacional Cuantitativo por Provincia.....	40
Figura 4 Viviendas a Construir por Provincias	42
Figura 5 Proyección de Demanda de Vivienda de Interés Social.....	45
Figura 6 Encuesta de Edificaciones 2019	49
Figura 7 Proceso de Construcción Quonset Hut.....	52
Figura 8 Ciclo de un Proyecto BIM.....	54
Figura 9 Comparación de Tiempo uso BIM vs CAD.....	56
Figura 10 Campos BIM.....	59
Figura 11 BewRichards BIM Maturity Model.....	60
Figura 12 Nivel Cero de BIM	61
Figura 13 Nivel Uno de BIM	62
Figura 14 Nivel dos BIM	63
Figura 15 Estándares y Orientación UK-BIM.....	64
Figura 16 Nivel 3 BIM.....	65
Figura 17 BIM Paramétrico	66
Figura 18 Tiempo de Aprendizaje Revit.....	68
Figura 19 Revit Architecture Software	69
Figura 20 Revit Structure Software.....	70
Figura 21 Revit Mep Software	71
Figura 22 Dimensiones BIM	72
Figura 23 Niveles LOD	75

Figura 24 Casa Modelo	79
Figura 25 Planta Baja	80
Figura 26 Planta Alta.....	81
Figura 27 Disposición Arquitectónica	82
Figura 28 3D de la Estructura.....	83
Figura 29 Detalle de Instalaciones Eléctricas.....	84
Figura 30 Detalle Instalaciones Sanitarias	85
Figura 31 Detalle Instalaciones Sanitarias (Renderizado).....	85
Figura 32 Vista en Corte, Sistema Eléctrico, Agua Potable y Sanitario.....	86
Figura 33 Muestra de una Losa Alivianada m2.....	89
Figura 34 Diagrama de Distribución de Carga N+2,725 m.....	90
Figura 35 Casos de Distribución de Carga.....	91
Figura 36 Momentos Para Vigas Continuas.....	92
Figura 37 Análisis de Área Cooperantes Nivel +2,72	97
Figura 38 Análisis de Área Cooperantes Nivel +5,21	97
Figura 39 Detalle de Cubierta 1	98
Figura 40 Detalle de Cubierta 2	99
Figura 41 Modelo de Cubierta 1	99
Figura 42 Modelo de Cubierta 2	100
Figura 43 Coeficiente Para Vigas	102
Figura 44 Coeficiente Para Columnas.....	103
Figura 45 Secciones de Vigas, Piso 1.....	104
Figura 46 Secciones de Vigas, Piso 2.....	105
Figura 47 Vista 3D Modelo Estructural.....	106

Figura 48 Asignación Coeficiente a Sismo X	109
Figura 49 Asignación Coeficiente a Sismo Y.....	110
Figura 50 Cortante Basal.....	110
Figura 51 Deriva de Piso en Hormigón Armado Sx.....	111
Figura 52 Deriva de Piso en Hormigón Armado Sy	112
Figura 53 Modelo Estructural de Hormigón Armado	116
Figura 54 Detalle de Losas	117
Figura 55 Detalle de Armadura en Pórtico	117
Figura 56 Detalle de Armadura en Losa.....	118
Figura 57 Detalle de Armadura en Zapata Aislada	119
Figura 58 Modelo de Hormigón Armado.....	119
Figura 59 Piso 1, Ubicación de columnas	129
Figura 60 Acero, Piso 1	136
Figura 61 Acero, Piso 2	136
Figura 62 Modelo en 3D	137
Figura 63 Cortante Basal.....	140
Figura 64 Deriva de Piso en Acero Sx.....	142
Figura 65 Deriva de Piso en Acero Sy	143
Figura 66 Reacciones de la Estructura para Cimentación	144
Figura 67 Modelo de Acero en 3D	146
Figura 68 Modelo en 3D con Losa Deck.....	147
Figura 69 Vista Lateral de Acero	147
Figura 70 Vista de Modelo de Acero.....	148
Figura 71 Detalle de Conexión de Columnas de Acero.....	148

Figura 72 Detalle de Acero en Plintos Aislados	149
Figura 73 Detalle en 3D de Gradadas	149
Figura 74 Modelo en 3D Acero	150
Figura 75 Muros de Hormigón Armado $b=10\text{cm}$, Piso 1.....	153
Figura 76 Cortante Basal Dinámico sin Corrección.....	157
Figura 77 Corrección del Factor Para Sismo en X	157
Figura 78 Corrección del Factor Para Sismo en Y	158
Figura 79 Cortante Basal Dinámico.....	158
Figura 80 Deriva de Piso en Hormigón Armado S_x	160
Figura 81 Deriva de Piso en Hormigón Armado S_y	161
Figura 82 Modelo Estructural de Muros de Hormigón Armado.....	163
Figura 83 Modelo 3D del Muro de Hormigón Armado y Losa.....	164
Figura 84 Detalle de Acero en Muro de Hormigón.....	164
Figura 85 Modelo 3D de Muro de Hormigón Armado.....	165
Figura 86 Pesos para entrepiso húmedo	167
Figura 87 Pesos para panel de montantes	168
Figura 88 Distribución de los Elementos	174
Figura 89 Eje B	175
Figura 90 Eje A	176
Figura 91 Eje 8.....	176
Figura 92 Modelo 3D Steel Frame	180
Figura 93 Peso de la Estructura	181
Figura 94 Secciones	183
Figura 95 Coordenadas de Extremos de Losa.....	185

Figura 96 Perfiles PGC.....	188
Figura 97 Perfiles PGG	189
Figura 98 Generación de Familia	190
Figura 99 Armazón Métrico Vigas y Tornapuntas	190
Figura 100 Boceto de camino trazado Mediante la Opción Barrido	191
Figura 101 Comando Editar Perfil.....	192
Figura 102 Pestaña Crear.....	193
Figura 103 Tipo de Familia.....	194
Figura 104 Modelo Primer Nivel de Steel Frame.....	195
Figura 105 Detalle de “Escalera con Viga Tubo”	195
Figura 106 Detalle de Escalera Tipo “Panel con Pendiente”	196
Figura 107 Detalle de “Escalera Tipo Peldaño”	197
Figura 108 Modelado 3D de Escaleras.....	198
Figura 109 Modelo Estructural de Steel Frame	198
Figura 110 Modelo Colocación de losas Deck	199
Figura 111 Modelo3D Colocación de Puertas y Ventanas.....	199
Figura 112 Modelo 3D Steel Frame	200
Figura 113 Modelo 3D Sistema Constructivo Steel Frame	201
Figura 114 Vivienda Multifamiliar 4D Renderizada	201
Figura 115 Curva Esfuerzo-tiempo del Proceso Constructivo	203
Figura 116 Interfaz del Programa Arquímedes.....	204
Figura 117 Diagrama de Actividades y Tiempo en Arquímedes	205
Figura 118 Complemento Qex en el Software Revit.....	206
Figura 119 Ventana de Cuantificaciones Qex.....	206

Figura 120 Trazabilidad entre Presupuesto y Modelo.....	209
Figura 121 Relación de Parámetros Revit-Presto	210
Figura 122 Opciones del Plug-in Cost-it en Revit.....	211
Figura 123 Estadística de Categorías del Modelo de Hormigón Armado	211
Figura 124 Ventana de Categorías.....	212
Figura 125 Líneas de Medición Generadas del Modelo de Hormigón Armado	213
Figura 126 Vinculación de Cubierta a Modelos BIM.....	215
Figura 127 Revisión de Archivo Vinculado en Modelos BIM	215
Figura 128 Generación de Tablas de Cantidades.....	216
Figura 129 Versiones de la Herramienta Navisworks	221
Figura 130 Selección de Archivo. rvt	222
Figura 131 Despliegue de la Ventana “Árbol de Selección”	223
Figura 132 Selección y Agrupación de Elementos	224
Figura 133 Despliegue de la Ventana TimeLiner	224
Figura 134 Ventana Time Liner	225
Figura 135 Exportación del Cronograma en Formato .csv	226
Figura 136 Edición en Microsoft Project.....	226
Figura 137 Enlazamiento de Archivo .mpp a Naviswork	227
Figura 138 Actualización de Información en Naviswork	227
Figura 139 Simulación Final	228
Figura 140 Comparación Peso de Estructuras	229
Figura 141 Comparación del Período	231
Figura 142 Comparación del Cortante Basal	232
Figura 143 Comparación de las Derivas de Piso	233

Figura 144 Peso de Losas en kg/m ²	236
Figura 145 Causas en la Durabilidad del Hormigón.....	238
Figura 146 Límites del Sistema en un ACV.....	239
Figura 147 Sustentabilidad Ambiental y Económica	240
Figura 148 Costo por Metro Cuadrado.....	245
Figura 149 Duración en días de los Sistemas Constructivos.....	250

Resumen

Considerando la gran demanda de vivienda en el Ecuador de acuerdo a datos del Banco Interamericano de Desarrollo donde “existe un déficit del 31% de la población que no cuentan con una vivienda digna”, es necesario la generación de programas vivienda de interés social en un entorno idóneo y seguro. Razón por la cual, se realizó un análisis y diseño estructural en los sistemas constructivos hormigón armado, muros portantes, acero y steel frame de la tipología de vivienda denominada “Multifamiliar 4D”. Para evaluar su comportamiento estructural ante cargas gravitatorias y de un evento sísmico. Tomando como referencia datos de una de las ciudades más afectadas por el sismo de 16 abril del 2016 en Ecuador, Portoviejo.

Este proyecto de investigación busca además incentivar la aplicación de la metodología Building Information Modeling en proyectos públicos, privados y la academia, dado su gran versatilidad y eficiencia al permitir un trabajo colaborativo y multidisciplinario. Por lo que, mediante herramientas tecnológicas pertenecientes al entorno BIM fue posible realizar un modelo 3D que englobara varias disciplinas. Permitiendo obtener cantidades y cronogramas de forma precisa y detallada para la realización de simulaciones del proceso constructivo en sus distintas fases, logrando un ahorro en tiempos y costes.

Palabras clave:

- **SISTEMAS CONSTRUCTIVOS**
- **METODOLOGÍA BIM**
- **ENTORNO MULTIDISCIPLINARIO**
- **SIMULACIÓN 5D**

Abstract

Considering the great demand for housing in Ecuador according to data from the Inter-American Development Bank, “where there is a deficit of 31% of the population who do not have decent housing” that is why, the generation of affordable housing programs is needed in a suitable and safe environment. For this reason, a structural analysis and design was carried out in the construction systems, reinforced concrete, bearing walls, steel and steel frame of the housing typology called "Multifamily 4D". To evaluate its structural behavior under gravitational loads, and from a seismic event. Taking as a reference data from one of the cities most affected by the earthquake of April 16, 2016 in Ecuador, Portoviejo.

This research project also seeks to encourage the application of the Building Information Modeling methodology in public, private and academic projects. Given its great versatility and efficiency, it allows collaborative and multidisciplinary work. Therefore, using technological tools belonging to the BIM environment, it was possible to make a 3D model, encompassing several disciplines. Allowing to obtain quantities and schedules in a precise and detailed way. To carry out simulations of the construction process in its different phases, achieving savings in time and costs.

Keywords:

- CONSTRUCTION SYSTEMS
- BUILDING INFORMATION MODELING
- MULTIDISCIPLINARY ENVIRONMENT
- 5D SIMULATION

Descripción del proyecto

Es oportuno generar procesos ágiles y económicos en la construcción de viviendas, mediante la inclusión de una metodología que permita englobar el trabajo multidisciplinario en una plataforma eficiente, es por ello que a continuación se describe los capítulos desarrollados en este proyecto:

En el Capítulo I se describe las generalidades del proyecto, antecedentes, área de influencia y se planteó algunos de los problemas sociales con gran afectación al país, el déficit de vivienda y la falta de innovación en procesos de productividad debido a la desactualización tecnológica existente. Se describe el crecimiento y aplicación de la metodología Building Information Modeling (BIM) en Asia, Europa y Norteamérica donde su adopción se encuentra ya consolidada y el lento crecimiento que ha tenido en América Latina.

En el Capítulo II se presenta las definiciones de los sistemas constructivos determinados para el estudio y análisis de este proyecto, al igual que las características de la Metodología BIM y sus múltiples ventajas al sector de la construcción donde se destaca la colaboración entre varias disciplinas, superioridad competitiva en las empresas que lo han adoptado, mejoramiento del rendimiento, visibilidad realista y efectividad. Se describe, además, sus campos, niveles, herramientas, dimensiones y niveles de desarrollo.

La descripción de la vivienda “Multifamiliar 4D”, se detalla en el Capítulo III con datos como: dimensiones, distribución arquitectónica, áreas útiles, instalaciones eléctricas e hidrosanitarias y otros, que fueron utilizados como base para el modelo en el software de la familia BIM.

En el Capítulo IV se integra de manera explícita las consideraciones tomadas para el diseño y análisis estructural del sistema aperturado de hormigón armado, se realizó su desarrollo paso a paso siguiendo los planteamientos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción en su

capítulo de Hormigón Armado, la ACI-318 y parámetros de la zona sísmica establecida en esta investigación mediante un análisis estático y un análisis dinámico espectral. Finalmente, se realiza el cálculo de armadura necesaria para cada uno de los elementos y su modelamiento en la herramienta BIM, Revit.

En Capítulo V debido a las características del acero, se optó por un diseño que permite implementar mayores luces, un menor número de columnas y voladizos. Además, se realizó la colocación de arriostramientos para disminuir las derivas ocasionadas por los efectos sísmicos. El sistema de soporte de cargas utilizado fue la losa con placa colaborante por su adecuada vinculación con este sistema constructivo. El diseño y análisis consideró las especificaciones de la normativa NEC-SE-AC, ANSI/AISC, y posteriormente se realizó su modelamiento tridimensional con las dimensiones obtenidas del análisis.

El Capítulo VI, manifiesta los parámetros que se tomó en cuenta para el diseño de muros portantes de hormigón armado, partiendo de un pre diseño de sus elementos y un análisis de cargas que derivan en el cálculo estructural, definiendo sus dimensiones adecuadas en base a la normativa y considerando el comportamiento de ductilidad limitada para este tipo de sistemas. También se realiza el cálculo de las armaduras y revisión de valores sísmicos. Posteriormente se realiza el modelamiento de sus elementos en la herramienta Revit.

Para el Capítulo VII, se consideró que el análisis y diseño del sistema Steel Frame está determinado por la normativa AISI 5200-07 o el “Manual de Ingeniería de Steel Frame del Instituto Latinoamericano del Fierro y Acero de Chile”, por lo que se utilizó esta fuente de información como esencial para un proceso detallado desde la etapa de prediseño hasta su culminación con el modelado tridimensional. En lo correspondiente al sistema de soporte utilizado, se optó la tipología con placa colaborante y una cimentación de tipo losa.

Adicionalmente, se realizó la generación de una Familia de perfiles NTE INEN 2526 tipo C y tipo G, que fueron de gran utilidad para la generación de los paneles de acero conformado en frío.

La gestión de tiempo y costes están descritos en el Capítulo VIII, el cual fue desarrollado en herramientas como Presto, Cost-It y Microsoft Project para la determinación de cantidades, cronogramas y mediciones. Fue necesario, además, la realización de APUS's para la estimación del coste del proyecto de cada uno de los sistemas constructivos. Se presentó también un software para la visualización del proceso constructivo, duración y costo, mediante una animación 5D (Naviswork).

En el Capítulo IX, en base a la información descrita en las secciones anteriores se realizó un análisis técnico-económico de cada uno de los sistemas constructivos, partiendo de parámetros iniciales de diseño hasta su comportamiento ante cargas estáticas y dinámicas como: peso estructural, periodos de vibración, cortante basal, derivas y otros. Además, se consideró elementos como cimentación, tipo de losa utilizado y vida útil de los mismos. Finalmente se desarrolla un análisis de costos y duración de cada una de las obras.

Para terminar, en el Capítulo X se presenta las conclusiones, recomendaciones y referencias bibliográficas que sirvieron para el desarrollo de este proyecto.

Capítulo I

Generalidades

Planteamiento del problema

Según datos del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), destaca que la demanda de vivienda en el Ecuador alcanza el 31%; es decir 5,2 millones de la población no poseen una vivienda. Además, con relación al resto de países de la región, Ecuador ocuparía el séptimo puesto por debajo de: Nicaragua (58%), Guatemala (46%), Honduras (41%), Paraguay (36%), Bolivia (34%) y República Dominicana (32%). Por lo que, el Gobierno Nacional debería realizar un gasto promedio correspondiente al 7% del Producto Interno Bruto (PIB) anual, siendo esta una inversión de más de 7 mil millones de dólares (Blanco, 2012).

Según datos del Registro Social se determinó que en el año 2018 alrededor de 7.813.524 personas vivían en condiciones de riesgo, insalubridad, vulnerabilidad, y dentro de un medio ambiente degradado, por ello se requiere innovar en nuevos procesos adquisitivos de vivienda y ambientes de habitabilidad adecuada (Casa Para Todos, 2018).

Mediante este enfoque se debe considerar no solo el déficit habitacional, sino el estilo de vida en las distintas zonas tanto urbanas como rurales, factores ambientales, culturales y productivos, logrando un equilibrio socio-ambiental del territorio, garantizando así la sostenibilidad social y económica del país (MIDUVI, 2019).

“Algunos de los principales aspectos que se consideran para la edificación de viviendas de interés social es la aplicación de un adecuado sistema constructivo y la demanda de vivienda, que está determinada por el crecimiento demográfico, estilo de vida, zonas de riesgo sísmico, entre otros” (Morocho, 2020).

Los proyectos ejecutados mediante sistemas tradicionales, diseños 2D y 3D se enfocan de una forma distanciada en cuanto a los procesos, debido a que cualquier cambio de

información infiere en pérdida de recursos, ajustes de cronograma, falta de control en las distintas etapas, repetición de procesos, menor calidad y demás, que son atribuibles a una inadecuada planificación y control debido a su desarrollo mediante herramientas computer-aided-design (CAD) de uso general sin una adecuada estandarización. La representación gráfica desarrollada en estos softwares evitan la compatibilidad de múltiples disciplinas, obteniendo como resultado una gran cantidad de errores no solo en el diseño, sino también en la fase de construcción (Rosado, 2013).

Los softwares CAD se asemejan a arcaicos métodos manuales de dibujo a lápiz, escuadra y rapidógrafo que ha reemplazado el papel por una pantalla mediante del dibujo ayudado por computadora, dependiendo aún de modelos básicos de líneas y curvas que son utilizados en diseños arquitectónicos, estructurales, eléctricos, sanitarios y mecánicos; sin embargo en un proyecto de construcción, se genera un problema al momento de realizar un análisis en conjunto de todas estas áreas debido a la multitud de modelos independientes evitando que estos se encuentren ligados entre sí (Pacheco, 2017).

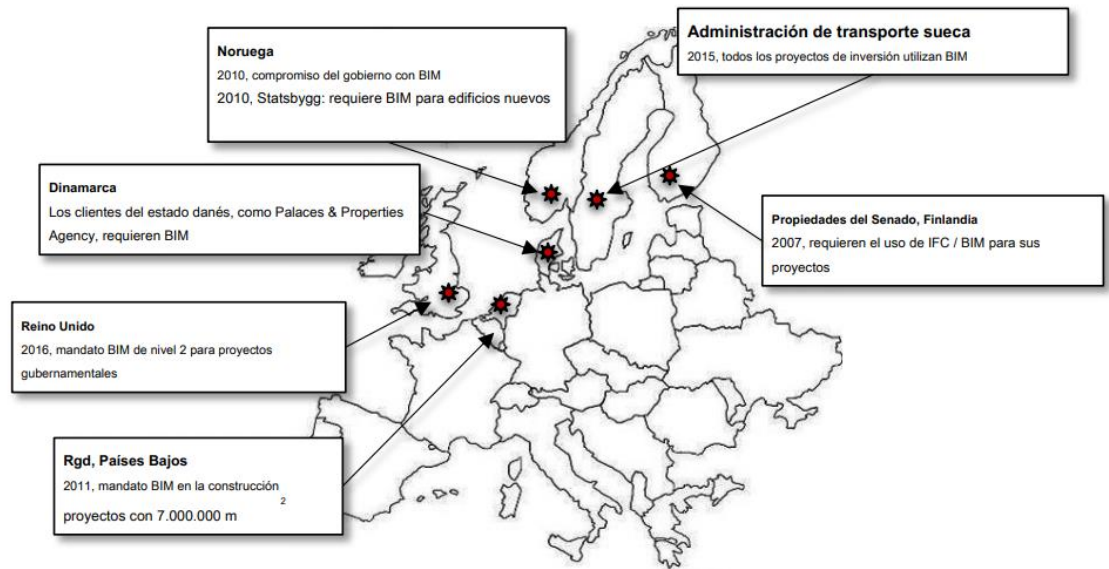
El modelado en 3D está al alcance de los usuarios; sin embargo, debido a una desactualización tecnológica en la mayoría de profesionales del Ecuador, ha evitado descubrir la versatilidad de softwares pertenecientes al Building Information Modeling (BIM) y que poco a poco está reemplazando a los softwares CAD (Nieto, 2016).

Macro

Según las estimaciones de las Naciones Unidas (UN) la expectativa de incremento de la población mundial está determinado en dos mil millones para los siguientes 30 años, llegando a un máximo de once mil millones en el año 2100. Este aumento se debe a la exacerbada cantidad de personas que llegan a un punto reproductivo, lo que ocasiona variaciones en los valores de fecundidad, transformaciones en la urbanización y migración (UN, 2020).

A las estimaciones demográficas le acompañan el desarrollo y aplicación de tecnologías que permitan acelerar los procesos de urbanización mediante la metodología BIM. La expectativa a nivel mundial es que exista un crecimiento exponencial en el uso de la metodología BIM, debido a que en regiones de Europa Occidental, Asia y Norteamérica la adopción de esta metodología ya se ha consolidado. Aunque ha existido múltiples esfuerzos en la adopción de BIM en muchos países, la mayoría está enfocada en regiones limitadas y no a nivel mundial. Sin embargo, el sector de la construcción experimentará un crecimiento significativo del uso de esta metodología en los próximos años debido a que las empresas deberán considerar el BIM como una herramienta para la innovación y competitividad (Bloomberg et al., 2012).

En la sociedad está latente la necesidad de innovación y desarrollo, debido a la gran cantidad de recursos que el sector de la construcción demanda, es por ello que Estados Unidos es uno de los pioneros en el uso de la tecnología BIM debido a que distintos niveles del sector público contribuyen a la implementación del mismo, logrando así ser el mayor productor y consumidor de productos BIM. A continuación podemos observar en la **Figura 1**, países de Europa como Reino Unido, Dinamarca, Noruega, Países Bajos y otros que han establecido objetivos para la implementación de BIM en el sector público mediante la creación de consorcios, proyectos que integren requisitos y directrices BIM (Lu, 2015).

Figura 1*Objetivos BIM en Europa*

Nota. Tomado de *A review of the efforts and roles of the public sector for BIM adoption worldwide* (p.455), por (Lu, 2015).

Meso

Desde 1990 ningún país en Latinoamérica a diferencia de Chile ha podido satisfacer la demanda de vivienda adecuada debido al crecimiento demográfico, debido a que los cálculos de falta de viviendas y las acciones a tomarse a largo plazo deben tener un estrecho vínculo entre la oferta y la demanda, razón por la cual no sería una acción viable el incrementar la oferta si existe una escasa demanda (Gilbert, 2001).

Parte de las reflexiones de la Comisión de Asentamientos Humanos y la Estrategia Mundial de Vivienda manifiesta que la definición de “vivienda adecuada” es la disposición de un lugar que brinde seguridad, un entorno idóneo con relación al trabajo y los servicios básicos, iluminación, ventilación y una apropiada infraestructura a valor asequible. Siendo la

infraestructura el eje matriz que engloba todos estos aspectos, garantizando así el derecho a una vivienda digna; mediante un adecuado proceso de planificación, gestión y construcción.

Actualmente las etapas de diseño de un trabajo se elaboran de manera lineal y consecutiva, lo que puede generar complicaciones e incrementos de tiempo y costos, por lo que es necesario el trabajo colaborativo y multidisciplinario dentro de una plataforma integral y eficiente (Espinoza & Torres, 2015).

Varios profesionales y especialistas que actúan en las distintas fases del proyecto requieren analizar un sin número de factores para lograr un eficiente resultado durante el proceso de diseño, gestión, construcción y mantenimiento de una obra, a través de la aplicación de una metodología adecuada, con la finalidad de trabajar en un mismo modelo que involucre a todas las disciplinas, anticipando y resolviendo inconvenientes que puedan presentarse. Este modelado de la información denominado BIM permite integrar múltiples especialidades y desarrollar el proyecto de manera organizada y eficiente (Espinoza & Torres, 2015).

En África, Oriente Medio, Europa del Este y América Latina se prevé implementar esta metodología de manera paulatina mientras se va asimilando sus beneficios. En la mayoría de países de Latinoamérica el camino a BIM sigue un proceso de adopción muy lento. En la **Figura 2** se observa como la implementación de la metodología en países como Chile, Perú, Costa Rica, Panamá y Colombia ha tenido gran aceptación, a pesar de destacarse más en el sector privado a comparación del público, siendo esto un preámbulo en la adopción al BIM (EDITECA, 2018)

Figura 2*BIM en Latinoamérica*

Nota. Tomado de *El BIM en Latinoamérica Editeca*, https://editeca.com/bim-en-latinoamerica/#BIM_en_Ecuador, por (EDITECA, 2018).

Micro

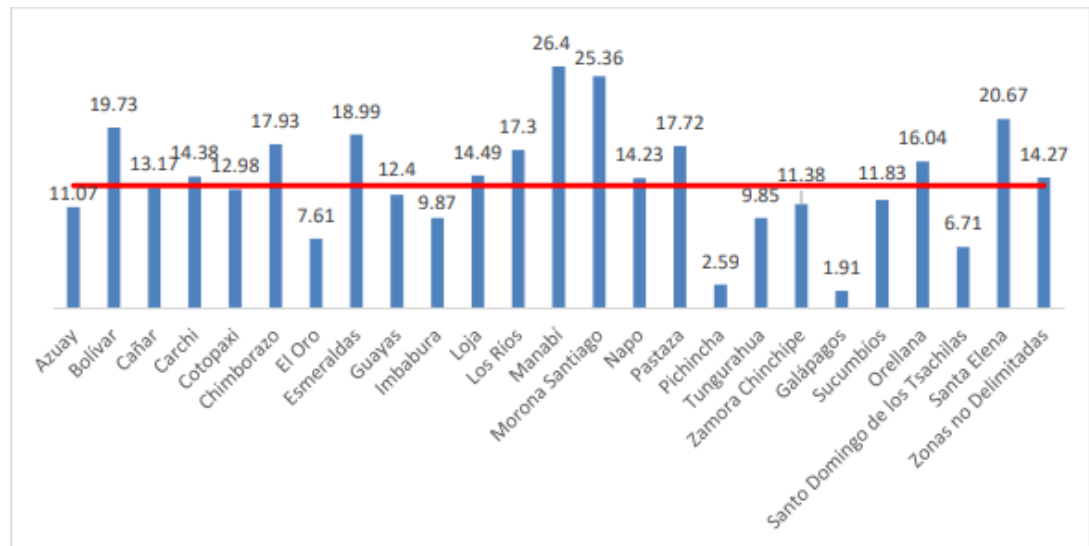
Según proyecciones de población del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), en el año 2018 el Ecuador poseía 17.023.408 habitantes con una tasa anual del 1,58%, de este número de habitantes un 63.8% se localiza en áreas urbanas, focalizando una mayor presión demográfica en las grandes ciudades del país, a pesar que en el año 2010 era 62,7% y en el 2001 era del 61,2%. Mientras que la proyección de las demandas de viviendas de interés social demuestra una efectiva identificación de las personas que se encuentran en un ambiente de pobreza, a quienes se aplica criterios de elegibilidad y priorización (INEC, 2020).

A nivel provincial como podemos ver en la **Figura 3**, sobre el promedio nacional de déficit cuantitativo establecido en un 13.4%, se encuentran 13 provincias, presentando los

porcentajes más altos las provincias de Manabí y Morona Santiago con 26,4% y 25,36% respectivamente.

Figura 3

Déficit Habitacional Cuantitativo por Provincia



Nota. Tomado de *Encuesta de Edificaciones. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos*, (p.23), por (INEC, 2020).

El Estado ecuatoriano creó la misión “Casa Para Todos” para cubrir los requerimientos de vivienda de interés social, facilitando su adquisición con una subvención total o parcial e incentivos que son ejecutadas por las Empresas Públicas: Casa Para Todos y Ecuador Estratégico E.P. Mediante la revisión y aprobación de lineamientos que cumplan parámetros de diseño estructural y sísmico el “Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda” (MIDUVI) a través de la Subsecretaría de Vivienda validó los distintos sistemas constructivos y tipologías de vivienda. Sin embargo, dentro de los “Lineamientos Mínimos Para Revisión Y Validación De Tipologías De Vivienda” se ha excluido la aplicación de la metodología BIM como uno de los requisitos para el desarrollo de este proyecto público (Casa Para Todos, 2018).

Según Pablo Pinto (2019) especialista en BIM y trabajador de la facultad de Ciencias, Ingeniería y Construcción de la Universidad Tecnológica Equinoccial en Ecuador aún no existe un proyecto en el que se haya implementado esta nueva tecnología debido a que el uso de BIM no se encuentra del todo desarrollado.

Actualmente existen ciertas empresas privadas que mediante iniciativas separadas han comenzado a involucrarse con esta metodología, mientras que la academia y el sector productivo ha indicado un desinterés por animar el uso del BIM, esto se refleja en el pensum académico de las facultades de arquitectura e ingeniería de las universidades del país que carecen de la enseñanza de esta metodología a la escasez de profesionales y docentes expertos en el área, así como la falta de centros de aprendizaje acreditados que permitan emitir certificados con reconocimiento no solo nacional, sino internacional (Morales, 2018).

Antecedentes

La población en las ciudades del país aumenta de forma desproporcionada en contraste a un crecimiento sostenible de vivienda planificada, lo que ha derivado en un déficit de vivienda o construcción de vivienda precaria e informal que acarrea problemas de planificación, desarrollo territorial e índole social (Benavides, 2019).

En la Constitución ecuatoriana se garantiza el derecho de las personas independientemente del contexto económico y social en el que se encuentren, de gozar de una vivienda digna, según su artículo No.30. En este contexto, el objetivo de construir viviendas de interés social de una manera rápida y de forma masiva, es la de mejorar la calidad de vida de grupos vulnerables de la población que no cuentan aún con este derecho (Szalachman, 2000).

Considerando el escenario económico en el Ecuador, el licenciado Lenín Moreno Garcés, Presidente Constitucional de la República del Ecuador, mediante Decreto Ejecutivo No.101 con fecha 3 de agosto de 2017, encargó la ejecución del programa “Casa Para Todos” a la Empresa

Pública “Ecuador Estratégico” y establece como parte de uno de los objetivos del Gobierno Nacional divulgados a través de la Secretaría Técnica “Toda Una Vida”, reducir el déficit de vivienda de 12,3% en diciembre del 2016 al 9,9% para el año 2021 y aumentar de 53% al 95% para el 2021 la cantidad de hogares con vivienda adecuada y que se hallan en un entorno de extrema pobreza (Casa Para Todos, 2016).

A continuación, en la **Figura 4**, se puede analizar la cantidad de viviendas planificadas a construirse por provincia en el año 2019, según la Encuesta de Edificaciones presentada por el INEC en octubre de 2020, en donde se determina que la construcción de viviendas fue de 47.291, concentrando el 26,4% en Pichincha, Guayas 18.2% y Manabí 4.79%.

Figura 4

Viviendas a Construir por Provincias



Nota. Tomado de *Población y Demografía*, <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>, por (INEC, 2019).

Es por ello que se debe tener en cuenta que vivimos en una época en que la tecnología ha contribuido en el desarrollo económico y social de la humanidad, y que, al ir evolucionando constantemente ha aportado grandes contribuciones al sector de la construcción, mediante la adopción de sistemas constructivos innovadores, herramientas computacionales y metodologías que optimizan el tiempo y recursos, otorgando una eficiencia y sostenibilidad en cada uno de los

proyectos, siendo este el caso del BIM (Building Information Modeling) que permite generar un modelo informático único de la edificación (Parra, 2018).

Actualmente en los proyectos de construcción, resultan muy difíciles alcanzar los objetivos propuestos, debido a que se presentan diversos obstáculos y retos debido a la escasa interacción de las distintas áreas: arquitectura, estructuras, hidrosanitaria, mecánica y demás. Cuando un proyecto es ejecutado mediante un diseño 2D y 3D como se lo realiza tradicionalmente, ocasiona una incompatibilidad con las otras áreas al realizar cambios en cualquier fase del diseño, y esto puede generar pérdidas de recursos (Arequipa, 2020).

La Subsecretaría de Vivienda (2018) emitió a través del documento de “Lineamientos Mínimos Para Revisión y Validación de Tipologías de Vivienda” los requisitos mínimos para arquitecturas e ingenierías, en el numeral *2.5 Requisitos Generales* detalla en uno de los requerimientos, que: “El proyecto se debe entregar en físico y digital. En el digital debe constar los formatos originales de los documentos, es decir .dwg (el archivo deberá estar en versión 2010), .docx, .xlsx, etc. En la entrega final deberán incluir en el archivo digital, el escaneado en PDF de todos los documentos con firma de responsabilidad.”, donde se puede claramente evidenciar la solicitud de formatos de archivos CAD. Dentro del documento también se hallan requerimientos independientes para cada área de ingeniería y arquitectura. Finalmente se evidencia la nulidad de requisitos para la aplicación y utilidad de nuevas metodologías como el BIM que involucren a todas las especialidades, lo que ocasiona una falta de coordinación entre las diferentes áreas debido a que se considera al proyecto como un conjunto de información separada y no centralizada.

Área de influencia

A nivel nacional de 2'375.754 familias que representan a 7'813.524 personas, principalmente las de menores recursos económicos, viven en condiciones de riesgo, insalubridad, vulnerabilidad y dentro de un medio ambiente degradado (MIDUVI, 2019).

En base a lo planteado, se requiere definir un nuevo concepto que permita innovar en nuevos procesos constructivos, económicos y técnicos para que la población más vulnerable pueda acceder a una vivienda propia con las condiciones de habitabilidad que permita mejorar su calidad de vida (MIDUVI, 2019). Además de ello, la aplicabilidad de la metodología BIM tendrá una influencia a nivel nacional debido a que sus beneficios en los trabajos de infraestructura son muy amplios debido a que en este sistema colaboran múltiples disciplinas dentro del diseño arquitectónico y constructivo.

En base a la Proyección de Demanda de Vivienda de Interés Social realizado por el “Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda” (MIDUVI) establece que existe una población de 325,329 viviendas requeridas, tanto para personas en calidad de extrema pobreza como de pobreza moderada, siendo las provincias del Guayas y Manabí quienes tienen el mayor número de demanda con 72.647 y 57.648 respectivamente como se observa en la siguiente **Figura 5**:

Figura 5*Proyección de Demanda de Vivienda de Interés Social*

Provincia	# Viviendas requeridas para extrema pobreza	# Viviendas requeridas para pobreza moderada	Total
AZUAY	1,173	13,435	14,608
BOLIVAR	589	5,946	6,535
CAÑAR	424	5,788	6,212
CARCHI	564	4,814	5,378
COTOPAXI	1,115	9,081	10,196
CHIMBORAZO	2,152	18,059	20,211
EL ORO	519	5,982	6,501
ESMERALDAS	2,234	17,458	19,692
GUAYAS	6,245	66,402	72,647
IMBABURA	993	8,060	9,053
LOJA	1,129	10,430	11,559
LOS RIOS	1,641	20,876	22,517
MANABI	3,942	53,706	57,648
MORONA SANTIAGO	1,119	7,725	8,844
NAPO	358	2,727	3,085
PASTAZA	442	2,884	3,326
PICHINCHA	1,125	11,820	12,945
TUNGURAHUA	922	9,366	10,288
ZAMORA CHINCHIPE	244	2,139	2,383
GALAPAGOS	-	-	000
SUCUMBIOS	383	3,689	4,072
ORELLANA	428	3,223	3,651
SANTO DOMINGO	267	3,334	3,601
SANTA ELENA	680	8,333	9,013
ZONAS N/D	80	1,284	1,364
TOTAL	28,768	296,561	325,329

Nota. Tomado del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. Plan Estratégico Institucional 2019-2021. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/biblioteca/>, por (MIDUVI, 2019).

De acuerdo a los datos anteriormente analizados de la **Figura 5**, se determinó que el presente proyecto considerará como área de influencia la provincia de Manabí, al tener uno de los mayores números de demanda habitacional en relación a las demás provincias del país, además de ello se establecerá esta ubicación para el análisis sísmico y tipología de suelo (MIDUVI, 2019).

Considerando este proyecto se enfoca en una de las provincias con mayor densidad poblacional del país y además como una región ubicada en una zona con alta vulnerabilidad sísmica permitirá utilizar el diseño adecuado, en la mayoría de condiciones de suelo del país.

Justificación e importancia

El proyecto se enfoca en corroborar la viabilidad técnica-económica y aplicativa de nuevas tecnologías como el BIM, que solucionen los inconvenientes presentados por los sistemas constructivos utilizados en el país, logrando de esta manera una transformación en la industria de la construcción y a la vez otorgar las consideraciones técnicas, económicas y tecnológicas que determinen la rentabilidad de los sistemas constructivos.

Además, este proyecto está encaminado a beneficiar a la población más vulnerable del país y en especial a la provincia de Manabí, misma que es una de las zonas con más alto crecimiento demográfico y también considerada como una zona con alta vulnerabilidad sísmica (MIDUVI, 2019).

También, busca fomentar la incursión de profesionales, estudiantes y trabajadores de la industria de la construcción en el manejo de la metodología BIM, permitiendo explotar todos sus beneficios, características técnicas, software, ventajas y optimización de recursos en el desarrollo de cualquier proyecto. Fomentar el progreso de áreas como arquitectura, ingeniería y construcción (AEC) e inclusive del sector académico, pues esta metodología es ya aplicada en varios países a nivel mundial y que lentamente se ha incursionado en los países de Latinoamérica. Mientras países como Estados Unidos y Reino Unido cuentan con normativas para la aplicación de BIM en todas las obras de carácter público (Lu, 2015).

Objetivos generales y específicos

Objetivo general

Realizar un análisis integral de una vivienda de interés social de los sistemas constructivos steel frame, acero, hormigón armado y muros portantes, utilizando la metodología BIM para contrastar los diferentes parámetros técnicos, económicos y constructivos.

Objetivos específicos

- Modelar en un software de la familia BIM la disposición arquitectónica, diseño estructural, instalaciones eléctricas e instalaciones sanitarias de la vivienda “Multifamiliar 4D” del proyecto “Casa Para Todos”, para tener un control de orden bidireccional del modelo.
- Realizar el diseño y cálculo estructural en steel Frame, acero, hormigón armado y muros portantes de la edificación utilizando un software especializado, obteniendo cuatro modelos de vivienda para insertarlos en el software de la familia BIM.
- Desarrollar el proceso constructivo de cada uno de los modelos mediante un modelado 5D, para la obtención de costos y cantidad de materiales.
- Analizar comparativamente en términos estructurales y económicos los distintos sistemas constructivos, constituyendo una base de información para diferir en la factibilidad y rentabilidad técnica-económica.

Capítulo II

Marco teórico

Sistemas constructivos

Según Perea (2012) el sistema se puede referir a una composición de partes de naturaleza diferente, cuyo principal fin es el de alcanzar un resultado explícito, mientras que se puede precisar a la edificación como una vinculación de partes que se agrupan a través de un diseño que definan las funciones requeridas para tener una razón de ser. En este sentido se entiende que para la realización de los sistemas constructivos se debe llevar un proceso a través de un conjunto de métodos utilizados para edificar los componentes que forman los sistemas constructivos y que según Monjo (2005) esto se logra a través de un “proceso industrial para la ejecución de edificios”.

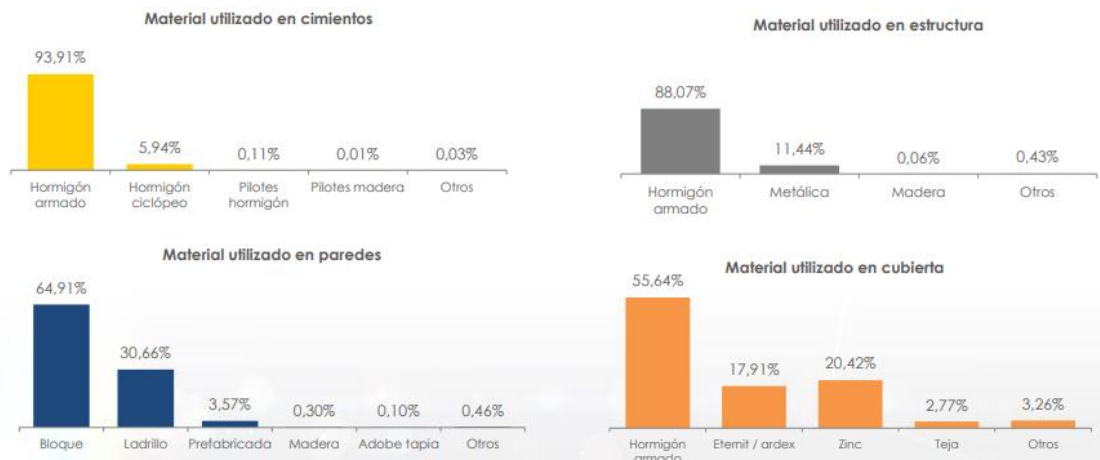
Hormigón armado

Es un material estructural de composición mixta formado por el hormigón a modo de material resistente a la compresión pero extremadamente frágil a tracción y el acero, que junto en forma de barras en su interior compensa las solicitaciones de tracción (Romo, 2008b).

En el Ecuador las edificaciones acatan requerimientos propios de la sociedad y el medio al que están dirigidos cumpliendo solicitaciones sísmicas y estructurales, es por ello que según datos del “Instituto Nacional de Estadísticas y Censos” (INEC) el material de mayor uso en el país es el hormigón armado como se observa en la **Figura 6**:

Figura 6

Encuesta de Edificaciones 2019



Nota. Tomado de *Encuesta de Edificaciones. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, (p.12)*, por (INEC, 2020)

Las edificaciones componen el mayor cuerpo económico dentro de los proyectos de vivienda, y de estos, los edificios construidos en hormigón armado son los que más se construyen en el Ecuador, los cuales se disponen en losas bidireccionales con vigas banda o descolgadas. Muchas veces se propone variaciones de luces a través de vigas o losas con la finalidad de optimizar el acero de refuerzo y que posteriormente deben concordar con el diseño arquitectónico (Canchig, 2016).

Muros portantes

Los muros portantes se han usado como un sistema constructivo desde hace mucho tiempo atrás, se construían anteriormente con piedras y utilizando alguna pasta o mortero que servían para el acoplamiento de las piedras. En algunas de estas construcciones en donde el manejo de la piedra era complicado o su extracción era costosa, se llegó a utilizar diferentes métodos como el barro secado al sol, que a través de encofrados de madera se colocaban bloques de arcilla uno sobre otro separados por un componente adhesión (Acebo, 2016).

Después estos bloques de arcilla fueron reemplazados y actualmente son conocidos como ladrillos que, gracias a su cocción en hornos, obtienen mayor durabilidad y resistencia. Posterior a ello, con el descubrimiento del acero se pudo usar de esta manera el hormigón armado, utilizando varillas de refuerzo dentro de este elemento. Este sistema constructivo es de elementos rígidos cuya fin es la de soportar cargas verticales, cargas horizontales, su propio peso y otras cargas, que en conjunto son transmitidos a la cimentación, adicional a ello cabe resaltar que su característica principal es que no poseen columnas (Acebo, 2016).

Este sistema de construcción se fundamenta principalmente con la fundición de hormigón a través de encofrados metálicos, este proceso conlleva grandes beneficios debido a que sus elementos estructurales y detalles de acabados son construidos monolíticamente cumpliendo con los diseños arquitectónicos de una mejor manera (Zambrano, 2017).

Entre otra de las ventajas del muro portante, se encuentra su adecuada respuesta ante un terremoto, debido a que al ser un elemento rígido puede soportar las diferentes sollicitaciones de un evento sísmico al transmitir tanto las cargas horizontales como verticales al suelo y repartirlas a todo lo largo del muro, disminuyendo en un gran porcentaje estas fuerzas (Acebo, 2016).

Acero

Entre las propiedades más destacables del acero se encuentran su resistencia a la fluencia, el módulo de elasticidad cuyo valor típico de diseño para la mayoría de aceros es 200.000 MPa, el coeficiente de Poisson típicamente tomado el valor de 0.3 y el módulo de elasticidad al esfuerzo cortante G. Posee una gran ductilidad, permitiéndole resistir deformaciones considerables en grandes niveles de esfuerzo sin llegar a la rotura, además de tener una alta resistencia y rigidez, siendo también un material de gran versatilidad y fortaleza accesible a la industria de la construcción (Pillajo & Sarmiento, 2009).

Sin embargo, al ser el acero dúctil, no garantiza que la estructura fabricada con este material lo sea, debido a que deben considerarse múltiples requerimientos adicionales para que pueda ser considerada como un sistema constructivo apropiado para zonas sísmicas.

Según (Tamayo, 2014): “los componentes más utilizados en la construcción de edificaciones de acero son a base de marcos, cuyas vigas secundarias transfieren las cargas hacia las vigas principales, y estas a su vez hacia las columnas y cimientos.”

Steel Frame

La utilización de este sistema de construcción con perfiles hechos en frío tiene su inicio en Estados Unidos e Inglaterra alrededor del siglo XIX, este sistema fue inicialmente empírico y tuvo su enfoque en obras civiles y estructuras industriales, el gran auge que tuvo estos perfiles fue en el siglo XX, impulsando un gran progreso en toda la Segunda Guerra Mundial y fundamentalmente al término de ella, un gran ejemplo del uso de este sistema es en la industria militar, debido a que existía la necesidad de tener estructuras ligeras, transportables y de fácil armado para brindar alojamiento a las tropas, en territorios junto al mar. Así se pudieron construir barracas conocidas como Quonset Hut (Allen, 2011).

Figura 7

Proceso de Construcción Quonset Hut



Nota. Tomado de “*Steel Frame y entramados de perfiles conformados en frío, Arquitectura en acero*”. <http://www.arquitecturaenacero.org/historia/teoria/steel-frame-y-entramados-de-perfiles-conformados-en-frio>, por (Allen, 2011).

Algunas de las ventajas con que cuenta este sistema es su gran flexibilidad arquitectónica, es decir que se puede adecuar a cualquier tipo de proyecto y aprovechar de mejor manera los espacios y áreas, también tiene una gran utilidad a la hora de realizar reparaciones en sus instalaciones. Además, su durabilidad es mucho mayor en comparación de los sistemas constructivos tradicionales, también consta de un material adicional que brinda una aislación térmica y acústica que supera en gran manera a la mampostería que usualmente se utiliza. La ventaja más grande de usar este sistema es la velocidad para construir cualquier proyecto, obteniendo optimización de materiales y obras mucho más limpias (Barbieri, 2018).

Además, cabe mencionar que aún no existe una normativa en el país para la construcción con el sistema Steel Frame, debido a que se encuentra limitado a dos pisos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción, y básicamente su desarrollo se ha focalizado en el sector

privado. En el país no existen centros de formación que permitan consagrar este sistema en los grandes proyectos del país, debido a que estas nuevas tecnologías no tienen un ritmo acelerado para su implementación en el Ecuador (Morocho, 2020).

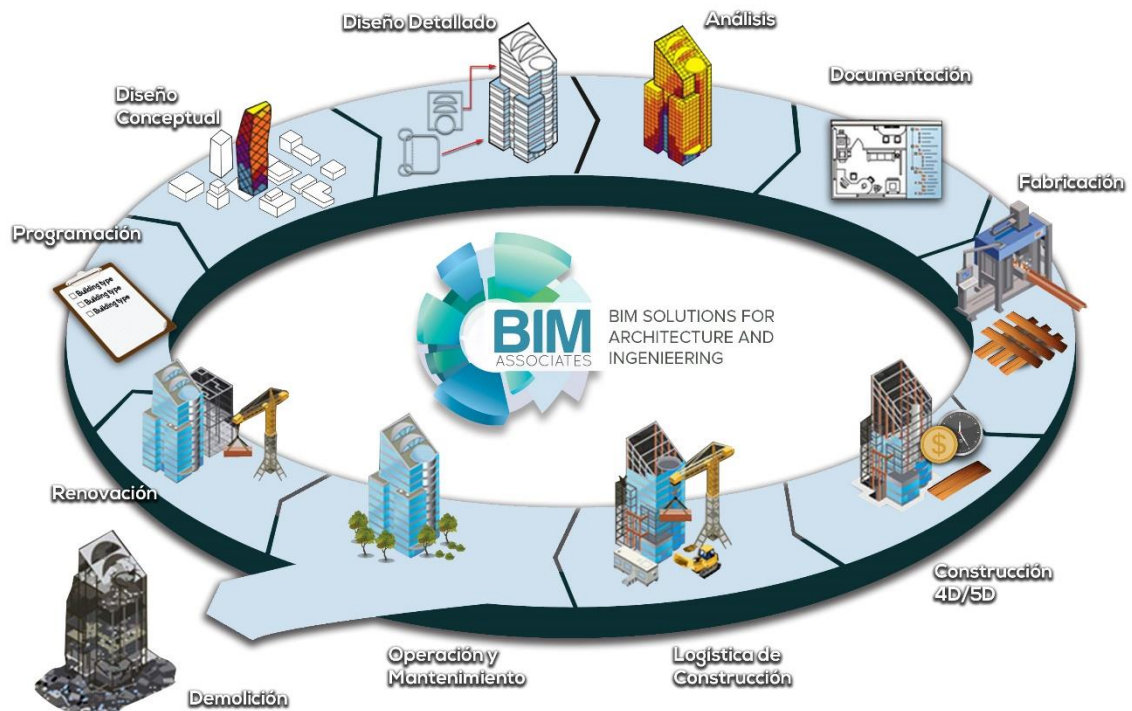
Building information modeling

Por sus siglas en inglés BIM es una metodología que se está utilizando con mucho apogeo en el mundo de la construcción y admite realizar simulaciones computacionales de edificaciones teniendo un manejo más apropiado de toda la información que conlleva dentro de este entorno. A diferencia del sistema CAD que permite plasmar diseños en 2D Y 3D sin que exista una diferencia en sus elementos, los nuevos sistemas que adoptan el BIM, vienen con 4D (tiempo) y 5D (costos) que nos permite organizar de una mejor manera el proyecto durante toda su duración, logrando además automatizar varios procesos en menor tiempo (Franco, 2018).

El BIM está íntimamente vinculado con todo lo que comprende el tiempo de duración de un trabajo como: planificación, diseño definitivo, fabricación, construcción, operación, mantenimiento, renovación o demolición y que se puede observar en la **Figura 8**. Mediante uso de herramientas computacionales, se puede obtener un modelo dinámico virtual que tiene una base de datos de toda la edificación, y que, además nos permite obtener múltiples áreas como la ingeniería civil, arquitectura, mecánica, eléctrica y otros (Franco, 2018).

Figura 8

Ciclo de un Proyecto BIM



Nota. Tomado de *CICLO DE VIDA DEL PROYECTO CON BIM* Grupo Valero.

<https://www.grupovalero.com/valero-primer-fabricante-eps-nivel-nacional-generar-productos-bim/ciclo-de-vida-del-proyecto-con-bim/>, por (Valero, 2017).

Objetivos BIM

Los principales objetivos BIM (buildingSMART, 2014) de acuerdo con la Guía de usuario BIM presentada en el año 2014, son:

- Otorgar un soporte a las diferentes decisiones de inversión, contrastando la utilidad, la eficacia y los costos de las respuestas
- Facilitar en el análisis de las necesidades energéticas y aspectos del medioambiente, para disminuir en gran medida el impacto en el ecosistema y alrededor del proyecto

- Aportar información relevante para el estudio de la viabilidad del proyecto y sus posibles diseños.
- Garantizar la calidad de los procesos, materiales y producto final, al igual de la reciprocidad de datos en un diseño eficaz.
- Desarrollar documentación e información precisa del proyecto, para las diferentes etapas de la construcción y mantenimiento.

Ventajas del BIM

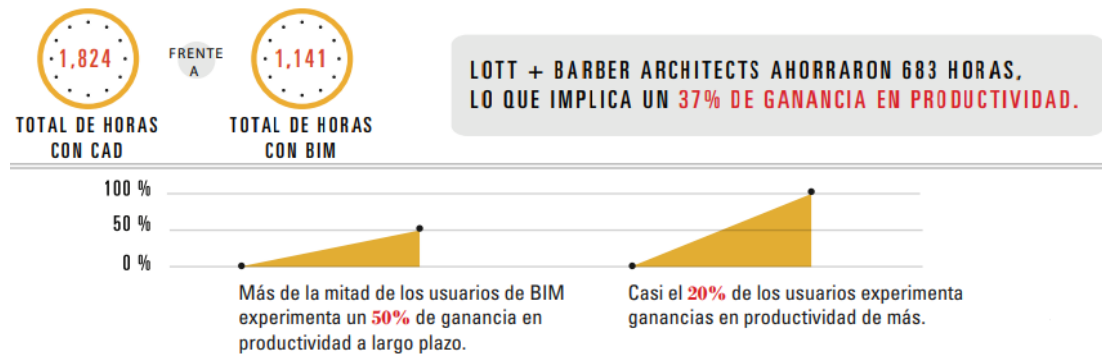
BIM no solo busca realizar esquemas en 3D, sino que nos da la entrada para colocar nueva información como la resistencia de materiales o edificaciones en sus fases finales a través del tiempo, además cuenta con exportación para CAD y especificaciones técnicas para la elaboración de un proyecto en su hasta finalizarlo. Diseñadores y arquitectos manejan estos modelos tridimensionales para cotejar su configuración y producir mejores cambios en las edificaciones. BIM trabaja con la finalidad de fomentar la colaboración entre diseñadores, arquitectos, contratistas, constructores, subcontratistas, ingenieros, entre otros (Franco, 2018).

Según (Dodge Data & Analytics, 2015) los beneficios de BIM presentan una superioridad competitiva para las empresas, donde un 48% de ellas observa una disminución del 5% en el valor de construcción final y cronograma de los proyectos, además un 31% de las empresas han visto una mejora del 25% en su rendimiento laboral.

Al tener una pérdida inicial en la capacitación e implementación de herramientas BIM, se logra contrarrestar considerablemente mediante la obtención de ganancias en la productividad, como es el caso de una empresa que implemento el software Revit y comparó el tiempo con las herramientas CAD en proyectos similares (Autodesk, 2017).

Figura 9

Comparación de Tiempo uso BIM vs CAD



Nota. Tomado de *Project Data*. <https://www.sonda-mco.com/mueveteabim/Autodesk-bimmyths.pdf>, por (Autodesk, 2020).

Según Richar Watherhouse, Director de estrategia de National BIM Library (NBS, 2020) en el informe BIM 2020 presentado, menciona que la implementación de esta metodología “ha requerido un cambio sustancial en los flujos de trabajo, pero ha traído grandes beneficios: mejor coordinación de la información, menor riesgo, mayor productividad, mayor eficiencia y ahorros de operación y mantenimiento”. En el informe se destaca además los siguientes puntos:

- En 2011 el 43% de los encuestados había oído hablar de BIM, hoy en día un 73% utiliza BIM.
- Menos personas ven al BIM simplemente como “modelado 3D”.
- La mayoría se aproxima a BIM mediante la utilización de normas PAS/BS 1192 e ISO 19650.
- Varias personas se familiarizan con documentos estándar.

El informe (NBS, 2020) añade además ciertas desventajas en la aplicación de BIM, como:

- Falta de demanda de clientes.
- Inadecuación percibida para proyectos.

- Empresas pequeñas pueden ver a BIM como irrelevante para sus proyectos.

BIM en la industria de la construcción

Emplear la metodología BIM en un proyecto logra satisfacer posteriormente las acciones que se deben tomar en cuenta a lo largo de los procedimientos no conforme, es decir, disminuir de una forma muy significativa el retrabajo. Debido a que mediante los software se pueden colocar materiales y componentes dentro del modelo y hacer una verificación de los conflictos que podrían presentarse en el diseño, por lo que se pueden realizar cambios previamente a la ejecución de las obras, aumentando de gran manera la comunicación entre diseñadores y constructores, obteniendo finalmente un producto de gran eficiencia y calidad (Trejo, 2018).

BIM para diseñadores y arquitectos

La reducción de retrabajo es altamente beneficioso para diseñadores y arquitectos, mostrando sus modelos que pueden ser construibles, garantizando así que su concepto o idea se mantenga desde sus inicios a su final, por lo que la edificación final se verá tal cual su concepto, siendo este el producto exacto que espera el propietario (Trejo, 2018).

BIM para estimadores de costos

Al ser una base demasiado detallada de datos e información se puede guardar costos individuales a cada componente del edificio, obteniendo una totalización del proyecto. Esto facilita el trabajo de los diferentes departamentos de costos que, ayudados con su experiencia y capacitación, permite a BIM servirles como una herramienta de gran nivel. En base a ello pueden utilizar el modelo para solicitar a los diseñadores que lo revisen en conjunto, dado el caso de presentarse alguna variación excesiva entre sus números y los del modelo, garantizando así una estimación y un plan precisos (López, 2016).

BIM para directores de proyecto

De acuerdo a un informe de (Dodge Data & Analytics, 2015), lograr disminuir considerablemente el valor del proyecto final y del cronograma en general, es una de las múltiples ventajas que los gerentes de proyecto han encontrado en BIM, obteniendo finalmente un retorno de la inversión.

BIM para subcontratistas

Son quienes han experimentado los mayores beneficios de BIM, similares a los gerentes de proyecto, especialmente en la gestión de órdenes de cambio, debido a que los subcontratistas pueden adjuntar archivos BIM con órdenes de cambio mostrando su necesidad y a su vez, agregar, cambiar, o eliminar variantes que se van actualizando en el proyecto (López, 2016).

Campos del BIM

En la industria de la edificación se integran diferentes representantes de este medio: proyectistas, constructores, proveedores de productos o servicios. Que entregan un gran número de datos como son: especificaciones técnicas, modelos, bienes de construcción, equipos y servicios especializados (Bimetriclab, 2016).

Al realizar una revisión de todos lo que intervienen, se puede agruparlos en tres círculos reconocibles que se presentan a continuación:

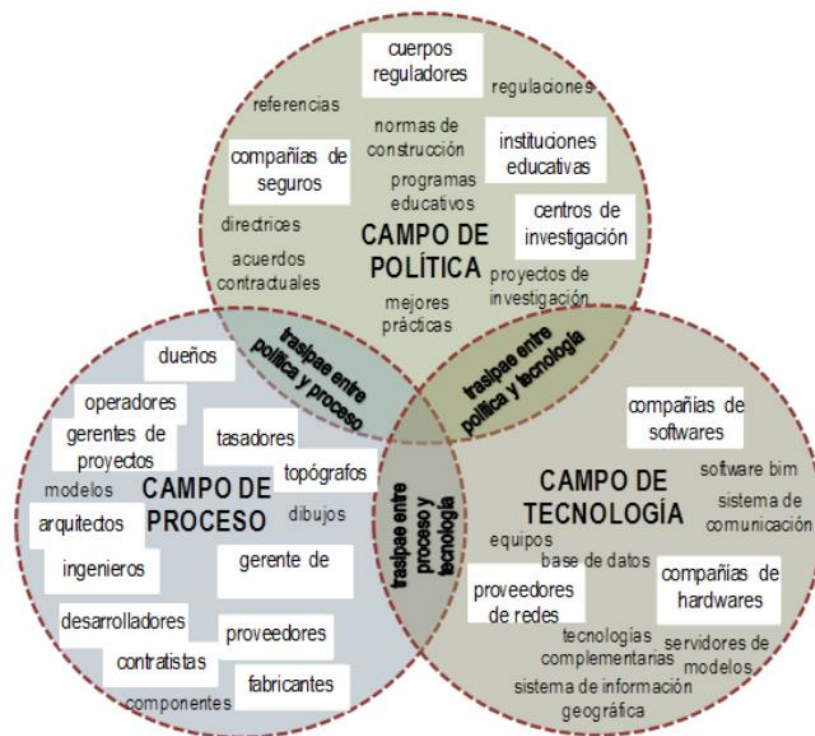
- El círculo política BIM integra a múltiples campos comprometidos con la obtención de contratos, directrices y normas. En estos está incluido los miembros que normalizan las edificaciones e instituciones de aprendizaje (Bimetriclab, 2016).
- El círculo procesos BIM involucra todos los campos comprometidos con la realización de obras civiles y otros bienes: puentes, escuelas, centros comerciales, etc. También

forman parte los contratistas, proyectistas y todo aquel envuelto en el fase de vida de la edificación (Bimetriclab, 2016).

- El círculo tecnología BIM reúne a los ingenieros en el ámbito de los sistemas, que aportan equipos para la realización y gestión de modelos de datos, esto incluye a los proveedores de productos o servicios que están activos relacionados a la industria de la construcción (Bimetriclab, 2016).

Figura 10

Campos BIM



Nota. Tomado de Implementación de BIM en Proyectos Inmobiliarios. Implementación de BIM En Proyectos Inmobiliarios, (p.2), <https://doi.org/10.19083/sinergia.2014.212>, por (Salinas & Ulloa, 2014).

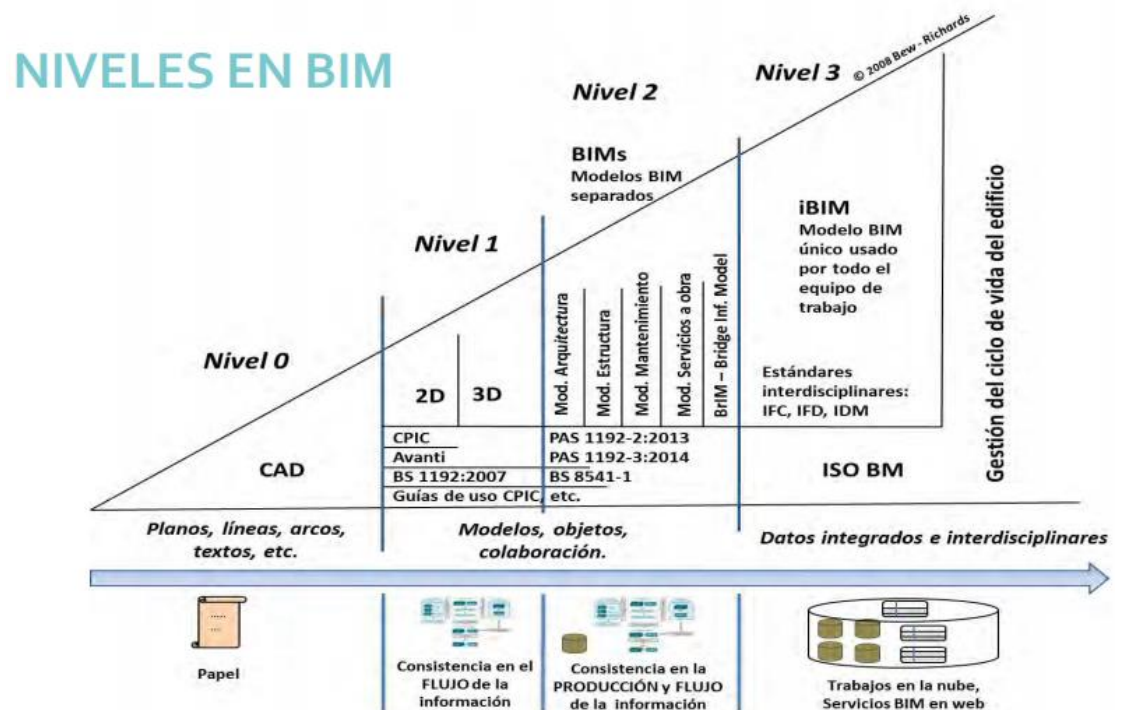
Niveles de madurez BIM

El modelado de datos de la obra no es algo nuevo, es un sistema que facilita a los profesionales de este sector diseñar, controlar, y tenerlos activos a lo largo de las distintas fases del proyecto, ayudando al intercambio de conocimientos entre los diferentes campos, desde la idea hasta la demolición. Los hitos progresivos y reconocibles que una organización debe alcanzar mediante la aplicación de la tecnología y el concepto BIM han sido ampliamente analizados por varios autores y son determinados en función de los niveles de colaboración, yendo desde 0 a 3 y más (Gámez et al., 2015).

El BewRichards BIM Maturity Model como se observa en la **Figura 11** es la representación con más uso en la industria, organizaciones y el Reino Unido:

Figura 11

BewRichards BIM Maturity Model



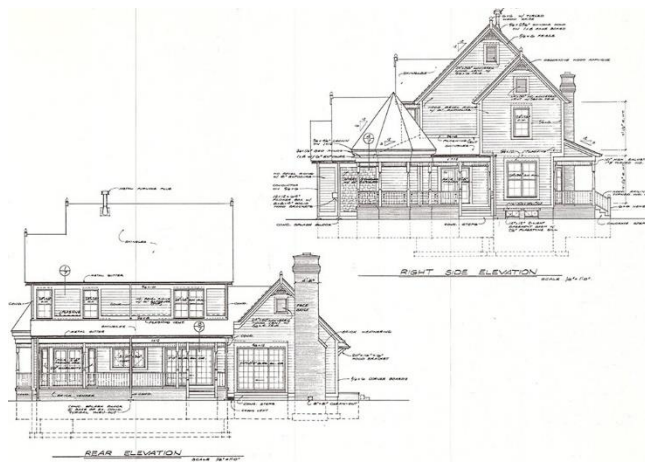
Nota. Tomado de *Preliminary building information modelling*, por (Enebuma et al., 2014).

Nivel 0 BIM

Suscita la colaboración cero y utiliza el dibujo CAD en sus dos dimensiones: líneas, arcos, textos, etc. Su término es la de obtener información a través del papel o impresiones de tinta. Es un nivel arcaico que en la actualidad se lo realiza raramente por profesionales de la construcción, debido a que todo cambio es realizado en papel o impreso (NBS, 2017).

Figura 12

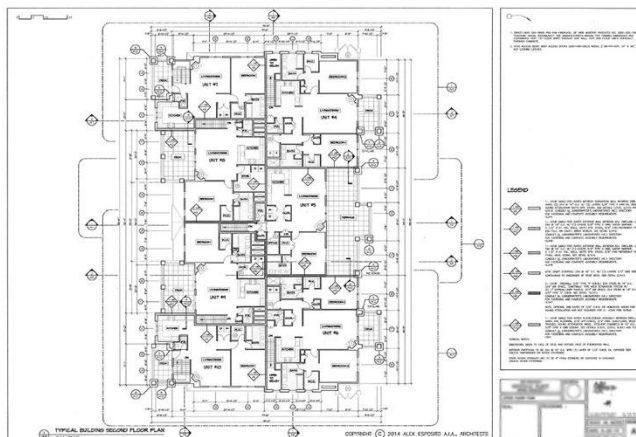
Nivel Cero de BIM



Nota. Tomado de BIM Maturity Levels Explained- Level 0 | 1 | 2 | 3. <https://www.united-bim.com/bim-maturity-levels-explained-level-0-1-2-3/>, por (UNITED BIM, 2018).

Nivel 1 de BIM

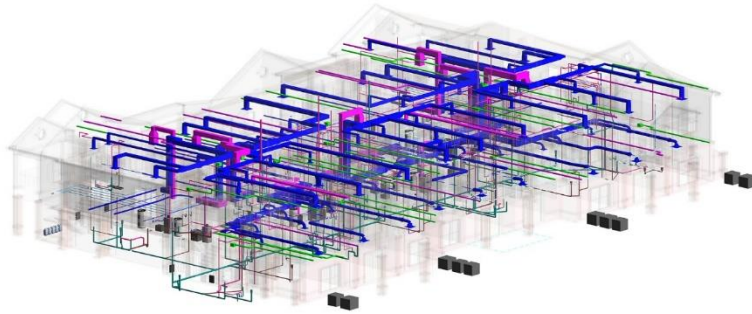
Comprende una combinación 2D para la realización de la redacción de la documentación e información y tres dimensiones para el trabajo conceptual. En el actual nivel la unión de diferentes ramas es baja, debido a que cada uno de los profesionales hace y administra sus propios datos. Los trabajos utilizan algunos formatos o estructuras de datos estándar (GOV.UK, 2017).

Figura 13**Nivel Uno de BIM**

Nota. Tomado de *BIM Maturity Levels Explained- Level 0 | 1 | 2 | 3*. <https://www.united-bim.com/bim-maturity-levels-explained-level-0-1-2-3/>, por (UNITED BIM, 2018).

Nivel 2 de BIM

En Reino Unido el BIM ya cuenta con una norma regulada para proyectos de índole social, debido a que incentiva la colaboración, otorgando a cada profesional su propio modelo CAD 3D. En el nivel dos se opta un recíproco cambio de datos lo más simple posible, permitiendo a las organizaciones involucradas poder combinar datos relevantes en un entorno BIM 3D gestionado. A través de las normas BS 1192: 2007 se trata los estándares CAD, mientras que por medio de un entorno de datos en común (CDE) se realiza el canje de información electrónica (GOV.UK, 2017).

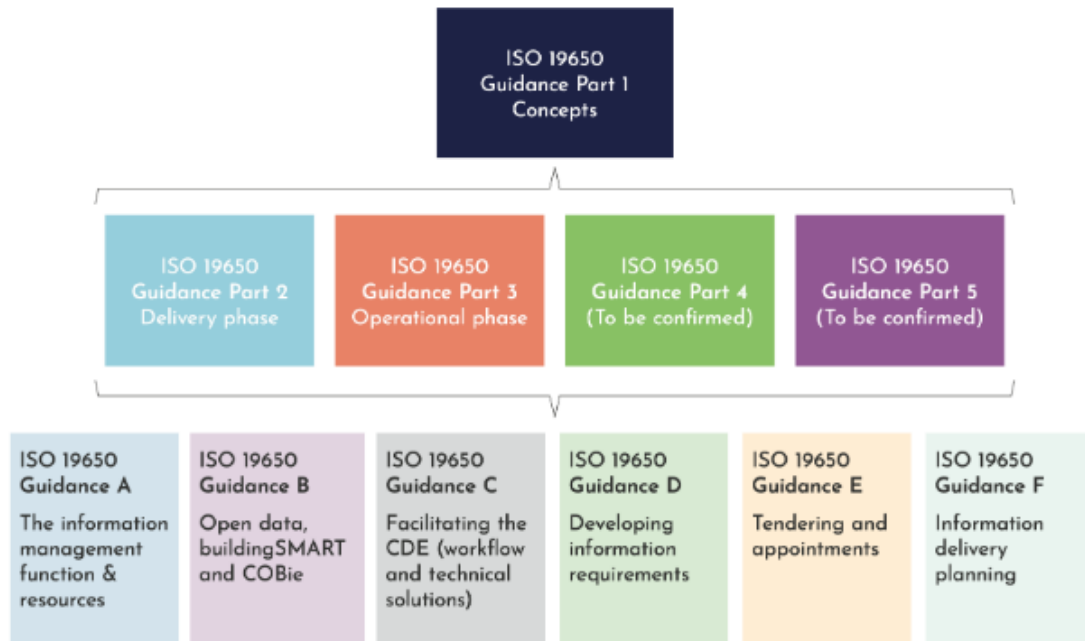
Figura 14*Nivel dos BIM*

Nota. Tomado de *BIM Maturity Levels Explained- Level 0 | 1 | 2 | 3*. <https://www.united-bim.com/bim-maturity-levels-explained-level-0-1-2-3/>, por (UNITED BIM, 2018).

British Standards Institution (BSI), Centre for Digital Built Britain (CDBB), y la Alianza BIM del Reino Unido se encuentran generando recursos representados en estándares, protocolos de información, orientación y resultados para ayudar a organizaciones, empresas y personas a comprender los principios para la implementación y aplicación del BIM **Figura 15**, la guía continúa desarrollándose (UK BIM Framework, 2017).

Figura 15

Estándares y Orientación UK-BIM



Nota. Tomado de UK BIM Framework – BIM Standards, Guides & Resources.

<https://ukbimframework.org/>. <https://ukbimframework.org/standards-guidance/>, por (UK BIM Framework, 2017).

Un resultado exitoso en la adopción de procesos BIM según la ISO 19650 tendría las siguientes características:

- Información (estándares, métodos, procesos, etc.) que requiere el cliente.
- Cantidad y calidad de la información definidas.
- No comprometer la salud y la seguridad.
- Transferencia de información eficiente y efectiva.
- Toma de decisiones de manera informada y oportuna.
- Reducción de desperdicios/reelaboración de actividades (UK BIM Framework, 2017).

Nivel 3 de BIM

Compromete a una gran ayuda e interoperabilidad entre múltiples especialidades mediante un entorno unido de diferentes campos en un software, que se lo obtiene de un repositorio matriz. Permite a todos los involucrados laborar en el mismo modelo instantáneamente, eliminando la posibilidad de generar contradicciones. Propone una integración alrededor de Industry Foundation Classes (IFC), un formato de datos para admitir el intercambio de un modelo a través de un servidor donde se aloja toda la información de la obra, permitiendo acceder y modificar mediante controles de seguridad y procesos (GOV.UK, 2017).

Figura 16

Nivel 3 BIM



Nota. Tomado Project Data. <https://retokommerling.com/wp-content/uploads/2018/12/FOTO-1-Fuente-Autodesk.jpg>, por (Autodesk, 2020).

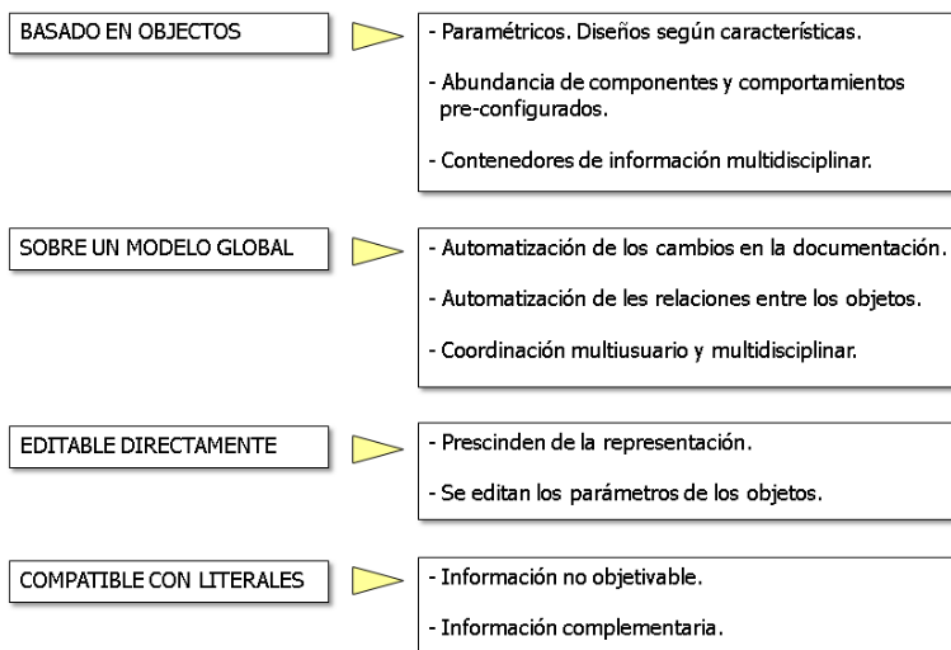
Modelado Paramétrico

Este modelo engloba variables diferentes, las cuales interactúan constantemente para poder examinar resultados y llegar a un escenario eficaz. La gran mayoría de parámetros se pueden observar de un modo gráfico. Aunque la visualización está acompañada por datos numéricos, para lograr un análisis mucho más efectivo (Velandia, 2014).

Esto se realiza a través de un interfaz que conceptualiza y que ayuda a su creación con gran multitud de parámetros ya preestablecidos con relación al elemento que se quiere crear. Una columna, por ejemplo, nos permite crear un modelo editable con mucha información del objeto y así no solo se representa gráficamente, si no de una manera más eficiente y completa (Bedolla et al., 2004).

Figura 17

BIM Paramétrico



Nota. Tomado de *Introducción a la Tecnología de BIM*, por (Bedolla et al., 2004).

Herramientas BIM

Estas herramientas utilizan principalmente objetos paramétricos que pueden ser de alguna doctrina alineada a la construcción y que sean idóneas para relacionarse entre sí, como también se logra obtener una variedad de tipos de datos, en las cuales se incluye un modelo gráfico, pero con referencias numéricas, existen muchos tipos de programas en el mercado pero no todos son catalogados como una herramienta servible para este objetivo (Bedolla et al., 2004).

Software REVIT

Este software es una herramienta de diseño enfocada que nos ayuda hacer modelado BIM para AEC, debido a que ayuda a los procesos de diseño de trabajos y de procesos. Lo que más destaca del sistema es su utilidad con objetos paramétricos. Además, Revit tiene su fundamentación en la metodología BIM con proyecto colaborativo de diferentes áreas (RF AECO, 2018).

Al incorporar BIM en un proyecto, este permite abarcar las fases de vida completo, comenzando inicialmente desde el concepto hasta su edificación y para lograr esto es necesario tener el apoyo de un software que pueda unir todas estas etapas y realizar diferentes trabajos, ahí es donde entra el software Revit (Nieto, 2016).

El tiempo para aprender de este software ha ido bajando conforme aumenta la demanda de este producto debido a que posee una gama de herramientas y proporciona una interfaz amigable y cómoda para el usuario, tal como lo demuestra un análisis presentado por Autodesk, ver **Figura 18**.

Figura 18

Tiempo de Aprendizaje Revit



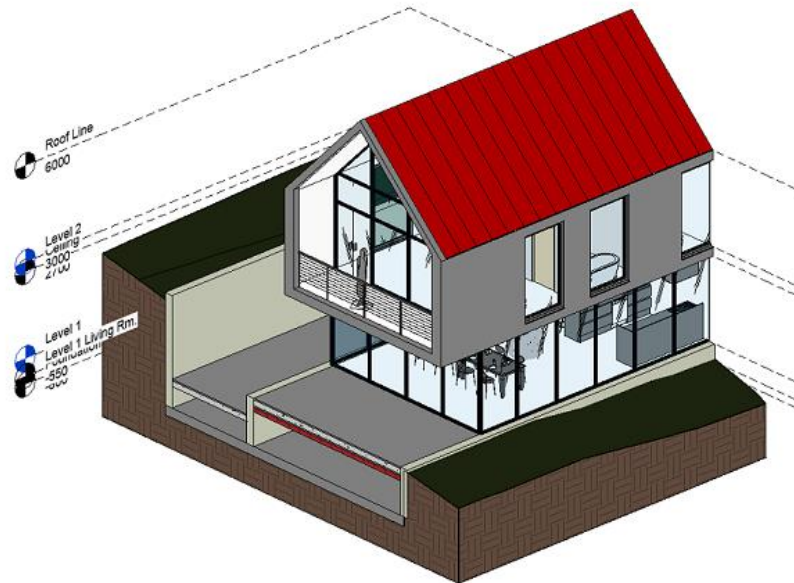
Nota. Tomado de Infografía BIM, Autodesk., por (Autodesk, 2017).

Revit Architecture

Pertenece al software REVIT fundamentalmente creada para la realización de diseños paramétricos de la rama de la arquitectura. Se hizo concretamente para poder usar la metodología BIM y concede a todo profesional de construcción y diseño poder plasmar una idea desde su concepción hasta el término del proyecto, obteniendo una coordinación apropiada de las diferentes especialidades involucradas (Nieto, 2016).

Figura 19

Revit Architecture Software



Nota. Tomado de Revit Architecture: Basics – Levels - Mark Calloway.

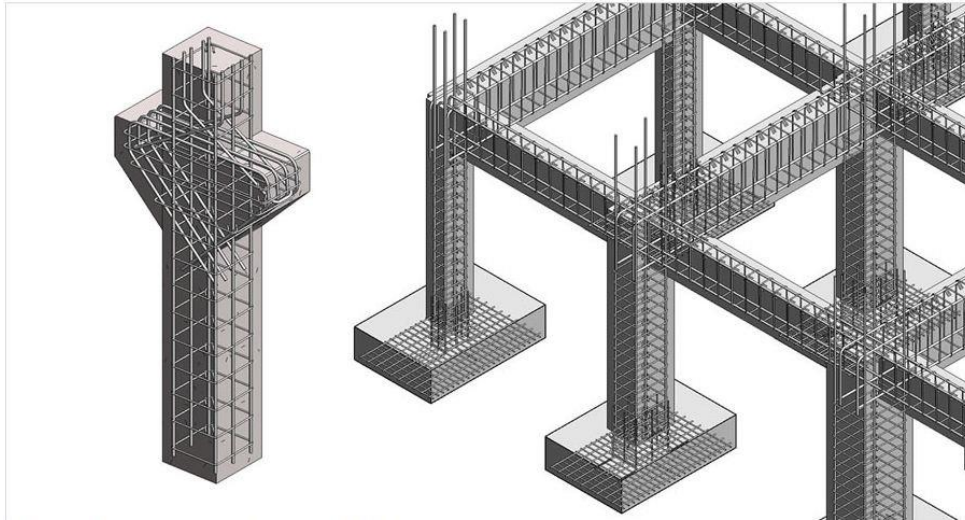
<http://www.markcalloway.com/2018/06/revit-architecture-basics-levels/>, por (Calloway, 2018).

Revit Structure

Pertenece al software REVIT especialmente creada para la ejecución de modelos paramétricos estructurales, su gran ayuda es que permite trazar muchos tipos estructurales del material específico del que este hecho la estructura, con mucho tino y a buen detalle. Esto tiene una ventaja muy grande, que es disminuir los lapsos de tiempos de modificación y generación de documentos, acelerar procesos de entrega de planos y, debido a que todos los elementos puestos aquí tiene su respectiva información se puede medir de una manera real los resúmenes y materiales (CADBIM3D, 2015).

Figura 20

Revit Structure Software



Nota. Tomado de *Revit Structure como herramienta de diseño - cadBIM3D.*

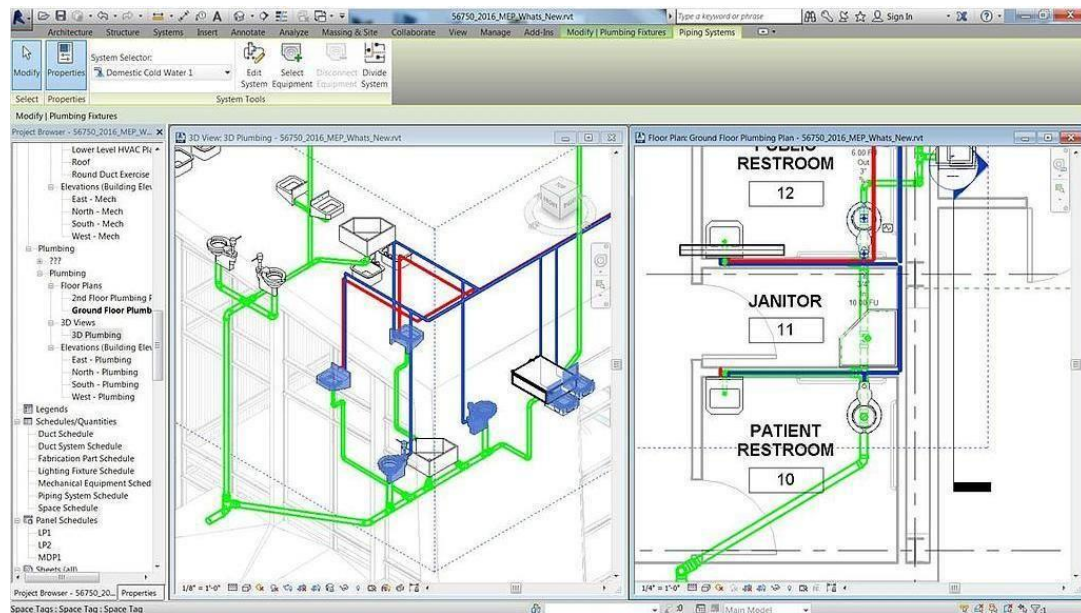
<https://www.cadbim3d.com/2015/08/revit-structure-como-herramienta-de-diseno.html>, por (CADBIM3D, 2015).

Revit Mep

Pertenece a la familia del software REVIT esencialmente diseñada para la realización de proyectos con objetos paramétricos hidráulicos, eléctricos y aparatos mecánicos, todo esto basado en la metodología BIM, con esta rama del Revit podremos realizar el modelado de instalaciones, plomería, electricidad o de aire acondicionado de una estructura, evitando errores comunes y costes inútiles en el proyecto, teniendo además un control total de los modelos (Nieto, 2016).

Figura 21

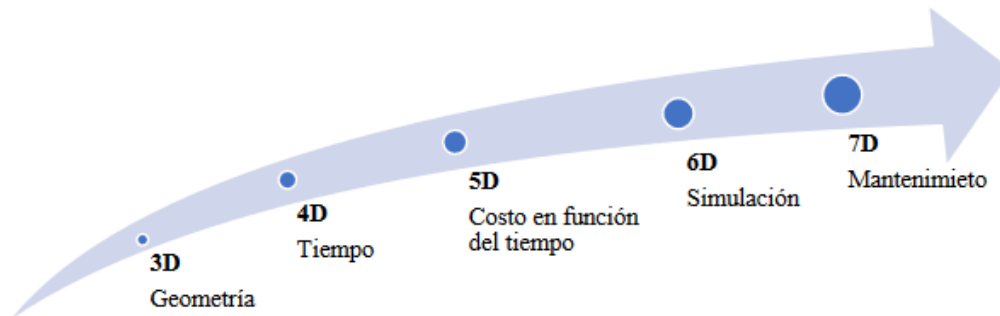
Revit Mep Software



Nota. Tomado de Manejo del software revit y su incidencia en el modelado de información para la construcción de edificaciones en la ciudad de ambato, provincia de tungurahua., por (Nieto, 2016).

Dimensiones BIM

En la actualidad la metodología BIM consta de cinco dimensiones como son: BIM 3D, BIM 4D, BIM 5D, BIM 6D, BIM 7D que todos forman parte de la importancia de las diferentes fases de un proyecto a continuación se describe cada una de ellas (Fernández et al., 2016).

Figura 22*Dimensiones BIM*

Nota. Tomado de *Análisis de interferencias en el proyecto inmobiliario “conjunto habitacional reina julia”*, mediante la metodología *bim*, por (Arequipa, 2020).

BIM 3D (Geometría)

Simboliza la unión de los diferentes campos alrededor de un proyecto con una representación que reúne (arquitectura, estructuras e instalaciones), en el que pueden llegar a ser creados por los distintos profesionales de cada rama, debido a que facilita ver las diferentes modificaciones que se realiza al modelo. La intención primordial de la metodología es construir de dos formas: la primera de manera virtual y la otra llevando el proyecto a la realidad. Como consecuencia se logra disminuir la cantidad de errores a la hora de construir (Fernández et al., 2016).

BIM 4D (Tiempo)

Este modelo se inicia en la integración de todos los trabajos de construcción ya establecidas o programadas, con un calendario de construcción a partir de un modelo generado que este nos permite crear una simulación visual de la sucesión constructiva de un proyecto, gracias a esto podremos definir fases del proyecto y su planificación temporal (Fernández et al., 2016).

BIM 5D (Costos en función del tiempo)

Este ayuda de una gran manera a los profesionales involucrados del proyecto debido a que mejora la obtención de cuantías de obra de una manera mucho más accesible, esto se logra gracias a que todos los datos ingresados cuentan con una base de información de diferentes parámetros que puede ser obtenido del objeto y así llevar un análisis, estimación y control de costos a medida que va avanzando el proyecto (Fernández et al., 2016).

BIM 6D (Simulación)

Ayuda mucho en los análisis de datos sostenibles para poder ser más viables a la hora de conseguir una certificación verde, todo este concepto se lo lleva desde tres maneras diferentes: ambiental, económico y social, se puede lograr obtener todos estos datos gracias a la información presentada por los materiales y así tener un diseño de buena calidad (Arequipa, 2020).

BIM 7D (Mantenimiento)

Está dimensión representante el mantenimiento del trabajo final, que trata de obtener un trabajo lo más similar posible a lo que está construido, esto nos ayudara de una gran manera a la administración de este, que puede tener diferentes posibilidades de distribución dentro de un solo modelo (Arequipa, 2020).

Nivel de desarrollo (LOD) BIM

Es un protocolo que contiene información referente a las guías básicas del BIM y ha sido introducido por el Instituto Americano de Arquitectos (AIA) en el documento AIA E202-2008. LOD se genera para minimizar el inconveniente de la información inadecuada en proyectos, al identificar las exigencias de contenido definidos en los elementos de un modelo BIM. La implementación de LOD se modifica en base a los requisitos de los distintos sectores de la

construcción, mostrando su capacidad y nivel de comprensión en el uso de BIM (Latiffi et al., 2015).

Toda la información relacionada a los elementos de la edificación, que contienen información contextual a derivado de la especificación del LOD. El concepto permite a los sectores de AEC especificar y articular modelos 3D confiables con un alto nivel de contenido y detalle. Además, se utiliza para solucionar múltiples problemas generados en la etapa de diseño, debido a que fácilmente se puede malinterpretar la exactitud de un elemento modelado.






Permite a los usuarios del modelo diferenciar la cantidad de información de los elementos del modelo para comprender la utilidad y limitaciones del mismo, actúa además como una estandarización, asegurando que el costo sea calculado en el momento correcto. No solo existe una mayor convicción en un proyecto en razón del avance de un LOD a otro, sino también mayores elementos que obviamente deben definirse (Wood et al., 2014).

Existen cinco niveles LOD que parten desde el conceptual hasta construcción y gestión de instalaciones que se puede observar en la **Figura 23**.

Figura 23

Niveles LOD

LEVEL of DEVELOPMENT

LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 400	LOD 500
				
Concept (Presentation)	Design Development	Documentation	Construction	Facilities Management
DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: DEPTH: HEIGHT: MANUFACTURER: Herman Miller, Inc. MODEL: Mirra LOD: 100	DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 700 DEPTH: 450 HEIGHT: 1100 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc. MODEL: Mirra LOD: 200	DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 700 DEPTH: 450 HEIGHT: 1100 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc. MODEL: Mirra LOD: 300	DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 685 DEPTH: 430 HEIGHT: 1085 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc. MODEL: Mirra LOD: 400	DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 685 DEPTH: 430 HEIGHT: 1085 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc. MODEL: Mirra PURCHASE DATE: 01/02/2013

Nota. Tomado LOD. En detalle (Práctico BIM), Tutoriales, consejos, productos e información sobre todo lo relacionado con Revit / BIM. <http://therevitkid.blogspot.com/2013/02/lod-in-detail-practical-bim.html>, por (Kid, 2020).

LOD puede ser utilizado para estimar costos de la estructura durante la fase de diseño mediante una variación en la base de datos de costos para reflejar los distintos niveles de desarrollo de un modelo BIM. Existe una mayor exactitud en un diseño a medida que se pasa de un LOD a otro, por lo que obviamente existirán una gran cantidad de elementos a definirse.

A continuación, se observa en la **Tabla 1** las capacidades de programación de Revit para la estimación de costos en base a los Material Take-Off (MTO), permitiendo así la extracción de la siguiente información a través de horarios y su aplicabilidad en LOD (Wood et al., 2014).

Tabla 1*Capacidades de Programación de Revit*

Horario de Revit	Información extraída	Aplicable a LOD
Horario de piso masivo	Área bruta del piso del edificio	100
Despegue multicategoría	Número de elementos diferentes	200 y 300
Programa de armazón estructural	Longitudes de encuadre	200 y 300
Cronograma de columna estructural	Longitudes de columna	200 y 300
Programación de barras de refuerzo	Masa de refuerzo	400
Programa de refuerzo de tela	Masa de refuerzo de tejido	400
Cronograma de modelo genérico	Masa post tensión	400
Cronograma de columna estructural	Número de cada tipo de conexión	400

Nota. Tomado de *Using LOD in structural cost estimation during Building design stage: Pilot study. Procedia Engineering, (p.85), por (Wood et al., 2014).*

A continuación se presentan algunas definiciones de acuerdo a (Imasgal, 2020):

LOD 100

Es un nivel en el que los objetos no están especificados de manera geométrica, sino de manera básica, se lo puede representar simbólica o genéricamente.

LOD 200

Es un nivel donde se adjunta información al objeto especificado de manera incompleta y donde se establece la posición y geometría del elemento.

LOD 300

Se describe detalladamente al objeto geoméricamente con información precisa, su posición, términos e información no gráfica.

- **LOD 350**
Semejante al LOD 300 permite ser un nivel para proyectos complejos y detección de interferencias en base a criterios estructurales, arquitectónicos y de instalaciones.

LOD 400

En este nivel el objeto geométrico se encuentra detallado y definido completamente.

LOD 500

A más de cumplir los requerimientos del LOD 400, este nivel posibilita la inclusión de información no gráfica. Tiene relación con la fase “As-Built”, definido por normativas y regulaciones pertinentes. Finalmente este nivel permitirá realizar una estimación de costos en las distintas etapas de diseño (Wood et al., 2014).

Variables de investigación***Variables dependientes***

Ahorro de tiempo, optimización de procesos, calidad y mayor rentabilidad en el proyecto.

Variables independientes

Metodología BIM

Normativa relacionada***Nacional***

- NEC-SE-VIVIENDA, Capítulo 6.8: Muros portantes livianos de acero (Steel Framming)
- NEC-SE-HM: Estructura de Hormigón Armado.
- NEC-SE-AC: Estructura de Acero.

Internacional

- AISI-2004b: Estructuras de acero conformado en frío.
- AISI S200-07: Disposiciones generales.

Metodología de desarrollo del proyecto

La metodología utilizada para este proyecto se basa en investigación documental con el enfoque cuantitativo-cualitativo, inicia con las generalidades y marco teórico del proyecto

obtenido mediante una metodología documental, en busca de diferentes fuentes bibliográficas, libros, artículos científicos y todo lo relacionado al tema propuesto.

Luego de ello se realizará un modelamiento de la disposición arquitectónica, instalaciones eléctricas e instalaciones hidrosanitarias de la vivienda “Multifamiliar 4D” del proyecto “Casa Para Todos” en un software de la familia BIM, donde aplicaremos el método sintético de la categoría cualitativa, metodología de evaluación con la que podemos realizar la modelación de elementos usando como estrategia un software de la familia BIM.

Después se efectuará el cálculo y diseño estructural de la edificación a través de programas computacionales de los sistemas constructivos Steel Frame, acero, hormigón armado y muros portantes que se obtiene mediante el método sintético de la categoría cuantitativo y cualitativa, metodología de simulación, cuya técnica se basa en análisis matemático, modelación de elementos estructurales, usando como estrategia programas computacionales.

Como siguiente paso se realizará el modelamiento estructural de los elementos que componen la edificación de los sistemas constructivos, donde aplicaremos el método sintético de la categoría cualitativa, metodología de evaluación y analítico con la que podemos realizar modelación, usando como estrategia un software computacional de la familia BIM.

A continuación, se efectúa el análisis comparativo de resultados de parámetros como: costos, estructura, tiempos, simulación del proceso constructivo, cantidad de materiales, entre otros, mediante un método comparativo de la categoría cuantitativa, metodología analítica a través de la técnica estadística en donde se usará como estrategia la el programa computacional Excel.

Capítulo III

Modelo arquitectónico e instalaciones

Vivienda de diseño

La edificación pertenece a la tipología denominada “MULTIFAMILIAR 4D” diseñado por la EMPRESA PÚBLICA ECUADOR ESTRATÉGICO y aprobada por el MIDUVI. Es una vivienda de dos pisos que contiene 4 departamentos unifamiliares con un área aproximada de 230 m².

Figura 24

Casa Modelo



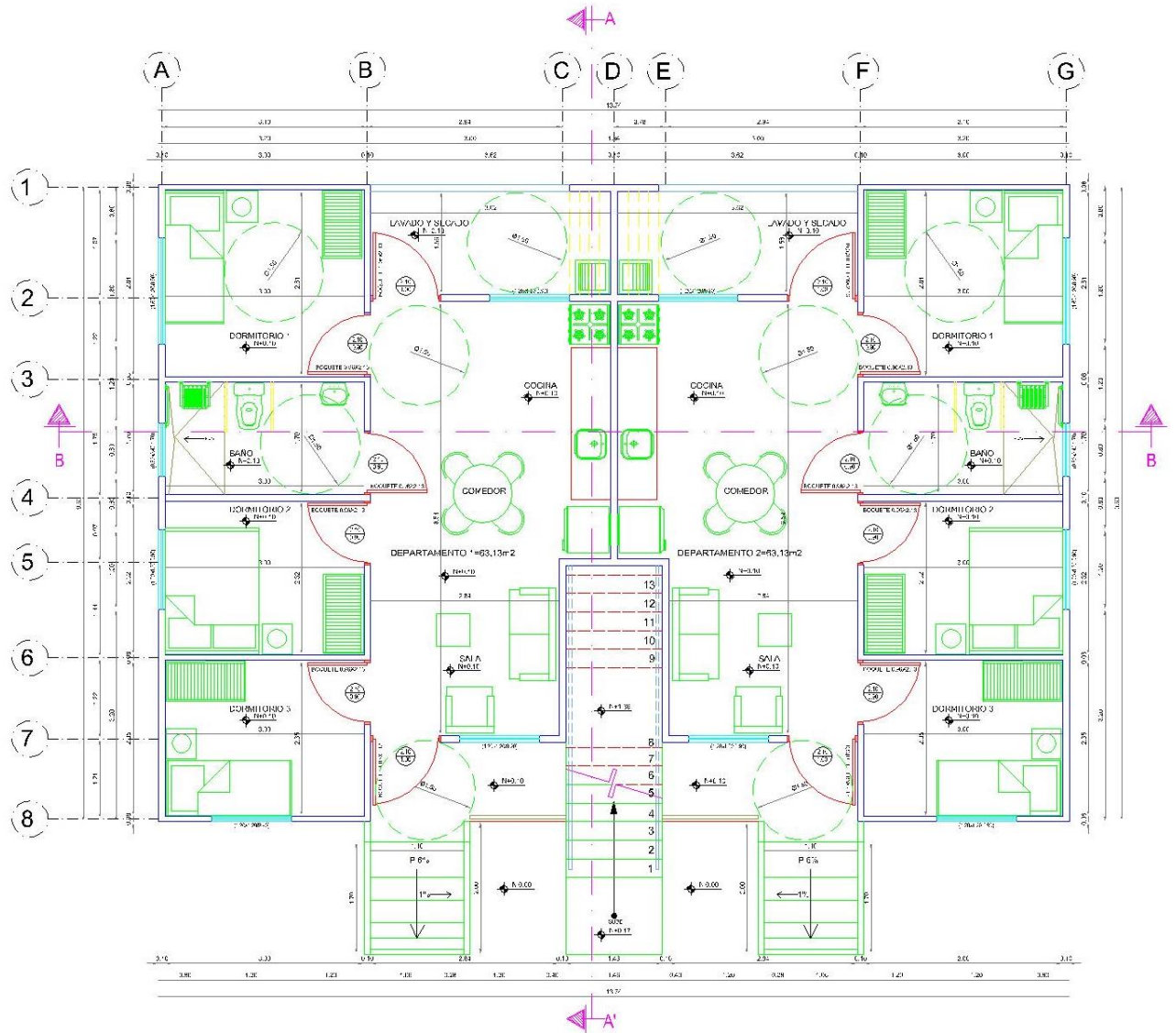
Nota. Tomado de *Biblioteca – Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda*. Plan Estratégico Institucional 2019-2021. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/biblioteca/>, por (MIDUVI, 2019).

Descripción y disposición arquitectónica

En las **Figuras 25 y 26** que se muestran a continuación se presenta los planos arquitectónicos en los que se realizará las adecuaciones necesarias de cada uno de los sistemas constructivos para esta tipología de vivienda.

Figura 25

Planta Baja

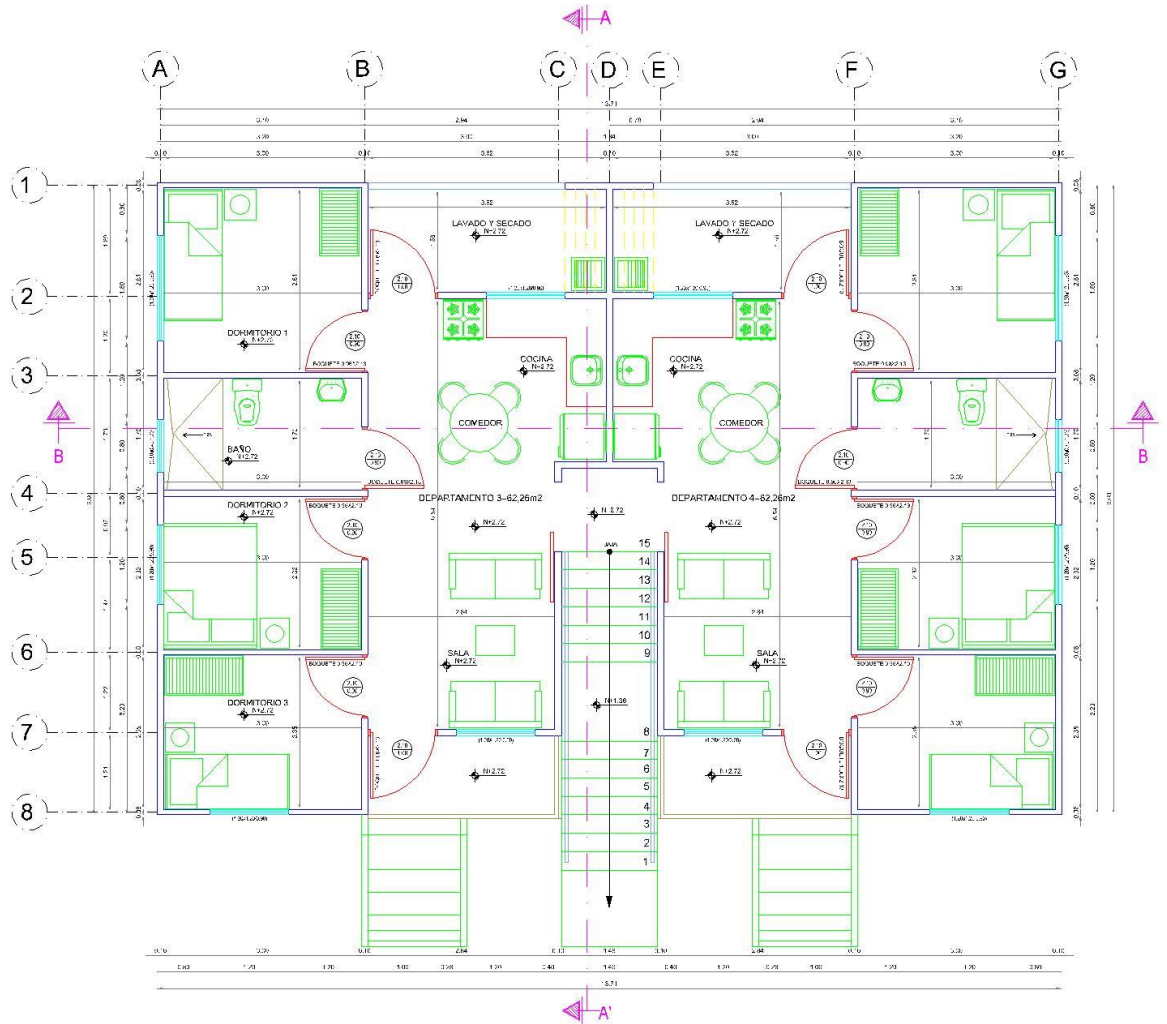


Nota. Tomado de Biblioteca – Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. Plan Estratégico

Institucional 2019-2021. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/biblioteca/>, por (MIDUVI, 2019).

Figura 26

Planta Alta



Nota. Tomado de Biblioteca – Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. Plan Estratégico Institucional 2019-2021. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/biblioteca/>, por (MIDUVI, 2019).

En cada uno de los sistemas constructivos a diseñarse existen variaciones respecto a las áreas útiles determinadas para cada una de las habitaciones, baños, sala, cocina y comedor de cada departamento, dependerán del ancho de paredes principalmente, por lo que la

distribución arquitectónica modelada en el software Revit para cada sistema se representa a continuación:

Figura 27

Disposición Arquitectónica



Además de la edificación, se realizó la modelación de la cubierta conformada por un conjunto de celosías, detalladas dentro de los planos de la vivienda, en la **Figura 28** se muestra una vista en conjunto de las mismas:

Figura 28*3D de la Estructura***Modelamiento MEP (Mecánica/Electricidad/Plomería)**

Revit MEP es una división de Autodesk Revit que dentro de sistema de información y modelaje de edificaciones permite además el diseño real de un proyecto y su documentación coordinada durante toda su elaboración de sistemas mecánicos, electricidad de alta y baja potencia, sistemas de plomería para aire acondicionado o tuberías de agua potable y otros sistemas especiales, ayudando además en el cálculo y cuantificación cada uno de estos.

Instalaciones eléctricas

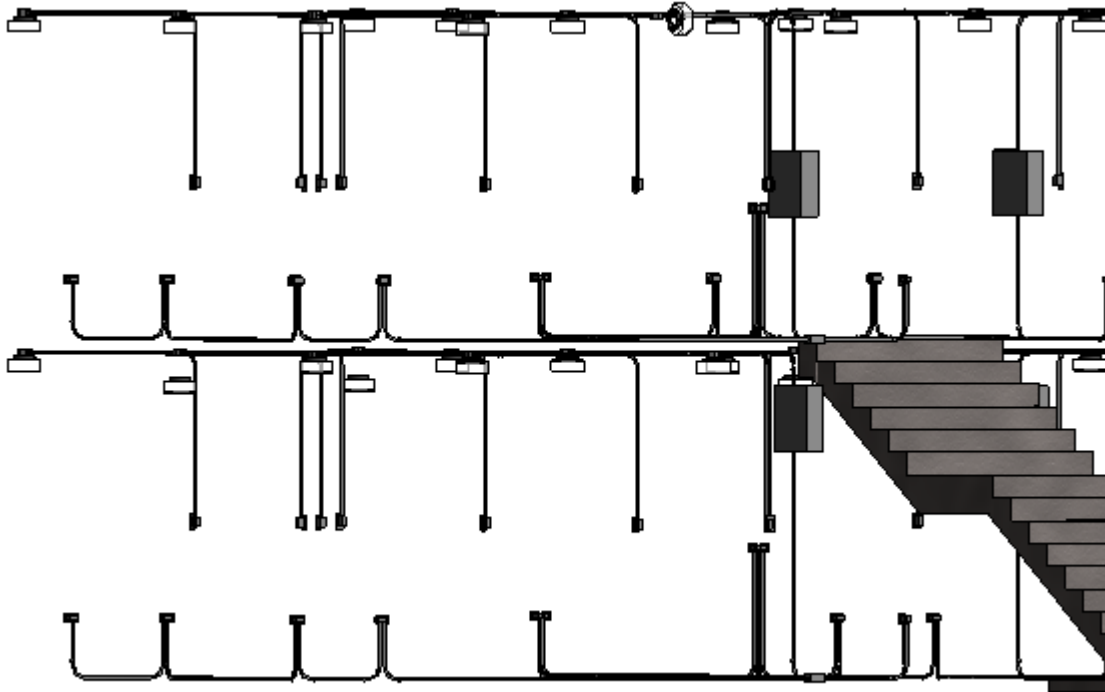
Al trabajar en el área de electricidad se utiliza la arquitectura para trabajar sobre ella mediante modelos de iluminación, configuración de espacios para el diseño de iluminación tanto en interiores como exteriores, creación de simbología, tableros de control y distribución.

El software Revit permite además la creación de diagramas unifilares, diagramas de alarmas contra incendio, tuberías, bandejas de cables, tableros y otros. Sin embargo, dentro del

proyecto se consideró únicamente los elementos que forman parte de los planos eléctricos y que se indica a continuación en la siguiente figura:

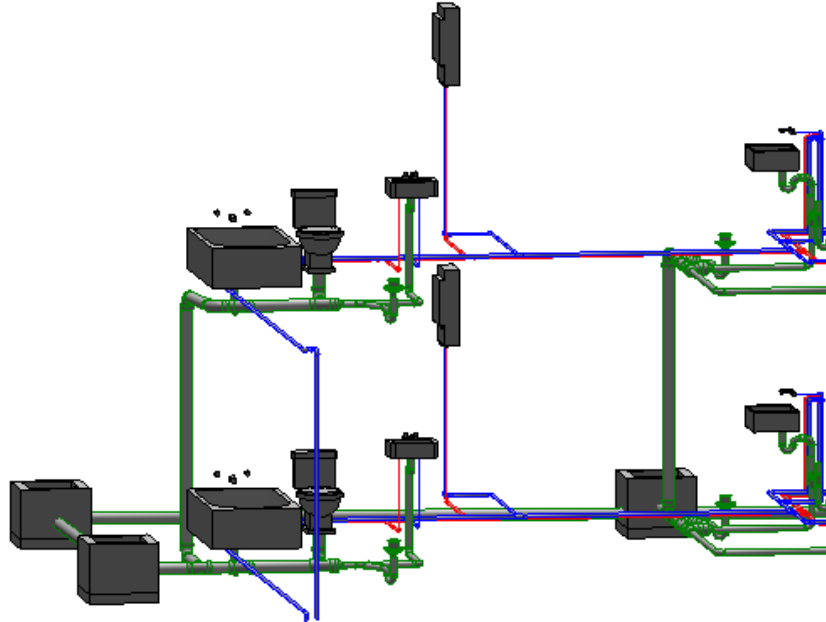
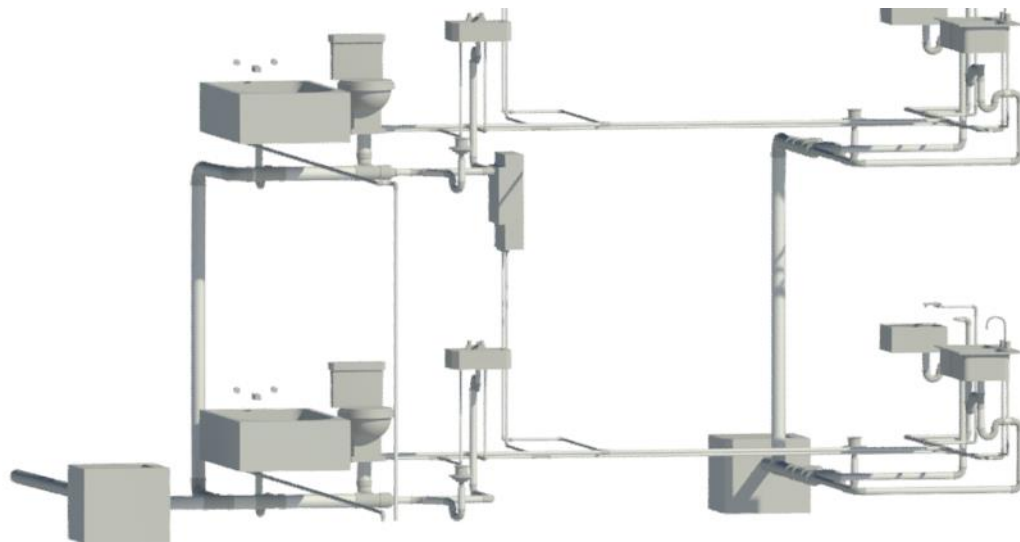
Figura 29

Detalle de Instalaciones Eléctricas



Instalaciones hidrosanitarias

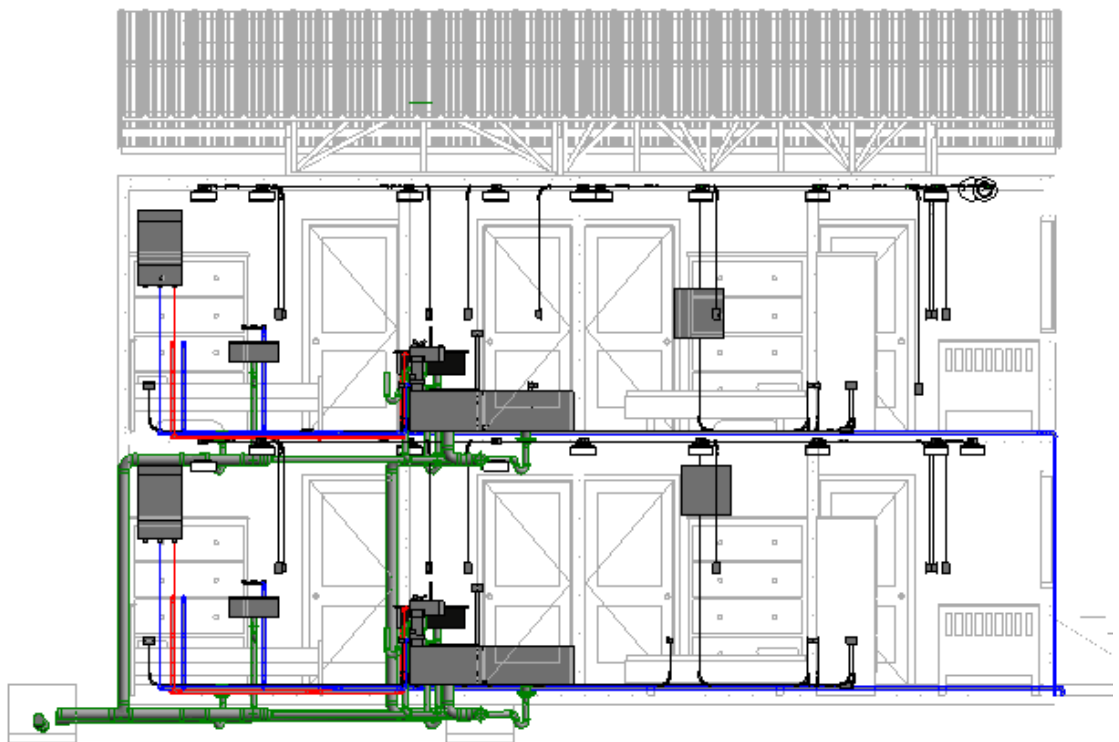
En el entorno de Revit se puede realizar el diseño de instalaciones de agua fría, agua caliente y aguas servidas a partir de la ubicación de los elementos de biblioteca como lavabo, sanitario, tina, bañera, fregadero, y otros, el software puede calcular la red, diámetros, conexiones y cuantificaciones en distintos materiales como cobre, PVC, hierro fundido y demás. El modelo realizado en el programa se basó en la información obtenida de los planos correspondientes y la distribución arquitectónica de los mismos, considerando además cada uno de los elementos que lo integran, pendientes, diámetros, accesorios y longitudes.

Figura 30*Detalle Instalaciones Sanitarias***Figura 31***Detalle Instalaciones Sanitarias (Renderizado)*

Debido a que el diseño del sistema eléctrico e hidrosanitario de la vivienda no puede ser modificado, se consideró mantener sus elementos y parámetros correspondientes para los sistemas constructivos analizados en este proyecto. A continuación, se presenta la **Figura 32** que contiene una vista en sección de los modelos presentados previamente:

Figura 32

Vista en Corte, Sistema Eléctrico, Agua Potable y Sanitario



Capítulo IV

Hormigón armado

En la presente sección se indica el procedimiento para el prediseño, modelamiento, análisis y diseño estructural del sistema hormigón armado mediante las consideraciones de la normativa NEC-SE-HM en conjunto al ACI-318. A continuación, se diseñará una vivienda de interés social de dos pisos, con losa inaccesible y una cubierta constituida por un sistema de cerchas metálicas y una altura de entrepiso de 2,725 metros.

Se determinó como sitio del proyecto la ciudad de Portoviejo, en la provincia de Manabí, siendo esta una de las ciudades gravemente afectadas durante el sismo del 16 de abril de 2016 y cuyo suelo requiere un constante análisis de sus características físicas y geológicas (Alcívar, 2019).

Parámetros y materiales

- $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$:
- $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$
- $E= 2153810,577 \text{ kg/cm}^2$
- Losa bidireccional alivianada

Pre-dimensionamiento de losa

Previamente se calcula la altura de losa bidireccional maciza mediante la siguiente fórmula establecida por el Código Ecuatoriano de la Construcción en su literal 9.5.3.1:

$$h_{min} = \frac{\ln (800 + 0,0712 * f_y)}{36000}$$

l_n : longitud del vano mayor en cm

f_y : límite de fluencia del acero en Kg/cm²

$$h_{min} = \frac{390 (800 + 0,0712 * 4200)}{36000}$$

$$h_{min} \text{ losa bidireccional maciza} = 11.9 \text{ cm}$$

En base a la siguiente **Tabla 2** de equivalencias para una losa bidireccional alivianada, la altura mínima será:

Tabla 2

Equivalencia Entre Losa Bidireccional Maciza y Alivianada

Alturas de losas Bidireccionales	
<14.5 h mín.	20 cm
14.6 h mín. – 18.5	25 cm
> 18.06 h mín.	30 cm

Nota. Tomado de *redimensionamiento de elementos de losas, vigas y columnas. En Temas de Hormigón Armado (p.38), por (Romo, 2008).*

$$h_{min} \text{ losa bidireccional alivianada} = 20,00 \text{ cm}$$

Análisis de cargas

Se establece los valores para carga muerta, sobrecarga y carga viva determinados mediante la normativa y a través de los valores hallados mediante cálculos de las secciones de los distintos elementos.

Carga viva

Seguendo la Norma Ecuatoriana de la Construcción (MIDUVI, 2015a) las cargas vivas a considerar en este proyecto para los cuatro sistemas constructivos son:

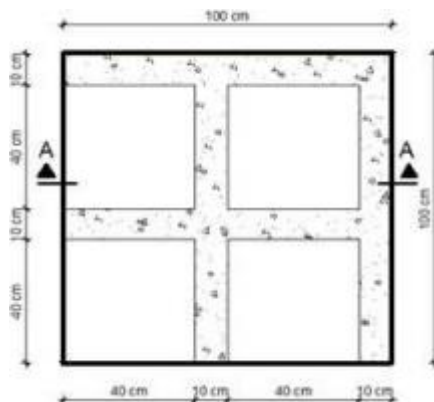
- 200 kg/m², utilizado para vivienda.
- 70 kg/m², utilizado en losas inaccesibles.

Carga muerta y sobrecarga

Se utiliza una muestra de un m² de losa alivianada que se puede observar en la Figura 27 para determinar los distintos pesos: losa, nervios y alivianamientos.

Figura 33

Muestra de una Losa Alivianada m²



Nota. Tomado de *redimensionamiento de elementos de losas, vigas y columnas. En Temas de Hormigón Armado (p.38), por (Romo, 2008).*

Además, se considera el valor del peso unitario para hormigón armado 2.4 Tn/m³ detallado en la Tabla 8 de la NEC-Cargas No Sísmicas, y el valor de 1 tn/m³ para alivianamientos de dimensiones:40x20x15 cm.

$$\text{Peso de carpeta de hormigón} = 0,05 \text{ m} * 2,4 \frac{\text{Tn}}{\text{m}^3} * 1 \text{ m}^2 = 0,096 \frac{\text{Tn}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Peso de hormigón en nervios} = 8 * 0,15 \text{ m} * 0,2 \text{ m} * 0,4 \text{ m} * 1,0 \frac{\text{Tn}}{\text{m}^3} = 0,096 \frac{\text{Tn}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Peso de alivianamientos} = 0,2 \text{ m} * 0,4 \text{ m} * 0,15 \text{ m} * 1,0 \frac{\text{Tn}}{\text{m}^3} * 8 \frac{\text{u}}{\text{m}^2} = 0,096 \frac{\text{Tn}}{\text{m}^2}$$

$$P_p \text{ de losa} = 0,346 \frac{\text{Tn}}{\text{m}^2}$$

Inicialmente para determinar la carga muerta se asume además los pesos de paredes, acabados, vigas y columnas de la siguiente manera:

$$\text{Peso de paredes} = 0,15 \frac{Tn}{m^2}$$

$$\text{Peso de acabados} = 0,12 \frac{Tn}{m^2}$$

$$\text{Peso de vigas} = 20\% * Pp \text{ losa} = 0,0692 \frac{Tn}{m^2}$$

$$\text{Peso de columnas} = 0,1 \frac{Tn}{m^2}$$

Se determina la carga actuante sobre las vigas mediante la mayoración de las mismas, tomando en cuenta una carga viva de 200 kg/m²:

$$W = 1,2 * CM + 1,6 * CV$$

$$W = 1,2 * (Pp \text{ losa} + Pp \text{ paredes} + Pp \text{ acabados} + Pp \text{ vigas}) + 1,6 * CV$$

$$W = 1,2 * 0,685 \frac{Tn}{m^2} + 1,6 * 0,2 \frac{Tn}{m^2}$$

$$W = 1,142 \frac{Tn}{m^2}$$

Distribución de cargas

El diagrama de distribución de cargas que se muestra en la **Figura 34**, por tener una simetría similar en el modelo arquitectónico, nos permite simplificar y obtener seis casos:

Figura 34

Diagrama de Distribución de Carga N+2,725 m

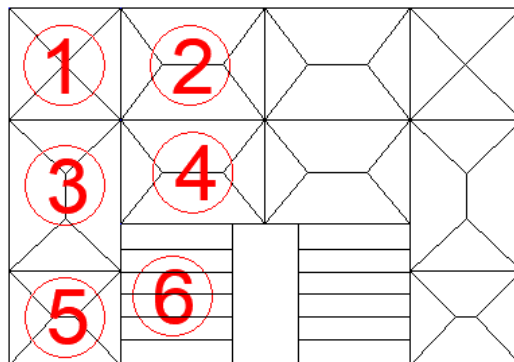
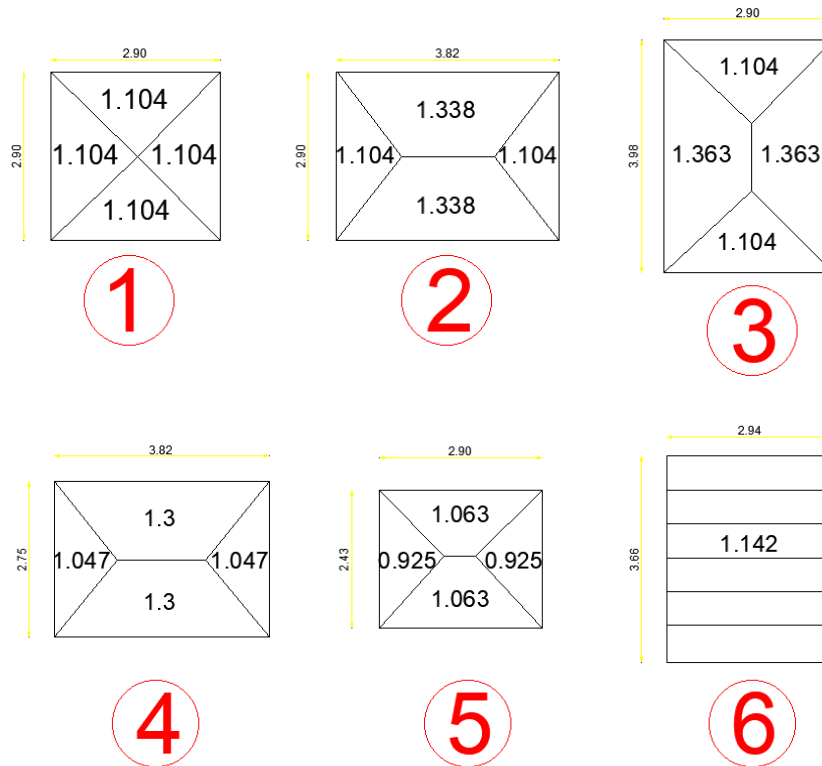


Figura 35

Casos de Distribución de Carga



En la **Figura 35**, se aprecia los factores de distribución de cargas para los diferentes casos. Esta distribución de carga permite obtener las cargas sobre las vigas, para posterior a ello mediante las fórmulas del ACI presentadas en la **Figura 36** obtener una estimación de los momentos que soportan las vigas. También cabe mencionar que existen casos especiales donde se utilizó un programa de cálculo.

En las siguientes tablas se refleja los momentos en cada uno de los ejes:

Figura 36

Momentos Para Vigas Continuas

Momento	Localización	Condición	M_u
Positivo	Vanos extremos	Extremo discontinuo monolítico con el apoyo	$w_u \ell_n^2 / 14$
		El extremo discontinuo no está restringido	$w_u \ell_n^2 / 11$
	Vanos interiores	Todos	$w_u \ell_n^2 / 16$
Negativo ⁽¹⁾	Cara interior de los apoyos exteriores	Miembros construidos monolíticamente con viga dintel de apoyo	$w_u \ell_n^2 / 24$
		Miembros construidos monolíticamente con columna como apoyo	$w_u \ell_n^2 / 16$
	Cara exterior del primer apoyo interior	Dos vanos	$w_u \ell_n^2 / 9$
		Más de dos vanos	$w_u \ell_n^2 / 10$
	Las demás caras de apoyos	Todas	$w_u \ell_n^2 / 11$
	Cara de todos los apoyos que cumplan (a) o (b)	(a) Losas con luces que no excedan de 3 m (b) Vigas en las cuales la relación entre la suma de las rigideces de las columnas y la rigidez de la viga exceda de 8 en cada extremo del vano	$w_u \ell_n^2 / 12$

Nota. Tomado de Building Code Requirements for Structural Concrete. In American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich, por (ACI Committee & International Organization for Standardization, 2008).

Tabla 3

Eje A-G

Fórmula ACI	Valor en T-M
$w_l^2 / 16$	0.580
$w_l^2 / 14$	0.663
$w_l^2 / 10$	1.613
$w_l^2 / 16$	1.349
$w_l^2 / 10$	1.400
$w_l^2 / 14$	0.390
$w_l^2 / 16$	0.341

Tabla 4*Eje B-F*

valor en T-M
1.7159
0.8556
4.4511
2.21
4.574
0.5522
1.255

Tabla 5*Eje D*

Fórmula ACI	Valor en T-M
wl2/16	1.161
wl2/14	1.326
wl2/10	1.762
wl2/14	1.131
wl2/16	0.990

Tabla 6*Eje C-E*

Fórmula ACI	Valor en T-M
wl2/16	0.531
wl2/14	0.607
wl2/9	0.523
wl2/14	0.070

Tabla 7*Eje 6*

Fórmula ACI	Valor en T-M
wl2/16	0.580
wl2/14	0.663
wl2/10	1.511
wl2/16	1.220
wl2/10	1.952
wl2/16	1.220
wl2/10	1.511
wl2/14	0.663
wl2/16	0.580

Tabla 8*Eje 5*

Fórmula ACI	Valor en T-M
wl2/16	1.127
wl2/14	1.288
wl2/10	2.978
wl2/16	2.406
wl2/10	3.849
wl2/16	2.406
wl2/10	2.978
wl2/14	1.288
wl2/16	1.127

Tabla 9*Eje 4*

Valor en T-M
1.109
0.5532
1.109
0.2534
1.109
0.5532
1.109

Tabla 10*Eje 3*

Fórmula ACI	Valor en T-M
wl2/8	2.27805875
wl2/12	1.518705833
wl2/8	2.27805875

Tabla 11*Eje 1*

Fórmula ACI	Valor en T-M
wl2/8	1.11747875
wl2/12	0.744985833
wl2/8	1.11747875

Pre- dimensionamiento de vigas

Utilizando los momentos máximos obtenidos de las vigas, se procede a realizar el cálculo para las dimensiones mínimas:

$$\text{Momento resistente} = \text{Momento último}/0,9$$

$$d = \sqrt{\frac{Mom. \acute{u}ltimo * 1.3}{Ru * base}}$$

Se considera también de las fórmulas la suma de 2.5 cm debido al recubrimiento, por lo que se debe adicionar este valor a “d” para hallar la altura “h”.

Utilizando los momentos máximos que se obtuvieron y considerando que el valor de Ru para un hormigón de f'c=210 kg/cm², de 397.14 T/m². Se presenta las dimensiones mínimas de vigas a continuación:

Tabla 12

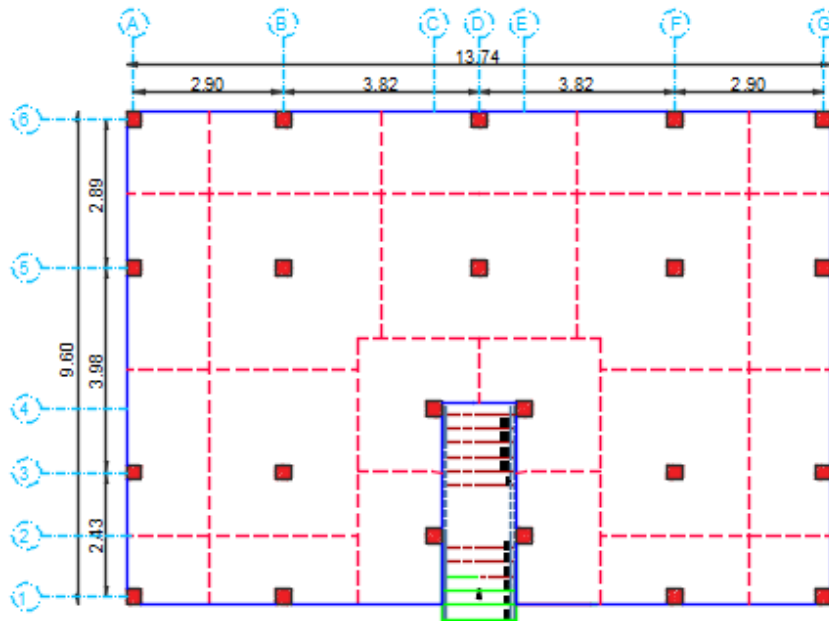
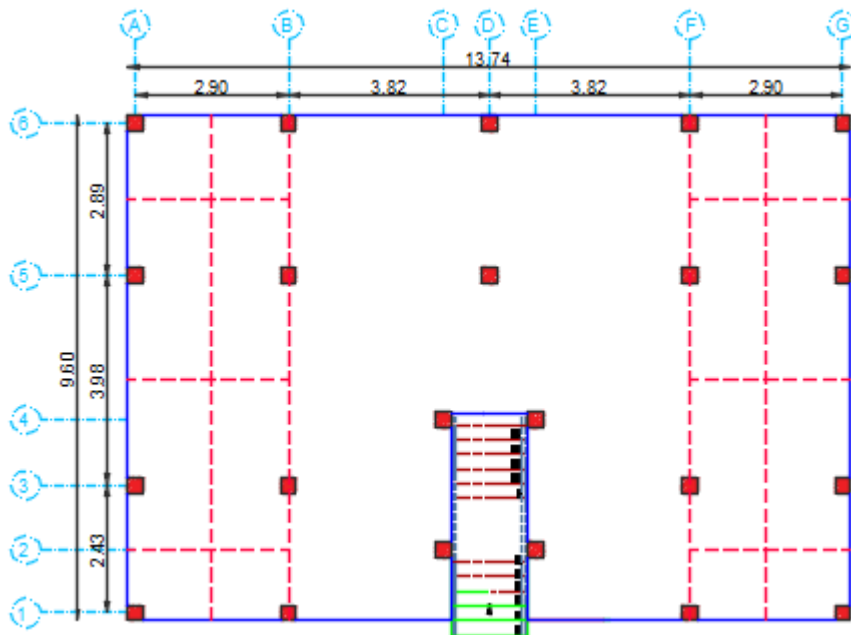
Tabla de Secciones Mínimas de Vigas en Hormigón Armado

Ejes	Momento último	Mr	base	d cm	altura calculada	base minima	altura
	T*m	T*m	cm	cm	cm	cm	cm
A-G	1.613	1.792	25	15.318	17.818	25	25
B-F	4.574	5.082	25	25.796	28.296	25	30
D	1.762	1.958	25	16.011	18.511	25	25
C-E	0.607	0.675	25	9.400	11.900	25	25
6	1.952	2.169	25	16.854	19.354	25	25
5	3.849	4.277	25	23.665	26.165	25	30
4	1.109	1.232	25	12.702	15.202	25	25
3	2.278	2.531	25	18.205	20.705	25	25
1	1.117	1.242	25	12.751	15.251	25	25

En relación a los momentos expuestos anteriormente, encontramos las medidas para altura y base de las vigas en los distintos ejes de la vivienda.

Áreas cooperantes

Para este apartado es necesario realizar el análisis de las áreas cooperantes en cada uno de los niveles y que se presentan en la siguiente figura a continuación:

Figura 37*Análisis de Área Cooperantes Nivel +2,72***Figura 38***Análisis de Área Cooperantes Nivel +5,21*

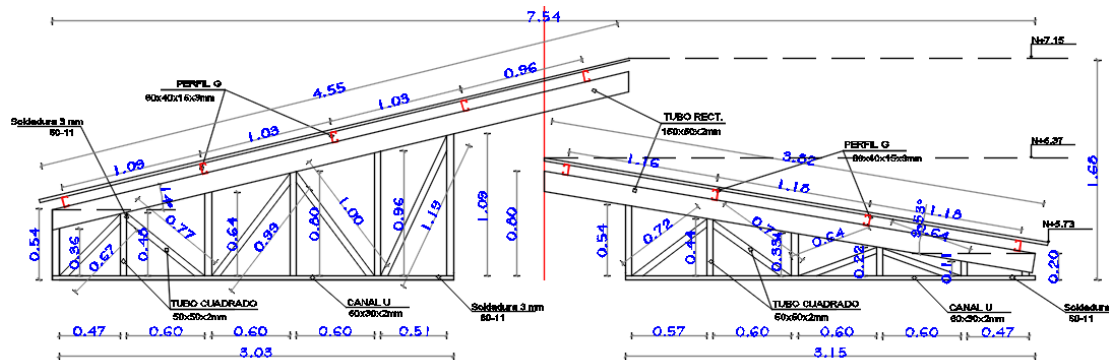
Peso de cubierta

Como se observa en la **Figura 38** correspondiente al Nivel +5,21 entre los ejes B y F se encuentra la cubierta de tipo metálica, para determinar su peso se realizó su modelamiento en el software de la familia Revit que permitió determinar este valor.

A continuación, en la **Figura 39 y Figura 40** se presentan las dimensiones y detalles de la cubierta en los planos CAD:

Figura 39

Detalle de Cubierta 1

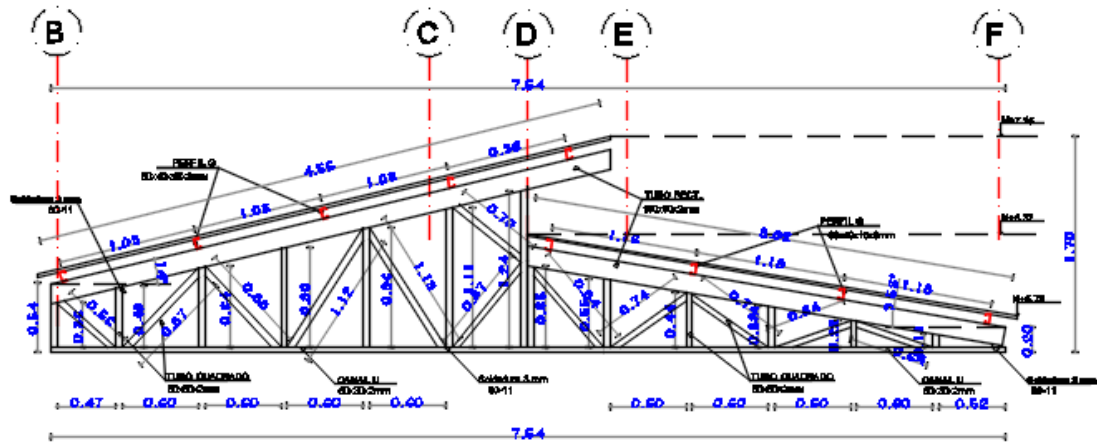


Nota. Tomado de *Biblioteca – Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. Plan Estratégico*

Institucional 2019-2021. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/biblioteca/>, por (MIDUVI, 2019).

Figura 40

Detalle de Cubierta 2



Nota. Tomado de *Biblioteca – Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. Plan Estratégico Institucional 2019-2021*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/biblioteca/>, por (MIDUVI, 2019).

En base a estas medidas y materiales se realizó el modelamiento de la cubierta que se presenta a continuación:

Figura 41

Modelo de Cubierta 1



Figura 42*Modelo de Cubierta 2*

A partir de este modelo se obtuvo la cuantificación de pesos presentado en la **Tabla 13** para cada uno de los elementos que componen la cubierta:

Tabla 13*Tabla del Peso de Cubierta*

Tipo	Dimensiones	Cantidad	Peso (kgf)
Perfil G	80x40x15x3 mm	9	330.9
Perfil U	60x30x2 mm	13	84.24
Perfil Rectan	150x50x2 mm	6	151.04
Perfil cuadra	50x50x2 mm	101	244.16
Cubierta galv	e=0,4 mm	34	433.47
TOTAL:			1243.81

Pre- dimensionamiento de columnas***Carga de servicio P (Toneladas)***

Para cada una de las cargas totales que afectan a las columnas se consideró el área cooperante, carga viva (0,2 Tn/m²), carga muerta (0,785 Tn/m²), peso de cubierta y número de pisos.

Cálculo del factor para A_g

Se determinó mediante la siguiente fórmula que relaciona los momentos flectores en una columna y las cargas axiales resistentes a través de un equilibrio balanceado entre el hormigón y el acero de refuerzo. Siendo f_{may} el porcentaje de mayoración debido a la acción sísmica (30%).

$$A_g = \frac{1.5 * P * f_{may}}{0.476 * f'c} * 1000$$

$$A_g = \frac{1.5 * P * 1.3}{0.476 * 210} * 1000$$

$$A_g = 19.507 P$$

$$A_g = 20 P$$

Tabla 14

Tabla Para las Secciones Mínimas de Columnas

Ubicación	Área cooperante	Carga P(Ton)	$A_g=20P$	Dimensiones (cm/cm)		
A6-G6	2,55	5,03	100,52	10	x	10
A5-G5	5,50	10,82	216,48	14	x	14
A3-G3	5,14	10,12	202,46	14	x	14
A1-G1	2,16	4,25	85,08	9	x	9
B6-F6	5,36	8,00	160,10	12	x	12
B5-F5	11,28	16,75	334,90	18	x	18
B3-F3	9,40	13,98	279,54	16	x	16
B1-F1	3,94	5,91	118,23	10	x	10
D6	6,09	6,09	121,77	11	x	11
D5	10,82	10,74	214,87	14	x	14
C4-E4	5,10	5,11	102,28	10	x	10
C2-E2	4,18	4,21	84,19	9	x	9

Se escoge las dimensiones mínimas para columnas de acuerdo a la normativa NEC-SE-HM y su Sección 4.3.1 que son de 30x30cm.

Diseño y análisis estructural

Para definir las secciones definitivas de las vigas, columnas y losas se realiza el modelamiento de la estructura tomando las consideraciones de la NEC-SE-DS.

Inercias agrietadas

Para el cálculo de las rigideces y derivas máximas es necesario utilizar los valores de inercias agrietadas detallada en la sección 6.1.6 de la NEC-SE-DS:

- 0.5 I_g para vigas, como se observa en la **Figura 43**
- 0.8 I_g para columnas, como se observa en la **Figura 44**

Figura 43

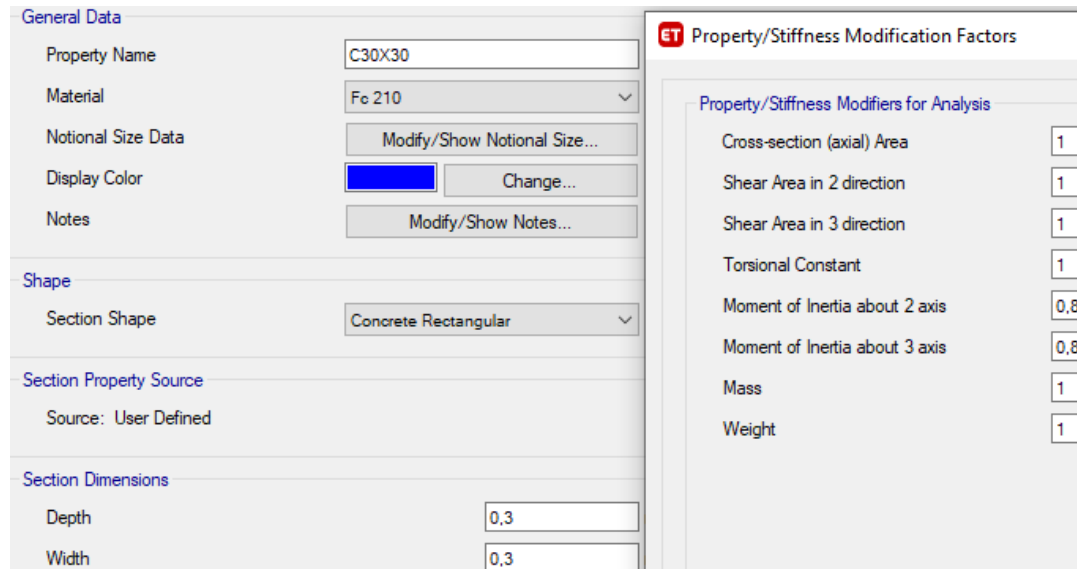
Coeficiente Para Vigas

The image shows a software interface with two main panels. The left panel is titled 'General Data' and contains the following fields:

- Property Name: V25X25
- Material: Fe 210
- Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...
- Display Color: [Blue box] Change...
- Notes: Modify/Show Notes...

The right panel is titled 'Property/Stiffness Modification Factors' and contains a table of modification factors:

Property/Stiffness Modifiers for Analysis	
Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0.5
Moment of Inertia about 3 axis	0.5
Mass	1
Weight	1

Figura 44*Coficiente Para Columnas*


General Data	
Property Name	C30X30
Material	Fc 210
Notional Size Data	Modify/Show Notional Size...
Display Color	Change...
Notes	Modify/Show Notes...
Shape	
Section Shape	Concrete Rectangular
Section Property Source	
Source:	User Defined
Section Dimensions	
Depth	0,3
Width	0,3

Property/Stiffness Modification Factors	
Property/Stiffness Modifiers for Analysis	
Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0,8
Moment of Inertia about 3 axis	0,8
Mass	1
Weight	1

Combinaciones de carga

En este proyecto se consideró las combinaciones de carga detalladas en la NEC-SE-CG en su sección 3.4.3 (a) para cada uno de los sistemas constructivos y que se detallan a continuación:

- 1.4 Dead
- 1.2 Dead + 1.6 Live + 0.5 maximum (Lr o S o R).
- 1.2 Dead + 1.6 maximum (Lr o S o R) + maximum (L o 0,5 W). granizo
- 1.2 Dead + 1.0 Wind + Live + 0.5 maximum (Lr o S o R).
- 1.2 Dead + 1.0 E + Live + 0.2 S.
- 0.9 Dead + 1.0 Wind.
- 0.9 Dead + 1.0 Earthquake.

Dimensiones de elementos estructurales

En el diseño de hormigón armado se utilizó un programa computacional para el análisis estructural y la obtención del modelo más óptimo. Finalmente se tiene las siguientes secciones

de vigas, mostradas en las **Figuras 45, 46, 47**. Las secciones de columnas se mantuvieron de 30x30 cm.

Figura 45

Secciones de Vigas, Piso 1

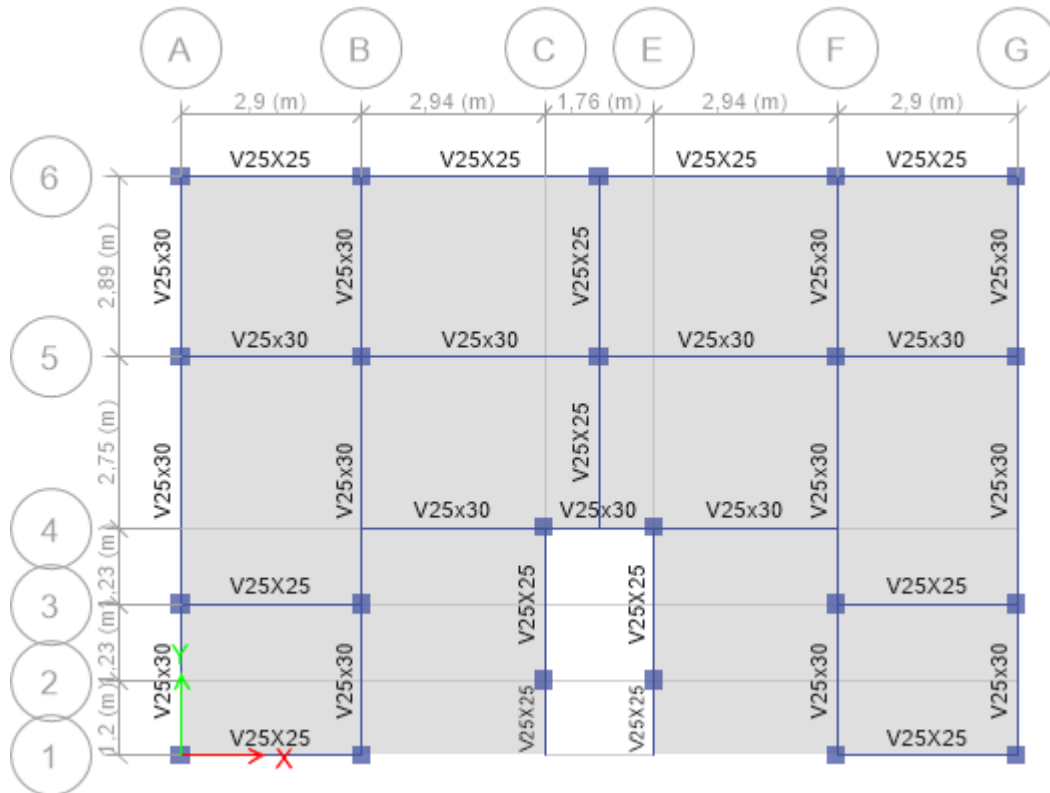


Figura 46

Secciones de Vigas, Piso 2

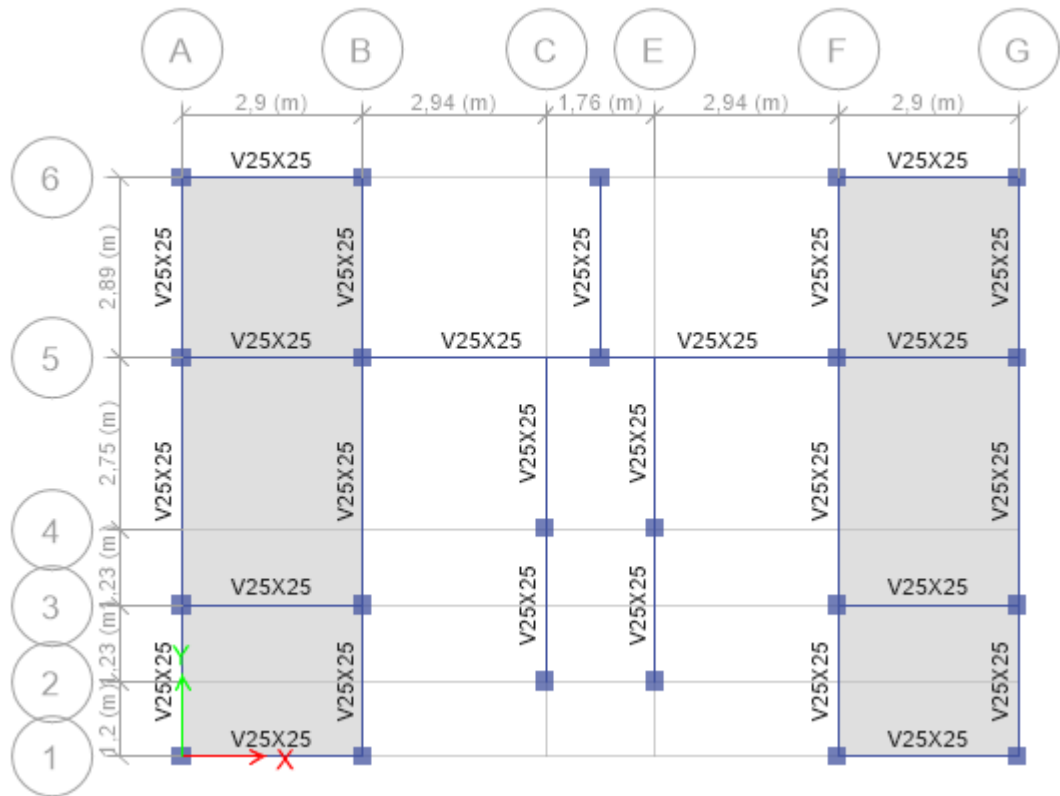
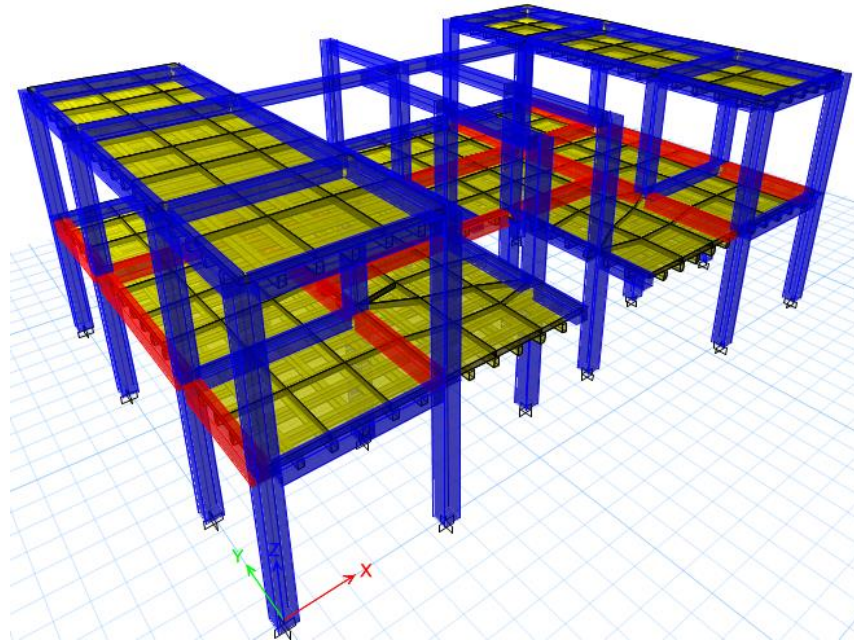


Figura 47*Vista 3D Modelo Estructural****Acciones sísmicas***

En el presente trabajo se consideró la ciudad de Portoviejo para el procedimiento de análisis sísmico debido a que los valores de V_{s30} van desde los 205 m/s hasta 332 m/s, debido a ello se establece un suelo predominante tipo D (Bonifaz & Haro, 2017).

Además, para calcular el cortante basal se determinó la aceleración máxima en roca esperada con un valor $Z=0.5$, los coeficientes de perfil de suelo F_a , F_d , F_s y demás parámetros necesarios para el cálculo se presentan en la **Tabla 15** a continuación:

$$T_a = C_t * h n^\alpha$$

$$C_t = 0,055 \quad ; \quad h n = 5,45 \quad ; \quad \alpha = 0,9$$

$$T_a = 0,055 * 5,45^{0,9}$$

$$\mathbf{T_a = 0,253 s}$$

$$T_o = 0,1 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_o = 0,1 * 1,4 * \frac{1,11}{1,12}$$

$$\mathbf{T_o = 0,139 s}$$

$$T_c = 0,55 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_c = 0,55 * 1,4 * \frac{1,11}{1,12}$$

$$\mathbf{T_c = 0,763 s}$$

$$T_o < T_a < T_c$$

$$S_a = n Z F_a$$

$$S_a = 1,8 * 0,5 * 1,12$$

$$\mathbf{S_a = 1,008 elástico}$$

$$S_a = n Z F_a / R$$

$$S_a = 1,008 / 8$$

$$\mathbf{S_a = 0,126 g inelástico}$$

Tabla 15

Acciones Sísmicas

Descripción	Factor	Valor	NEC-SE-DS	
			Capítulo	Página
Factor de importancia	I	1	4,1	39
Ubicación	ciudad Portoviejo			
Zona sísmica	z. sísmica	VI	3.1.1	27
Factor Z	Z	0,5	3.1.1	27
Perfil de suelo	tipo	D	3.2.1	29
Coefficiente de amplificación del suelo en la zona de período corto	Fa	1,12	3.2.2 a)	31
Coef. de las ordenadas del espectro elástico	Fd	1,11	3.2.2 b)	31
Comportamiento no-lineal del suelo	Fs		3.2.2 c)	32
Factor para el espectro de diseño elástico	r	1	3.3.1	34
Relación de amplificación espectral	n	1,8	3.3.1	34
Altura de la edificación (m)	h	5,45		
Coefficiente de tipo de edificación	Ct	0,055	6.3.3	62
Alfa	α	0,9	6.3.3	62
Período de vibración Método 1	Ta	0,253	6.3.3 a)	62
Período de vibración Método 2	1.3*Ta	0,329	6.3.3 b)	63
Período de vibración (ETABS)	T	0,284		
Período de vibración	Ta	0,329		
Período de vibración en el espectro sísmico elástico	Tc	0,763	3.3.1	34
Coefficiente relacionado con el período de vibración de la estructura T	k	1	6.3.5	67
Aceleración espectral	Sa	1.008	3.3.1	34
Coefficiente de reducción de respuesta estructu	R	8	6.3.4 b)	64-65
Irregularidad en planta	ϕ_p	0,9	5,2	48-52
Irregularidad en elevación	ϕ_e	1	5,2	48-52

$$V = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \phi_p * \phi_e} * W$$

$$V = \frac{1 * 1,008}{8 * 0,9 * 1} * W$$

$$V = 0,14 * 130,07 Tn$$

$$V = 18,2 Tn$$

Obtenido el valor del cortante basal se procede asignar el cortante por piso que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 16

Tabla Cálculo de Fuerzas Laterales Por Piso

Piso	Altura (m)	Hi acum.	Wi (tn)	Wi*hi	Wi*Hi/Σ	Ftotal	Vx acumulado
2	2,725	5,45	0,00	231,76	0,49	8,97	8,97
1	2,725	2,725	20,96	238,56	0,51	9,23	18,20
			20,96	470,32	1,00	18,20	

A continuación, en las **Figuras 48 y 49** se presenta la asignación del coeficiente de cortante basal a las cargas sísmicas tanto en sentido X como para el sentido Y que se fueron ingresados al programa computacional.

Figura 48

Asignación Coeficiente a Sismo X

Loads

Load	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load
SISMO_X	Seismic	0	User Coefficient
Dead	Dead	1	
Live	Live	0	
SISMO_X	Seismic	0	User Coefficient
SISMO_Y	Seismic	0	User Coefficient
SOBRÉCARGA	Super Dead	0	

Seismic Load Pattern - User Defined

Direction and Eccentricity		Factors	
<input checked="" type="checkbox"/> X Dir	<input type="checkbox"/> Y Dir	Base Shear Coefficient, C	0,14
<input type="checkbox"/> X Dir + Eccentricity	<input type="checkbox"/> Y Dir + Eccentricity	Building Height Exp., K	1

Figura 49

Asignación Coeficiente a Sismo Y

The screenshot shows two parts of a software interface. The top part is a table titled 'Loads' with columns: Load, Type, Self Weight Multiplier, and Auto Lateral Load. The bottom part is a settings panel titled 'Seismic Load Pattern - User Defined' with sub-sections 'Direction and Eccentricity' and 'Factors'.

Load	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load
SISMO_Y	Seismic	0	User Coefficient
Dead	Dead	1	
Live	Live	0	
SISMO_X	Seismic	0	User Coefficient
SISMO_Y	Seismic	0	User Coefficient
SOBRECARGA	Super Dead	0	

Seismic Load Pattern - User Defined

Direction and Eccentricity

X Dir Y Dir

X Dir + Eccentricity Y Dir + Eccentricity

Factors

Base Shear Coefficient, C: 0,14

Building Height Exp., K: 1

Finalmente, de acuerdo a lo establecido por la NEC-SE-DS en su Sección 6.2.2 b) se comprueba que el valor en la base del cortante dinámico es superior al 80% del cortante basal estático, como se puede observar en la **Figura 50** a continuación:

Figura 50

Cortante Basal

Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX tonf	FY tonf
SISMO_X	LinRespSpec	Max		14,6474	2,01E-05
SISMO_Y	LinRespSpec	Max		2,01E-05	14,9327

$$VsX > 80\% * V$$

$$14,64 Tn > 80\% * 18,2 Tn$$

$$14,64 Tn > 14,56 Tn \quad \text{OK}$$

$$V_{sY} > 80\% * V$$

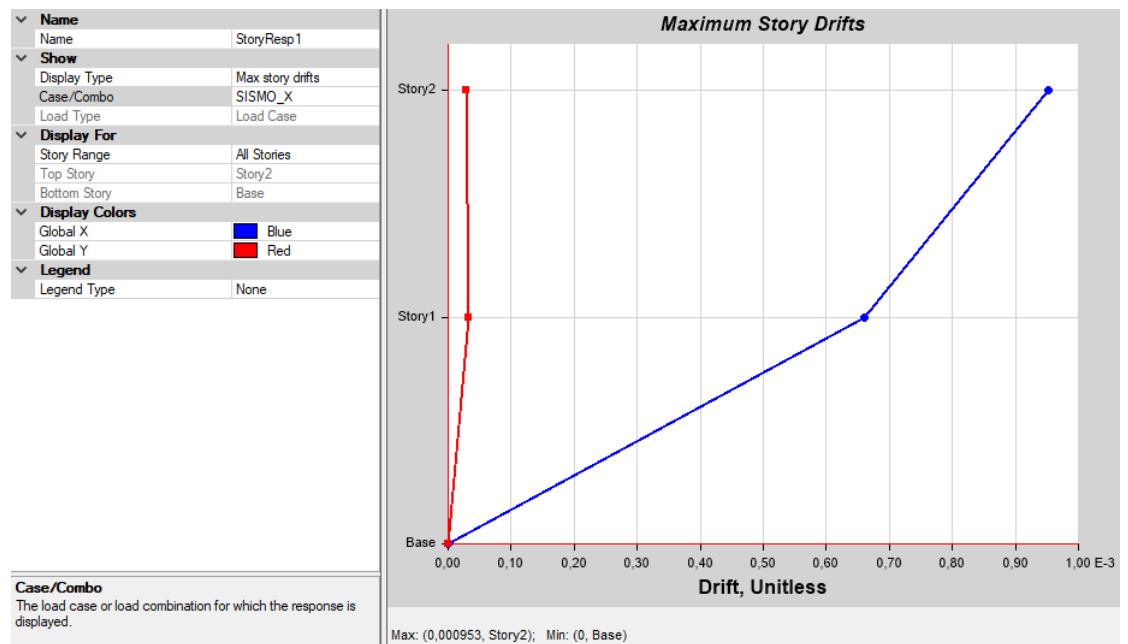
$$14,64 Tn > 80\% * 18,2 Tn$$

$$14,93 Tn > 14,56 Tn \quad OK$$

Derivas en hormigón armado

Figura 51

Deriva de Piso en Hormigón Armado Sx



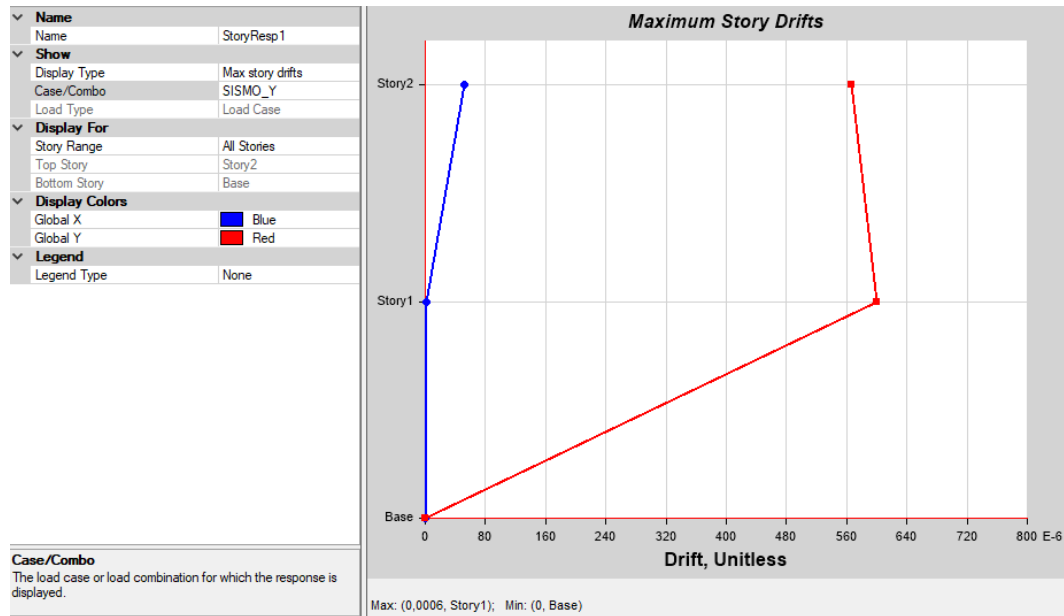
$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$$

$$\Delta_M = 0.75 * 8 * 0.000953 = 0.005718 * 100\% = 0.57\%$$

$$\Delta_M = 0.57\% < 2\% \quad ok$$

Figura 52

Deriva de Piso en Hormigón Armado Sy



$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$$

$$\Delta_M = 0.75 * 8 * 0.0006 = 0.0036 * 100\% = 0.36\%$$

$$\Delta_M = 0.36\% < 2\% \text{ ok}$$

Armadura de los elementos

A continuación, se presentan las tablas con los resúmenes de armadura para cada uno de los elementos definidas por el diseño y análisis estructural.

Tabla 17

Tabla Resumen Armado de Losas N+2.72

Qu (kg/ml)	Coef. ACI	qu (kg/ml)	Luz (m)	Momento	ACI	Mu (kg*cm)	k	p	p min	As (cm2)	As ϕ /nervio
1142	0,66	753,72	2,18	M-	wl2/24	14924,91	0,0078	0,0004	0,00333	1,5	1 ϕ 10 mm. @ nervio
1142	0,66	753,72	2,18	M+	wl2/14	25585,56	0,0134	0,0007	0,00333	1,5	
1142	0,66	753,72	2,955	M-	wl2/10	65815,02	0,0344	0,0018	0,00333	1,5	
1142	0,39	445,38	3,73	M+	wl2/16	38728,3	0,0202	0,001	0,00333	1,5	
1142	0,5	571	3,185	M-	wl2/10	57923,52	0,0303	0,0015	0,00333	1,5	
1142	0,5	571	2,64	M+	wl2/14	28426,01	0,0149	0,0007	0,00333	1,5	
1142	0,5	571	2,64	M-	wl2/24	16581,84	0,0087	0,0004	0,00333	1,5	
1142	0,5	571	2,65	M-	wl2/24	16707,7	0,0087	0,0004	0,00333	1,5	
1142	0,5	571	2,65	M+	wl2/14	28641,77	0,015	0,0008	0,00333	1,5	
1142	0,5	571	3,11	M-	wl2/10	55227,69	0,0289	0,0015	0,00333	1,5	
1142	0,33	376,86	3,57	M+	wl2/16	30019,02	0,0157	0,0008	0,00333	1,5	
1142	0,33	376,86	3,57	M-	wl2/11	43664,03	0,0228	0,0012	0,00333	1,5	
1142	0,33	376,86	3,57	M+	wl2/16	30019,02	0,0157	0,0008	0,00333	1,5	
1142	0,5	571	3,11	M-	wl2/10	55227,69	0,0289	0,0015	0,00333	1,5	
1142	0,5	571	2,65	M+	wl2/14	28641,77	0,015	0,0008	0,00333	1,5	
1142	0,5	571	2,65	M-	wl2/24	16707,7	0,0087	0,0004	0,00333	1,5	
1142	0,34	388,28	2,65	M-	wl2/24	11361,23	0,0059	0,0003	0,00333	1,5	
1142	0,34	388,28	2,65	M+	wl2/11	24788,15	0,013	0,0007	0,00333	1,5	
1142	0,71	810,82	2,67	M-	wl2/9	64225,05	0,0336	0,0017	0,00333	1,5	
1142	0,71	810,82	2,69	M+	wl2/11	53337,95	0,0279	0,0014	0,00333	1,5	
1142	0,71	810,82	2,69	M-	wl2/24	24446,56	0,0128	0,0006	0,00333	1,5	

Para la armadura de losa en el N+5.45 se verificó que las luces no varían respecto al primer nivel y que además existe la variación de 70 kg/m² para carga viva por lo que la armadura para este piso también se determinó en 1 ϕ 10 mm @ nervio y una armadura de temperatura de 90 mm²/m equivalente a una malla Armex tipo R-106.

Tabla 18

Tabla Resumen de Secciones y Armado de Vigas, Piso 1

Vigas	Dimensiones (cm)		Acero de refuerzo (+) (-)	Estribo
	b	h		
A-G	25	25	2 ϕ 12 mm	1 ϕ 10 mm @ 20cm
B-F	25	30	2 ϕ 14 mm	1 ϕ 10 mm @ 20cm
D	25	25	2 ϕ 12 mm	1 ϕ 10 mm @ 20cm
C-E	25	25	2 ϕ 12 mm	1 ϕ 10 mm @ 20cm
6	25	30	2 ϕ 14 mm	1 ϕ 10 mm @ 20cm
5	25	30	2 ϕ 14 mm	1 ϕ 10 mm @ 20cm
4	25	30	2 ϕ 14 mm	1 ϕ 10 mm @ 20cm
3	25	25	2 ϕ 12 mm	1 ϕ 10 mm @ 20cm
1	25	25	2 ϕ 12 mm	1 ϕ 10 mm @ 20cm

Se presenta en las **Tablas 18 y 19** un resumen de secciones y armado que será colocado en las vigas tanto para el primer piso como el segundo.

Tabla 19*Tabla Resumen de Secciones y Armado de Vigas, Piso 2*

Vigas	Dimensiones (cm)		Acero de refuerzo (+) (-)		Estribo
	b	h			
A-G	25	25	2 Ø 12mm	1	Ø 10 mm @ 20cm
B-F	25	25	2 Ø 12mm	1	Ø 10 mm @ 20cm
D	25	25	2 Ø 12mm	1	Ø 10 mm @ 20cm
C-E	25	25	2 Ø 12mm	1	Ø 10 mm @ 20cm
6	25	25	2 Ø 12mm	1	Ø 10 mm @ 20cm
5	25	25	2 Ø 12mm	1	Ø 10 mm @ 20cm
3	25	25	2 Ø 12mm	1	Ø 10 mm @ 20cm
1	25	25	2 Ø 12mm	1	Ø 10 mm @ 20cm

Tabla 20*Tabla Resumen de Secciones y Armado de Columnas*

Ubicación	(cmxcm)	Cuantía	As (cm ²)	As	Estribos	Espaciamiento
A6-G6	30 x 30	0,01	9,0	8Ø12mm	1EØ10mm	.@10 cm en nudos,@15cm en Zc
A5-G5	30 x 30	0,01	9,0	8Ø12mm	1EØ10mm	.@10 cm en nudos,@15cm en Zc
A3-G3	30 x 30	0,01	9,0	8Ø12mm	1EØ10mm	.@10 cm en nudos,@15cm en Zc
A1-G1	30 x 30	0,01	9,0	8Ø12mm	1EØ10mm	.@10 cm en nudos,@15cm en Zc
B6-F6	30 x 30	0,01	9,0	8Ø12mm	1EØ10mm	.@10 cm en nudos,@15cm en Zc
B5-F5	30 x 30	0,01	9,0	8Ø12mm	1EØ10mm	.@10 cm en nudos,@15cm en Zc
B3-F3	30 x 30	0,01	9,0	8Ø12mm	1EØ10mm	.@10 cm en nudos,@15cm en Zc
B1-F1	30 x 30	0,01	9,0	8Ø12mm	1EØ10mm	.@10 cm en nudos,@15cm en Zc
D6	30 x 30	0,01	9,0	8Ø12mm	1EØ10mm	.@10 cm en nudos,@15cm en Zc
D5	30 x 30	0,01	9,0	8Ø12mm	1EØ10mm	.@10 cm en nudos,@15cm en Zc
C4-E4	30 x 30	0,01	9,0	8Ø12mm	1EØ10mm	.@10 cm en nudos,@15cm en Zc
C2-E2	30 x 30	0,01	9,0	8Ø12mm	1EØ10mm	.@10 cm en nudos,@15cm en Zc

Se presenta en la **Tabla 21** un resumen de las secciones y el acero de refuerzo que tendrá cada zapata, Cálculo que se realizó mediante las fórmulas de área, punzonamiento y flexión.

Tabla 21

Tabla Resumen de Secciones y Armado de Zapatas

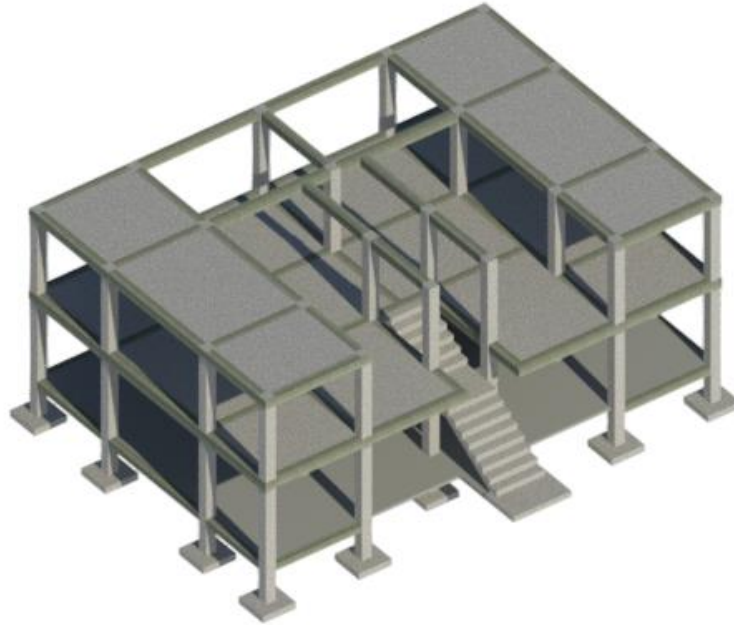
Columnas	Dimensión Cuadrada (m)	Altura (m)	Acero de refuerzo	Separación (cm)
A-G-6	1	0.2	1 Ø 12mm	25
B-F-6	1	0.2		25
D-6	1	0.2		25
A-G-5	1	0.2		25
B-F-5	1.3	0.2		25
D-5	1.2	0.2		25
C-E-4	1	0.2		25
A-G-3	1	0.2		25
B-F-3	1.2	0.2		25
C-E-2	1	0.2		25
A-G-1	1	0.2		25
B-F-1	1	0.2		25

Modelamiento BIM-hormigón armado

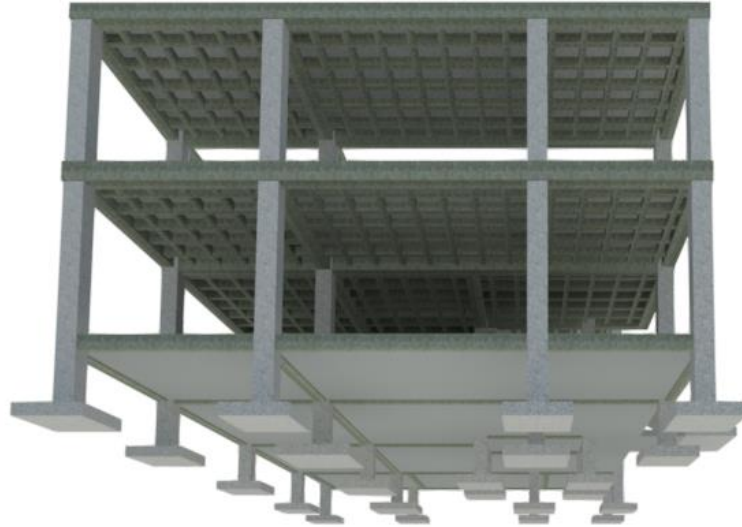
Una vez diseñados los elementos que constituyen el sistema de hormigón armado se procede a realizar el modelamiento en el software de la familia BIM, por lo que es necesario previamente vincular los planos arquitectónicos que se encuentran en formato .dwg dentro de la interfaz del programa con el fin de ubicar adecuadamente cada uno de los ejes y niveles de la edificación para una correcta distribución de zapatas, columnas, vigas, losas y sus demás componentes. En la siguiente figura se observa el modelo estructural de hormigón armado y todos sus elementos:

Figura 53

Modelo Estructural de Hormigón Armado



Dentro del modelamiento se consideró además detalles como alivianamientos de losa, cadenas de desplante, altura de cimentación, dimensiones de vigas, columnas y zapatas.

Figura 54*Detalle de Losas*

La interfaz del programa permite además la colocación de la armadura obtenida previamente por el cálculo estructural en cada uno de los elementos que constituyen la edificación y que se observa en las siguientes figuras:

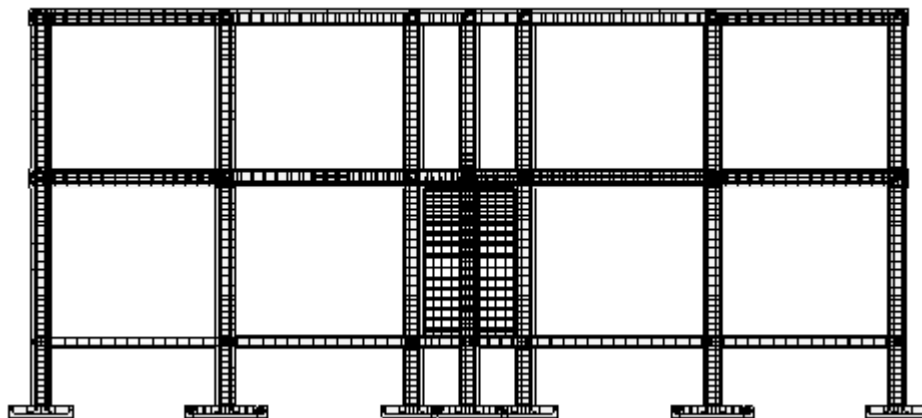
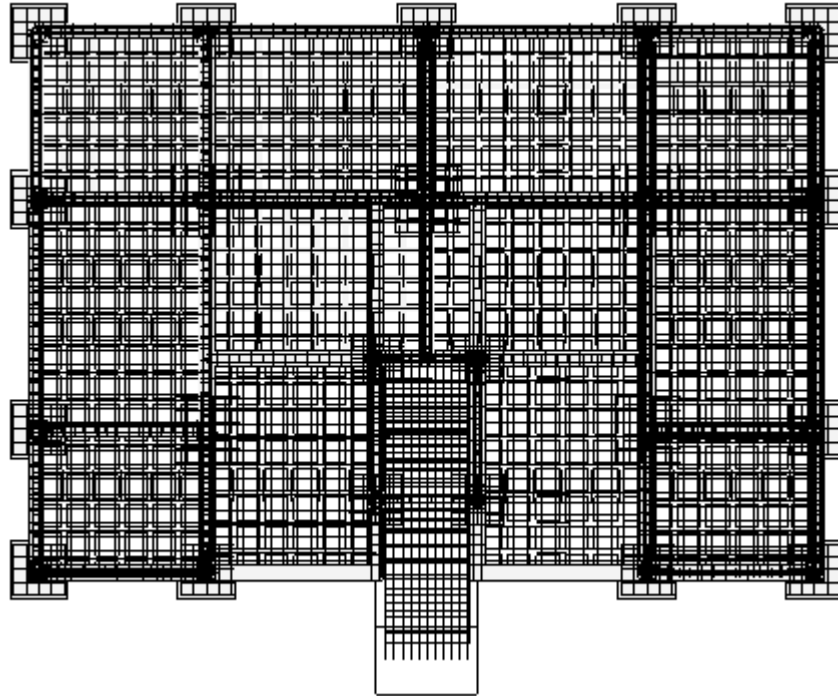
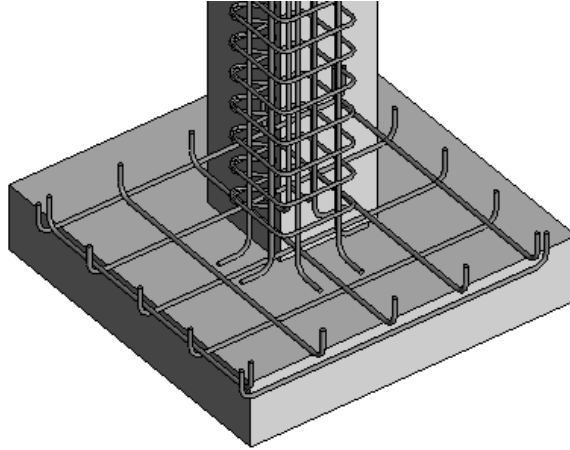
Figura 55*Detalle de Armadura en Pórtico*

Figura 56*Detalle de Armadura en Losa*

El nivel de detalle que permite lograr el programa, brinda una perspectiva real del proceso de construcción, armado y ubicación de elementos del proyecto, en la **Figura 57** se observa la distribución de la armadura a colocar en una de las zapatas y columnas de la vivienda:

Figura 57

Detalle de Armadura en Zapata Aislada



Posteriormente, se realiza la colocación de la cubierta y demás componentes que forman parte del modelo definitivo, sin embargo, detalles como acabados que son similares en todos los sistemas constructivos se obvian dentro de la siguiente figura con la finalidad que se pueda apreciar de mejor manera los elementos constitutivos de hormigón:

Figura 58

Modelo de Hormigón Armado



Capítulo V

Acero

En el modelamiento del sistema de acero se considera luces de mayor dimensión en comparación al sistema de hormigón armado por lo cual se reduce el número de ejes y columnas. Para la optimización del diseño, mediante la reducción de ejes en el sentido corto se contará con volados de 3,00m y 2,50m. Se utilizará losa tipo deck y paredes de mampostería de bloque.

Para el modelamiento de este sistema se tomó en cuenta una configuración que permita conservar las características arquitectónicas de cada planta, para finalmente mediante el análisis estructural establecer la ubicación adecuada de columnas, vigas, viguetas y otros elementos.

Parámetros y materiales

- Acero ASTM A36
- Límite de fluencia f_y : 4200 kg/cm²
- Losa tipo deck
- Esfuerzo de suelo: $\sigma_s = 10$ t/m²

Pre-dimensionamiento de losa

Se determinará el pre-dimensionamiento de este elemento en base a la carga sobreimpuesta en referencia al catálogo de losa tipo "steel deck", considerando además la máxima separación entre apoyos, con un valor de 2.43 m que se presenta en el volado frontal de la edificación.

Considerando que la carga sobreimpuesta está constituida por carga viva, cielo raso, acabados, entre otros se presenta el siguiente resumen de cargas impuestas:

$$\text{Peso de paredes} = 150 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Peso de acabados} = 120 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Carga viva} = 200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Carga sobrepuesta} = 470 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Tabla 22

Catálogo de Losa Tipo Steel Deck

CARGA SOBREPUESTA (KG/M ²)											
ESPESOR KUBELOSA	ESPESOR LOSA	SEPARACIÓN ENTRE APOYOS (m)									
(mm)	(cm)	1,60	1,80	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80	3,00	3,20	3,40
0,65	5	2.200	1.727	1.365	1.098	894	736	610	509	426	357
	6	2.200	1.979	1.565	1.258	1.025	844	700	584	489	410
	7	2.200	2.229	1.763	1.418	1.156	951	789	659	552	463
	8	2.200	2.478	1.960	1.557	1.285	1.058	878	733	614	516
0,76	5	2.200	2.046	1.624	1.311	1.074	889	742	624	527	446
	6	2.200	2.345	1.861	1.503	1.231	1.019	851	716	605	513
	7	2.200	2.641	2.097	1.694	1.388	1.149	960	807	682	579
	8	2.200	2.936	2.331	1.884	1.543	1.278	1.068	898	759	644
0,90	5	2.200	2.450	1.951	1.582	1.301	1.082	909	744	582	456
	6	2.200	2.808	2.236	1.813	1.492	1.241	1.043	883	751	643
	7	2.200	2.200	2.519	2.043	1.681	1.399	1.175	995	847	725
	8	2.200	2.200	2.801	2.272	1.869	1.556	1.307	1.107	943	807

Nota. Tomado de catálogo de Novalosa, por (Novalosa,2020).

Se selecciona una placa colaborante de 0.65 mm de espesor con 5.00 cm de hormigón de losa sobre la cresta y una separación de apoyos admisible de hasta 3m.

Carga muerta y sobrecarga

El peso propio de la placa colaborante está determinado por el fabricante en base a las siguientes figuras que se muestran a continuación:

Tabla 23

Peso de la Sección Simple

PROPIEDADES DE LA SECCIÓN SIMPLE					
Espesor (mm)	Peso (kg/m ²)	I+ (cm ⁴ /m)	S+ (cm ³ /m)	S- (cm ³ /m)	As (cm ² /m)
0.65	6.38	31.56	9.66	10.41	8.13
0.76	7.47	39.37	12.43	13.29	9.51
1.00	9.82	55.99	18.43	19.34	12.51

Nota. Tomado de catálogo de Novalosa, por (Novalosa,2020).

Tabla 24

Volumen de Hormigón en Losa Colaborante

VOLÚMEN DE HORMIGÓN /m2		
	Espesor de losa (cm)	Hormigón m3/m2
Hormigón sobre la cresta. Espesor de la losa.	5	0.06950
	6	0.07954
	7	0.08954
	8	0.09954
	10	0.11954
	12	0.13954

Nota. Tomado de catálogo de Kubiec, por (Kubiec,2020).

$$\text{Peso de hormigón en losa} = 0,0695 \frac{m^3}{m^2} \times 2,4 \frac{Tn}{m^3} = 0,1668 \frac{Tn}{m^2}$$

$$Pp \text{ de losa} = \text{peso sección simple} + \text{peso del hormigón}$$

$$Pp \text{ de losa} = 0,00638 \frac{Tn}{m^2} + 0,16680 \frac{Tn}{m^2}$$

$$Pp \text{ de losa} = 0,1732 \frac{Tn}{m^2}$$

Inicialmente para determinar la carga muerta se asume además los pesos de paredes, acabados, vigas y columnas de la siguiente manera:

$$\text{Peso de paredes} = 0,15 \frac{Tn}{m^2}$$

$$\text{Peso de acabados} = 0,12 \frac{Tn}{m^2}$$

$$\text{Peso de vigas} = 20\% * Pp \text{ losa} = 0,03464 \frac{Tn}{m^2} \approx 0,04 \frac{Tn}{m^2}$$

$$\text{Peso de columnas} = 0,1 \frac{Tn}{m^2}$$

Se determina la carga actuante sobre las vigas mediante la mayoración de las mismas, tomando en cuenta una carga viva de 200 kg/m²:

$$W = 1,2 * CM + 1,6 * CV$$

$$W = 1,2 * (Pp \text{ losa} + Pp \text{ paredes} + Pp \text{ acabados} + Pp \text{ vigas}) + 1,6 * CV$$

$$W = 1,2 * 0,483 \frac{Tn}{m^2} + 1,6 * 0,2 \frac{Tn}{m^2}$$

$$W = 0,8996 \frac{Tn}{m^2} = \mathbf{0,9 \frac{Tn}{m^2}}$$

Pre dimensionamiento de vigas

En este tipo de sistema estructural se utilizará acero laminado en caliente, formando parte del piso y transfiriendo las cargas de vigas secundarias hacia las principales. Este tipo de vigas tienen patines anchos y el prediseño se basará de acuerdo al cálculo del módulo resistente, permitiendo hallar un perfil adecuado dependiendo el catálogo un proveedor y que cumpla con los requerimientos necesarios mediante la siguiente ecuación:

$$W_x = S_{x-x} = \frac{M}{\sigma_{\text{máx}}}$$

Siendo:

- W_x : módulo resistente
- M : momento
- $\sigma_{\text{máx}}$: esfuerzo de trabajo

Para el esfuerzo se consideró un 60% del esfuerzo de fluencia del acero A36, dando un valor de 1522 Kg/cm²

$$W = 0,9 \frac{Tn}{m^2}; \quad \text{Longitud crítica} = 3,98m; \quad \text{Ancho cooperante} = 2,90 m$$

$$qu = 0,9 \frac{Tn}{m^2} \times 2,90 m = 2,61 Tn/m$$

$$Mu = \frac{qu * L^2}{8} = \frac{2,61 \frac{Tn}{m} * (2,90 m)^2}{8} = 2,74 Tn * m$$

$$S_{x-x} = \frac{M}{\sigma_{\text{máx}}}$$

$$S_x = \frac{274000 Kg * cm}{1522 kg/cm^2}$$

$$S_x = \frac{274000 Kg * cm}{1522 kg/cm^2}$$

$$S_x = 180 cm^3$$

Tabla 25

Catálogo de Perfiles IPE

DENOMINACIÓN	DIMENSIONES					PROPIEDADES						
	h	b	t	e	R	ÁREA SECCIÓN cm ²	PESOS kg/mts	INERCIA (cm ⁴)		MÓDULO RESISTENCIA (cm ³) SECCIÓN		
	mm	mm	mm	mm	mm			Eje x-x	Eje y-y	Eje x-x	Eje y-y	
IPE 80	80	46	3.80	5.20	5	7.64	6.00	80	8.49	20.00	3.69	
IPE 100	100	55	4.10	5.70	5	10.30	8.10	171	15.90	34.20	5.79	
IPE 120	120	64	4.40	6.30	5	13.20	10.40	318	27.70	53.00	8.65	
IPE 160	160	82	5.00	7.40	7	20.10	15.80	869	68.30	109.00	16.70	
IPE 200	200	100	5.60	8.50	9	28.50	22.40	1940	142.00	194.00	28.50	
IPE 220	220	110	5.90	9.20	9	33.40	26.20	2770	205.00	252.00	37.30	
IPE 240	240	120	6.20	9.80	12	39.10	30.70	3890	284.00	324.00	47.30	
IPE 300	300	150	7.10	10.70	15	53.80	42.20	8360	604.00	557.00	80.50	
IPE 400	400	180	8.60	13.50	118	84.50	63.30	23130	1320.00	1160.00	146.00	
IPE 450	450	190	9.40	14.60	21	98.80	77.70	33740	1680.00	1500.00	176.00	
IPE 500	500	200	10.20	16.00	21	116.00	90.70	48200	2140.00	1930.00	214.00	

Nota. Tomado de catálogo de Dipacmanta, por (Dipacmanta, 2020).

Pre-dimensionamiento de columnas

Es un proceso que se realiza mediante iteraciones y la determinación del esfuerzo de diseño $\phi_c F_{cr}$ al seleccionar un perfil adecuado. Inicialmente se estima un esfuerzo de diseño y se divide la carga factorizada para el esfuerzo estimado, obteniendo un área para la selección de un perfil y verificando si con el área del perfil adoptado el esfuerzo de diseño esta sobredimensionado o subdimensionado. El F_{cr} se determina con las siguientes fórmulas:

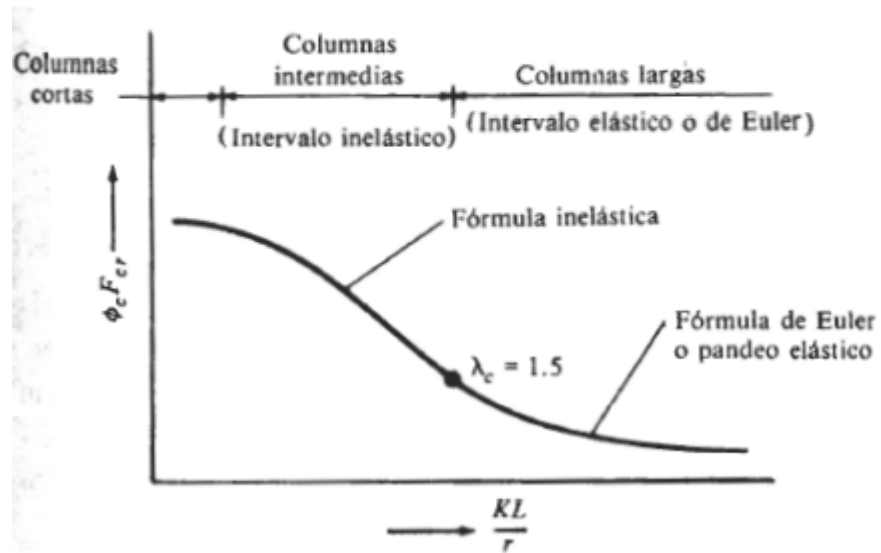
$$F_{cr} = (0.658^{\lambda_c}) F_y \quad \text{para } \lambda_c \leq 1.5 \quad \text{Pandeo elástico}$$

$$F_{cr} = \left(\frac{0.877}{\lambda_c^2} \right) F_y \quad \text{para } \lambda_c > 1.5 \quad \text{Pandeo inelástico}$$

Relación esfuerzo crítico y esbeltez en elementos a compresión de acero determinado por LRFD

(Diseño por Factor de Carga y Resistencia):

$$\lambda_c = \frac{KL}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$



En miembros a compresión, la relación de esbeltez es recomendable no tener un valor mayor a 200. Y el esfuerzo crítico puede determinarse mediante la **Tabla 26** de las Especificaciones LRFD del AISC que se presenta a continuación:

Tabla 26

Esfuerzos de Diseño para Miembros a Compresión:

TABLE 3-36									
Design Stress for Compression Members of									
36 ksi Specified Yield Stress Steel, $\phi_c = 0.85^{[a]}$									
K/r	$\phi_c F_{cr}$ ksi	K/r	$\phi_c F_{cr}$ ksi	K/r	$\phi_c F_{cr}$ ksi	K/r	$\phi_c F_{cr}$ ksi	K/r	$\phi_c F_{cr}$ ksi
1	30.6	41	28.0	81	21.7	121	14.2	161	8.23
2	30.6	42	27.9	82	21.5	122	14.0	162	8.13
3	30.6	43	27.8	83	21.3	123	13.8	163	8.03
4	30.6	44	27.6	84	21.1	124	13.6	164	7.93
5	30.6	45	27.5	85	20.9	125	13.4	165	7.84
6	30.5	46	27.4	86	20.7	126	13.3	166	7.74
7	30.5	47	27.2	87	20.5	127	13.1	167	7.65
8	30.5	48	27.1	88	20.4	128	12.9	168	7.56
9	30.5	49	27.0	89	20.2	129	12.7	169	7.47
10	30.4	50	26.8	90	20.0	130	12.6	170	7.38
11	30.4	51	26.7	91	19.8	131	12.4	171	7.30
12	30.4	52	26.5	92	19.6	132	12.2	172	7.21
13	30.3	53	26.4	93	19.4	133	12.1	173	7.13
14	30.3	54	26.3	94	19.2	134	11.9	174	7.05
15	30.2	55	26.1	95	19.0	135	11.7	175	6.97
16	30.2	56	25.9	96	18.8	136	11.5	176	6.89
17	30.1	57	25.8	97	18.7	137	11.4	177	6.81
18	30.1	58	25.6	98	18.5	138	11.2	178	6.73
19	30.0	59	25.5	99	18.3	139	11.0	179	6.66
20	30.0	60	25.3	100	18.1	140	10.9	180	6.59
21	29.9	61	25.2	101	17.9	141	10.7	181	6.51
22	29.8	62	25.0	102	17.7	142	10.6	182	6.44
23	29.8	63	24.8	103	17.5	143	10.4	183	6.37
24	29.7	64	24.7	104	17.3	144	10.3	184	6.30
25	29.6	65	24.5	105	17.1	145	10.2	185	6.23
26	29.5	66	24.3	106	16.9	146	10.0	186	6.17
27	29.5	67	24.2	107	16.8	147	9.87	187	6.10
28	29.4	68	24.0	108	16.6	148	9.74	188	6.04
29	29.3	69	23.8	109	16.4	149	9.61	189	5.97
30	29.2	70	23.6	110	16.2	150	9.48	190	5.91
31	29.1	71	23.5	111	16.0	151	9.36	191	5.85
32	29.0	72	23.3	112	15.8	152	9.23	192	5.79
33	28.9	73	23.1	113	15.6	153	9.11	193	5.73
34	28.8	74	22.9	114	15.4	154	9.00	194	5.67
35	28.7	75	22.8	115	15.3	155	8.88	195	5.61
36	28.6	76	22.6	116	15.1	156	8.77	196	5.55
37	28.5	77	22.4	117	14.9	157	8.66	197	5.50
38	28.4	78	22.2	118	14.7	158	8.55	198	5.44
39	28.3	79	22.0	119	14.5	159	8.44	199	5.39
40	28.1	80	21.9	120	14.3	160	8.33	200	5.33

[a] When element width-to-thickness ratio exceeds λ_c , see Appendix B5.3.

Nota. Tomado de *Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings*:
September 1, 1986, por (AISC, 1986).

El área se establecerá mediante los valores de compresión nominal, P_n y P_u con la siguiente fórmula:

$$A = \frac{Pu}{\Phi_c F_{cr}}$$

Donde:

- *A*: área bruta de la sección
- *Pu*: fuerza axial mayorada
- Φ_c : factor de reducción = 0.85
- *Fcr*: esfuerzo crítico al pandeo

Según (McCormac, 2002), la relación de esbeltez efectiva (Kl/r) de una columna promedio de 10 a 15 pies (3,048 a 4,572 metros) de longitud, será aproximadamente de entre 40 y 60. Motivo por el cual se considerará una relación de 50 (esfuerzo de 26,83 ksi=1886.87 kg/cm²) con la finalidad de estimar el área bruta aproximada para la sección de acero.

$$W = 1,2 * 0,583 \frac{Tn}{m^2} + 1,6 * 0,2 \frac{Tn}{m^2}$$

$$Wu = 1,02 \frac{Tn}{m^2}$$

Figura 59

Piso 1, Ubicación de columnas

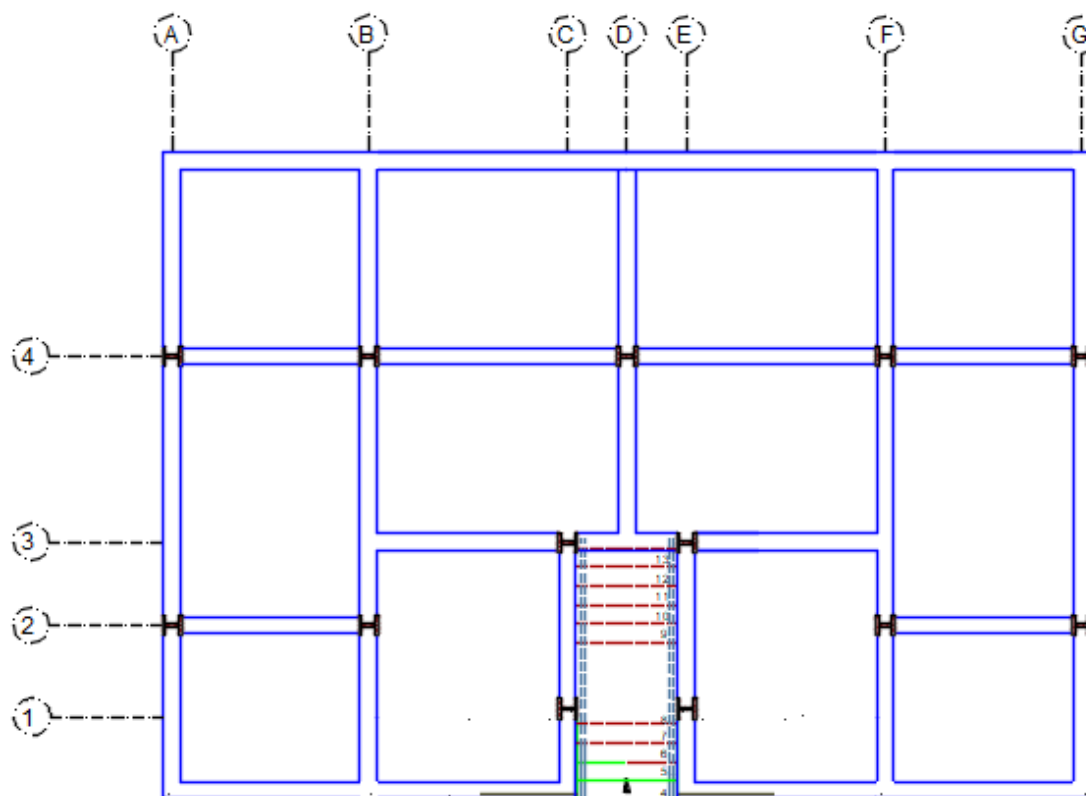


Tabla 27

Tabla Resumen Columnas

Ubicación	W_u	Área N+2,72	Área N+5,45	Cubierta (Tn)	P_u (Ton)	$Ag=P_u/\phi_c F_{cr}$ (cm ²)	Perfil HEB
A4;A2;G4;G2	1,020	7,28	7,28	0,00	14,85	9,26	HEB100
B2;F2	1,020	13,77	7,30	0,28	21,76	13,57	HEB140
B4;F4	1,020	17,18	7,80	0,28	25,75	16,06	HEB140
C1;E1	1,020	4,38	0,00	0,28	4,74	2,96	HEB100
C3;E3	1,020	5,80	0,00	0,28	6,19	3,86	HEB100
D4	1,020	16,35	0,00	0,14	16,81	10,48	HEB140

Se establece 2 secciones de columnas:

- 8 columnas HEB 100
- 5 columnas HEB 140

Diseño y análisis estructural

Para definir las secciones definitivas de las vigas, columnas y losa se realiza el modelamiento de la estructura tomando las consideraciones de la NEC-SE-DS.

Determinación de secciones de viga por ductilidad

Mediante la iteración de la estructura metálica y los cambios de perfiles IPE se evidencia que las solicitaciones de carga en las secciones no son determinantes en la determinación de las mismas, según lo establecido en la normativa ANSI/AISC 341-10 se ven dominadas por la longitud máxima no arriostrada, es decir, evitar el pandeo lateral torsional de vigas conectadas a momento, generalmente producidas por cargas de sismo elevadas, consiguiendo así secciones sísmicamente compactas y elementos de alta ductilidad y cuyos datos fueron calculados mediante la siguiente ecuación:

$$Lb \text{ máx} = 0.085 * r_y * E / f_{yd}$$

Donde:

Lb máx = longitud entre puntos arriostrados lateralmente

r_y = radio de giro alrededor del eje Y

E = módulo de elasticidad del acero

f_{yd} = resistencia de cálculo de acero

Tabla 28

Radio de Giro Para Secciones IPE

IPE	Dimensiones (mm)						Sección	Peso	Referido eje x-x			Referido eje y-y			u
	h	b	e	e1	r	h1			A(cm ²)	P(Kg/m)	Ix(cm ⁴)	Wx(cm ³)	ix(cm)	Iy(cm ⁴)	
80	80	46	3,8	5,2	5	59	7,64	6,00	80,1	20,0	3,24	8,49	3,69	1,05	0,328
100	100	55	4,1	5,7	7	74	10,3	8,10	171	34,2	4,07	15,9	5,79	1,24	0,400
120	120	64	4,4	6,3	7	93	13,2	10,4	318	53,0	4,90	27,7	8,65	1,45	0,475
140	140	73	4,7	6,9	7	112	16,4	12,9	541	77,3	5,74	44,9	12,3	1,65	0,551
160	160	82	5,0	7,4	9	127	20,1	15,8	869	109	6,58	68,3	16,7	1,84	0,623
180	180	91	5,3	8,0	9	146	23,9	18,8	1320	146	7,42	101	22,2	2,05	0,698
200	200	100	5,6	8,5	12	159	28,5	22,4	1940	194	8,26	142	28,5	2,24	0,768
220	220	110	5,9	9,2	12	177	33,4	26,2	2770	252	9,11	205	37,3	2,48	0,848
240	240	120	6,2	9,8	15	190	39,1	30,7	3890	324	9,97	284	47,3	2,69	0,922
270	270	135	6,6	10,2	15	219	45,9	36,1	5790	429	11,2	420	62,2	3,02	1,041
300	300	150	7,1	10,7	15	248	53,8	42,2	8360	557	12,5	604	80,5	3,35	1,159
330	330	160	7,5	11,5	18	271	62,6	49,1	11770	713	13,7	788	98,5	3,55	1,254
360	360	170	8,0	12,7	18	298	72,7	57,1	16270	904	15,0	1040	123	3,79	1,353
400	400	180	8,6	13,5	21	331	84,5	66,3	23130	1160	16,5	1320	146	3,95	1,467
450	450	190	9,4	14,6	21	378	98,8	77,6	33740	1500	18,5	1680	176	4,12	1,605
500	500	200	10,2	16,0	21	426	116	90,7	48200	1930	20,4	2140	214	4,45	1,744
550	550	210	11,1	17,2	24	467	134	106	67120	2440	22,3	2670	254	4,45	1,877
600	600	220	12,0	19,0	24	514	156	122	92080	3070	24,3	3390	308	4,66	2,015

Nota. Tomado de IPE (Sección Bruta) | PRONTUARIOS DE INGENIERÍA CIVIL.<http://prontuarios.info/perfiles/IPE>, por (Prontuarios.info, 2020).

Tabla 29

Longitudes Admisibles por Ductilidad en Vigas Tipo IPE

Perfil	Radio de giro (mm)	E (N/mm ²)	Fyd (N/mm ²)	Lb (m)
IPE 200	22,36	200000	250	1,520
IPE 270	30,23	200000	250	2,056
IPE 300	33,50	200000	250	2,278
IPE 330	35,48	200000	250	2,413

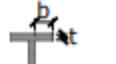
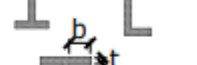
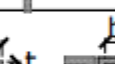
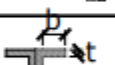
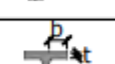


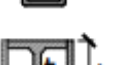






Relación ancho-espesor para elementos a compresión

Según la normativa NEC-SE-AC (MIDUVI, 2015b) dentro de su sección 6.2 establece que en los sistemas resistentes a cargas sísmicas (SRCS) sus elementos deben tener alas continuamente conectadas al alma y su relación ancho/espesor a compresión no deben exceder las relaciones máximas de la **Tabla 30** que se muestra a continuación:

Máximas relaciones ancho-espesor para elementos a compresión ANSI/AISC 341-10

Tabla 30

Relación Ancho-Espesor

	Tipo de elemento	Relación ancho-espesor	Límites	Ejemplo
			λ_{ms}	
Elementos no Rigidizados	Flexión en alas de vigas "I" roladas o armadas, canales y vigas "T"	b/t	$0.30 \sqrt{E/F_y}$	
	Lados de ángulos simples o dobles con separadores			
	Lados salientes de pares de ángulos en contacto continuo			
	Alas de secciones para pilotes "H"	b/t	$0.45 \sqrt{E/F_y}$	
	Alma de vigas "T"	d/t	$0.30 \sqrt{E/F_y}^{(a)}$	
	Barras planas	b/t	2.5	
Elementos Rigidizados	Paredes de HSS rectangulares	b/t	$0.55 \sqrt{E/F_y}^{(b)}$	
	Alas de perfiles "I" encajonados, y secciones cajón armadas	b/t		
	Placas laterales de secciones laminadas "I" encajonadas y paredes de perfiles armados encajonados usados como arriostramientos diagonales	h/t		
	Almas de perfiles "I" armados o rolados usados para vigas o columnas ^(c)	h/t _w	Para $C_a \leq 0.125$ $2.45 \sqrt{E/F_y} (1 - 0.93 C_a)$	
	Placas laterales de secciones laminadas "I" encajonados usados como vigas o columnas	h/t	Para $C_a > 0.125$ $0.77 \sqrt{E/F_y} (2.93 - C_a)$ $\geq 1.49 \sqrt{E/F_y}$	
	Almas de secciones cajón armadas usados como vigas o columnas	h/t	donde: $C_a = \frac{P_c}{\phi_b P_y} (DFCR)$ $C_a = \frac{\Omega_c P_c}{P_y} (DRA)$	
	Almas de perfiles "I" rolados o armados usados como arriostramientos diagonales	h/t _w	$1.49 \sqrt{E/F_y}$	
Almas de secciones para pilotes "H"	h/t _w	$0.94 \sqrt{E/F_y}$		
Paredes de HSS de sección circular	D/t	$0.038 E / F_y$		

Nota. Tomado de NEC-SE-AC: Estructuras de Acero. In Norma Ecuatoriana de la Construcción, por (MIDUVI, 2015b).

- Perfil HE340B

$$\frac{b}{t} < 0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{150 \text{ mm}}{21,5 \text{ mm}} < 0,45 \sqrt{\frac{2100000 \text{ kg/cm}^2}{2531,05 \text{ kg/cm}^2}}$$

$$6,97 < 12,96 \quad \text{OK}$$

$$\frac{h}{tw} < 0,94 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{(340 - 2 * 21,5) \text{ mm}}{12 \text{ mm}} < 0,94 \sqrt{829,695}$$

$$24,75 < 27,076 \quad \text{OK}$$

- Perfil HE400B

$$\frac{b}{t} < 0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{150 \text{ mm}}{24 \text{ mm}} < 0,45 \sqrt{829,695}$$

$$6,25 < 12,96 \quad \text{OK}$$

$$\frac{h}{tw} < 0,94 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{(400 - 2 * 24) \text{ mm}}{13,5 \text{ mm}} < 0,94 \sqrt{829,695}$$

$$26,07 < 27,076 \quad \text{OK}$$

Capacidad resistente a pandeo flexional

Las columnas parte del SRCS deben tener una adecuada resistencia que prevenga la falla global de la columna o fractura por tensión, es por ello que en base al método de diseño por factores de carga y resistencia se debe cumplir que:

$$P_u \leq \Phi P_n$$

Donde:

$$\Phi: 0.9$$

P_u : Resistencia a carga axial requerida

P_n : Resistencia nominal, considerando $K = 1$

Para esta revisión se consideró las columnas más críticas de las secciones obtenidas en el análisis estructural (HEB 340-HEB400):

- Perfil HE340B

$$\frac{K * L}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{1 * 2,725 \text{ m}}{\frac{7,53 \text{ cm}}{100 \text{ cm}} * 1 \text{ m}} \leq 4,71 \sqrt{829,695}$$

$$36,188 \leq 135,66 \quad \mathbf{OK}$$

$$F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r} \right)^2} = \frac{\pi^2 * 2.1 * 10^6}{(36,188)^2} = 15826,68 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y = \left[0.658 \frac{2531,05}{15826,68} \right] 2531,05 = 2367,17 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Phi P_n = F_{cr} * A_g$$

$$\Phi P_n = 0,9 * 2367,17 * 171$$

$$\Phi P_n = 364307,46 \text{ kg} = 364,307 \text{ Tn}$$

$$P_u = 20795,97 \text{ kg}$$

$$P_u \leq \Phi P_n \quad \text{OK}$$

- Perfil HE400B

$$\frac{K * L}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{1 * 2,725 \text{ m}}{\frac{7,4 \text{ cm}}{100 \text{ cm}} * 1 \text{ m}} \leq 4,71 \sqrt{829,695}$$

$$36,82 \leq 135,66 \quad \text{OK}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 * 2.1 * 10^6}{(36,82)^2} = 15288,02 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_e}\right] F_y = \left[0.658 \frac{2531,05}{15288,02}\right] 2531,05 = 2361,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Phi P_n = F_{cr} * A_g$$

$$\Phi P_n = 0,9 * 2361,6 * 198$$

$$\Phi P_n = 420837,12 \text{ kg} = 420,837 \text{ Tn}$$

$$P_u = 20878,28 \text{ kg}$$

$$P_u \leq \Phi P_n \quad \text{OK}$$

Modelamiento estructural

En el diseño de acero se utilizó un programa computacional para el análisis estructural y la obtención del modelo más óptimo. Finalmente se tiene las siguientes secciones de vigas y columnas, mostradas en las **Figuras 60,61,62**.

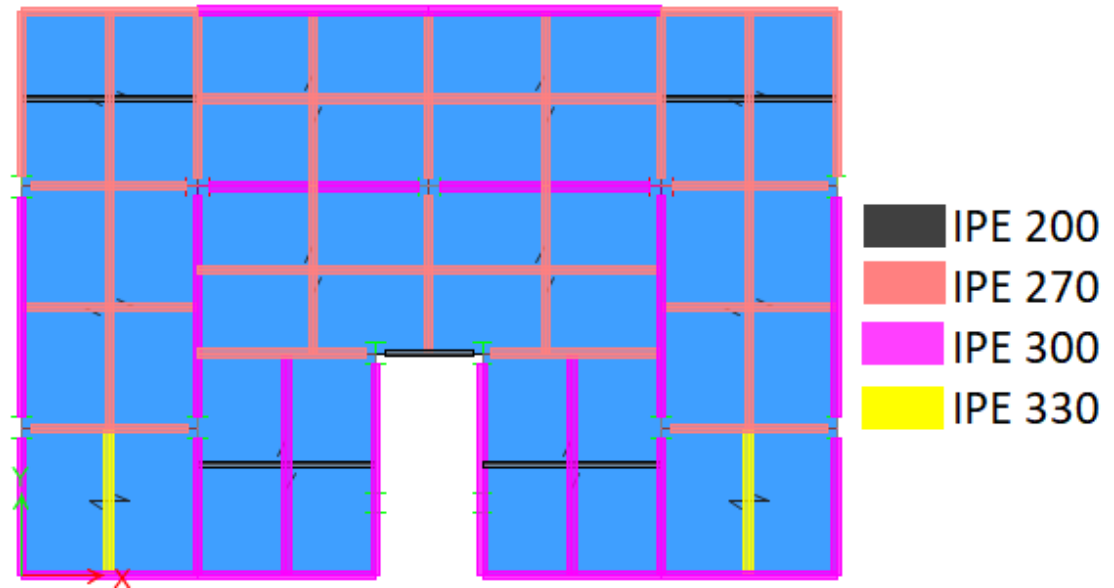
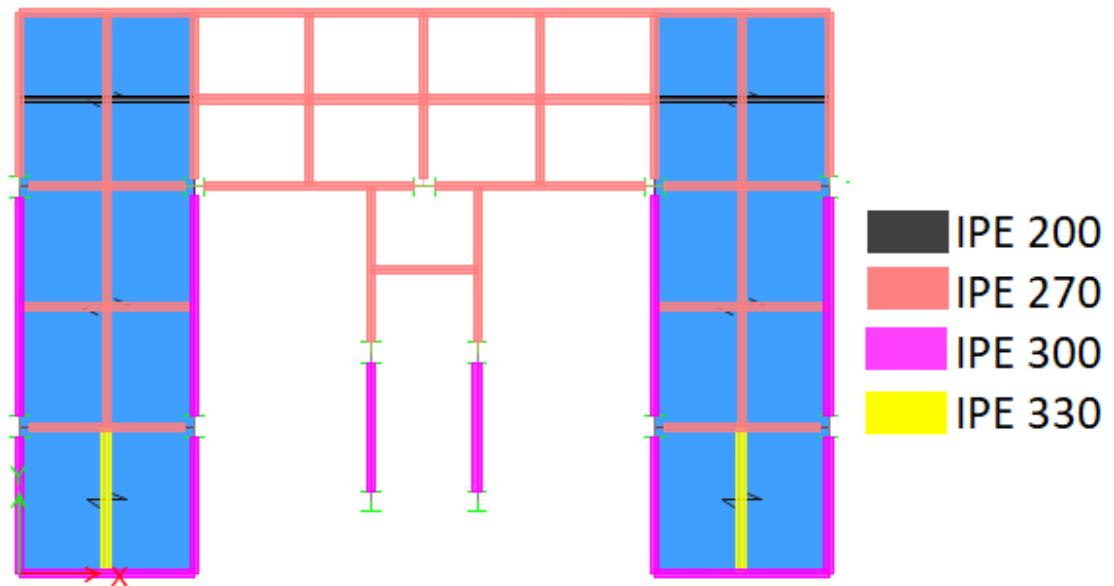
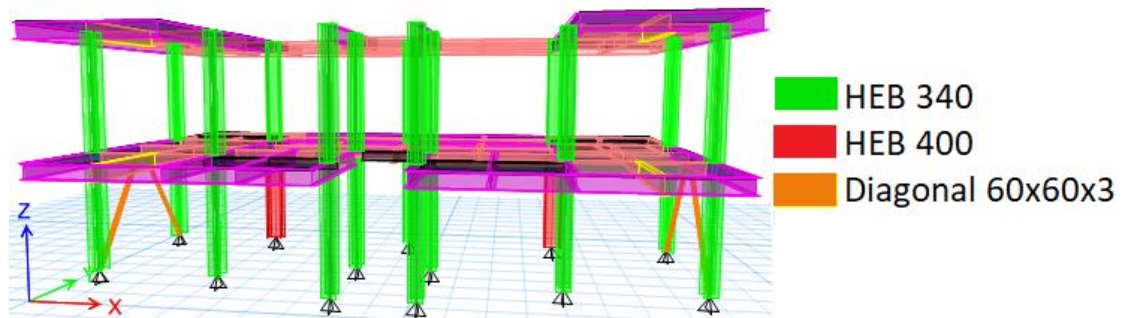
Figura 60*Acero, Piso 1***Figura 61***Acero, Piso 2*

Figura 62

Modelo en 3D

**Acciones sísmicas**

Anteriormente se determinó un suelo tipo D, la aceleración máxima en roca esperada con un valor $Z=0.5$, los coeficientes de perfil de suelo F_a , F_d , F_s y demás parámetros necesarios para el cálculo que se presentan en la **Tabla 31** a continuación:

$$T_a = C_t * h n^\alpha$$

$$C_t = 0,073 \quad ; \quad h n = 5,45 \quad ; \quad \alpha = 0,75$$

$$T_a = 0,073 * 5,45^{0,75}$$

$$T_a = 0,26 \text{ s}$$

$$T_o = 0,1 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_o = 0,1 * 1,4 * \frac{1,11}{1,12}$$

$$T_o = 0,139 \text{ s}$$

$$T_c = 0,55 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_c = 0,55 * 1,4 * \frac{1,11}{1,12}$$

$$T_c = 0,763 \text{ s}$$

$$T_o < T_a < T_c$$

$$S_a = nZFa$$

$$S_a = 1,8 * 0,5 * 1,12$$

$$\mathbf{S_a = 1,008 \textit{ elástico}}$$

$$S_a = nZFa/R$$

$$S_a = 1,008/8$$

$$\mathbf{S_a = 0,126 \textit{ g inelástico}}$$

Tabla 31

Acciones Sísmicas

Descripción	Factor	Valor	NEC-SE-DS	
			Capitulo	Página
Factor de importancia	I	1	4,1	39
Ubicación	ciudad	Portoviejo		
Zona sísmica	z. sísmica	VI	3.1.1	27
Factor Z	Z	0,5	3.1.1	27
Perfil de suelo	tipo	D	3.2.1	29
Coefficiente de amplificación del suelo en la zona de período corto	Fa	1,12	3.2.2 a)	31
Coef. de las ordenadas del espectro elástico	Fd	1,11	3.2.2 b)	31
Comportamiento no-lineal del suelo	Fs		3.2.2 c)	32
Factor para el espectro de diseño elástico	r	1	3.3.1	34
Relación de amplificación espectral	n	1,8	3.3.1	34
Altura de la edificación (m)	h	5,45		
Coefficiente de tipo de edificación	Ct	0,073	6.3.3	62
Alfa	α	0,75	6.3.3	62
Período de vibración Método 1	Ta	0,26	6.3.3 a)	62
Período de vibración Método 2	1.3*Ta	0,338	6.3.3 b)	63
Período de vibración (ETABS)	T	0,433		
Período de vibración	Ta	0,338		
Período de vibración en el espectro sísmico	Tc	0,763	3.3.1	34
Coefficiente relacionado con el período de vibración de la estructura T	k	1	6.3.5	67
Aceleración espectral	Sa	1.008	3.3.1	34
Coefficiente de reducción de respuesta estructu	R	8	6.3.4 b)	64-65
Irregularidad en planta	ϕ_p	0,9	5,2	48-52
Irregularidad en elevación	ϕ_e	1	5,2	48-52

Cortante basal

$$V = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \phi_p * \phi_e} * W$$

$$V = \frac{1 * 1,008}{8 * 0,9 * 1} * W$$

$$V = 0,14 * 85,826 Tn$$

$$V = 12,015 Tn$$

Tabla 32

Tabla Cálculo de Fuerzas Laterales Por Piso

Piso	Altura (m)	Hi acum.	Wi (tn)	Wi*hi	Wi*Hi/Σ	Ftotal	Vx acumulado
2	2,725	5,45	28,06	152,93	0,49	5,92	5,92
1	2,725	2,725	57,76	157,41	0,51	6,09	12,02
			85,82	310,34	1,00	12,02	

Finalmente, de acuerdo a lo establecido por la NEC-SE-DS en su Sección 6.2.2 b) se comprueba que el valor en la base del cortante dinámico es mayor al 80% del cortante basal estático, como se puede observar en la **Figura 63** a continuación:

Figura 63

Cortante Basal

Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX kgf	FY kgf
SISMO_X	LinRespSpec	Max		10911,83	3209,85
SISMO_Y	LinRespSpec	Max		3306,85	10588,49

$$VsX > 80\% * V$$

$$10,64 Tn > 80\% * 12,015 Tn$$

$$10,64 Tn > 8,73 Tn \quad OK$$

$$VsY > 80\% * V$$

$$10,59 Tn > 80\% * 12,015 Tn$$

$$10,59 Tn > 8,73 Tn \quad OK$$

Chequeo de deriva

Una vez realizado el análisis elástico de la edificación e incluyendo los efectos de segundo orden y la obtención de los valores de desplazamiento lateral en la **Tabla 33** se analiza

las derivas de piso elástica en contraste a la máxima deriva de piso permitida con la finalidad de comprobar que la estructura satisfaga el límite de deriva admisible.

Tabla 33

Valores de desplazamiento lateral

	Desplazamiento (mm)	$\Delta = d_x - d_{x-1}$ (mm)
d0e	0	-
d1e	5,25	5,25
d2e	11,17	5,92

Fuente: Propia

$$\Delta < \Delta_a$$

$$\frac{C_d \delta_{xe}}{I} < \frac{0,02 h_{sx}}{\rho}$$

Donde:

Δ : *valor máximo*

Δ_a : *valor admisible*

C_d : *factor de amplificación de deflexiones; 5,5*

δ_{xe} : *desplazamiento lateral*

I : *factor de importancia*

ρ : *factor de redundancia: 1,3*

h_{sx} : *altura de entrepiso en mm*

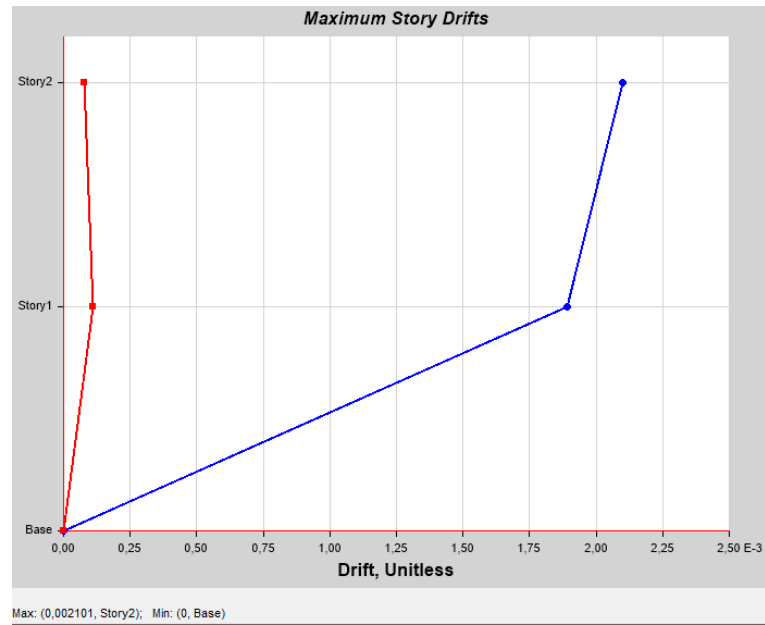
$$\Delta = \frac{5,5 * 5,92 \text{ mm}}{1} = 32,56 \text{ mm}$$

$$\Delta_a = \frac{0,02 * 2725}{1,3} = 41,92 \text{ mm}$$

$$\Delta < \Delta_a \quad \mathbf{OK}$$

Figura 64

Deriva de Piso en Acero Sx



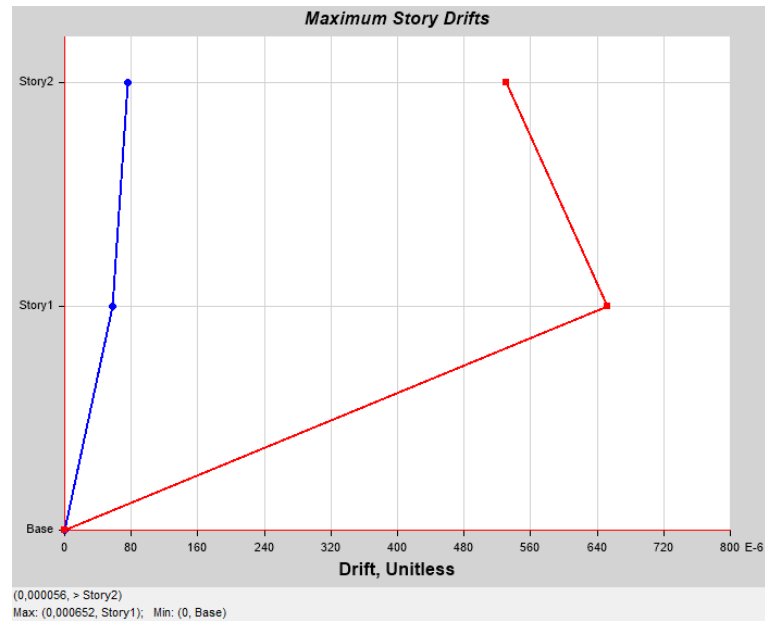
$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$$

$$\Delta_M = 0.75 * 8 * 0.002101 = 0.012 * 100\% = 1.26\%$$

$$\Delta_M = 1.26\% < 2\% \text{ ok}$$

Figura 65

Deriva de Piso en Acero Sy



$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$$

$$\Delta_M = 0.75 * 8 * 0.000652 = 0.0039 * 100\% = 0.39\%$$

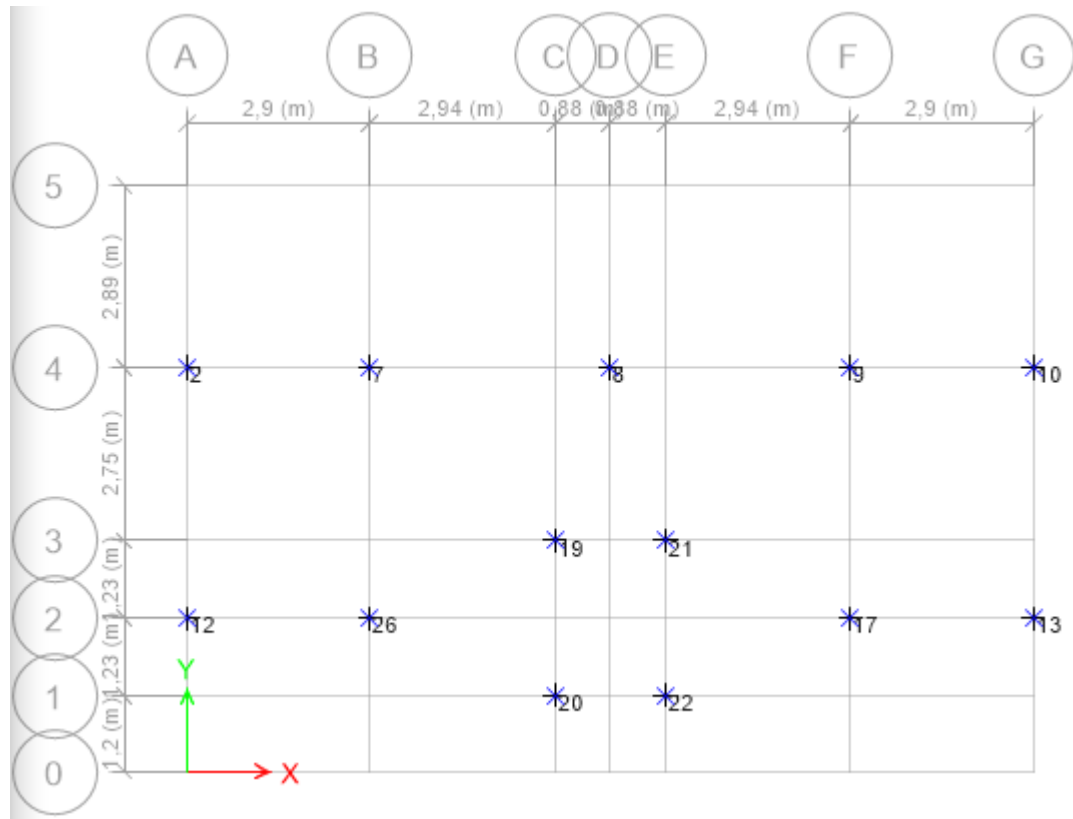
$$\Delta_M = 0.39\% < 2\% \text{ ok}$$

Cimentación

A continuación, en la **Figura 66** se observa las reacciones de la estructura para la cimentación, cuyos valores consideran además un porcentaje del sismo para el diseño y que fueron obtenidos del programa, también en la **Tabla 34** se detalla las dimensiones y armadura requerida para la cimentación de tipo zapatas aisladas determinada para este sistema constructivo.

Figura 66

Reacciones de la Estructura para Cimentación



Label	Output Case	Step Type	FZ tonf
2	CIMENTACION ENVOLVENTE	Max	12,5704
7	CIMENTACION ENVOLVENTE	Max	16,9831
8	CIMENTACION ENVOLVENTE	Max	16,3376
9	CIMENTACION ENVOLVENTE	Max	16,9042
10	CIMENTACION ENVOLVENTE	Max	12,5126
12	CIMENTACION ENVOLVENTE	Max	11,1118
13	CIMENTACION ENVOLVENTE	Max	10,7245
17	CIMENTACION ENVOLVENTE	Max	11,8931
19	CIMENTACION ENVOLVENTE	Max	5,694
20	CIMENTACION ENVOLVENTE	Max	4,4937
21	CIMENTACION ENVOLVENTE	Max	5,6735
22	CIMENTACION ENVOLVENTE	Max	4,4955
26	CIMENTACION ENVOLVENTE	Max	12,0391

Tabla 34

Dimensiones de Zapata y Armadura

Columnas	Zapata (m)	Altura (m)	Acero de refuerzo
A4-G4	1,3 x 1,3	0,2	5 Ø 12mm
A2-G2	1,3 x 1,3	0,2	5 Ø 12mm
B2-F2	1,3 x 1,3	0,2	5 Ø 12mm
B4-F4	1,6 x 1,6	0,2	6 Ø 14mm
C1-E1	1,0 x 1,0	0,2	4 Ø 12mm
C3-E3	1,0 x 1,0	0,2	4 Ø 12mm
D4	1,6 x 1,6	0,2	8 Ø 14mm

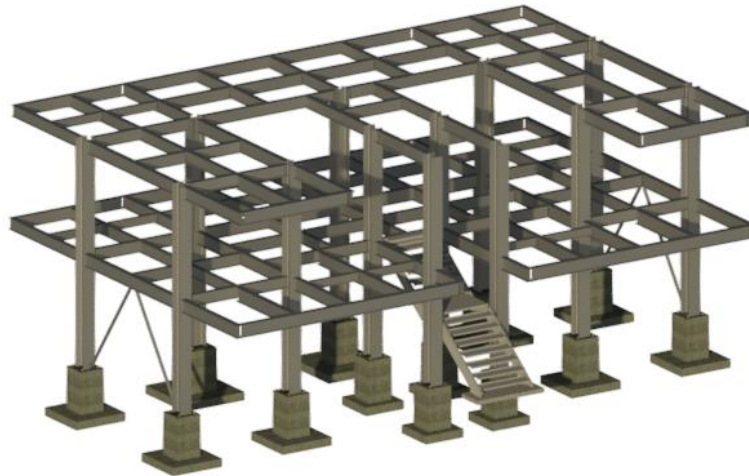
Modelamiento BIM-acero

Para el modelamiento de este sistema constructivo fue necesario la importación de familia de perfiles tipo HEB e IPE de las librerías del software y de cada uno de los elementos, verificando que cumplan con las características necesarias que fueron obtenidas del diseño

estructural. En la siguiente figura se presenta el modelo de la estructura metálica, el diseño de las gradas de acceso y el tipo de cimentación optado para este sistema:

Figura 67

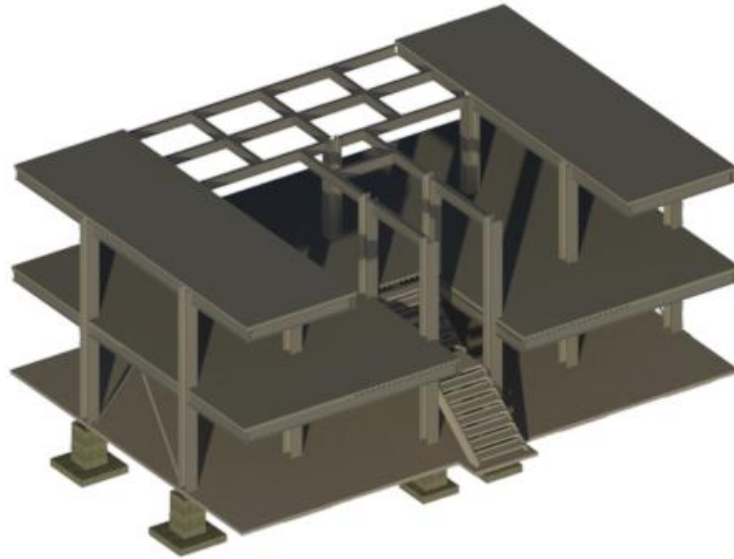
Modelo de Acero en 3D



Una vez realizada la estructura, se añadió el conjunto de losas tipo deck con su respectiva lámina trapezoidal de acero galvanizado, además se colocó la losa de contrapiso que se puede observar a continuación:

Figura 68

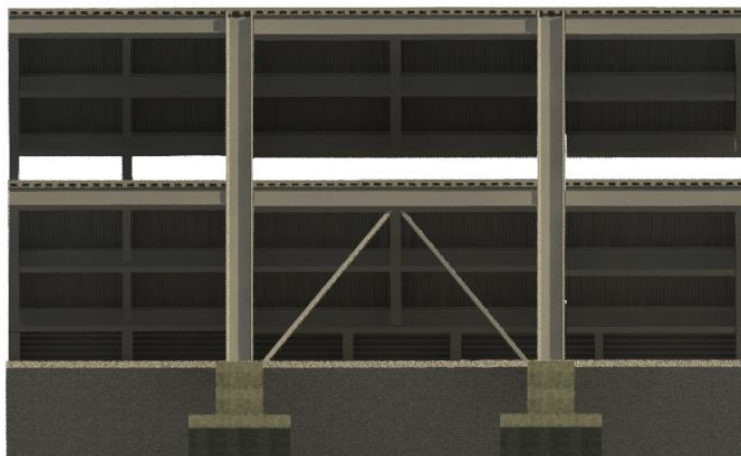
Modelo en 3D con Losa Deck



Otro de los elementos que se colocaron en el modelo fueron las diagonales rigidizadoras de perfil cuadrado, en la siguiente figura se observa además la distribución y dirección de las losas tipo deck a partir de una vista lateral de la edificación:

Figura 69

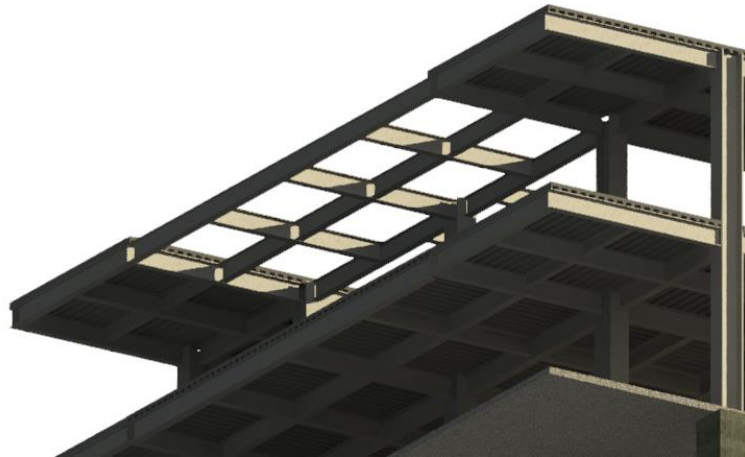
Vista Lateral de Acero



En el nivel N+5.45 se ubica la cubierta por lo que no requiere la colocación de una losa entre los ejes B y F, sin embargo, la colocación de vigas y viguetas en esta área fue necesario para un adecuado comportamiento de la estructura y apoyo de la cubierta.

Figura 70

Vista de Modelo de Acero



Además de las riostras de la estructura, se realizó el modelamiento de los sistemas de apoyo tanto para las diagonales que están unidas mediante placas, como para las columnas HEB que se encuentran ancladas a una columna mediante una conexión apernada.

Figura 71

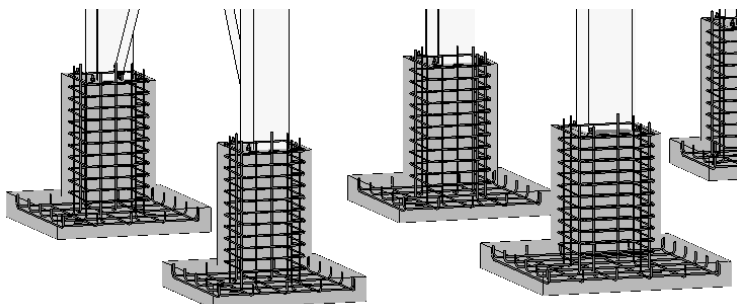
Detalle de Conexión de Columnas de Acero



Posteriormente, se realizó la colocación de estribos y armadura longitudinal en las columnas de soporte y la distribución de acero en las zapatas de la cimentación.

Figura 72

Detalle de Acero en Plintos Aislados



Como parte del modelo, se integró gradas metálicas a la estructura, respetando las medidas de huella y contra huella determinadas en los planos arquitectónicos de la edificación.

Figura 73

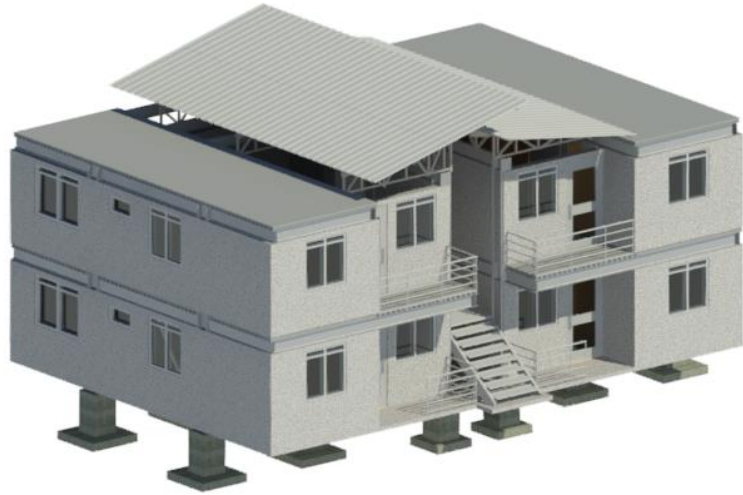
Detalle en 3D de Gradass



Finalmente, el último componente que se agregó fue la cubierta metálica, verificando que sus apoyos se ubiquen adecuadamente sobre las vigas y viguetas de la vivienda.

Figura 74

Modelo en 3D Acero



Capítulo VI

Muros portantes

Material

- $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$
- $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$
- $E= 2486000 \text{ kg/cm}^2$

Predimensionamiento de losa

En base a la **Tabla 35** de losa maciza en una dirección establecida por el ACI 318-14 en su sección 7.3.1.1, la altura mínima será:

Tabla 35

Espesor Mínimo de Losas en una Dirección Macizas no Preesforzadas

Condición de apoyo	h mínimo ⁽¹⁾
Simplemente apoyadas	$l/20$
Un extremo continuo	$l/24$
Ambos extremos continuos	$l/28$
En voladizo	$l/10$

Nota. Tomado de *Building Code Requirements for Structural Concrete. In American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich*, por (ACI Committee & International Organization for Standardization, 2008).

Siendo l : longitud del vano menor en metros

$$h_{min} = \frac{3.82}{28} = 0.14 \text{ m}$$

$$h_{min} \text{ losa unidireccional maciza} = 14 \text{ cm}$$

Análisis de cargas

Se utiliza una muestra de un m² de losa unidireccional maciza, para determinar los distintos pesos. Además, se considera el valor del peso unitario para hormigón armado 2.4 Tn/m³ detallado en la Tabla 8 de la NEC-Cargas No Sísmicas.

$$\text{Peso de losa} = 1m \times 1m \times 0,14m \times 2,4 \frac{Tn}{m^3} = 0,34 \frac{Tn}{m^2}$$

$$Pp \text{ de losa} = 0,34 \frac{Tn}{m^2}$$

Inicialmente para determinar la carga muerta se asume además los pesos de los muros, acabados de la siguiente manera:

$$\text{Peso de acabados} = 0,12 \frac{Tn}{m^2}$$

$$\text{Peso de instalaciones} = 0,10 \frac{Tn}{m^2}$$

Se determina la carga actuante sobre las vigas mediante la mayoración de las mismas, tomando en cuenta una carga viva de 200 kg/m²:

$$W = 1,2 * CM + 1,6 * CV$$

$$W = 1,2 * (Pp \text{ losa} + P \text{ instalaciones} + Pp \text{ acabados}) + 1,6 * CV$$

$$W = 1,2 * 0,56 \frac{Tn}{m^2} + 1,6 * 0,2 \frac{Tn}{m^2}$$

$$W = 1 \frac{Tn}{m^2}$$

De acuerdo con el manual de la NEC de viviendas de dos pisos con luces máximo de 5 metros nos dice que: el espesor mínimo que se puede permitir para muros de hormigón armado no debe ser menor que 1/30 de la altura del muro, ni tampoco menor que 80mm.

$$e = \frac{1}{30} * 273 = 9.1 \text{ cm}$$

De acuerdo con el cálculo realizado y con base en la norma, se escoge un espesor de 10 cm para todos los muros.

Diseño estructural

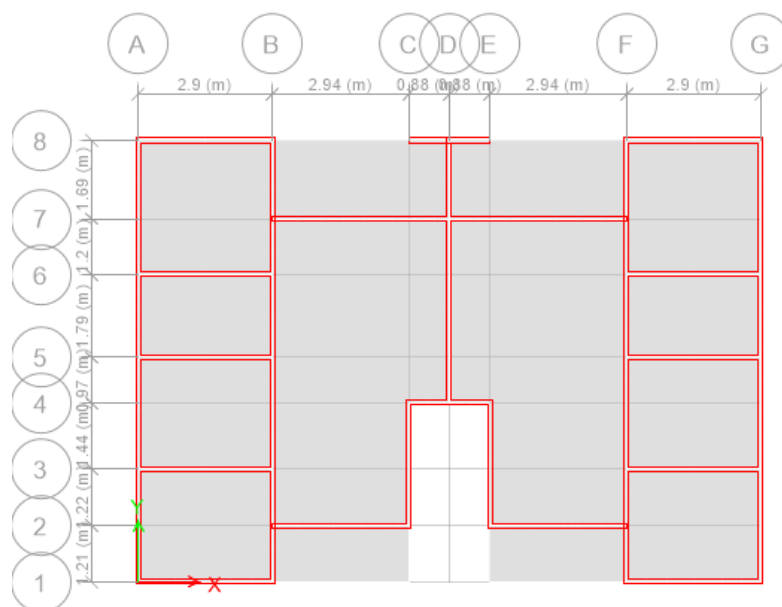
Modelamiento de muro

Para definir las secciones definitivas de los muros y losas se realiza el modelamiento de la estructura tomando las consideraciones de la NEC-SE-DS.

En el diseño de muro de hormigón armado se usó un programa computacional para el análisis estructural y a su vez obtener el modelo más óptimo.

Figura 75

Muros de Hormigón Armado $b=10\text{cm}$, Piso 1



Finalmente se tiene los siguientes muros, mostrados en las **Figuras 75, 76, 77**. Todos Los muros tienen un espesor de 10 cm

Figura 76

Muros de Hormigón Armado $b=10\text{cm}$, piso 2

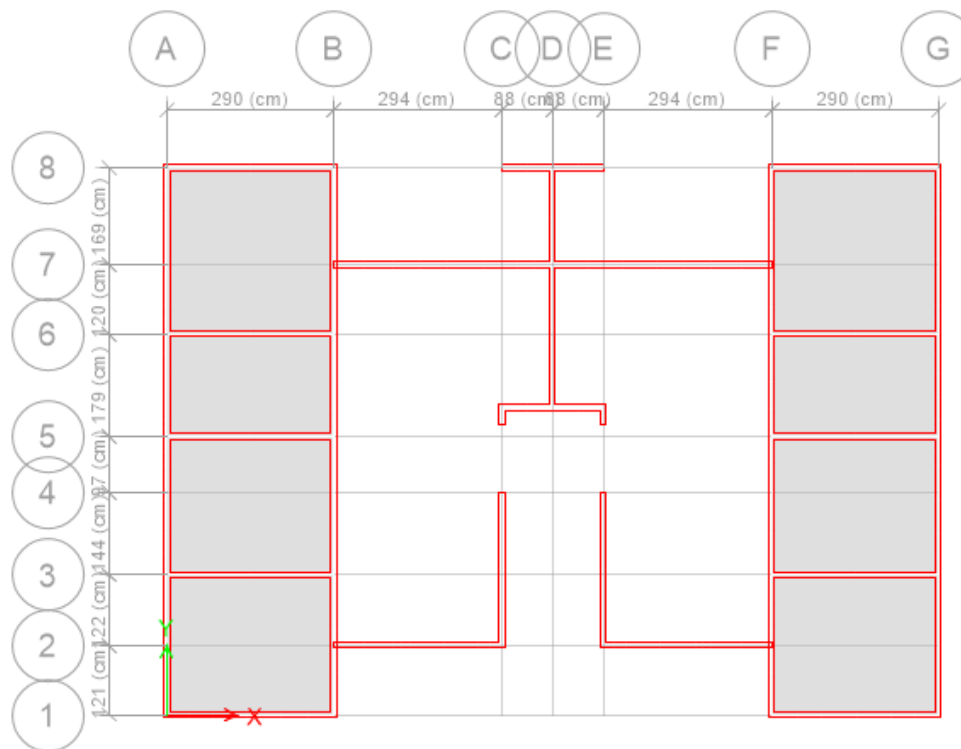
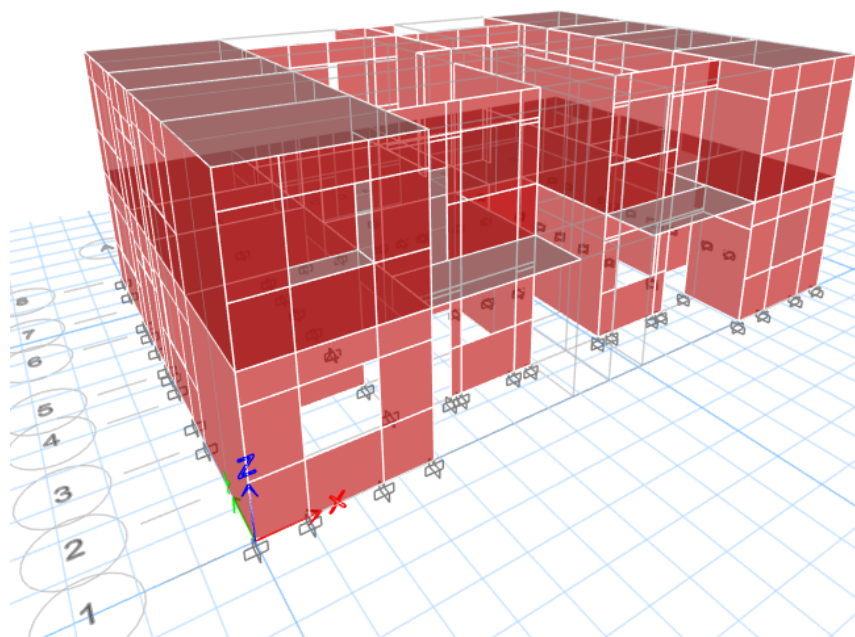


Figura 77

Vista 3d Modelo Estructural



Acciones sísmicas

Anteriormente, para calcular el cortante basal se determinó la aceleración máxima en roca esperada con un valor $Z=0.5g$, los coeficientes de perfil de suelo F_a , F_d , F_s y demás parámetros necesarios para el cálculo se presentan en la **Tabla 36** a continuación:

$$T_a = C_t * h_n^\alpha$$

$$C_t = 0,05 \quad ; \quad h_n = 5,45 \quad ; \quad \alpha = 1$$

$$T_a = 0,05 * 5,45^1$$

$$\mathbf{T_a = 0,273 s}$$

$$T_o = 0,1 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_o = 0,1 * 1,4 * \frac{1,11}{1,12}$$

$$\mathbf{T_o = 0,139 s}$$

$$T_c = 0,55 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_c = 0,55 * 1,4 * \frac{1,11}{1,12}$$

$$\mathbf{T_c = 0,763 s}$$

$$T_o < T_a < T_c$$

$$S_a = nZF_a$$

$$S_a = 1,8 * 0,5 * 1,12$$

$$\mathbf{S_a = 1,008 \text{ elástico}}$$

$$S_a = nZF_a/R$$

$$S_a = 1,008/5$$

$$\mathbf{S_a = 0,202 g \text{ inelástico}}$$

Tabla 36

Acciones Sísmicas

Descripción	Factor	Valor	NEC-SE-DS	
			Capitulo	Página
Factor de importancia	I	1	4,1	39
Ubicación	ciudad	Portoviejo		
Zona sísmica	z. sísmica	VI	3.1.1	27
Factor Z	Z	0,5	3.1.1	27
Perfil de suelo	tipo	D	3.2.1	29
Coeficiente de amplificación del suelo en la zona de período corto				
	Fa	1,12	3.2.2 a)	31
Coef. del espectro elástico	Fd	1,11	3.2.2 b)	31
Comportamiento no-lineal del suelo	Fs	1,4	3.2.2 c)	32
Factor para el espectro de diseño elástico	r	1	3.3.1	34
Relación de amplificación espectral	n	1,8	3.3.1	34
Altura de la edificación (m)	h	5,45		
Coeficiente de tipo de edificación	Ct	0,05	6.3.3	62
Alfa	α	1	6.3.3	62
Período de vibración Método 1	Ta	0,273	6.3.3 a)	62
Período de vibración Método 2	1.3*Ta	0,355	6.3.3 b)	63
Período de vibración (ETABS)	T	0,147		
Período de vibración	Ta	0,355		
Período de vibración en el espectro sísmico	Tc	0,763	3.3.1	34
Coeficiente relacionado con el período de vibración de la estructura T				
	k	1	6.3.5	67
Aceleración espectral	Sa	1.008	3.3.1	34
Coeficiente de reducción de respuesta estructural	R	5	6.3.4 b)	64-65
Irregularidad en planta	ϕ_p	0,9	5,2	48-52
Irregularidad en elevación	ϕ_e	1	5,2	48-52

$$V = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \phi_p * \phi_e} * W$$

$$V = \frac{1 * 1,008}{5 * 0,9 * 1} * W$$

$$V = 0,224 * 162.3 Tn$$

$$V = 36.35 Tn$$

Una vez calculado el cortante basal se procedió a corregir el cortante basal dinámico, dividiendo el valor obtenido previamente para Fx y Fy del espectro presentándose los siguientes resultados:

Figura 76

Cortante Basal Dinámico sin Corrección

Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX tonf	FY tonf
Dead	LinStatic			0	0
Live	LinStatic			0	0
SOBRECARGA	LinStatic			0	0
SISMO_X	LinRespSpec	Max		27,3092	0,2783
SISMO_Y	LinRespSpec	Max		0,2783	28,0045

$$F_x = 27,3092 \text{ Tn}$$

$$F_y = 28,0045 \text{ Tn}$$

$$\text{Coeficiente } x = \frac{36,35}{27,3092} = 1,33$$

$$\text{Coeficiente } y = \frac{36,35}{28,0045} = 1,26$$

Figura 77

Corrección del Factor Para Sismo en X

General

Load Case Name: SISMO_X [Design...]

Load Case Type: Response Spectrum [Notes...]

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Mass Source: Previous (Masa1)

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	PORTOVIEJO	9,8067*1,33

[Add] [Delete] [Advanced]

Figura 78

Corrección del Factor Para Sismo en Y

General

Load Case Name: SISMO_Y [Design...]

Load Case Type: Response Spectrum [Notes...]

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Mass Source: Previous (Masa1)

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	PORTOVIEJO	9,81*1,26

[Add] [Delete] Advanced

Figura 79

Cortante Basal Dinámico

Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX tonf	FY tonf
Dead	LinStatic			0	0
Live	LinStatic			0	0
SOBRECARGA	LinStatic			0	0
SISMO_X	LinRespSpec	Max		36,3213	0,3702
SISMO_Y	LinRespSpec	Max		0,3507	35,2856

$$VsX > 80\% * V$$

$$36,32 Tn > 80\% * 36,35 Tn$$

$$36,32 Tn > 29,08 Tn \quad \mathbf{OK}$$

$$V_{sY} > 80\% * V$$

$$35,29 \text{ Tn} > 80\% * 36,35 \text{ Tn}$$

$$35,29 \text{ Tn} > 29,08 \text{ Tn} \quad \text{OK}$$

Obtenido el valor del cortante basal se procede asignar el cortante por piso que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 37

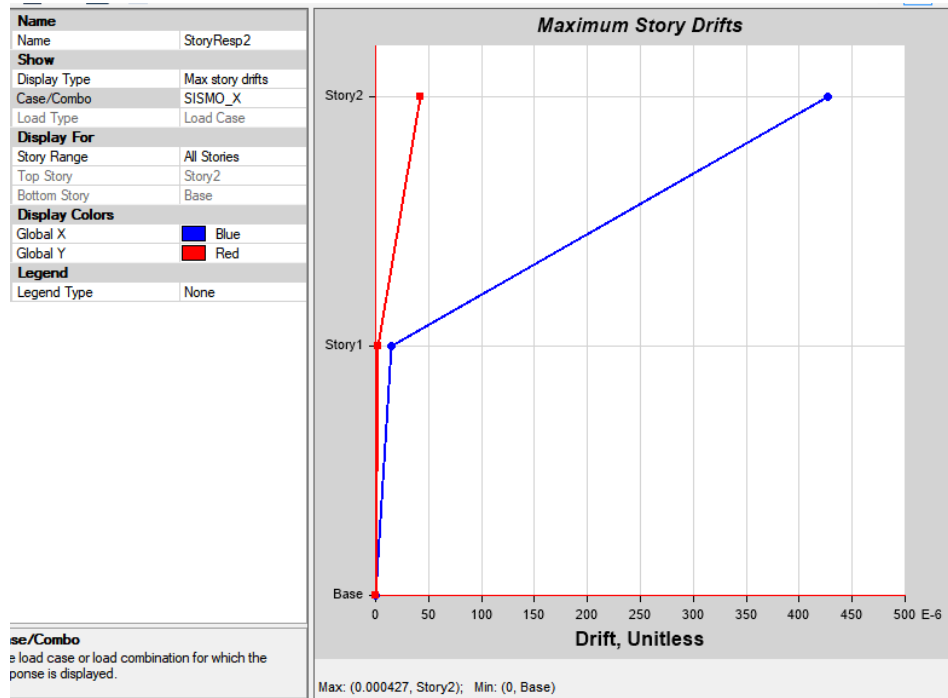
Tabla Cálculo de Fuerzas Laterales Por Piso

Piso	Altura (m)	Hi acum.	Wi (tn)	Wi*hi	Wi*Hi/Σ	Ftotal	Vx acumulado
2	2,725	5,45	33,98	185,19	0,36	13,05	13,05
1	2,725	2,725	121,35	330,68	0,64	23,30	36,35
			155,33	515,87	1,00	36,35	

Derivas en muro de hormigón armado

Figura 80

Deriva de Piso en Hormigón Armado Sx



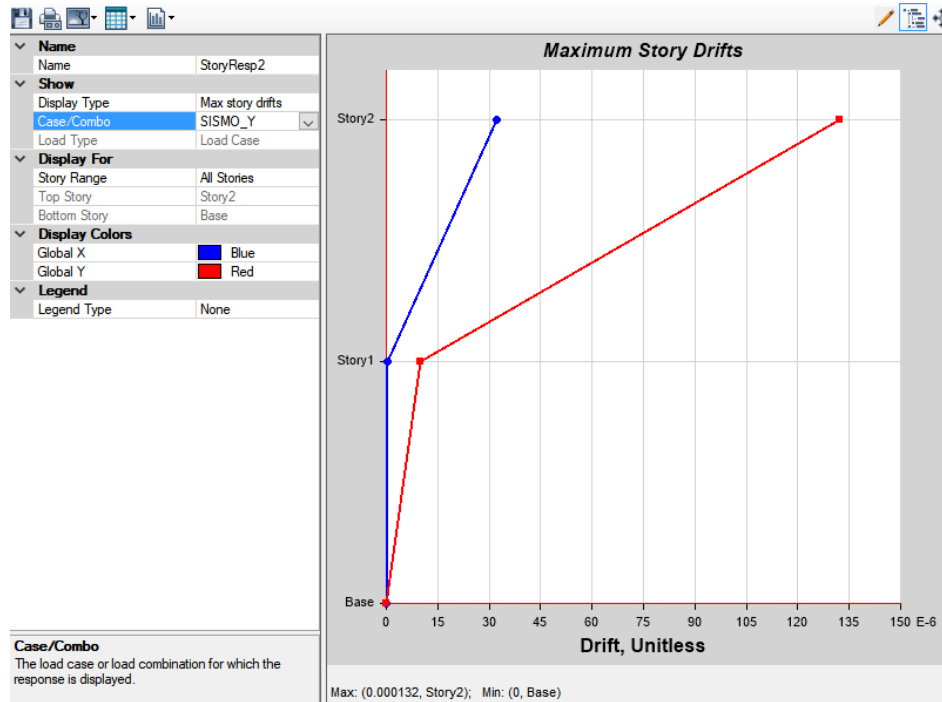
$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$$

$$\Delta_M = 0.75 * 5 * 0.000427 = 0.0016 * 100 = 0.16\%$$

$$\Delta_M = 0.16\% < 2\% \text{ ok}$$

Figura 81

Deriva de Piso en Hormigón Armado Sy



$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$$

$$\Delta_M = 0.75 * 5 * 0.000132 = 0.00050 * 100 = 0.050\%$$

$$\Delta_M = 0.050 < 2\% \text{ ok}$$

Armadura de los elementos

A continuación, se presentan las tablas con los resúmenes de armadura para cada uno de los elementos definidas por el diseño y análisis estructural.

Tabla 38

Armadura en Muros

Ejes	Dimensiones (cm)		Acero de refuerzo Vertical	Acero horizontal
	b	h		
A-G	10	2.73	1 Φ 10mm @ 20cm	Malla electrosoldada Φ 6mm @ 10cm
B-F	10	2.73	1 Φ 10mm @ 20cm	Malla electrosoldada Φ 6mm @ 10cm
D	10	2.73	1 Φ 10mm @ 20cm	Malla electrosoldada Φ 6mm @ 10cm
C-E	10	2.73	1 Φ 10mm @ 20cm	Malla electrosoldada Φ 6mm @ 10cm
8	10	2.73	1 Φ 10mm @ 20cm	Malla electrosoldada Φ 6mm @ 10cm
7	10	2.73	1 Φ 10mm @ 20cm	Malla electrosoldada Φ 6mm @ 10cm
6	10	2.73	1 Φ 10mm @ 20cm	Malla electrosoldada Φ 6mm @ 10cm
5	10	2.73	1 Φ 10mm @ 20cm	Malla electrosoldada Φ 6mm @ 10cm
4	10	2.73	1 Φ 10mm @ 20cm	Malla electrosoldada Φ 6mm @ 10cm
3	10	2.73	1 Φ 10mm @ 20cm	Malla electrosoldada Φ 6mm @ 10cm
2	10	2.73	1 Φ 10mm @ 20cm	Malla electrosoldada Φ 6mm @ 10cm
1	10	2.73	1 Φ 10mm @ 20cm	Malla electrosoldada Φ 6mm @ 10cm

Para el acero de las losas de entrepiso y cubierta se obtuvo el armado que se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 39

Tabla Resumen de Armado de Losa, Piso 1 y 2

Momento	ACI	Mu (T*m)	k	p	p min	As (cm ²)	As ϕ
M-	w12/16	0.526	0.02	0.00117	0.00333	3.66	1 Φ 10mm @ 20cm
M+	w12/14	0.601	0.03	0.00133	0.00333	3.66	1 Φ 10mm @ 20cm
M-	w12/10	1.129	0.05	0.00254	0.00333	3.66	1 Φ 10mm @ 20cm
M+	w12/16	0.912	0.04	0.00204	0.00333	3.66	1 Φ 10mm @ 20cm
M-	w12/10	1.459	0.06	0.00332	0.00333	3.66	1 Φ 10mm @ 20cm
M+	w12/16	0.912	0.04	0.00204	0.00333	3.66	1 Φ 10mm @ 20cm
M-	w12/10	1.129	0.05	0.00254	0.00333	3.66	1 Φ 10mm @ 20cm
M-	w12/14	0.601	0.03	0.00133	0.00333	3.66	1 Φ 10mm @ 20cm
M+	w12/16	0.526	0.02	0.00117	0.00333	3.66	1 Φ 10mm @ 20cm
M-	w12/16	0.526	0.02	0.00117	0.00333	3.66	1 Φ 10mm @ 20cm
M+	w12/14	0.601	0.03	0.00133	0.00333	3.66	1 Φ 10mm @ 20cm
M-	w12/10	0.853	0.04	0.00191	0.00333	3.66	1 Φ 10mm @ 20cm
M+	w12/14	0.617	0.03	0.00137	0.00333	3.66	1 Φ 10mm @ 20cm
M-	w12/16	0.540	0.02	0.00120	0.00333	3.66	1 Φ 10mm @ 20cm
M+	w12/8	1.051	0.05	0.00236	0.00333	3.66	1 Φ 10mm @ 20cm
M-	w12/12	0.701	0.03	0.00156	0.00333	3.66	1 Φ 10mm @ 20cm
M-	w12/8	1.051	0.05	0.00236	0.00333	3.66	1 Φ 10mm @ 20cm
Volado		1.891	0.08	0.00436	0.00333	4.795	1 Φ 12mm @ 20cm

Finalmente, en la losa de cimentación se determinó la conformación de una malla con armadura superior e inferior de 1 Φ 12mm @ 25cm.

Modelamiento BIM-muros portantes

El modelamiento del sistema de muros portantes se desarrolló considerando la distribución arquitectónica detallada en los planos con un ancho de 10 cm para paredes, además se ubicó las aperturas necesarias para puertas y ventanas.

Figura 82

Modelo Estructural de Muros de Hormigón Armado



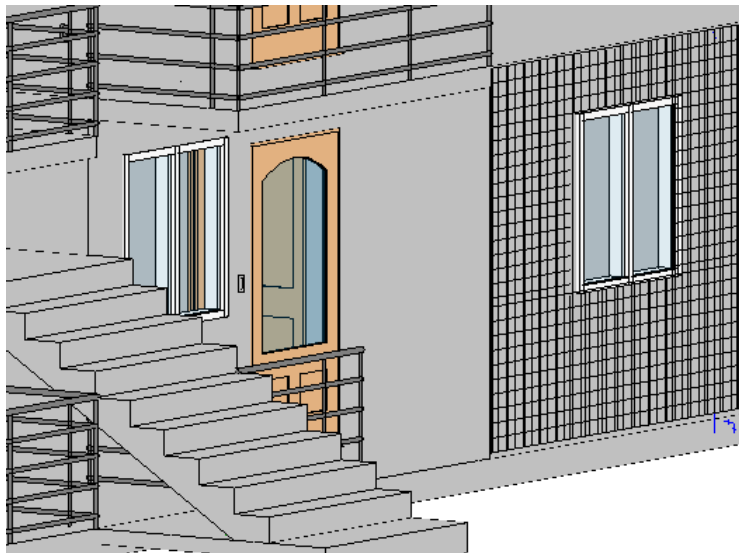
Consecuentemente se colocó las losas de entrepiso y cubierta con su espesor correspondiente. También se realizó el modelamiento de la losa de cimentación y la colocación de la armadura de acero para cada uno de ellos como se puede observar en las siguientes figuras:

Figura 83

Modelo 3D del Muro de Hormigón Armado y Losa

**Figura 84**

Detalle de Acero en Muro de Hormigón



Para concluir se realiza la colocación de la cubierta y demás elementos como puertas, ventanas, sistema de agua potable y electricidad en la vivienda, como se observa a continuación:

Figura 85

Modelo 3D de Muro de Hormigón Armado



Capítulo VII

Steel frame

En esta sección se considera el Capítulo 6.8 de la normativa NEC-SE-VIVIENDA cuyos muros portantes que estén basados en el sistema Steel Frame se diseñarán mediante la normativa “AISI S200-07” o el “Manual de Ingeniería de Steel Frame del Instituto Latinoamericano del Fierro y Acero de Chile”, y considerar además las geometrías y propiedades de los perfiles establecidas en la norma NTE INEN 2526.

Materiales

Acero:	ASTM 653 grado 36
Límite de fluencia:	250 MPa (2549,29 kg/cm ²)
Resistencia a la tracción:	365 MPa (3721,96 kg/cm ²)
Loseta de hormigón:	210 kg/cm ²

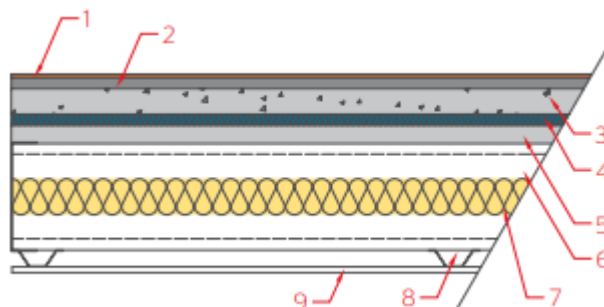
Carga muerta y sobrecarga

Considerando que cuando todas las piezas se encuentran correctamente alineadas las cargas del PCG superior trasladan inmediatamente las cargas al PCG inferior y debido a la configuración de modulación cada perfil soporta una franja de 60 cm.

En base a las recomendaciones de (Barbieri, 2020) en el Manual de Apoyo para la Construcción en Steel Frame desarrollado por la empresa se consideró los siguientes pesos tanto para entepiso como para montantes y su distribución de materiales de acuerdo a las **Figuras 88 y 89** que se observan a continuación:

Figura 86

Pesos para entrapiso húmedo

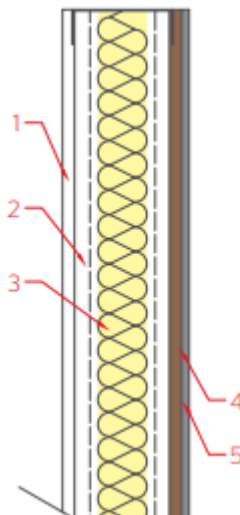


Nota. Tomado del MANUAL DE APOYO STEEL FRAME, por (Barbieri, 2020).

1-Cerámica	28,00	kg/m ²
2-Carpeta 2cm	42,00	kg/m ²
3-Contrapiso (5cm)	117,50	kg/m ²
4-Poliestireno expandido	0,00	kg/m ²
5-Chapa acanalada de acero	7,00	kg/m ²
6-PGC 200*1,6mm	8,65	kg/m ²
7-Aislante termoacústico	1,60	kg/m ²
8-Perfil omega 12,5*0,5mm	0,59	kg/m ²
9-Placa de Yeso 9,5mm	7,00	kg/m ²
	<hr/>	
	212,34	kg/m ²

Figura 87

Pesos para panel de montantes



Nota. Tomado del MANUAL DE APOYO STEEL FRAME, por (Barbieri, 2020).

1-Placa de Yeso 12,5 cm	8,90	kg/m ²
2-Perfil	1,45	kg/m ²
3-Aislante termoacústico	1,60	kg/m ²
4-Multilaminado fenólico	7,00	kg/m ²
5-Placa cementicia	15,97	kg/m ²
	<hr/>	
	34,92	kg/m ²

$$\text{Peso total} = 212,34 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} + 34,92 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Peso total} = 247,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Presión del viento

La presión de viento se calculó mediante el procedimiento establecido en la NEC-SE-CG Cargas No Sísmicas de su sección 3.2.4 y cuyo detalle se presenta a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 40

Carga de viento para la edificación

Parámetro	Valor	Observación	Referencia NEC
Velocidad de viento (V)	21,00	m/s	Sec 3.2.4 a/Pág.14
	75,00	km/h	
Coefficiente de corrección	0,86	Categoría B	Sec 3.2.4 b/Tabla 5
Altura total de montantes (m)	5,45	m	
Categoría de exposición	B		
Velocidad corregida (Vb)	18,06	m/s	$V_b = V \cdot \sigma$
Densidad del aire	1,25	Kg/m ³	Sec 3.2.2 c
Coefficiente de entorno/altura (Ce)	0,62		ASCE-7-16 Pág.268
Factor de forma (Cf)	0,80	Barlovento	Sec 3.2.2 d
Presión de aire (N/m ²)	101,11	Barlovento	$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_b^2 \cdot c_e \cdot c_f$
Presión de aire (Kg/m ²)	10,31	Barlovento	$P(\text{Kg/m}^2) = P/9,81$

Distribución de cargas

En este sistema las cargas gravitacionales se distribuyen de manera uniforme en viguetas y montantes sea de 40 cm o 60 cm, siendo estos múltiplos de 1,20 m. concernientes a la medida de los paneles de revestimiento estándar (Dannemann, 2008).

Por este motivo se considera un ancho cooperante de 60 cm de separación entre viguetas y montantes, lo que permite optimizar de mejor manera el acero de la estructura y se procedió a calcular la carga que actúa sobre las viguetas tanto para entrepiso como para cubierta:

Carga muerta

- N+2,725

$$Wm1 = 212,34 \frac{kg}{m^2} * 0,6 m$$

$$\mathbf{Wm1 = 127,20 kg/ml}$$

- N+5,45

$$Wm2 = 212,34 \frac{kg}{m^2} * 0,6 m$$

$$\mathbf{Wm2 = 127,2 kg/ml}$$

- Cubierta N+5,45

El área donde se colocará la cubierta no requiere de una loseta de hormigón ni acabados como cerámica por lo que se realiza un recálculo de los pesos considerando la exoneración de estos parámetros:

Poliestireno expandido	0,00	kg/m ²
Chapa acanalada de acero	7,00	kg/m ²
PGC 200*1,6mm	8,65	kg/m ²
Aislante termoacústico	1,60	kg/m ²
Perfil omega 12,5*0,5mm	0,59	kg/m ²
Placa de Yeso 9,5mm	7,00	kg/m ²

$$24,84 \text{ kg/m}^2$$

$$Wc1 = 24,84 \frac{kg}{m^2} * 0,6 m$$

$$\mathbf{Wc1 = 17,3 kg/ml}$$

Para determinar la carga muerta de la cubierta se divido su peso muerto para el área que ocupa sobre la edificación en el nivel +5.45 m, mientras que para la carga viva para entrepiso y cubierta actuante en cada vigueta se consideró el mismo espaciamiento de cálculo:

$$Wc2 = \frac{1243,81}{7,44 * 9,52} * \frac{kg}{m^2} * 0,6 m$$

$$\mathbf{Wc2 = 10,54 kg/ml}$$

$$Wm3 = Wc1 + Wc2$$

$$Wm3 = 10,54 \frac{kg}{ml} + 17,3 kg/ml$$

$$\mathbf{Wm3 = 27,84 kg/ml}$$

Carga viva

$$Wcv1 = 200 \frac{kg}{m^2} * 0,6 m$$

$$\mathbf{Wcv1 = 120 kg/ml}$$

$$Wcv2 = 70 \frac{kg}{m^2} * 0,6 m$$

$$\mathbf{Wcv2 = 42 kg/ml}$$

Diseño estructural

El diseño fue realizado en el programa SAP2000 que contiene la normativa AISI para perfiles conformados en frío, se consideró además la unión de elementos a través de la opción de emperrado o "pinned" debido a que se nulifica la transmisión de momentos.

Durante la modelación, el diseño estructural toma en cuenta las secciones efectivas para cada uno de los perfiles de acuerdo a los siguientes parámetros:

- Labios de sección
- Relación de esbeltez de labios

- Sección efectiva de labio a compresión
- Sección efectiva de labio a tensión
- Alas
- Relación de esbeltez de las alas
- Sección efectiva del ala a la compresión
- Labio a compresión modificado
- Sección efectiva del ala a tensión
- Alma
- Relación de esbeltez de alma
- Sección efectiva del alma a compresión

Se considera que los perfiles determinados por la NORMA NTE INEN 2526 cumplen con estas condiciones y adicionalmente el programa calcula valores como:

- eje neutro de secciones efectivas.
- momento de inercia de la sección lineal.
- momento de inercia de la sección total.
- momento de sección con respecto a la fibra extrema superior.
- momento de diseño y demás parámetros para el cálculo local y global de la estructura.

Para las riostras se optó por cintas rectangulares que trabajan a tensión y generalmente adquieren una forma de X. En el modelo se halla un valor máximo de 2653 kg, menor al T_u admisible, cuyo cálculo se muestra a continuación:

$$T_u = \Phi T_n$$

$$T_n = A_n * f_y$$

$$Tn = An * 3500 \text{ kg/cm}^2$$

$$Tn = 4 \text{ cm} * 0,26 \text{ cm} * 3500 \text{ kg/cm}^2$$

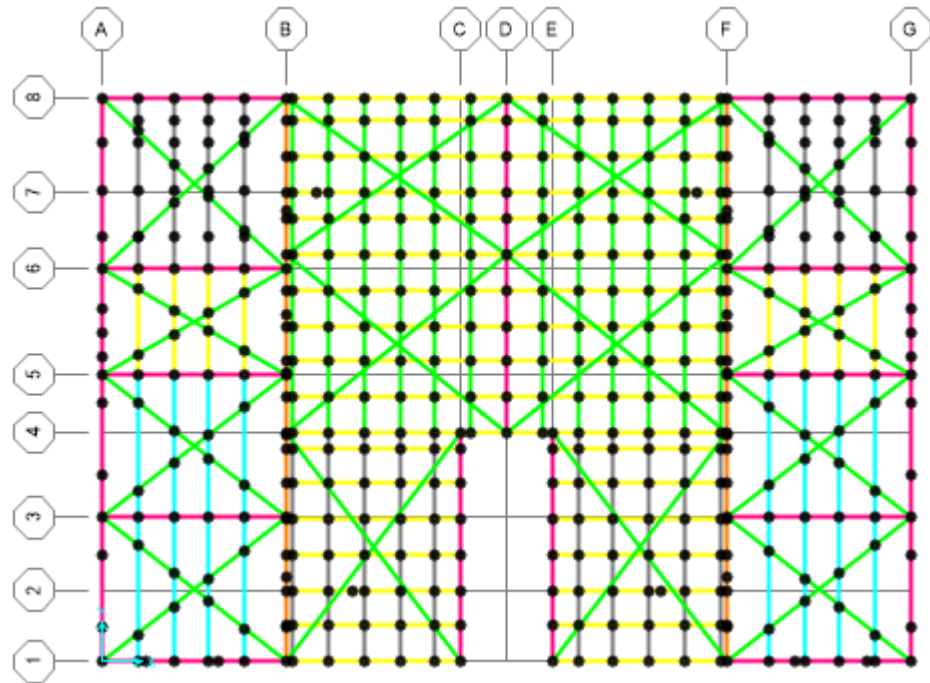
$$Tn = 3640 \text{ kg}$$

$$Tu = 0,95 * 3640 \text{ kg}$$

$$Tu = 3276 \text{ kg}$$

Geometría de la edificación

Los niveles N+2,725 y N+5,45 tiene una gran similitud en cuanto al diseño y componentes de elementos Steel Frame, sin embargo, existe una variación en sus cargas actuantes. A continuación, se presenta en la **Figura 90**, la distribución de los distintos elementos, tanto de viguetas como riostras que fueron ubicadas en sentido transversal a las viguetas, a más de ello se optó por colocar riostras en forma diagonal "X" para una adecuada simulación de la rigidez que aporta la losa de hormigón en la estructura.

Figura 88*Distribución de los Elementos*

En las **Figuras 91, 92 y 93** se muestra tres ejes representativos de la estructura donde se observa la colocación de vigas de celosía que permitan una adecuada distribución de las cargas y la disposición de los montantes de manera que las cargas desde las vigas y viguetas sea de manera directa transmitida hacia el suelo. A más de ello, las viguetas se colocaron de manera vertical en forma de C, mientras las vigas en forma recostada debido a que el comportamiento de las viguetas es de simplemente apoyada.

Se tomó en cuenta también la disposición de ventanas y puertas del diseño arquitectónico, por lo que fue necesario colocar vigas de tipo dintel y arriostamientos que se colocaron en los distintos paneles, cerchas y puntos críticos de la estructura. Cabe mencionar

también, que la distribución de los paneles de steel frame fue similar al realizado en el modelo de muros portantes en concordancia con el diseño arquitectónico.

Figura 89

Eje B

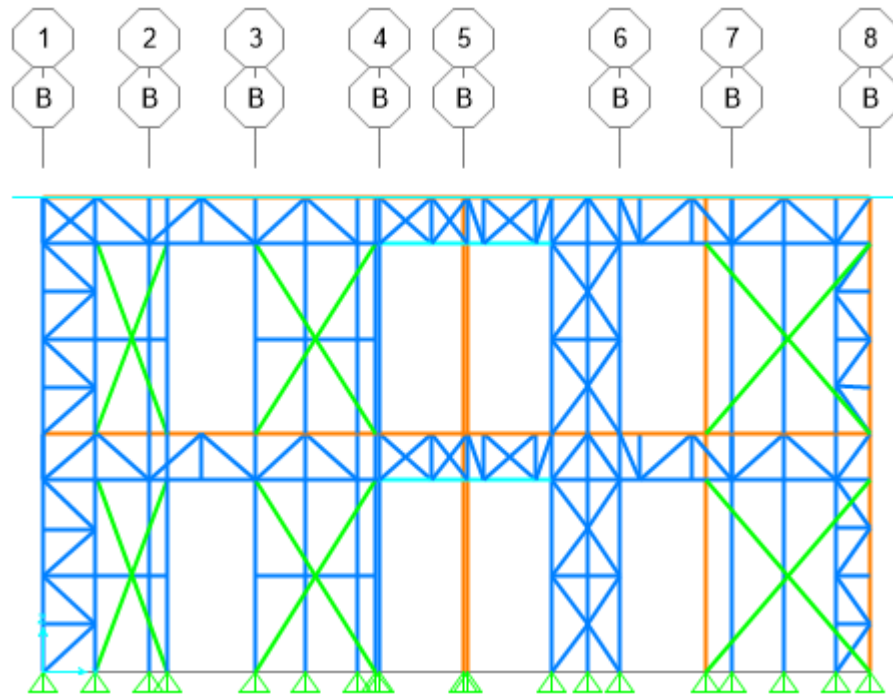
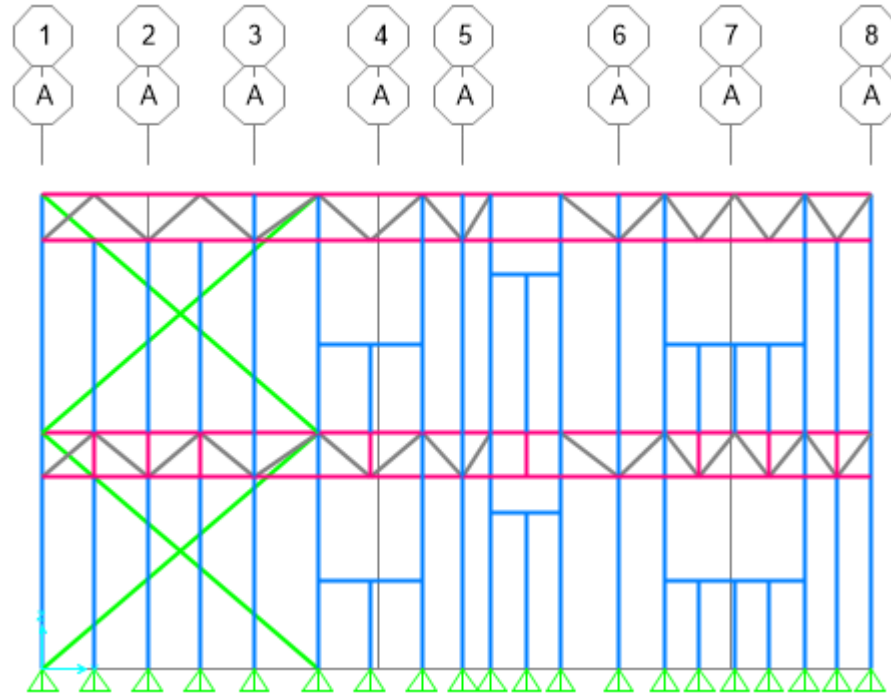
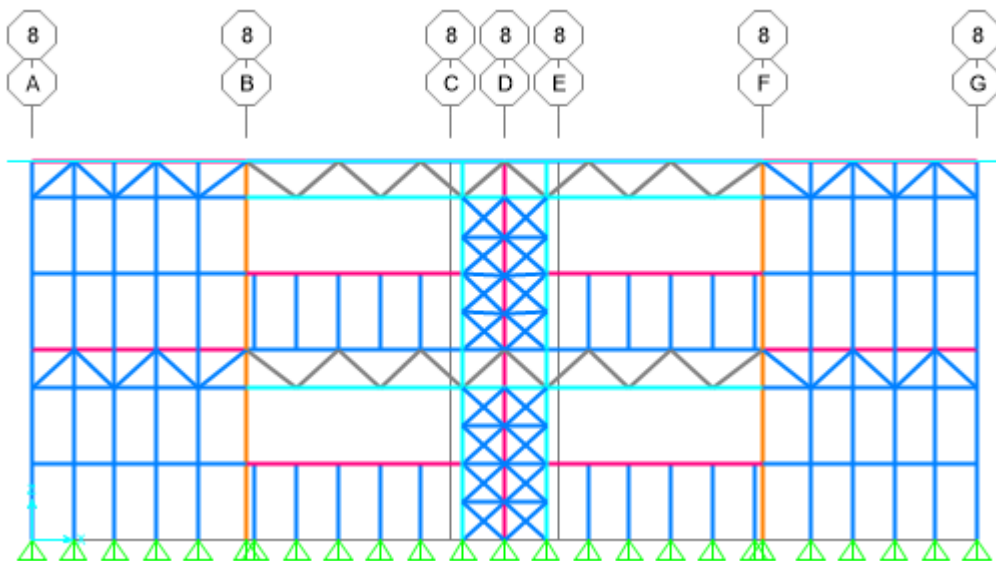


Figura 90*Eje A***Figura 91***Eje 8*

Acciones sísmicas

En el cálculo del cortante basal se determinó previamente la aceleración máxima en roca esperada con un valor $Z=0.5g$, y demás parámetros necesarios para el cálculo que se presentan en la **Tabla 43**. A continuación se observa en la siguiente tabla el coeficiente alfa obtenido de la NEC-SE-DS sección 6.3.3.a para la obtención del período de vibración de la estructura:

Tabla 41

Coefficientes para el Período de Vibración de la Estructura

Tipo de estructura	C_t	α
Estructuras de acero		
Sin arriostramientos	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.055	0.75

Nota. Tomado de la NEC-SE-DS-Peligro-Sísmico-parte-2, por (MIDUVI, 2014).

$$T_a = C_t * h n^\alpha$$

$$C_t = 0,073 \quad ; \quad h n = 5,45 \quad ; \quad \alpha = 0,75$$

$$T_a = 0,073 * 5,45^{0,75}$$

$$T_a = 0,26 \text{ s}$$

$$T_o = 0,1 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_o = 0,1 * 1,4 * \frac{1,11}{1,12}$$

$$T_o = 0,139 \text{ s}$$

$$T_c = 0,55 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_c = 0,55 * 1,4 * \frac{1,11}{1,12}$$

$$T_c = 0,763 \text{ s}$$

$$T_o < T_a < T_c$$

$$S_a = nZFa$$

$$S_a = 1,8 * 0,5 * 1,12$$

$$S_a = 1,008 \text{ elástico}$$

$$S_a = nZFa/R$$

$$S_a = 1,008/5$$

$$S_a = 0,202 \text{ g inelástico}$$

El factor de reducción de resistencia sísmica R se estableció según la tabla de sistemas estructurales de ductilidad limitada que se encuentra en la norma NEC-SE-DS que se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 42

Factor de Reducción R

Sistemas Estructurales de Ductilidad Limitada	R
Pórticos resistentes a momento	
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM , limitados a viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros.	3
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM con armadura electrosoldada de alta resistencia	2.5
Estructuras de acero conformado en frío, aluminio, madera, limitados a 2 pisos.	2.5

Nota. Tomado de la *NEC-SE-DS-Peligro-Sísmico-parte-2*, por(MIDUVI, 2014).

Tabla 43

Acciones Sísmicas

Descripción	Factor	Valor	NEC-SE-DS	
			Capitulo	Página
Factor de importancia	I	1,00	4,1	39
Ubicación	ciudad Portoviejo			
Zona sísmica	z. sísmica	VI	3.1.1	27
Factor Z	Z	0,5	3.1.1	27
Perfil de suelo	tipo	D	3.2.1	29
Coefficiente de amplificación del suelo en la zona de período corto	Fa	1,12	3.2.2 a)	31
Coef. del espectro elástico	Fd	1,11	3.2.2 b)	31
Comportamiento no-lineal del suelo	Fs		3.2.2 c)	32
Factor para el espectro de diseño elástico	r	1,00	3.3.1	34
Relación de amplificación espectral	n	1,8	3.3.1	34
Altura de la edificación (m)	h	5,45		
Coefficiente de tipo de edificación	Ct	0,07	6.3.3	62
Alfa	α	0,75	6.3.3	62
Período de vibración Método 1	Ta	0,26	6.3.3 a)	62
Período de vibración Método 2	1.3*Ta	0,34	6.3.3 b)	63
Período de vibración (SAP 2000)	T	0,37		
Período de vibración	Ta	0,34		
Período de vibración en el espectro sísmico	Tc	0,763	3.3.1	34
Coefficiente relacionado con el período de vibración de la estructura T	k	1,00	6.3.5	67
Aceleración espectral	Sa	1008,00	3.3.1	34
Coefficiente de reducción de respuesta estructu	R	2,5	6.3.4 b)	64-65
Irregularidad en planta	ϕ_p	0,9	5,2	48-52
Irregularidad en elevación	ϕ_e	1,00	5,2	48-52

Cortante basal

$$V = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \phi_p * \phi_e} * W$$

$$V = \frac{1 * 1,008}{2,5 * 0,9 * 1} * W$$

$$V = 0,448 * 75,73 Tn$$

$$V = 33,92 Tn$$

Tabla 44

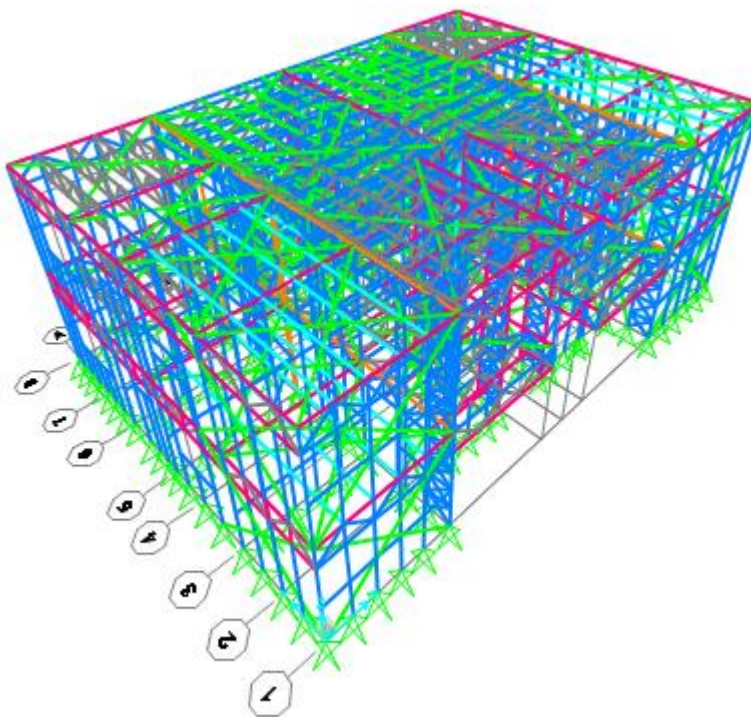
Distribución del Cortante Basal por Piso

Piso	Altura (m)	Hi acum.	Wi (tn)	Wi*hi	Wi*Hi/ Σ	Ftotal	Vx acumulado
2	2,725	5,45	24,76	134,94	0,49	16,72	16,72
1	2,725	2,725	50,97	138,89	0,51	17,20	33,92
			75,73	273,83	1,00	33,92	

En la **Figura 94** se observa el modelo 3D de la edificación y el sistema de apoyos tipo simple considerados para este tipo de estructuras, debido a que se fijará en la cimentación mediante pernos de anclaje.

Figura 92

Modelo 3D Steel Frame



A continuación, en la **Figura 95**, se indica el peso de la estructura, que se encuentra constituida por todos los componentes de Steel Frame cuyo peso es de 7.86 toneladas, y el peso de la estructura más la sobrecarga con un valor total de 75.73 toneladas.

Figura 93

Peso de la Estructura

OutputCase Text	CaseType Text	GlobalFZ Kgf
Peso estructura	Combination	7862,93
Sobrecarga	Combination	67869,12
Sobrecarga+Peso estructura(Dead)	Combination	75732,05
Servicio	LinStatic	114865,97

Derivas

La revisión de las derivas de acuerdo a la NEC en su sección 6.3.9 solicita el control de las derivas inelásticas máximas, razón por la cual para el sistema Steel Frame se consideró el sismo “X” y sismo “Y” para el análisis que se presentan en las siguientes tablas, además de las siguientes ecuaciones que se utilizaron para su cálculo:

$$\text{Deriva elástica} = \Delta e = (\Delta 2 - \Delta 1)/h_e$$

$$\text{Deriva inelástica} = \Delta i = 0,75 * \frac{\Delta 2 - \Delta 1}{h_e} * R \leq 0,02$$

- Sentido X

Tabla 45

Sentido X

	Des. Superior (cm)	Des. Inferior (cm)	Altura h_e (cm)	Deriva elástica Δe	Deriva inelástica Δi	Deriva normativa $\Delta_{m\acute{a}x}$	Observación
N+2,725	0,89	0,00	272,5	0,003266055	0,006123853	0,02	ok
N+5,45	1,68	0,89	272,5	0,002899083	0,00543578	0,02	ok

- Sentido Y

Tabla 46*Sentido Y*

	Des. Superior	Des. Inferior	Altura he	Deriva elástica	Deriva inelástica	Deriva normativa	Observación
	(cm)	(cm)	(cm)	Δe	Δi	$\Delta máx$	
N+2,725	0,6273	0,00	272,5	0,002302018	0,004316284	0,02	ok
N+5,45	1,22	0,6273	272,5	0,002175046	0,004078211	0,02	ok

Cimentación

Se utilizará una cimentación de tipo losa que ofrece una adecuada estabilidad a este tipo de estructuras, debido a la distribución de montantes. La fijación de los perfiles hacia la losa de hormigón se lo realiza mediante clavos de impacto: neumático o de disparo, existen además clavos con vástagos y estrías en espiral que incrementan la sujeción en el hormigón.

Se considera un $f_c=210$ kg/cm² para el hormigón y una capacidad portante del suelo de 10 Tn/m². Las dimensiones de losa son de 15mx10m y un espesor previo de 15 cm, además debido a la distribución de cargas se determina su excentricidad como se observa en la Tabla 51 tomando en cuenta las secciones que se presentan en la **Figura 96** a continuación:

Figura 94

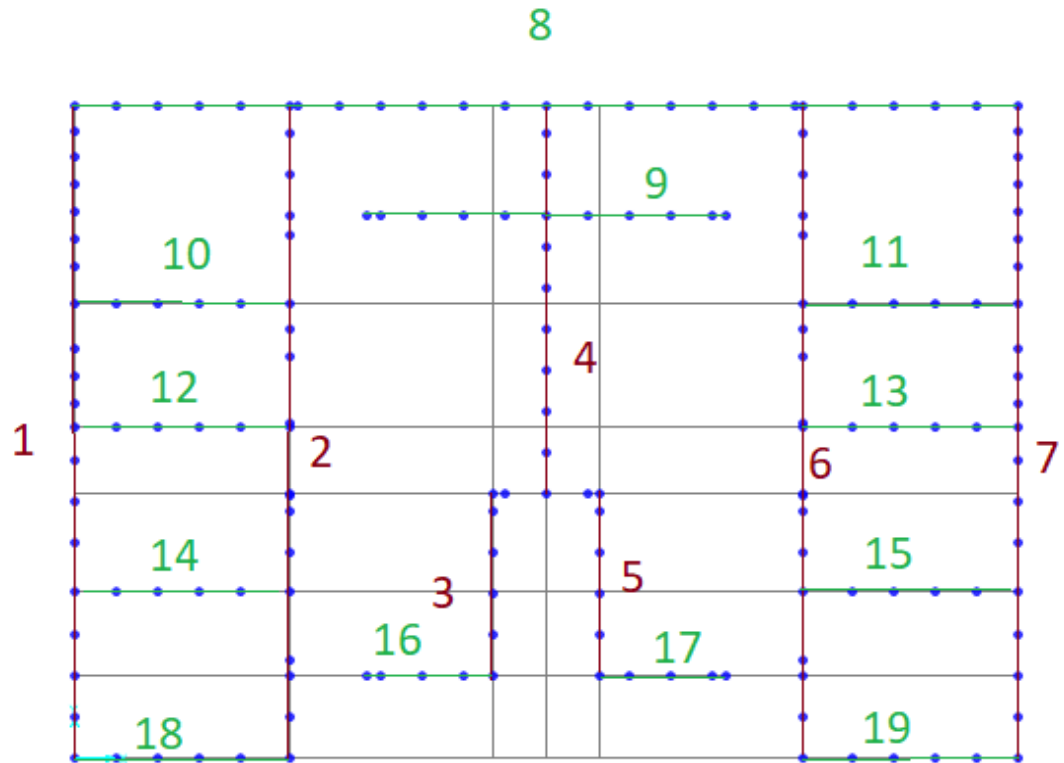
Secciones

Tabla 47

Cálculo de excentricidad

Sección	Centro de Gravedad		CM	CV	R=CM+CV	Mx=R*X	My=R*Y	Pu=1,2CM+1,6CV
	X(m)	Y(m)	kg	kg	kg	kg*m	kg*m	
1	0,00	4,76	3331,44	157,14	3488,58	0,00	16605,64	4249,15
2	3,10	4,76	8758,56	5867,65	14626,21	45341,25	69620,76	19898,51
3	6,04	2,54	3716,54	1520,85	5237,39	31633,84	13302,97	6893,21
4	6,82	6,70	9533,36	5316,86	14850,22	101278,50	99422,22	19947,01
5	7,60	2,54	3716,54	1520,85	5237,39	39804,16	13302,97	6893,21
6	10,54	4,76	8758,56	5867,65	14626,21	154160,25	69620,76	19898,51
7	13,64	4,76	3331,44	157,14	3488,58	47584,22	16605,64	4249,15
8	6,82	9,52	7637,56	3408,52	11046,08	75334,27	105158,68	14618,70
9	6,82	7,92	4277,91	1163,63	5441,54	37111,30	43097,00	6995,30
10	1,55	6,63	3060,72	1614,31	4675,03	7246,30	30995,45	6255,76
11	12,09	6,63	3060,72	1614,31	4675,03	56521,11	30995,45	6255,76
12	1,55	4,84	2457,07	1251,89	3708,96	5748,89	17951,37	4951,51
13	12,09	4,84	2457,07	1251,89	3708,96	44841,33	17951,37	4951,51
14	1,55	2,43	4082,24	735,13	4817,37	7466,92	11706,21	6074,90
15	12,09	2,43	4082,24	735,13	4817,37	58242,00	11706,21	6074,90
16	4,57	1,21	1336,38	1566,49	2902,87	13266,12	3512,47	4110,04
17	9,07	1,21	1336,38	1566,49	2902,87	26329,03	3512,47	4110,04
18	1,55	0,00	1607,65	700,00	2307,65	3576,86	0,00	3049,18
19	12,09	0,00	1607,65	700,00	2307,65	27899,49	0,00	3049,18
					114865,96	783385,834	575067,63	152525,52

$$X = \frac{\sum Mx}{\sum R}$$

$$X = \frac{783385,834}{114865,96}$$

$$X = 6,82 \text{ m}$$

$$e_x = 6,82 - \frac{13,64}{2}$$

$$e_x = 0 \text{ m}$$

$$Y = \frac{\sum My}{\sum R}$$

$$Y = \frac{575067,63}{114965,96}$$

$$Y = 5,00 \text{ m}$$

$$e_y = 5,00 - \frac{9,52}{2}$$

$$e_y = 0,24 \text{ m}$$

Esfuerzos

Se calcula el peso de losa tomando en consideración el espesor de 15 cm de losa.

$$P = 0,15 * 15\text{m} * 10\text{m} * 2,4 \frac{\text{tn}}{\text{m}^3} = 54 \text{ tn}$$

$$P = 114,87 \text{ tn} + 54 \text{ tn} = 168,87 \text{ tn}$$

$$q_s = \frac{P}{A} + \frac{M_{yy} * X}{I_{yy}} + \frac{M_{xx} * Y}{I_{xx}}$$

$$M_{xx} = P * e_y = 168,87 \text{ tn} * 0,24 \text{ m} = 40,53 \text{ tn} * \text{m}$$

$$M_{yy} = P * e_x = 168,87 \text{ tn} * 0,00 \text{ m} = 0,00 \text{ tn} * \text{m}$$

$$q_s = \frac{168,87 \text{ tn}}{15\text{m} * 10\text{m}} + 0 * X + \frac{40,53 \text{ tn} * \text{m} * Y}{\frac{15 * 10^3}{12} \text{ m}^4}$$

$$q_s = 1,1258 + 0 * X + 0,032 * Y$$

Figura 95

Coordenadas de Extremos de Losa

X (m)	Y (m)
-7,5	5
7,5	5
-7,5	-5
7,5	-5

$$q_s = 1,1258 + 0 * X + 0,032 * (5 \text{ m})$$

$$q_s = 1,28 \frac{\text{tn}}{\text{m}^2} < q_{adm} \text{ OK}$$

Esfuerzo último

$$q_{su} = \frac{P_u}{A} + \frac{M_{uyy} * X}{I_{yy}} + \frac{M_{uxx} * Y}{I_{xx}}$$

$$P_u = 152,53 \text{ tn} + 1,2 * 54 \text{ tn} = 217,33 \text{ tn}$$

$$M_{uxx} = P_u * e_y = 217,33 \text{ tn} * 0,24 \text{ m} = 52,16 \text{ tn} * \text{m}$$

$$M_{uyy} = P_u * e_x = 217,33 \text{ tn} * 0,00 \text{ m} = 0,00 \text{ tn} * \text{m}$$

$$q_u = \frac{P_u}{A} + \frac{M_{uyy} * X}{I_{yy}} + \frac{M_{uxx} * Y}{I_{xx}}$$

$$q_{su} = \frac{217,33}{15m * 10m} + 0 * X + \frac{52,16 \text{ tn. m} * Y}{\frac{15 * 10^3}{12} m^4}$$

$$q_{su} = 1,49 + 0 * X + 0,041 * Y$$

$$q_{su} = 1,49 + 0 * X + 0,041 * (5m)$$

$$q_{su} = 1,70 \frac{\text{tn}}{m^2} < q_{adm} \quad \mathbf{OK}$$

Armadura de losa

$$M_u = \frac{1,5 * 1,70 * 1^2}{8}$$

$$M_u = 0,32 \text{ tn. m}$$

$$A_s = k \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_u}{\phi * k * d * f_y}} \right)$$

$$k = \frac{0,85 * f_c * b * d}{f_y}$$

$$k = \frac{0,85 * 210 * 100 \text{ cm} * 11 \text{ cm}}{4200} = 46,75 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 46,75 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 46000}{0,9 * 46,75 * 11 * 4200}} \right)$$

$$\mathbf{A_s = 0,77 \text{ cm}^2}$$

$$A_{s\text{mín}} = 0,0018 * b * d$$

$$A_{s\text{mín}} = 0,0018 * 100 * 11$$

$$\mathbf{A_{s\text{mín}} = 1,98 \text{ cm}^2}$$

$$\therefore A_s = 1\phi 10\text{mm}@25\text{cm}$$

Familia de perfiles NTE INEN 2526

El sistema Steel Frame permite utilizar perfiles laminados de espesor delgado y obtener una variedad de combinaciones de piezas modulares y estandarizadas, logrando minimizar costos de producción masiva. A pesar de no existir limitaciones de libre diseño en perfiles delgados, los fabricantes los han sintetizado en un número de formas y medidas similares que permita usarse en mercados internacionales para que sus detalles y características coincidan en sus referencias técnicas, lo que ha favorecido al éxito de este sistema de manera global (Barbieri, 2020).

En el Manual de Ingeniería de Steel Frame detalla los siguientes perfiles:

- Perfil montante y vigas
- Perfil solera
- Perfil mini canal
- Perfil mini galera
- Perfil ángulo conector
- Cinta o fleje

Para la realización de Normativa INEN 2526 denominada “PERFILES ESPECIALES ABIERTOS, LIVIANOS, PREGALVANIZADOS Y CONFORMADOS EN FRÍO PARA USO EN ESTRUCUTURAS PORTANTE. REQUISITOS” se integró un Subcomité Técnico con miembros representantes de algunas instituciones como: TUGALT, NOVACERO, KUBIEC, UDLA, ROODTEC, INEN-FEDIMETAL. Esta norma establece los requisitos a cumplir los perfiles conformados en frío y lo clasifican según su geometría en:

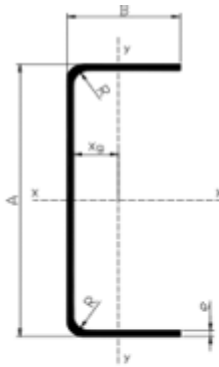
- PGG: Perfil galvanizado “G”
- PCG: Perfil galvanizado “C”
- PGS: Perfil galvanizado “S”

- PGO: Perfil galvanizado "O"
- PGZ: Perfil galvanizado "Z"

A continuación, se detalla los perfiles PGG y PGC señalados en la norma y que se consideraron para la creación de familias Revit dentro del proyecto:

Figura 96

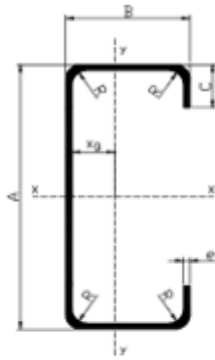
Perfiles PGC



Perfil	e (mm)	R (mm)	A (mm)	B (mm)
PGC 90x0.89	0,89	1,40	92,00	35,00
PGC 90x1.24	1,24	1,92	93,00	35,00
PGC 90x1.6	1,60	2,46	94,00	35,00
PGC 100x0.89	0,89	1,40	102,00	35,00
PGC 100x1.24	1,24	1,92	103,00	35,00
PGC 100x1.6	1,60	2,46	104,00	35,00
PGC 140x0.89	0,89	1,40	142,00	35,00
PGC 140x1.24	1,24	1,92	143,00	35,00
PGC 140x1.6	1,60	2,46	144,00	35,00
PGC 140x2.00	2,00	3,06	145,00	35,00
PGC 150x0.89	0,89	1,40	152,00	35,00
PGC 150x1.24	1,24	1,92	153,00	35,00
PGC 150x1.60	1,60	2,46	154,00	35,00
PGC 150x2.00	2,00	3,06	155,00	35,00
PGC 200x1.24	1,24	1,92	203,00	35,00
PGC 200x1.60	1,60	2,46	204,00	35,00
PGC 200x2.00	2,00	3,06	204,00	35,00
PGC 250x1.60	1,60	2,46	254,00	35,00
PGC 250x2.00	2,00	3,06	255,00	35,00
PGC 250x2.5	2,50	3,81	255,00	35,00
PGC 300x0.89	0,89	1,40	302,00	35,00
PGC 300x1.6	1,60	2,46	304,00	35,00
PGC 300x2.00	2,00	3,06	305,00	35,00
PGC 300x2.50	2,50	3,81	306,00	35,00

Figura 97

Perfiles PGG



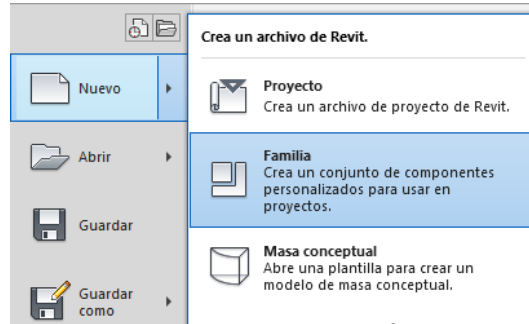
Perfil	e (mm)	R (mm)	A (m)	B (mm)	C (mm)
PGG 90x0.89	0,89	1,40	90,00	17,00	40,00
PGG 90x1.24	1,24	1,92	90,00	17,00	40,00
PGG 90x1.60	1,60	2,46	90,00	17,00	40,00
PGG 100x0.89	0,89	1,40	100,00	17,00	40,00
PGG 100x1.24	1,24	1,92	100,00	17,00	40,00
PGG 100x1.6	1,60	2,46	100,00	17,00	40,00
PGG 140x0.89	0,89	1,40	140,00	17,00	40,00
PGG 140x1.24	1,24	1,92	140,00	17,00	40,00
PGG 140x1.6	1,60	2,46	140,00	17,00	40,00
PGG 140x2.00	2,00	3,06	140,00	17,00	40,00
PGG 150x0.89	0,89	1,40	150,00	17,00	40,00
PGG 150x1.24	1,24	1,92	150,00	17,00	40,00
PGG 150x1.60	1,60	2,46	150,00	17,00	40,00
PGG 150x2.00	2,00	3,06	150,00	17,00	40,00
PGG 200x1.24	1,24	1,92	200,00	17,00	44,00
PGG 200x1.60	1,60	2,46	200,00	17,00	44,00
PGG 200x2.00	2,00	3,06	200,00	17,00	44,00
PGG 250x1.60	1,60	2,46	250,00	17,00	44,00
PGG 250x2.00	2,00	3,06	250,00	17,00	44,00
PGG 250x2.5	2,50	3,81	250,00	17,00	44,00
PGG 300x0.89	0,89	1,40	300,00	17,00	44,00
PGG 300x1.6	1,60	2,46	300,00	17,00	44,00
PGG 300x2.00	2,00	3,06	300,00	17,00	44,00
PGC 300x2.50	2,50	3,81	300,00	17,00	44,00

Generación de Familia

Mediante el siguiente flujo de trabajo se presenta la obtención de una familia de perfiles PGC y PGG que responda a las especificaciones técnicas de la norma NTE INEN 2526. Inicialmente dentro del programa se selecciona la creación de “Familia”, posteriormente se elige la opción “Armazón estructural métrico vigas y tornapuntas”.

Figura 98

Generación de Familia



Se elimina el boceto que se encuentra por defecto y mediante la barra "Crear" en la opción "Barrido" se realiza el "Boceto de camino"

Figura 99

Armazón Métrico Vigas y Tornapuntas

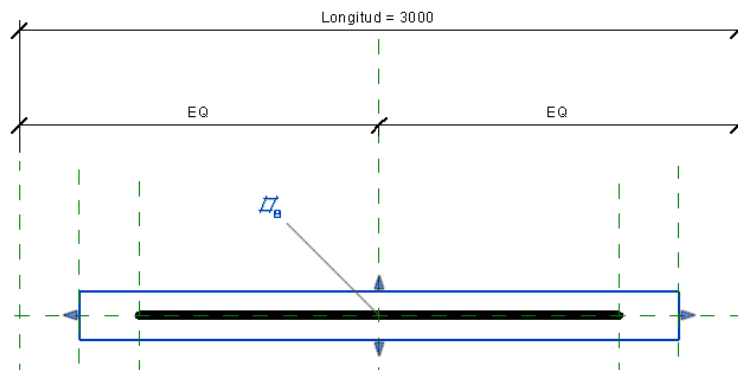
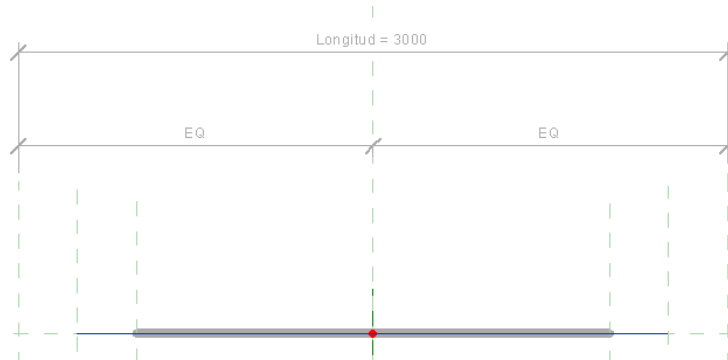


Figura 100

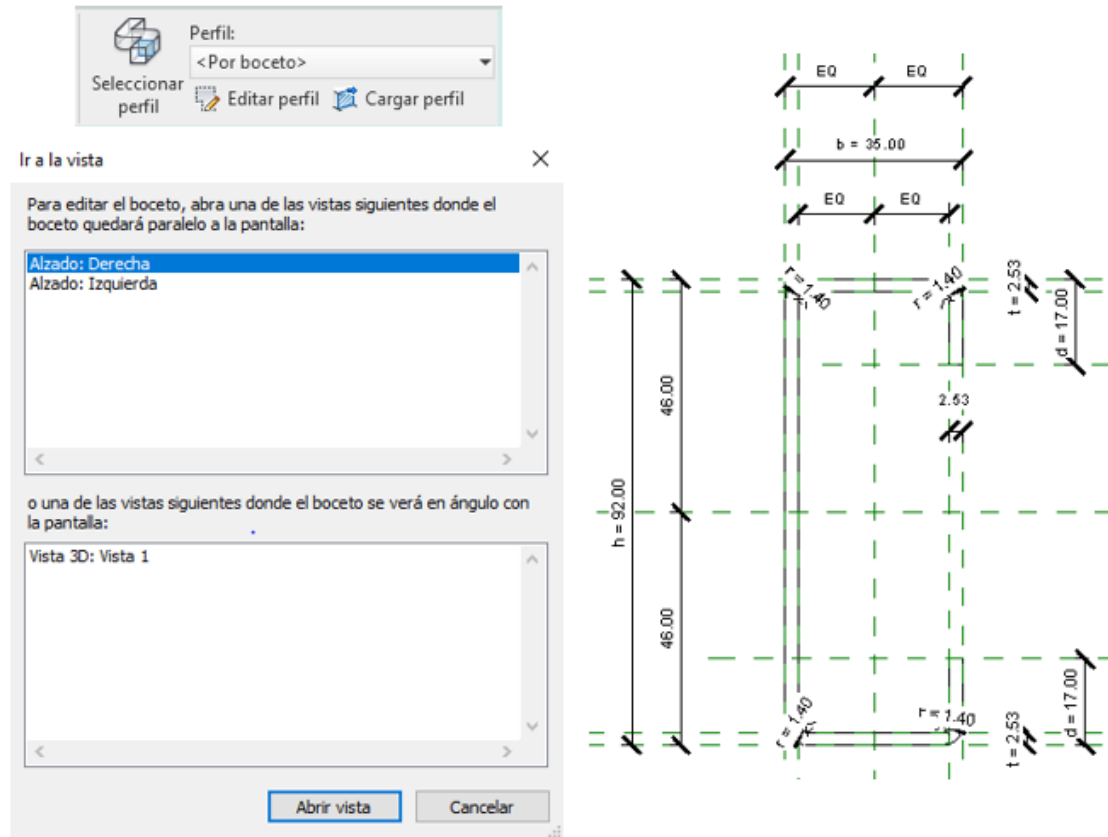
Boceto de camino trazado Mediante la Opción Barrido



En la pestaña "Editar perfil" se da click e inmediatamente se despega una ventana para la elección de vista, y se realiza el trazado del perfil elegido con sus correspondientes cotas.

Figura 101

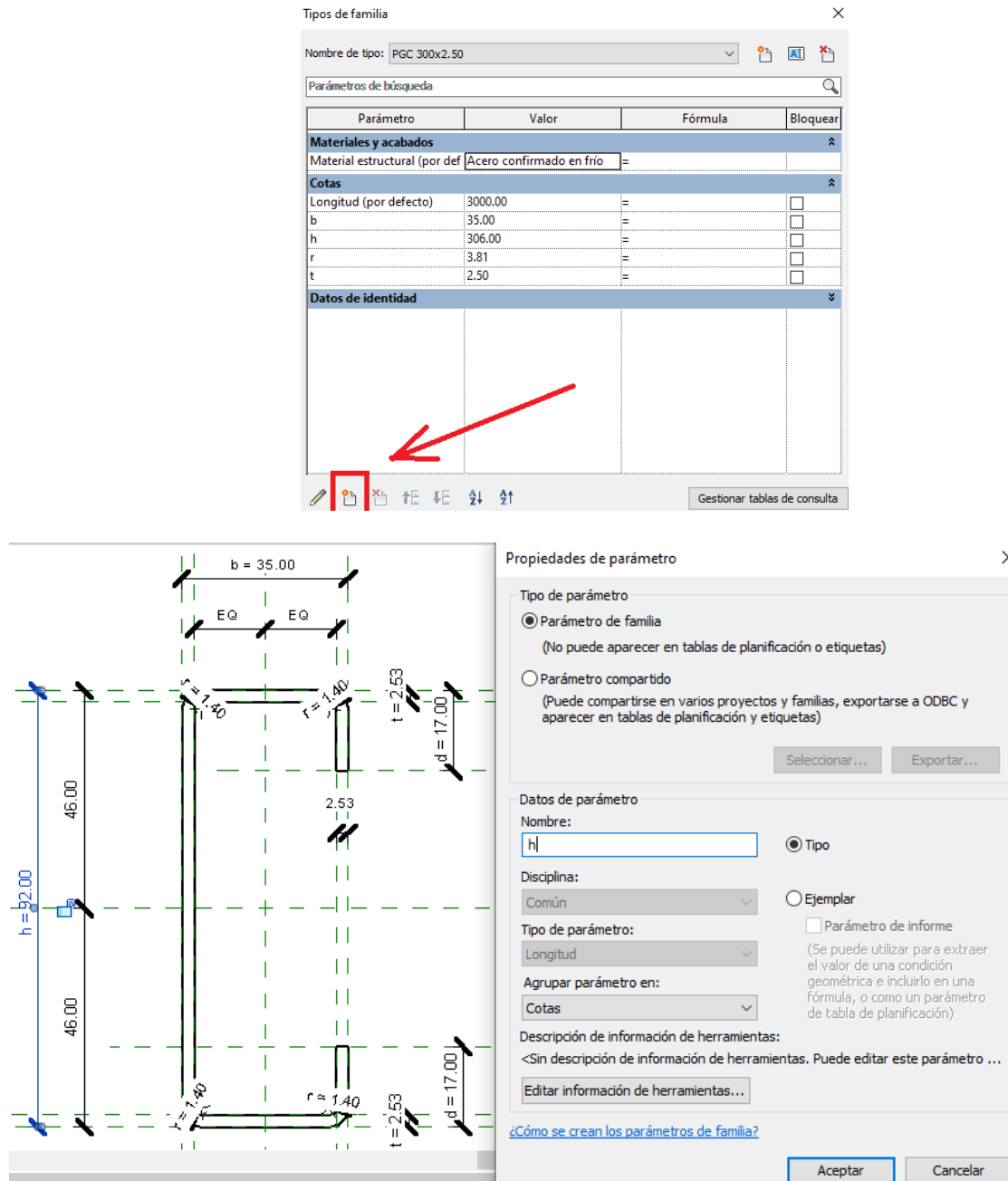
Comando Editar Perfil



En la pestaña “Crear” y la sección “Propiedades” se abre la pestaña “Tipos de familia” en donde se definirá valores de parámetros, se añadirá o creará tipos nuevos dentro de la familia. Por lo que se procede a dar click en el ícono de nuevo y se va añadiendo parámetros como altura, base, espesor y radio a los distintos valores determinados por cotas. En esta pestaña además se elige el Material estructural que define el comportamiento de los perfiles.

Figura 102

Pestaña Crear

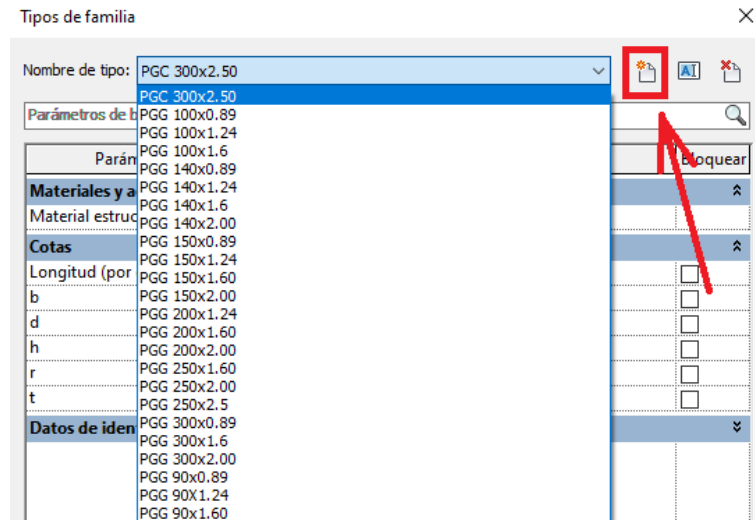


Una vez creado cada uno de los parámetros que determinan la geometría del perfil, se genera una serie de tipos de perfil de acuerdo a los establecidos en la NTE 2526, dando click en el

ícono de “Nuevo Tipo” y finalmente se procede a ingresar la denominación y valores a los distintos parámetros para cada tipo de perfil.

Figura 103

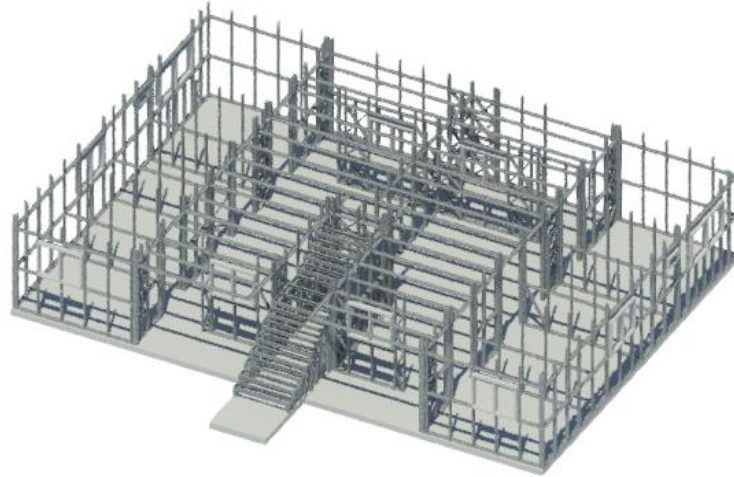
Tipo de Familia



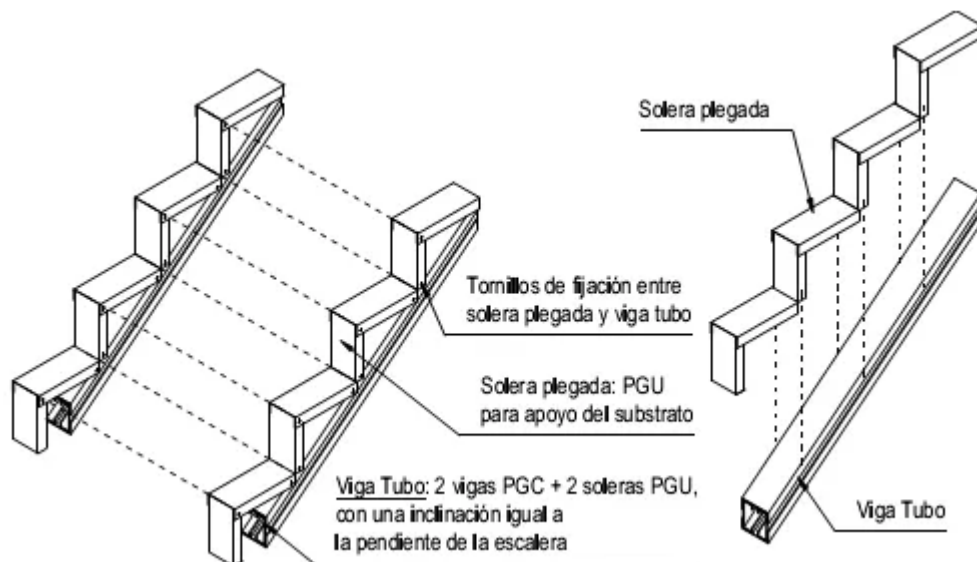
Finalmente, se carga la familia a utilizarse en el proyecto, en este caso los perfiles PGG y/o PGC que servirán para el modelamiento del sistema Steel Frame.

Modelamiento BIM-steel frame

Partiendo de la colocación de la losa de cimentación calculada para esta estructura se realizó la ubicación de montantes, riostras, ventanas y puertas en el primer nivel.

Figura 104*Modelo Primer Nivel de Steel Frame*

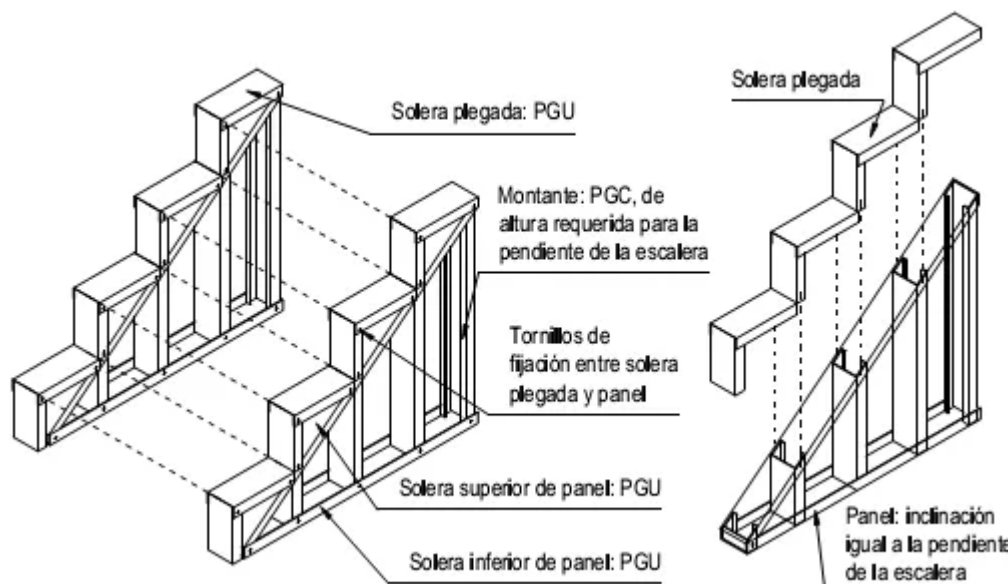
A pesar que existen varias formas de plasmar la estructura de una escalera, esta dependerá del proyecto arquitectónico y considerando las distintas opciones a utilizar como lo son: panel con viga tubo, panel con pendiente o paneles de escalera y peldaño.

Figura 105*Detalle de "Escalera con Viga Tubo"*

Nota. Tomado de "Construcción con Acero Liviano: 5.3 Vanos en Entrepisos y Escaleras | Consul Steel". <https://consulsteel.com/entrepisos-vano/>, por (Consulsteel, 2021).

Figura 106

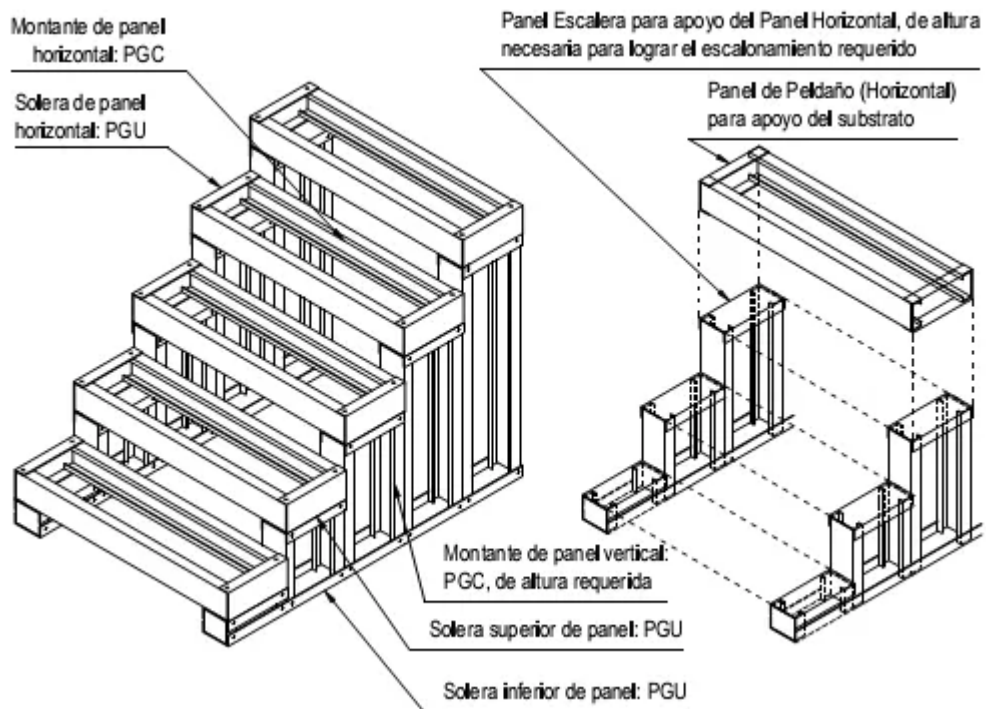
Detalle de Escalera Tipo "Panel con Pendiente"



Nota. Tomado de "Construcción con Acero Liviano: 5.3 Vanos en Entrepisos y Escaleras | Consul Steel". <https://consulsteel.com/entrepisos-vano/>, por (Consulsteel, 2021).

Figura 107

Detalle de “Escalera Tipo Peldaño”

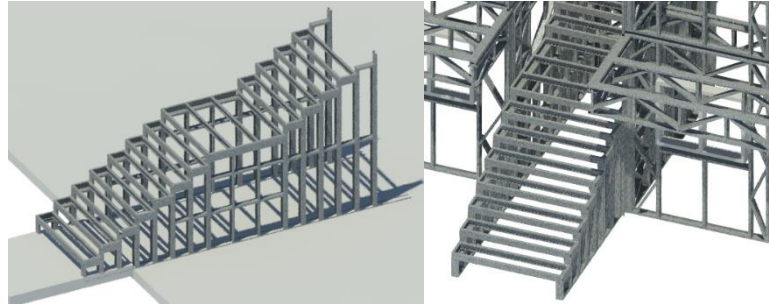


Nota. Tomado de “Construcción con Acero Liviano: 5.3 Vanos en Entrepisos y Escaleras | Consul Steel”. <https://consulsteel.com/entrepisos-vano/>, por (Consulsteel, 2021).

Considerando que dentro de la información arquitectónica no se encontró la utilización del espacio bajo las escaleras y debido también a distribución de paneles que sirven de apoyo para cada peldaño se optó por elegir esta opción de diseño debido a que se logra un escalonamiento de acuerdo a la variación de altura que toman los montantes a través de la solera inferior y permite el relleno de hormigón mediante la colocación de una placa en la parte inferior de cada peldaño.

Figura 108

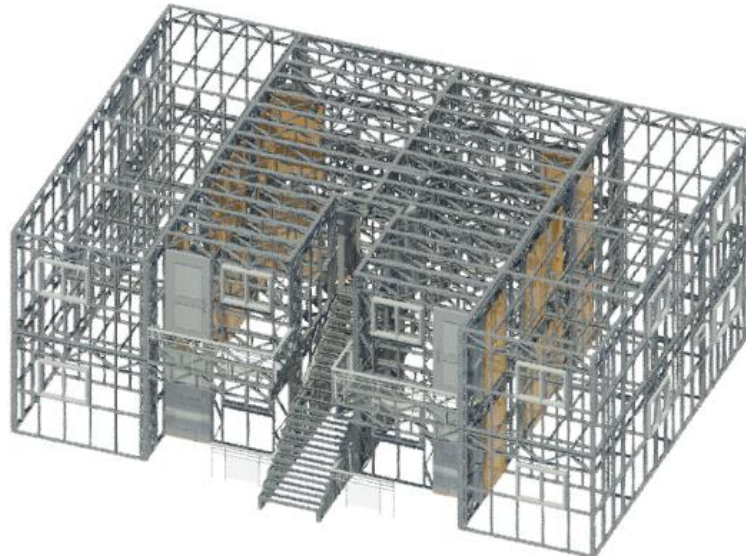
Modelado 3D de Escaleras



Una vez modelado estos elementos se realiza la colocación de cerchas, vigas y viguetas tanto para entrespiso como para la cubierta, considerando el adecuado acoplamiento de los montantes dentro del diseño:

Figura 109

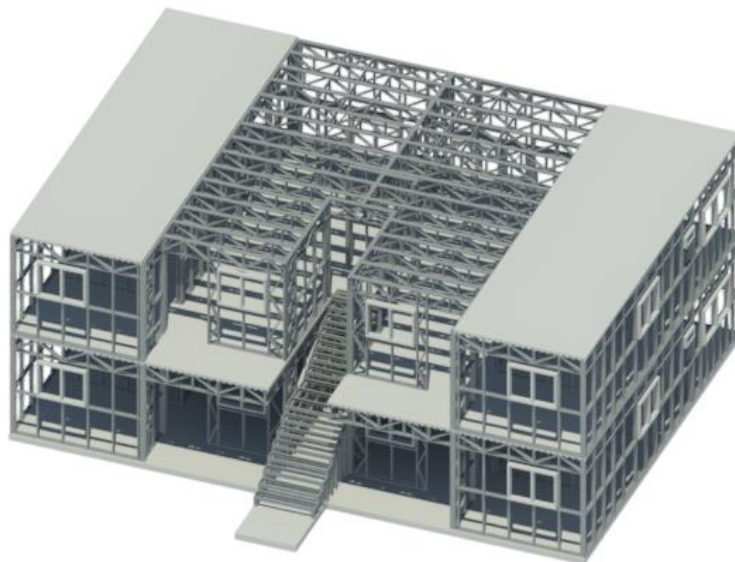
Modelo Estructural de Steel Frame



Después de ello se coloca la loseta de hormigón en el nivel de entrepiso y de cubierta de acuerdo a la distribución considerada en el diseño estructural y que se indica a continuación en la siguiente figura:

Figura 110

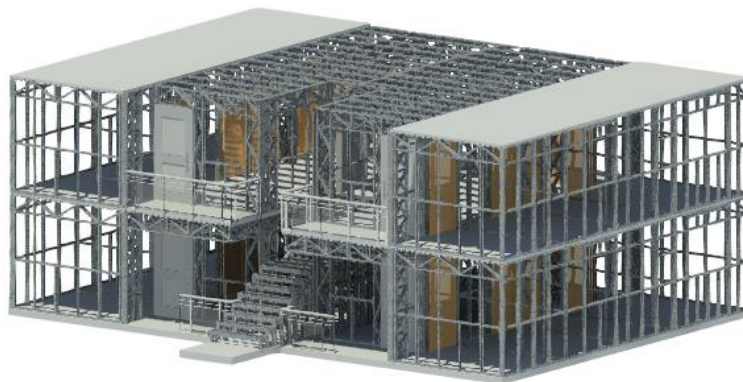
Modelo Colocación de losas Deck



Consecuentemente se va ubicando los elementos como puertas y ventanas en el modelo:

Figura 111

Modelo3D Colocación de Puertas y Ventanas



Posterior a ello se realiza el recubrimiento de la estructura con la tipología de panel elegido y cuyos componentes principales generalmente son: placa de yeso, aislante termoacústico, multilaminado fenólico y placa cementicia.

Figura 112

Modelo 3D Steel Frame



Finalmente se ubica la cubierta metálica sobre la estructura, verificando que se encuentre apoyada adecuadamente en todos sus lados y en el nivel correspondiente.

Figura 113

Modelo 3D Sistema Constructivo Steel Frame



Finalmente, los modelos 3D pueden ser procesados en un software digital para la obtención de renders y presentaciones de distintas perspectivas de la vivienda.

Figura 114

Vivienda Multifamiliar 4D Renderizada



Capítulo VIII

Gestión de costes-BIM 5d

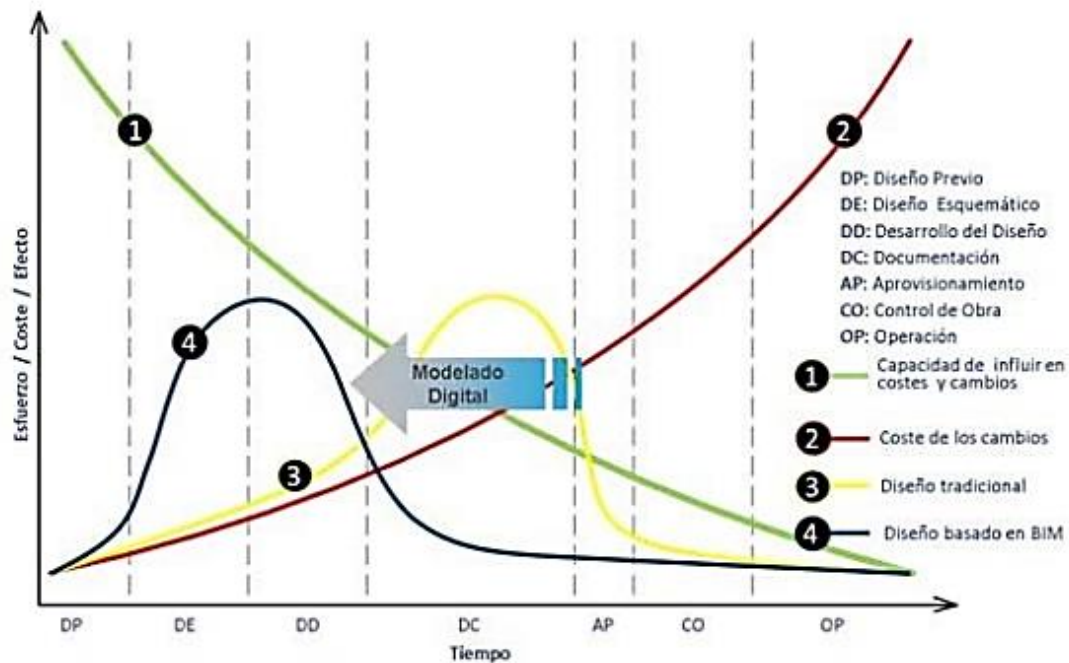
El BIM 3D engloba un modelo virtual de acuerdo a Categorías-Familias-Tipos-Ejemplares, que se lo realiza en la fase de diseño y se lo considera como una construcción virtual al modelar elementos constructivos en 3 dimensiones. Es necesario, además, conocer previamente la definición del BIM 4D, que es tomar la información del modelo y generar etapas de construcción mediante un cronograma definido por fechas para la ejecución de obras mediante la asignación de un tiempo estimado, con la posibilidad de realizar un análisis comparativo entre las fechas planeadas y las fechas ejecutadas. El BIM 5D es una dimensión que está presente en todo momento del proyecto y vincula a propietarios, constructores, arquitectos e ingenieros, con la finalidad de optimizar recursos mediante el control de costes y plazos determinados (González, 2013).

BIM conserva una línea de crecimiento constante del valor de la información permitiendo realizar cambios en fases tempranas, donde la capacidad de contribuir de forma positiva en el costo final de una edificación es muy alta en relación al costo menor que genera al ejecutar una acción previa (González, 2013).

En la siguiente figura, la Curva de Mac Leamy se plasma de manera concisa el esfuerzo-tiempo del proceso constructivo tradicional en relación a un proceso BIM y su influencia en los costes y cambios.

Figura 115

Curva Esfuerzo-tiempo del Proceso Constructivo



Nota. Tomado de *INTRODUCCION A LA METODOLOGÍA BIM*, por (González, 2013).

Esta dimensión, además, vincula la información a través de herramientas tecnológicas y manejo de múltiples archivos en softwares como Revit, Cype, Navisworks y otros.

Herramientas BIM 5D

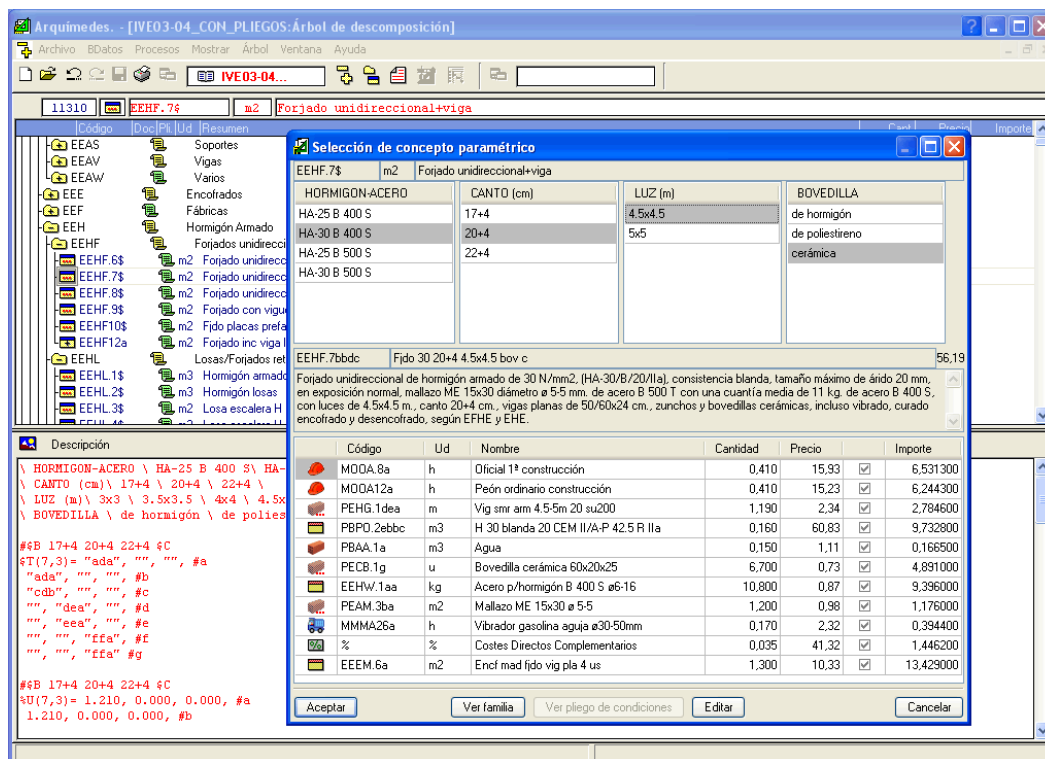
Arquímedes.

CYPE INGENIEROS, S.A. es una empresa que ofrece software de ingeniería, arquitectura y construcción; una de las herramientas de mediciones y presupuestos de la empresa para uso docente y académico es Arquímedes que ofrece gran fluidez y bidireccionalidad con el software Revit. Permite generar fichero de extracción de mediciones como base de datos que contiene unidades de obra generadas por la herramienta Arquímedes y medición de cantidades extraído de Revit, sirve además como base de datos para la herramienta complementaria "Arquímedes y

Control de Obra” a la vez que se tiene una vinculación de planificación BIM 4D mediante (Gantt) diagramas de tiempos y actividades (CYPE Ingenieros S.A., 2021).

Figura 116

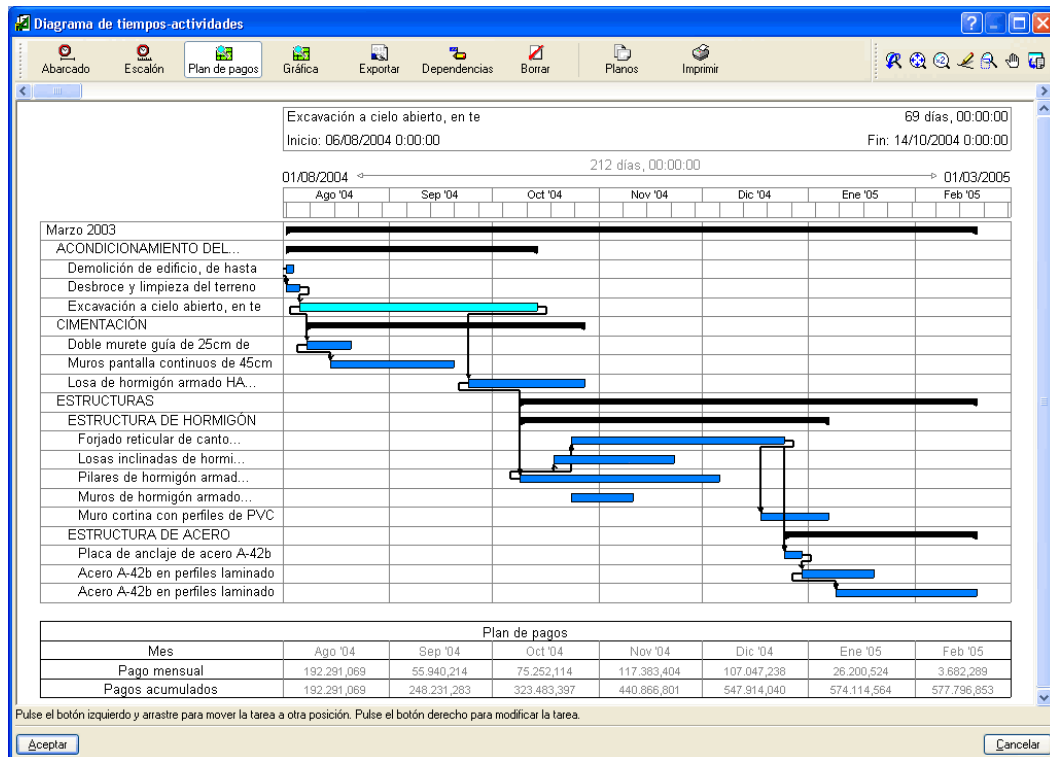
Interfaz del Programa Arquímedes



Nota. Tomado de Programa de mediciones y presupuestos:Arquímedes. <http://edu.cype.es/arquimedes/>, por (CYPE Ingenieros S.A., 2021)

Figura 117

Diagrama de Actividades y Tiempo en Arquímedes



Nota. Tomado de Programa de mediciones y presupuestos:Arquímedes. <http://edu.cype.es/arquimedes/>, por (CYPE Ingenieros S.A., 2021).

Qex Express y Qex Studio.

Es un plugin del entorno Revit Autodesk que sirve para realizar un presupuesto BIM de manera sencilla y rápida mediante la cuantificación de elementos que componen el modelo. Al instalarse se ubica en la pestaña *Complementos* de Revit, en la ventana que se despliega permite observar un navegador de grupos con las categorías o elementos del modelo y un panel con información de cuantificaciones definidas por tipo y descripción presentadas en las siguientes figuras:

Figura 118

Complemento Qex en el Software Revit

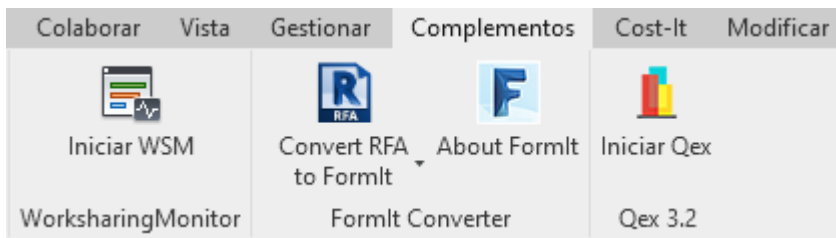
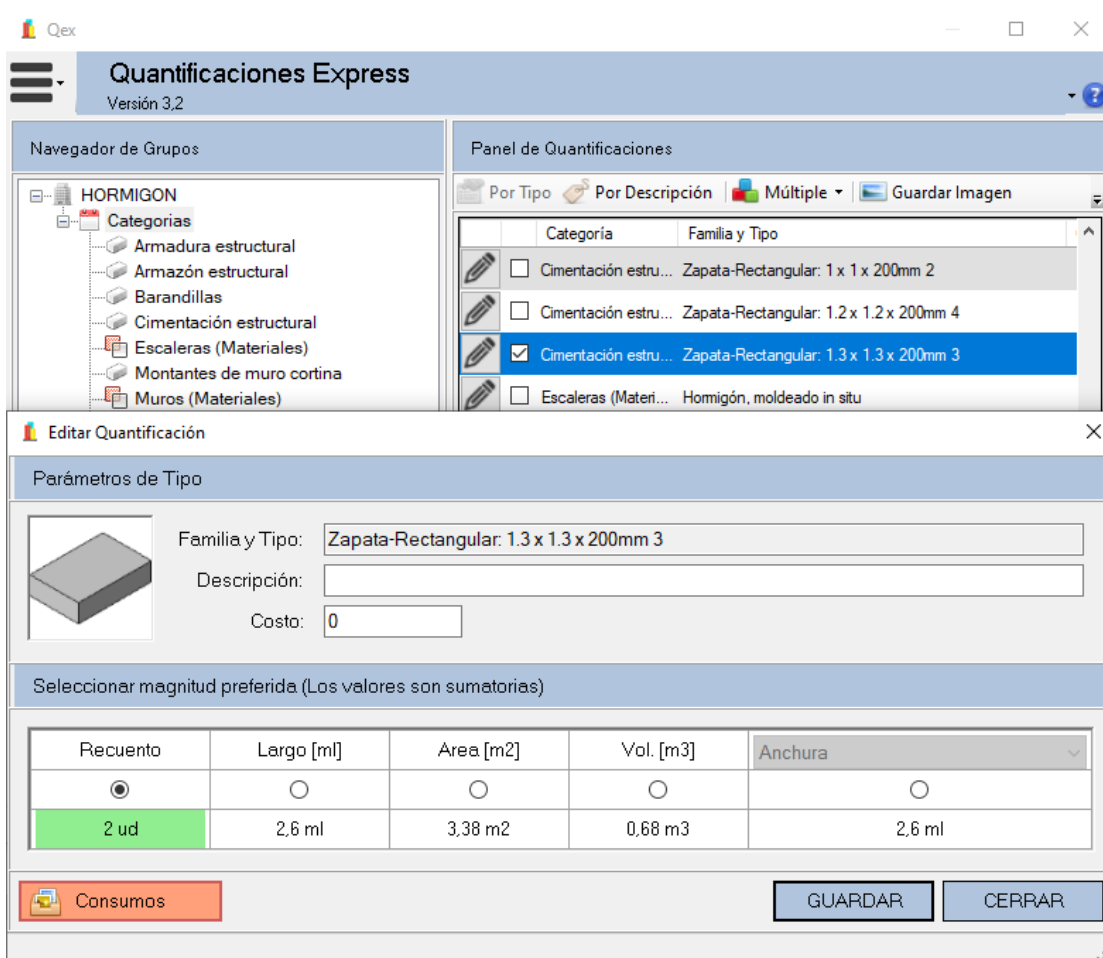


Figura 119

Ventana de Cuantificaciones Qex



Qex permite trabajar en un presupuesto directamente desde el modelo y Qex Studio se enfoca en un ambiente de análisis de costos que puede interactuar con una planificación de obra para su optimización.

Presto.

Es un programa de gestión costo-tiempo, orientado al BIM y facilita la estandarización e intercambio de datos entre los entes involucrados en las distintas fases de la edificación. Se integra bidireccionalmente a Microsoft Office, Revit, Primavera y demás herramientas tecnológicas, optimizando el tiempo con un valor significativamente menor que al desarrollo propio u otros programas (RIB Spain, 2021).

Presto dispone de diversos módulos que permiten llevar una revisión desde el estudio del proyecto hasta su control, mediante un proceso integrado del modelo 3D, tiempo 4D y coste 5D. En la siguiente tabla se presenta la gestión durante determinadas etapas de un proyecto:

Tabla 48

Presto en Distintas Etapas de un Proyecto

FASE	GESTIÓN
I Presupuesto	
Presupuesto y mediciones	Realización de presupuestos y ofertas para edificación y obra civil
Personalizar informes	Personalización y creación de nuevos informes
Lectura de planos DWG	Extracción de mediciones de planos de AutoCAD
Cost-it	Generación del presupuesto a partir de modelos de Revit
II Planificación	
Planificación	Planificación temporal, económica y financiera de costes
III Ejecución	
Contratación de compras	Proceso completo de gestión y aprovisionamiento de los recursos
Gestión del proyecto	Certificaciones y seguimiento económico de la obra
Facturación y control	Producción, facturación y control de costes reales

Nota. Tomado de *Presto*. <http://www.rib-software.es/presto.html>, por (RIB Spain, 2019b).

Entre sus características de productividad se encuentran:

- Evitar los inconvenientes del trabajo en múltiples hojas de cálculo.
- Facilitar el control de costes durante la ejecución de obra.
- Aportar información multidimensional: calendario, actividades, entre otros.
- Permitir un control de información no centralizado.

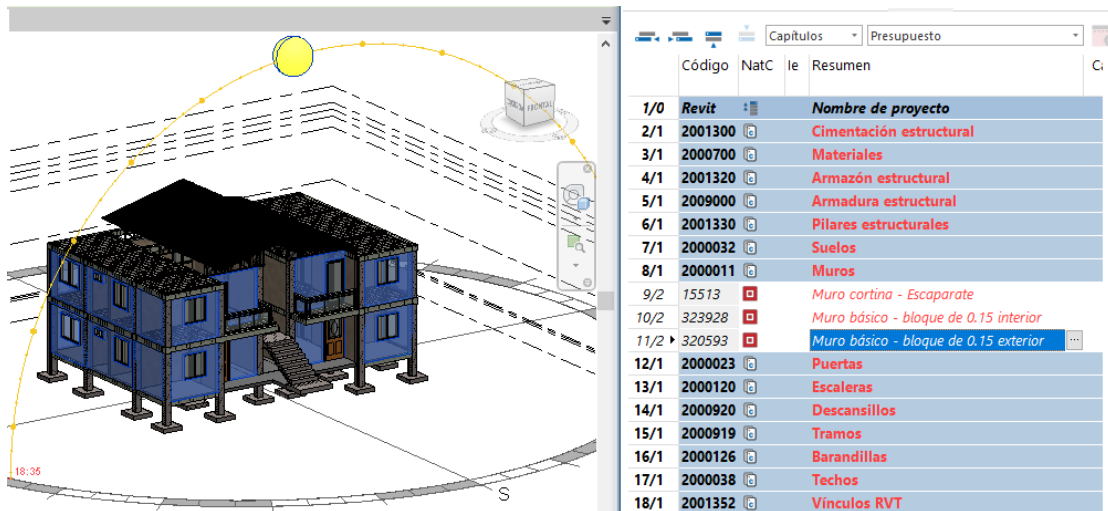
Dentro de su interfaz el profesional puede armar una matriz de precios unitarios considerando los recursos que involucran la ejecución de las unidades de obra que comprendan el proyecto como mano de obra, maquinaria, herramientas, etc. Permite llevar una planificación y control de obra mediante el flujo de tiempo, compras a proveedores, bodegaje, materiales. Dispone de un módulo que permite integrar la información proveniente de un modelo Autodesk Revit e integrarlo al presupuesto, denominado Cost-it (RIB Spain, 2019a).

Cost-it.

Es la herramienta complementaria o plug-in en Revit, encargada de la generación automática de información, especificaciones, unidades y mediciones a través de un proceso bidireccional permitiendo emparejar gráficamente líneas de medición en Presto con los elementos del modelo Revit o viceversa en un clic.

Figura 120

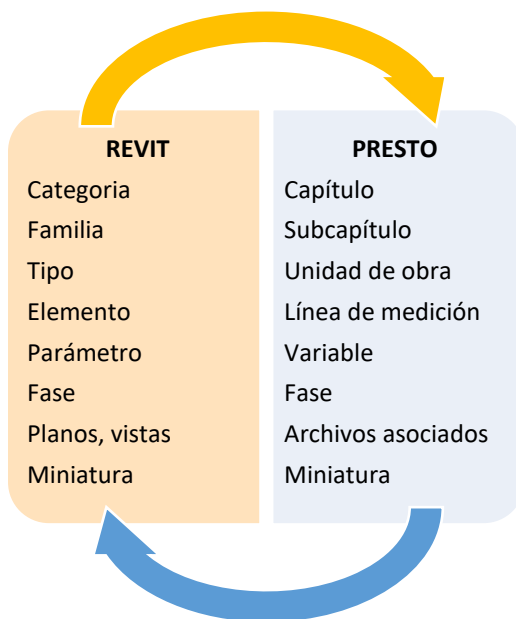
Trazabilidad entre Presupuesto y Modelo



Cost-it permite incorporar la información de presupuesto generada en Presto al modelo Revit y que automáticamente se guarde como una base de datos de mediciones internas a disposición, para incorporar hacia la estructura del presupuesto en el programa. Se puede generar una relación entre los parámetros de Revit con Presto de la siguiente forma:

Figura 121

Relación de Parámetros Revit-Presto

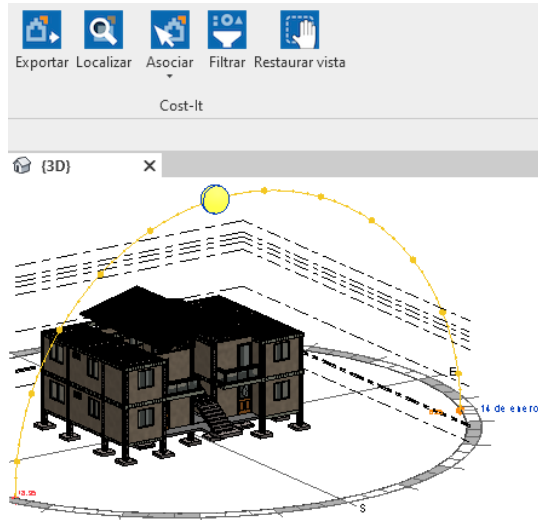


Los parámetros de elementos y tipos que contiene el modelo de Revit se transforman en variables del programa Presto cuyos valores se asociarán a las líneas de medición. Esta interacción presenta múltiples ventajas como observar valores de parámetros que influyen en el presupuesto directamente en modelo, permitiendo gestionar parámetros genéricos e información geométrica a la vez.

Una vez instalado el programa y el plug-in en el entorno Revit, se genera una pestaña que contiene los siguientes elementos, que permiten ejecutar las acciones de trabajo en el entorno:

Figura 122

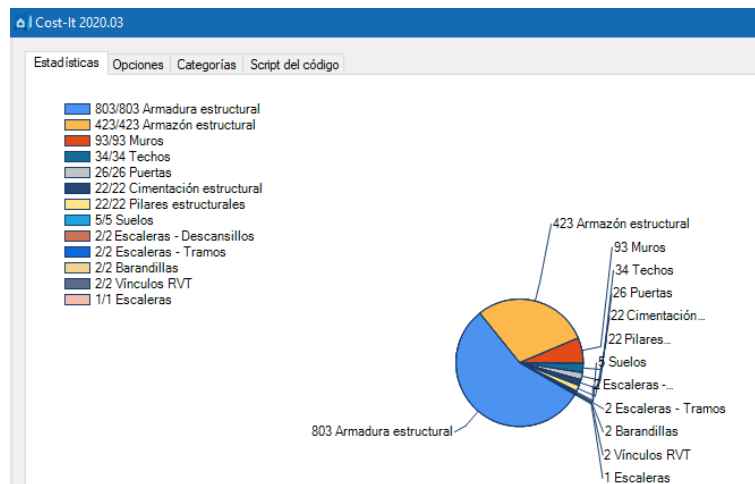
Opciones del Plug-in Cost-it en Revit



Al seleccionar la opción de exportar, el plug-in genera una cuantificación de elementos según las categorías y las detalla en una gráfica estadística que representa el nivel de participación de cada una, como se observa en la siguiente figura:

Figura 123

Estadística de Categorías del Modelo de Hormigón Armado



En la ventana que se despliega se encuentra la pestaña “Categorías” donde detalla el número de cada uno de los elementos y la clase a la que corresponde, donde además mediante una ventana gráfica, se puede visualizar los elementos de las categorías seleccionadas.

Figura 124

Ventana de Categorías

ID	Categoría	Etiqueta	Sub	Elementos	Código	Discriminador	Materiales	Color	Unidad
9	2009000	Armadura estructural	Model	<input type="checkbox"/>	803		<input type="checkbox"/>	12582143	m
8	2001320	Armazón estructural	Model	<input type="checkbox"/>	423		<input type="checkbox"/>	12580351	m
178	2009630	Vigas analíticas	AnalyticalModel	<input type="checkbox"/>	423		<input type="checkbox"/>		u
671	2000045	Líneas - <Boceto>	Model	<input checked="" type="checkbox"/>	264		<input type="checkbox"/>		u
438	2008119	Configuración de tipo ...	Internal	<input type="checkbox"/>	250		<input type="checkbox"/>		u
134	2000700	Materiales	Model	<input type="checkbox"/>	228		<input type="checkbox"/>		u
617	2000576	Componentes de ley...	Model	<input type="checkbox"/>	160		<input type="checkbox"/>		u
17	2000171	Montantes de muro c...	Model	<input type="checkbox"/>	140		<input type="checkbox"/>	12779455	m
571	2000924	Activos de materiales	Model	<input type="checkbox"/>	127		<input type="checkbox"/>		u
325	2009609	Camino de sol	Model	<input type="checkbox"/>	124		<input type="checkbox"/>		u
421	2008148	Elemento de parámetr...	Internal	<input type="checkbox"/>	108		<input type="checkbox"/>		u
15	2000011	Muros	Model	<input type="checkbox"/>	93		<input type="checkbox"/>	12582860	m2
437	2008120	Configuración de tipo ...	Internal	<input type="checkbox"/>	66		<input type="checkbox"/>		u
436	2008121	Tablas de planificación...	Internal	<input type="checkbox"/>	50		<input type="checkbox"/>		u
171	2000279	Vistas	Internal	<input type="checkbox"/>	50		<input type="checkbox"/>		u
314	2000573	Tablas de planificación	Internal	<input type="checkbox"/>	44		<input type="checkbox"/>		u
670	2000055	Estilos de objeto inter...	Internal	<input checked="" type="checkbox"/>	42		<input type="checkbox"/>		u

Criterio de medición

Las categorías son medidas por defecto en base la unidad más adecuada, sin embargo, este puede ser personalizado mediante criterios alternativos, de usuario personalizado o múltiples. Además, se puede generar filtros o expresiones donde se seleccione elementos y tipos de alguna categoría en específico; determinar códigos de unidad de obra y criterios de medida personalizados (RIB Spain, 2021).

Se genera una unidad de obra según el material utilizado, unidad, partes o complementos de mediciones por tipos. Los tipos pueden ser desglosados materiales y líneas de medición correspondiente como se observa en la siguiente imagen:

Figura 125

Líneas de Medición Generadas del Modelo de Hormigón Armado

		Código	NatC	le	Resumen	CanPres	Ud
1/0	-	Revit			Nombre de proyecto	1	
2/1	- 1	2001300			Cimentación estructural	1	
3/2	1.1	369859			Zapata-Rectangular - 1 x 1 x 200mm 2	3,40	m3
4/2	1.2	538858			Zapata-Rectangular - 1.3 x 1.3 x 200mm 3	0,68	m3
5/2	1.3	538916			Zapata-Rectangular - 1.2 x 1.2 x 200mm 4	0,87	m3
6/1	- 2	2000700			Materiales	1	
7/2	2.1	309279			Hormigón - Hormigón moldeado in situ	17,27	m3
8/2	2.2	312372			Concrete, Cast-in-Place gray	20,91	m3
9/2	2.3	285359			Metal-Acero	814,50	kg
10/2	2.4	317949			fc 210	7,88	m3
11/2	2.5	1253			Suelo por defecto	123,44	m2
12/2	2.6	1246			Bloques de hormigón	49,46	m3
13/2	2.7	9737			Enlucido, beis, con textura	659,79	m2
14/2	2.8	27			Vidrio	20,98	m2
15/2	2.9	1319			Puerta - Panel	123,04	dm3
16/2	2.10	3865			Puerta - Marco	4,30	m2
17/2	2.11	1250			Hormigón, moldeado in situ	3,86	m3
18/1	+ 3	2001320			Armazón estructural	1	
19/1	+ 4	2009000			Armadura estructural	1	
20/1	+ 5	2001330			Pilares estructurales	1	

El resultado de la exportación se completa actualizando la información mediante un cuadro de precios para la obtención del presupuesto. El presupuesto es prácticamente automático si cada elemento o tipo integrado del modelo contiene un código de la unidad de obra correspondiente de un cuadro de precios, donde se detalle un resumen, la unidad de medida, y el precio unitario. Una vez exportada la información del modelo que puede agregar además descripciones, especificaciones técnicas e información necesaria en la generación del presupuesto completo.

Puntos del proceso en los que se puede añadir un código:

- Como un parámetro del objeto
- En un campo del tipo o elemento
- En la hoja de configuración exportada
- En el presupuesto

Presupuesto de obra

Para la realización del presupuesto se realizó previamente el análisis de precios unitarios, considerando cada una de las fases que intervienen en la construcción de la vivienda, partiendo desde la cimentación hasta sus acabados. Datos como rendimientos, mano de obra, equipos, materiales se obtuvieron de distintas fuentes como la Cámara de la Industria de la Construcción, Empresa Pública Ecuador Estratégico y otros. Además, como herramienta menor se determinó un porcentaje del 5% del costo de mano de obra. Los valores de salarios utilizados para las distintas categorías se adquirieron del informe de la Contraloría General del Estado en el año 2021. A más de los APU's, las cantidades de obra son esenciales para la estimación de costos en un proyecto, ventajosamente el software Revit permite obtener dichas cantidades a partir del modelo diseño.

El manejo de cantidades está claramente diferenciado dentro de la interfaz de Revit por las distintas áreas como arquitectura, estructura, fontanería, electricidad u otros. Previamente se realizó el modelo de cubierta y se obtuvieron las cantidades de obra de este elementos para el análisis de cargas, después fue enlazado a los modelos de los cuatro sistemas constructivos de este proyecto mediante la pestaña *Insertar* y el ícono *Vincular Revit*, posterior a ello en cada uno de los modelos mediante la pestaña *Gestionar* se revisó que este conjunto este correctamente vinculado a través de la ventana *Gestionar Vínculos*, como se puede observar en las **Figuras 128 y 129** respectivamente:

Figura 126

Vinculación de Cubierta a Modelos BIM

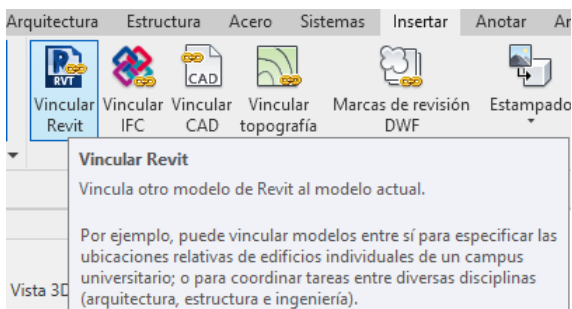
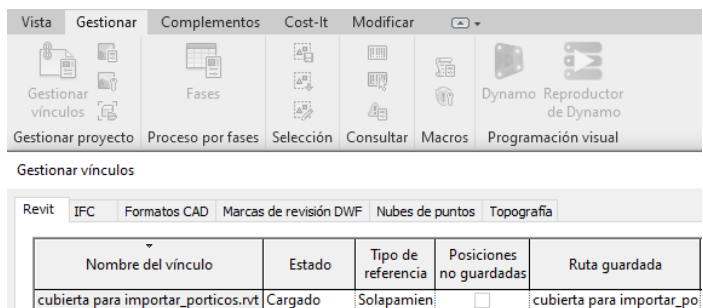


Figura 127

Revisión de Archivo Vinculado en Modelos BIM



Una vez incluida la cubierta en todos los modelos, las cantidades de obras se puede obtener del navegador de tablas. En la pestaña de *Navegador de proyectos* se despliegan múltiples tablas detalladas de los distintos elementos constitutivos del proyecto, a más de ello el programa permite generar tablas de acuerdo a las necesidades del usuario, modificar su visibilidad, calcular totales y modificar su presentación como se observa en la siguiente figura:

Figura 128

Generación de Tablas de Cantidades

A	B	C	D	E
Recuento	Descripción de puerta	Tipo	Anchura	Altura
18	Puerta de entrada a la vivien 900 x 2100mm		0.90	2.10
2	Puerta 1 decorativa simple 1x2 1		1.00	2.10
6	Balconera oscilobatiente. 1	1000 x 2100mm 2	1.00	2.10
26				

The screenshot also shows a 'Propiedades' window on the left with various settings for the table, and a 'Navegador de proyectos' window on the right listing various project categories like 'Cantidades de aparatos eléctricos', 'Cantidades de aparatos sanitarios', etc.

Sin embargo, en los modelos realizados para este proyecto se optó por utilizar Presto+Cost-It, donde se obtuvieron las cantidades globales de las distintas categorías para la obtención del presupuesto de cada sistema constructivo en base a los APU's realizados por los autores de este estudio y que se detalla a continuación:

Tabla 49

Presupuesto de Hormigón Armado

PRESUPUESTO DE LA OBRA						
HORMIGÓN ARMADO						
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (Directo+Indirecto 12%)	PRECIO UNITARIO (Directo)	CANTIDAD	TOTAL
1	PRELIMINARES					
1,01	Cerramiento provisional de yute H=2.40	m	3,66	3,22	50,00	\$160,88
1,02	Replanteo y nivelación	m2	1,22	1,07	131,00	\$140,43
1,03	Excavación de estructuras menores	m3	3,39	2,99	24,70	\$73,76
1,04	Relleno y compactación de material en sitio	m3	12,43	10,94	17,78	\$194,43
2	ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO					
2,01	Hormigón de replantillo f'c=140 kg/cm2	m3	117,05	103,00	1,24	\$127,21
2,02	Hormigón de plintos (incluye encofrado) f'c=210 kg/cm2	m3	138,55	121,92	4,95	\$603,51
2,03	Hormigón loseta de contrapiso (incluye encofrado) f'c=210 kg/cm2	m3	157,95	138,99	13,49	\$1.875,02
2,04	Hormigón en columnas (incluye encofrado) f'c=210 kg/cm2	m3	193,44	170,23	12,32	\$2.097,20
2,05	Hormigón en vigas (incluye encofrado) f'c=210 kg/cm2	m3	156,94	138,11	11,40	\$1.574,45
2,06	Hormigón simple gradas (incluye encofrado) f'c=210 kg/cm2	m3	124,86	109,88	2,34	\$257,11
2,07	Hormigón simple losas (incluye encofrado) f'c=210 kg/cm2	m3	165,85	145,94	15,15	\$2.211,05
3	ACERO					
3,01	Acero de refuerzo varilla corrugada fy=4200 kg/cm2	kg	2,06	1,81	4017,26	\$7.283,67
3,02	Malla electrosoldada 6 mm @ 15 cm	m2	3,66	3,22	280,33	\$901,70
4	ESTRUCTURA METALICA PARA CUBIERTA					
4,01	Acero estructural ASTM A36 galvanizado (incluye cubierta de galvalumen e=0.4mm)	kg	5,52	4,86	1243,81	\$6.045,90
5	REVESTIMIENTO					
5,01	Alivianamiento de bloque (0.4x0.2x0.15)	u	0,66	0,58	1240,00	\$715,90
5,02	Mampostería de bloque	m2	9,62	8,47	329,90	\$2.793,40
5,03	Pintura de alta resistencia tipo vinil acrílica para interiores	m2	3,28	2,89	329,90	\$951,89
5,04	Sellado y pintura elastomérica en exteriores	m2	3,74	3,29	208,48	\$686,71
5,05	Empaste interior y exterior	m2	2,76	2,43	538,38	\$1.307,21
5,06	Enlucido vertical paletado fino mortero 1:4 e=1.5cm	m2	6,53	5,74	538,38	\$3.092,51
5,07	Cerámica de piso de 0.30x0.30 antideslizante, incluye instalación y emporado	m2	24,15	21,26	20,94	\$445,15
5,08	Cerámica en paredes, incluye instalación y emporado	m2	24,16	21,26	77,44	\$1.646,63
5,09	Mesón de hormigón armado A=60cm H=7cm cocina	m	18,23	16,05	1,34	\$21,50
5,1	Cerámica en mesones y salpicadero, incluye instalación y emporado	m2	24,25	21,34	2,96	\$63,17
5,11	Plancha de fibrocemento autoclavadas e=10mm(en cerchas)	m2	19,31	16,99	117,76	\$2.001,09
6	PUERTAS					
6,01	Puerta de madera tamborada, incluye marcos, tapamarcos y cerradura	u	189,39	166,66	26,00	\$4.333,21
7	VENTANAS					
7,01	Ventana de aluminio-Incluye vidrio 4mm. Corrediza	m2	52,78	46,44	31,72	\$1.473,17
8	BARANDILLA					
8,01	Barandilla metálico de tubo 40mm	m	19,90	17,51	8,30	\$145,37
9	INSTALACIONES SANITARIAS					
9,01	Desagüe PVC 110mm, incluye accesorios	pto	46,57	40,99	4,00	\$163,94
9,02	Desagües PVC 50mm, incluye accesorios	pto	31,79	27,98	16,00	\$447,60
9,03	Sumidero de piso de 2" incluye rejilla	u	18,54	16,32	2,00	\$32,64
9,04	Canalización tubería PVC 110mm	m	11,38	10,02	44,34	\$444,16
9,05	Canalización tubería PVC 50mm	m	4,07	3,58	35,28	\$126,22
9,06	Caja de revisión 60x60x60cm Fc210kg/cm2, tapadeH.A.	u	58,91	51,84	6,00	\$311,05
10	APARATOS SANITARIOS					
10,01	Lavamanos sin pedestal (37.7x46.2x85cm)	u	42,46	37,37	4,00	\$149,47
10,02	Inodoro (dos piezas redondo:67.9x43x72.7cm)	u	66,69	58,69	4,00	\$234,76
10,03	Ducha (bañera)	u	127,68	112,36	4,00	\$449,43
10,04	Lavaplatos doble con pozo acero inoxidable-grifería-acceso	u	113,39	99,78	4,00	\$399,14
10,05	Lavandería prefabricada	u	108,80	95,74	4,00	\$382,97
10,06	Calefón	u	129,12	113,63	4,00	\$454,51
11	INSTALACION AGUA POTABLE					
11,01	Punto de agua fría PVC roscable 1/2" incluido accesorios	pto	21,02	18,50	24,00	\$444,03
11,02	Tubería PVC roscable 1/2" incluye accesorios	m	3,96	3,49	38,50	\$134,29
11,03	Tubería PVC roscable 3/4" incluye accesorios	m	5,01	4,41	68,00	\$300,01
11,04	Punto de agua caliente CPVC roscable 1/2" incluido accesorios	pto	21,75	19,14	16,00	\$306,27
11,05	Tubería CPVC roscable 1/2" incluye accesorios	m	4,54	3,99	60,16	\$240,17
12	INSTALACIONES ELÉCTRICAS					
12,01	Punto de iluminación 120v	pto	24,93	21,94	34,00	\$745,83
12,02	Punto de tomacorriente 120v	pto	18,88	16,62	32,00	\$531,71
12,03	Caja de Breakers enchufable 15-20A de 1 polo	u	32,79	28,85	4,00	\$115,41
TOTAL						\$49.636,83

Tabla 50

Presupuesto de Acero

PRESUPUESTO DE LA OBRA ACERO						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (+Indirectos 12%)	PRECIO UNITARIO (directos)	CANTIDAD	TOTAL	
1 PRELIMINARES						
1,1 Cerramiento provisional yute h=2,00 m	m	\$3,66	\$3,22	50,00	\$160,88	
1,2 Replanteo y nivelación	m2	\$0,39	\$0,35	131,00	\$45,25	
2 MOVIMIENTO DE TIERRAS						
2,1 Excavación de estructuras menores	m3	\$3,39	\$2,99	14,40	\$42,99	
2,2 Relleno y compactación de material en sitio	m3	\$12,43	\$10,94	3,03	\$33,13	
3 HORMIGÓN						
3,1 Hormigón de replantillo f'c=140 kg/cm2 e=3cm	m3	\$94,17	\$82,87	0,65	\$54,25	
3,2 Hormigón de plintos f'c=210 kg/cm2	m3	\$106,60	\$93,81	4,37	\$409,95	
3,3 Hormigón de pedestales f'c=210 kg/cm2	m3	\$136,13	\$119,79	4,94	\$591,76	
3,4 Hormigón loseta de contrapiso f'c=210 kg/cm2	m3	\$128,35	\$112,95	13,19	\$1.490,03	
3,5 Hormigon de losa deck f'c=210 kg/cm2	m3	\$120,71	\$106,22	12,42	\$1.319,26	
4 ACERO						
4,1 Acero de refuerzo	kg	\$2,06	\$1,81	505,67	\$916,83	
4,2 Malla electrosoldada 4.5mm@15 cm	m2	\$3,28	\$2,89	311,66	\$899,58	
4,3 Acero estructural	kg	\$1,16	\$1,02	19417,33	\$19.885,46	
4,4 Colocación de placa base y anclaje	u	\$23,32	\$20,52	13,00	\$266,75	
4,5 Placa colaborante deck	m2	\$13,89	\$12,22	179,00	\$2.187,95	
5 ESTRUCTURA DE CUBIERTA						
5,1 Acero estructural ASTM A36 galvanizado	kg	\$5,52	\$4,86	1243,81	\$6.045,90	
6 REVESTIMIENTO						
6,1 Paredes de mampostería	m2	\$9,54	\$8,40	329,90	\$2.770,77	
6,2 Pintura de alta resistencia tipo vinil acrílica para interiores	m2	\$9,54	\$8,40	329,90	\$2.770,77	
6,3 Sellado y pintura elastomérica en exteriores	m2	\$6,24	\$5,49	208,48	\$1.145,48	
6,4 Empaste interior y exterior	m2	\$1,06	\$0,93	532,80	\$496,21	
6,5 Enlucido vertical paletado fino mortero 1:4 e=1.5cm	m2	\$2,27	\$1,99	532,80	\$1.062,71	
6,6 Cerámica de piso de 0.30x0.30 antideslizante,incluye instalación y emporado	m2	\$24,15	\$21,26	20,94	\$445,15	
6,7 Cerámica en paredes, incluye instalación y emporado	m2	\$2,59	\$2,28	77,44	\$176,42	
6,8 Mesón de hormigón armado A=60cm H=7cm cocina	m	\$1,95	\$1,72	1,34	\$2,30	
6,9 Cerámica en mesones y salpicadero, incluye instalación y emporado	m2	\$2,60	\$2,29	2,96	\$6,77	
6,1 Plancha de fibrocemento autoclavadas e=10mm(en cerchas)	m2	\$0,53	\$0,47	117,76	\$55,20	
7 PUERTAS						
7,1 Puerta de madera tamborada,incluye marcos, tapamarcos y cerradura	u	\$189,39	\$166,66	26,00	\$4.333,21	
8 VENTANAS						
8,1 Ventanade aluminio-Incluye vidrio 4mm. Corrediza	u	\$52,78	\$46,44	31,72	\$1.473,17	
9 PROTECCIONES						
9,1 Barandilla metálico de tubo 40mm	m	\$19,90	\$17,51	8,30	\$145,37	
10 INSTALACIONES SANITARIAS						
10,1 Desagüe PVC 110mm, incluye accesorios	pto	\$46,57	\$40,99	4,00	\$163,94	
10,2 Desagües PVC 50mm, incluye accesorios	pto	\$31,79	\$27,98	16,00	\$447,60	
10,3 Sumidero de piso de 2" incluye rejilla	u	\$18,54	\$16,32	2,00	\$32,64	
10,4 Canalización tubería PVC 110mm	m	\$11,38	\$10,02	44,34	\$444,16	
10,5 Canalización tubería PVC 50mm	m	\$4,07	\$3,58	35,28	\$126,22	
10,6 Caja de revisión 60x60x60cm Fc210kg/cm2, tapadeH.A.	u	\$58,91	\$51,84	6,00	\$311,05	
11 APARATOS SANITARIOS						
11,1 Lavamanos sin pedestal (37.7x46.2x85cm)	u	\$42,46	\$37,37	4,00	\$149,47	
11,2 Inodoro (dos piezas redondo:67.9x43x72.7cm)	u	\$66,69	\$58,69	4,00	\$234,76	
11,3 Ducha (bañera)	u	\$127,68	\$112,36	4,00	\$449,43	
11,4 Fregadero doble un pozo acero inoxidable-grifería-acceso	u	\$113,39	\$99,78	4,00	\$399,14	
11,5 Fregadero un pozo acero inoxidable-grifería-acceso	u	\$108,80	\$95,74	4,00	\$382,97	
11,6 Calefón	u	\$129,12	\$113,63	4,00	\$454,51	
12 INSTALACION AGUA POTABLE						
12,1 Punto de agua fría PVC roscable 1/2" incluidoaccesorios	pto	\$21,02	\$18,50	24,00	\$444,03	
12,1 Tubería PVC roscable 1/2" incluyeaccesorios	m	\$3,96	\$3,49	38,50	\$134,29	
12,1 Tubería PVC roscable 3/4" incluyeaccesorios	m	\$5,01	\$4,41	68,00	\$300,01	
12,1 Punto de agua caliente PVC roscable 1/2" incluidoaccesorios	pto	\$21,75	\$19,14	16,00	\$306,27	
12,1 Tubería PVC roscable 1/2" incluyeaccesorios	m	\$4,54	\$3,99	60,16	\$240,17	
13 INSTALACIONES ELÉCTRICAS						
13,1 Punto de iluminación 120v	pto	\$24,93	\$21,94	34,00	\$745,83	
13,2 Punto de tomacorriente 120v	pto	\$18,88	\$16,62	32,00	\$531,71	
13,3 Breaker enchufable 15-20A de 1 polo	u	\$32,79	\$28,85	4,00	\$115,41	
				TOTAL	\$55.647,11	

Tabla 51

Presupuesto de Muros Portantes

PRESUPUESTO DE LA OBRA MURO PORTANTE DE HORMIGÓN ARMADO						
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (Directo+Indirecto 1,2%)	PRECIO UNITARIO (Directo)	CANTIDAD	TOTAL
1	PRELIMINARES					
1,01	Cerramiento provisional de yute H=2.40	m	3,66	3,22	50,00	182,82
1,02	Replanteo y nivelación	m2	1,22	1,07	131,00	159,57
1,03	Excavación de estructuras menores	m3	3,39	2,99	14,40	48,85
1,04	Relleno y compactación de material en sitio	m3	12,43	10,94	3,03	37,65
2	ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO					
2,01	Hormigón simple losa de cimentación (incluye encofrado) f'c=210 kg/cm2	m3	108,29	95,30	26,20	2837,23
2,02	Hormigón simple gradas (incluye encofrado) f'c=210 kg/cm2	m3	105,14	92,52	2,34	246,09
2,03	Hormigón simple muros (incluye encofrado) f'c=210 kg/cm2	m3	117,90	103,75	42,43	5002,28
2,04	Hormigón simple losas (incluye encofrado) f'c=210 kg/cm2	m3	117,27	103,20	23,09	2707,61
3	ACERO					
3,01	Acero de refuerzo varilla corrugada fy=4200 kg/cm2	kg	2,06	1,81	5714,49	11773,76
3,02	Malla electrosoldada 6 mm @ 15 cm	m2	3,66	3,22	164,92	602,81
4	ESTRUCTURA METALICA PARA CUBIERTA					
4,01	Acero estructural ASTM A36 galvanizado (incluye cubierta de galvalumen e=0.4mm)	kg	5,52	4,86	1243,81	6870,34
5	REVESTIMIENTO					
5,01	Pintura de alta resistencia tipo vinil acrílica para interiores	m2	1,50	1,32	424,30	635,01
5,02	Sellado y pintura elastomérica en exteriores	m2	6,24	5,49	208,48	1301,69
5,03	Empaste interior y exterior	m2	1,05	0,93	632,80	667,49
5,04	Enlucido vertical paletado fino mortero 1:4 e=1.5cm	m2	6,53	5,74	632,80	4130,53
5,05	Cerámica de piso de 0.30x0.30 antideslizante, incluye instalación y emporado	m2	24,15	21,26	20,94	505,85
5,06	Cerámica en paredes, incluye instalación y emporado	m2	24,16	21,26	77,44	1871,17
5,07	Mesón de hormigón armado A=60cm H=7cm cocina	m	18,23	16,05	1,34	24,43
5,08	Cerámica en mesones y salpicadero, incluye instalación y emporado	m2	24,25	21,34	2,96	71,78
5,09	Plancha de fibrocemento autoclavadas e=10mm(en cerchas)	m2	19,31	16,99	117,76	2273,97
6	PUERTAS					
6,01	Puerta de madera tamborada; incluye marcos, tapamarcos y cerradura	u	214,08	188,39	1,00	214,08
7	VENTANAS					
7,01	Ventana de aluminio-Incluye vidrio 4mm. Corrediza	m2	52,78	46,44	31,72	1674,05
8	BARANDILLA					
8,01	Barandilla metálico de tubo 40mm	m	19,90	17,51	8,30	165,19
9	INSTALACIONES SANITARIAS					
9,01	Desagüe PVC 110mm, incluye accesorios	pto	46,57	40,99	4,00	186,30
9,02	Desagües PVC 50mm, incluye accesorios	pto	31,79	27,98	16,00	508,64
9,03	Sumidero de piso de 2" incluye rejilla	u	18,54	16,32	2,00	37,09
9,04	Canalización tubería PVC 110mm	m	11,38	10,02	44,34	504,73
9,05	Canalización tubería PVC 50mm	m	4,07	3,58	35,28	143,43
9,06	Caja de revisión 60x60x60cm Fc210kg/cm2, tapadeH.A.	u	58,91	51,84	6,00	353,47
10	APARATOS SANITARIOS					
10,01	Lavamanos sin pedestal (37.7x46.2x85cm)	u	42,46	37,37	4,00	169,86
10,02	Inodoro (dos piezas redondo:67.9x43x72.7cm)	u	66,69	58,69	4,00	266,77
10,03	Ducha (bañera)	u	127,68	112,36	4,00	510,71
10,04	Lavaplatos doble con pozo acero inoxidable-grifería-acceso	u	113,39	99,78	4,00	453,57
10,05	Lavandería prefabricada	u	108,80	95,74	4,00	435,19
10,06	Calefón	u	129,12	113,63	4,00	516,49
11	INSTALACION AGUA POTABLE					
11,01	Punto de agua fría PVC roscable 1/2" incluido accesorios	pto	21,02	18,50	24,00	504,58
11,02	Tubería PVC roscable 1/2" incluye accesorios	m	3,96	3,49	38,50	152,60
11,03	Tubería PVC roscable 3/4" incluye accesorios	m	5,01	4,41	68,00	340,92
11,04	Punto de agua caliente CPVC roscable 1/2" incluido accesorios	pto	21,75	19,14	16,00	348,04
11,05	Tubería CPVC roscable 1/2" incluye accesorios	m	4,54	3,99	60,16	60,16
12	INSTALACIONES ELÉCTRICAS					
12,01	Punto de iluminación 120v	pto	24,93	21,94	34,00	847,53
12,02	Punto de tomacorriente 120v	pto	18,88	16,62	32,00	604,22
12,03	Caja de Breakers enchufable 15-20A de 1 polo	u	32,79	28,85	4,00	131,15
					TOTAL	\$51.079,71

Tabla 52

Presupuesto de Steel Frame

PRESUPUESTO DE LA OBRA						
STEEL FRAME						
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (Directo+Indirecto 12%)	PRECIO UNITARIO (Directo)	CANTIDAD	TOTAL
1	PRELIMINARES					
1,1	Cerramiento provisional yute h=2,00 m	m	\$3,66	\$3,22	5	\$16,09
1,2	Replanteo y nivelación	m2	\$1,59	\$1,40	132	\$184,18
2	MOVIMIENTO DE TIERRAS					
2,1	Excavación de estructuras menores	m3	\$3,39	\$2,99	2,34	\$6,99
3	HORMIGÓN					
3,1	Hormigón de replantillo f'c=140 kg/cm2 e=3cm	m3	\$94,17	\$82,87	0,39	\$32,32
3,4	Hormigón loseta de contrapiso f'c=210 kg/cm2	m3	\$128,35	\$112,95	13,20	\$1.490,93
3,5	Hormigón de losa deck f'c=210 kg/cm2	m3	\$120,71	\$106,22	12,42	\$1.319,26
4	ACERO					
4,1	Acero de refuerzo para losa de cimentación	kg	\$1,24	\$1,09	505,67	\$551,74
4,2	Malla electrosoldada 4.5mm@15 cm	m2	\$3,28	\$2,89	311,66	\$899,58
4,3	Acero estructural Steel Frame	kg	\$1,29	\$1,14	11437,39	\$13.000,49
4,5	Placa colaborante deck	m2	\$13,82	\$12,16	179	\$2.176,27
5	ESTRUCTURA DE CUBIERTA					
5,1	Acero estructural ASTM A36 galvanizado	kg	\$5,52	\$4,86	1243,81	\$6.045,90
6	REVESTIMIENTO					
6,1	Aislante termoacústico+OSB	m2	\$13,91	\$12,24	424,3	\$5.192,70
6,2	Plancha de fibrocemento autoclavadas e=10mm	m2	\$12,46	\$10,96	632,8	\$6.937,79
6,3	Pintura de alta resistencia tipo vinil acrílica para interiores	m2	\$1,50	\$1,32	424,3	\$558,81
6,4	Sellado y pintura elastomérica en exteriores	m2	\$6,24	\$5,49	208,48	\$1.145,48
6,5	Empaste interior y exterior	m2	\$1,05	\$0,93	632,8	\$587,39
6,6	Enlucido vertical paleteado fino mortero 1:4 e=1.5cm	m2	\$2,27	\$1,99	632,8	\$1.262,17
6,7	Cerámica de piso de 0.30x0.30 antideslizante,incluye instalación y emporado	m2	\$24,15	\$21,26	20,943	\$445,15
6,8	Cerámica en paredes, incluye instalación y emporado	m2	\$2,59	\$2,28	77,44	\$176,42
6,9	Mesón de hormigón armado A=60cm H=7cm cocina	m	\$1,95	\$1,72	1,34	\$2,30
6,10	Cerámica en mesones y salpicadero, incluye instalación y emporado	m2	\$2,60	\$2,29	2,96	\$6,77
6,11	Plancha de fibrocemento autoclavadas e=10mm(en cerchas)	m2	\$2,07	\$1,82	117,76	\$214,40
7	PUERTAS					
7,1	Puerta de madera tamborada,incluye marcos, tapamarcos y cerradura	u	\$189,39	\$166,66	26	\$4.333,21
8	VENTANAS					
8,1	Ventana de aluminio-Incluye vidrio 4mm. Corrediza	u	\$52,78	\$46,44	31,72	\$1.473,17
9	PROTECCIONES					
9,1	Barandilla metálico de tubo 40mm	m	\$19,90	\$17,51	8,3	\$145,37
10	INSTALACIONES SANITARIAS					
10,1	Desagüe PVC 110mm, incluye accesorios	pto	\$46,57	\$40,99	4	\$163,94
10,2	Desagües PVC 50mm, incluye accesorios	pto	\$31,79	\$27,98	16	\$447,60
10,3	Sumidero de piso de 2" incluye rejilla	u	\$18,54	\$16,32	2	\$32,64
10,4	Canalización tubería PVC 110mm	m	\$11,38	\$10,02	44,34	\$444,16
10,5	Canalización tubería PVC 50mm	m	\$4,07	\$3,58	35,28	\$126,22
10,6	Caja de revisión 60x60x60cm Fc210kg/cm2, tapadeH.A.	u	\$58,91	\$51,84	6	\$311,05
11	APARATOS SANITARIOS					
11,1	Lavamanos sin pedestal (37.7x46.2x85cm)	u	\$42,46	\$37,37	4	\$149,47
11,2	Inodoro (dos piezas redondo:67.9x43x72.7cm)	u	\$66,69	\$58,69	4	\$234,76
11,3	Ducha (bañera)	u	\$127,68	\$112,36	4	\$449,43
11,4	Fregadero doble un pozo acero inoxidable-grifería-acceso	u	\$113,39	\$99,78	4	\$399,14
11,5	Fregadero un pozo acero inoxidable-grifería-acceso	u	\$108,80	\$95,74	4	\$382,97
11,6	Calefón	u	\$129,12	\$113,63	4	\$454,51
12	INSTALACION AGUA POTABLE					\$0,00
12,1	Punto de agua fría PVC roscable 1/2" incluidoaccesorios	pto	\$21,02	\$18,50	24	\$444,03
12,1	Tubería PVC roscable 1/2" incluyeaccesorios	m	\$3,96	\$3,49	42	\$146,50
12,1	Tubería PVC roscable 3/4" incluyeaccesorios	m	\$5,01	\$4,41	72	\$317,66
12,1	Punto de agua caliente PVC roscable 1/2" incluidoaccesorios	pto	\$21,75	\$19,14	16	\$306,27
12,1	Tubería PVC roscable 1/2" incluyeaccesorios	m	\$4,54	\$3,99	62	\$247,51
13	INSTALACIONES ELÉCTRICAS					\$0,00
13,1	Punto de iluminación 120v	pto	\$24,93	\$21,94	34	\$745,83
13,2	Punto de tomacorriente 120v	pto	\$18,88	\$16,62	32	\$531,71
13,3	Breaker enchufable 15-20A de 1 polo	u	\$32,79	\$28,85	4	\$115,41
					TOTAL	\$54.655,69

Modelación BIM 5D

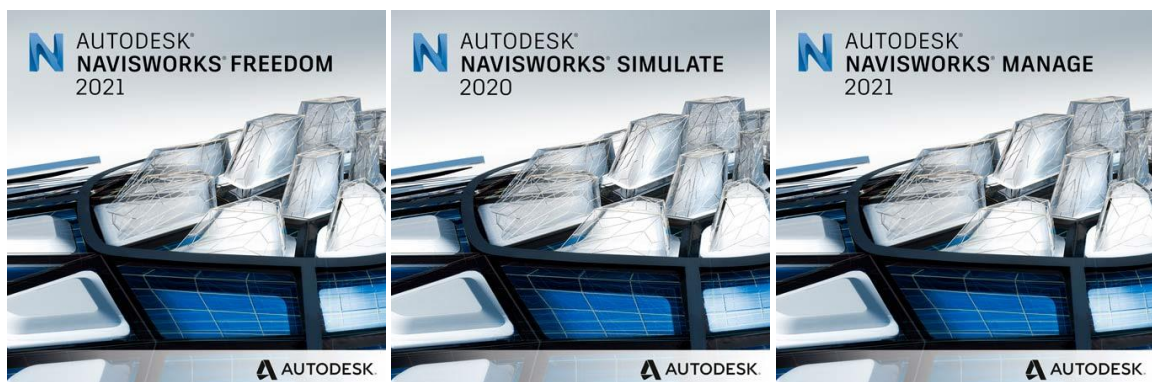
Se lo realizó mediante el software Navisworks, que es una herramienta del entorno BIM para la revisión de modelos federados 3D, con capacidad de simulaciones 4D y 5D. Esta herramienta es un complemento a la gerencia de proyectos y construcción, al permitir realizar una simulación, análisis de conflictos y renders de manera sencilla, evitando retrasos o reprogramación de tareas (2ACAD, 2020).

Entre sus principales versiones se encuentran:

- Naviswork Freedom: es un visualizador de proyectos, facilita una visualización optimizada de archivos NWD y forma parte de la integración de herramientas de Autodesk (2ACAD, 2020).
- Naviswork Simulate: además de ser un visualizador 3D, tiene una programación avanzada para la gestión de modelo (2ACAD, 2020).
- Naviswork Manage: gestiona proyectos mediante opciones de visualización, localización de interferencias entre elementos, cuantificación, simulación y renderización (2ACAD, 2020).

Figura 129

Versiones de la Herramienta Navisworks

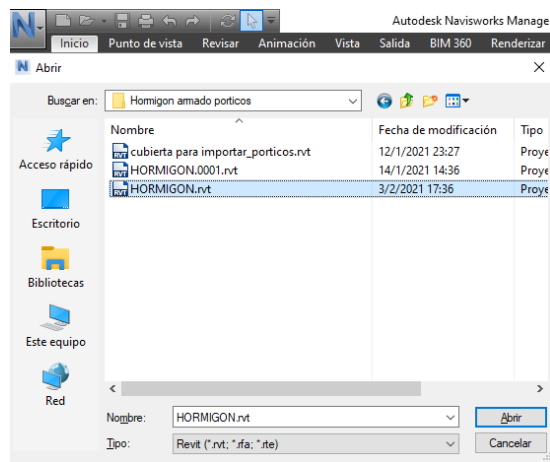


Nota. Tomado de Programas de Autodesk para ingeniería y plantas de proceso | 2aCAD, por (2ACAD, 2020).

Inicialmente se selecciona el tipo de archivo que contiene el modelo, en este caso se utiliza un archivo con la extensión. rvt correspondiente a un modelo del software Revit como se observa en la siguiente figura:

Figura 130

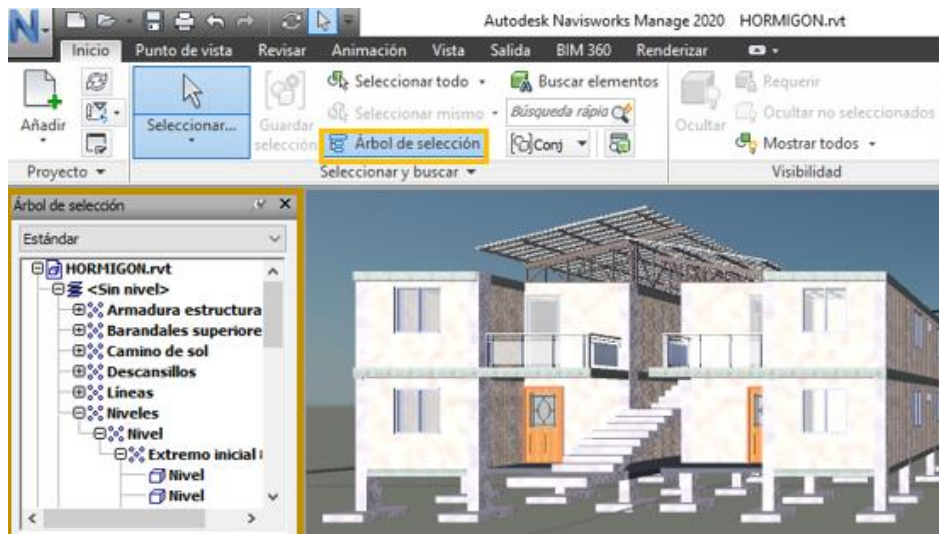
Selección de Archivo. rvt



Una vez cargado el modelo en el programa se debe desplegar la ventana “Conjuntos” donde se ubicarán los elementos agrupados y la ventana “Árbol de selección” en donde se despliega las diferentes categorías, tipos y elementos de forma jerárquica.

Figura 131

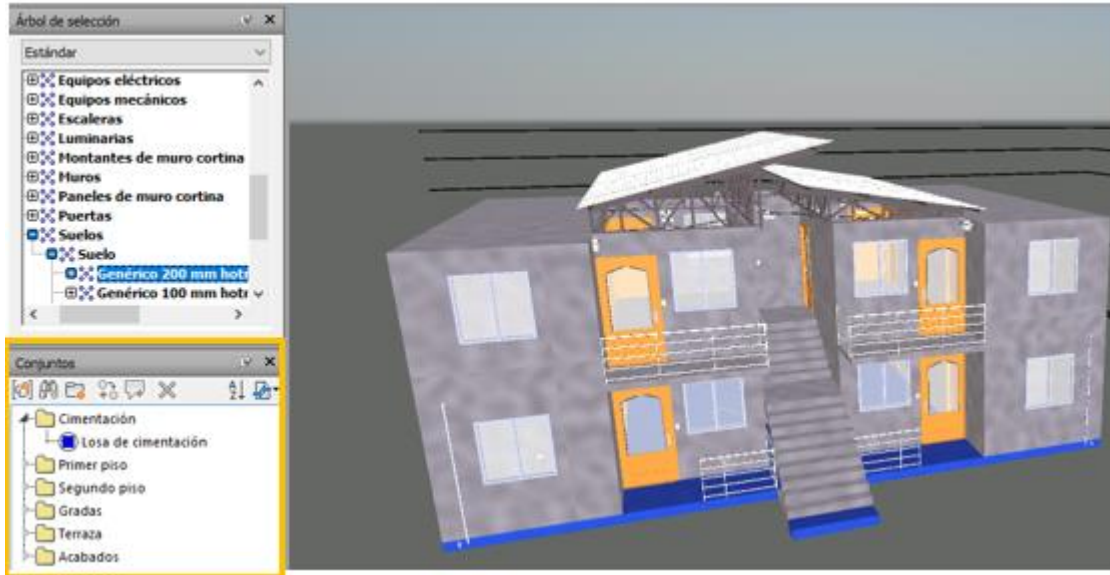
Despliegue de la Ventana “Árbol de Selección”



La selección de elementos en el modelo automáticamente marca los elementos en la ventana de “Árbol de selección” o viceversa, permitiendo tener un control sencillo y rápido de las acciones a realizar. Inmediatamente después de ello en la ventana “Conjuntos” se debe crear carpetas e ingresa el conjunto de elementos seleccionados en cada una de ellas.

Figura 132

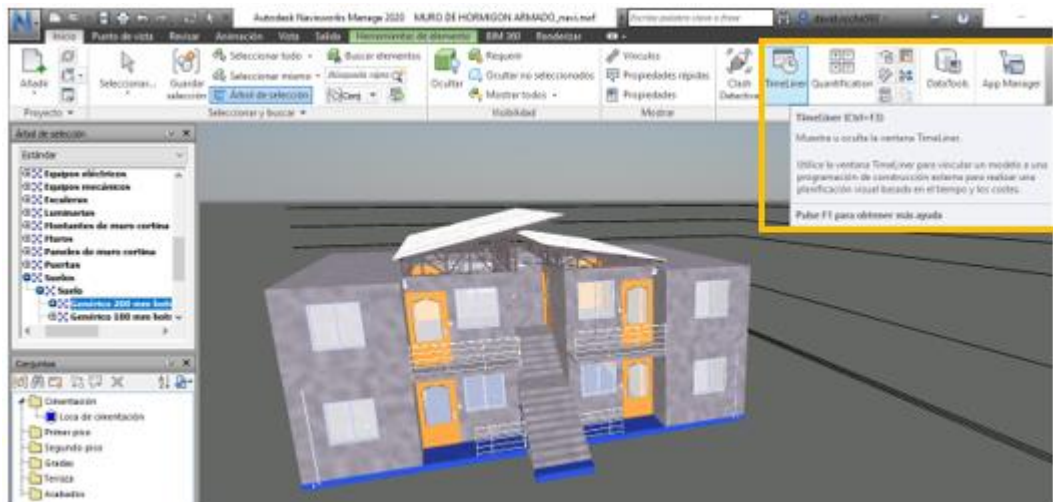
Selección y Agrupación de Elementos



Posterior a ello se activa la ventana *TimeLiner* en donde se despliega múltiples opciones que permiten ingresar tareas manualmente o a su vez programar un orden de la simulación a realizar.

Figura 133

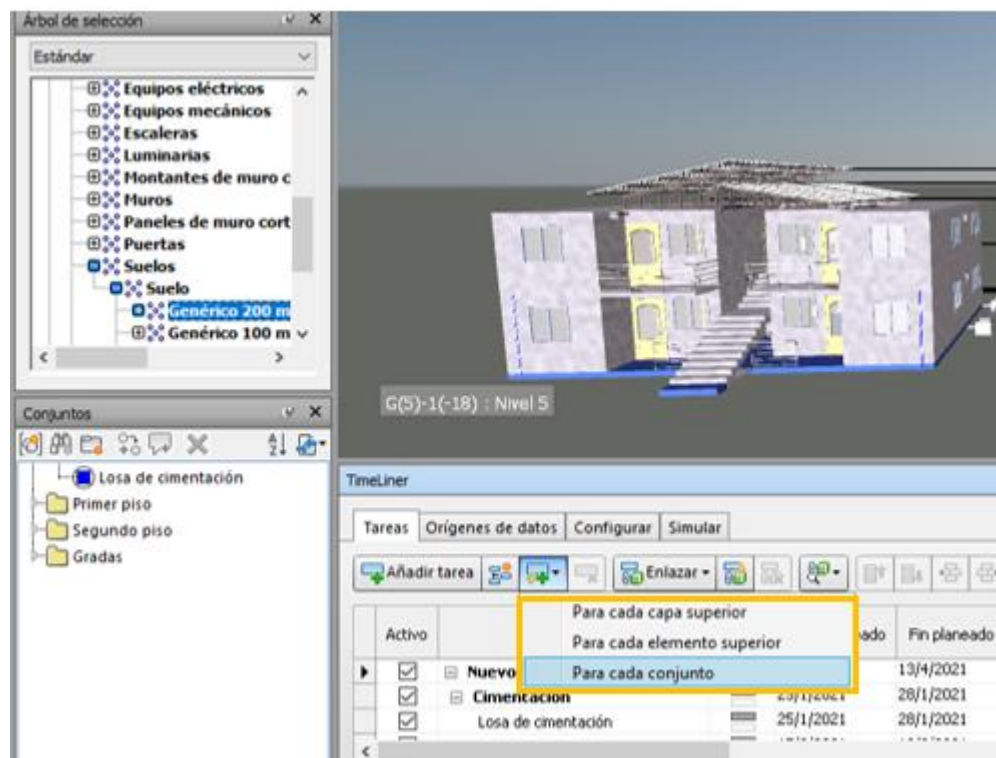
Despliegue de la Ventana TimeLiner



Dentro de la interfaz de la ventana *TimeLiner* se debe seleccionar la opción *Para cada conjunto*, luego de ello se despliega en un orden establecido de acuerdo a las carpetas y elementos seleccionados anteriormente y se genera automáticamente un cronograma que puede ser editado en la misma sección o exportado hacia otro programa.

Figura 134

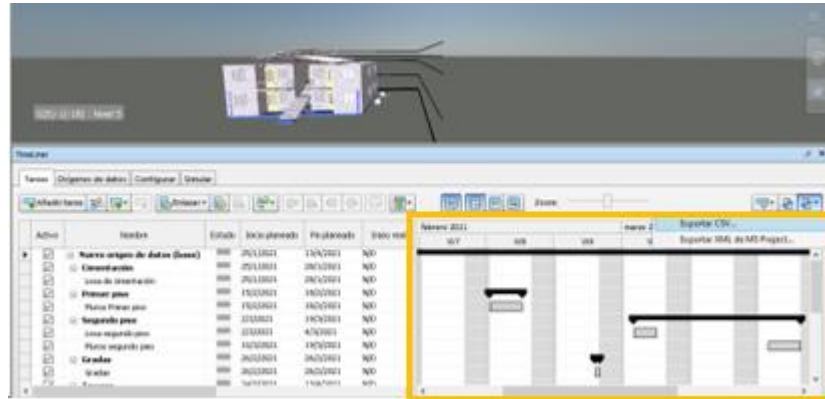
Ventana Time Liner



Dentro de la ventana se puede observar un cronograma del proyecto como Diagrama de Gant y que para su edición se recomienda exportar como un archivo .csv, como se observa a continuación:

Figura 135

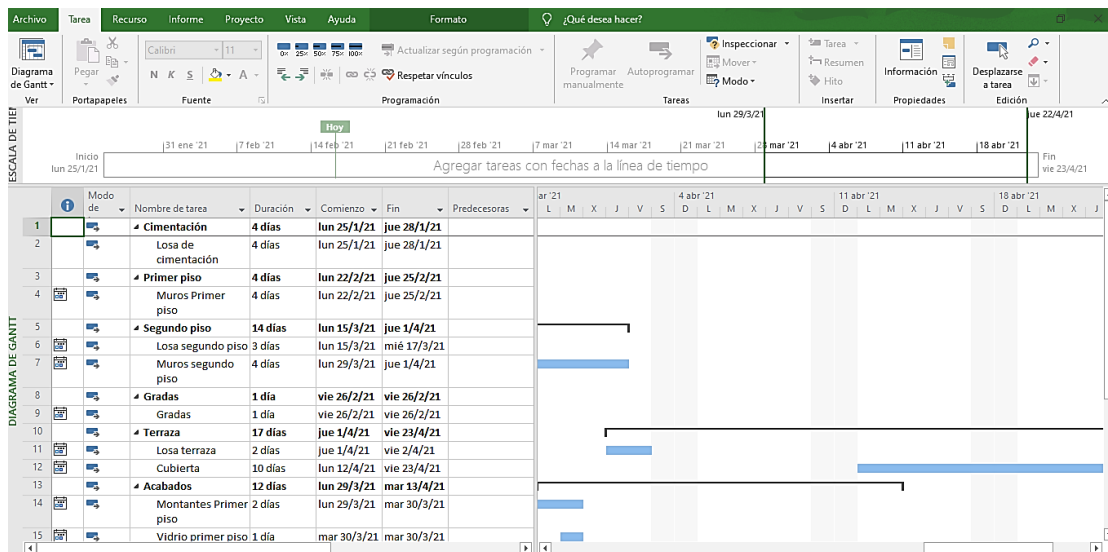
Exportación del Cronograma en Formato .csv



Mediante un Diagrama de Gant se puede configurar como un archivo de Microsoft Project o Excel la información ingresada para su edición, cambios y variaciones del avance del proyecto, permitiendo además enlazar la información al BIM 5D mediante la programación de costos de materiales, mano de obra, transporte, pagos a subcontratistas y demás, a cada una de las tareas.

Figura 136

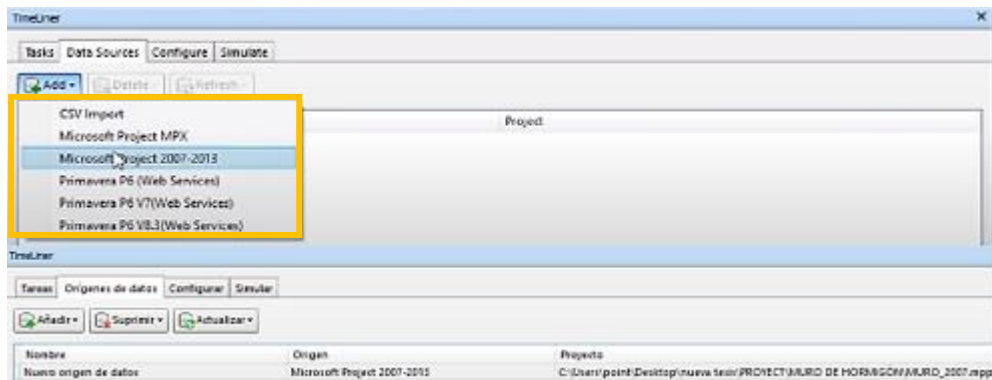
Edición en Microsoft Project



Una vez editadas las celdas necesarias en Microsoft Project se debe enlazar el archivo en el modelo Naviswork mediante la opción *Add*, en donde se despliega una ventana de equivalencias entre los parámetros de Revit y de Microsoft Project.

Figura 137

Enlazamiento de Archivo .mpp a Naviswork



Adicionalmente se debe dar clic en la opción “Actualizar” con la finalidad de adjuntar los cambios realizados en el cronograma y los valores de costes añadidos mediante la opción “Todos los orígenes de datos”.

Figura 138

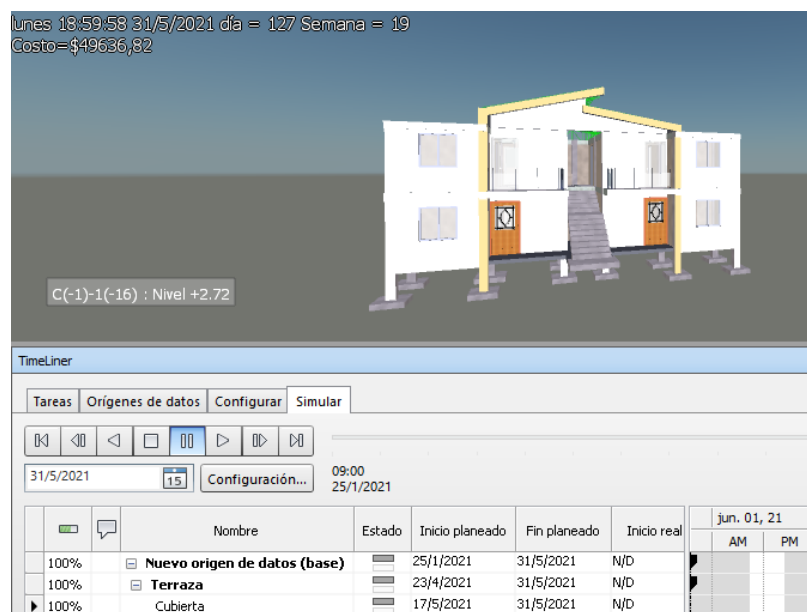
Actualización de Información en Naviswork



Finalmente se puede observar el avance del proyecto a través del tiempo y los costes involucrados en cada una de las etapas mediante la opción “*Simular*”, *este proceso fue realizado para cada uno de los sistemas constructivos*, a continuación, se observa la finalización de la simulación del sistema de pórticos de hormigón armado:

Figura 139

Simulación Final



Capítulo IX

Análisis técnico-económico

Peso de la estructura

Está íntimamente ligada al tipo de estructura, tamaño, forma y proporción. A través del análisis estructural se puede determinar su peso propio mediante nociones de esbeltez, alcance de la estructura, material y cantidad, proporcionando recursos para la evaluación de la resistencia del material empleado en resistir el peso propio y/o cargas adicionales (Cervera Bravo, 1990).

Además del peso propio de la estructura, se considera las acciones de cargas adicionales permanentes como paredes, acabados, entre otros. En la siguiente figura se indica los distintos valores obtenidos para cada sistema, evidenciando la diferencia existente en cada uno de ellos debido no solo al sistema constructivo, sino a los materiales, secciones, cantidades, tipos de cimentación, cubierta y demás parámetros determinantes en cada valor.

Figura 140

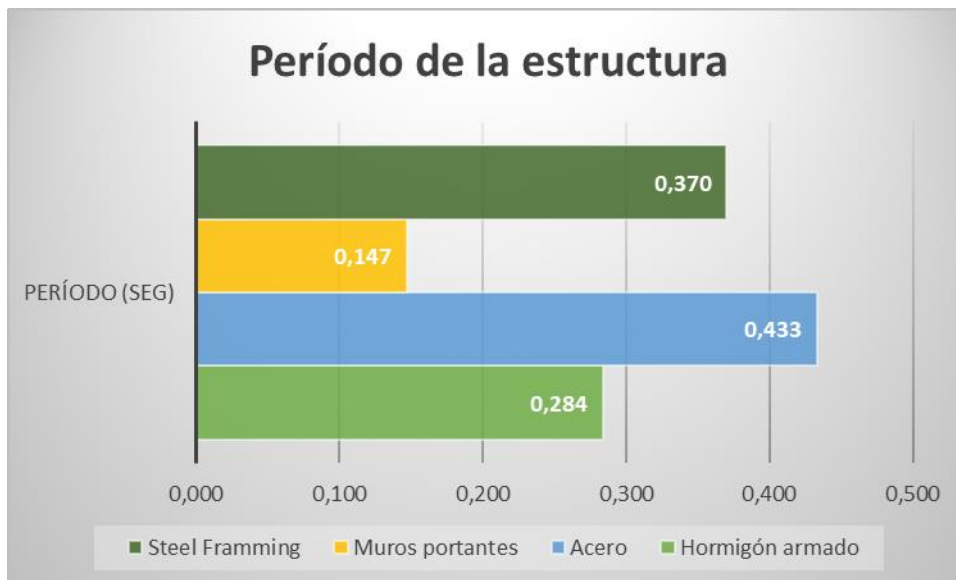
Comparación Peso de Estructuras



Período de vibración

El tiempo que tarda un sistema en realizar una oscilación completa está determinado por el período de la estructura, el cual se encuentra en función de la rigidez y distribución de la masa. Cabe señalar que, en caso de un sismo, al generarse una vibración por períodos cercanos o iguales al período de la estructura, esta entra en resonancia, ocasionando vibraciones mucho más fuertes, que no afectan significativamente a estructuras con períodos más largos o más cortos. Debido a la imposibilidad de conocer de manera concreta como los sismos hacen vibrar a las estructuras, mediante datos experimentales y características del suelo se ha podido relacionar los distintos períodos con la aceleración que se produciría en las estructuras, como el espectro de aceleraciones (Domínguez, 2014).

En base a la configuración estructural, propiedades del mismo suelo y los materiales utilizados se puede obtener distintos modos de vibración, sin embargo, el mayor cortante en la base de las estructuras corresponden al período fundamental, en el que las fuerzas inerciales se encuentran en una sola dirección derivando en una sumatoria vectorial, por lo que a continuación se presentan los períodos fundamentales de cada una de las estructuras analizadas de acuerdo a su sistema constructivo:

Figura 141*Comparación del Período*

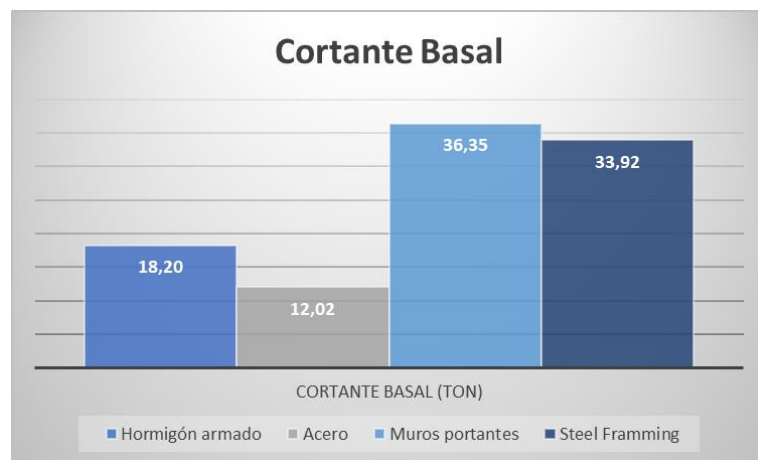
El nivel de daño que pueda afectar a una vivienda está relacionado con la magnitud de los desplazamientos laterales, ocasionando mayores deformaciones en los elementos de la estructura y mayores esfuerzos internos. El modo más crítico será el fundamental, debido a que dan las mayores deformaciones, aunque no le correspondan las mayores aceleraciones (Domínguez, 2014). En este contexto el periodo de vibración obtenido para el acero y steel Frame refleja el comportamiento oscilatorio mucho más lento con un período mucho más largo que las estructuras de hormigón, debido a que debido por su ductilidad experimentan grandes deformaciones inelásticas y la forma para rigidizarlos son las placas de fibrocemento en el sistema Steel Frame y las diagonales en el caso del acero. Los siguientes períodos encontrados para los sistemas de hormigón armado son menores debido a que por la naturaleza del material tienen una rigidez y peso mayor que las estructuras de acero.

Cortante basal

En la obtención del cortante basal, se observa la forma en que afecta el factor de reducción R en la disminución de las fuerzas sísmicas de diseño y que dependen del tipo de ductilidad de las estructuras. En la figura se visualiza los distintos valores obtenidos para cortante basal en función del factor R y el porcentaje a distribución del peso de la estructura. En los sistemas portantes como los muros de hormigón y el Steel Frame el cortante basal se ve aumentado significativamente debido a la disminución substancial de la ordenada elástica espectral permitido por el comportamiento limitadamente dúctil de este tipo de sistemas durante un evento sísmico, ocasionando que la estructura soporte mayores cargas laterales que gravitacionales, por lo que la rigidización es esencial en este tipo de edificaciones.

Figura 142

Comparación del Cortante Basal



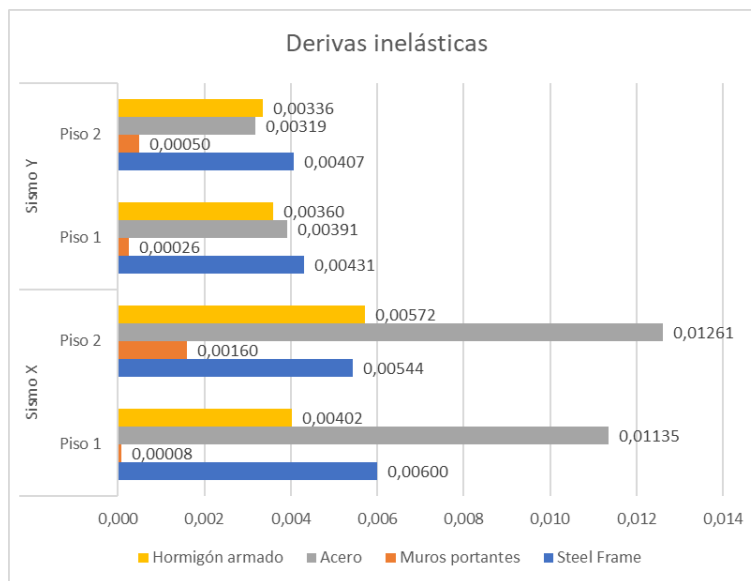
Derivas de piso

El análisis de los desplazamientos horizontales de una estructura en cada uno de los niveles consecutivos y que se encuentra sometida a cargas sísmicas es esencial, debido a que

evitan daños estructurales considerables en los elementos de la edificación. A continuación, se presenta las derivas de cada una de las edificaciones:

Figura 143

Comparación de las Derivas de Piso



Debido a la irregularidad en planta existente, se observa una considerable diferencia en ambos sentidos donde se aplica el sismo, al igual que en cada uno de los pisos. En el caso del sismo en sentido Y, se observa una evidente similitud en las derivas entre los sistemas de acero y hormigón armado, que se obtuvo mediante la adición de arriostramientos diagonales, permitiendo tener una gran capacidad de liberación de energía en el sistema de acero.

Adicionalmente debido a la rigidización de los paneles en el sistema Steel Frame, se logra alcanzar derivas menores al 2% admitido en la norma y cercanas a los dos sistemas antes descritos. En la estructura de acero en el sismo en sentido X se observa un adecuado desempeño elástico de respuesta a las acciones dinámicas, debido a la metodología LRDF utilizada, en donde se mayoran las solicitaciones de cargas y se disminuye la resistencia

mediante factores de acuerdo a la sollicitación actuante. Las derivas halladas en el sistema de muros de hormigón armado corresponden a su filosofía de diseño, debido a que al ser elementos de gran rigidez y poca ductilidad disminuyen significativamente las deformaciones y generalmente pueden ser susceptibles a una falla frágil debido a que absorben un gran porcentaje de la fuerza cortante.

Cimentación

La finalidad de estos elementos es la de transmitir las cargas de forma directa al suelo, considerando la presión admisible para cada tipología de suelo existente, motivo por el cual, el área de contacto será proporcionalmente mayor que la de los elementos soportados, para distribuir estas cargas de una manera adecuada, resistiendo esfuerzos de flexión y corte. A más de los parámetros mecánicos del suelo, el tipo de cimentación depende de la magnitud e importancia de la estructura, por lo que para el desarrollo de este proyecto se consideró dos tipos de cimentación directa que repartirán las cargas a través de un plano horizontal.

En los sistemas de hormigón armado y acero, se consideró la cimentación mediante zapatas aisladas, debido a que estos elementos amplían la superficie de apoyo de elementos estructurales puntuales, transmitiendo tensiones medias a altas y obteniendo asentamientos moderados. La excavación para estos elementos es limitada a las medidas obtenidas del cálculo estructural por lo que los volúmenes de excavación son menores en comparación a otros sistemas de zapatas. La Norma Ecuatoriana de la Construcción en el Capítulo de Vivienda, Sección 4.4 establece los requisitos mínimos para este tipo de elemento, que sirvieron de base para el desarrollo de este proyecto.

La cimentación recomendada por la NEC para muros portantes son las cadenas o vigas de cimentación corridas. Sin embargo, por la distribución arquitectónica, factibilidad constructiva, capacidad portante y a los esfuerzos de compresión transmitidos por el sistema, se

optó por una losa de cimentación. Debido al comportamiento monolítico de la estructura, esta distribuye de manera conveniente las cargas hacia el suelo, teniendo en cuenta además que en este sistema es esencial prever el anclaje apropiado mediante conectores verticales.

Considerando el distanciamiento reducido de los perfiles de acero conformado en frío, se utilizó este mismo sistema debido a que brinda una superficie de apoyo continua, formando un arriostramiento en todos los puntos de apoyo.

Losas

El tipo de losa elegida tiene correlación para cada sistema constructivo y responde además a ciertas consideraciones estructurales, económicas y visuales. A parte de contribuir en la estabilidad de la edificación y recibir las cargas procedentes de personas, equipos y otros elementos, brinda un control ambiental y estético en las viviendas.

Tanto la losa alivianada como la maciza de hormigón armado y con placa colaborante utilizadas en este proyecto son moldeadas in situ por lo que requieren tiempo de curado para el hormigón. En el caso de la losa alivianada y losa maciza, éstas requieren además de un proceso de encofrado, mientras que las losas soportadas sobre placa colaborante, éstas laminas sirven de encofrado durante el vaciado del hormigón.

La principal ventaja de las losas in situ es el comportamiento integral como un solo conjunto, lo que le permite tener una alta resistencia a las fisuras o grietas, otra de sus características importante es variabilidad de formas que admite.

La losa alivianada es mucho más económica en relación a la losa maciza, permite cubrir grandes luces y facilitar diferentes diseños en su superficie. Sin embargo, debido a su configuración aumenta las alturas de las edificaciones y ambas requieren de un gran volumen de elementos para el encofrado.

En las losas con placas colaborantes la interacción debido a la adherencia con el hormigón le permite actuar monolíticamente, conformando el refuerzo positivo de la losa. La forma de la lámina de acero conformado en frío permite una optimización la colocación del concreto, brinda una gran facilidad para transportar y una velocidad considerable de montaje, incidiendo directamente en los plazos y costes de construcción (Ramos, 2002).

Uno de los parámetros estructurales de las losas es su peso y que, dependiendo del número de pisos de una edificación, ésta afecta directamente al peso global y por ende al comportamiento estructural de la misma. En la siguiente figura se observa como el peso de losas con placa colaborante Steel Deck es aproximadamente un 50% menor que la losas alivianada y maciza.

Figura 144

Peso de Losas en kg/m²



Vida útil y sustentabilidad

Las estructuras deben presentar requisitos indispensables mínimos como funcionalidad, estabilidad y seguridad durante su vida útil, es con ese fin con el que se proyectan y construyen. Para el periodo de tiempo rentable de las estructuras de hormigón se realiza estudios mediante el método simplificado y el método sofisticado, cada uno de ellos responde a determinadas consideraciones como la relación agua-cemento o el cálculo de espesores de recubrimiento respectivamente. La degradación del hormigón se exterioriza especialmente por la corrosión del acero, ocasionado por procesos como la carbonatación o la presencia de cloruros que finalmente recaen en pérdidas de sección, resistencia, etc.

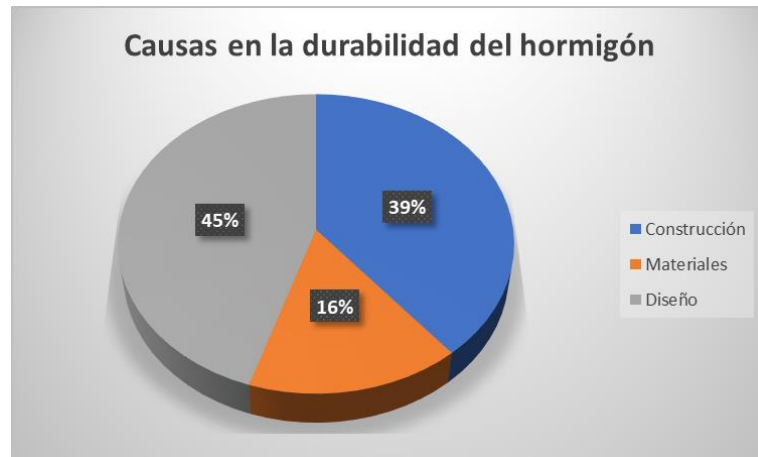
En un estudio de vida útil de estructuras de hormigón que son afectadas por corrosión (Pérez, 2010) menciona: “Para que se produzcan estos procesos debe actuar de manera simultánea o individual factores como: carbonatación del hormigón, deficiente calidad de hormigón, escaso recubrimiento del acero y/o la presencia de sustancias agresivas como cloruros”. Determinantes finalmente en la vida útil residual de una estructura de hormigón en aproximadamente 285 años.

Sin embargo, en general las estructuras se considera que deben establecerse sobre los 50 a 100 años de vida útil considerando no solo condiciones ambientales, sino también funcionales y de seguridad. En este lapso de tiempo interviene no solo los elementos estructurales, sino también los no estructurales que tienen un período de vida menor por lo muchas veces requieren reparación o sustitución, es por ello que, es necesario una adecuada planificación, cumplimiento de especificaciones durante la construcción y labores de mantenimiento determinadas dentro de un plan de control de calidad. Según un estudio de (Hernández & Escobedo, 2006) se debe considerar la calidad de materiales, condiciones de diseño y un adecuado proceso constructivo; presentan además una figura de un estudio

realizado en los años 80's referente a las causas que generan problemas de durabilidad en el hormigón:

Figura 145

Causas en la Durabilidad del Hormigón



Nota. Tomado de Durabilidad e infraestructura: retos e impacto socioeconómico. In *INGENIERÍA Investigación y Tecnología VII*, por (Hernández & Escobedo, 2006).

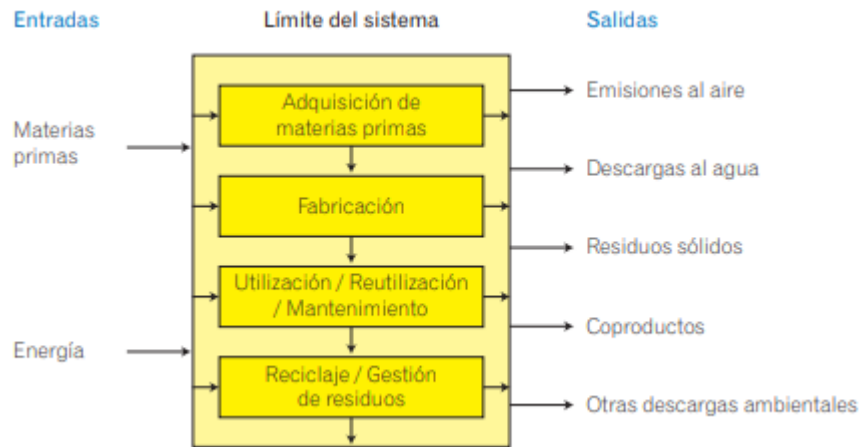
Los dos aspectos fundamentales de un adecuado comportamiento durante la vida útil en una edificación de acero es primero, el uso eficiente y ecológico de la estructura y segundo el mantenimiento de acuerdo a métodos preventivos o correctivos.

Las estructuras metálicas debido a que son un conjunto de elemento prefabricados, relativamente livianos pueden ser desmantelados en la fase final de la vida útil de la estructura, permitiendo la reconstrucción o reciclaje del mismo, contribuyendo a la sustentabilidad de este recurso.

Un Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de un sistema constructivo compila y evalúa además el impacto ambiental a lo largo de su período de vida en sus distintas fases:

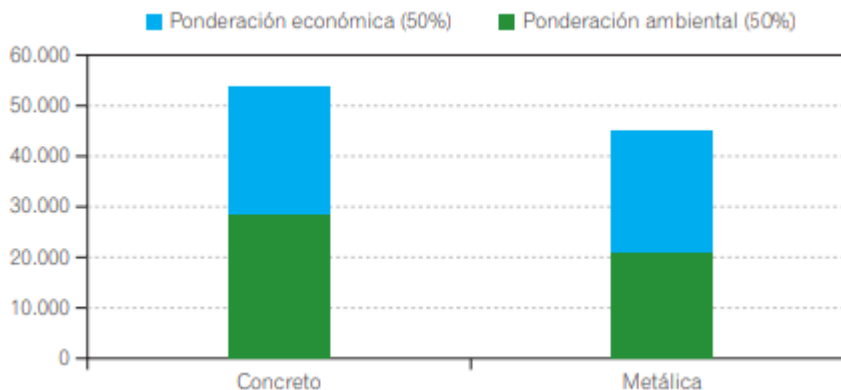
Figura 146

Límites del Sistema en un ACV



Nota. Tomado de *La sustentabilidad del Acero y las Estructuras Metálicas*. http://www.cbca-ibs.com.br/nsite/site/downloads/Construmetal_Helena_Gervasio.ppt Gilbert, A. (2001). *La vivienda en América Latina | Publications*, por (Gervásio, 2010).

En un estudio con un período de 50 años referente a la sustentabilidad del acero y las estructuras metálicas, determinó que el sistema constructivo de acero obtiene un equilibrio entre performance ambiental y performance económico superior al de concreto, considerando un ACV (Gervásio, 2010).

Figura 147*Sustentabilidad Ambiental y Económica*

Nota. Tomado de *La sustentabilidad del Acero y las Estructuras Metálicas*. http://www.cbca-ibs.com.br/nsite/site/downloads/Construmetal_Helena_Gervasio.ppt Gilbert, A. (2001). *La vivienda en América Latina | Publications*, por (Gervásio, 2010).

Costo por metro cuadrado

Una vez determinado los valores totales de para cada sistema constructivo se puede apreciar que las construcciones con hormigón armado ronda entre los \$49,000 y \$52,000 USD. y alrededor de \$55,000 USD. para los sistemas construidos en acero, cabe señalar que estos valores consideran no solo las distintas etapas como cimentación, estructura e instalaciones, sino también acabados, por lo que se debe tomar en cuenta que los valores de este parámetro son relativos en función de la calidad y costo de sus componentes.

Es por ello que, dependiendo del sistema constructivo ha adoptarse se planteó realizar un análisis de lo que conlleva la etapa de obra gris, permitiendo así analizar el costo por metro cuadrado de cada uno, que se presenta a continuación:

Tabla 53

Costo Hormigón Armado m2

PRESUPUESTO DE OBRA GRIS						
HORMIGÓN ARMADO						
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (Directo+Indirecto 12%)	PRECIO UNITARIO (Directo)	CANTIDAD	TOTAL
1	PRELIMINARES					
1,01	Cerramiento provisional de yute H=2.40	m	\$3,66	\$3,22	50,00	\$160,88
1,02	Replanteo y nivelación	m2	\$1,22	\$1,07	131,00	\$140,43
1,03	Excavación de estructuras menores	m3	\$3,39	\$2,99	24,70	\$73,76
1,04	Relleno y compactación de material en sitio	m3	\$12,43	\$10,94	17,78	\$194,43
2	ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO					
2,01	Hormigón de replantillo f'c=140 kg/cm2	m3	\$117,05	\$103,00	1,24	\$127,21
2,02	Hormigón de plintos (incluye encofrado) f'c=210 kg/cm2	m3	\$138,55	\$121,92	4,95	\$603,51
2,03	Hormigón loseta de contrapiso (incluye encofrado) f'c=210 kg/cm2	m3	\$157,95	\$138,99	13,49	\$1.875,02
2,04	Hormigón en columnas (incluye encofrado) f'c=210 kg/cm2	m3	\$193,44	\$170,23	12,32	\$2.097,20
2,05	Hormigón en vigas (incluye encofrado) f'c=210 kg/cm2	m3	\$156,94	\$138,11	11,40	\$1.574,45
2,06	Hormigón simple gradas (incluye encofrado) f'c=210 kg/cm2	m3	\$124,86	\$109,88	2,34	\$257,11
2,07	Hormigón simple losas (incluye encofrado) f'c=210 kg/cm2	m3	\$165,85	\$145,94	15,15	\$2.211,05
3	ACERO					
3,01	Acero de refuerzo varilla corrugada fy=4200 kg/cm2	kg	\$2,06	\$1,81	4017,26	\$7.283,67
3,02	Malla electrosoldada 6 mm @ 15 cm	m2	\$3,66	\$3,22	280,33	\$901,70
4	ESTRUCTURA METALICA PARA CUBIERTA					
4,01	Acero estructural ASTM A36 galvanizado (incluye cubierta de galvalumen e=0.4mm)	kg	\$5,52	\$4,86	1243,81	\$6.045,90
5	REVESTIMIENTO					
5,01	Aliviamiento de bloque (0.4x0.2x0.15)	u	\$0,66	\$0,58	1240,00	\$715,90
5,02	Mampostería de bloque	m2	\$9,62	\$8,47	329,90	\$2.793,40
TOTAL						\$27.055,62

$$H. A. = \frac{\$27.055,62}{250 m^2} = \$108,22 /m^2$$

Tabla 54

Costo Muro de Hormigón m2

PRESUPUESTO DE OBRA GRIS MURO PORTANTE DE HORMIGÓN ARMADO						
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (Directo+Indirecto 12%)	PRECIO UNITARIO (Directo)	CANTIDAD	TOTAL
1	PRELIMINARES					
1,01	Cerramiento provisional de yute H=2.40	m	\$3,66	\$3,22	50,00	\$182,82
1,02	Replanteo y nivelación	m2	\$1,22	\$1,07	131,00	\$159,57
1,03	Excavación de estructuras menores	m3	\$3,39	\$2,99	14,40	\$48,85
1,04	Relleno y compactación de material en sitio	m3	\$12,43	\$10,94	3,03	\$37,65
2	ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO					
2,01	Hormigón simple losa de cimentación (incluye encofrado) f'c=210 kg/cm2	m3	\$108,29	\$95,30	26,20	\$2.837,23
2,02	Hormigón simple gradas (incluye encofrado) f'c=210 kg/cm2	m3	\$105,14	\$92,52	2,34	\$246,09
2,03	Hormigón simple muros (incluye encofrado) f'c=210 kg/cm2	m3	\$117,90	\$103,75	42,43	\$5.002,28
2,04	Hormigón simple losas (incluye encofrado) f'c=210 kg/cm2	m3	\$117,27	\$103,20	23,09	\$2.707,61
3	ACERO					
3,01	Acero de refuerzo varilla corrugada fy=4200 kg/cm2	kg	\$2,06	\$1,81	5714,49	\$11.773,76
3,02	Malla electrosoldada 6 mm @ 15 cm	m2	\$3,66	\$3,22	164,92	\$602,81
4	ESTRUCTURA METALICA PARA CUBIERTA					
4,01	Acero estructural ASTM A36 galvanizado (incluye cubierta de galvalumen e=0.4mm)	kg	\$5,52	\$4,86	1243,81	\$6.870,34
TOTAL						\$30.469,03

$$M.P. = \frac{\$30.469,03}{250 m^2} = \$121,87 /m^2$$

Tabla 55

Costo Acero m2

PRESUPUESTO DE OBRA GRIS						
ACERO						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (+ indirectos 12%)	PRECIO UNITARIO (directos)	CANTIDAD	TOTAL	
1 PRELIMINARES						
1,1	Cerramiento provisional yute h=2,00 m	m	\$3,66	\$3,22	50,00	\$160,88
1,2	Replanteo y nivelación	m2	\$0,39	\$0,35	131,00	\$45,25
2 MOVIMIENTO DE TIERRAS						
2,1	Excavación de estructuras menores	m3	\$3,39	\$2,99	14,40	\$42,99
2,2	Relleno y compactación de material en sitio	m3	\$12,43	\$10,94	3,03	\$33,13
3 HORMIGÓN						
3,1	Hormigón de replantillo f'c=140 kg/cm2 e=3cm	m3	\$94,17	\$82,87	0,65	\$54,25
3,2	Hormigón de plintos f'c=210 kg/cm2	m3	\$106,60	\$93,81	4,37	\$409,95
3,3	Hormigón de pedestales f'c=210 kg/cm2	m3	\$136,13	\$119,79	4,94	\$591,76
3,4	Hormigón loseta de contrapiso f'c=210 kg/cm2	m3	\$128,35	\$112,95	13,19	\$1.490,03
3,5	Hormigón de losa deck f'c=210 kg/cm2	m3	\$120,71	\$106,22	12,42	\$1.319,26
4 ACERO						
4,1	Acero de refuerzo	kg	\$2,06	\$1,81	505,67	\$916,83
4,2	Malla electrosoldada 4.5mm@15 cm	m2	\$3,28	\$2,89	311,66	\$899,58
4,3	Acero estructural	kg	\$1,16	\$1,02	19417,33	\$19.885,46
4,4	Colocación de placa base y anclaje	u	\$23,32	\$20,52	13,00	\$266,75
4,5	Placa colaborante deck	m2	\$13,89	\$12,22	179,00	\$2.187,95
5 ESTRUCTURA DE CUBIERTA						
5,1	Acero estructural ASTM A36 galvanizado	kg	\$5,52	\$4,86	1243,81	\$6.045,90
6 REVESTIMIENTO						
6,1	Paredes de mampostería	m2	\$9,54	\$8,40	329,90	\$2.770,77
TOTAL						\$37.120,73

$$ACERO = \frac{\$37.120,73}{250 m^2} = \$148,48 /m^2$$

Tabla 56

Costo Steel Frame m2

PRESUPUESTO DE OBRA GRIS						
STEEL FRAME						
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (Directo+Indirecto 1,2%)	PRECIO UNITARIO (Directo)	CANTIDAD	TOTAL
1	PRELIMINARES					
1,1	Cerramiento provisional yute h=2,00 m	m	\$3,66	\$3,22	5	\$16,09
1,2	Replanteo y nivelación	m2	\$1,59	\$1,40	132	\$184,18
2	MOVIMIENTO DE TIERRAS					
2,1	Excavación de estructuras menores	m3	\$3,39	\$2,99	2,34	\$6,99
3	HORMIGÓN					
3,1	Hormigón de replantillo f'c=140 kg/cm2 e=3cm	m3	\$94,17	\$82,87	0,39	\$32,32
3,4	Hormigón loseta de contrapiso f'c=210 kg/cm2	m3	\$128,35	\$112,95	13,20	\$1.490,93
3,5	Hormigón de losa deck f'c=210 kg/cm2	m3	\$120,71	\$106,22	12,42	\$1.319,26
4	ACERO					
4,1	Acero de refuerzo para losa de cimentación	kg	\$1,24	\$1,09	505,67	\$551,74
4,2	Malla electrosoldada 4.5m.m@15 cm	m2	\$3,28	\$2,89	311,66	\$899,58
4,3	Acero estructural Steel Frame	kg	\$1,29	\$1,14	11437,39	\$13.000,49
4,5	Placa colaborante deck	m2	\$13,82	\$12,16	179	\$2.176,27
5	ESTRUCTURA DE CUBIERTA					
5,1	Acero estructural ASTM A36 galvanizado	kg	\$5,52	\$4,86	1243,81	\$6.045,90
6	REVESTIMIENTO					
6,1	Aislante termoacústico+OSB	m2	\$13,91	\$12,24	424,3	\$5.192,70
TOTAL						\$30.916,43

$$S.F. = \frac{\$30.916,43}{250 m^2} = \$123,67 / m^2$$

En la **Figura 148** se muestran los valores en conjunto, donde se observa como el sistema de acero tiene un valor relativamente superior al resto de los demás sistemas por el gran volumen de acero que requiere, cuyo parámetro es determinante para un estudio económico global en proyectos de viviendas de interés social.

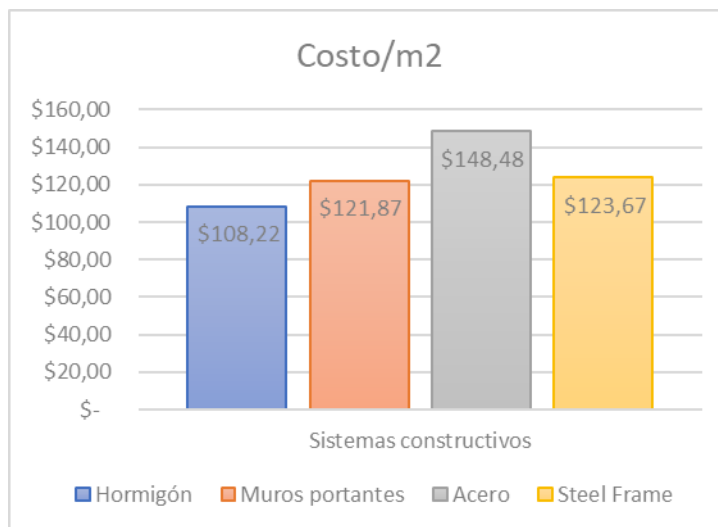
Además, se encuentra cierta similitud en los costos de los sistemas Steel Frame y muros portantes, considerando que en ambos sistemas se utilizó una losa de cimentación, lo que elevaría relativamente el costo, llegando a la par entre ambos. Son valores referenciales debido a que no se considera de igual forma parámetro tiempo. Finalmente, no muy alejado de los

sistemas metálicos, se encuentra el sistema de pórticos de hormigón armado con \$108,22

USD/m²:

Figura 148

Costo por Metro Cuadrado



Duración de obras

El análisis del tiempo que tarda una construcción es muy importante debido al coste que involucra en un proyecto, es por ello que en base a los rendimientos referenciales de las siguientes tablas se estimó la cantidad de días en la construcción de obra gris para cada sistema constructivo. Sin embargo, para un análisis cercano a la realidad, se estableció un determinado número de días para el fraguado del hormigón que se presenta más adelante, a continuación, se detalla los totales para cada sistema en función de los rendimientos referenciales:

Tabla 57

Duración de obra Hormigón Armado

PRESUPUESTO DE OBRA GRIS HORMIGÓN ARMADO					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	RENDIMIENTO	DURACIÓN DÍAS
1 PRELIMINARES					
1,01	Cerramiento provisional de yute H=2.40	m	50,00	0,10	5,0
1,02	Replanteo y nivelación	m2	131,00	0,01	1,0
1,03	Excavación de estructuras menores	m3	24,70	0,06	1,5
1,04	Relleno y compactación de material en sitio	m3	17,78	0,40	7,1
2 ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO					
2,01	Hormigón de replantillo f'c=140 kg/cm2	m3	1,24	0,90	1,1
2,02	Hormigón de plintos (incluye encofrado) f'c=210 kg/cm2	m3	4,95	1,00	5,0
2,03	Hormigón loseta de contrapiso (incluye encofrado) f'c=210 kg/cm2	m3	13,49	0,95	12,8
2,04	Hormigón en columnas (incluye encofrado) f'c=210 kg/cm2	m3	12,32	1,20	14,8
2,05	Hormigón en vigas (incluye encofrado) f'c=210 kg/cm2	m3	11,40	1,00	11,4
2,06	Hormigón simple gradas (incluye encofrado) f'c=210 kg/cm2	m3	2,34	0,90	2,1
2,07	Hormigón simple losas (incluye encofrado) f'c=210 kg/cm2	m3	15,15	1,20	18,2
3 ACERO					
3,01	Acero de refuerzo varilla corrugada fy=4200 kg/cm2	kg	4017,26	0,002	8,0
3,02	Malla electrosoldada 6 mm @ 15 cm	m2	280,33	0,032	9,0
4 ESTRUCTURA METALICA PARA CUBIERTA					
4,01	Acero estructural ASTM A36 galvanizado (incluye cubierta de galvalumen e=0.4mm)	kg	1243,81	0,01	6,2
5 REVESTIMIENTO					
5,01	Alivianamiento de bloque (0.4x0.2x0.15)	u	1240,00	0,003	3,1
5,02	Mampostería de bloque	m2	329,90	0,075	24,7
TOTAL					131,1

En la duración de días para el sistema de hormigón armado, se considera adicionar 15 días para el fraguado de la losa de contrapiso y 15 días para el fraguado de la losa del primer nivel.

Tabla 58

Duración de obra Acero

DURACIÓN EN DÍAS ACERO					
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	RENDIMIENTO	DURACIÓN DÍAS
1	PRELIMINARES				
1,1	Cerramiento provisional yute h=2,00 m	m	50,00	0,1	5,0
1,2	Replanteo y nivelación	m2	131,00	0,008	1,0
2	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
2,1	Excavación de estructuras menores	m3	14,40	0,06	0,9
2,2	Relleno y compactación de material en sitio	m3	3,03	0,4	1,2
3	HORMIGÓN				
3,1	Hormigón de replantillo f'c=140 kg/cm2 e=3cm	m3	0,65	0,32	0,2
3,2	Hormigón de plintos f'c=210 kg/cm2	m3	4,37	0,32	1,4
3,3	Hormigón de pedestales f'c=210 kg/cm2	m3	4,94	0,32	1,6
3,4	Hormigón loseta de contrapiso f'c=210 kg/cm2	m3	13,19	0,32	4,2
3,5	Hormigón de losa deck f'c=210 kg/cm2	m3	12,42	0,32	4,0
4	ACERO				
4,1	Acero de refuerzo	kg	505,67	0,002	1,0
4,2	Malla electrosoldada 4.5mm@15 cm	m2	311,66	0,032	10,0
4,3	Acero estructural	kg	19417,33	0,002	38,8
4,4	Colocación de placa base y anclaje	u	13,00	0,33	4,3
4,5	Placa colaborante deck	m2	179,00	0,032	5,7
5	ESTRUCTURA DE CUBIERTA				
5,1	Acero estructural ASTM A36 galvanizado	kg	1243,81	0,005	6,2
6	REVESTIMIENTO				
6,1	Paredes de mampostería	m2	329,90	0,067	22,1
	TOTAL				107,7

Tabla 59

Duración de obra Muro

DURACIÓN DE DÍAS MURO PORTANTE DE HORMIGÓN ARMADO					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	RENDIMIENTO	DURACIÓN DÍAS
1 PRELIMINARES					
1,01	Cerramiento provisional de yute H=2.40	m	50,00	0,10	5
1,02	Replanteo y nivelación	m2	131,00	0,01	1
1,03	Excavación de estructuras menores	m3	14,40	0,06	1
1,04	Relleno y compactación de material en sitio	m3	3,03	0,40	1
2 ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO					
2,01	Hormigón simple losa de cimentación (incluye encofrado) f'c=210 kg/cm2	m3	26,20	0,33	9
2,02	Hormigón simple gradas (incluye encofrado) f'c=210 kg/cm2	m3	2,34	0,32	1
2,03	Hormigón simple muros (incluye encofrado) f'c=210 kg/cm2	m3	42,43	0,32	14
2,04	Hormigón simple losas (incluye encofrado) f'c=210 kg/cm2	m3	23,09	0,32	7
3 ACERO					
3,01	Acero de refuerzo varilla corrugada fy=4200 kg/cm2	kg	5714,49	0,002	11
3,02	Malla electrosoldada 6 mm @ 15 cm	m2	164,92	0,05	8
4 ESTRUCTURA METALICA PARA CUBIERTA					
4,01	Acero estructural ASTM A36 galvanizado (incluye cubierta de galvalumen e=0.4mm)	kg	1243,81	0,005	6
TOTAL DIAS					64

En la duración de días para el sistema de muros hormigón armado, se considera adicionar 15 días para el fraguado de la losa de cimentación y 15 días para el fraguado de la losa del primer nivel.

Tabla 60

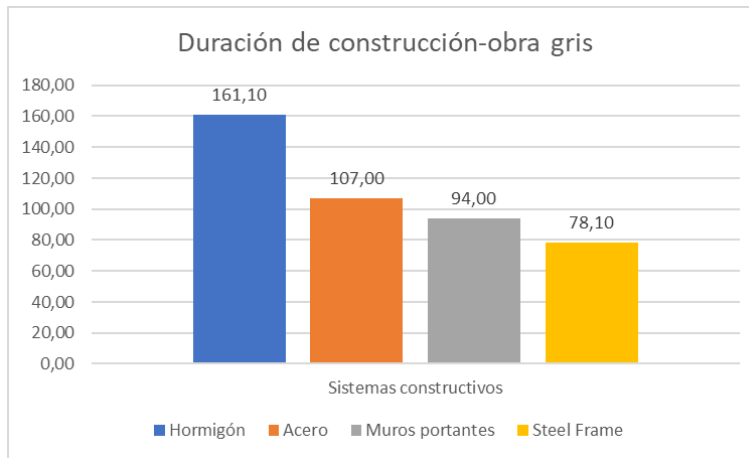
Duración de obra Steel Frame

DURACIÓN EN DÍAS					
STEEL FRAME					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	RENDIMIENTO	DURACIÓN DÍAS
1	PRELIMINARES				
1,1	Cerramiento provisional yute h=2,00 m	m	5	0,1	0,5
1,2	Replanteo y nivelación	m2	132	0,08	10,6
2	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
2,1	Excavación de estructuras menores	m3	2,34	0,06	0,1
3	HORMIGÓN				
3,1	Hormigón de replantillo $f'c=140$ kg/cm2 e=3cm	m3	0,39	0,32	0,1
3,4	Hormigón loseta de contrapiso $f'c=210$ kg/cm2	m3	13,20	0,32	4,2
3,5	Hormigón de losa deck $f'c=210$ kg/cm2	m3	12,42	0,32	4,0
4	ACERO				
4,1	Acero de refuerzo para losa de cimentación	kg	505,67	0,002	1,0
4,2	Malla electrosoldada 4.5mm@15 cm	m2	311,66	0,032	10,0
4,3	Acero estructural Steel Frame	kg	11437,39	0,002	22,9
4,5	Placa colaborante deck	m2	179	0,025	4,5
5	ESTRUCTURA DE CUBIERTA				
5,1	Acero estructural ASTM A36 galvanizado	kg	1243,81	0,005	6,2
6	REVESTIMIENTO				
6,1	Aislante termoacústico+OSB	m2	424,3	0,033	14,0
	TOTAL				78,1

Finalmente, se detalla mediante el siguiente gráfico la duración total en días, tomando como referencia el rendimiento de una sola cuadrilla tipo en cada rubro, donde se observa además que el sistema Steel Frame representa la mayor eficiencia de construcción respecto al tiempo, seguido del sistema de muros. El hormigón armado es el sistema de mayor duración en razón de los tiempos de fraguado que se debe considerar y continuamente el sistema de acero debido al sistema de montaje que se debe realizar.

Figura 149

Duración en días de los Sistemas Constructivos



Capítulo X

Conclusiones

- El Ecuador tiene un déficit de vivienda que no ha podido ser solventado de manera apropiada, debido a que se encuentra directamente relacionada con el crecimiento poblacional, sustentabilidad económica y escaso desarrollo de programas de vivienda con innovación tecnológica.
- El material con mayor uso en el sector de la construcción es el hormigón armado, debido a la amplia cantidad de fuentes de materia prima existentes en el país, la ideología de la sociedad como un material “seguro y durable” y a las limitadas fuentes de acero.
- BIM es un método multidimensional que incluye todas las fases de construcción de la vivienda de manera colaborativa y multidisciplinaria, permitiendo juntar toda la información en un solo modelo basado en datos que genere todo tipo de escenarios, manifestándose en una mayor calidad y rentabilidad.
- La metodología BIM admite una bidireccionalidad con múltiples herramientas tecnológicas pertenecientes a su entorno, logrando que los cambios realizados en el modelo se actualicen de forma conjunta en las tablas de cantidades, planos, cronogramas, presupuestos de obra y demás, logrando una eficiencia técnica y económica en proyectos viviendas a gran escala, como el programa “Casa Para Todos”.
- El uso de herramientas BIM permite determinar cantidades, presupuestos y demás información de manera detallada de cada uno de los sistemas constructivos, siendo la base para el desarrollo de este proyecto y para un análisis técnico-económico efectivo.

- En cada uno de los sistemas constructivos se evidencia la notable diferencia de pesos, siendo el sistema de muros portantes el de mayor valor con 162,3 toneladas y el sistema compuesto de pórticos con 130,07 toneladas, siendo ambos superiores respecto a los sistemas de acero, donde el Steel Frame y el acero estructural representan un peso del 46,6% y 58,8% respectivamente, del sistema de muros portantes
- El comportamiento sísmico de los sistemas aporticados responden a su configuración estructural y materiales utilizados, por lo que se comprueba que las derivas inelásticas halladas en este tipo de sistemas en un sismo en sentido "X" tiene valores alrededor del 0,4% a 1,2%, siendo superiores a sistemas con un comportamiento de ductilidad limitada como los muros de hormigón y Steel Frame. Mientras, los valores de deriva inelástica en sentido "Y" de la mayoría de sistemas constructivos se encuentra alrededor del 0,3% a 0,43% a excepción del sistema de muros portantes donde presenta valores del 0,05%.
- Debido a la rigidez generada por el material en el caso de muros portantes y paneles de fibrocemento en el caso del Steel Frame este tipo de sistemas tienen una considerable capacidad de resistencia lateral, por lo que pueden asimilar las fuerzas del cortante basal cuyos valores se encuentran en 36,35 toneladas y 33,92 toneladas respectivamente.
- El sistema de pórticos de hormigón armado no es muy recomendable debido al tiempo que tarda su construcción por la duración de fraguado en cada una de sus fases, llegando a ser considerablemente superior al resto de sistemas constructivos con una duración de 161 días en obra gris.

- Los sistemas de acero permiten una sustentabilidad ambiental en cuanto al proceso constructivo debido a que se genera menor cantidad de residuos, tiempos de construcción más rápidos y costos promedios, mientras que los sistemas de hormigón armado requieren mayor tiempo de construcción y grandes volúmenes de material que generan un impacto ambiental superior.

Recomendaciones

- Se debe fomentar la inclusión de nuevos sistemas constructivos que brinden las condiciones de habitabilidad, sustentabilidad y seguridad mediante innovaciones constructivas y tecnológicas.
- Realizar proyectos de investigación que involucren a otras tipologías de vivienda aprobadas en el programa “Casa Para Todos” y que se extienda hacia obras de carácter público, comparando la efectividad de la implementación BIM y los distintos sistemas constructivos.
- Solicitar reformas que involucren la implementación de la metodología BIM en el sector de la construcción con la finalidad de estandarizar su aplicación e incorporación tecnológica en las mallas curriculares de carreras universitarias afines.
- Generar programas de aprendizaje de nuevas herramientas tecnológicas que facilitan la visualización y extracción de información en las distintas etapas de una construcción.
- Es necesaria la implementación de metodología BIM debido a que engloba varias herramientas tecnológicas en conjunto, si bien, el manejo y capacitación de éstas en un proyecto es necesario, su inversión inicial demanda tiempo y dinero. Son

valores ínfimos en relación al hecho de realizar cambios en etapas avanzadas, recayendo en costes más altos del proyecto.

- Establecer la metodología BIM dentro de los “Lineamientos Mínimos Para Revisión Y Validación De Tipologías De Vivienda” del programa “Casa Para Todos” como uno de los requisitos en procesos de licitación y presentación de ofertas.
- Realizar estudios comparativos de otros sistemas constructivos que involucren materiales propios del entorno de acuerdo a las regiones del país y que puedan ser considerados dentro de los proyectos de vivienda de interés social.
- Se debe prevalecer el desarrollo de sistemas que optimicen el uso de los recursos naturales en el sector de la construcción como el acero, con el fin de lograr un menor impacto ambiental gracias a su potencial de reciclaje, logrando una eficiencia constructiva sustentable.

Reconocimiento

“Por medio del presente extendemos un reconocimiento especial al Arq. Alejandro Román Noble, Mgs., por ser nuestra guía y apoyo desde el surgimiento de la idea de este proyecto de investigación. Motivo por el cual lo consideramos como tutor, y que, mediante Resolución No. 2020-039 del CONSEJO DE CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL con fecha 27 de agosto de 2020 fue aprobado y designado para el cargo.

Le estamos eternamente agradecidos, debido a que, desde el inicio demostró su compromiso y entrega con la idea del proyecto de investigación, al brindarnos las pautas y herramientas necesarias para el desarrollo del mismo.

Sin embargo, por razones ajenas a su voluntad no fue posible continuar como nuestro director. A pesar de ello, sus ideas, conocimiento y opiniones fueron de gran ayuda en el aprendizaje de la Metodología BIM y el gran potencial que otorga el manejo de las herramientas donde puede aplicarse este sistema”.

Sr. Astudillo Veintimilla, Jonathan Javier

Sr. Rocha Quinatoa, Milton David

Referencias

- 2ACAD. (2020). *Programas de Autodesk para ingeniería y plantas de proceso | 2aCAD*.
<https://store.2acad.es/software-productos/autodesk/ingenieria-plantas-de-procesos/>
- Acebo, C. (2016). "Análisis De Muros Portantes De Hormigón Armado Según La Norma Ecuatoriana De Construcción (NEC), Como Un Sistema De Estructura Alternativo De Implementación En Proyectos De Viviendas Masivas". Universidad de Guayaquil.
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/14948>
- "ACI Committee & International Organization for Standardization". (2008). Building Code Requirements for Structural Concrete. In *American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich* (Vol. 2008).
- AISC. (1986). *Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings: September 1, 1986*.
- Alcívar, G. (2019). Importancia del cambio de suelo en construcciones civiles. "Zona Cero" (Portoviejo). *Researchgate*.
https://www.researchgate.net/publication/337741052_Importancia_del_cambio_de_suelo_en_construcciones_civiles_Zona_Cero_Portoviejo/references
- Allen, D. (2011). *Steel Frame y entramados de perfiles conformados en frío | Arquitectura en acero*. <http://www.arquitecturaenacero.org/historia/teoria/steel-frame-y-entramados-de-perfiles-conformados-en-frio>
- Arequipa, D. (2020). *ANÁLISIS DE INTERFERENCIAS EN EL PROYECTO INMOBILIARIO "CONJUNTO HABITACIONAL REINA JULIA", MEDIANTE LA METODOLOGÍA BIM. (Tesis de pregrado)*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Autodesk. (2017). *Infografía BIM, Autodesk*.
<https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/campaigns/whats-new->

infraworks-2017/mco/Autodesk-bimmyths.pdf

Autodesk. (2020). *Project Data*. <https://retokommerling.com/wp-content/uploads/2018/12/FOTO-1-Fuente-Autodesk.jpg>

Barbieri. (2018). *Ventajas del steel framing sobre la construcción húmeda*.

Barbieri. (2020). *MANUAL DE APOYO STEEL FRAME®*.

<https://www.adbarbieri.com/hubfs/WEB2018/campañas-inbound/pdf/manual-SteelFrame-1.pdf?hsCtaTracking=d8d78e7f-62cd-4348-92cf-3a2fd97f9b61%7C635e548b-8033-41ed-97b2-7a9f4ad78af3>

Bedolla, S., Dueñas, C., Esquivel, I., Favela, T., Guerrero, A., Mendoza, E., Navarrete, A., Laura, O., Ortiz, J., Pacheco, O., Maricela, Q., Ramirez, A., & Trujillo, M. (2004). *Introducción a la Tecnología de BIM*. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00216.2004>

Benavides, M. (2019). *Marco Andres Benavides Villacís Marco Andres Benavides Villacís. Mdi*, 19.

Bimetriclab. (2016). *Episodio 7: La comprensión de los campos BIM - Espacio LEAN BIM*.

<http://www.espacioleanbim.com/episodio-7-la-comprension-de-los-campos-bim/>

Blanco, A. (2012). *Un espacio para el desarrollo: Los mercados de vivienda en América Latina y el Caribe*. <https://publications.iadb.org/es/publicacion/un-espacio-para-el-desarrollo-los-mercados-de-vivienda-en-america-latina-y-el-caribe>

Bloomberg, M. R., David Burney, M. J., & David Resnick, C. (2012). *NEW YORK CITY DEPARTMENT OF DESIGN + CONSTRUCTION BIM Guidelines*.

Bonifaz, H., & Haro, J. (2017). "Tipos de perfil de suelo para diseño sísmico en Manta, Portoviejo, Chone y Bahía de Caráquez ciudades afectadas por el sismo del 16 Abril del 2016."

Proceedings of the "Third Annual State-of-the-Art in Civil Engineering Structures and Materials."

https://www.researchgate.net/profile/Hugo_Bonifaz_Garcia/publication/328367680_Doce

n-te-Investigador/links/5bc8c1aca6fdcc03c790933d/Docente-Investigador.pdf

buildingSMART. (2014). uBIM 08 - Uso de modelos para la visualización. *Guía de Usuarios BIM*, 32.

CADBIM3D. (2015). *Revit Structure como herramienta de diseño - cadBIM3D*.

<https://www.cadbim3d.com/2015/08/revit-structure-como-herramienta-de-diseno.html>

Calloway, mark. (2018). *Revit Architecture: Basics – Levels - Mark Calloway*.

<http://www.markcalloway.com/2018/06/revit-architecture-basics-levels/>

Canchig, M. (2016). *Análisis comparativo del diseño estructural de un proyecto de vivienda en hormigón armado aplicando las Normas del Código Ecuatoriano de Construcción (CEC 2002) y la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC 2015). (Tesis de pregrado)*. Universidad Internacional del Ecuador.

Casa Para Todos. (2016). *Programa Casa Para Todos | Empresa Pública Casa para Todos EP*.

<http://www.casaparatodos.gob.ec/programa-casa-para-todos/>

Casa Para Todos. (2018). " *PROYECTO DE VIVIENDA*".

Cervera Bravo, J. (1990). *LAS ESTRUCTURAS Y EL PESO PROPIO (THE STRUCTURES AND THE DEADLOAD)*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3989/ic.1990.v42.i407.1450>

Consulsteel. (2021). " *Construcción con Acero Liviano: 5.3 Vanos en Entrepisos y Escaleras | Consul Steel*". <https://consulsteel.com/entrepisos-vano/>

CYPE Ingenieros S.A. (2021). *Programa de mediciones y presupuestos:Arquímedes*.

<http://edu.cype.es/arquimedes/>

Dannemann, R. (2008). *Manual de Ingeniería de Steel Framing*.

Dodge Data & Analytics. (2015). *Benefits for Construction Industry*.

<https://www.prnewswire.com/news-releases/study-finds-bim-offers-substantial-benefits-for-construction-industry-300190510.html>

- Domínguez, M. (2014). Períodos de vibración de las edificaciones. *Revista de Arquitectura e Ingeniería. Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas, Cuba*, 8, nú, 1–13. <https://www.redalyc.org/pdf/1939/193932724001.pdf>
- EDITECA. (2018). *El BIM en Latinoamérica [Actualizado] | Editeca*. https://editeca.com/bim-en-latinoamerica/#BIM_en_Ecuador
- Enegbuma, W. I., Aliagha, U. G., & Ali, K. N. (2014). Preliminary building information modelling adoption model in Malaysia A strategic information technology perspective. *Construction Innovation*, 14(4), 408–432. <https://doi.org/10.1108/CI-01-2014-0012>
- Espinoza, V. P. R., & Torres, D. A. S. (2015). *La enseñanza de una metodología integral de colaboración para la gestión de proyectos en construcción civil: la metodología BIM en la educación superior*. *August*, 818–822. <https://doi.org/10.5151/despro-sigradi2015-sp110179>
- Fernández, L., Ríos, R., & Marreros, J. (2016). Más allá de la tecnología: BIM como una nueva filosofía. *Civilizate*, 8, 46–49.
<http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/civilizate/article/view/18629/18867>
- Franco, J. (2018). *¿Qué es BIM y por qué parece ser fundamental en el diseño arquitectónico actual? | Plataforma Arquitectura*.
- Gámez, F. C., Vicente, H. S., & Severino, M. S. (2015). Spanish journal of BIM. *Spanish Journal of BIM*, 18/01, 14–24. https://issuu.com/buildingsmart_spain/docs/sjbim_1801
- Gervásio, H. (2010). *La sustentabilidad del Acero y las Estructuras Metálicas*. http://www.cbca-ibs.com.br/nsite/site/downloads/Construmetal_Helena_Gervasio.ppt
- Gilbert, A. (2001). *La vivienda en América Latina | Publications*.
<https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/La-vivienda-en-América-Latina.pdf>

- González, R. (2013). *INTRODUCCION A LA METODOLOGÍA BIM*. Researchgate.
https://www.researchgate.net/publication/284159764_INTRODUCCION_A_LA_METODOLOGIA_BIM
- GOV.UK. (2017). *Creando una Gran Bretaña construida digital: lo que necesita saber - GOV.UK*.
<https://www.gov.uk/guidance/creating-a-digital-built-britain-what-you-need-to-know>
- Hernández, O., & Escobedo, C. (2006). Durabilidad e infraestructura: retos e impacto socioeconómico. In *INGENIERÍA Investigación y Tecnología VII* (Vol. 1).
<https://www.redalyc.org/pdf/404/40470105.pdf>
- Imasgal. (2020). *Nivel de desarrollo (LOD) en BIM*. <https://imasgal.com/nivel-desarrollo-bim-lod/>
- INEC. (2019). Encuesta de Edificaciones 2018. *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos*, 23.
- INEC. (2020). *Población y Demografía* | <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- Kid, T. R. (2020). *LOD En detalle (Práctico BIM) | TheRevitKid.com! - Tutoriales, consejos, productos e información sobre todo lo relacionado con Revit / BIM*.
<http://therevitkid.blogspot.com/2013/02/lod-in-detail-practical-bim.html>
- Latiffi, A. A., Brahim, J., Mohd, S., & Fathi, M. S. (2015). Building Information Modeling (BIM): Exploring Level of Development (LOD) in Construction Projects. *Applied Mechanics and Materials*, 773–774, 933–937. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.773-774.933>
- López, A. (2016). *IMPACTO DEL BIM EN LA GESTIÓN DEL PROYECTO Y LA OBRA DE ARQUITECTURA*. [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/98562/LÓPEZ - EGA-F0037 Impacto del BIM en la gestión del proyecto y la obra de arquitectura: Un proyec.....pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/98562/LÓPEZ_-_EGA-F0037_Impacto_del_BIM_en_la_gestión_del_proyecto_y_la_obra_de_arquitectura:_Un_proyec.....pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Lu, Q. (2015). A review of the efforts and roles of the public sector for BIM adoption worldwide.

- Journal of Information Technology in Construction*, 20(July), 442–478.
- McCormac, J. C. (2002). *Diseño de estructuras de acero metodo LRFD* (p. 524).
- MIDUVI. (2014). *NEC-SE-DS-Peligro-Sísmico-parte-2*. "<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-Sísmico-parte-2.pdf>"
- MIDUVI. (2015a). Cargas (No Sísmicas). In *Nec*. "<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/NEC-SE-CG.pdf>"
- MIDUVI. (2015b). NEC-SE-AC: Estructuras de Acero. In *Norma Ecuatoriana de la Construcción*.
- MIDUVI. (2019). *Biblioteca – Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda*. Plan Estratégico Institucional 2019-2021. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/biblioteca/>
- Monjo, C. (2005). "La evolución de los sistemas constructivos en la edificación. Procedimientos para su industrialización. *Informes de La Construcción*", 57(499–500), 37–54.
<https://doi.org/10.3989/ic.2005.v57.i499-500.481>
- Morales, S. M. (2018). Adopción de la metodología BIM en las escuelas de arquitectura en Quito. *Eidos*, 11, 1–13.
- Morocho, N. (2020). *ANÁLISIS COMPARATIVO ESTRUCTURAL Y CONSTRUCTIVO DE UNA EDIFICACIÓN DE CUATRO PISOS ENTRE EL SISTEMA STEEL FRAMING, EL HORMIGÓN ARMADO Y LA ESTRUCTURA METÁLICA*. (Tesis de pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- NBS. (2017). *Informe Nacional BIM 2017 de NBS | Oficina Nacional de Normas*.
<https://www.thenbs.com/knowledge/nbs-national-bim-report-2017>
- NBS. (2020). *10th Annual BIM Report*. 1–39.
- Nieto, M. (2016). *MANEJO DEL SOFTWARE REVIT Y SU INCIDENCIA EN EL MODELADO DE INFORMACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES EN LA CIUDAD DE AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato.

Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Civil.

Pacheco, R. (2017). Comparación del sistema tradicional vs la implementación del BIM (Building Information Management) en la etapa de diseño y seguimiento en ejecución. Análisis de un caso de estudio. (Tesis de licenciatura). In *Repositorio institucional*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. <https://doi.org/http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/7616>

Parra, G. P. G. (2018). *PLANIFICACIÓN Y CONTROL CONSTRUCTIVO DE UNA EDIFICACIÓN APLICANDO METODOLOGÍA BIM*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Civil.

Perea, Y. (2012). *SISTEMAS CONSTRUCTIVOS Y ESTRUCTURALES APLICADOS AL DESARROLLO HABITACIONAL YUBELY ALEIDA PEREA RENTERÍA SISTEMAS CONSTRUCTIVOS Y ESTRUCTURALES APLICADOS AL DESARROLLO HABITACIONAL*. Universidad de Medellín. <http://repository.udem.edu.co/handle/11407/359>

Pérez, L. (2010). "VIDA ÚTIL RESIDUAL DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO AFECTADAS POR CORROSIÓN." <https://doi.org/oai:oa.upm.es:5753>

Pillajo, J., & Sarmiento, E. (2009). *DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE ACERO PARA UN EDIFICIO DE DEPARTAMENTOS PARA SER UTILIZADO EN LA REGIÓN LITORAL DEL ECUADOR*. (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1357/1/CD-2153.pdf>

Prontuarios.info. (2020). *IPE (Sección Bruta) | PRONTUARIOS DE INGENIERÍA CIVIL*. <http://prontuarios.info/perfiles/IPE>

Ramos, M. (2002). *ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LOSAS DE ENTREPISO*. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1423/ICI_087.pdf?sequence=1&isAllowed=y

RF AECO. (2018). *¿Qué es Revit de Autodesk y para qué sirve? - RENDERSFACTORY®*.

<https://www.rendersfactory.es/que-es-revit-de-autodesk-y-para-que-sirve/>

RIB Spain. (2019a). *Cost-It: BIM 5D con Presto ¿Qué hace exactamente Cost-It?* www.rib-software.es

RIB Spain. (2019b). *Presto en las tres etapas del proyecto: presupuesto, planificación y ejecución.*
<http://www.rib-software.es/pdf/PrestoEnLaEtapaDeProyecto/Presto-en-las-tres-etapas-del-proyecto.pdf>

RIB Spain. (2021). *Presto.* <http://www.rib-software.es/presto.html>

Romo, M. (2008a). Predimensionamiento de elementos de losas, vigas y columnas. In *Temas de Hormigón Armado* (p. 38).

https://es2.slideshare.net/richardsalinas7543/predimensionamiento-50444506?from_action=save

Romo, M. (2008b). *TEMAS DE HORMIGÓN ARMADO* (pp. 1–467).

"https://www.academia.edu/30210316/TEMAS_DE_HORMIGÓN_ARMADO_CAPÍTULO_I_FUNDAMENTOS_DEL_HORMIGÓN_SIMPLE"

Rosado, J. E. (2013). *Mejoramiento de la constructabilidad mediante herramientas BIM | Request PDF.*

https://www.researchgate.net/publication/284511825_Mejoramiento_de_la_constructabilidad_mediante_herramientas_BIM

Salinas, J., & Ulloa, K. (2014). Implementación de BIM en Proyectos Inmobiliarios.

Implementación de BIM En Proyectos Inmobiliarios, 2(1), 229–255.

<https://doi.org/10.19083/sinergia.2014.212>

Szalachman, R. (2000). *Perfil de déficit y políticas de vivienda de interés social : situación de algunos países de la región en los noventa.* Naciones Unidas, Unidad de Financiamiento para el Desarrollo, División de Comercio Internacional y Financiamiento para el Desarrollo.

- Tamayo, C. (2014). *“EVALUACIÓN TÉCNICO – FINANCIERA ENTRE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS PARA EDIFICIOS CON ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO, DE ACERO Y MIXTA EN QUITO”*. (Tesis de pregrado). Uni.
- Trejo, N. (2018). *ESTUDIO DE IMPACTO DEL USO DE LA METODOLOGÍA BIM EN LA PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE PROYECTOS DE INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN* (Tesis de pregrado). <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/168599/Estudio-de-impacto-del-uso-de-la-metodología-BIM-en-la-planificación-y-control-de-proyectos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- UK BIM Framework. (2017). UK BIM Framework – BIM Standards, Guides & Resources. <https://ukbimframework.org/>. <https://ukbimframework.org/standards-guidance/>
- UN. (2020). *Población | Naciones Unidas*. <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/population/index.html>
- UNITED BIM. (2018). *BIM Maturity Levels Explained- Level 0 | 1 | 2 | 3*. <https://www.united-bim.com/bim-maturity-levels-explained-level-0-1-2-3/>
- Valero, J. (2017). *CICLO-DE-VIDA-DEL-PROYECTO-CON-BIM - Grupo Valero*. <https://www.grupovalero.com/valero-primer-fabricante-eps-nivel-nacional-generar-productos-bim/ciclo-de-vida-del-proyecto-con-bim/>
- Velandia, D. A. (2014). *Proyecto 100/100: experiencia de modelado paramétrico como una opción adaptable de BIM para países en desarrollo*. 1(Figura 1), 365–369. <https://doi.org/10.5151/despro-sigradi2014-0073>
- Wood, J., Panuwatwanich, K., & Doh, J. H. (2014). Using LOD in structural cost estimation during Building design stage: Pilot study. *Procedia Engineering*, 85(June), 543–552. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.582>
- Zambrano, L. (2017). *Análisis comparativo de construcción de la vivienda TRIANA 3 con el*

sistema de muros portantes vs tradicional. (Tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil.

Anexos

Anexo A Modelos en un software de la familia BIM

Anexo B Excel de resultados de los cuatro sistemas estructurales.

Anexo C Modelos en un software de diseño estructural

Anexo D Modelos de planificación en un software de la familia BIM

Anexo E Planos estructurales

Anexo F Presupuestos

Anexo G Cronogramas

Anexo H Videos