

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
VICERRECTORADO
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN ARQUITECTURA



METODOLOGÍA DE LA APLICACIÓN BIM ENFOCADO A LA
ARQUITECTURA

RESOLUCIÓN HCC Nº 204/2021

EQUIPO DE INVESTIGADORES:

M. Sc. Arq. Pamela Lourdes Ticona Vera

Univ. Cristhian Alex Vasquez Alanoca

Univ. Carmen Mujica Laura

Univ. Vanesa Perez Siñani

Univ. Blanca M. Aruquipa Mamani

EL ALTO – BOLIVIA

2022

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO

AUTORIDADES

Dr. Carlos Condori Titirico

RECTOR

Dr. Efraín Chambi Vargas Ph. D.

VICERRECTOR

Dr. Antonio López Andrade Ph. D.

DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Arq. Fabio Apaza López

DIRECTOR DE CARRERA DE ARQUITECTURA

M. Sc. Lic. Rolando Aruquipa Quinteros

COORDINADOR INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN ARQUITECTURA

REGISTRO SENAPI: Resolución Administrativa Nro. 1-2915/2022

DERECHOS RESERVADOS: UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO

Dirección UPEA: Av. Sucre s/n Zona Villa Esperanza

Diciembre 2022

El Alto – Bolivia

PRESENTACIÓN

Los Institutos de Investigación de la Universidad Pública de El Alto se constituyen, en centros del más alto nivel científico de promoción y realización de la ciencia y tecnología. En ese sentido, el Instituto de Investigación de la carrera de Arquitectura, IICA, da a conocer la presente investigación denominada: **METODOLOGÍA DE LA APLICACIÓN BIM ENFOCADO A LA ARQUITECTURA** desarrollada por la docente investigadora, Arq. Pamela Lourdes Ticona Vera y los auxiliares de investigación: Univ. Cristhian Alex Vásquez Alanoca, Univ. Carmen Mújica Laura, Univ. Vanesa Pérez Siñani, Univ. Blanca M. Aruquipa Mamani en el marco de las líneas de investigación que posee la carrera de Arquitectura.

Por consiguiente, me es grato presentar este producto académico en sus manos, producto del esfuerzo, constancia y rigor científico del docente investigador y auxiliares de investigación e invito al mismo tiempo a participar de la lectura de dicho documento para construir juntos un conocimiento científico en el campo de la arquitectura.

M.Sc. Rolando Aruquipa Quinteros
COORDINADOR
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN ARQUITECTURA

AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

Agradecer de forma especial a la Universidad Pública de El Alto, UPEA, al Rector Dr. Carlos Condori Titirico, al Vicerrector Dr. Efraín Chambi Vargas, autoridades por su eficiente gestión que permite el desarrollo de este tipo de actividades académicas. Así mismo a la dirección de investigación, la cual mediante su trabajo eficiente logro viabilizar, monitorear y supervisar de manera eficiente las investigaciones.

Agradecimiento al Arq. Fabio Apaza López Director de la Carrera de Arquitectura por el apoyo constante en el desarrollo del trabajo de investigación y al Instituto Investigación de la Carrera de arquitectura, IICA, a cargo del Coordinador M. Sc. Lic. Rolando Aruquipa Quinteros por el apoyo para el desarrollo de los proyectos de investigación.

Personal Docente y Administrativo, a todas las autoridades, profesionales, compañeros y amigos que he tenido a lo largo de esta experiencia profesional que apoyaron el desarrollo del proyecto de investigación denominado: **METODOLOGÍA DE LA APLICACIÓN BIM ENFOCADO A LA ARQUITECTURA.**

M.Sc. Arq. Pamela Lourdes Ticona Vera
INVESTIGADORA PRINCIPAL
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN ARQUITECTURA

ÍNDICE

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1. EL PROBLEMA	5
1.1. Pregunta que define el problema	5
1.2. Preguntas específicas.....	5
2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
2.1. Objetivo general	6
2.2. Objetivos específicos	6
3. LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
4. LA JUSTIFICACIÓN	7
4.1. Novedad	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	10
1. MENCIÓN DE OTROS ESTUDIOS RELATIVOS AL TEMA	10
2. MENCIÓN DE LOS PUNTOS DE VISTA DE OTROS INVESTIGADORES	
14	
3. CORRIENTE O ENFOQUE ELEGIDO POR EL INVESTIGADOR.....	20
3.1. Modelo BIM	20
3.1.1. Concepto (Diseño Conceptual).....	22
3.1.2. Planos.....	23
3.1.3. Representación (Modelado Tridimensional).	24
3.1.4. Tiempo (Gestión de la programación).....	27
3.1.5. Coste (Gestión de la información económica).....	28
3.1.6. Sustentabilidad (Evaluación de la sostenibilidad, social, económica y ambiental)	30
3.1.7. Facility management (Gestión)	31
3.1.8. Construcción sin pérdidas.....	32

3.2. Modelaje de la estructura.	36
3.2.1. Proceso de Modelaje de un Sistema Estructural.	36
3.2.2. Modelo Estructural Conceptual.	37
3.2.3. Modelaje Computacional de la Estructura.....	38
3.2.3.1. Elementos Estructurales más Comunes.....	39
3.2.3.1.1. Cable	39
3.2.3.1.2. Arco	40
3.2.3.1.3. Columna	40
3.2.3.1.4. Viga	41
3.2.3.1.5. Marcos	42
3.2.3.1.6. Armaduras.....	42
3.2.3.1.7. Losa o placa horizontal	43
3.2.3.1.8. Muros.	44
3.2.3.2. Materiales.....	46
3.2.3.2.1. Concreto simple.	47
3.2.3.2.2. Acero.....	47
3.2.3.2.3. Concreto reforzado.	47
3.2.3.2.4. Mampostería.	48
3.2.3.2.5. Madera.....	48
3.2.4. Condiciones de Apoyo.....	48
3.2.5. Mallado de Elementos Finitos (MEF).....	50
3.2.5.1. Generación simple de mallado (Coons).....	53
3.2.5.2. Generación compleja de mallado (Delaunay).....	53
3.2.5.3. Selección automática del método de mallado.....	54
3.3. Cargas.....	55

3.3.1. Cargas Estáticas.	56
3.3.2. Cargas Dinámicas.	56
3.3.3. Aplicación de Cargas en Programas de Cómputo.	57
3.3.3.1. Nodales.	58
3.3.3.2. En Barras.	58
3.3.3.2.1. Carga uniformemente distribuida.	59
3.3.3.2.2. Carga trapezoidal.	59
3.3.3.2.3. Momento uniforme.	60
3.3.3.2.4. Fuerza en la barra.	60
3.3.3.2.5. Desplazamientos prescritos.	61
3.3.3.2.6. Carga térmica.	62
3.3.3.2.7. Carga plana sobre las barras.	62
3.3.3.3. Sobre Superficies.	63
3.3.3.3.1. Carga plana uniforme.	63
3.3.3.3.2. Carga lineal.	64
3.3.3.3.3. Carga variable definida por tres puntos.	65
3.3.3.3.4. Carga uniforme sobre contorno.	66
3.3.3.3.5. Carga variable sobre contorno.	67
3.3.3.3.6. Carga térmica.	67
3.3.3.3.7. Cargas sobre ejes aplicadas a paneles.	68
3.3.3.3.8. Gravitacionales de Peso Propio.	69
3.3.3.4. Inerciales de Masa.	69
3.3.3.4.1. Fuerzas de inercia debidas a diversas aceleraciones.	69
3.3.3.4.2. Fuerza centrífuga y de aceleración angular.	69
3.3.3.4.3. Masa en nodos.	70

3.3.3.4.4.	Masa en barras.....	70
3.3.3.4.5.	Conversión de cargas a masas.	71
3.3.3.5.	Cargas Especiales.....	71
3.3.3.5.1.	Carga hidrostática.....	72
3.3.3.5.2.	Carga por empuje de tierras.....	72
3.3.3.5.3.	Carga de presfuerzo en vigas.....	73
3.3.3.5.4.	Carga de viento y nieve 2D/3D.....	74
3.3.3.5.5.	Cargas móviles.....	75
3.3.3.6.	Combinaciones de Cargas.....	76
3.4.	Análisis estructural.....	78
3.4.1.	Tipos de Análisis.	79
3.4.1.1.	Análisis Estático.....	79
3.4.1.1.1.	Lineal.....	80
3.4.1.1.2.	No lineal.....	80
3.4.1.2.	Análisis Dinámicos.	83
3.4.1.2.1.	Análisis Modal.....	84
3.4.1.2.2.	Análisis Armónico.....	85
3.4.1.3.	Análisis Espectral.	86
3.4.1.4.	Análisis Sísmico.....	86
3.4.2.	Análisis Paso a Paso.....	87
3.4.2.1.	Análisis Pushover.....	89
3.4.2.2.	Análisis Elasto-plástico de las Barras.....	89
3.5.	Diseño estructural.....	90
3.5.1.	Módulos de Diseño.	91
3.5.2.	Modulo Acero/Aluminio.....	92

3.5.3. Modulo Madera.....	96
3.5.4. Módulo de Concreto Reforzado.....	97
3.5.5. Paneles y losas.....	97
3.5.6. Elementos esqueléticos de concreto reforzado.	98
3.6. Instalaciones y acabados.....	100
4. IDENTIFICACIÓN DE FUENTES.....	101
4.1. Fichas bibliográficas textuales	101
4.2. Fuentes Primarias	102
4.3. Fuentes Secundarias.....	102
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	103
1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	103
2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	104
2.1 Métodos teóricos.....	104
3. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN	105
4. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	105
4.1 Dimensionamiento muestral.....	105
4.1.1 Determinación del grado de z y E	106
4.1.2 Determinación de la probabilidad q	107
4.1.3 Determinación de la probabilidad.....	107
4.1.4 Calculo de n	107
5. AMBIENTE DE LA INVESTIGACIÓN.....	108
6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	111
6.1. Encuestas	111
6.2. Codificación, Digitación y Análisis de las encuestas	111
6.3. Estudio de caso.....	111

7.	PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	112
7.1.	Método Interpretativo.....	112
7.2.	Método analítico	112
7.3.	Método comparativo	113
CAPÍTULO IV: RESULTADOS		114
1.	Tareas de investigación	114
2.	Aplicación del Cuestionario	115
2.1.	Aplicación de Cuestionario CADECO.....	116
2.2.	Aplicación de Cuestionario UPEA.....	120
2.3.	Comparación del cuestionario a la CADECO y a la UPEA	124
3.	Programación de tareas.....	128
4.	Generalidades del proyecto.....	130
4.1.	Proceso de estructuración del proyecto	131
4.2.	Descripción de la estructura	132
4.2.1.	Gerente y promotor.	132
4.2.2.	Cliente e inversionistas.....	133
4.2.3.	Arquitecto diseñador.	133
4.2.4.	Ingeniero calculista.	133
4.2.5.	Diseñador hidráulico.	133
4.2.6.	Diseñador eléctrico.	133
4.2.7.	Publicidad.	134
4.2.8.	Renders. 331.....	134
4.2.9.	Coordinación técnica.	134
4.2.10.	Constructor.	134
4.3.	Proceso de diseño arquitectónico del proyecto	135

4.4.	Volumetría básica – idea básica.....	136
4.5.	Síntesis proyectual – anteproyecto	140
4.6.	Programa arquitectónico - proyecto	144
4.6.1.	Tipología de 1 dormitorio.....	145
4.6.2.	Tipología de 2 dormitorios.....	146
4.6.3.	Tipología de 2 dormitorios + estudio	147
4.6.4.	Tipología de 3 dormitorios.....	148
4.7.	Renders – imágenes fotorrealistas.....	148
4.8.	Modelación de disciplinas técnicas	152
4.8.1.	Capacitación en modelado BIM	152
4.8.2.	Actividades previas	152
4.8.3.	Modelar BIM o re-modelar	153
4.8.3.1.	Estructura	154
4.8.3.2.	Red hidrosanitaria.....	164
4.8.3.3.	Red eléctrica.....	170
4.8.3.4.	Red de gas.....	178
4.8.4.	Síntesis de las redes modeladas.....	184
4.9.	Coordinación técnica	187
4.10.	Programación de obra	187
4.11.	Modelado 4D	188
4.11.1.	Metodología	188
4.12.	Presupuesto, extracción de cantidades.....	196
4.13.	Nuevo flujo de trabajo.....	206
4.14.	Listado de chequeo de arquitectura	208
4.15.	Formato de control de los modelos BIM	211

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	213
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES.....	215
BIBLIOGRAFÍA	216
ANEXOS	221
Anexo A: Registro SENAPI	222
Anexo B: Encuesta	225
Anexo C: Tabulación de la encuesta CADECO.....	227
Anexo D: Tabulación de la encuesta UPEA.....	229
Anexo E: Listado de empresas Constructoras en La Paz.....	231
Anexo F: Trabajo de campo.....	238

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tareas de Investigación	114
Tabla 2 Tipologías de departamentos	140
Tabla 3 Cantidad de closets y vestieres.....	197
Tabla 4 Cantidad de cielos y pintura	198
Tabla 5 Cantidad de concreto de columnas.....	198
Tabla 6 Cantidad de pasamanos.....	198
Tabla 7 Cantidad de concreto de losa.....	199
Tabla 8 Cantidad de materiales de muros.....	199
Tabla 9 Cantidad de materiales de pisos.....	200
Tabla 10 Cantidad de concreto de vigas	200
Tabla 11 Cantidad de muebles de plomería.....	200

Tabla 12 Cantidad de puertas.	201
Tabla 13 Cantidad de ventanas.....	201
Tabla 14 Cantidad de tubería eléctrica.....	202
Tabla 15 Cantidad de accesorios de plomería y gas.....	203
Tabla 16 Cantidad de tubería de plomería y gas.....	204
Tabla 17 Cantidad de accesorios eléctricos.	204
Tabla 18 Cartilla con cantidad total de acero, resumen.	205
Tabla 19 Cartilla con cantidad de acero de una referencia de varilla, ejemplo.	205
Tabla 20 Empresas CADECO La Paz.....	231

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Las dimensiones del BIM.....	22
Ilustración 2 Documentación tipo	26
Ilustración 3 Prefabricado.....	26
Ilustración 4 Operación y Mantenimiento	32
Ilustración 5 Ampliación.	33
Ilustración 6 Formas adoptadas por los cables debido a las cargas	39
Ilustración 7 Arco en compresión	40
Ilustración 8 Columna con carga axial y efectos de esbeltez	41
Ilustración 9 Viga con carga uniformemente distribuida.	41
Ilustración 10 Marco tridimensional.	42

Ilustración 11 Armadura estructural.....	43
Ilustración 12 Losa estructural.....	43
Ilustración 13 Muro bajo diversas acciones que definen su comportamiento	44
Ilustración 14 Estructuras tipo cascarón.....	45
Ilustración 15 Apoyo simple, apoyo con restricción en dos direcciones, y apoyo empotrado, restringe giros y desplazamientos	49
Ilustración 16 Resortes de rigidez lineal y rigidez angular.....	50
Ilustración 17 . Elementos finitos.....	51
Ilustración 18 Aplicación del mallado de elementos finitos a un modelo estructural de un edificio.....	52
Ilustración 19 método Coons.....	53
Ilustración 20 método Delanauy	54
Ilustración 21 Carga y momento en un nodo de una columna	58
Ilustración 22 Carga uniformemente distribuida	59
Ilustración 23 Carga trapecial sobre viga	59
Ilustración 24 Ejemplificación de momento uniforme	60
Ilustración 25 Fuerza en barra de una grúa bandera	61
Ilustración 26 Dilatación o contracción impuesta.....	61
Ilustración 27 . Dilatación térmica.....	62
Ilustración 28 Carga plana sobre sistema de vigas	63
Ilustración 29 Carga plana sobre superficie.	64
Ilustración 30 Carga variable lineal	65
Ilustración 31 Carga variable sobre el plano.	65

Ilustración 32 Carga uniforme sobre contorno.....	66
Ilustración 33 Carga variable sobre contorno.....	67
Ilustración 34 Carga térmica en el plano.....	68
Ilustración 35 Cargas aplicadas sobre ejes.....	68
Ilustración 36 Masa en nodos.....	70
Ilustración 37 Masa en barras	71
Ilustración 38 Carga hidrostática.....	72
Ilustración 39 Empuje de tierras con sobrecarga	73
Ilustración 40 Viga pretensada	74
Ilustración 41 Carga de viento en 2D	74
Ilustración 42 Carga móvil - Grúa viajera.....	75
Ilustración 43 Efecto de segundo orden	81
Ilustración 44 Efecto de tercer orden o P-Delta.....	82
Ilustración 45 Tabla de resultados de la verificación por grupos.....	94
Ilustración 46 Iteración de diseño.....	96
Ilustración 47 Proceso de investigación	110
Ilustración 48 Diseño bajo la Metodología BIM CADECO	116
Ilustración 49 Las colisiones e interferencias deben ser socializadas y solucionadas CADECO	117
Ilustración 50 Garantizar la constructabilidad con el modelo 3D CADECO.	118
Ilustración 51 Elaboración del presupuesto serán extractadas del modelo 3D CADECO	119
Ilustración 52 Diseño bajo la Metodología BIM UPEA.....	120

Ilustración 53 Las colisiones e interferencias deben ser socializadas y solucionadas UPEA.....	121
Ilustración 54 Garantizar la constructabilidad con el modelo 3D UPEA	122
Ilustración 55 Elaboración del presupuesto serán extractadas del modelo 3D UPEA.....	123
Ilustración 56 Diseño bajo la Metodología BIM CADECO - UPEA	124
Ilustración 57 Las colisiones e interferencias deben ser socializadas y solucionadas CADECO - UPEA	125
Ilustración 58 Garantizar la constructabilidad con el modelo 3D CADECO - UPEA	126
Ilustración 59 Elaboración del presupuesto serán extractadas del modelo 3D CADECO - UPEA	127
Ilustración 60 Flujo de trabajo	128
Ilustración 61 Estructura del Proyecto.....	132
Ilustración 62 Proceso de diseño	135
Ilustración 63 Área bruta del lote (planta), en medio del proyecto vecino ...	136
Ilustración 64 Área bruta del lote (isométrico), en medio del proyecto vecino	137
Ilustración 65 Porción de lote útil (planta) con retiros a edificio vecino y forma inicial del proyecto	137
Ilustración 66 Porción de lote útil (isométrico) con retiros a edificio vecino y forma inicial del proyecto.....	138
Ilustración 67 Ubicación de parqueaderos y circulación (planta).....	138
Ilustración 68 Ubicación de parqueaderos y circulación (isométrico).	139

Ilustración 69 Visuales aprovechadas y balcones con jardineras propuestas (planta).	139
Ilustración 70 Visuales aprovechadas y balcones con jardineras propuestas (isométrico).....	140
Ilustración 71 Tipologías por nivel típico del proyecto	141
Ilustración 72 Esquema de circulación horizontal y vertical (planta).	142
Ilustración 73 Esquema de circulación horizontal y vertical (isométrico).....	142
Ilustración 74 Jardineras y balcones (planta).	143
Ilustración 75 Jardineras y balcones (isométrico).....	144
Ilustración 76 Tipología de 1 alcoba: planta e isométrico.	145
Ilustración 77 Tipología de 2 alcobas: planta e isométrico.	146
Ilustración 78 Tipología de 2 alcobas + estudio: planta e isométrico.	147
Ilustración 79 Tipología de 3 alcobas: planta e isométrico.	148
Ilustración 80 Render exterior.	149
Ilustración 81 Render de sala del apartamento 201.	150
Ilustración 82 Render de habitación del apartamento 202.	150
Ilustración 83 Render de sala del apartamento de 1 alcoba	151
Ilustración 84 Render de alcoba del apartamento 101.	151
Ilustración 85 Planta en 2D de la estructura del nivel 3.....	155
Ilustración 86 Plano en 2D de la estructura de un apartamento.....	156
Ilustración 87 Estructura modelada en Revit: fundaciones, vigas y columnas.	157
Ilustración 88 Estructura con refuerzo de vigas en Revit.	158
Ilustración 89 Detalle en 3D de elementos estructurales, en Revit.	159

Ilustración 90 Esquemas de estructura en perspectiva, refuerzo de vigas en Revit.	160
Ilustración 91 Detalle de Viga V-25 en 2D, según planos estructurales	161
Ilustración 92 Detalle 3D de Viga V-25, en Revit.....	161
Ilustración 93 Cartilla de despiece de acero de viga V-25, nivel 3.	162
Ilustración 94 Planta general en 2D de la red hidrosanitaria del proyecto...	164
Ilustración 95 Planta en 2D de la red hidrosanitaria de 2 apartamentos.	165
Ilustración 96 Planta en 2D de la red hidrosanitaria de 2 apartamentos. Modelado en Revit.....	166
Ilustración 97 Detalle en 2D de la red hidrosanitaria de 1 apartamento, modelado en Revit.....	167
Ilustración 98 Esquema en 3D de la red hidrosanitaria de 2 apartamentos, modelado en Revit.....	168
Ilustración 99 Esquema en 3D, detalle de la red hidrosanitaria de 2 apartamentos, modelado en Revit.....	169
Ilustración 100 Plano en 2D de la red eléctrica de un nivel.....	171
Ilustración 101 Plano en 2D de la red eléctrica de 2 apartamentos.	172
Ilustración 102 Plano en 2D de la red eléctrica de 2 apartamentos, modelado en Revit.	173
Ilustración 103 Detalle en planta de la red eléctrica de 1 apartamento, modelado en Revit.....	175
Ilustración 104 Esquema en 3D de la red eléctrica de 2 apartamentos, modelado en Revit.....	176
Ilustración 105 Detalle 3D de la red eléctrica de 1 apartamento, modelado en Revit.	177

Ilustración 106 Plano en 2D de la red de gas de un nivel.	178
Ilustración 107 . Plano en 2D de la red de gas de 2 apartamentos	179
Ilustración 108 Plano en 2D de la red de gas de 2 apartamentos, modelado en Revit.	180
Ilustración 109 Plano en detalle 2D de la red de gas de 2 apartamentos, modelado en Revit.....	181
Ilustración 110 Esquema en 3D de la red de gas de 2 apartamentos, modelado en Revit.	182
Ilustración 111 Detalle 3D de la red de gas de 1 apartamento, modelado en Revit.	183
Ilustración 112 Plano en 2D de las disciplinas técnicas de 2 apartamentos, modelado en Revit.....	184
Ilustración 113 Esquema en 3D de las disciplinas técnicas de 2 apartamentos, modelado en Revit.....	185
Ilustración 114 Vista perspectiva de las disciplinas técnicas de 2 apartamentos, modelado en Revit.....	186
Ilustración 115 Sets del nivel 01. Navisworks.....	189
Ilustración 116 Imagen del edificio completo, terminado. Navisworks.....	190
Ilustración 117 Excavación de tierra. Construcción de campamentos de obra, preliminares. Navisworks.....	190
Ilustración 118 Proceso 02. Excavación manual, armada y vaciada de pilas, subestructura. Navisworks.....	191
Ilustración 119 Proceso 03. Excavación manual. Vigas de fundación. Muro de contención. Navisworks.....	191
Ilustración 120 Proceso 04. Vaciado de placa de fundación, rampa de acceso a sótano. Navisworks	192

Ilustración 121 Proceso 05. Vaciado de columnas de sótano. Armada y vaciada de losa aérea nivel 1. Navisworks	192
Ilustración 122 Proceso 06. Vaciado de columnas de nivel 1. Armada y vaciada de losa aérea nivel 2. Navisworks.	193
Ilustración 123 Proceso 07. Redes y mampostería. Navisworks.....	193
Ilustración 124 Proceso 08. Redes y mampostería. Vaciado de losa de cubierta. Navisworks.	194
Ilustración 125 Proceso 09. Ventanería, morteros y pisos acabados. Navisworks.	195
Ilustración 126 . Proceso 10. Inicio de obra blanca; pintura, carpintería, amoblamiento. Navisworks.....	195
Ilustración 127 Proceso 10. Aseo de construcción. Finalización.	196
Ilustración 128 Diagrama de flujo de trabajo, metodología BIM	206
Ilustración 129 Lista de chequeo de arquitectura	209
Ilustración 130 Formato de control de los modelos BIM.....	212

RESUMEN

BIM es el diminutivo empleado para hablar de la tecnología Building Information Modeling, definida por la AGC (Associated General Contractors of America) como: “tecnología que permite la construcción virtual de estructuras a través del desarrollo y uso de software computacionales inteligentes, que ayudan a simular la construcción” (ERNSTROM, HANSON, & HILL), definición que permite pensar el modelo BIM, como una representación digital que posee información explícita y modificable de los diseños de un proyecto de construcción.

El avance tecnológico ha permitido en la década de los 80's la generación de una gran revolución no solo en el acontecer diario de los seres humanos a nivel mundial. Sino que también ha ocasionado una huella trascendental en el campo de la planificación, diseño y construcción al insertarse el termino CAD “Computer Aided Design”, con esto se inició un recorrido meteórico para mejorar, potenciar y perfeccionar la gestión de proyectos no solo en su diseño y construcción, sino desde su planificación hasta la operación y mantenimiento. El límite que se trazó en ese tiempo fue fundamental para el desenvolvimiento de nuevos instrumentos que fueran cada vez más fructíferos y pocos años más tarde en el año 1987, la empresa de Hungría Graphisoft pone en práctica un moderno concepto conocido bajo el nombre de edificio virtual o “Virtual Building” que difundió todos los conceptos BIM que en la actualidad entendemos.

La presente investigación, nace de la necesidad de formalizar los procesos y la comunicación entre el área de arquitectura y el área de construcción, asumiendo que, mediante la investigación y la aplicación de los conceptos abordados, se pueda desarrollar una metodología más eficiente para el diseño y la gestión de sus futuros proyectos de construcción.

ABSTRACT

BIM is the diminutive used to talk about Building Information Modeling technology, defined by the AGC (Associated General Contractors of America) as: "technology that allows the virtual construction of structures through the development and use of intelligent computational software, which helps to simulate construction" (ERNSTROM, HANSON, & HILL), a definition that allows us to think of the BIM model as a digital representation that has explicit and modifiable information on the designs of a construction project.

Technological progress has allowed in the 80's the generation of a great revolution not only in the daily events of human beings worldwide. But it has also caused a transcendental imprint in the field of planning, design and construction by inserting the CAD term "Computer Aided Design", with this a meteoric journey began to improve, enhance and perfect project management not only in its design and construction, but from planning to operation and maintenance. The limit that was drawn at that time was fundamental for the development of new instruments that were increasingly fruitful and a few years later, in 1987, the Hungarian company Graphisoft put into practice a modern concept known under the name of virtual building or "Virtual Building" that spread all the BIM concepts that we currently understand.

This research arises from the need to formalize the processes and communication between the architecture area and the construction area, assuming that, through research and the application of the concepts addressed, a more efficient methodology for design can be developed. and the management of your future construction projects.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La implementación de estas herramientas digitales es de gran utilidad para mejorar la producción del sector de la construcción, porque se reduce la incertidumbre del desarrollo del proyecto, al facilitar su visualización (en tres dimensiones); se detectan posibles conflictos e interferencias, pudiendo ser solucionadas con antelación y no cuando se está en proceso de construcción, situación que incurriría en costos más elevados, también se mejora la comunicación y la toma de decisiones del equipo de trabajo. eso permite un ahorro de costos en representación, al poder tener y visualizar los modelos virtuales. Por ser una metodología de trabajo colaborativo de todas las áreas del diseño permite crear paquetes completos de información actualizada, y no fragmentados y desactualizados.

Es común encontrar inconsistencias e imprevistos en la industria de la construcción, que normalmente se traducen en aumentos de costos e incrementos de tiempo, bien sea por una mala planeación, falta de comunicación, errores de diseño, de ejecución o una mala presupuestación (López, 2017).

Se puede aumentar utilidades, disminuir reprocesos y mejorar su nivel profesional, busca replantear los procedimientos del área de diseño para obtener resultados más satisfactorios en las obras que construye. Para ello pretende cambiar su esquema tradicional de diseño y formular nuevas metodologías de vanguardia en el diseño arquitectónico, regidas por los principios BIM. Con este cambio se espera alcanzar un alto grado de calidad en sus proyectos, cumplir con las expectativas de sus clientes y mejorar la eficiencia en el área de diseño.

Se ha identificado cómo la falta de detalle en la información planimétrica afecta el buen desarrollo de los proyectos, en términos de costos, calidad y tiempo. Cumplir con los cronogramas y costos de obra se vuelve complejo si el diseño presenta interferencias y no comunica ni especifica verídicamente lo que se desea construir.

Más aún, si no hay una correcta coordinación y comunicación entre el área de diseño y el área técnica. En algunas ocasiones los constructores durante la construcción deben resolver la parte técnica de los proyectos, lo que conlleva a un aumento de los tiempos de entrega establecidos y en algunas ocasiones, por errores de comunicación, se termina alterando lo que el diseño pretende transmitir.

A nivel mundial son muchas las entidades tanto públicas como privadas que están proponiendo documentos e iniciativas que ponen en conocimiento y reafirman los beneficios obtenidos al utilizar la metodología de trabajo BIM en los proyectos de construcción, argumentando que se obtienen mejoras significativas, tanto técnicas como económicas en su desarrollo (Salazar, 2017).

El crecimiento generalizado en el uso de la metodología de trabajo BIM en todo el mundo, y las perspectivas económicas esperadas alrededor de esta tecnología están fundamentadas en las ventajas competitivas que potencialmente pueden adquirir las empresas que implementen en su cadena de procesos dicha metodología (D'paola Puche, 2014). A continuación, se especifican algunos de los países que más desarrollo y aplicación tienen sobre el tema, según (Salazar, 2017), (Tamames, J. F., & Mieza, I. Z., 2018) y (Sanz, 2017).

Reino Unido, es quizás el país que tiene uno de los proyectos más ambiciosos de implementación de BIM impulsado por entes gubernamentales en el mundo. La estrategia se empezó a implementar por el gobierno de Reino Unido desde el 2011 con el fin de que en el 2016 todos los proyectos de construcción financiados con dineros públicos se realizaran con BIM. Efectivamente, desde el 2016 el uso del BIM es de obligado cumplimiento para proyectos gubernamentales, y aproximadamente un 80% de las empresas trabajan con algún proyecto BIM.

Reino Unido es el 'caso país' que mejor explica los desafíos presentes en el despliegue BIM y cuyo modelo manifiesta una mayor capacidad para compartir, de forma abierta, los avances del sector AEC. El Reino Unido lidera, en el mundo y en

Europa, las iniciativas relacionadas con BIM. El NBS (National Building Specification) es un sistema de especificación de construcción del Reino Unido utilizado por arquitectos y otros profesionales de la construcción para describir los materiales, las normas y la mano de obra de un proyecto de construcción. Fue lanzado en 1973 y ahora es utilizado por más de 5000 oficinas

La dirección de Obras Públicas del gobierno noruego exige su uso en todos sus edificios. Este país empezó en 2007 con algunos proyectos BIM, y para el 2010 muchos estaban usando el formato IFC (Industry Foundation Classes) que se basa en el BIM. A la fecha están haciendo hincapié en la eficiencia energética, la coordinación y la optimización de errores.

Noruega, Dinamarca, y Finlandia, que adoptaron tempranamente el programa ArchiCAD, se encuentran entre los primeros países en adoptar el diseño basado en modelos, defendiendo la interoperabilidad y los estándares abiertos, convirtiéndose en parte integral del desarrollo de Industry Foundation Classes (IFC) y otras iniciativas relacionadas con los temas de interoperabilidad. El uso de BIM es obligatorio en esta región para los proyectos públicos.

Los EE. UU. son pioneros en esta metodología desde el 2003 con su Programa Nacional 3D-4D BIM y llevan años expandiendo el BIM en grandes proyectos públicos los cuales poseen diversos protocolos BIM según sus estados, diversas rutas y estándares para el ciclo de vida de un proyecto de construcción. En comparativa entre EEUU y Europa se devela que, en el año 2009, el 49% de las empresas americanas habían implementado BIM, en cambio en el 2010, era tan solo el 36% de las empresas europeas las que lo habían hecho.

A través de la Administración de Servicios Generales (o GSA por sus siglas en inglés) Estados Unidos ha desarrollado una serie de estándares como el National BIM Standard para la implementación de BIM en proyectos de construcción,

convirtiéndose en un líder global en el desarrollo e implementación de BIM en la industria de la construcción

Desde el 2013, los proyectos de Dubái son BIM de manera obligatoria. Singapur tiene una ruta de guía BIM que pretende estandarizar la industria a partir del 2015, y que estipula el uso BIM para proyectos de más de 5.000 m². China también ha desarrollado una Guía BIM en un plan nacional y en 2014 ya desarrollaron una estrategia de implantación BIM, donde se espera que en 2019 un 30% de los proyectos se realicen bajo este estándar. Hong Kong y Taiwán lideran la migración BIM. (MARTÍNEZ OSPINA, 2019)

Todos los proyectos públicos de más de cincuenta millones de dólares en Corea Del Sur son BIM de manera obligada desde el 2016. El gobierno lleva desde 2010 promoviendo proyectos BIM. En Japón, desde el 2017, el 46% de las empresas han trabajado ya con la metodología BIM.

La integración del BIM en los grandes proyectos latinoamericanos no está siendo homogénea. En países como Chile, Colombia o Perú es ya una realidad, con mucha aceptación en grandes proyectos públicos y un alto índice de contratación de profesionales BIM. Sin embargo, esta implementación no crece al mismo ritmo en todo el continente, y lo cierto es que en la mayoría de países de habla hispana el paso al BIM sigue una progresión muy lenta.

El nuevo modelo de construcción aplicado por la metodología BIM está revolucionando el sector chileno. Este es uno de los países con mejor aceptación de esta novedosa forma de trabajo. Organizaciones como Plan BIM, impulsadas por el Programa Estratégico “Construye 2025” tienen como objetivo promover el uso del BIM tanto en instituciones públicas como en el sector privado. BIM será una realidad en el sector público chileno en el año 2020, cuando pasará a ser obligatoria en proyectos públicos. Se deberá esperar hasta el 2025 para que su implementación sea completa en el sector privado (MARTÍNEZ OSPINA, 2019).

En México, la Fundación de la Industria de la Construcción (FIC) de dicho país está coordinando los trabajos a fin de tener una norma llamada NMXBIM, la primera en Latinoamérica. En el ámbito académico se está introduciendo BIM como materia obligatoria en las Universidades como el Tecnológico de Monterrey, Universidad Iberoamericana, Universidad La Salle y la UNAM. La rápida adopción de esta plataforma apuesta por el desarrollo y la competitividad de los diferentes sectores de la industria en México. A corto plazo es muy posible realizar proyectos de construcción con el uso del BIM, bajo normas que actualmente ya están en proceso de creación.

1. EL PROBLEMA

La deficiente planificación de los proyectos de construcción conlleva a una consecuente improvisación durante la ejecución del mismo. Cuando algún proyecto constructivo no está preparado para enfrentar los diferentes problemas y situaciones que se puedan presentar durante la ejecución de obra, gran parte del tiempo será destinado a enmendar errores y buscar soluciones.

El desconocimiento de nuevas técnicas o el temor a cambiar paradigmas y métodos que algunas veces hayan resultado efectivos en ciertos proyectos, conlleva a un conformismo: a repetir lo que ha dado resultado, dejando a un lado la investigación, el desarrollo y la innovación, vitales para la competitividad.

1.1. Pregunta que define el problema

¿Cómo diseñar y desarrollar proyectos arquitectónicos bajo la metodología y los principios del BIM, para obtener un mejor desempeño durante su construcción?

1.2. Preguntas específicas

- ¿Qué criterios deben considerarse para el diseño arquitectónico de un proyecto piloto utilizando el modelado en 3D, bajo metodología BIM?

- ¿Cómo modelar en 3D los diseños técnicos entregados por los especialistas (estructural, acero, hidrosanitario, gas, eléctrico), para que sean compatibles con el modelo principal arquitectónico BIM??
- ¿Qué componentes debe tener la programación de obra del proyecto para generar un modelo en 4D desde el software Navisworks??
- ¿Qué factores influyen para que desde el modelo 3D, extraer cantidades e información detallada para facilitar la elaboración del presupuesto de construcción?
- ¿Puede compararse los beneficios de la metodología BIM versus la metodología tradicional utilizada?

2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Objetivo general

- Proponer el modelado virtual bajo la metodología Building Information Modeling (BIM) mediante un estudio de caso en un proyecto de construcción, donde se lleve a cabo el diseño arquitectónico y la coordinación de las especialidades técnicas, y se extraiga información necesaria para proponer una nueva metodología de trabajo del área de diseño

2.2. Objetivos específicos

- Realizar el diseño arquitectónico de un proyecto piloto utilizando el modelado en 3D, bajo metodología BIM.
- Modelar en 3D los diseños técnicos entregados por los especialistas (estructural, acero, hidrosanitario, gas, eléctrico), para que sean compatibles con el modelo principal arquitectónico BIM.
- Realizar programación de obra del proyecto para generar un modelo en 4D desde el software Navisworks.

- Comparar los beneficios de la metodología BIM versus la metodología tradicional utilizada

3. LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

H₀= Si se desarrolla el modelado virtual bajo la metodología Building Information Modeling (BIM) mediante un estudio de caso en un proyecto de construcción,; entonces se podrá llevar a cabo el diseño arquitectónico y la coordinación de las especialidades técnicas, y se extraiga información necesaria para proponer una nueva metodología de trabajo del área de diseño

4. LA JUSTIFICACIÓN

El avance tecnológico ha permitido en la década de los 80's la generación de una gran revolución no solo en el acontecer diario de los seres humanos a nivel mundial. Sino que también ha ocasionado una huella trascendental en el campo de la planificación, diseño y construcción al insertarse el termino CAD "Computer Aided Design", con esto se inició un recorrido meteórico para mejorar, potenciar y perfeccionar la gestión de proyectos no solo en su diseño y construcción, sino desde su planificación hasta la operación y mantenimiento. El límite que se trazó en ese tiempo fue fundamental para el desenvolvimiento de nuevos instrumentos que fueran cada vez más fructíferos y pocos años más tarde en el año 1987, la empresa de Hungría Graphisoft pone en práctica un moderno concepto conocido bajo el nombre de edificio virtual o "Virtual Building" que difundió todos los conceptos BIM que en la actualidad entendemos.

La presente investigación, de carácter cualitativo, nace de la necesidad de formalizar los procesos y la comunicación entre el área de arquitectura y el área de construcción, asumiendo que, mediante la investigación y la aplicación de los conceptos abordados, se pueda desarrollar una metodología más eficiente para el diseño y la gestión de sus futuros proyectos de construcción.

En el campo profesional, los arquitectos se enfrentan a retos contractuales del campo competitivo y ven la inminente trascendencia de conceptos que son internacionales como el BIM. El contexto colombiano, intentando adaptarse a esta nueva tendencia, tiene la dificultad de adopción por la falta de estándares y metodologías que organicen los proyectos y que correspondan a las necesidades de nuestra industria (recursos, procesos constructivos, nomenclaturas de componentes y materiales, etc.). Se requiere de forma urgente de profesionales en las aéreas que intervienen en la edificación de proyectos de construcción con conocimientos en el manejo de proyectos que integren BIM (López, 2017)

Algunas empresas de diseño y construcción desarrollan sus proyectos mediante la utilización de herramientas y software de representación digital, donde se puede visualizar en 3D, y aseveran estar utilizando la metodología BIM; pero en muchos casos, el modelado no trasciende ni llega a ser BIM, por la falta de información y parametrización de cada uno de sus elementos, que al no tener suficiente información ni nivel de desarrollo (LOD), no es útil para obtener cantidades de obra, ni ser modificado por otros autores, ni ser parametrizable para una programación de obra, ni asignarle costos, ni conocer su fabricante o manual de mantenimiento.

4.1. Novedad

La implementación del Building Information Modeling (BIM) a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio ayudará a la industria de la construcción a reducir algunos costos, mejorar la productividad del equipo de trabajo y crear proyectos positivos. (Gerber, Becerikgerber, & Kunz, 2011). A través de la metodología VDC (Virtual Design and Construction) es posible simular las complejidades en la ejecución de proyectos de construcción, para comprender los conflictos y abordarlos en un mundo virtual antes que en el mundo real (Fosse, R., Ballard, G., & Fischer, M., 2017).

BIM es el diminutivo empleado para hablar de la tecnología Building Information Modeling, definida por la AGC (Associated General Contractors of America) como: “tecnología que permite la construcción virtual de estructuras a través del desarrollo y uso de software computacionales inteligentes, que ayudan a simular la construcción” (ERNSTROM, HANSON, & HILL), definición que permite pensar el modelo BIM, como una representación digital que posee información explícita y modificable de los diseños de un proyecto de construcción.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

1. MENCIÓN DE OTROS ESTUDIOS RELATIVOS AL TEMA

La implementación de estas herramientas digitales es de gran utilidad para mejorar la producción del sector de la construcción, porque se reduce la incertidumbre del desarrollo del proyecto, al facilitar su visualización (en tres dimensiones); se detectan posibles conflictos e interferencias, pudiendo ser solucionadas con antelación y no cuando se está en proceso de construcción, situación que incurriría en costos más elevados, también se mejora la comunicación y la toma de decisiones del equipo de trabajo. eso permite un ahorro de costos en representación, al poder tener y visualizar los modelos virtuales. Por ser una metodología de trabajo colaborativo de todas las áreas del diseño permite crear paquetes completos de información actualizada, y no fragmentados y desactualizados.

Es común encontrar inconsistencias e imprevistos en la industria de la construcción, que normalmente se traducen en aumentos de costos e incrementos de tiempo, bien sea por una mala planeación, falta de comunicación, errores de diseño, de ejecución o una mala presupuestación (López, 2017).

Se puede aumentar utilidades, disminuir reprocesos y mejorar su nivel profesional, busca replantear los procedimientos del área de diseño para obtener resultados más satisfactorios en las obras que construye. Para ello pretende cambiar su esquema tradicional de diseño y formular nuevas metodologías de vanguardia en el diseño arquitectónico, regidas por los principios BIM. Con este cambio se espera alcanzar un alto grado de calidad en sus proyectos, cumplir con las expectativas de sus clientes y mejorar la eficiencia en el área de diseño.

Se ha identificado cómo la falta de detalle en la información planimétrica afecta el buen desarrollo de los proyectos, en términos de costos, calidad y tiempo. Cumplir

con los cronogramas y costos de obra se vuelve complejo si el diseño presenta interferencias y no comunica ni especifica verídicamente lo que se desea construir. Más aún, si no hay una correcta coordinación y comunicación entre el área de diseño y el área técnica. En algunas ocasiones los constructores durante la construcción deben resolver la parte técnica de los proyectos, lo que conlleva a un aumento de los tiempos de entrega establecidos y en algunas ocasiones, por errores de comunicación, se termina alterando lo que el diseño pretende transmitir.

A nivel mundial son muchas las entidades tanto públicas como privadas que están proponiendo documentos e iniciativas que ponen en conocimiento y reafirman los beneficios obtenidos al utilizar la metodología de trabajo BIM en los proyectos de construcción, argumentando que se obtienen mejoras significativas, tanto técnicas como económicas en su desarrollo (Salazar, 2017).

El crecimiento generalizado en el uso de la metodología de trabajo BIM en todo el mundo, y las perspectivas económicas esperadas alrededor de esta tecnología están fundamentadas en las ventajas competitivas que potencialmente pueden adquirir las empresas que implementen en su cadena de procesos dicha metodología (D'paola Puche, 2014). A continuación, se especifican algunos de los países que más desarrollo y aplicación tienen sobre el tema, según (Salazar, 2017), (Tamames, J. F., & Mieza, I. Z., 2018) y (Sanz, 2017).

Reino Unido, es quizás el país que tiene uno de los proyectos más ambiciosos de implementación de BIM impulsado por entes gubernamentales en el mundo. La estrategia se empezó a implementar por el gobierno de Reino Unido desde el 2011 con el fin de que en el 2016 todos los proyectos de construcción financiados con dineros públicos se realizaran con BIM. Efectivamente, desde el 2016 el uso del BIM es de obligado cumplimiento para proyectos gubernamentales, y aproximadamente un 80% de las empresas trabajan con algún proyecto BIM.

Reino Unido es el ‘caso país’ que mejor explica los desafíos presentes en el despliegue BIM y cuyo modelo manifiesta una mayor capacidad para compartir, de forma abierta, los avances del sector AEC. El Reino Unido lidera, en el mundo y en Europa, las iniciativas relacionadas con BIM. El NBS (National Building Specification) es un sistema de especificación de construcción del Reino Unido utilizado por arquitectos y otros profesionales de la construcción para describir los materiales, las normas y la mano de obra de un proyecto de construcción. Fue lanzado en 1973 y ahora es utilizado por más de 5000 oficinas

La dirección de Obras Públicas del gobierno noruego exige su uso en todos sus edificios. Este país empezó en 2007 con algunos proyectos BIM, y para el 2010 muchos estaban usando el formato IFC (Industry Foundation Classes) que se basa en el BIM. A la fecha están haciendo hincapié en la eficiencia energética, la coordinación y la optimización de errores.

Noruega, Dinamarca, y Finlandia, que adoptaron tempranamente el programa ArchiCAD, se encuentran entre los primeros países en adoptar el diseño basado en modelos, defendiendo la interoperabilidad y los estándares abiertos, convirtiéndose en parte integral del desarrollo de Industry Foundation Classes (IFC) y otras iniciativas relacionadas con los temas de interoperabilidad. El uso de BIM es obligatorio en esta región para los proyectos públicos.

Los EE. UU. son pioneros en esta metodología desde el 2003 con su Programa Nacional 3D-4D BIM y llevan años expandiendo el BIM en grandes proyectos públicos los cuales poseen diversos protocolos BIM según sus estados, diversas rutas y estándares para el ciclo de vida de un proyecto de construcción. En comparativa entre EEUU y Europa se devela que, en el año 2009, el 49% de las empresas americanas habían implementado BIM, en cambio en el 2010, era tan solo el 36% de las empresas europeas las que lo habían hecho.

A través de la Administración de Servicios Generales (o GSA por sus siglas en inglés) Estados Unidos ha desarrollado una serie de estándares como el National BIM Standard para la implementación de BIM en proyectos de construcción, convirtiéndose en un líder global en el desarrollo e implementación de BIM en la industria de la construcción

Desde el 2013, los proyectos de Dubái son BIM de manera obligatoria. Singapur tiene una ruta de guía BIM que pretende estandarizar la industria a partir del 2015, y que estipula el uso BIM para proyectos de más de 5.000 m². China también ha desarrollado una Guía BIM en un plan nacional y en 2014 ya desarrollaron una estrategia de implantación BIM, donde se espera que en 2019 un 30% de los proyectos se realicen bajo este estándar. Hong Kong y Taiwán lideran la migración BIM. (MARTÍNEZ OSPINA, 2019)

Todos los proyectos públicos de más de cincuenta millones de dólares en Corea Del Sur son BIM de manera obligada desde el 2016. El gobierno lleva desde 2010 promoviendo proyectos BIM. En Japón, desde el 2017, el 46% de las empresas han trabajado ya con la metodología BIM.

La integración del BIM en los grandes proyectos latinoamericanos no está siendo homogénea. En países como Chile, Colombia o Perú es ya una realidad, con mucha aceptación en grandes proyectos públicos y un alto índice de contratación de profesionales BIM. Sin embargo, esta implementación no crece al mismo ritmo en todo el continente, y lo cierto es que en la mayoría de países de habla hispana el paso al BIM sigue una progresión muy lenta.

El nuevo modelo de construcción aplicado por la metodología BIM está revolucionando el sector chileno. Este es uno de los países con mejor aceptación de esta novedosa forma de trabajo. Organizaciones como Plan BIM, impulsadas por el Programa Estratégico “Construye 2025” tienen como objetivo promover el uso del BIM tanto en instituciones públicas como en el sector privado. BIM será una realidad

en el sector público chileno en el año 2020, cuando pasará a ser obligatoria en proyectos públicos. Se deberá esperar hasta el 2025 para que su implementación sea completa en el sector privado (MARTÍNEZ OSPINA, 2019).

En México, la Fundación de la Industria de la Construcción (FIC) de dicho país está coordinando los trabajos a fin de tener una norma llamada NMXBIM, la primera en Latinoamérica. En el ámbito académico se está introduciendo BIM como materia obligatoria en las Universidades como el Tecnológico de Monterrey, Universidad Iberoamericana, Universidad La Salle y la UNAM. La rápida adopción de esta plataforma apuesta por el desarrollo y la competitividad de los diferentes sectores de la industria en México. A corto plazo es muy posible realizar proyectos de construcción con el uso del BIM, bajo normas que actualmente ya están en proceso de creación

2. MENCIÓN DE LOS PUNTOS DE VISTA DE OTROS INVESTIGADORES

En la investigación “Estimación de los beneficios de realizar una coordinación digital de proyectos”, de Saldias Silva, se indica que el sector de la construcción es un componente significativo en la economía de un país, y a pesar de su importancia, los problemas que enfrenta el sector son bien conocidos: incumplimiento de los plazos y presupuestos, baja productividad, insuficiente calidad, altos índices de accidentes en comparación con otros sectores de la economía, entre otros. La mayoría de estos problemas atribuibles a una ineficiente gestión y a una inadecuada planificación y control de proyectos. La planificación convencional de proyectos utiliza documentos tales como Cartas Gantt, Curvas “S”, planos en 2D, etc. para predecir, entender y comunicar el alcance y el desempeño del proyecto a los distintos actores que participan en este. La cantidad de información que el proyecto contiene y la forma en que esta es organizada y representada influye directamente en la dificultad e incertidumbre del proyecto, creando variabilidad durante el proceso de construcción y conduciendo a pérdidas durante la ejecución (retrasos,

interferencias, etc.). Nuevas tecnologías presentes en el mercado ofrecen algunas herramientas para mitigar estos problemas, disminuyendo los costos, los plazos y mejorando la calidad de los trabajos. BIM, acrónimo de Building Information Modeling, es una de estas. BIM es una tecnología innovadora que permite diseñar tridimensionalmente desde el inicio del proyecto e incorpora en el modelo la información de cada uno de los elementos que componen este proyecto: cubicaciones, costos, tiempo, integración de los proyectos de especialidades y todo tipo de documentación que se considere relevante compartir y comunicar a los distintos actores que participan en las distintas etapas del proyecto. Se basa en identificar los beneficios derivados de realizar una coordinación digital en etapas tempranas del proyecto utilizando tecnologías BIM. Para ello se desarrollará un análisis ex post, en el cual se identificarán las distintas pérdidas incurridas en la etapa de construcción, en proyectos que hayan sido realizados de la forma tradicional (planos y especificaciones en papel), y determinar cuáles de estas pérdidas podrían haberse evitado si en estos proyectos se hubiera utilizado la tecnología BIM. Al estimar los costos asociados a tales pérdidas se obtendrá una aproximación de los potenciales beneficios de utilizar esta tecnología.

El enfoque principal utilizado para analizar los beneficios de implementar BIM fue determinar la rentabilidad sobre la inversión (ROI). Del estudio realizado, en dos de los tres proyectos analizados BIM probó tener una rentabilidad bastante atractiva para el mandante, aun cuando los ahorros fueron considerados de forma conservadora. (SALDIAS SILVA, 2010)

En la investigación “Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM” de Murcio Juárez, se manifiesta que la utilización de plataforma BIM elimina la necesidad de contar con grupos de dibujo, puesto que el operador de los programas genera el modelo y los planos, listas de materiales y demás documentos gráficos que elaboraban los grupos de dibujo, ahora solo son representaciones que el operador

de la plataforma obtiene automáticamente del modelo, sin el riesgo de equivocaciones en cotas, cortes, vistas, etc. (Murcio Juárez, 2013)

La metodología BIM, por tanto, surge como una nueva alternativa, con proyección a establecer una nueva forma de llevar a cabo los proyectos de edificación, donde el manejo de la información hoy en día de manera oportuna, eficaz y congruente, se ha vuelto una ventaja altamente competitiva en el ámbito de la ingeniería civil como en muchas otras áreas, es por ello que la innovación que conlleva esta nueva tecnología, permite a los actuales y futuros ingenieros nuevas oportunidades de crecer profesionalmente. (Murcio Juárez, 2013)

También está la investigación “Potenciando la capacidad de análisis y comunicación de los proyectos de construcción, mediante herramientas virtuales BIM 4d durante la etapa de planificación”. De Eyzaguirre Vela, en esta investigación a lo largo del presente tema de estudio, se han expuesto las deficiencias que encara un proyecto de construcción referente al flujo de información y a la tardía integración y colaboración entre los actores principales. BIM ofrece disminuir esta brecha en la transferencia de la información, generando un entorno proactivo e intenso de colaboración, integrando desde etapas tempranas del proyecto a los actores principales, logrando anticiparse a los problemas recurrentes en la etapa de ejecución, abandonando la tarea improvisada e incorrecta de corregir la falta de planificación y control en las obras, brindando información eficiente tanto en lo visual como en lo técnico, permitiendo la incorporación de herramientas tecnológicas de visualización y gestión de datos en la industria de la construcción, y principalmente maximizando los márgenes y resultados de los proyectos, mejorando la calidad, disminuyendo costos y acortando los tiempos preestablecidos. Sin duda y lógicamente aceptable al momento de intentar realizar cambios en los procesos y metodologías de trabajo habituales; se presentan barreras y desafíos los cuales deben sobreponerse. En base a la experiencia en proyectos anteriores, teniendo en consideración la difusión, utilización y relación con los principales usuarios y

beneficiarios del BIM, se plantea las siguientes preocupaciones destinadas a ser controladas y superadas para el correcto uso BIM. (Eyzaguirre Vela, 2015)

Esta también la investigación denominada “Uso De La Tecnología BIM Para La Gestión Y Desarrollo De Proyecto: Centro Cultural De La Universidad Nacional Del Centro Del PerúHuancayo” El éxito de la implementación de BIM radica en el enriquecimiento del modelo por parte de los involucrados, por ello es necesario que exista un responsable (BIM manager), quien tendrá como función principal Organizar el equipo de modeladores BIM recopilar e identificar las interferencias e incompatibilidades detectadas por los modeladores, agendar y convocar a los involucrados a las sesiones de trabajo y establecer los plazos para el cumplimiento. Para completar la cadena colaborativa debe existir un compromiso o una iniciativa gubernamental o de entidades pertenecientes al sector construcción (Ministerio de Vivienda, CAPECO, Colegio de Arquitectos, Colegio de Ingenieros, etc.) que pueda normar y desarrollar un estándar del Uso de tecnología BIM, para con ello apuntar a soportar un ciclo completo del diseño y la construcción que sea de alta calidad, eficiente, seguro y conforme con un desarrollo sostenible. (Oscanoa Hidalgo, 2015)

En la investigación “Estimación de los beneficios de realizar una coordinación digital de proyectos”, de Saldías Silva, se indica que el sector de la construcción es un componente significativo en la economía de un país, y a pesar de su importancia, los problemas que enfrenta el sector son bien conocidos: incumplimiento de los plazos y presupuestos, baja productividad, insuficiente calidad, altos índices de accidentes en comparación con otros sectores de la economía, entre otros. La mayoría de estos problemas atribuibles a una ineficiente gestión y a una inadecuada planificación y control de proyectos. La planificación convencional de proyectos utiliza documentos tales como Cartas Gantt, Curvas “S”, planos en 2D, etc. para predecir, entender y comunicar el alcance y el desempeño del proyecto a los distintos actores que participan en este. La cantidad de información que el proyecto contiene y la forma en que esta es organizada y representada influye directamente

en la dificultad e incertidumbre del proyecto, creando variabilidad durante el proceso de construcción y conduciendo a pérdidas durante la ejecución (retrasos, interferencias, etc.). Nuevas tecnologías presentes en el mercado ofrecen algunas herramientas para mitigar estos problemas, disminuyendo los costos, los plazos y mejorando la calidad de los trabajos. BIM, acrónimo de Building Information Modeling, es una de estas. BIM es una tecnología innovadora que permite diseñar tridimensionalmente desde el inicio del proyecto e incorpora en el modelo la información de cada uno de los elementos que componen este proyecto: cubicaciones, costos, tiempo, integración de los proyectos de especialidades y todo tipo de documentación que se considere relevante compartir y comunicar a los distintos actores que participan en las distintas etapas del proyecto. Se basa en identificar los beneficios derivados de realizar una coordinación digital en etapas tempranas del proyecto utilizando tecnologías BIM. Para ello se desarrollará un análisis ex post, en el cual se identificarán las distintas pérdidas incurridas en la etapa de construcción, en proyectos que hayan sido realizados de la forma tradicional (planos y especificaciones en papel), y determinar cuáles de estas pérdidas podrían haberse evitado si en estos proyectos se hubiera utilizado la tecnología BIM. Al estimar los costos asociados a tales pérdidas se obtendrá una aproximación de los potenciales beneficios de utilizar esta tecnología.

El enfoque principal utilizado para analizar los beneficios de implementar BIM fue determinar la rentabilidad sobre la inversión (ROI). Del estudio realizado, en dos de los tres proyectos analizados BIM probó tener una rentabilidad bastante atractiva para el mandante, aun cuando los ahorros fueron considerados de forma conservadora. (SALDIAS SILVA, 2010)

En la investigación “Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM” de Murcio Juárez, se manifiesta que la utilización de plataforma BIM elimina la necesidad de contar con grupos de dibujo, puesto que el operador de los programas genera el modelo y los planos, listas de materiales y demás documentos gráficos que

elaboraban los grupos de dibujo, ahora solo son representaciones que el operador de la plataforma obtiene automáticamente del modelo, sin el riesgo de equivocaciones en cotas, cortes, vistas, etc. (Murcio Juárez, 2013)

La metodología BIM, por tanto, surge como una nueva alternativa, con proyección a establecer una nueva forma de llevar a cabo los proyectos de edificación, donde el manejo de la información hoy en día de manera oportuna, eficaz y congruente, se ha vuelto una ventaja altamente competitiva en el ámbito de la ingeniería civil como en muchas otras áreas, es por ello que la innovación que conlleva esta nueva tecnología, permite a los actuales y futuros ingenieros nuevas oportunidades de crecer profesionalmente. (Murcio Juárez, 2013)

También está la investigación “Potenciando la capacidad de análisis y comunicación de los proyectos de construcción, mediante herramientas virtuales BIM 4d durante la etapa de planificación”. De Eyzaguirre Vela, en esta investigación a lo largo del presente tema de estudio, se han expuesto las deficiencias que encara un proyecto de construcción referente al flujo de información y a la tardía integración y colaboración entre los actores principales. BIM ofrece disminuir esta brecha en la transferencia de la información, generando un entorno proactivo e intenso de colaboración, integrando desde etapas tempranas del proyecto a los actores principales, logrando anticiparse a los problemas recurrentes en la etapa de ejecución, abandonando la tarea improvisada e incorrecta de corregir la falta de planificación y control en las obras, brindando información eficiente tanto en lo visual como en lo técnico, permitiendo la incorporación de herramientas tecnológicas de visualización y gestión de datos en la industria de la construcción, y principalmente maximizando los márgenes y resultados de los proyectos, mejorando la calidad, disminuyendo costos y acortando los tiempos preestablecidos. Sin duda y lógicamente aceptable al momento de intentar realizar cambios en los procesos y metodologías de trabajo habituales; se presentan barreras y desafíos los cuales deben sobreponerse. En base a la experiencia en proyectos anteriores, teniendo en

consideración la difusión, utilización y relación con los principales usuarios y beneficiarios del BIM, se plantea las siguientes preocupaciones destinadas a ser controladas y superadas para el correcto uso BIM. (Eyzaguirre Vela, 2015)

Esta también la investigación denominada "Uso De La Tecnología BIM Para La Gestión Y Desarrollo De Proyecto: Centro Cultural De La Universidad Nacional Del Centro Del PerúHuancayo" El éxito de la implementación de BIM radica en el enriquecimiento del modelo por parte de los involucrados, por ello es necesario que exista un responsable (BIM manager), quien tendrá como función principal Organizar el equipo de modeladores BIM recopilar e identificar las interferencias e incompatibilidades detectadas por los modeladores, agendar y convocar a los involucrados a las sesiones de trabajo y establecer los plazos para el cumplimiento. Para completar la cadena colaborativa debe existir un compromiso o una iniciativa gubernamental o de entidades pertenecientes al sector construcción (Ministerio de Vivienda, CAPECO, Colegio de Arquitectos, Colegio de Ingenieros, etc.) que pueda normar y desarrollar un estándar del Uso de tecnología BIM, para con ello apuntar a soportar un ciclo completo del diseño y la construcción que sea de alta calidad, eficiente, seguro y conforme con un desarrollo sostenible. (Oscanoa Hidalgo, 2015)

3. CORRIENTE O ENFOQUE ELEGIDO POR EL INVESTIGADOR

3.1. Modelo BIM

Esta generación de modelo es nombrada así por su acrónimo en inglés "Building Information Model", que en español es conocida como "Modelado de Información para la Edificación"

Esta metodología de modelaje está conformada por herramientas, procesos y tecnologías, para llevar a cabo un proyecto integral de edificación, desde su concepción hasta el final de su vida útil, coordinando el ambiente multidisciplinario, donde participan inversionistas, propietarios, arquitectos, ingenieros estructurales,

ingenieros de instalaciones, ingenieros de obra, fabricantes, gestores y en general, todos aquellos involucrados que tienen que ver con el diseño, construcción y operación del proyecto. Esta coordinación se logra mediante una plataforma tecnológica que integra varios programas de software especializados, trabajando en conjunto sobre una única base de información, lo cual permite tener un intercambio de datos en tiempo real de manera coherente, precisa y completa, mejorando así aspectos como son la eficiencia y efectividad. (Murcio Juárez, 2013)

BIM va más allá de solo un modelo geométrico en 3D, es una representación digital de las características físicas y funcionales del proyecto.

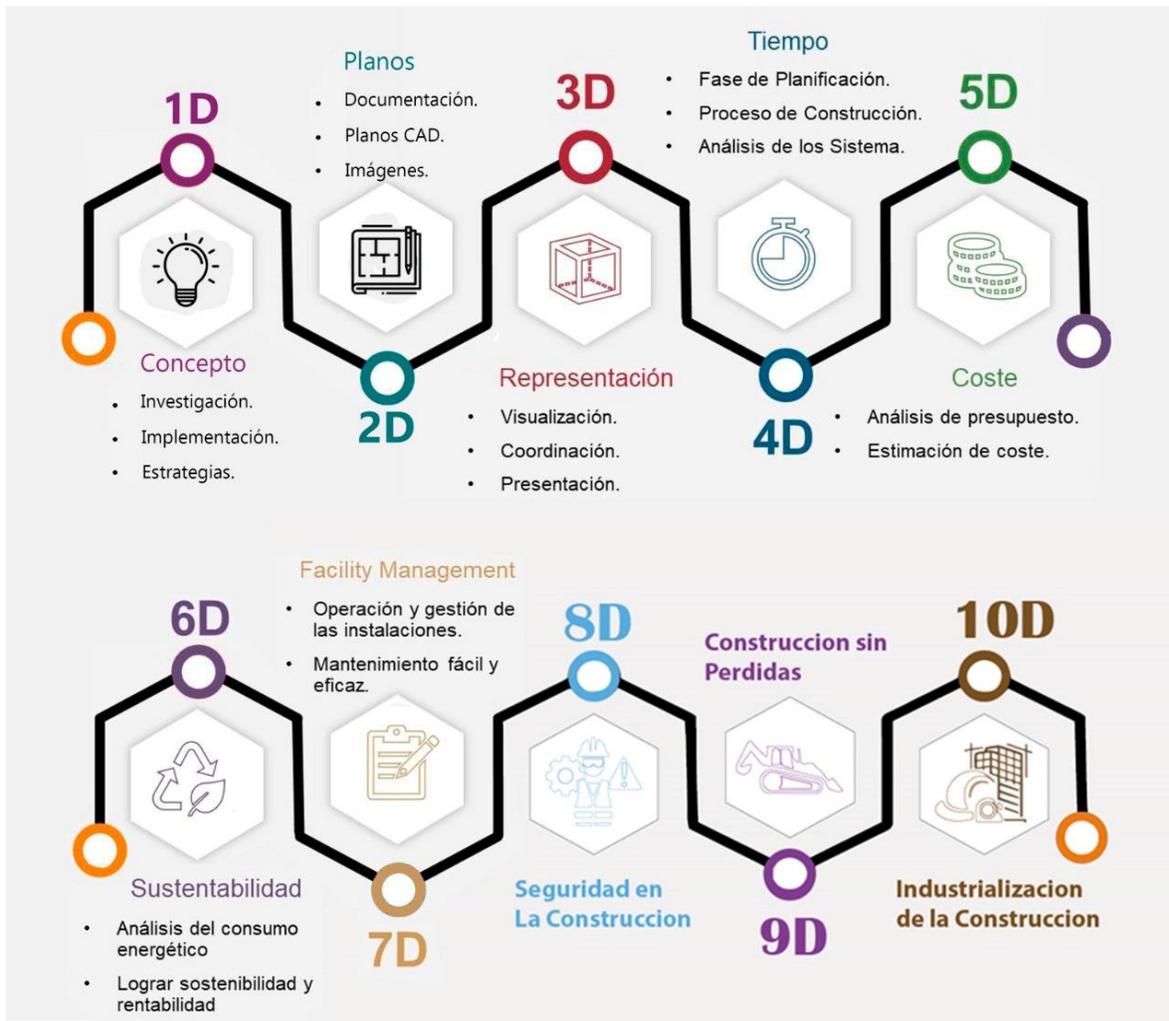
Las dimensiones BIM se refieren a los diferentes niveles de información de un modelo BIM:

- 1D: Concepto (Diseño conceptual)
- 2D: Planos
- 3D: Representación (Modelado tridimensional)
- 4D: Tiempo (Gestión de la programación)
- 5D: Coste (Gestión de la información económica)
- 6D: Sustentabilidad (Evaluación de la sostenibilidad, social, económica y ambiental)
- 7D: Facility management (Gestión)

Además de las 7 dimensiones estándar, ahora hay un debate abierto sobre las tres «nuevas dimensiones del BIM»:

- 8D – Seguridad en la construcción (Seguridad en la fase de diseño y ejecución del proyecto)
- 9D – Construcción sin pérdidas
- 10D – Industrialización de la construcción.

Ilustración 1 Las dimensiones del BIM



Fuente; Las dimensiones del BIM (Rosole & IRPINO, 2018)

3.1.1. Concepto (Diseño Conceptual)

El proceso BIM se inicia en la fase conceptual, donde se modelan las propuestas sobre la concepción que se tiene sobre la infraestructura futura, generalmente se concibe junto con los propietarios o directivos para desarrollar la idea del proyecto en base a sus necesidades y estudios, se observan espacios, áreas, formas y entorno. Este tipo de modelos ayudan en la toma de decisiones ya que es una gran

herramienta visual, al mismo momento que la idea del proyecto comienza a tener una base, puesto que este modelo 3D, se convierte en información sobre la cual se trabajará en fases posteriores.

3.1.2. Planos

Corresponde al conjunto de planos, bocetos o dibujos bidimensionales que hasta la aparición del BIM constituían los documentos constructivos de base para la ejecución de los proyectos, en conjunto con otros documentos complementarios o especificaciones técnicas. Hoy en día estos planos pueden considerarse el sustento de los modelos tridimensionales o servir como guía para su desarrollo.

El análisis y diseño estructural se parte de la información recabada en el modelo de diseño detallado (predimensionado), para que a partir de esto se incorporen los aspectos relacionados con la idealización del comportamiento estructural de la edificación, se consideran las acciones y sus combinaciones a las que se someterá la estructura en base a su probabilidad de ocurrencia, tomando en cuenta también el tipo de análisis aplicable a cada caso particular, para con ello determinar elementos mecánicos, esfuerzos y deformaciones que son la base para el diseño estructural, realizando en su caso las modificaciones necesarias al modelo, para obtener una estructura optima, que cumpla con los parámetros de funcionalidad, seguridad y economía requeridos, teniendo en cuenta siempre, la reglamentación de acuerdo al lugar y a las especificaciones del proyecto. En esta parte del proceso BIM, se realimenta el modelo general para efectuar en él sus modificaciones pertinentes, resultado del análisis y diseño estructural, que finalmente redundará en la definición de secciones transversales definitivas de elementos de concreto, sus armados de refuerzo, perfiles estructurales metálicos, etc. Posteriormente, en esta misma etapa, se incorporan los sistemas mecánicos, eléctricos y de saneamiento, agregando también los detalles arquitectónicos y de acabados, para tener por último

la revisión de posibles obstrucciones en intersecciones de la estructura con las instalaciones y completar el modelo.

3.1.3. Representación (Modelado Tridimensional).

El modelado tridimensional 3D es la primera de las dimensiones BIM que permite a los profesionales visualizar el modelo digital de la construcción en tres dimensiones.

Teniendo como base el bosquejo del modelo 3D, en esta etapa, se definen de forma más precisa las dimensiones de la edificación, se especifican materiales, en sí, se define la arquitectura del proyecto conforme a las normas establecidas, se da el predimensionamiento estructural y se definen las instalaciones electromecánicas. El modelo tridimensional ya no es solo información geométrica, puesto que el modelo, no está compuesto solo por líneas como usualmente es en los sistemas tradicionales, en este caso son elementos estructurales como losas, columnas, vigas, muros, paneles, cimentaciones, etc. El modelo ahora contiene también información sobre los materiales, el tipo de función, propiedades, dimensiones, clasificación, con estas características a este nivel, se pueden realizar estimados someros sobre volúmenes, costos, tiempos de ejecución. De este modelo puede obtenerse una visualización más detallada de la edificación, tener una idea más clara de los espacios, en sí, una visión real de lo será el proyecto, y en caso necesario realizar las modificaciones pertinentes (Murcio Juárez, 2013).

Muchas veces nos limitamos a pensar en el BIM solo como el modelado geométrico que nos permite aumentar el detalle gráfico del diseño, pero no es solo eso.

La posibilidad de desarrollar un modelo digital del proyecto permite anticipar muchos análisis de verificación a la fase de diseño que, con los métodos de diseño tradicionales, solo se realizaban en la fase ejecutiva.

El modelo BIM se enriquece con nuevos datos e información de las diferentes disciplinas.

Entonces, nace la necesidad de gestionar la actividad conocida como “*model checking*” que esta formalizada en dos actividades diferentes:

- El code checking, es decir la evaluación de la conexión del modelo con las peticiones de diseño y las normativas.
- La clash detection, o sea el análisis preventivo de los conflictos geométricos (y no) del modelo.

Las ventajas de utilizar el software BIM 3D para arquitectos, ingenieros y geómetras son:

- Una visualización más detallada y precisa de todo el proyecto;
- Una mejor colaboración entre equipos multidisciplinares;
- Eliminación de errores, duplicaciones e interferencias, gracias a la actualización del modelo en tiempo real;
- Optimización del tiempo y los costes. (Rosole & IRPINO, 2018)

En el proceso BIM se contempla la generación de la información de salida que se obtiene del modelo de información para la edificación, la cual se obtiene de manera instantánea y coordinada, puesto que toda la información viene de una sola fuente, siendo su manipulación muy sencilla, pudiendo de ella obtener planos, especificaciones para fabricantes, cuantificación de obra, programa de obra, plan de secuencia de montaje, paseos virtuales realistas, diseño de maquetas e informes sobre los cálculos realizados y en sí, todo lo necesario para la correcta ejecución coordinada del proyecto

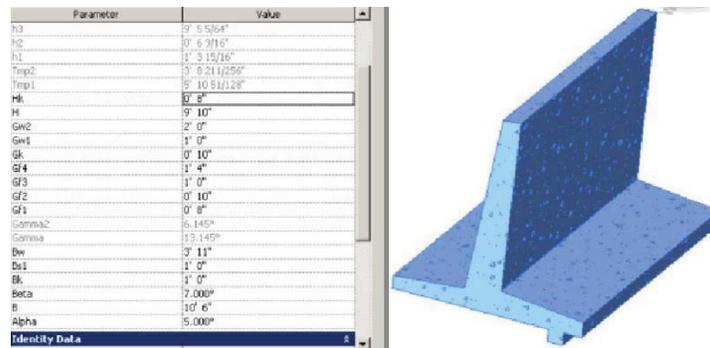
Ilustración 2 Documentación tipo



Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

En el proceso BIM, la documentación generada permite la prefabricación de muchas piezas de la edificación. Esto es posible al tener en cuenta que con esta plataforma se pueden evitar conflictos en la construcción, ya que el modelo maneja un carácter de contemplación real, corrigiendo a tiempo posibles interferencias, ya sea físicas, como temporales, con lo cual se puede crear un plan de pedidos de fabricación, minimizando desperdicios y posibles atrasos en entregas (Murcio Juárez, 2013).

Ilustración 3 Prefabricado



Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

3.1.4. Tiempo (Gestión de la programación)

El concepto 4D se refieren a la introducción de los factores tiempo, que al tener toda la información disponible, permite crear una simulación de construcción conforme a una ruta crítica, visualizando el proceso de construcción y con ello también ir conociendo cual es la cantidad de insumos o recursos necesarios a aplicar en cada momento, con lo cual se puede establecer un plan de financiamiento adecuado con el tiempo y avance de la construcción, con el fin de evitar contratiempos, costos extras, o falta de capital (Murcio Juárez, 2013).

Es el tiempo de ejecución de los procesos constructivos. Las herramientas de software enfocadas en la fase de planificación BIM 4D permiten, a partir del modelo definitivo y aplicando técnicas de gestión de proyectos, establecer el cronograma de acción, simular el flujo de la ejecución, organizar el trabajo para optimizar los rendimientos en obra e incluso identificar prioridades dentro de la estructura desagregada de trabajo (WBS) para garantizar resultados más eficientes y seguros, afectando directamente los costos globales de la obra.

El 4D BIM (la cuarta dimensión del BIM) es la organización de las actividades relacionadas con el tiempo del modelo y para extraer y visualizar el progreso de las actividades durante el ciclo de vida del proyecto.

Los métodos tradicionales utilizados en la construcción (diagrama de Gantt y Pert, etc.) tiene algunos límites y problemas:

- La pérdida de información en la transmisión de datos entre el diseñador y la empresa
- La falta de comunicación entre el jefe de obra y los proveedores
- La llegada a tiempo y la organización adecuada de los materiales en la obra
- El estado de ejecución de la obra.

Estas son sólo algunas de las razones de los retrasos e incumplimiento con la consecuente necesidad de revisar lo que se había planificado hasta entonces.

Para evitar estos problemas es recomendable construir una “WBS – Work Breakdown Structure”, que permite reorganizar los tiempos de un trabajo de forma dinámica.

El proyecto se descompone en partes elementales especialmente diseñadas para conectarse con lo modelado. De esta manera es posible ver fácilmente el progreso del trabajo (cronograma de trabajo). Con el software BIM project management (BIM 4D), los datos se vinculan a la representación gráfica de los componentes y se facilita la consulta y comprensión de la información del proyecto por parte del project manager, lo que supone una serie de ventajas, entre ellas:

- Una coordinación eficaz entre arquitectos, contratistas y equipos;
- Detección precoz de conflictos;
- La gestión de la información sobre el estado de la construcción y la visualización del impacto de los cambios a lo largo del ciclo de vida. (Rosole & IRPINO, 2018)

3.1.5. Coste (Gestión de la información económica)

Esta fase comprende el análisis y estimación de los costes del proyecto, además de su control a medida que este avance o se vea modificado. Al integrar BIM información detallada de cada una de los elementos integrantes, es relativamente sencillo generar informes presupuestarios en cualquier momento de la vida de la infraestructura.

Gracias al software BIM 5D específico para el «Quantity Take Off» es posible crear un enlace directo entre los elementos del modelo digital, el cálculo de las cantidades y la estimación de los costes.

Para los aparejadores, el uso de esta tecnología tiene muchas ventajas, entre ellas:

- Determina una mayor precisión y previsibilidad de las estimaciones de los costes del proyecto, variaciones en cantidades, materiales, equipos y mano de obra.
- Proporciona métodos para la extracción y análisis de costos y métodos para la evaluación de diferentes escenarios
- Permite ver el progreso de las actividades y los costos relacionados a lo largo del tiempo (BIM 4D)
- Recuento automático de los componentes asociados a un proyecto
- Análisis de costes simplificado y análisis presupuestario con gastos previstos y reales a lo largo del tiempo. (Rosole & IRPINO, 2018)

Utilizando también la metodología BIM, es posible llevar un control de la planeación y seguimiento de la construcción, para que la obra se mantenga dentro de los tiempos requeridos, los montos presupuestados y con la calidad necesaria, así como el control de entrega de insumos, la disposición adecuada de los frentes de trabajo, para que con todo ello se pueda obtener un flujo constante y ordenado de trabajo.

Al disponerse de esta información en el modelo, se puede conocer en todo momento cual es el estado de la obra, su avance, la ubicación de la maquinaria y equipos especiales, cuales son los estados de los pedidos y en sí, llevar el control de la obra en tiempo y costo, conociendo todos los factores que inciden en ella, con el fin de evitar conflictos o sorpresas.

3.1.6. Sustentabilidad (Evaluación de la sostenibilidad, social, económica y ambiental)

BIM está asociado con la eficiencia energética y el desarrollo sostenible de un edificio nuevo o existente.

El concepto de sostenibilidad se puede examinar desde tres puntos de vista diferentes, de hecho, hablamos de sostenibilidad:

- Ambiental, en términos de la capacidad de reproducir y mantener los recursos naturales
- Económica, entendido como el derecho a generar ingresos y trabajo
- Social, como generadora de bienestar para el hombre.

La simulación 6D BIM permite un análisis exhaustivo en términos de sostenibilidad (económica, ambiental, energética, etc.) de la intervención.

El análisis del comportamiento energético desde la fase de diseño proporciona al proyectista las soluciones técnicas más adecuadas a adoptar para asegurar un menor consumo energético, mayor calidad y confort, garantizando así la sostenibilidad del proyecto.

Utilizando un software de análisis y simulación energética dinámica (BIM 6D), el ingeniero puede aprovechar numerosas ventajas como:

- La posibilidad de evaluar diferentes soluciones de forma rápida y precisa;
- Análisis detallado del impacto de las diferentes soluciones en los aspectos económicos y operativos durante todo el ciclo de vida de la obra;
- Una gestión más consciente y planificada del flujo de inversión en el activo.

3.1.7. Facility management (Gestión)

La gestión operativa y el mantenimiento del edificio y sus componentes a lo largo del ciclo de vida.

Cuando hablamos del ciclo de vida, no podemos obviar los aspectos de mantenimiento y clausura o renovación de la edificación.

El software 7D BIM extrae y realiza un seguimiento de todos los datos relacionados con los componentes, especificaciones, manuales de mantenimiento e instalación, garantías, etc.

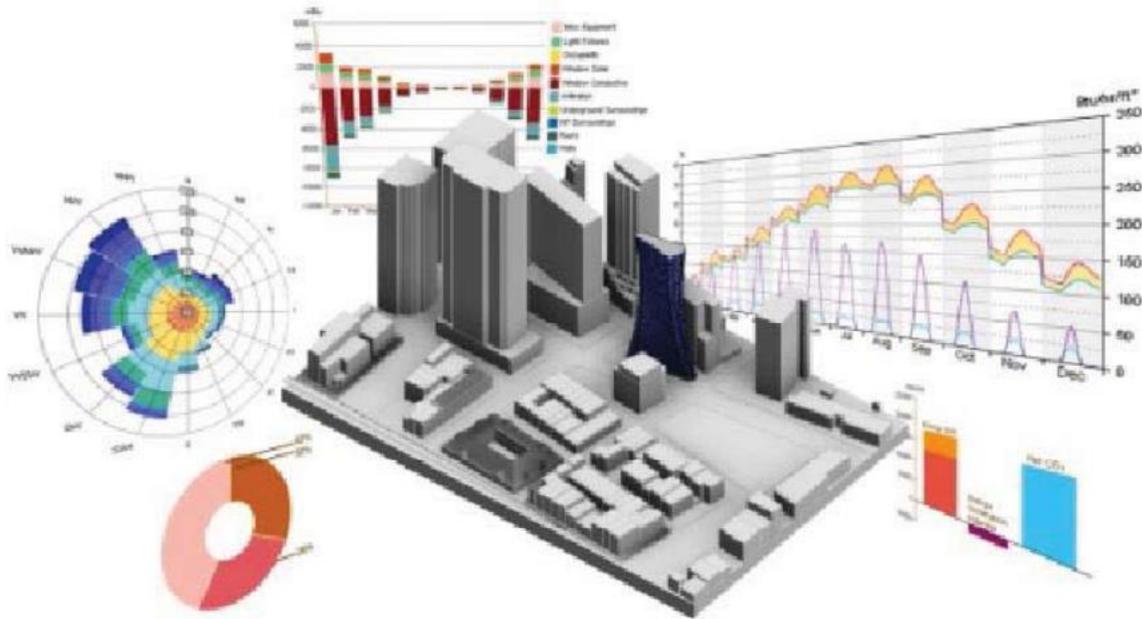
Gracias a esta tecnología es posible optimizar la gestión operativa del edificio durante todo el ciclo de vida. Con un software BIM 7D el facility manager puede:

- Gestionar fácil y eficazmente los activos, la sustitución y el mantenimiento de las piezas
- Facilitar las auditorías y garantizar la eficiencia, la seguridad y el cumplimiento de las normas de construcción a lo largo de su ciclo de vida
- Optimizar recursos y costes de mantenimiento gracias a sistemas de monitorización continuos y actualizados (Rosole & IRPINO, 2018)

De acuerdo con el uso o servicio para el cual fue diseñada la edificación, a partir de la información disponible en el modelo BIM, se puede supervisar su correcto funcionamiento y mantener en óptimas condiciones los edificios, las estructuras, las obras de ingeniería civil, los equipos y la maquinaria de plantas industriales. Lo anterior proporcionando el mantenimiento apropiado, para asegurar una disponibilidad total de las instalaciones, reducir los costos por averías, disminuir el gasto por nuevos equipos, así como maximizar su vida. Al contener esta información en el modelo, se podrá tener un programa detallado de operación y mantenimiento, que nos permita llevar a cabo esta función de la mejor manera, así como tener

identificados y monitoreados, los puntos delicados para operación, en donde se tendría que poner especial atención.

Ilustración 4 Operación y Mantenimiento



Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

3.1.8. Construcción sin pérdidas

Al pasar del tiempo, algunas necesidades de la edificación pueden cambiar, sin haber agotado aun su vida útil, debido tal vez a una ampliación, a un cambio de maquinaria, aplicación de nuevas tecnologías, etc. Con la aplicación del modelo BIM, el estado de la infraestructura se conoce en todo momento, dado que toda esta información se tiene en el modelo de información, lo cual permite proyectar cualquier modificación de una manera expedita, integrando un nuevo proyecto en un modelo donde se retomarán las fases de diseño, construcción y operación (Murcio Juárez, 2013).

Ilustración 5 Ampliación.



Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

Estas fases de modelaje BIM deben tener una secuencia lógica, pero no necesariamente introducidas al modelo en una forma rígida, dado que la metodología BIM al tener un modelo central, puede adquirir o aportar información en cualquier momento a lo largo de la vida del proyecto, con lo cual ofrece gran flexibilidad y dinamismo para modificaciones al proyecto.

La plataforma tecnológica sobre la cual trabaja BIM, es un conjunto de programas de software que interaccionan entre sí. De forma comercial existen varios proveedores que ofrecen esta plataforma, como son Autodesk, Bentley, Tekla, Digital Project, Structure Works, entre otros.

La exposición de esta tecnología de modelaje, en esta tesis, se restringirá hasta la fase de diseño estructural y se ejemplificará su uso mediante la utilización de la plataforma comercial de Autodesk.

En el presente trabajo, por tanto, se mostrará el proceso innovador BIM, diseñando un canal de entrada de una estructura de control, en un proyecto hidráulico, cuya geometría fue determinada mediante el estudio de su funcionalidad hidráulica.

El enfoque principal se dará a los conceptos involucrados en el modelado, análisis y diseño estructural, así como la salida y presentación de la información, sin referirse a los métodos y programas de construcción y operación.

Añade información relacionada con la seguridad al modelo geométrico. Añadiendo esta información al modelo, es posible predecir los riesgos en el proceso de construcción e identificar las actividades que deben aplicarse para mejorar la seguridad en el trabajo y prevenir los accidentes.

Con el BIM 8D es posible visualizar la obra antes de su construcción, lo que facilita y hace más eficaz el análisis de todos los escenarios posibles para prevenir riesgos y criticidades.

Las principales ventajas de utilizar un software BIM de gestión de obras (8D BIM) para el responsable de seguridad son:

- Tener una imagen completa de los escenarios de la construcción;
- Elaborar planes de seguridad detallados y actualizados; identificar y analizar con precisión las opciones de diseño de seguridad más adecuadas;
- Prevenir los riesgos interviniendo en las opciones de diseño que puedan generar posibles peligros;
- Visualizar la obra digital en 3D;
- Formar a los trabajadores utilizando la realidad virtual;
- Reducir el riesgo de accidentes. (Rosole & IRPINO, 2018)

3.1.9. Seguridad en la construcción (Seguridad en la fase de diseño y ejecución del proyecto)

La construcción ajustada es un enfoque que permite una gestión eficaz de los recursos y que implica el control del uso de las materias primas para minimizar la incidencia de los residuos. Mediante la supervisión constante de estos recursos, se pueden crear estrategias para convertir eficazmente lo que serían residuos, fragmentos de material o piezas impares en algo que agrega valor al conjunto.

Permite optimizar y agilizar todos los pasos de la fase de construcción de un proyecto, mediante la digitalización de los procesos.

Con un BIM management system también es posible gestionar eficazmente la dimensión BIM 9D, lo que permite al responsable del proyecto de:

- Aprovechar al máximo los materiales;
- Mantener el proyecto de construcción dentro de los plazos y presupuesto previsto. (Rosole & IRPINO, 2018)

3.1.10. Industrialización de la construcción.

Industrializar y hacer más productivo el sector de la construcción gracias a las nuevas tecnologías y a la integración de datos físicos, comerciales y medioambientales, entre otros.

Es posible alcanzar el objetivo del BIM 10D mediante el uso de herramientas para la digitalización de la construcción civil como el BIM management system, que permite alinear a todos los actores implicados en el ciclo de vida de la construcción y optimizar cada fase. (Rosole & IRPINO, 2018)

Las ventajas del BIM 10D para el project manager son:

- Reducción del tiempo de construcción de las envolventes de los edificios;

- Optimización de los costes de la construcción;
- Mejora y aplicación de la seguridad laboral;
- Aumento de la calidad de la construcción gracias a la infraestructura digital de última generación;
- Control preciso en cada fase de la producción de cada elemento individual mediante procesos avanzados, codificados y estandarizados;
- Ninguna dependencia de las condiciones meteorológicas que puedan afectar a las actividades de la construcción.

3.2. Modelaje de la estructura.

3.2.1. Proceso de Modelaje de un Sistema Estructural.

El fin que tiene la edificación de una estructura es satisfacer una necesidad social, la cual puede ser tan diversa, como crear vías de comunicación, proveer casas habitación, edificios de oficinas y comercios, instalaciones industriales, etc., que redundan siempre en la creación de la infraestructura de un país.

Para satisfacer las necesidades específicas que pueden tener las edificaciones como pueden ser casas, edificios de oficinas, escuelas, almacenes, hospitales, puentes, caminos, presas, puertos, aeropuertos, industria, etc., se debe elegir entre las diversas formas, materiales y sistemas estructurales que pudieran emplearse, aquellas que se adapten de mejor manera a la naturaleza y destino de la edificación, como ejemplo podemos citar un puente que busca librar un claro determinado, en un sitio particular con las condiciones existentes de topografía y geología, cubriendo una función específica, como puede ser paso para peatones, vehículos, acueductos u otros, lo cual debe tomarse en consideración para la selección de la geometría y sistema estructural que se seleccione (Murcio Juárez, 2013).

En la concepción de la edificación, al seleccionar el material, sistema y forma estructural a emplear, hay que tener en cuenta, adicionalmente a los aspectos de resistencia y funcionalidad, aspectos de la economía, el tiempo de construcción, el medio ambiente y la constructibilidad. En la economía, se tiene que considerar, por tanto, a la hora de plantear el sistema estructural del proyecto, que éste responda a la funcionalidad y seguridad al menor costo posible, tomando en cuenta para esto, aspectos tales como el tiempo de construcción requerido para la entrada en operación de la obra, las condiciones climatológicas del sitio, que puedan implicar costos importantes adicionales por requerimientos de mantenimiento de la estructura durante la vida útil de la misma, así como la complejidad y costo de los sistemas constructivos planteados para el desarrollo de la obra, incluyendo ubicación de obras temporales de construcción, como son los necesarios para plantas de concreto, trituradoras de materiales, bancos de almacenamiento de agregados, los accesos de construcción, accesos a bancos de materiales y accesos definitivos entre otros.

3.2.2. Modelo Estructural Conceptual.

Una vez que se ha conceptualizado la edificación, con una forma geométrica general del proyecto, tomando en cuenta sus consideraciones estéticas, espaciales y de orientación, habiendo elegido el arreglo de elementos estructurales para conformar el sistema estructural principal que regirá a la edificación y su comportamiento, se dispone del modelo estructural conceptual del proyecto.

El sistema estructural, por su comportamiento mecánico estructural, puede incluir elementos que trabajen a tensión o compresión simple, elementos que trabajan a flexión, a cortante, a torsión o una combinación de estos. Dependiendo del trabajo estructural de la edificación se buscará la alternativa de estructuración que mejor satisfaga los requerimientos del trabajo a la cual se verá sometida (Murcio Juárez, 2013).

Las características mecánicas estructurales más importantes con que debe cumplir el sistema estructural asignado a una edificación son: resistencia, rigidez y ductilidad. Esto con el fin de que la elección de la configuración de los elementos del sistema estructural resista las diversas condiciones de cargas que se presenten, tenga la rigidez suficiente en las direcciones en que estas actúan como pueden ser tanto horizontales como verticales, para cumplir con límites de servicio y que a la falla la estructura presente ductilidad en su conjunto, para evitar que se presente un colapso brusco.

Para tener un modelo estructural conceptual completo se requiere definir el pre dimensionamiento de los elementos del sistema estructural adoptado con el material seleccionado, para disponer de las primeras dimensiones de los elementos estructurales, los cuales nos servirán de base, para llevar a cabo el proceso de análisis y diseño estructural, y de este proceso iterativo, determinar mediante cálculos, las secciones definitivas que resistan satisfactoriamente los esfuerzos inducidos por las acciones y cumplan con los límites de servicio establecidos para estructura. Muchas veces el pre dimensionamiento se hace en base a la experiencia que adquiere el ingeniero a través del tiempo, pero cuando se carece de ella, existen algunas sugerencias generales de algunos criterios de diseño sencillos, que pueden servir de apoyo para realizar el dimensionado previo.

3.2.3. Modelaje Computacional de la Estructura.

Para representar el modelo conceptual de la estructura en la plataforma BIM, se procede a seleccionar las herramientas computacionales a aplicar, las cuales incluyen los elementos estructurales disponibles, sus propiedades dimensionales y físicas, incluyendo la discretización utilizada para los elementos por medio de definiciones de mallas, las condiciones de apoyo, las propiedades mecánicas de los materiales asignados, las cargas a introducir y sus combinaciones.

De acuerdo con lo señalado, a continuación, se menciona de manera genérica la descripción de la potencialidad y variedad de las herramientas disponibles para la realización del modelaje computacional de los elementos estructurales, dejando para el siguiente capítulo la discusión del modelaje de las acciones a aplicar.

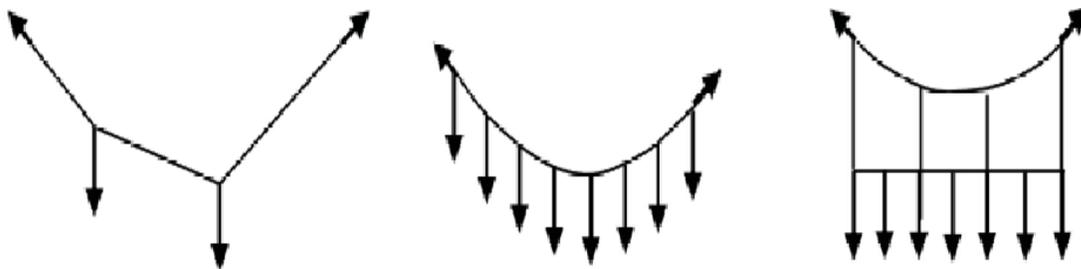
3.2.3.1. Elementos Estructurales más Comunes.

De acuerdo con su comportamiento mecánico, los elementos estructurales disponibles para modelar el sistema estructural en la mayoría de los programas de cómputo disponibles se pueden agrupar en los elementos siguientes, cuyas características principales se describen de manera genérica:

3.2.3.1.1. Cable

Solo soporta las cargas por esfuerzos de tensión a lo largo del elemento, no posee rigidez para soportar esfuerzos de flexión, compresión o cortantes, la forma que adopta depende de las cargas que le son aplicadas, de polígono funicular si son cargas concentradas, de parábola cuando es sometido a una carga distribuida, y de catenaria que es la forma que adopta para la influencia de su propio peso (Murcio Juárez, 2013).

Ilustración 6 Formas adoptadas por los cables debido a las cargas

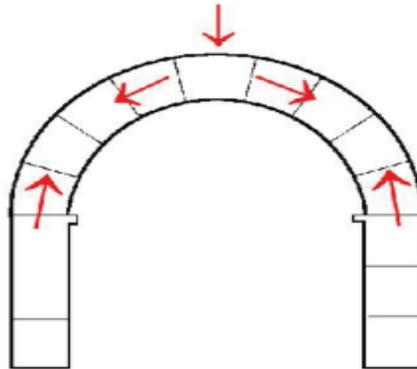


Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

3.2.3.1.2. Arco

Sus esfuerzos principales son a compresión, su comportamiento es similar a un cable invertido, aunque este puede poseer rigidez adicional, para resistencia a flexión y cortante.

Ilustración 7 Arco en compresión

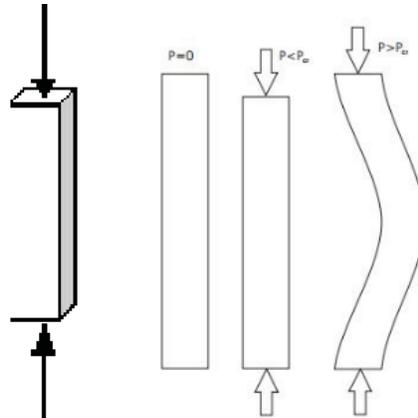


Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

3.2.3.1.3. Columna

Es un elemento estructural comúnmente vertical que soporta y transmite las cargas de la edificación, principalmente sus esfuerzos son axiales de compresión, aunque también pueden ser sometidas a tensión, flexión y cortante con lo cual presenta una combinación de los esfuerzos llamada de flexocompresión o flexotensión. Su resistencia puede verse afectada por efectos de su geometría, donde se relacionan sus dimensiones transversales con la dimensión longitudinal, a esto se le denomina esbeltez, la cual debe tenerse en cuenta ya que su forma de falla depende de este efecto. Se le denomina columna corta cuando su falla es por aplastamiento y se presenta en columnas que no son esbeltas, la falla por pandeo se presenta en columnas largas donde se caracteriza por presentar una esbeltez mayor, por último, se le denomina columna intermedia cuando se presenta una combinación de falla por esbeltez y pandeo

Ilustración 8 Columna con carga axial y efectos de esbeltez

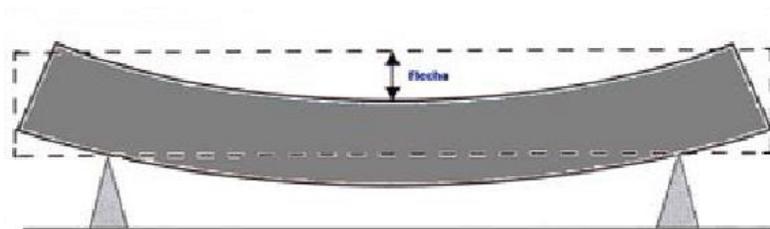


Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

3.2.3.1.4. Viga

Su geometría es parecida a la columna donde dos de sus dimensiones son menores a comparación de la tercera, pero en este caso las cargas actúan en sentido perpendicular a su dimensión más grande. El elemento es sometido principalmente a esfuerzos internos de flexión y cortante. Su resistencia depende principalmente de su sección transversal, que determina su área e inercia, la flexión es afectada directamente por la inercia, y el cortante indirectamente por el área. Los claros que puede librar dependen también de su sección transversal y del material de la viga (Murcio Juárez, 2013).

Ilustración 9 Viga con carga uniformemente distribuida.

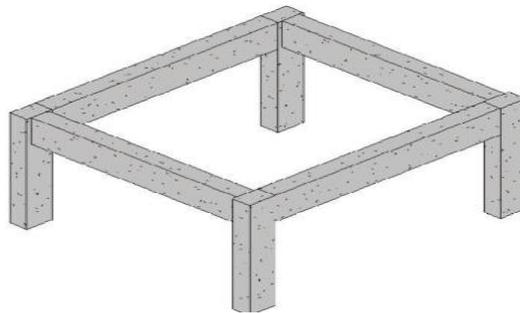


Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

3.2.3.1.5. Marcos

Es un sistema formado por la combinación de elementos viga y columna, su estabilidad está determinada por la rigidez de sus uniones, ya que de ello depende la transferencia de los momentos flexionantes entre sus miembros. Bajo acciones verticales, los elementos del marco son sometidos a esfuerzos de compresión y flexión, donde los primeros predominan en las columnas y los segundos en las vigas, considerando proporciones usuales. Los marcos pueden ser planos o espaciales, una serie de estos marcos, paralelos entre sí y unidos por vigas horizontales, constituye la estructura tipo esqueleto que encontramos hoy en la mayoría de los edificios de acero o de concreto armado, donde las columnas pueden considerarse parte de dos marcos perpendiculares entre sí.

Ilustración 10 Marco tridimensional.



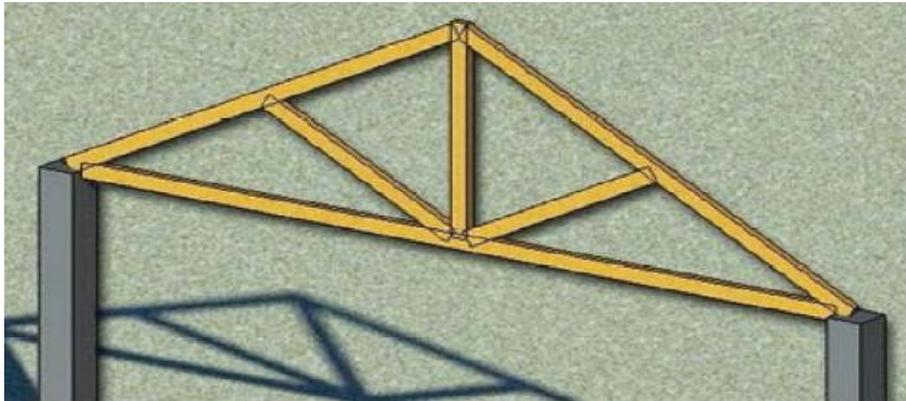
Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

3.2.3.1.6. Armaduras

Es un sistema estructural compuesto por elementos barra unidos en sus extremos con articulaciones para formar un armazón, a estas uniones se les denomina nodos. Sus elementos lineales son sometidos por tanto solo a esfuerzos axiales, ya sea en compresión o tensión. Las cargas se aplican en sus nudos. La armadura es uno de los principales tipos de estructuras empleados en ingeniería, ya que proporciona

una solución práctica y económica debido a su ligereza del peso y gran resistencia (Murcio Juárez, 2013).

Ilustración 11 Armadura estructural.

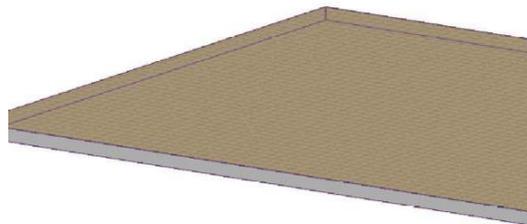


Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

3.2.3.1.7. Losa o placa horizontal

Es un elemento estructural monolítico plano con un espesor relativamente pequeño con respecto a sus otras dos dimensiones, transmiten las acciones recibidas sobre su plano, hacia los apoyos en una o dos direcciones. Sus esfuerzos principales son de flexión. Su resistencia a la flexión es parecida a una viga, solo que en dos dimensiones.

Ilustración 12 Losa estructural.



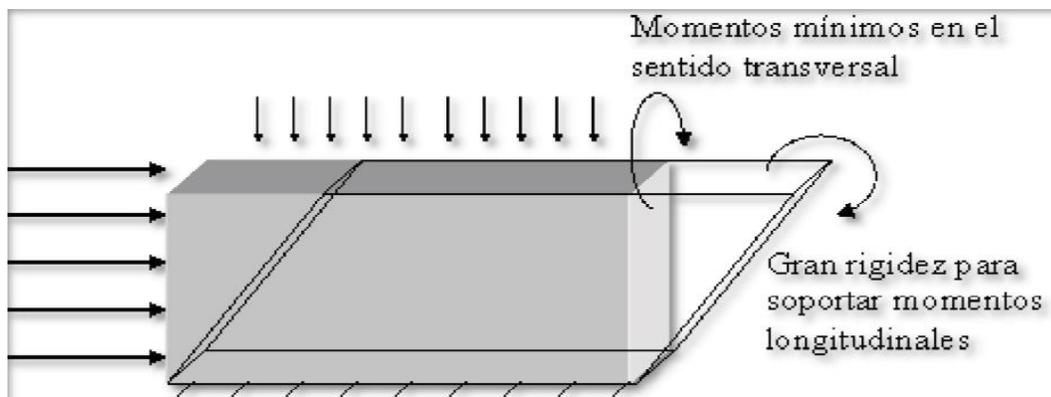
Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

3.2.3.1.8. Muros.

Es una placa vertical, donde dos de sus dimensiones son más grandes que la tercera. Hay varios tipos de muros que se diferencian por las acciones a las que son sometidos, y al comportamiento estructural que presentan.

- **Muro de carga.** - Predominan las cargas verticales distribuidas en su longitud, por lo cual sus esfuerzos principales son a compresión, pero debido a su poco espesor es susceptible a momentos flexionantes debidos a excentricidades, lo que reducen su resistencia. Este elemento puede también ser afectado por efectos de esbeltez.
- **Muro panel.** - Sujeto a cargas laterales, aprovecha su gran peralte que ofrece gran rigidez a este tipo de acciones limitando las deflexiones horizontales.
- **Muro diafragma.** - Es un muro albergado en un marco, rigidizándolo ante cargas aplicadas sobre su plano, sus esfuerzos son principalmente cortantes en el plano, actúa semejante a barras diagonales de arriostramiento.
- **Muro con cargas normales a su plano.** - su comportamiento es como el de una losa, sus esfuerzos principales son de flexión. Usualmente utilizados en tanques, depósitos y muros de contención.

Ilustración 13 Muro bajo diversas acciones que definen su comportamiento

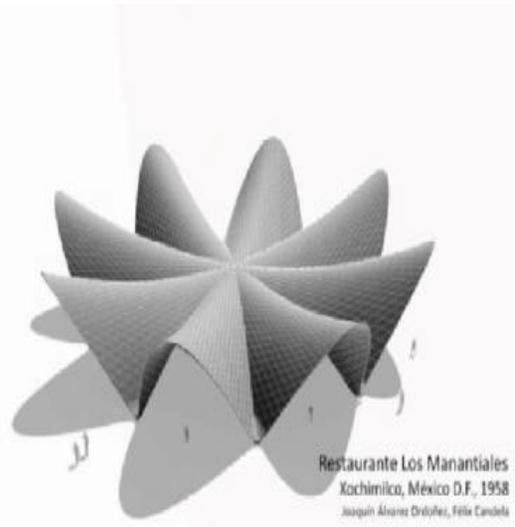


Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

Una placa que actúa como viga con flexión en su plano se denomina ménsula. La diferencia con respecto a una viga normal es que tiene, una baja relación claro-peralte (menor de cuatro), por lo que las deformaciones de cortante predominan sobre las de flexión y la hipótesis de secciones planas no se cumple. Se trata de elementos de alta rigidez que se emplean especialmente cuando es necesario transferir grandes cargas concentradas de una a otra posición, como en el caso de los soportes de grúas sobre travesaños carril en edificaciones industriales. Además de los problemas de flexión y cortante, los de pandeo pueden regir su diseño.

- **Cascarón.** - Es un elemento estructural tipo placa curva de espesor delgado, que puede trabajar en sus dos direcciones con esfuerzos que pueden ser de compresión, tensión, de cortante, torsión y de flexión, estos se presentan dependiendo de su comportamiento, que está determinado por la forma que tenga el elemento y las acciones que soporta. Algunos cascarones usuales pueden ser las cúpulas, bóvedas cilíndricas, paraboloides hiperbólicos, entre otros.

Ilustración 14 Estructuras tipo cascarón



Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

3.2.3.2. Materiales.

Al plantear el modelo de la estructuración es muy importante la selección del material a emplear en el proyecto, se debe elegir junto con el sistema estructural puesto que los sistemas estructurales tienen asociado el comportamiento del material utilizado. El material define la resistencia, la flexibilidad, la durabilidad entre otras características de la estructura. Conocer las propiedades de los materiales nos permite realizar un análisis más preciso, el cual simule el comportamiento real de la estructura ante sus solicitaciones. Para la selección adecuada del material se deben tener en cuenta sus propiedades mecánicas para satisfacer los requerimientos de seguridad, economía y funcionalidad de la estructura. A continuación, se enuncian algunas de las características mecánicas, físicas y de producción a evaluar para la selección del material más adecuado a utilizar.

- Resistencia.
- Rigidez.
- Dureza.
- Fatiga (Tipo de falla).
- Homogeneidad.
- Densidad.
- Resistencia al fuego.
- Expansión térmica.
- Durabilidad.
- Apariencia.
- Disponibilidad.
- Manejo del material (si requiere mano de obra especializada).

Dentro de los materiales que más frecuentemente se aplican en la construcción de obras de ingeniería civil, se pueden mencionar los siguientes:

3.2.3.2.1. Concreto simple.

Es una mezcla de cemento (o aglomerante), agua , agregados (arena y grava) y aditivos. Puede adoptar muchas formas debido a que se trabaja en estado líquido. Su principal característica es que resiste muy bien los esfuerzos de compresión, pero no presenta buen comportamiento bajo tensión, cortante o flexión. Es un material de bajo costo, resistente a la humedad, fuego, desgastes y de gran durabilidad.

3.2.3.2.2. Acero.

Su uso es muy amplio en las edificaciones, es un material muy versátil en las estructuras, tiene una gran variedad de formas y tipos. Tiene una gran resistencia a los esfuerzos de tensión y compresión y es muy confiable en cuanto su uniformidad en calidad. En sí, tiene muy buen comportamiento en las estructuras, en general posee algunas desventajas que limitan su uso, como es su elevado costo, propenso a la corrosión, rápida absorción de calor. Desde el punto de vista de trabajo estructural, debe revisarse la posibilidad de pandeo, cuando las piezas se encuentran sometidas a compresión, por carga axial o por flexión.

3.2.3.2.3. Concreto reforzado.

Es el material más utilizado en la construcción, ya que utiliza las bondades estructurales del concreto y el acero. Aprovecha en forma muy eficiente las características de buena resistencia en compresión, durabilidad, resistencia al fuego y moldeabilidad del concreto, junto con las de alta resistencia en tensión y ductilidad del acero, para formar un material compuesto, que reúne muchas de las ventajas de ambos materiales. Manejando de manera adecuada la posición y cuantía del refuerzo, se puede lograr un comportamiento dúctil en elementos sujetos a flexión, cortante y carga axial.

3.2.3.2.4. Mampostería.

Ladrillos, bloques de concreto, piedras unidas por medio de cementante. Permite un ahorro en costos y tiempos de ejecución, además de tener una apariencia agradable o estética. Es utilizado en muros que deben soportar cargas verticales y horizontales, y como muros diafragma.

3.2.3.2.5. Madera

Su uso como material estructural es poco común en nuestro país, es un material natural de poco peso. Tiene una resistencia a tensión superior a la de compresión. Es susceptible a cambios en la humedad y ataque de insectos, aunque estas desventajas pueden ser tratadas con medios adecuados de preservación del material.

3.2.4. Condiciones de Apoyo

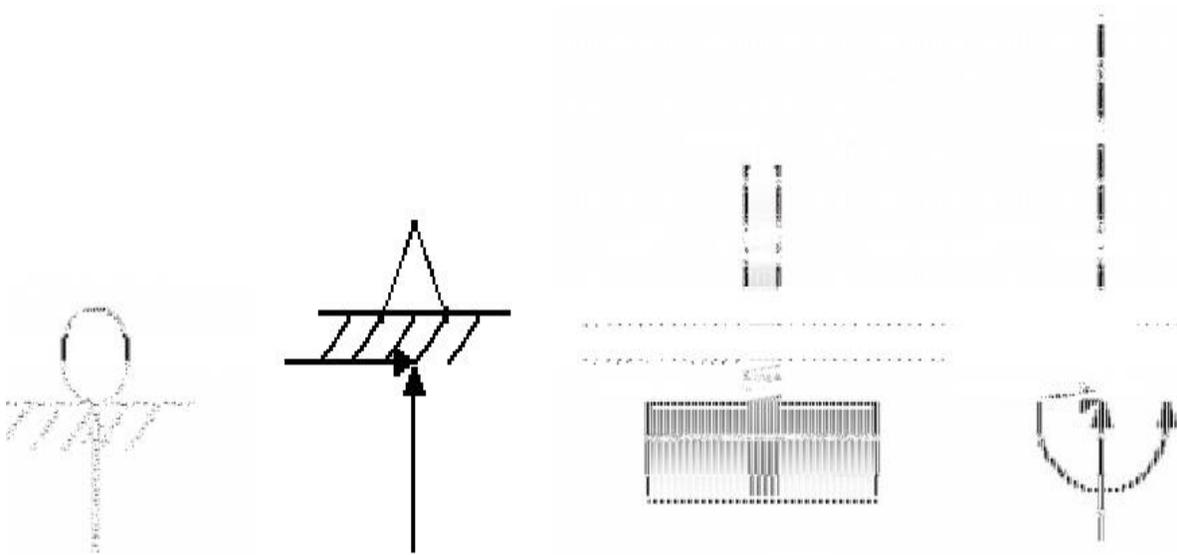
El modelaje de los apoyos o soportes debe buscar simular las condiciones reales sobre las cuales se sustentará la estructura. Por medio de los soportes se transmiten las acciones de la superestructura a la cimentación o el suelo sobre el cual descansa esta, para proporcionar la estabilidad requerida en la edificación. Los tipos de modelos de apoyos más utilizados se proporcionan por los grados de libertad restringidos. Los grados de libertad son seis en el espacio y permiten movimiento de rotación o traslación. Se debe comprender su comportamiento y cómo influyen en la estructura para poder elegir el más adecuado a aplicar en el análisis. Estos apoyos van desde el empotramiento que restringe los seis grados de libertad, por lo cual no permite giros ni desplazamientos, hasta apoyos que solo restringen un grado de libertad como el apoyo simple.

También se cuenta con otras condiciones de apoyo como lo es el flexible, que actúa como un resorte donde la fuerza de reacción es proporcional a la deformación lineal

o angular. Este tipo de apoyo puede simular el proporcionado por un suelo, considerando también que un suelo es un material que no soporta esfuerzos a tensión por lo cual, al presentarse estos esfuerzos, la contribución del resorte debe eliminarse y con ello redistribuir cargas, con lo que se presenta una condición de comportamiento no lineal en el sistema estructural.

En los programas actuales de análisis se presentan también opciones para realizar simulaciones de interacción suelo estructura en las cimentaciones, considerando la estratigrafía y propiedades inherentes a esta en los suelos que subyacen a la cimentación de las edificaciones.

Ilustración 15 Apoyo simple, apoyo con restricción en dos direcciones, y apoyo empotrado, restringe giros y desplazamientos



Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

Apoyos elásticos.

Ilustración 16 Resortes de rigidez lineal y rigidez angular



Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

Las restricciones de apoyos pueden ser definidas como apoyo rígido, apoyo elástico, apoyo con desplazamiento o rotación, apoyo con fricción, apoyo con amortiguamiento, o que el apoyo responda a una función no lineal definida. Con estas características los programas actuales son capaces de simular muchas condiciones reales de cimentación y soporte de estructuras.

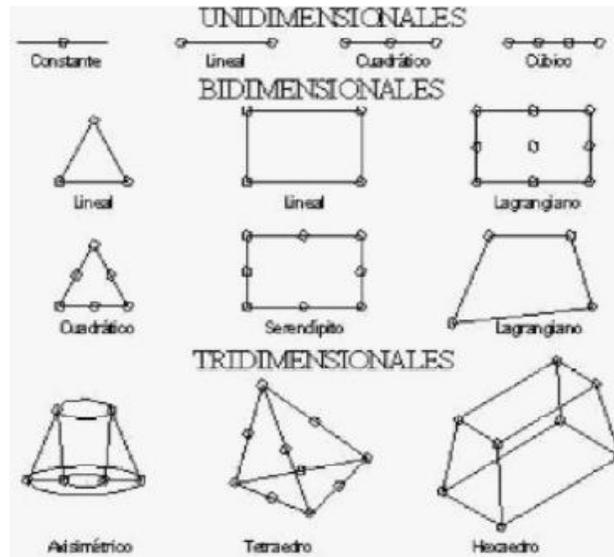
Estos programas generalmente cuentan con un módulo para simulación de suelos, el cual, al introducir los parámetros y propiedades de los materiales, asociados a la estratigrafía del terreno de cimentación, calcula automáticamente el coeficiente k del módulo de reacción del suelo.

Otra forma de poder definir una cimentación en contacto con el suelo es directamente en un elemento tipo losa, en las propiedades del elemento se puede asignar los parámetros de una cimentación elástica o con el módulo de simulación de suelos.

3.2.5. Mallado de Elementos Finitos (MEF).

Para el modelaje de la estructura es necesario discretizarla con elementos que pueden ser unidimensionales, bidimensionales y tridimensionales (objetos barra, superficie y volumen sólido), que se conectan entre sí mediante puntos representativos llamados nodos. Al conjunto de nodos que conforman y unen elementos entre sí, considerando su relación adyacente se le denomina malla.

Ilustración 17 . Elementos finitos.



Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

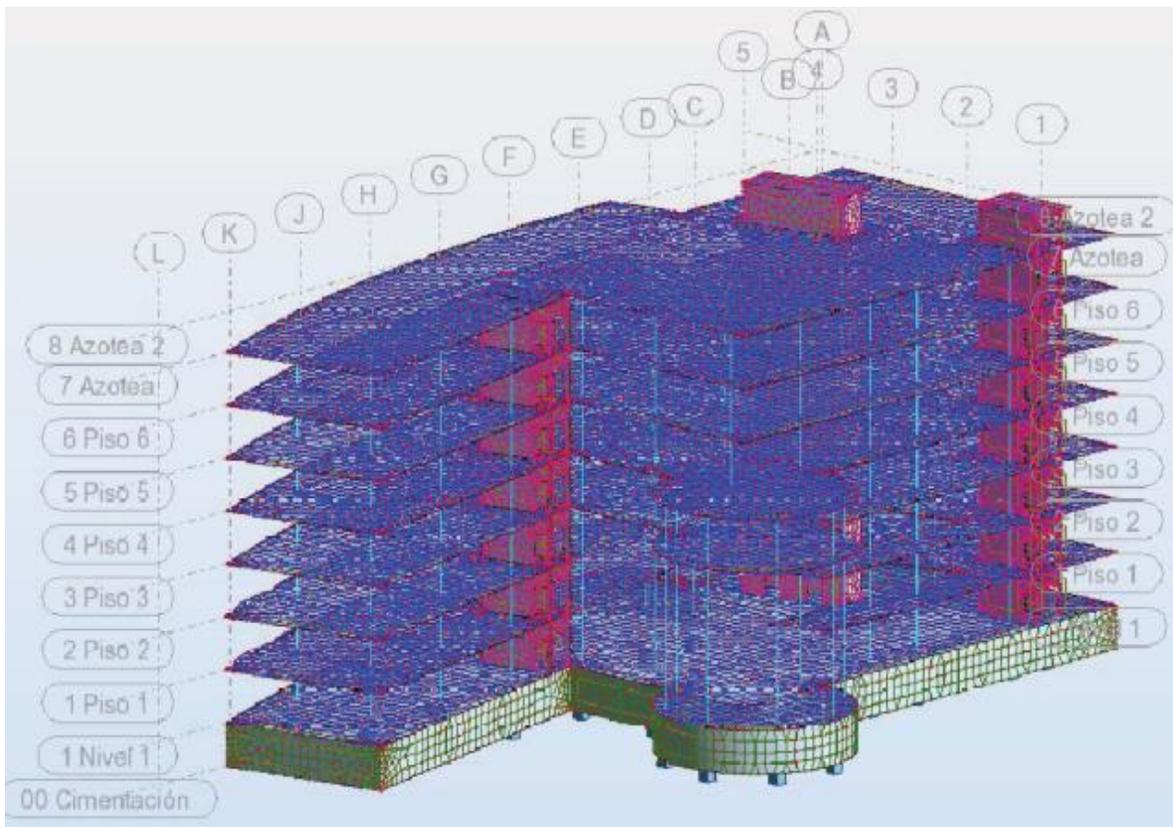
Las mallas contienen a elementos que a su vez cuentan con propiedades físicas, dimensionales y mecánicas de los materiales que componen la estructura, como son espesor, coeficiente de dilatación, densidad, módulo de elasticidad, módulo de cortante, y coeficiente de Poisson.

La importancia de una buena selección de malla radica, en que ésta sea la mínima necesaria para representar con precisión suficiente, el comportamiento estructural de la edificación. Al haber una mayor densidad de elementos en la malla, se tienen mayor número de nodos que son los puntos característicos donde se realizan los cálculos y se obtiene una mejor precisión en resultados. También cabe tomar en cuenta que mientras más nodos se tenga mayor es el tiempo que tardará el programa en obtener los resultados al realiza más operaciones, aunque con las computadoras actuales que disponen de suficiente memoria esto no resulta insalvable, puede resultar innecesario para algunos casos de aplicación. Es necesario mencionar por tanto que la definición de la malla y por ende de la complejidad del modelo deber ser analizada detenidamente, para seleccionar

aquella que se ajuste a modelar adecuadamente el problema físico, con un número razonable de elementos, para con esto obtener resultados de precisión suficiente para el diseño de la estructura.

En el programa Robot, la generación de la malla de nodos puede realizarse automáticamente sobre los elementos estructurales, teniendo la posibilidad de configurar manualmente los parámetros de generación, adecuada al modelaje requerido de la estructura, para obtener la precisión deseada en los resultados, como lo es una mayor precisión de los resultados o tener una mejor apreciación del comportamiento de la estructura en ciertos puntos críticos de la misma.

Ilustración 18 Aplicación del mallado de elementos finitos a un modelo estructural de un edificio



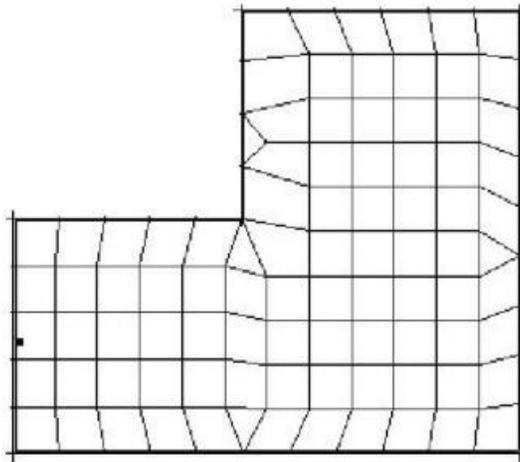
Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

Existen tres opciones disponibles automáticas en el programa Robot, para selección del mallado para modelaje de la estructura, cada una de ella hace ciertas consideraciones para llevar a cabo la generación de la malla.

3.2.5.1. Generación simple de mallado (Coons)

Este método trata de crear una malla un tanto simétrica utilizando elementos triangulares, cuadriláteros y mixtos, este tipo de método es recomendable para elementos estructurales simétricos o con formas regulares poco caprichosas.

Ilustración 19 método Coons.

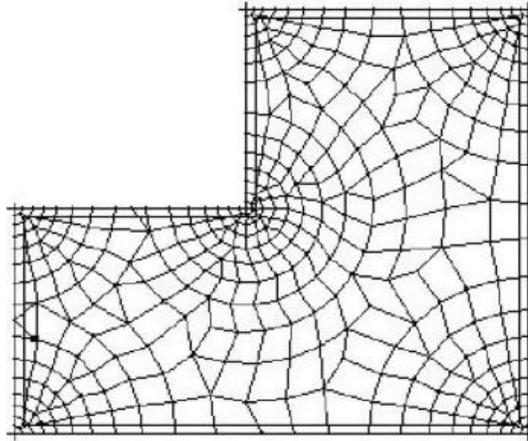


Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

3.2.5.2. Generación compleja de mallado (Delaunay)

Este método genera una malla más adecuada al comportamiento de la estructura en las formas de los contornos de los elementos (concentraciones de esfuerzos), también hace consideraciones especiales en las zonas de las aberturas en los elementos estructurales.

Ilustración 20 método Delanauy



Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

3.2.5.3. Selección automática del método de mallado

Al seleccionar esta opción el programa decide que método escoger en base a la complejidad de la forma del elemento estructural, y con esto el tamaño y distribución de la malla.

Adicionalmente, si es necesario realizar la adecuación del patrón de malla ya seleccionado, aumentándolo o disminuyéndolo, para representar adecuadamente el trabajo estructural del elemento o sistema estructural modelado, se puede emplear la generación de los elementos que componen la malla de acuerdo a 3 opciones:

- **Automática.** Realiza la discretización de la malla mediante la selección de un número finito de elementos especificado por el usuario.
- **Usuario.** Se especifican el número de divisiones que harán en cada dirección del modelo, para conformar los elementos de la malla.
- **Tamaño del elemento.** Se hace la adecuación de la malla especificando la dimensión aproximada por lado de cada elemento.

Existe por tanto la posibilidad de tener un mayor y mejor control sobre la precisión del modelaje configurando la malla mediante las opciones avanzadas, que ofrece una gran herramienta para la confiabilidad del resultado del análisis y diseño estructural en estructuras complejas.

3.3. Cargas

Las cargas o acciones son las fuerzas o deformaciones inducidas que producen elementos mecánicos en las estructuras, como ejemplo de estas acciones se pueden mencionar las debidas al peso de: los materiales de construcción, a las producidas por la ocupación del edificio, por sus instalaciones, por acciones ambientales, por movimientos diferenciales y cambios dimensionales restringidos entre otros. Estas acciones son clasificadas generalmente conforme su naturaleza o duración, como se menciona a continuación:

- **Carga muerta.** Son las acciones que mantienen su magnitud con respecto al tiempo, dentro de esta clasificación se encuentran las acciones debidas al peso de los materiales que conforman todos los elementos de la edificación, incluyendo elementos arquitectónicos, peso del equipo de servicio fijo como maquinaria, presiones y empujes de suelos que se encontrarán actuando siempre sobre las estructuras, etc.
- **Carga viva.** Estas cargas varían en magnitud y/o movimiento con el tiempo, su determinación es estadística, por lo general esta acción depende del tipo o uso de la edificación, involucrando para la determinación de las magnitudes, entre otros, equipos y muebles, materiales almacenados, ocupantes del edificio, vehículos, etc.
- **Cargas ambientales.** Son causadas por efectos que puede tener el ambiente sobre la estructura, en este caso dependen del sitio donde se ubique la edificación, entre estas cargas pueden mencionarse las acciones de viento, nieve, sismo, inundaciones, temperatura, hielo, lluvia, etc. El

análisis de cargas a aplicarse para el análisis y diseño de una estructura establece las combinaciones de cargas cuyas magnitudes reales o más probables que sean o puedan ser críticas durante la vida útil de una estructura.

Por la velocidad de aplicación de las cargas, estas pueden clasificarse en:

3.3.1. Cargas Estáticas.

La aplicación de estas cargas a la estructura para fines de análisis se considera suficientemente lenta, como para despreciar cualquier efecto dinámico. Este tipo de cargas, simula acciones como son, las gravitacionales de peso propio, las térmicas debidas a cambios de temperatura en estructuras restringidas a desplazamiento y acciones o empujes del terreno entre otras muchas.

3.3.2. Cargas Dinámicas.

Las cargas dinámicas son aquellas que varían en un periodo relativamente corto de tiempo, por lo que su efecto no puede ser despreciado, bajo este tipo de acciones se encuentran las fuerzas inerciales de sismo, las fuerzas explosivas, las de impacto, los empujes como el producido por viento y las fuerzas producidas por la operación de maquinaria en las que este efecto es importante, por lo cual es necesario tomarlas en consideración en el análisis y diseño.

Algunas de las consecuencias de la aplicación de cargas dinámicas pueden ser que por el impacto de un cuerpo en movimiento, pueden originarse en la estructura o en parte de ella efectos amplificatorios, resonancia en el caso de que la carga dinámica actúe y su frecuencia coincida con el período de vibración del elemento estructural.

En general, dentro de este tipo de cargas se deben simular en el análisis estructural las causadas por: impactos, por sismos, por cargas móviles, como son las

producidas por el desplazamiento de un vehículo, el de la carga de grúas viajeras, etc.

3.3.3. Aplicación de Cargas en Programas de Cómputo.

La representación de las acciones son un factor importante en el proceso de análisis y diseño estructural puesto que de estas depende la respuesta que tendrá la estructura, la cual se considerará para proponer el dimensionamiento de los elementos que compondrán la edificación, y que tendrán que resistir estas acciones.

En el proceso BIM al trabajar con un modelo tridimensional, la aplicación de las cargas se hace por lo general en el espacio tridimensional, por lo que es necesario realizar un correcto y detallado análisis de cargas.

Al introducir las cargas al programa, primordialmente deben declararse el tipo de cargas que se manejara en el modelo, en este caso, de acuerdo a su naturaleza, esto con el fin de facilitar su manejo, orden, y en forma relevante, diferenciarlas, puesto que inducen en la estructura comportamientos diferentes. Los programas especializados en el análisis estructural disponen de varias herramientas que facilitan la aplicación de las cargas, estas opciones buscan simular la forma real en la que actúan sobre la estructura.

El ingeniero debe buscar, por tanto, la mejor forma de modelar las acciones en el programa, para aplicarlas al modelo para el análisis utilizando de la manera más conveniente las herramientas con las que se dispone en la paquetería. Dentro de estas posibilidades de modelaje, a continuación, se mencionan algunas de ellas, las cuales se encuentran presentes en la mayoría de los paquetes que manejan el proceso BIM.

3.3.3.1. Nodales.

Un nodo es un punto de cálculo en el modelo, donde se obtienen resultados del análisis, y puede ser también un punto de aplicación para una o más acciones, como es una fuerza, un momento, un desplazamiento lineal o una rotación. El nodo se puede encontrar en un extremo de algún elemento estructural, como puede ser en la parte superior de una columna, donde se aplican acciones, en el extremo de una viga se puede aplicar un desplazamientos y acciones. También una acción por nodo puede encontrarse en el interior de un elemento placa como lo es una losa. A este tipo de carga se le denomina nodal.

Ilustración 21 Carga y momento en un nodo de una columna



Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

3.3.3.2. En Barras.

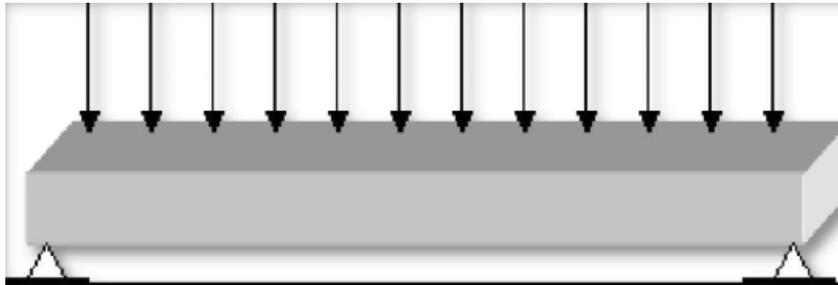
Esta herramienta actúa exclusivamente como su nombre lo indica en elementos tipo barra, que por lo general son vigas, pero ello no excluye a los demás elementos.

La aplicación de las acciones por esta herramienta puede ser de varias formas:

3.3.3.2.1. Carga uniformemente distribuida.

Es una fuerza que se aplica sobre todas las barras sin variar su magnitud, se declara como una fuerza por unidad de longitud. Un ejemplo de este tipo de carga, es el peso propio de una viga de sección constante, que al tener la misma sección en toda su longitud la acción de su peso no varía a lo largo de la viga.

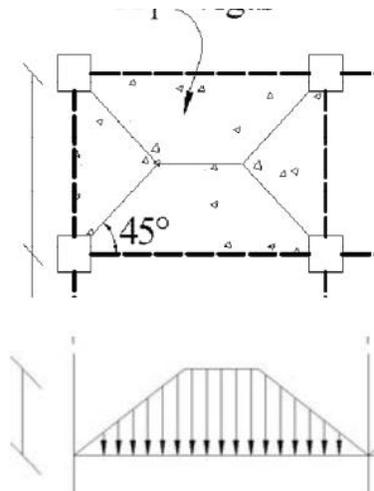
Ilustración 22 Carga uniformemente distribuida



Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

3.3.3.2.2. Carga trapezoidal.

Ilustración 23 Carga trapezoidal sobre viga



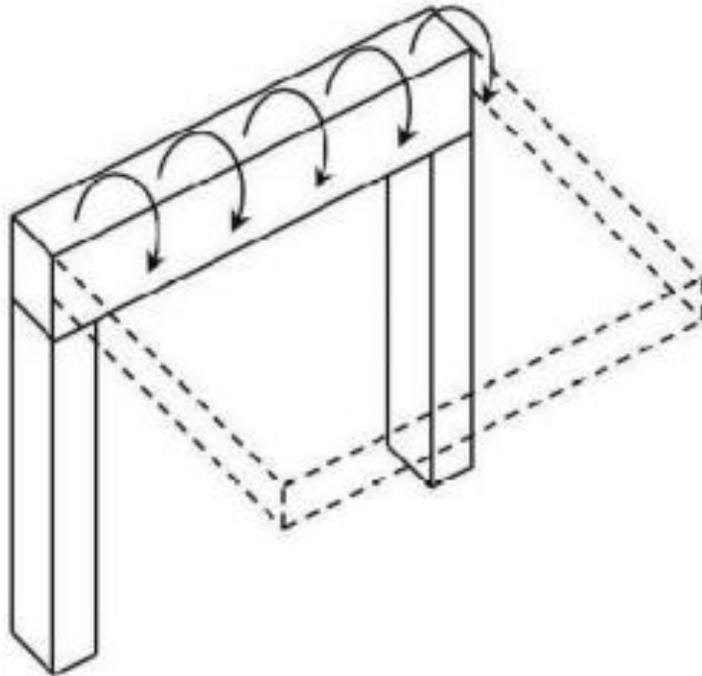
Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

Este tipo de acción se distribuye a lo largo de la barra, pero la magnitud de su acción puede ser variable, esta puede tener entre dos, tres y cuatro declaraciones de cargas diferentes. Este tipo de cargas pueden ser utilizadas, por ejemplo, para tomar en cuenta la acción de una carga tributaria de una losa sobre la viga.

3.3.3.2.3. Momento uniforme.

Es la acción de un momento ya sea flexionante o torsional que actúa con la misma magnitud a lo largo de toda la barra. Este tipo de acción puede idealizarse en una viga, que, por ejemplo, recibe la acción del peso de una losa en voladizo.

Ilustración 24 Ejemplificación de momento



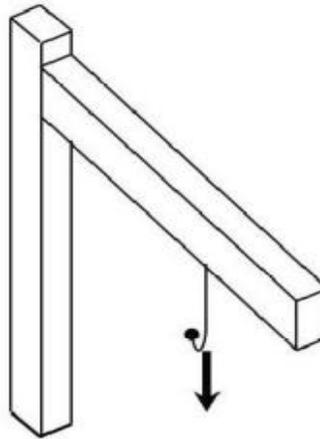
Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

3.3.3.2.4. Fuerza en la barra.

Esta acción es una fuerza y/o momento que se declara aplicado en un punto cualquiera a lo largo de una barra, un ejemplo de aplicación en el uso de este tipo

de acción, se encuentra cuando se tiene un peso suspendido de una grúa tipo bandera.

Ilustración 25 Fuerza en barra de una grúa bandera

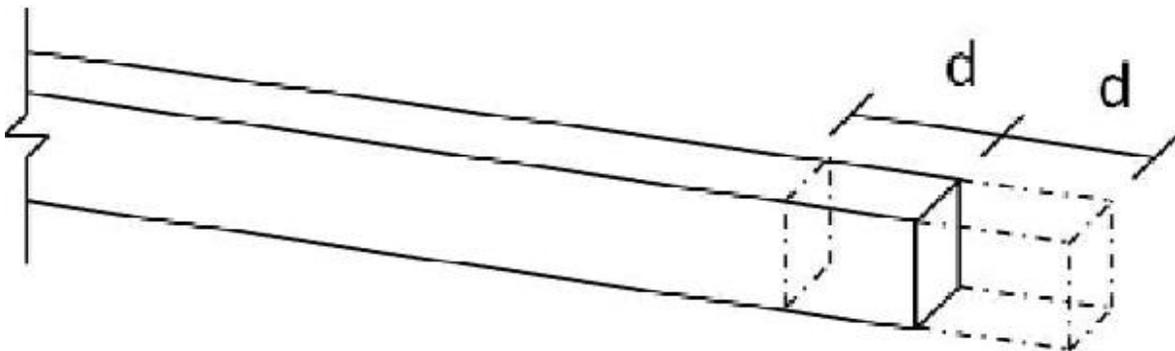


Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

3.3.3.2.5. Desplazamientos prescritos.

Esta acción se aplica como un cambio de longitud en la barra, ya sea un acotamiento o alargamiento, el cual es definido por el usuario en unidades de longitud

Ilustración 26 Dilatación o contracción impuesta.

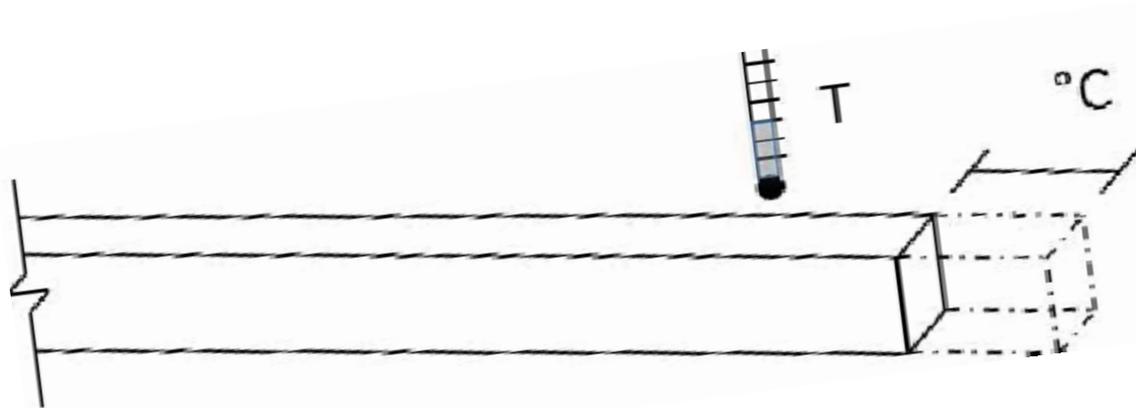


Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

3.3.3.2.6. Carga térmica.

Esta carga puede representar los efectos de dilatación y contracción en un elemento, se declara como un cambio de temperatura que actúa en el elemento estructural y que provoca un cambio de longitud en función del coeficiente de expansión térmica del material. Estos efectos deben tomarse en cuenta en lugares donde pueden existir cambios de temperatura extremos, en estructuras que se encuentran con restricciones a desplazarse.

Ilustración 27 . Dilatación térmica

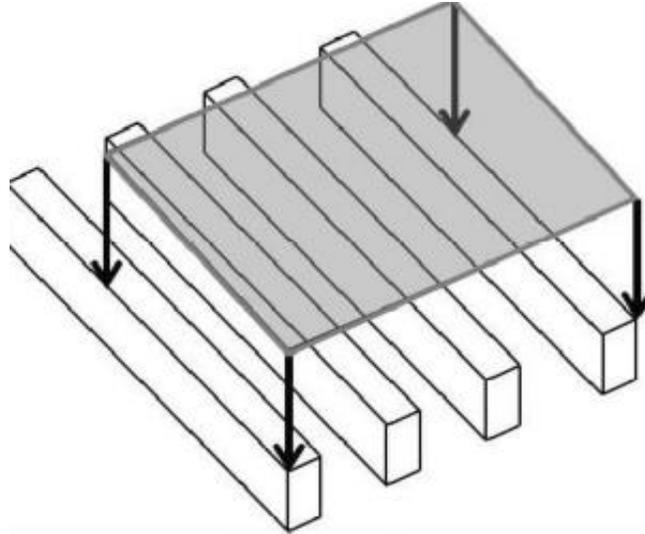


Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

3.3.3.2.7. Carga plana sobre las barras.

Esta herramienta resulta muy práctica al aplicar una carga definida por unidad de área y que actúa sobre un sistema de barras, automáticamente asigna la carga correspondiente a cada barra, lo que evita realizar este cálculo manualmente, la carga por unidad de área puede variar conforme un plano inclinado definido por tres puntos. Un ejemplo práctico de este tipo es al distribuir el peso de un sistema de techumbre sobre las vigas y largueros de una nave industrial.

Ilustración 28 Carga plana sobre sistema de vigas



Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

3.3.3.3. Sobre Superficies.

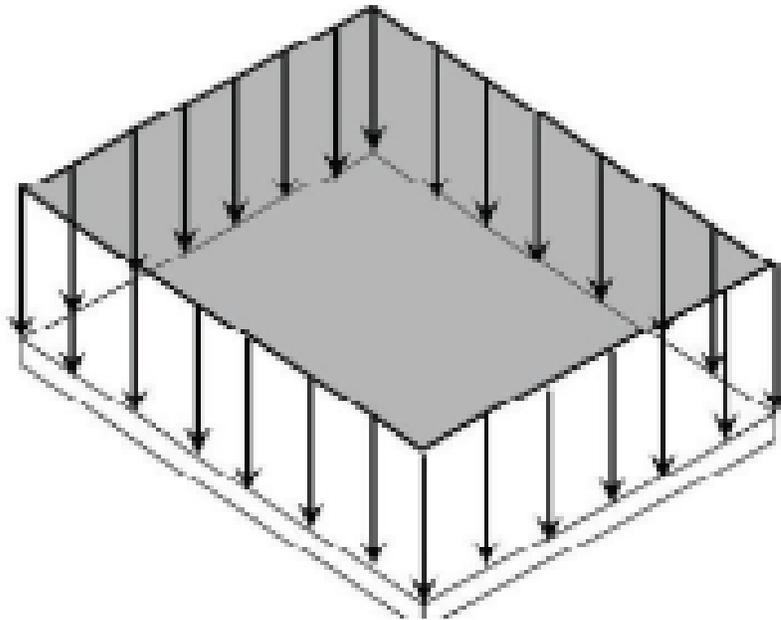
Este tipo de herramienta se aplica para modelar acciones distribuidas perpendiculares a elementos planos, muchas cargas de este tipo pueden ser aplicadas para simular elementos de revestimiento, sobre cubiertas planas pero que no presentan ninguna propiedad mecánica, únicamente su función es distribuir las acciones al crear áreas tributarias de las cargas que recibe, y asignarlas a los elementos sobre los que son definidos. Existen también distintas maneras de aplicar acciones a este tipo de elementos superficie como se mencionan a continuación:

3.3.3.3.1. Carga plana uniforme.

Es una fuerza que actúa por unidad de área que se distribuye uniformemente sobre toda la superficie, la resultante de esa fuerza actuante, sería el área total de la superficie por la magnitud de la carga uniforme. Este tipo de herramientas es muy

útil al aplicar cargas vivas en edificios, donde se tiene cargas establecidas por unidad de área.

Ilustración 29 Carga plana sobre

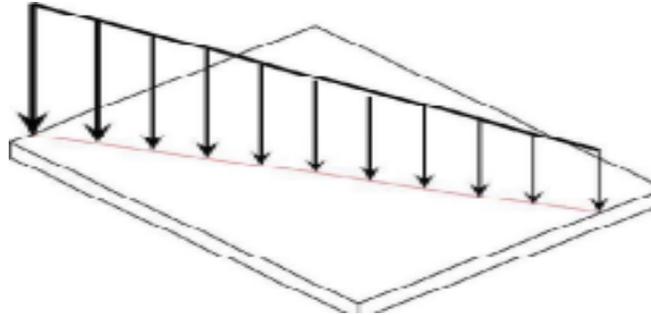


Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

3.3.3.3.2. Carga lineal.

Este tipo de acción como su nombre lo indica actúa como una fuerza y/o momento ya sea uniforme o variable que se desarrolla a través de una línea sobre un elemento tipo superficie plana, la definición de la línea se hace por medio de dos puntos en donde se declaran sus magnitudes, por lo cual su variación solo puede ser lineal. Esta carga es muy práctica para simular el peso de un muro divisorio, que no deben agregarse al modelo estructural ya que no presenta una función estructural, pero debe asignarse como una carga puesto que forma parte del peso propio de la estructura.

Ilustración 30 Carga variable lineal

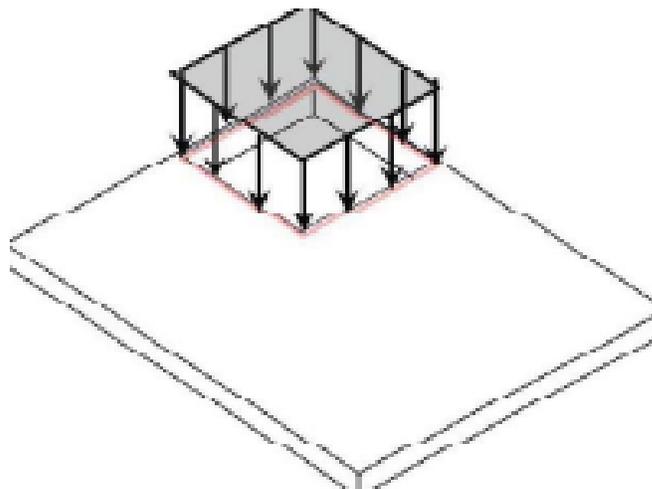


Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

3.3.3.3. Carga variable definida por tres puntos.

Esta carga define por medio de tres puntos un plano que define la distribución de la carga que actúa sobre un elemento plano, en cada uno de los puntos de definición puede tener diferentes magnitudes por lo cual el plano de cargas simula la variabilidad de esta. Este tipo de modelaje de acciones es muy conveniente para simular empujes de tierras o de agua, ya que se puede representar una carga triangular sobre un muro de manera muy sencilla.

Ilustración 31 Carga variable sobre el plano.

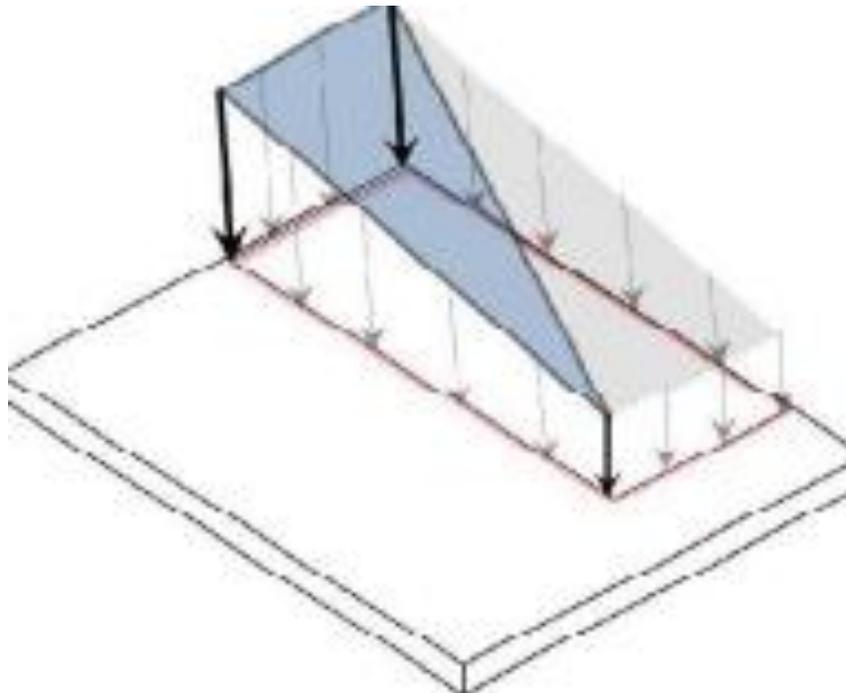


Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

3.3.3.3.4. Carga uniforme sobre contorno.

Esta modelación de la acción aplica una carga uniformemente distribuida sobre un área, en este caso delimitada por un contorno definido por el usuario, esta carga también puede ser aplicado a contornos de huecos en las losas, muros y demás elementos planos, la reacción total equivale a multiplicar el área que delimita el contorno por el valor de la fuerza que actúa por unidad de área.

Ilustración 32 Carga uniforme sobre contorno

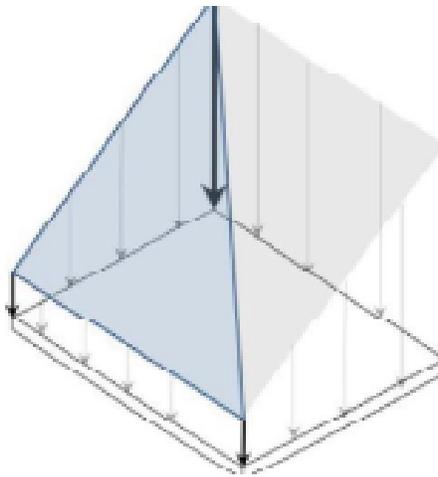


Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

3.3.3.3.5. Carga variable sobre contorno.

Esta carga actúa sobre una superficie plana, su área de aplicación es delimitada por un contorno definido por el usuario, la magnitud de la fuerza varía conforme un plano que es definido por tres puntos en los cuales también se introduce el valor de sus magnitudes en cada punto. Esta carga es útil para simular por ejemplo la aplicación de una rampa de tierra que descansa sobre una losa de cimentación irregular.

Ilustración 33 Carga variable sobre contorno.



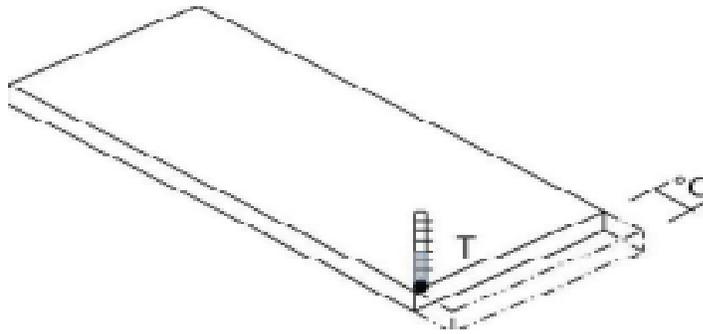
Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

3.3.3.3.6. Carga térmica.

Esta acción se aplica en elementos tipo placa cuando en ellos se tiene una variación de temperatura, la cual puede presentarse de manera uniforme, con una variación lineal entre dos puntos o variar entre tres puntos como la definición de un plano de fuerzas, pero en este caso temperaturas que cambian la longitud del elemento en función de su coeficiente de expansión térmica. Un ejemplo de aplicación de este tipo de simulación puede ser su empleo en losas de piso hechas de concreto en un lugar con variaciones de temperatura considerables, puesto que se deben analizar que las juntas tengan la separación necesaria para evitar el agrietamiento de las

losas, o en su caso introducir los elementos mecánicos presentes cuando se tienen restricciones a la deformación.

Ilustración 34 Carga térmica en el plano.

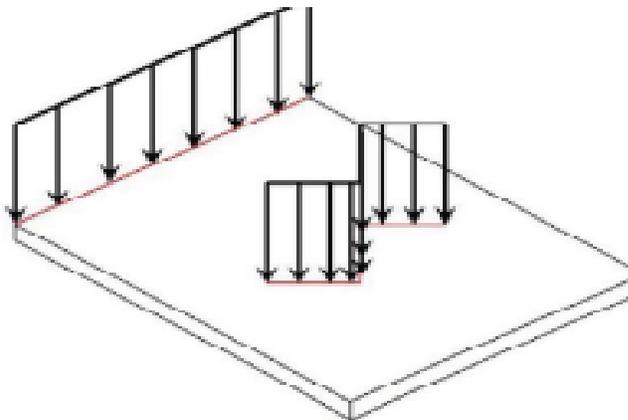


Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

3.3.3.3.7. Cargas sobre ejes aplicadas a paneles.

Este tipo de acción puede ser una fuerza o momento uniforme que actúa sobre elementos tipo placa, puede ser aplicado a los bordes, o bien se pueden definir líneas o polilíneas auxiliares que marquen una trayectoria a seguir sobre la superficie de la placa. Este tipo de carga igualmente se puede aplicar en edificaciones al idealizar el peso de muros divisorios con formas caprichosas.

Ilustración 35 Cargas aplicadas sobre ejes



Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

3.3.3.3.8. Gravitacionales de Peso Propio.

Los programas en general, tienen herramientas que aplican el peso propio de todos los elementos de la estructura de manera automática, esta acción toma en cuenta las dimensiones especificadas para los elementos estructurales y el peso específico del material del que se compone, lo cual evita estar aplicando a cada elemento una carga de peso propio. Un uso adicional de este tipo de carga es que se puede indicar el sentido en el que actúe el peso propio de cada elemento estructural, así como ser afectados por un factor de carga.

3.3.3.4. Inerciales de Masa.

Este tipo de cargas participan como acciones dinámicas ya que generan fuerzas de inercia en la estructura. Estas cargas pueden ser aplicadas a estructuras marítimas, donde las cargas de transporte son muy importantes, como es el caso de una estructura que es izada y desplazada por una grúa, puede generar velocidades o aceleraciones a causa del movimiento o al tener una estructura transportada sobre barco, es sometida a este tipo de fuerzas inerciales por el movimiento del oleaje sobre el barco, y este transmitido a la estructura.

3.3.3.4.1. Fuerzas de inercia debidas a diversas aceleraciones.

Estas cargas se generan debido a la fuerza resultante debida a la aceleración de una masa ($F=ma$), la cual puede ser declarada en función a la aceleración de la gravedad g .

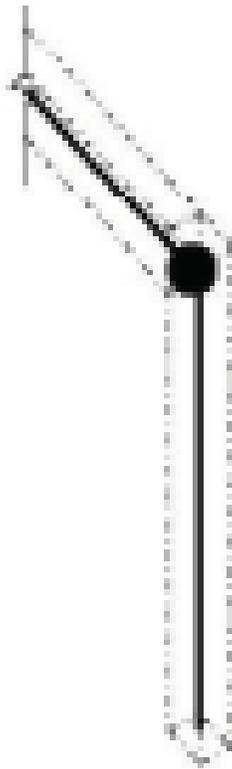
3.3.3.4.2. Fuerza centrífuga y de aceleración angular.

Este tipo de fuerza es generada a partir de la masa del elemento y la velocidad o aceleración angular especificada por el usuario.

3.3.3.4.3. Masa en nodos.

Con esta herramienta se pueden agregar masas en los nodos de la estructura, para un análisis dinámico, o bien son tomados en cuenta para las fuerzas de aceleración, velocidad centrífuga y aceleración angular.

Ilustración 36 Masa en nodos

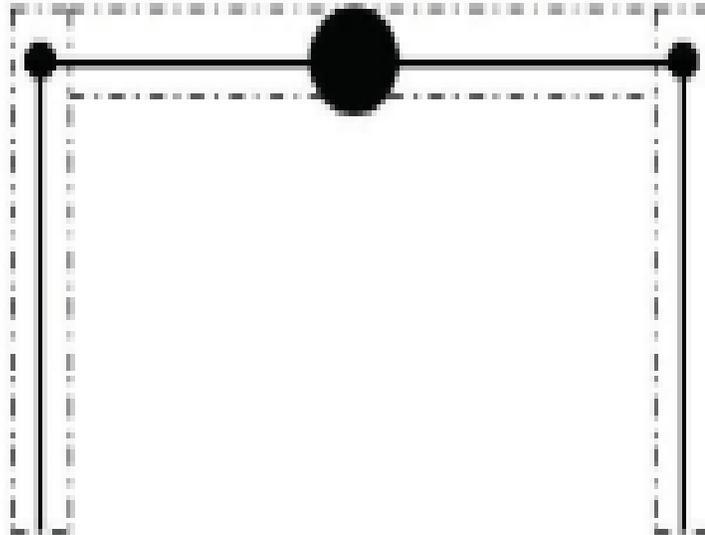


Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

3.3.3.4.4. Masa en barras.

Su aplicación es parecida a la herramienta anterior, pero en este caso su aplicación es a una barra entera con la posibilidad de tener una variación de masa en su longitud.

Ilustración 37 Masa en barras



Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

3.3.3.4.5. Conversión de cargas a masas.

Este tipo de herramienta permite la conversión de cargas estáticas (cargas gravitacionales) a masas, que deben ser tomadas en cuenta para los cálculos dinámicos. La conversión de las cargas se realiza de la siguiente manera: las fuerzas concentradas son transformadas a masas concentradas, cargas distribuidas a masas distribuidas y los momentos como inercia rotacional.

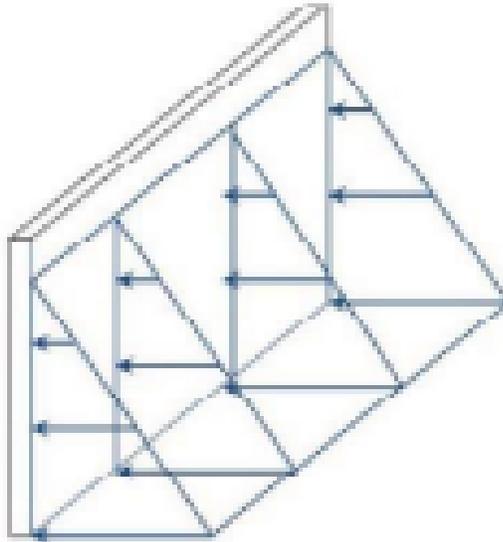
3.3.3.5. Cargas Especiales.

Muchos de los paquetes de análisis modernos, incluyendo el Robot tienen algunos módulos de generación de cargas automáticas, esto con el fin de facilitar la aplicación de las solicitaciones sobre la estructura, por lo que a continuación se hace una breve descripción genérica de su aplicación y para el modelaje de cargas especiales.

3.3.3.5.1. Carga hidrostática.

En el caso del paquete Robot, éste tiene la posibilidad de aplicar automáticamente una carga de presión estática de agua con su variación de presiones sobre el área de una superficie. Para la aplicación de esta acción, solo se determina, el peso específico del líquido, una sobrepresión en caso de haberla, y la altura del nivel de líquido, seleccionando los paneles, se les asigna una carga equivalente a la presión que ejerce un líquido sobre un elemento plano vertical.

Ilustración 38 Carga hidrostática



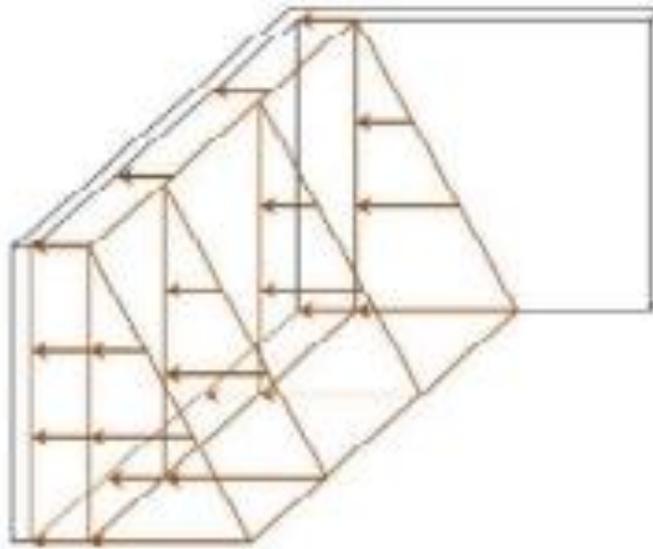
Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

3.3.3.5.2. Carga por empuje de tierras.

En el mismo Robot, como en otros paquetes, es posible también definir el perfil estratigráfico de un suelo, puede ser a partir de una base de datos o bien definido por el usuario, con ello crea una carga de presión de suelos, como puede ser para muros de contención y para cimentaciones entre otros. Los empujes que pueden ser calculados por el programa son por presión pasiva, presión activa y presión estática, estas acciones pueden tomar en consideración el nivel freático, una

sobrepresión sobre el relleno del suelo, el ángulo del relleno en la parte superior y la influencia de estructuras cercanas. El paquete también puede presentar un reporte de los factores tomados en cuenta para el cálculo de la presión del suelo sobre los elementos estructurales, que bien pueden ser elementos tipo placa o barras.

Ilustración 39 Empuje de tierras con sobrecarga



Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

3.3.3.5.3. Carga de presfuerzo en vigas.

En el programa es posible crear elementos tipo barra de concreto presforzado, pudiendo modelar los torones o alambres del elemento y aplicar excentricidades a partir del eje neutro de la barra, posteriormente la fuerza del presfuerzo. Las pérdidas en los elementos pretensados se calculan de acuerdo con el código de diseño seleccionado.

Ilustración 40 Viga pretensada

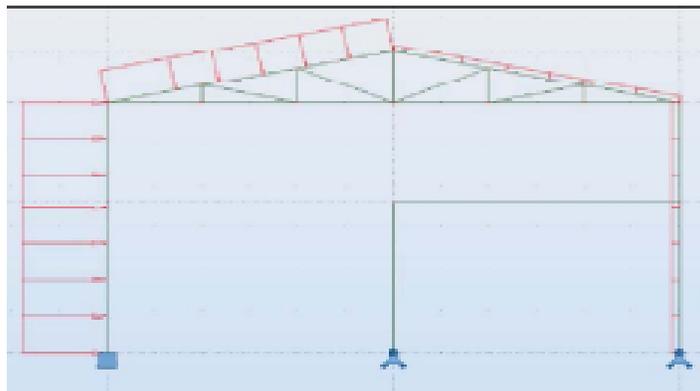


Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

3.3.3.5.4. Carga de viento y nieve 2D/3D.

Las cargas automáticas de viento y nieve se pueden generar de acuerdo con el código seleccionado de los disponibles en el programa utilizado. En 2D se aplican a secciones de armaduras donde se configuran los parámetros que intervienen en los cálculos de acuerdo al código, algunos de ellos en si tiene huecos, parapetos, si se encuentra apoyada sobre un suelo, manejar una envolvente de altura, etc. De manera similar a esta se hacen consideraciones para modelar las acciones en el caso de nieve.

Ilustración 41 Carga de viento en 2D



Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

Para el caso de cargas F3D, su aplicación es más general, extendiéndose a edificios, naves industriales, torres para tendido eléctrico, torres eje simétricas. Su

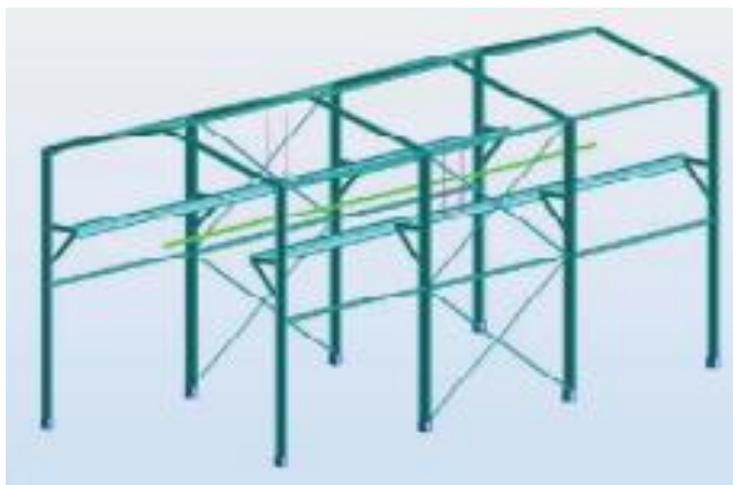
aplicación depende del código seleccionado disponible en el paquete y la modelación tiene que hacerse de acuerdo con el tipo de estructura a la que afectara la acción del viento, el sitio, las condiciones de la zona, etc., con este tipo de modelación también se puede simular la acción de la nieve en las estructuras.

3.3.3.5.5. Cargas móviles.

Este tipo de herramientas de modelaje disponible en los paquetes modernos, es muy útil para simular la acción de cargas móviles como son las debidas a la acción de vehículos sobre un puente o una grúa viajera sobre una estructura. Este tipo de acción puede declararse como cargas concentradas, cargas lineales o cargas planas, esto permite analizar la estructura bajo la sollicitación de un conjunto de fuerzas que actúan a través de una ruta definida por el usuario.

En el programa Robot, por ejemplo, es posible seleccionar tipos de cargas de vehículos de una base de datos de acuerdo a un código, o bien, que las características del vehículo sean definidas por el usuario, donde se dispone de varias herramientas para simular lo mejor posible distintos tipos de cargas móviles y su influencia sobre la estructura.

Ilustración 42 Carga móvil - Grúa viajera.



Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

3.3.3.6. Combinaciones de Cargas.

Tomando en consideración que en el diseño actual prevalece el criterio de diseño por estados límites de falla y de servicio, se requiere, para el estado límite de falla, analizar la estructura afectando las acciones por los factores de carga que establecen los reglamentos y combinar estas acciones de acuerdo a los mismos. Para el análisis de estados límite de servicio, los cuales están asociados a deformaciones que aun sin comprometer la seguridad puede afectar la funcionalidad de la estructura, como pueden ser las provocadas por deflexiones, agrietamientos y vibraciones, se emplean combinaciones de carga, pero sin aplicación de factores de carga a las acciones consideradas.

Ahora bien, como se mencionó previamente, si cada factor de carga cubre una sollicitación, puede ser que en realidad se presenten más de una acción al mismo tiempo, por lo que de acuerdo con el código que se esté aplicando, se determinan ciertas combinaciones de acciones. El código ACI, que es el utilizado para ejemplificar el proceso BIM en el presente trabajo, establece las combinaciones de cargas a considerar en el análisis estructural, con sus respectivos factores para cada una de las acciones, donde se toma en consideración la probabilidad de ocurrencia de estas combinaciones simultáneamente, pudiéndose tener para cada estado límite diferentes combinaciones de acciones.

Al aplicar las combinaciones se busca encontrar cuál de ellas provoca la respuesta más desfavorable que se puede presentar para la estructura y en base a esta realizar el diseño de la misma.

Si bien los códigos marcan los parámetros mínimos a considerar, el ingeniero debe tener criterio para analizar la situación particular de la estructura y determinar si es necesario tomar en cuenta una participación mayor de alguna de las acciones, así como cumplir con el código, pero adicionar las combinaciones especiales que no cubra dicho código que puedan presentarse en la estructura, por lo cual, el ingeniero

estructurista debe analizar minuciosa y detenidamente las posibilidades de tener que aplicar alguna combinación inusual o extrema no considerada por los códigos pero aplicable en el caso específico que se analice.

El programa Robot puede realizar combinaciones de cargas automáticamente en base a alguno de los múltiples códigos que maneja. En el caso del ejemplo que se viene desarrollando, se utilizó el ACI 318.

En general, para el análisis, es posible elegir el código para el cual se generarán las combinaciones, así como seleccionar el criterio de diseño, ya sea por estados límite, Load and Resistance Factor Design (LRFD) o por esfuerzos permisibles, Allowable Stress Design (ASD).

Una vez que se elige el criterio de diseño a utilizar, por ejemplo el de estados límite, se puede seleccionar la combinación automática completa de acciones o combinación automática simplificada, su diferencia reside en que en las simplificadas solo se generan las combinaciones específicas donde buscan maximizar una sola reacción, como un momento en un sentido, y en las combinaciones completas es para todas las reacciones. Las combinaciones que se generan toman en cuenta los estados límite de servicio y de falla, además también genera combinaciones accidentales que son inusuales o extremas.

En el programa también se pueden realizar las combinaciones manuales, es decir declaradas por el usuario, al elegir esta herramienta primero se selecciona el tipo de combinación, si se trata de un estado límite de servicio o un estado límite de falla, el programa automáticamente le asigna un nombre a la combinación, pero el usuario puede modificarlo. Posteriormente se pueden configurar los factores, para cada tipo de carga por su naturaleza, ya sea muerta, viva, de sismo, etc., o bien al realizar la combinación se puede ir declarando cada uno de los factores que afectan a las cargas. Al final es posible presentar todas las combinaciones en una tabla, que permite su modificación en caso de una corrección.

3.4. Análisis estructural

El análisis estructural busca determinar, para el sistema estructural, sus reacciones, elementos mecánicos, el estado de esfuerzos internos y las deformaciones, que son consecuencia de la aplicación de acciones sobre la estructura. Para obtener estos resultados se dispone de varios métodos matemáticos determinísticos, que difieren en complejidad y precisión, cuya aplicación depende del comportamiento esperado de la estructura y/o sus acciones. En el programa Robot, como en la mayoría de los paquetes de análisis estructural, se adopta por defecto el análisis elástico lineal, pero dispone de varios tipos de análisis basados todos ellos en métodos matriciales, los cuales se mencionan a continuación, entre los cuales es posible elegir los más adecuados para el análisis de una estructura en particular. En este capítulo, se dará una breve descripción de ellos y su aplicabilidad a problemas específicos; sin incluir una presentación detallada de la metodología ya que cada tipo de análisis conlleva todo un fundamento teórico que queda fuera del alcance del presente trabajo.

La paquetería moderna de análisis estructural, parte de la siguiente ecuación general de equilibrio:

$$MQ'' + CQ' + KQ = F(t) - f(t, Q)$$

Donde:

K – Es la matriz de rigidez en la forma de suma de matrices componentes:

$$K = K_0 + K_O + K_{NL}, \text{ donde:}$$

K_0 - La matriz de rigidez inicial.

K_O - La matriz de rigidez de los esfuerzos (depende de los cambios de rigidez que toma el elemento bajo un estado de esfuerzos, efectos de segundo orden).

K_{NL} - La matriz de rigidez de otros componentes dependientes de Q (producto de la rigidez lateral y de esfuerzos resultantes de una deformación, efectos de tercer

orden).

C - Matriz de amortiguamiento.

M - Matriz de masas.

Q - Vector de desplazamientos.

Q' - Velocidades (primera derivada del vector Q respecto del tiempo).

Q'' - Aceleraciones (segunda derivada del vector Q respecto del tiempo).

F(t) - Vector de fuerzas externas.

f(t, Q) - Vector de fuerzas no equilibradas.(o residuales, estas fuerzas son prácticamente cero al alcanzar el equilibrio cuando la convergencia es revisada y se detiene el proceso de cálculo, estos valores son muy pequeños en comparación con los parámetros de tolerancia).

3.4.1. Tipos de Análisis.

3.4.1.1. Análisis Estático.

Para el caso de análisis estático, la ecuación general de equilibrio se simplifica, partiendo de la condición de que en dicho análisis no existen variaciones de las acciones con respecto al tiempo.

Al hacer esta consideración, las velocidades y aceleraciones de las masas son igual a cero, por ende, las fuerzas y energía de inercia y amortiguamiento se nulifican. El análisis estático, bajo los supuestos mencionados puede ser de dos tipos, dependiendo del material y la geometría de la estructura. Estos tipos son el lineal y el no lineal:

3.4.1.1.1. Lineal.

Para este análisis, se hacen las consideraciones que se tendrán deformaciones pequeñas en la estructura, que el material es perfectamente elástico y obedece la ley de Hooke, al tomar en cuenta estas acepciones, la relación carga - deformación obedece a una dependencia lineal. Bajo esta condición es aplicable el principio de superposición de causas y efectos, con lo cual, es posible realizar la combinación de diferentes cargas básicas que pueden afectar simultáneamente a la estructura, mediante la suma de sus efectos individuales. Al hacer la simplificación antes mencionada del análisis estático y con un comportamiento lineal, la ecuación matricial general de equilibrio queda de la siguiente manera:

$$K_0 Q = F$$

3.4.1.1.2. No lineal.

El comportamiento no lineal puede clasificarse en dos tipos no linealidad estructural (por característica de respuesta de algún elemento, o por el material de que se encuentra constituido), y no linealidad geométrica. (análisis de segundo orden, considerando deformación de los elementos al establecer el equilibrio y efecto $P - \Delta$)

La no linealidad estructural, se presenta cuando el sistema estructural tiene al menos un elemento estructural que responde a un comportamiento no lineal, esto es que el elemento tiene un tipo de restricción que le impide tener un comportamiento completamente lineal, como lo es un elemento rótula no lineal (unión viga-columna con comportamiento plástico del material), o alguna condición estructural como en el caso de un elemento tipo cable (restringido a solo tensión), un apoyo con liberación en una sola dirección y sentido, etc.

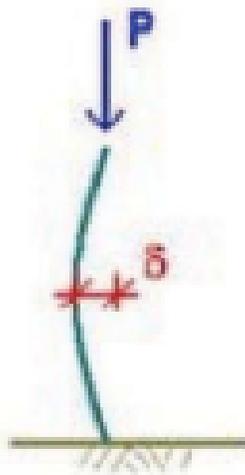
De acuerdo con lo antes señalado, la no linealidad estructural está asociada siempre a la existencia de al menos un solo elemento estructural en el sistema, que presente una no linealidad estructural o no linealidad de material.

Si la estructura incluye elementos no lineales (como cables, apoyos que trabajan en solo compresión y material plástico), los cálculos son aplicados mientras se realiza el método de incrementos.

La no linealidad de material, es debida a las características del material, esto es a la relación esfuerzo-deformación del material, por ejemplo materiales elasto-plásticos, plásticos, entre otros.

La no linealidad geométrica se presenta, cuando por la geometría del sistema estructural, las deformaciones en el mismo influyen de manera importante en el comportamiento estructural al tener efectos de orden superior siendo el de segundo orden, el que toma en cuenta el cambio de rigidez de un elemento bajo la influencia de un estado de esfuerzos en el elemento, al mismo tiempo considera la generación de momentos resultantes de la acción de fuerzas verticales en nodos con desplazamientos horizontales.

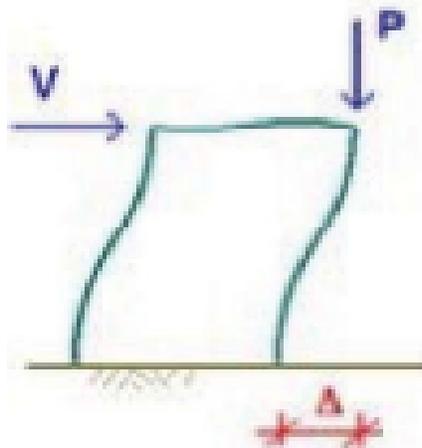
Ilustración 43 Efecto de segundo orden



Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

En la no linealidad geométrica, los de tercer orden corresponden al efecto P-Delta, que toma en cuenta la adición de rigideces laterales y esfuerzos, que resultan de deformaciones, este efecto también considera adicionalmente las fuerzas producidas por la estructura deformada.

Ilustración 44 Efecto de tercer orden o P-Delta.



Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

El análisis no lineal consiste en la aplicación incremental de cargas, en los cálculos las cargas no son consideradas al mismo tiempo, son gradualmente incrementadas y resueltas sucesivamente, hasta encontrar un estado de equilibrio.

La simplificación de la ecuación general de equilibrio para el análisis estático no lineal queda de la siguiente forma:

$$(K_0 + K_O + K_{NL} = F(t) - f(t, Q)$$

El análisis por pandeo se considera como un análisis no lineal por geometría, toma en consideración la influencia que tienen, en elementos esbeltos, los incrementos de carga en la disminución de su rigidez, esto es, se evalúa la seguridad de una pieza estructural en la cual se puede presentar una carga crítica, que pueda provocar una falla por pandeo y por ende la inestabilidad del elemento. El coeficiente

de carga de pandeo se determina a través de una solución del problema de eigenvalores lineal. El eigenvector define el modo de pandeo asociado a la carga crítica.

Al resolver el problema de eigenvectores, el análisis de pandeo determina para los modos de pandeo requeridos por el usuario, las fuerzas críticas asociadas. En el análisis de una estructura esquelética de un edificio completo, el análisis de pandeo determina la carga crítica global utilizando el proceso de extracción de eigenvalores, para la mejor predicción de las cargas críticas, pudiéndose emplear la aproximación de columna equivalente para corroboración de los resultados del modelo.

3.4.1.2. Análisis Dinámicos.

El análisis dinámico consiste primordialmente en la determinación de la variación en el tiempo de las deflexiones, a partir de los cuales los esfuerzos pueden ser calculados directamente tomando en cuenta las propiedades de la estructura tales como su masa, amortiguamiento y rigidez. Este tipo de análisis toma en cuenta las acciones que cambian de magnitud, dirección o punto de aplicación en un periodo corto de tiempo, tomando en cuenta las aceleraciones y velocidades, por ende el amortiguamiento y la fuerza de inercia.

La forma general de la ecuación para el análisis dinámico de estructuras es:

$$My'' + Cy' + Ky = P(t)''$$

Donde:

M - Matriz de masas del sistema.

C - Matriz de amortiguamiento del sistema.

K - Matriz de rigideces de la estructura.

y'' - Vector de aceleraciones.

y' - Vector de velocidades.

v - Vector de desplazamientos.

P - Vector de fuerzas.

En Robot pueden realizarse varios tipos de análisis dinámicos, los cuales se describen brevemente a continuación:

3.4.1.2.1. Análisis Modal.

El análisis modal determina todos los parámetros para los modos básicos de vibración libre de la estructura, como son eigenvalores, eigenvectores, el factor de participación modal y el porcentaje de participación de la masa. Los modos más importantes a considerar corresponden a las menores frecuencias (llamadas frecuencias naturales de vibración) porque pueden ser los modos predominantes en la vibración de la estructura.

En Robot el número de modos a calcular puede ser especificado por el usuario, o definir un rango de valores para los parámetros de vibración libre. Los eigenvalores y formas del modo se obtienen de la siguiente ecuación:

$$(k - \omega_j^2 M) U = 0$$

K – Matriz de rigidez.

ω_j – Frecuencia circular.

M – Matriz de Masas.

U - Vector de formas modales.

3.4.1.2.2. Análisis Armónico.

Este análisis toma en consideración las fuerzas o desplazamientos en una estructura causados por una acción que puede idealizarse por medio de una función periódica seno o coseno. Este tipo de acción puede ser causada por maquinaria en rotación la cual produce excitaciones armónicas debido a las excentricidades de las masas.

En el análisis armónico, el usuario define la estructura y cargas como en un análisis estático lineal.

Las acciones impuestas se interpretan como amplitudes de fuerza de excitación. Su frecuencia, ángulo de fase y el periodo son definidos por el usuario. La ecuación de movimiento que se resuelve en el análisis armónico (asumiendo que el amortiguamiento de la estructura se desprecia) es:

$$F = b \operatorname{sen}(\omega t)$$

b - Vector de amplitudes de las fuerzas.

F - Vector de fuerzas externas.

$$(K - \omega_j^2 M) Q = F$$

K – Matriz de rigidez.

ω_j – Frecuencia circular.

M – Matriz de Masas.

Q - Vector de desplazamientos.

El desplazamiento, fuerza interior y amplitudes de reacción son generadas por el análisis. Adicionalmente, es posible determinar un análisis armónico en el dominio de la frecuencia, consiste en realizar secuencialmente el análisis armónico para valores de frecuencias sucesivos en un rango seleccionado.

3.4.1.3. Análisis Espectral.

Muy utilizado en el diseño sísmico, este tipo de análisis presenta la reacción o respuesta espectral ante una excitación en la base de la estructura que la soporta. La respuesta espectral es un diagrama de máxima reacción (representada en términos de desplazamientos, velocidades, aceleraciones o algún otro parámetro de interés) que produce una determinada acción dinámica sobre la estructura, como lo es un sismo.

El análisis calcula los valores del análisis modal y también calcula lo siguiente para cada una de las formas de vibración: coeficientes de participación para el análisis espectral, valor del espectro de aceleración de excitación, coeficientes modales, desplazamientos, las amplitudes internas de reacción y fuerza que son producidas por el análisis.

La ecuación de movimiento que resuelve el análisis espectral es:

$$KQ + MQ'' = -MA$$

K – Matriz de rigidez.

Q - Vector de desplazamientos.

Q'' - Aceleraciones (segunda derivada del vector Q respecto del tiempo).

M – Matriz de Masas.

A - Aceleración en la base de la estructura.

3.4.1.4. Análisis Sísmico.

El análisis sísmico para una estructura en Robot, que responde a un código seleccionado, puede realizarse por dos métodos diferentes:

El método de fuerzas laterales equivalentes. La idea de este método es distribuir la fuerza sísmica a cada piso que sea capaz de transmitir cargas laterales, las fuerzas son generadas y aplicadas a diafragmas rígidos o elementos estructurales verticales (columnas, muros) que puedan recibir las fuerzas laterales. Cada código define específicamente las limitaciones de la aplicación de este método, entre las limitaciones más comunes, ser una estructura regular y tener una altura máxima especificada del edificio. Las fuerzas generadas también pueden ser aplicadas a los centros de masa de los diafragmas o paneles.

Por el método de espectro de respuesta. En este caso todos los parámetros del espectro son definidos como en el caso modal, pero adicionalmente se requieren parámetros específicos de acuerdo al código seleccionado para determinar la forma del espectro.

3.4.2. Análisis Paso a Paso.

El análisis paso a paso permite obtener la respuesta de la estructura para ciertos puntos de tiempo seleccionados de una función de tiempo definida (difiere de los otros análisis disponibles en el programa Robot que dan los resultados para un sólo instante), la función de variación de las cargas puede ser definida por cualquier caso de carga estático.

Las diferencias básicas entre los tipos de análisis similares:

El análisis de cargas móviles difiere del análisis paso a paso porque el primero no toma en consideración los efectos dinámicos; en cambio la diferencia entre el análisis armónico y el análisis paso a paso estriba en que en el primer tipo de análisis se presenta la respuesta de la estructura solamente en forma de amplitudes y no en función de tiempo.

Los tipos de estructuras y de cargas disponibles son los mismos que para el análisis lineal.

El análisis paso a paso consiste en encontrar la solución de ecuación de la siguiente variable de tiempo “t”:

$$M \ddot{d}(t) + C \dot{v}(t) + d(t) = F(t)$$

con los valores iniciales:

$$d(0) = D_0 \text{ y } v(0) = V_0$$

donde:

M - Matriz de masas.

K - Matriz de rigideces.

$C = \alpha M + \beta K$ - Matriz de amortiguamiento.

α - Coeficiente multiplicador definido por el usuario.

β - Coeficiente multiplicador definido por el usuario.

d - Vector de desplazamientos.

v - Vector de velocidades.

a - Vector de aceleraciones.

F - Vector de cargas.

El análisis paso a paso no lineal permite obtener la respuesta de la estructura en la cual, cualquier elemento no lineal puede ser definido. Los parámetros del análisis paso a paso no lineal son casi idénticos a los parámetros del análisis paso a paso lineal y los parámetros no lineales son los mismos para el análisis estático no lineal. El análisis paso a paso no lineal consiste en la solución de la siguiente ecuación para la variable temporal “t”:

$$M \ddot{d}(t) + C \dot{v}(t) + Nd(t) = F(t)$$

Donde los valores iniciales son conocidos, $d(0) = d'0$ y $v(0) = V0$

N - Vector de fuerzas internas, el cual tiene una relación no lineal con el vector de desplazamientos d.

3.4.2.1. Análisis Pushover.

El análisis pushover es un análisis estático no lineal de la estructura, permite presentar el comportamiento de la estructura bajo efecto de diferentes tipos de cargas debidas a sismos. La magnitud de la carga de la estructura es aumentada de una manera incremental conforme vectores de fuerza o desplazamiento. El aumento de valores de la carga posibilita la detección de las partes débiles de la estructura y los modos de colapso de la estructura. El análisis de modos de colapso constituye una prueba de verificación de la resistencia de la estructura. En el momento de definir este tipo de análisis es necesaria la definición de las rótulas no lineales.

3.4.2.2. Análisis Elasto-plástico de las Barras.

El análisis elasto-plástico permite considerar la no linealidad debida al material. Hay que mencionar que en la no linealidad debida al material, no se considera el cambio de la rigidez del material causado por factores externos como la temperatura; tampoco se consideran las cuestiones reológicas (cambio en las propiedades del material a través el tiempo). El análisis elasto-plástico se efectúa sólo para elementos barra de la estructura.

Del análisis elasto-plástico se generan los siguientes resultados:

- **Deformaciones.** En el análisis elasto-plástico se calculan directamente las flechas en barras. Se obtienen los valores de los desplazamientos y las rotaciones de los nudos de la división interna de la barra (para el análisis la barra divide su longitud en varios puntos característicos donde se ubican

nodos de cálculo), para obtener las flechas en un punto cualquiera de la barra, se aplica la interpolación lineal entre los puntos de división interna.

- **Fuerzas internas.** Las fuerzas internas en la barra se calculan de la misma forma que para el análisis lineal. Sólo para el análisis P-delta se utiliza otro algoritmo, las fuerzas internas en la barra consideran la influencia de la excentricidad debida a la flecha de la barra, las flechas se calculan para los puntos o nodos de la división interna de la barra.
- **Esfuerzos.** En el análisis elasto-plástico la distribución de los esfuerzos normales en la sección, no es lineal cuando se rebasa el esfuerzo de proporcionalidad del material y por esto, los esfuerzos se calculan de manera independiente para cada zona, algunas zonas pueden estar dentro del rango plástico mientras que otras en el rango elástico de esfuerzos, por lo tanto no se puede determinar el esfuerzo en un solo punto a lo largo de la barra.

3.5. Diseño estructural

De acuerdo con las premisas básicas del diseño estructural, éste busca proporcionar la mejor solución estructural para cumplir los objetivos de seguridad, funcionalidad y economía de la edificación.

Los parámetros mínimos para brindar seguridad y funcionalidad a las estructuras se encuentran establecidos en los reglamentos y códigos internacionales de aplicación obligatoria para el diseño estructural de las edificaciones, de acuerdo con el sitio en que estas se vayan a construir. En algunos casos a falta de un código de aplicación obligatoria para el sitio de construcción, o por indicaciones específicas del dueño de la edificación, se emplean, para el diseño estructural, códigos, normas y/o reglamentos específicos.

De acuerdo con lo señalado, al dimensionar los elementos estructurales, se pretende aprovechar de la mejor manera las características del material y la

estructuración, para obtener la seguridad y funcionalidad sin incurrir en un costo excesivo. El costo es aspecto importante a considerarse en el diseño estructural por lo que influye grandemente en la determinación de la solución final.

El diseño estructural es generalmente un proceso iterativo, debido a que al buscar la mejor solución pueden plantearse nuevas formas de estructuración, analizar nuevos dimensionamientos, cambio de materiales, proponer nuevas secciones, etc., por lo que estas tareas resultan dependientes debido a que al realizar un cambio en cualquiera de los conceptos mencionados, se puede implicar el definir un nuevo concepto que afecta el diseño de manera completa.

Recordemos ahora que el proceso completo del diseño estructural consta de las siguientes fases:

- Estructuración.
- Análisis de cargas
- Análisis estructural.
- Diseño estructural.
- Dibujo y memoria de cálculo (transferencia de resultados).

De las cuales, las tres primeras han sido abordadas ya en este trabajo en los capítulos anteriores, por lo que en este capítulo trataremos los aspectos relacionados con la cuarta fase, que es el diseño estructural, considerando los materiales más usuales de construcción, que se describen en los incisos siguientes:

3.5.1. Módulos de Diseño.

En la actualidad, los programas modernos de diseño estructural utilizan módulos especializados para diseño estructural, con los materiales más comunes de construcción. Esto se debe a que en dichos módulos se puede hacer uso de códigos

o reglamentos de diversos países, aplicables a materiales específicos de construcción.

En el caso del programa Robot, el diseño/verificación de las estructuras se realiza por módulos de diseño, que son especializados para los tipos de materiales más comunes con los que se construyen las estructuras. Los módulos de diseño con los que cuenta el programa son: concreto reforzado, acero/aluminio y madera.

El diseño/verificación, se menciona así en este trabajo, debido a que como se ha mencionado previamente, el diseño consiste, en estructuras hiperestáticas, en revisar que la propuesta estructural dada en la fase de estructuración, cumple, en todos sus elementos estructurales, con todos los requisitos impuestos por el código seleccionado para diseño.

3.5.2. Modulo Acero/Aluminio.

En Robot, en el caso de estructuras metálicas, una vez obtenidos los resultados del análisis estructural se puede activar el módulo de diseño en acero/aluminio, en el cual, seleccionando uno de los códigos disponibles de diferentes países y versiones, se realiza la verificación/diseño de la estructura.

La verificación de una sección estructural, en el programa Robot, puede realizarse por elementos o por grupos de elementos, lo primero se refiere a que se puede elegir un miembro o varios pertenecientes a la estructura (un miembro es el elemento básico de cálculo en el módulo de diseño de acero, p.ej. una viga, una columna, etc.), para cada uno de los cuales el programa presenta un resumen con los resultados más relevantes, así como, si cumplen o no, con los criterios establecidos en el código aplicable. En caso de no cumplir con los criterios se muestra si es debido a inestabilidad de la sección (el miembro supera el valor de esbeltez admisible) o a que su índice de eficiencia sea mayor a uno (coeficiente que

multiplica al límite de fluencia del material, al ser mayor a uno, el material se encuentra en su rango plástico).

Para el caso de la verificación por grupos, el programa Robot, presenta un solo resultado global para todo el grupo de elementos (los grupos son definidos antes de realizar la verificación, están compuestos por varios miembros que tendrán la misma sección al finalizar diseño, generalmente se agrupan por su función estructural, como pueden ser, grupo columnas exteriores, grupo vigas principales o grupo vigas secundarias), de esta manera si uno de los miembros del grupo no cumple con los criterios del código, el resultado presentado será que el grupo no cumple con los requisitos del código.

Para realizar la verificación de miembros de acero es posible definir una configuración de los parámetros aplicados durante esta tarea, estos parámetros varían dependiendo del código seleccionado para el módulo de diseño de acero/aluminio, algunos de los parámetros aplicados pueden ser entre otros:

Elección del número de puntos de cálculo por miembro.

Definir el índice de eficiencia del miembro, que es el coeficiente que multiplica al límite de fluencia del material.

La máxima esbeltez.

El no tomar en cuenta las barras con secciones de formas complejas. (estás necesitarán un análisis más específico, debido a la forma de su sección, esta opción es comúnmente utilizada para diseño por grupos).

Verificación de cortante en estado elástico.

Análisis de fuego.

Excluir alguna o varias fuerzas internas o definir límites inferiores y superiores para que las fuerzas sean consideradas en la verificación (en algunos casos alguna de

las fuerzas internas puede resultar "insignificantes" para tomarse en cuenta en la verificación, estas puede ser excluidas, o bien tomarse en cuenta a partir de un valor específico, p. ej., la fuerza axial en una viga).

Selección del estado de deformaciones iniciales producto de un caso de carga. En el diseño de elementos estructurales que se lleva a cabo por medio de grupos de miembros, el programa selecciona la sección que mejor cumple con los criterios del código, está selección se toma de un tipo de familia de secciones y al realizar esta operación, para sensibilidad del diseñador, se muestra una tabla con tres secciones consecutivas de la familia, siendo la que se muestra al centro o la que cumple de mejor manera con los criterios del código sin excederlos, y las dos restantes, una con la sección inmediata superior de la familia, la cual excede los requerimientos y la otra, inmediata inferior de la familia, que no cumple con los requerimientos, como ayuda para sensibilización de que pudiera ser útil para compra de material.

Ilustración 45 Tabla de resultados de la verificación por grupos

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 1 1						
1 Column_1	 IPE 270	STEEL	82.38	231.58	1.83	2 WIND1
	 IPE 300		56.17	208.98	0.97	
	 IPE 330		51.06	197.29	0.59	

Fuente: Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

Existe otra opción en Robot para la selección de la sección de diseño, que es la opción de diseño con optimización, en la cual se realiza básicamente la función anterior del diseño, solo que adicionalmente busca cumplir con uno o más criterios de optimización que se establezcan por el diseñador, como pueden ser los que a continuación se muestran:

- Peso.
- Máxima altura de sección.
- Mínima altura de sección.
- Máximo ancho de ala.
- Mínimo ancho de ala.
- Espesor mínimo del ala.
- Espesor mínimo del alma.

La optimización en la elección de la sección de diseño se realiza mediante un proceso iterativo, que comienza tomando los resultados del análisis estructural realizado con la estructuración original, se configuran los parámetros de pandeo para cada tipo de miembro según su comportamiento estructural, posteriormente se definen los grupos de diseño seleccionando los elementos que cumplen funciones estructurales similares y que tendrán la misma sección, se realiza la configuración de parámetros del código a cumplir, así como la elección del criterio de optimización, para que al realizar los cálculos se encuentre una sección que cumple con los requerimientos y que reemplace a la sección actual, por lo cual la estructura original se modifica tendiéndose que analizar nuevamente, dado que la rigidez de la estructura se modifica y muestra otro comportamiento al tener una nueva sección en sus elementos, por lo cual se repite el diseño y este puede encontrar nuevamente otra sección de diseño optimizada, este procedimiento resulta iterativo., La sección final se encuentra cuando el resultado del análisis corresponde en diseño a la misma sección previamente optimizada.

Ilustración 46 Iteración de diseño



Selección de la sección de diseño y reemplazo en la estructura original.

Fuente; Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM (Murcio Juárez, 2013)

3.5.3. Modulo Madera.

Básicamente el módulo de diseño estructural en madera es muy similar al de diseño en acero, con las variantes que toman en cuenta las propiedades de los elementos de madera, así como el comportamiento del material en sí (es un material ortotrópico). La revisión y diseño de estructuras de madera puede emplear cualquiera de los ocho códigos de diseño que contiene el módulo.

EL algoritmo de diseño es el mismo que el utilizado para el modulo de diseño de acero, con sus consideraciones en la configuración de parámetros de diseño donde se toman en cuenta criterios específicos para madera, entre los cuales se encuentran la humedad, un coeficiente que modifica la resistencia de material

dependiendo la duración de algún caso de carga sobre la estructura, así como reducción en la resistencia debida al fuego entre otros.

3.5.4. Módulo de Concreto Reforzado.

El diseño de concreto reforzado se compone de submódulos uno enfocado a losas y paneles de concreto reforzado, el otro enfocado a elementos esqueléticos de concreto reforzado entendiendo estos como elementos tipo viga, columna, cimentación, zapatas, viga de gran peralte, muro y nodo estructural viga columna (El muro puede ser tomado como panel o losa, dependiendo del tipo de esfuerzos que se producen por su comportamiento estructural, si es un muro a cortante, efecto de membrana, a flexión).

3.5.5. Paneles y losas.

Para llevar a cabo el diseño de paneles y losas, se deben configuran los parámetros de diseño, como son, la dirección del refuerzo principal, el tipo de cálculo para el refuerzo (si es por flexión simple, compresión/tensión o ambos), valores permisibles para deflexión y agrietamiento, el recubrimiento del refuerzo, y la limitación del refuerzo mínimo.

El procedimiento de diseño de un panel o losa se realiza, utilizando los elementos mecánicos resultado del análisis estructural, se divide en dos partes principales, la primera es el cálculo del refuerzo teórico (que es el refuerzo teórico necesario por sección o unidad de área para aportar la resistencia que requiere la sección para soportar los elementos mecánicos actuantes, a partir de las expresiones del código seleccionado) y la segunda es el proporciona miento del refuerzo práctico de construcción (la distribución y arreglo de varillas de diámetro/s comercial/es, con las que se armará la sección para su construcción, que cumple siempre con ser un armado mayor o igual al teórico obtenido en el paso previo).

Para la determinación del armado teórico, en el programa Robot, se dispone de tres posibles métodos de cálculo de refuerzo, el analítico, el de momentos equivalentes simplificado (NEN) y los momentos equivalentes completo (Wood & Armer).

Con los cálculos del refuerzo teórico como base, se realiza el proporcionamiento del refuerzo práctico real que se colocaría en la construcción, para lo cual el programa realiza una distribución de armado de manera automática a partir de algunos parámetros previamente definidos por el diseñador del refuerzo como son, un rango determinado de diámetros de las varillas a usar de refuerzo, utilizar en algún caso varillas o malla electrosoldada como refuerzo o la combinación de ellas y los dobleces a utilizar de acuerdo al código seleccionado.

El programa determina el refuerzo en base a un algoritmo de optimización para proponer una lista de distribuciones de refuerzo, en donde se muestra el armado para cada lecho y en las dos direcciones de la parrilla de refuerzo. En algunos casos las propuestas automáticas generadas por el programa no resultan prácticas constructivamente, por lo dicho programa cuenta con una opción para considerarlas solo como base y modificarlas manualmente por el diseñador para hacer una propuesta constructivamente más viable. Con los armados prácticos determinados, el programa Robot verifica que el armado seleccionado cumpla con el código y con el refuerzo teórico requerido, al finalizar esta verificación se presenta un modelo tridimensional del elemento donde se muestra la apariencia física del armado incluyendo dobleces y traslapes, también se muestra una tabla con la cuantificación total del armado.

3.5.6. Elementos esqueléticos de concreto reforzado.

Cuando los elementos son tipo columnas, vigas, uniones columna-viga, muros de cortante, trabes de gran peralte y zapatas, el programa dispone de un procedimiento similar al previamente expuesto aplicable a placas/membranas, con el cual se obtienen los armados de refuerzo, de acuerdo al código aplicable seleccionado.

Para realizar el diseño el programa transfiere los elementos estructurales al módulo de diseño reconoce cada uno de los elementos mecánicos para realizar la propuesta de armado. El reconocimiento estructural se basa en las propiedades de la estructura, su geometría, su sistema coordinado local sistema de soporte, así como los elementos mecánicos producto del análisis estructural.

A partir de los resultados del análisis estructural, utilizando el código de diseño seleccionado, el módulo de diseño permite determinar el área de refuerzo requerido y el espaciamiento de las varillas de refuerzo dentro de una sección transversal del elemento estructural. Para realizar los cálculos para determinación del refuerzo requerido se establecen en el programa los parámetros de diseño, como son, los requeridos para condición de pandeo, recubrimientos, elección de características del material, exposición al medio ambiente, riesgo sísmico, diámetro de varillas y estribos, etc.

Los cálculos del refuerzo requerido proponen una distribución del armado para la sección transversal del elemento estructural. Los resultados se pueden presentar en una tabla, o en forma de gráficos, que muestra el elemento en 3D junto con la propuesta de armado, los diagramas de elementos mecánicos de momentos flexionantes, momentos torsionales, fuerzas axiales, cortantes o de interacción dependiendo cual sea el caso del elemento estructural a diseñar, Por último el programa Robot presenta una nota de cálculo con todos los parámetros adoptados por el programa para realizar la propuesta de armado.

El usuario tiene la libertad de establecer armado diferente a la propuesta hecha por el programa, el cual una vez incorporado al modelo, se revisa por el programa conforme el código adoptado para el módulo de diseño de elementos de concreto. De igual forma que en la propuesta automática se muestran los resultados para la propuesta hecha por el usuario.

En ocasiones debido al resultado del diseño se requiere proponer una nueva sección para los elementos estructurales, con lo cual se deberá realizar nuevamente el análisis estructural y una nueva propuesta de armado, esta tarea en este caso, es de carácter iterativo, el diseño final además de cumplir con los requerimientos del código, debe cumplir con otros criterios que deben ser incorporados por el diseñador, los cuales afectan el diseño de la estructura como son los aspectos de economía y constructibilidad.

3.6. Instalaciones y acabados

Dentro de los programas que forman la plataforma BIM, se encuentran los programas especializados tanto en el diseño arquitectónico como en las instalaciones de un proyecto de edificación, estas herramientas trabajan conjuntamente para conformar a detalle el modelo tridimensional con la información necesaria para su construcción.

Esta parte de la plataforma BIM, especializada en el diseño arquitectónico e instalaciones, contiene las herramientas que permiten crear modelos de manera dinámica, con gran detalle, con visualizaciones de gran calidad, y que gracias a sus análisis de consumos de energía permiten crear, diseños de edificios sustentables. Estas herramientas ofrecen el nivel de detallado de los acabados que se tendrá en los elementos estructurales y arquitectónicos, así como potencialidad para reproducir las características del entorno de la edificación, para visualizar como es el sitio de la edificación, la ornamentación, topografía, etc.

Como se ha mencionado, los programas de la plataforma BIM encargados de modelar los sistemas de instalación, como son: aire acondicionado y mecánicos, las instalaciones eléctricas y las instalaciones de tuberías (sanitarias), tienen la potencialidad para realizar los cálculos de estos tipos de instalaciones, como son los análisis de flujo de aire real, para determinar el equipo electromecánico y el tamaño de los ductos de aire acondicionado, el análisis de cargas eléctricas para

determinar los calibres de los cables para el sistema eléctrico, la fricción y velocidad en tuberías para determinar su diámetro en el sistema hidrosanitario.

Estás y más características permiten crear diseños de instalaciones precisos y con un empleo óptimo de materiales. La interacción entre estos modelos permite crear un diseño realista con gran detalle, a la vez que se considera un aspecto óptimo, económico, ofreciendo funcionalidad y seguridad.

El modelo es capaz de ofrecer la visualización real de la edificación, la simulación de su construcción, así como facilitar la generación de documentación tanto para compra de materiales, como para seguimiento de la construcción, lo que permite realizar mejores proyectos de manera más eficiente.

4. IDENTIFICACIÓN DE FUENTES

4.1. Fichas bibliográficas textuales

Las fichas bibliográficas textuales se utilizarán para extraer de las fuentes doctrinales las citas necesarias para el procesamiento de información teórica.

Las fichas bibliográficas consisten en un conjunto de fichas técnicas contentivas de aquellos elementos que permiten al lector identificar la fuente de la información no original citada en el texto principal de la obra. La integran las fichas correspondientes a obras publicadas, originales aceptados por una entidad editorial, y documentos depositados en centros de documentación, bibliotecas y archivos de instituciones especializadas (Academia de Ciencias de Cuba, 1977, pág. 62) Las fichas están destinadas para anotar meramente los datos de un libro o artículo. Estas fichas se hacen para todos los libros o artículos que eventualmente pueden ser útiles a nuestra investigación, no solo para los que se han encontrado físicamente o leído.

4.2. Fuentes Primarias

La información primaria permite recopilar información de primera mano, constituyen a utilizar la técnica de la observación, indagación, entrevistas desarrollados en proponer el modelado virtual bajo la metodología Building Information Modeling (BIM) mediante un estudio de caso en un proyecto de construcción.

4.3. Fuentes Secundarias

Dentro de la información secundaria está la información documental, compilada, resumida, procesada de fuentes de información que se encuentran registradas en escritos y documentación referente a proponer el modelado virtual bajo la metodología Building Information Modeling (BIM) mediante un estudio de caso en un proyecto de construcción, entre libros y artículos científicos que abordan el tema del modelado virtual bajo la metodología Building Information Modeling (BIM).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo dependerá del objetivo de la investigación es decir proponer el modelado virtual bajo la metodología Building Information Modeling (BIM) mediante un estudio de caso en un proyecto de construcción y como apunta a describir o caracterizar el problema, el diseño resultante es de tipo descriptivo; porque se trata de identificar y seleccionar qué aspectos empíricos del problema resultan más relevantes desde un punto de vista más bien teórico o se trata de contrastar qué teorías explican mejor un fenómeno.

Un diseño de tipo descriptivo, relaciona un nivel de análisis teórico con un nivel de observación empírico. Un paso fundamentalmente importante fue determinar a qué nivel de análisis se refiere el problema y qué unidades de observación serán tenidas en cuenta en esta investigación. Para Hernández Sampieri; “Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas” (Hernandez Sampieri, 2010). De modo que sirva para “describir cómo es y cómo se manifiesta el fenómeno y sus componentes” (Hernandez Sampieri, 2010).

Es Descriptiva porque, con la investigación se especifican criterios para proponer el modelado virtual bajo la metodología Building Information Modeling (BIM) mediante un estudio de caso en un proyecto de construcción, este estudio permite medir, recolectar y evaluar datos sobre diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno investigado, correlacionando las variables.

2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación tiene un enfoque mixto, utilizó los enfoques cualitativo y cuantitativo, es una metodología de investigación que consiste en recopilar, analizar e integrar tanto investigación cuantitativa como cualitativa en proponer el modelado virtual bajo la metodología Building Information Modeling (BIM) mediante un estudio de caso en un proyecto de construcción. Este enfoque se utiliza cuando se requiere una mejor comprensión del problema de investigación, y que no se podría dar cada uno de estos métodos por separado, los datos cuantitativos incluyen información cerrada como la que se utiliza para medir actitudes, por ejemplo aplicar la metodología Building Information Modeling (BIM) mediante un estudio de caso en un proyecto de construcción.

La utilización de varios métodos se puede realizar simultánea o secuencialmente, respetando en todo momento el carácter específico de cada método y no provocando la mezcla y el desorden. Por lo que se puede utilizar métodos cuantitativos, que puedan dar respuesta a algunas cuestiones concretas de la investigación; de esta forma son los datos cuantitativos los que se incorporan en un estudio cualitativo. Datos cuantitativos y cualitativos son dos formas de aproximación a la realidad que no son mutuamente excluyentes, sino que pueden llegar a ser fácilmente integrables

Para Mixing, Brannen J. “la combinación de métodos cuantitativos y cualitativos en un solo estudio es cada vez más frecuente en la investigación, a pesar de que sus aproximaciones al problema pertenecen a paradigmas diferentes” (Mixing, 1992.).

2.1 Métodos teóricos

El método inductivo deductivo, desarrollado para la construcción de esta reflexión, toma como punto de partida las fases de la construcción de estados del arte, que se adaptaron al proceso de revisión documental realizado, para originar una fase

heurística y una fase hermenéutica: En la fase heurística, de orden preparatorio, que corresponde a la búsqueda y recopilación de fuentes de información (BARBOSA CHACON . et al, 2013,) , se realizó la selección del tema y la clarificación temática de los dominios del trabajo a realizar, entre libros y artículos científicos que abordan el tema del modelado virtual bajo la metodología Building Information Modeling (BIM) mediante un estudio de caso en un proyecto de construcción, desde una línea filosófica y aquellos que abordan la historia de las ciencias.

3. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

V_I= Modelado virtual bajo la metodología Building Information Modeling (BIM) mediante un estudio de caso en un proyecto de construcción

V_D= Diseño arquitectónico y la coordinación de las especialidades técnicas, y se extraiga información necesaria para proponer una nueva metodología de trabajo del área de diseño

V_M= Departamento de La Paz

4. POBLACIÓN Y MUESTRA

161 empresas constructoras registradas en la Cámara de la Construcción de La Paz
Estudiantes de último año de la Carrera de Arquitectura Universidad Pública de El Alto

4.1 Dimensionamiento muestral

El primer grupo corresponde a las 161 empresas asociadas a CADECO La Paz, el segundo grupo corresponde 220 estudiantes de último año de la carrera de arquitectura de la UPEA los que formaran parte del universo de esta investigación, la aplicación de un muestreo es una técnica usada consistente en seleccionar una muestra de la población por el hecho de que sea accesible. Es decir, los individuos

empleados en la investigación se seleccionan porque están fácilmente disponibles y porque sabemos que pertenecen a la población de interés, no porque hayan sido seleccionados mediante un criterio estadístico. Esta conveniencia, que se suele traducir en una gran facilidad operativa y en bajos costes de muestreo, tiene como consecuencia la imposibilidad de hacer afirmaciones generales con rigor estadístico sobre la población

Para determinar el tamaño de una muestra, dado un error estándar establecido, se consideran las siguientes fórmulas:

$$n = \frac{Z^2 \times P \times Q \times N}{E^2 \times (N - 1) + Z^2 \times (P \times Q)}$$

4.1.1 Determinación del grado de z y E

Se asume trabajar con un 95% de confianza, que equivale a trabajar con la probabilidad de 1.645, ya que si se trabaja con un nivel de confianza del 90%, quiere decir que el valor de alfa es igual a 0.50 (probabilidad de que no se cumpla el nivel de confianza del 50%); pero como se trabaja con dos colas, debido a que no conocemos si esta probabilidad es mayor o menor, solamente que es igual o desigual, entonces el valor de alfa (0,50) se divide por dos (dos colas) y este valor se le resta a la probabilidad máxima de que ocurra un hecho y obtenemos el valor de: $1 - 0.025 = 0.975$. El valor de z estandarizado para la probabilidad del 95 % de confianza. $z = 1.64$, se debe asumir el error $E = 10$; que es lo mismo que considerarlo en un 10%: éste es el valor a tomar.

4.1.2 Determinación de la probabilidad q

Se sabe que al realizar el cálculo de una muestra se debe considerar un porcentaje o una proporción de elementos que puedan incluirse en dicha muestra, pero que no reúnan las características de la población, a lo que a esta probabilidad se le ha llamado “q” y se sugiere que para $N \geq 161$ empresas asociadas a CADECO La Paz se considera $q = 0.5$ (un error del 5 al 95%). Para el cálculo en cuestión se asume $p = 0,50$; es decir, se consideró un 50% $q = 0,50$.

4.1.3 Determinación de la probabilidad

Como la probabilidad de considerar la proporción de elementos que reúnen las mismas características de la población se determina por la expresión: $p=1- q$, entonces al sustituir a q en la misma tenemos: $p = 1- 0,5 = 0,5$ $p=0,5$

4.1.4 Calculo de n

Sustituyendo en la fórmula:

$$n = \frac{(1,64)^2 \times 0,5 \times 0,5 \times 161}{10\%^2 \times (161 - 1) + 1,64^2 \times (0,5 \times 0,5)}$$

$$n = 47,84$$

Dónde:

N: 161 empresas asociadas a CADECO La Paz

P: probabilidad de ocurrencia del hecho observado de 0.50

Q: probabilidad de no ocurrencia del hecho observado de 0.50

Z: con una seguridad de 1,64

E: con una precisión de 10%

n: tamaño de la muestra que llega a ser de 48 empresas asociadas a CADECO La Paz.

Sustituyendo en la fórmula:

$$n = \frac{(1,64)^2 \times 0,5 \times 0,5 \times 220}{10\%^2 \times (220 - 1) + 1,64^2 \times (0,5 \times 0,5)}$$

n = 51.67

Dónde:

N: 220 estudiantes de último año de la carrera de arquitectura de la UPEA

P: probabilidad de ocurrencia del hecho observado de 0.50

Q: probabilidad de no ocurrencia del hecho observado de 0.50

Z: con una seguridad de 1,64

E: con una precisión de 10%

n: tamaño de la muestra que llega a ser de 52 estudiantes de último año de la carrera de arquitectura de la UPEA

5. AMBIENTE DE LA INVESTIGACIÓN

En la fase hermenéutica, que representa el trabajo de lectura, análisis, interpretación y comprensión crítica y objetiva, (BARBOSA CHACON . et al, 2013,) se concretizó una categorización inductiva, que determina tres condiciones, que constituyen el cuerpo de la reflexión: una primera condición corresponde a la contribución de documentos desde los factores para proponer el modelado virtual bajo la metodología Building Information Modeling (BIM) mediante un estudio de caso en un proyecto de construcción.

Se consideró tomar la orientación del método como una “representación circular del proceso de investigación científica, esta versión circular de la investigación está representada por dos modelos: la Rueda de Wallace, y la Espiral de Leedy”. (BARRAGAN et al, 2003) El desarrollo de esta investigación requirió de la aplicación de un modelo científico, que incluya como elementos centrales del proceso de investigación: teorías, observaciones, generalizaciones, compilación de datos, entre otros. Para Hernández Sampieri (Hernandez Sampieri, 2010) el proceso científico usualmente “aplica tanto la inducción como la deducción; La inducción es un proceso lógico que significa desarrollar generalizaciones basadas en un limitado pero importante conjunto de datos a cerca de una clase de eventos para desarrollar una generalización sobre las características del análisis de la gestión de calidad. La deducción en el proceso de investigación permite derivar hipótesis de una explicación generalizada o teoría”.

En este proyecto de investigación, la deducción apoya la formulación de pregunta de investigación ¿Cómo diseñar y desarrollar proyectos arquitectónicos bajo la metodología y los principios del BIM, para obtener un mejor desempeño durante su construcción? Y la inducción permite obtener evidencias que respalden o no a la respuesta a esa pregunta mediante la observación. El modelo lógico-racional representa a la investigación como un proceso cíclico en el que las diversas fases son interdependientes. Para (BARRAGAN et al, 2003) “el modelo del proceso de investigación científica de Wallace se ha utilizado y adaptado para describir el ciclo de investigación”. La ilustración N°10 describe el modelo.

Ilustración 47 Proceso de investigación



Fuente: Elaboración propia en base a Therese L. Baker, Doing Social Research. 2ª. ed. Mc Graw Hill

En este modelo se identifican los componentes centrales de la información, que, a su vez, son considerados como los elementos básicos de la ciencia: observaciones, generalizaciones y teorías. Resalta también los métodos que se definen como las

rutas o caminos que sirven para desplazarse de una etapa a otra durante el proceso de investigación científica.

Para Hernández Sampier, “este círculo se inicia con las observaciones como principal componente de la información, no obstante, las observaciones no se pueden considerar independientes de las ideas y los diagramas de pensamiento establecidos” (Hernandez Sampieri, 2010).

6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

6.1. Encuestas

En la presente investigación, se empleó la técnica la encuesta; siendo el instrumento; el cuestionario, con el propósito de recabar la percepción de los factores para proponer el modelado virtual bajo la metodología Building Information Modeling (BIM) mediante un estudio de caso en un proyecto de construcción en la ciudad de El Alto, a una muestra de las 161 empresas constructoras registradas en CADECO La Paz y 220 estudiantes de último año de la carrera de arquitectura de la UPEA

6.2. Codificación, Digitación y Análisis de las encuestas

El proceso de tabulación de los resultados del muestreo de las encuestas, se llevará a cabo en el programa SPSS.

6.3. Estudio de caso

Los estudios de casos sirven para describir, comparar, evaluar y comprender diferentes aspectos de un problema de investigación.

7. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

7.1. Método Interpretativo

El método interpretativo comprende que la realidad es dinámica y diversa dirigida al significado de las acciones humanas, la práctica social, a la comprensión y significación. Está orientado al descubrimiento, hay una relación democrática y comunicativa entre el investigador y el objeto investigado.

Este método está centrado en las diferencias, la investigación y la acción están en constante interacción. La acción como fuente de conocimiento y la investigación se constituye en una acción.

Ricardo Guastini, quien sostiene:

Que «interpretar» significa cosas diferentes en virtud del objeto sobre el que se realiza la tarea interpretativa, pudiendo recaer sobre hechos, eventos históricos o sociales o textos. Al ser la interpretación un término que abarca significados diversos entre sí, no considera posible hacer algo así como un tratado general sobre la misma (Guastini, 1998, pág. 12)

7.2. Método analítico

El Método analítico es aquel método de investigación que consiste en la desmembración de un todo, descomponiéndolo en sus partes o elementos para observar las causas, la naturaleza y los efectos. Es necesario conocer la naturaleza del fenómeno y objeto que se estudia para comprender su esencia. “Es un método que consiste en la separación de las partes de un todo para estudiarlas en forma individual” (Ponce de León, 1996)

Este método permitirá que se lleve a cabo el proceso del presente trabajo de manera lógica realizando un análisis minucioso del problema llegando a una propuesta factible y satisfactoria para las partes. De manera específica:

Es el razonamiento que partiendo de casos particulares se eleva a conocimientos generales; o, también, razonamiento mediante el cual pasamos del conocimiento de un determinado grado de generalización a un nuevo conocimiento de mayor grado de generalización que el anterior (Stan Alan, 1980, pág. 58)

Entendiendo el análisis como “un procedimiento para llegar a la comprensión mediante la descomposición de un fenómeno en sus elementos constitutivos (Lopera, 2010, pág. 46), y el método científico como la “contrastación dialéctica entre la teoría y la práctica” (Ramirez, 1991, pág. 35).

7.3. Método comparativo

Este método ayudará al estudio de los elementos o fenómenos de otras legislaciones del mundo en relación al estudio de nuestra legislación en la investigación.

“La comparación es inherente a todo procedimiento científico, el método científico es inevitablemente comparativo, y toda política es, de alguna manera, política comparada” (Grosser, 1973).

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

El presente estudio es de carácter cualitativo y cuantitativo. En este capítulo se pretende materializar lo estudiado en el marco práctico (filosofía y metodología BIM) y aplicarlo en un proyecto de diseño arquitectónico y construcción de viviendas en la ciudad de El Alto

1. Tareas de investigación

Tabla 1 Tareas de Investigación

OBJETIVOS	TAREAS
Realizar el diseño arquitectónico de un proyecto piloto utilizando el modelado en 3D, bajo metodología BIM.	Diseñar un proyecto arquitectónico y modelarlo en 3D, con altos grados de especificación y detalle (LOD 400), bajo la metodología BIM y mediante la utilización del software Revit Architecture. Todos los elementos a modelar deberán ser nombrados de acuerdo con la estructura de nomenclatura que utilice el presupuestador, para que las tablas con cantidades de obra que arroje el modelo 3D sean compatibles y de gran utilidad para el presupuestador, en aras de facilitar el trabajo y hacer que el presupuesto se haga con mayor precisión.
Modelar en 3D los diseños técnicos entregados por los especialistas	Se realizará en Revit Architecture la modelación 3D de las diferentes

OBJETIVOS	TAREAS
(estructural, acero, hidrosanitario, gas, eléctrico), para que sean compatibles con el modelo principal arquitectónico BIM.	disciplinas técnicas. Luego se identificarán las diferentes colisiones e interferencias que puedan existir entre todas las disciplinas involucradas en el software Navisworks, las cuales serán socializadas y solucionadas con cada uno de los profesionales, mediante una coordinación técnica.
Realizar programación de obra del proyecto para generar un modelo en 4D desde el software Navisworks.	Con el modelo 3D en cero colisiones, se construirá un modelo 4D en el software Navisworks, que permita visualizar y simular la secuencia constructiva teórica del proyecto, para garantizar su constructabilidad.
Comparar los beneficios de la metodología BIM versus la metodología tradicional utilizada	Las cantidades de obra para la elaboración del presupuesto serán extractadas en su gran mayoría desde el modelo 3D y se entregarán en tablas de cantidades editables en el software Microsoft Excel.

Fuente: Elaboración Propia

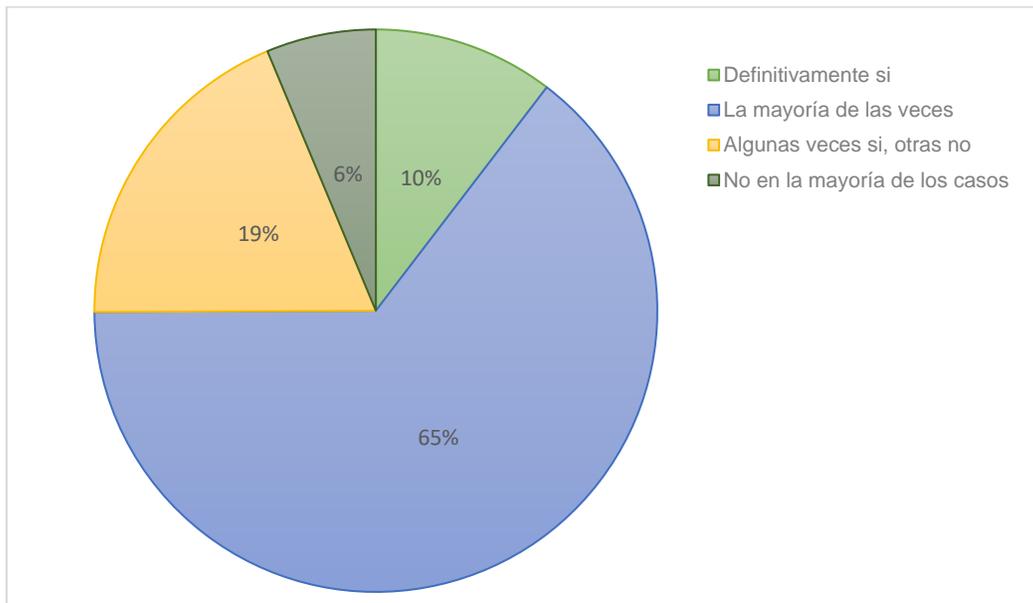
2. Aplicación del Cuestionario

Para Validar los objetivos operacionales se realizó un cuestionario en las características definidas y descritas en la parte metodológica.

2.1. Aplicación de Cuestionario CADECO

1. ¿Considera Usted que Diseñar un proyecto arquitectónico y modelado en 3D, bajo la metodología BIM y la utilización del software Revit Architecture, es de gran utilidad para el presupuestador por la mayor precisión?

Ilustración 48 Diseño bajo la Metodología BIM CADECO

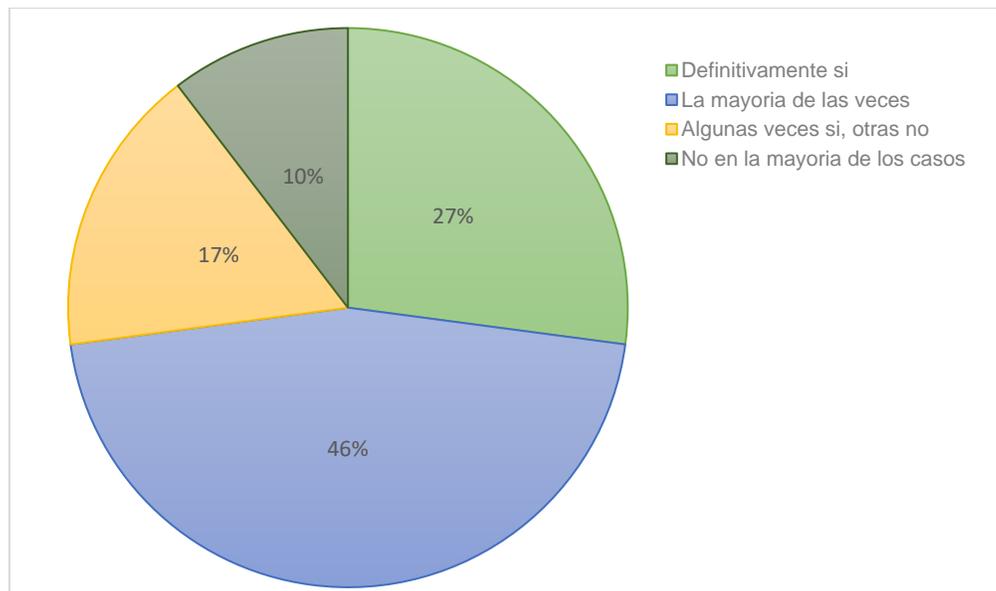


Fuente: Elaboración Propia en base a la encuesta realizada y procesada con SPSS 3.0

La consulta a los responsables de empresas de ingeniería sobre: ¿Considera Usted que Diseñar un proyecto arquitectónico y modelarlo en 3D, bajo la metodología BIM y la utilización del software Revit Architecture? es de gran utilidad para el presupuestador por la mayor precisión? La respuesta fue: Definitivamente si, con una frecuencia 5 y un porcentaje de 10,42%; la mayoría de las veces, con una frecuencia 31 y un porcentaje de 64,58%; algunas veces sí, otras no, con una frecuencia 9 y un porcentaje de 18,75% y No en la mayoría de los casos, con una frecuencia 3 y un porcentaje de 6,25%, el grafico permite confirmar el objetivo: Realizar el diseño arquitectónico de un proyecto piloto utilizando el modelado en 3D, bajo metodología BIM.

2. ¿Considera usted que para la modelación 3D en Revit Architecture las colisiones e interferencias deben ser socializadas y solucionadas con cada uno de los profesionales, mediante una coordinación técnica?

Ilustración 49 Las colisiones e interferencias deben ser socializadas y solucionadas CADECO

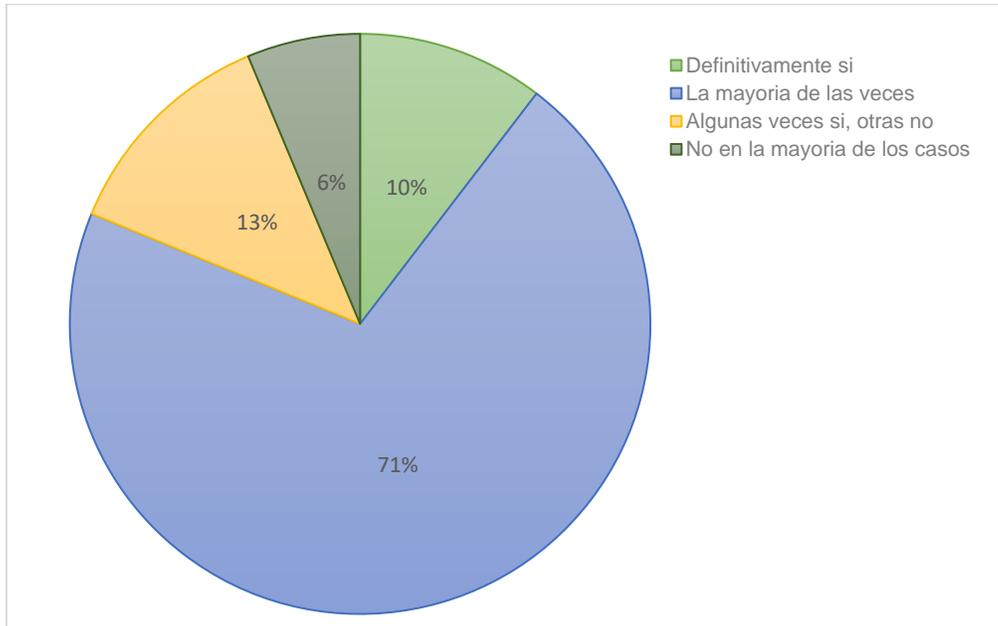


Fuente: Elaboración Propia en base a la encuesta realizada y procesada con SPSS 3.0

La consulta a los responsables de empresas de ingeniería sobre ¿Considera usted que para la modelación 3D en Revit Architecture las colisiones e interferencias deben ser socializadas y solucionadas con cada uno de los profesionales, mediante una coordinación técnica? La respuesta fue: Definitivamente si, con una frecuencia 13 y un porcentaje de 27,08%; la mayoría de las veces, con una frecuencia 22 y un porcentaje de 45,83%; algunas veces sí, otras no, con una frecuencia 8 y un porcentaje de 16,67% y No en la mayoría de los casos, con una frecuencia 5 y un porcentaje de 10,41%, el gráfico permite confirmar el objetivo: Modelar en 3D los diseños técnicos entregados por los especialistas (estructural, acero, hidrosanitario, gas, eléctrico), para que sean compatibles con el modelo principal arquitectónico BIM.

3. ¿Considera usted que para garantizar su constructabilidad, el modelo 3D debe tener colisiones para desarrollarse un modelo 4D en el software Navisworks?

Ilustración 50 Garantizar la constructabilidad con el modelo 3D CADECO

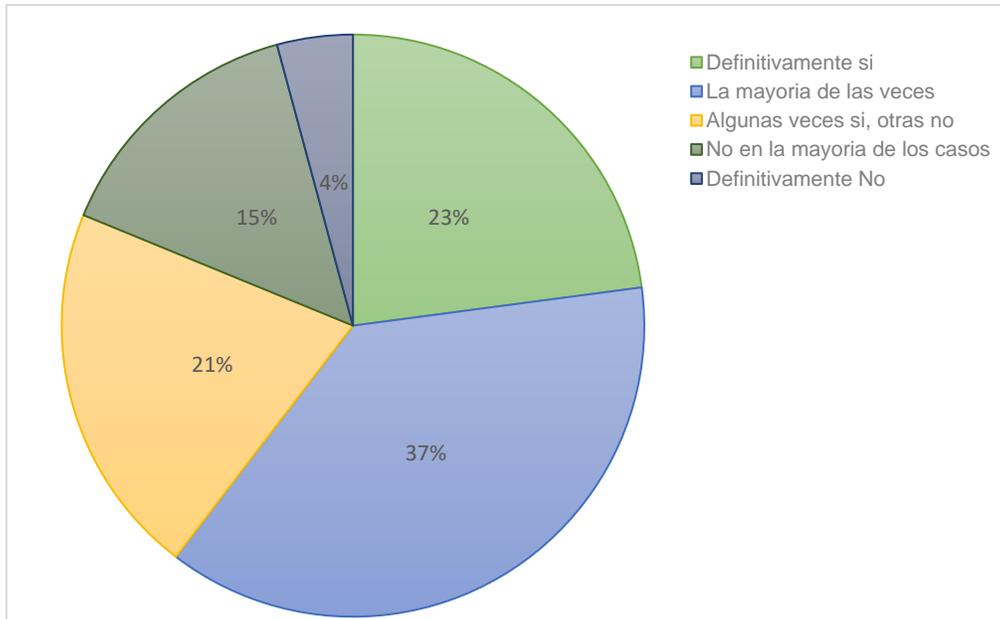


Fuente: Elaboración Propia en base a la encuesta realizada y procesada con SPSS 3.0

La consulta a los responsables de empresas de ingeniería sobre: ¿Considera usted que para garantizar su constructabilidad, el modelo 3D debe tener colisiones para desarrollarse un modelo 4D en el software Navisworks? La respuesta fue: Definitivamente si, con una frecuencia 5 y un porcentaje de 10,42%; la mayoría de las veces, con una frecuencia 34 y un porcentaje de 70,83%; algunas veces sí, otras no, con una frecuencia 6 y un porcentaje de 12,5% y No en la mayoría de los casos, con una frecuencia y un porcentaje de 6,25%, el grafico permite confirmar el objetivo: Realizar programación de obra del proyecto para generar un modelo en 4D desde el software Navisworks.

4. ¿Considera usted que las cantidades de obra para la elaboración del presupuesto serán extractadas en el modelo 3D?

Ilustración 51 Elaboración del presupuesto serán extractadas del modelo 3D CADECO



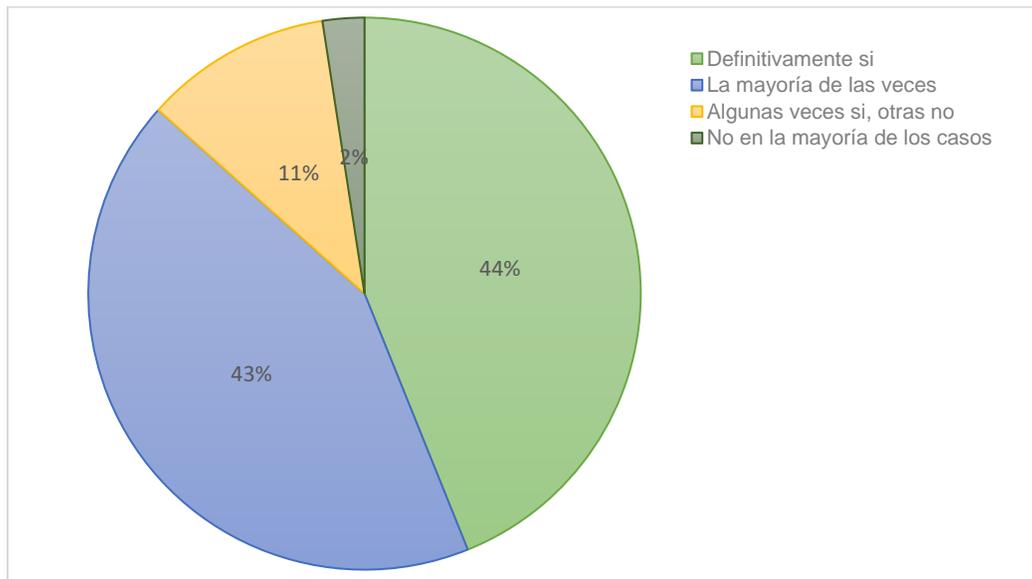
Fuente: Elaboración Propia en base a la encuesta realizada y procesada con SPSS 3.0

La consulta a los responsables de empresas de ingeniería sobre: ¿Considera usted que las cantidades de obra para la elaboración del presupuesto serán extractadas en el modelo 3D? La respuesta fue: Definitivamente si, con una frecuencia 11 y un porcentaje de 22,92%; la mayoría de las veces, con una frecuencia 18 y un porcentaje de 37,5%, algunas veces sí, otras no, con una frecuencia 10 y un porcentaje de 20,83% y No en la mayoría de los casos, con una frecuencia 7 y un porcentaje de 14,58% y Definitivamente No, con una frecuencia 2 y un porcentaje de 4,17%, el gráfico permite confirmar el objetivo: Comparar los beneficios de la metodología BIM versus la metodología tradicional utilizada.

2.2. Aplicación de Cuestionario UPEA

1. ¿Considera Usted que Diseñar un proyecto arquitectónico y modelado en 3D, bajo la metodología BIM y la utilización del software Revit Architecture, es de gran utilidad para el presupuestador por la mayor precisión?

Ilustración 52 Diseño bajo la Metodología BIM UPEA

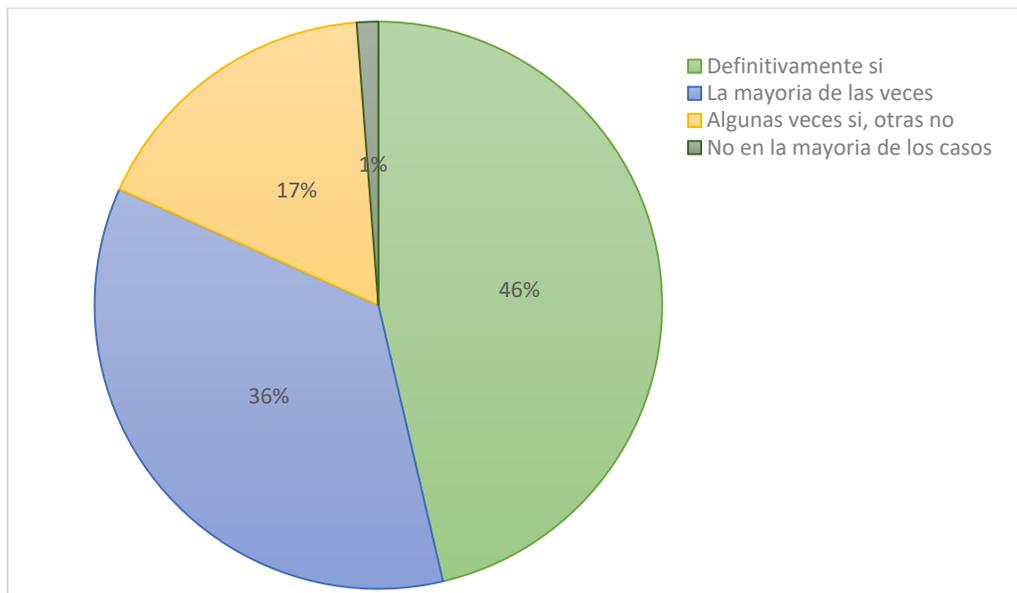


Fuente: Elaboración Propia en base a la encuesta realizada y procesada con SPSS 3.0

La consulta a los estudiantes de la carrera de Arquitectura UPEA sobre: ¿Considera Usted que Diseñar un proyecto arquitectónico y modelarlo en 3D, bajo la metodología BIM y la utilización del software Revit Architecture. es de gran utilidad para el presupuestador por la mayor precisión? La respuesta fue: Definitivamente si, con una frecuencia 36 y un porcentaje de 44%; la mayoría de las veces, con una frecuencia 35 y un porcentaje de 43%; algunas veces sí, otras no, con una frecuencia 9 y un porcentaje de 11% y No en la mayoría de los casos, con una frecuencia 2 y un porcentaje de 2%, el grafico permite confirmar el objetivo: Realizar el diseño arquitectónico de un proyecto piloto utilizando el modelado en 3D, bajo metodología BIM.

2. ¿Considera usted que para la modelación 3D en Revit Architecture las colisiones e interferencias deben ser socializadas y solucionadas con cada uno de los profesionales, mediante una coordinación técnica?

Ilustración 53 Las colisiones e interferencias deben ser socializadas y solucionadas UPEA

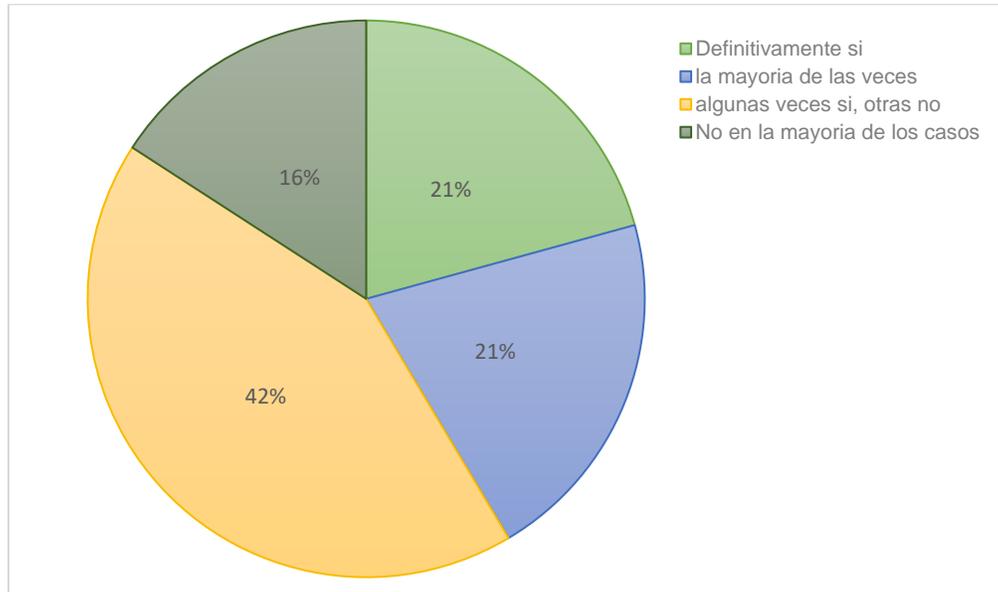


Fuente: Elaboración Propia en base a la encuesta realizada y procesada con SPSS 3.0

La consulta a los estudiantes de la carrera de Arquitectura UPEA sobre: ¿Considera usted que para la modelación 3D en Revit Architecture las colisiones e interferencias deben ser socializadas y solucionadas con cada uno de los profesionales, mediante una coordinación técnica? La respuesta fue: Definitivamente si, con una frecuencia 38 y un porcentaje de 46%; la mayoría de las veces, con una frecuencia 29 y un porcentaje de 36%; algunas veces sí, otras no, con una frecuencia 14 y un porcentaje de 17% y No en la mayoría de los casos, con una frecuencia 1 y un porcentaje de 1%, el grafico permite confirmar el objetivo: Modelar en 3D los diseños técnicos entregados por los especialistas (estructural, acero, hidrosanitario, gas, eléctrico), para que sean compatibles con el modelo principal arquitectónico BIM.

3. ¿Considera usted que para garantizar su constructabilidad, el modelo 3D debe tener colisiones para desarrollarse un modelo 4D en el software Navisworks?

Ilustración 54 Garantizar la constructabilidad con el modelo 3D UPEA

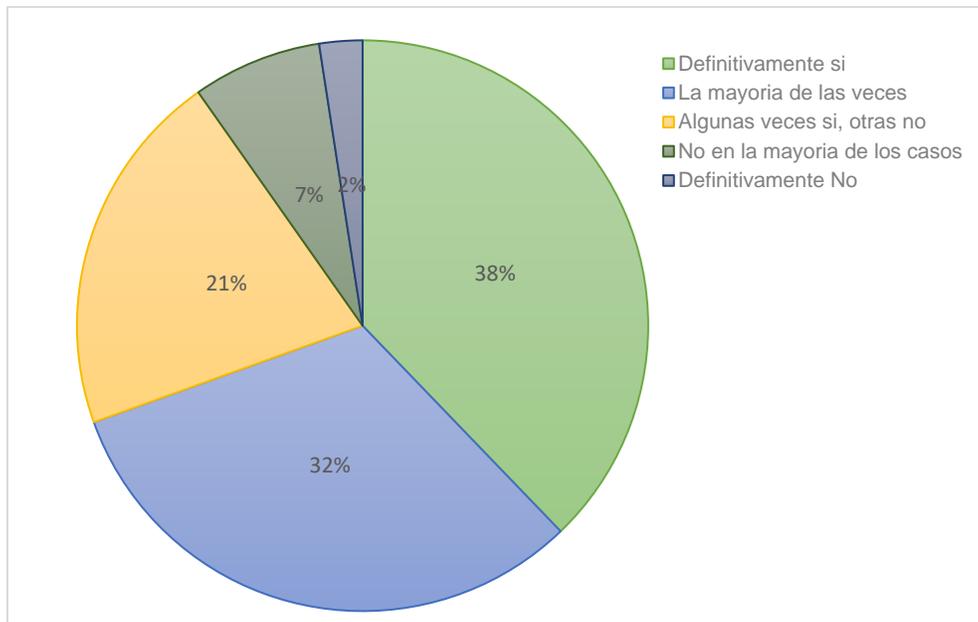


Fuente: Elaboración Propia en base a la encuesta realizada y procesada con SPSS 3.0

La consulta a los estudiantes de la carrera de Arquitectura UPEA sobre: ¿Considera usted que para garantizar su constructabilidad, el modelo 3D debe tener colisiones para desarrollarse un modelo 4D en el software Navisworks? La respuesta fue: Definitivamente si, con una frecuencia 17 y un porcentaje de 21%; la mayoría de las veces, con una frecuencia 17 y un porcentaje de 21%; algunas veces sí, otras no, con una frecuencia 35 y un porcentaje de 42% y No en la mayoría de los casos, con una frecuencia 13 y un porcentaje de 16%, el gráfico permite confirmar el objetivo: Realizar programación de obra del proyecto para generar un modelo en 4D desde el software Navisworks.

4. ¿Considera usted que las cantidades de obra para la elaboración del presupuesto serán extractadas en el modelo 3D?

Ilustración 55 Elaboración del presupuesto serán extractadas del modelo 3D UPEA



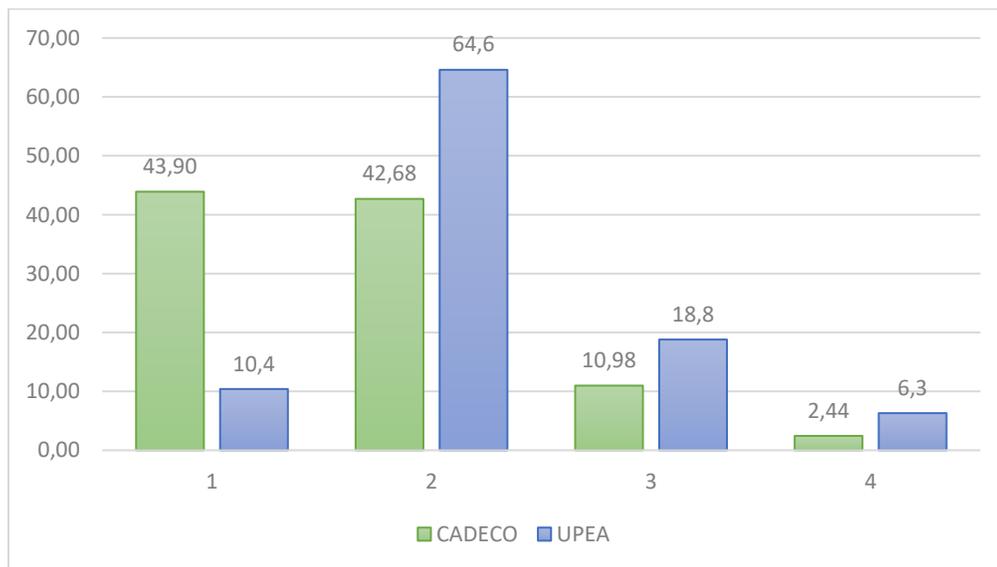
Fuente: Elaboración Propia en base a la encuesta realizada y procesada con SPSS 3.0

La consulta a los estudiantes de la carrera de Arquitectura UPEA sobre: ¿Considera usted que las cantidades de obra para la elaboración del presupuesto serán extractadas en el modelo 3D? La respuesta fue: Definitivamente si, con una frecuencia 31 y un porcentaje de 38%; la mayoría de las veces, con una frecuencia 26 y un porcentaje de 32%, algunas veces sí, otras no, con una frecuencia 17 y un porcentaje de 21%; No en la mayoría de los casos, con una frecuencia 6 y un porcentaje de 7% y Definitivamente No, con una frecuencia 2 y un porcentaje de 2%, el gráfico permite confirmar el objetivo: Comparar los beneficios de la metodología BIM versus la metodología tradicional utilizada.

2.3. Comparación del cuestionario a la CADECO y a la UPEA

1. ¿Considera Usted que Diseñar un proyecto arquitectónico y modelado en 3D, bajo la metodología BIM y la utilización del software Revit Architecture, es de gran utilidad para el presupuestador por la mayor precisión?

Ilustración 56 Diseño bajo la Metodología BIM CADECO - UPEA

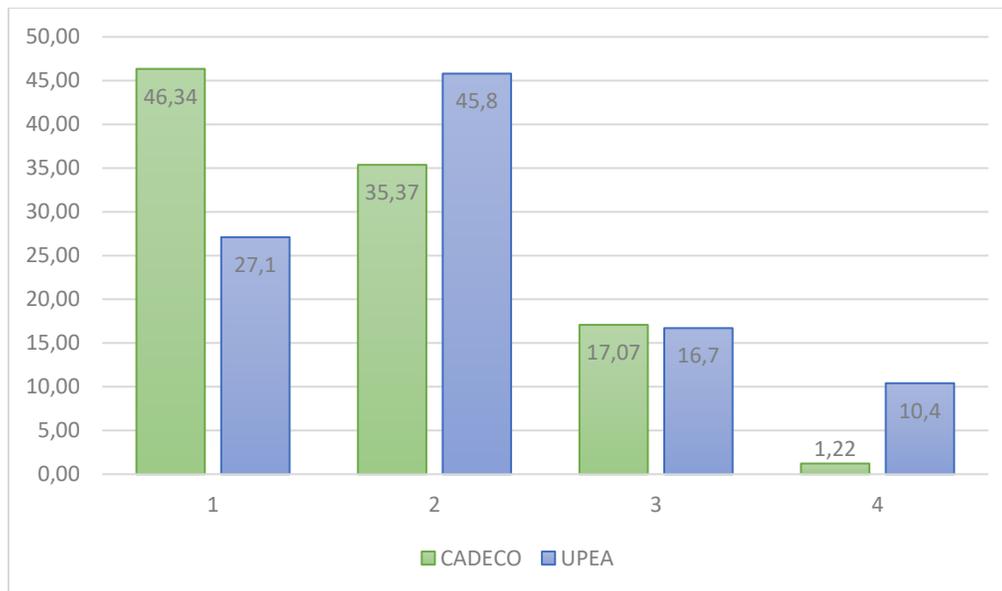


Fuente: Elaboración Propia en base a la encuesta realizada y procesada con SPSS 3.0

La comparación de la consulta a CADECO y UPEA sobre: ¿Considera Usted que Diseñar un proyecto arquitectónico y modelarlo en 3D, bajo la metodología BIM y la utilización del software Revit Architecture es de gran utilidad para el presupuestador por la mayor precisión? La respuesta fue: Definitivamente sí, con una un porcentaje de 44% CADECO y 10% UPEA; la mayoría de las veces, con un porcentaje de 43% CADECO y 65% UPEA; algunas veces sí, otras no, con un porcentaje de 11% CADECO y 19% UPEA y No en la mayoría de los casos, con un porcentaje de 2% CADECO y 6% UPEA, el grafico permite confirmar el objetivo: Realizar el diseño arquitectónico de un proyecto piloto utilizando el modelado en 3D, bajo metodología BIM.

2. ¿Considera usted que para la modelación 3D en Revit Architecture las colisiones e interferencias deben ser socializadas y solucionadas con cada uno de los profesionales, mediante una coordinación técnica?

Ilustración 57 Las colisiones e interferencias deben ser socializadas y solucionadas CADECO - UPEA

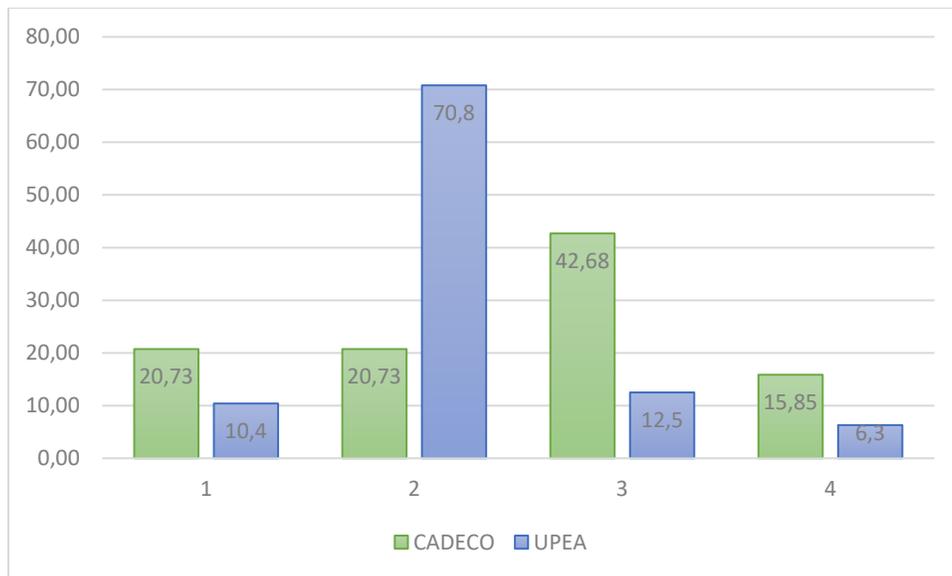


Fuente: Elaboración Propia en base a la encuesta realizada y procesada con SPSS 3.0

La comparación de la consulta a CADECO y UPEA sobre: ¿Considera usted que para la modelación 3D en Revit Architecture las colisiones e interferencias deben ser socializadas y solucionadas con cada uno de los profesionales, mediante una coordinación técnica? La respuesta fue: Definitivamente si, con un porcentaje de 46% CADECO y 27 UPEA; la mayoría de las veces, con un porcentaje de 36% CADECO y 46% UPEA; algunas veces sí, otras no, con un porcentaje de 17% CADECO y 7% UPEA y No en la mayoría de los casos, con un porcentaje de 1% CADECO y 10% UPEA, el grafico permite confirmar el objetivo: Modelar en 3D los diseños técnicos entregados por los especialistas (estructural, acero, hidrosanitario, gas, eléctrico), para que sean compatibles con el modelo principal arquitectónico BIM.

3. ¿Considera usted que para garantizar su constructabilidad, el modelo 3D debe tener colisiones para desarrollarse un modelo 4D en el software Navisworks?

Ilustración 58 Garantizar la constructabilidad con el modelo 3D CADECO - UPEA

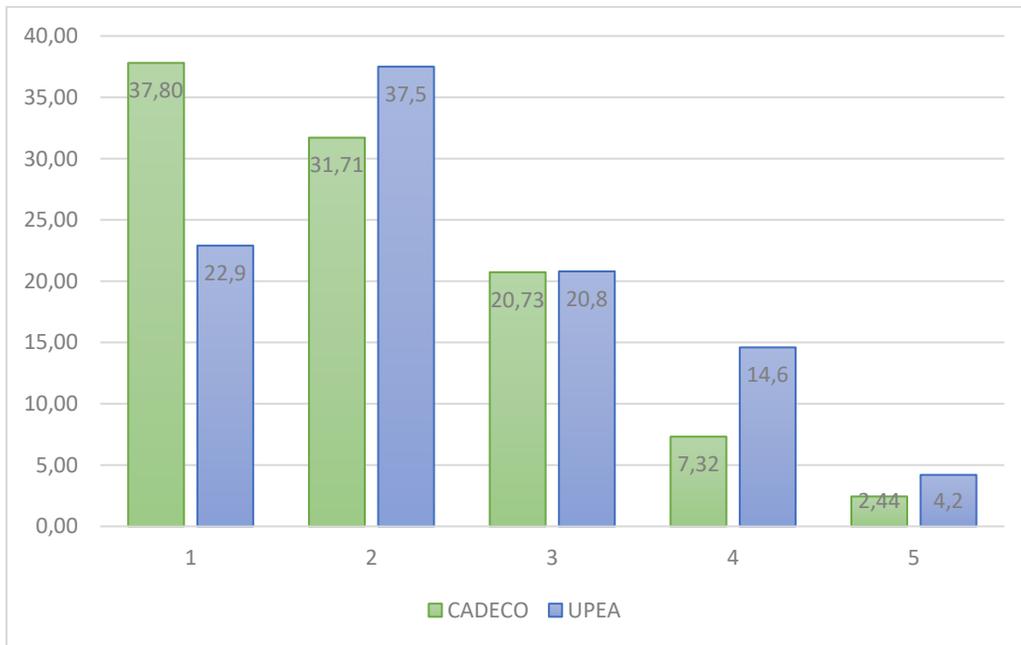


Fuente: Elaboración Propia en base a la encuesta realizada y procesada con SPSS 3.0

La comparación de la consulta a CADECO y UPEA sobre: ¿Considera usted que para garantizar su constructabilidad, el modelo 3D debe tener colisiones para desarrollarse un modelo 4D en el software Navisworks? La respuesta fue: Definitivamente si, con un porcentaje de 21% CADECO y 10% UPEA; la mayoría de las veces, con un porcentaje de 21% CADECO y 71% UPEA; algunas veces sí, otras no, con un porcentaje de 42% CADECO y 12% UPEA y No en la mayoría de los casos, con un porcentaje de 16% CADECO y 6% UPEA, el grafico permite confirmar el objetivo: Realizar programación de obra del proyecto para generar un modelo en 4D desde el software Navisworks.

4. ¿Considera usted que las cantidades de obra para la elaboración del presupuesto serán extractadas en el modelo 3D?

Ilustración 59 Elaboración del presupuesto serán extractadas del modelo 3D CADECO - UPEA



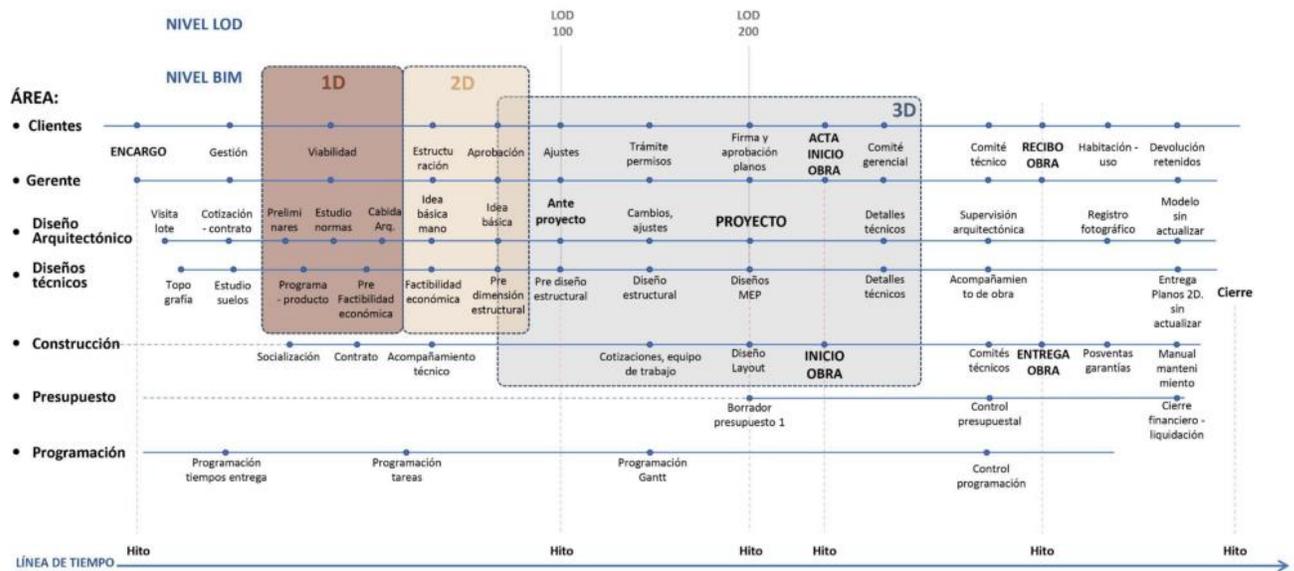
Fuente: Elaboración Propia en base a la encuesta realizada y procesada con SPSS 3.0

La comparación de la consulta a CADECO y UPEA sobre: ¿Considera usted que las cantidades de obra para la elaboración del presupuesto serán extractadas en el modelo 3D? La respuesta fue: Definitivamente sí, con un porcentaje de 38% CADECO y 23% UPEA; la mayoría de las veces, con un porcentaje de 32% CADECO y 37% UPEA, algunas veces sí, otras no, con un porcentaje de 21% CADECO y 21% UPEA; No en la mayoría de los casos, con un porcentaje de 7% CADECO y 15% UPEA y Definitivamente No, con un porcentaje de 2% CADECO y 4% UPEA, el gráfico permite confirmar el objetivo: Comparar los beneficios de la metodología BIM versus la metodología tradicional utilizada.

3. Programación de tareas

Se explica cuál es el flujo de trabajo actual de la empresa y cómo participa y se involucra cada una de las diferentes áreas profesionales o interesadas en los proyectos arquitectónicos.

Ilustración 60 Flujo de trabajo



Fuente: elaboración propia

El eje X es la línea de tiempo del proyecto. En el eje Y se aprecian las diferentes áreas intervinientes en el proyecto. A medida que se avanza en el tiempo van apareciendo tareas o actividades que son asignadas a cada área. Algunas de las tareas pertenecen a cierto nivel BIM.

El momento cero se asume como el encargo del cliente y los primeros acercamientos a qué es lo que desea diseñar. Posteriormente se van haciendo diferentes tareas técnicas y normativas, que comienzan a definir el proyecto.

Se observa que el nivel BIM 3D comienza después de que el producto está definido, tanto en cabida como en idea básica. Es decir, la modelación comienza algo tarde y sólo por este hecho, ya se incurre en el reproceso de tener que convertir información de 2D a 3D, donde por lo general, surgen bastantes dudas y errores, sobre todo en las dimensiones y escalas reales de lo planteado en 2D.

Desde hace 1 año la empresa comenzó a implementar en sus modelos la metodología BIM, básica, a nivel de 3D, con LOD 200, donde sólo se involucra la arquitectura con la estructura (sin acero de refuerzo, sólo volumetría, sin información). Se evidencian algunos beneficios al detectar visualmente algunas colisiones e inconsistencias. Pero al no estar las disciplinas técnicas MEP involucradas, y al no tener un software para detectar interferencias y realizar coordinación técnica para solucionarlas, el modelado BIM quedaba meramente estético y para producción de detalles arquitectónicos, que si bien sirven bastante para realizar la construcción de los proyectos, dejan de aportar información valiosa a los constructores, que se pudiera lograr si se involucraran las demás disciplinas técnicas y se aumentara el nivel LOD.

Para el presupuesto y la programación de obra, los planos deben ser exportados a otro archivo digital en 2D, sea tipo PDF o tipo CAD, para que los profesionales, que no tienen conocimiento del Revit, puedan llevar a cabo sus labores de la manera que siempre lo han sabido hacer. Esto inicialmente acarrea una pérdida de tiempo para el área de arquitectura, al tener que exportar y re convertir planos. También conlleva a errores en comunicación y versionamiento de archivos, puesto que el modelo constantemente se está actualizando, mientras la información 2D queda estática. Consecuentemente, el cruce de correos para actualizar información y versión de los planos es alto, y existe una gran posibilidad que se pase por alto dicha información.

Una vez terminados los diseños arquitectónicos, se procede a brindar un acompañamiento “arquitectónico”, según lo vaya requiriendo la obra, donde se envían detalles de lo que solicite el constructor. En muchos casos surgen dudas e inquietudes durante la construcción, que necesitan ser resueltas con urgencia, pero los constructores deben esperar un poco a que el arquitecto pueda reunirse, o visitar la obra, o enviarle los detalles, o imprimirle los planos. Es tiempo valioso que se pierde para un correcto avance de la obra.

A la hora de terminar los proyectos, el alcance del modelado BIM actual de la empresa no llega hasta actualizar la información ni entregar la planimetría con los planos récord o as built, quedando el proyecto con información desactualizada.

4. Generalidades del proyecto

Para implementar la metodología BIM y poder evaluar sus resultados, es necesario seleccionar un proyecto arquitectónico de la empresa, donde se pueda aplicar dicha metodología y que cumpla preferiblemente con todas las siguientes características:

- Estar en fase de diseño arquitectónico, en la etapa de “idea básica”. Esto es ideal para poder implementar BIM desde el comienzo del mismo.
- Poder llevar a cabo el diseño arquitectónico de principio a fin, y obtener un modelo 3D, LOD 400.
- Se debe contar con una participación activa en la estructuración del equipo de diseños técnicos y su posterior ejecución.
- Tener autonomía para llevar a cabo la coordinación de diseños técnicos.
- Tener contacto directo con el constructor para llevar a cabo el modelo 4D (programación de obra virtual) y algunos insumos del modelado 5D, para la elaboración del presupuesto.

Para ello se escogió un proyecto inmobiliario de vivienda, que cumplía con los requisitos anteriormente mencionados, cuyo diseño arquitectónico es un edificio de

5 pisos que deberán ser modelados en 3D a partir de la información planimétrica suministrada por cada profesional. Este no es el deber ser, pero es necesario para poder llevar a cabo un buen modelo BIM 3D, y una correcta coordinación 4D

4.1. Proceso de estructuración del proyecto

La estructuración del proyecto se refiere a la conformación del equipo de profesionales que intervendrá en algún proceso del proyecto a concebir, en los que se destacan:

- Área de promoción y gerencia.
- Dependencia financiera y legal.
- Inversionistas o grupo de inversionistas.
- Grupo de ventas.
- Diseñadores arquitectónicos, técnicos, consultores.
- Constructor, técnicos, consultores, contratistas proveedores.

Para concebir el proyecto caso de estudio de esta investigación, se estructuró un equipo de trabajo que se seleccionó a conveniencia del proyecto, bien sea por mejor oferta económica que debió haber sido evaluada en comité de socios, o porque formaba parte del grupo de promotores o inversionistas, y su gestión fue elegida por ser participe del proyecto. El grupo de profesionales actual se resume en siguiente personal:

Ilustración 61 Estructura del Proyecto



Fuente: Elaboración Propia

4.2. Descripción de la estructura

4.2.1. Gerente y promotor.

Empresa encargada de definir el proyecto desde la parte administrativa, financiera y legal. Gestionar el crédito constructor de ser necesario y tramitar la licencia de construcción. En este caso se encarga también de las ventas del proyecto.

4.2.2. Cliente e inversionistas.

Personas dispuestas a invertir en un negocio inmobiliario para obtener una utilidad. En este caso, fueron también los promotores del proyecto quienes se encargaron de buscar el lote, conformar el equipo de trabajo, establecer un modelo financiero y definir el producto a vender.

4.2.3. Arquitecto diseñador.

Empresa a cargo de plasmar en un diseño las necesidades de los clientes y del mercado, que cumpla con todas las normativas vigentes y requerimientos técnicos, quepa en el lote, funcione y sea construible.

4.2.4. Ingeniero calculista.

Empresa a cargo de realizar el cálculo y el diseño estructural del edificio, bajo las normativas vigentes, que debe garantizar la estabilidad del proyecto.

4.2.5. Diseñador hidráulico.

Persona encargada del diseño de las redes hidrosanitarias del proyecto. Entrega diseños de agua potable, agua residual, aguas lluvias, red de ventilación, red de incendio si es necesario, memorias de cálculo, etc. En este caso, también diseño las redes de gas. Se debe acomodar a la estructura y la arquitectura actual, de la manera más estética y eficiente. Debe firmar sus diseños y memorias ante la autoridad competente para la conexión de dichos servicios públicos.

4.2.6. Diseñador eléctrico.

Persona encargada del diseño de las redes eléctricas del proyecto. Entrega diseño de redes primarias, acometida, subestación y transformación, iluminación, comunicaciones, televisión, internet, energía, CCTV, apantallamiento, memorias de

cálculo, detección de incendios. Se debe acomodar a la estructura y la arquitectura actual, de la manera más estética y eficiente. Debe firmar sus diseños y memorias ante la autoridad competente para la conexión de dichos servicios públicos.

4.2.7. Publicidad.

Empresa encargada de la comunicación e imagen del proyecto, diseño de brochures, volantes, pasacalles, etc., cumpliendo normativas del estatuto del consumidor y similares.

4.2.8. Renders. 331.

Empresa encargada de la imagen foto realista del proyecto, para ayudar a mostrar y vender mejor el proyecto a clientes interesados. Es un insumo digital para imprimir en brochures y volantes, y así poder mostrar de una manera más acertada el producto a vender; y también para ser compartido de manera digital, en redes sociales y páginas web.

4.2.9. Coordinación técnica.

Empresa encargada de gestionar y coordinar las diferentes disciplinas del modelo BIM. Debe trabajar con el equipo técnico del proyecto, realizar análisis de las colisiones o interferencias, documentar los hallazgos y facilitar su solución técnica.

4.2.10. Constructor.

Empresa a cargo de la ejecución y edificación del proyecto, según los diseños técnicos y parámetros establecidos. Debe manejar el personal involucrado durante la obra, encargarse de las compras y el avance del mismo, cumplir con las fechas de entrega, presupuesto y las especificaciones de los espacios a construir

4.3. Proceso de diseño arquitectónico del proyecto

Ilustración 62 Proceso de diseño



Fuente: Elaboración Propia

Primero se reúne el equipo de diseñadores de la empresa, para hacer cabida inicial de acuerdo a los requerimientos de los clientes y propietarios del proyecto.

Posteriormente hacen una actividad que denominan “taller”, donde se reúnen en una mesa de trabajo, se hace una lluvia de ideas de manera individual, como lo llaman, de dibujos hechos a mano alzada, esquemas, conceptos, rayones, sketch. Luego se hace una socialización de las ideas de cada diseñador, exponiendo su pensar y argumentando su propuesta en el centro de la mesa, sus pros y sus contras. Cuando han sido expuestas todas las propuestas, por consenso y mejor resultado, se escogen de 1 a 2 propuestas para desarrollar, que se denominan “idea básica”

A continuación, se procede a desarrollar el anteproyecto, donde se materializa y se vuelve funcional la idea básica concebida. En esta etapa se hace el primer acercamiento a las herramientas y software de diseño y modelado. En este caso se modela en 3D, utilizando el software Revit Architecture.

Para ello deben llevar a cabo los siguientes pasos:

- Prediseños: pre-dimensionamiento, modelos básicos.
- Modelado de topografía con base en levantamiento de topógrafo.
- Modelado del anteproyecto de arquitectura.

- Modelado de pre-dimensionamiento de estructura, desde el punto de vista arquitectónico.

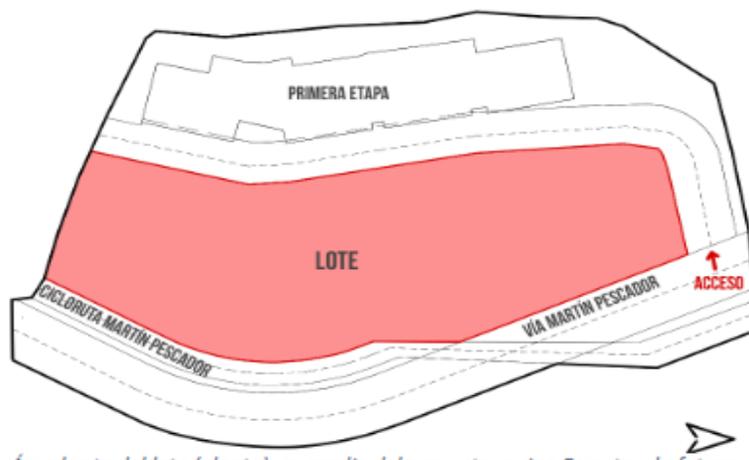
Esta información y estos resultados son presentados y socializados con los clientes, quienes por lo general hacen ajustes y observaciones que se van solucionando durante los comités de diseño que sean necesarios hasta lograr el producto deseado. En este proceso también se invita al diseñador estructural y se escuchan sus comentarios, peticiones y ajustes de ser necesarios, para proceder a entregarle el diseño y el modelo arquitectónico 3D, o sea, el proyecto.

4.4. Volumetría básica – idea básica

La idea del proyecto es aprovechar de la manera más eficiente la morfología del lote, teniendo en cuenta sus condicionantes de tamaño y forma alargada, con 2 ángulos muy claros y definidos. El acceso vehicular será compartido, a través de la actual vía vehicular del proyecto.....

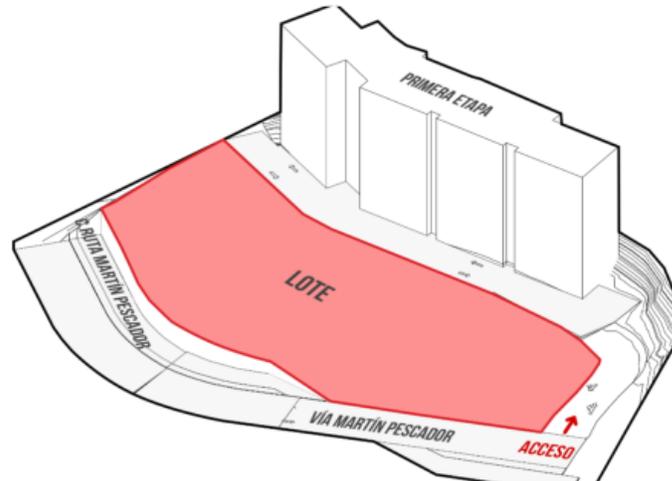
Se aprovechó la pendiente de la topografía para generar el único sótano para estacionamiento de vehículos privado.

Ilustración 63 Área bruta del lote (planta), en medio del proyecto vecino



Fuente: Elaboración Propia

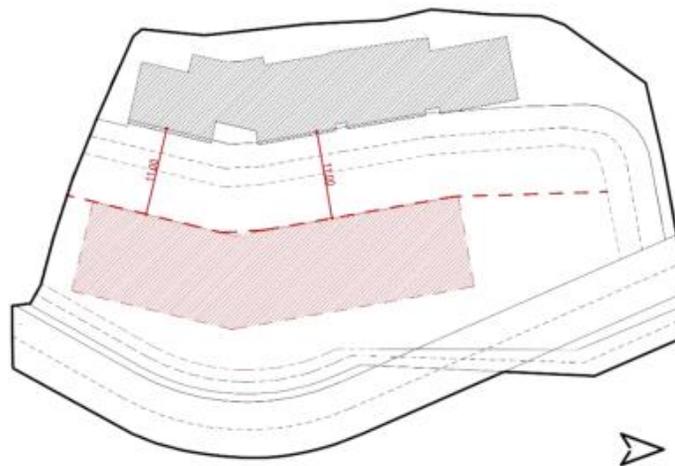
Ilustración 64 Área bruta del lote (isométrico), en medio del proyecto vecino



Fuente: Elaboración Propia

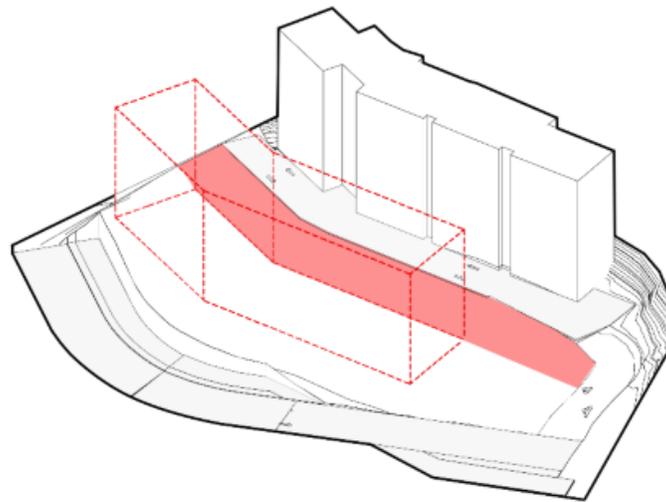
El lote contaba con una serie de afectaciones que disminuían o condicionaban la implantación del edificio. Por un lado, la vecindad con el edificio Foresta hacía necesario un retiro de 11.00 metros entre el paramento del edificio vecino y la fachada del nuevo proyecto.

Ilustración 65 Porción de lote útil (planta) con retiros a edificio vecino y forma inicial del proyecto



Fuente: Elaboración Propia

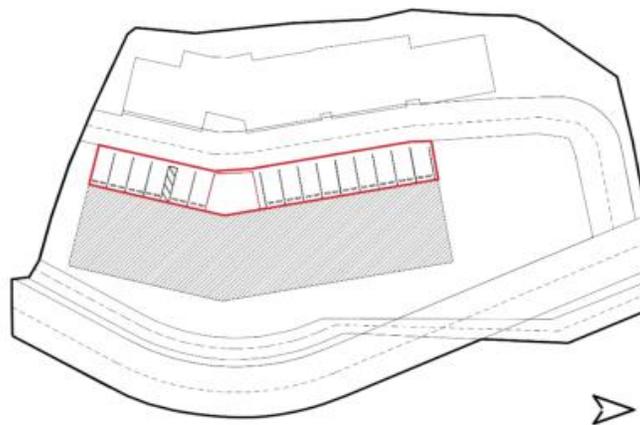
Ilustración 66 Porción de lote útil (isométrico) con retiros a edificio vecino y forma inicial del proyecto.



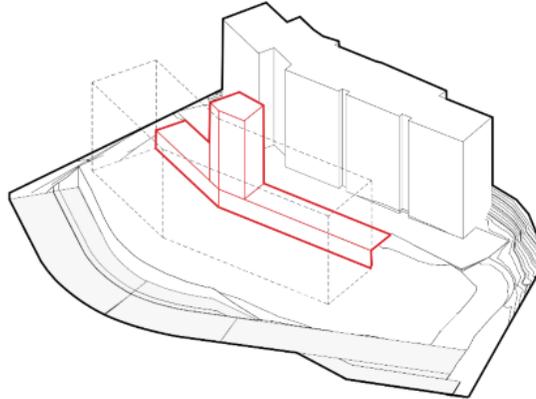
Fuente: Elaboración Propia

Respondiendo a la condicionante del retiro al edificio vecino y teniendo en cuenta el aprovechamiento de la vía de acceso ya construida, se proyectan parte de los parqueaderos en esta franja tanto en sótano como en primer piso y se ubica el acceso y la circulación, tanto horizontal como vertical en este mismo costado.

Ilustración 67 Ubicación de parqueaderos y circulación (planta).

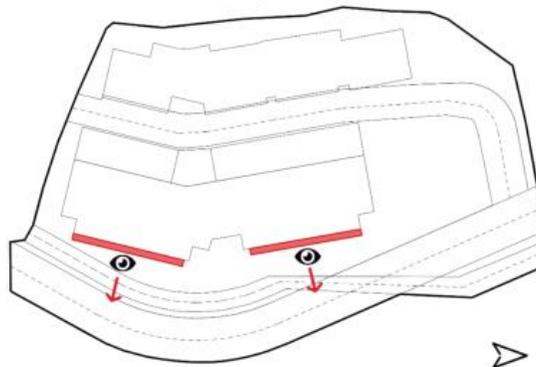


Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 68 Ubicación de parqueaderos y circulación (isométrico).

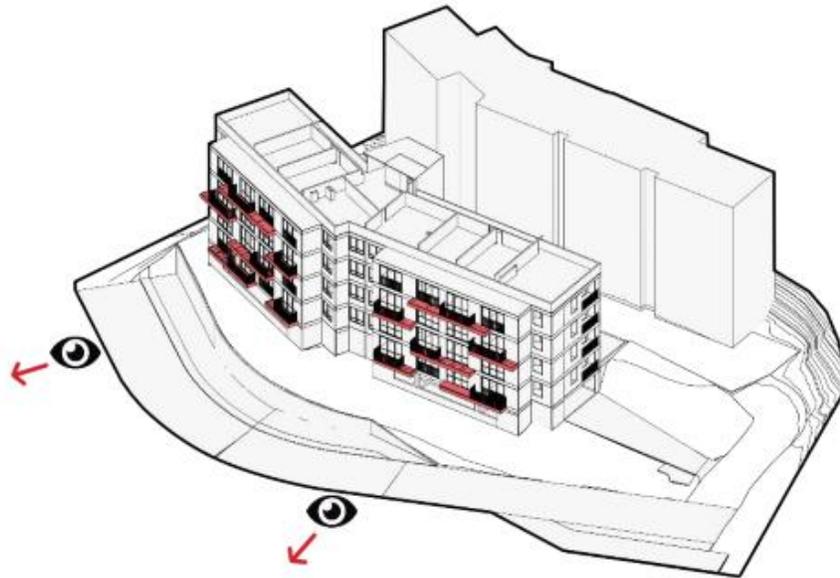
Fuente: Elaboración Propia

Como resultado de lo anterior, la fachada opuesta al edificio vecino se convierte en la fachada principal del proyecto donde se ubican los principales vanos, aprovechando la visual que tendrá hacia el frente (oriente). Teniendo en cuenta una premisa de diseño de proteger el interior de los espacios del exceso de luz solar, y generar un contacto de los habitantes con la naturaleza, se proyectan una serie de jardineras embebidas en losa y balcones que, además de dinamizar la fachada, cumplen con la premisa impuesta, resultando en la volumetría básica del proyecto.

Ilustración 69 Visuales aprovechadas y balcones con jardineras propuestas (planta).

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 70 Visuales aprovechadas y balcones con jardineras propuestas (isométrico).



Fuente: Elaboración Propia

4.5. Síntesis proyectual – anteproyecto

Luego de plantear la composición general del proyecto, se continúa con el diseño arquitectónico y funcional al interior del proyecto. Se procede con el diseño de las tipologías teniendo en cuenta el sondeo que se realizó previamente, resultando en 4 tipologías:

Tabla 2 Tipologías de departamentos

OFERTA
1 dormitorio: 47.50 m ²
2 dormitorios: 59.34 m ²
2 dormitorios más estudio: 68.75 m ²
3 dormitorios: 79.57 m ²

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 71 Tipologías por nivel típico del proyecto



Fuente: Elaboración Propia

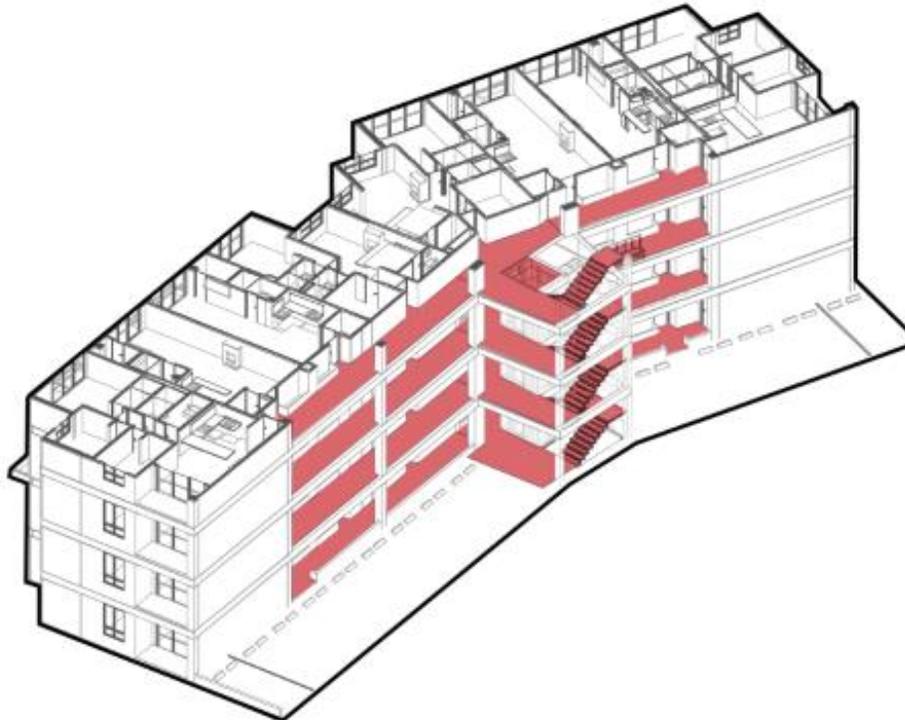
Luego se comienzan a definir las circulaciones horizontales y verticales en el costado colindante con el proyecto vecino, donde se ubica el punto fijo del ascensor, escalas y espacios con destinación técnica. Tiene una sola circulación horizontal con 2 quiebres resultantes de la forma preliminar, que permite llegar a cada apartamento de una manera eficiente.

Ilustración 72 Esquema de circulación horizontal y vertical (planta).



Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 73 Esquema de circulación horizontal y vertical (isométrico).



Fuente: Elaboración Propia

Finalmente se definen las fachadas buscando cumplir con la premisa de proteger el interior de los espacios del exceso de luz solar y generar un contacto de los habitantes con la naturaleza, impuesta en la etapa inicial del proyecto. Consecuentemente se crean una serie de jardineras y balcones en la fachada principal y otras jardineras interiores que cumplen, a su vez, la función de pasamanos en la fachada de la circulación.

Ilustración 74 Jardineras y balcones (planta).



Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 75 Jardineras y balcones (isométrico)



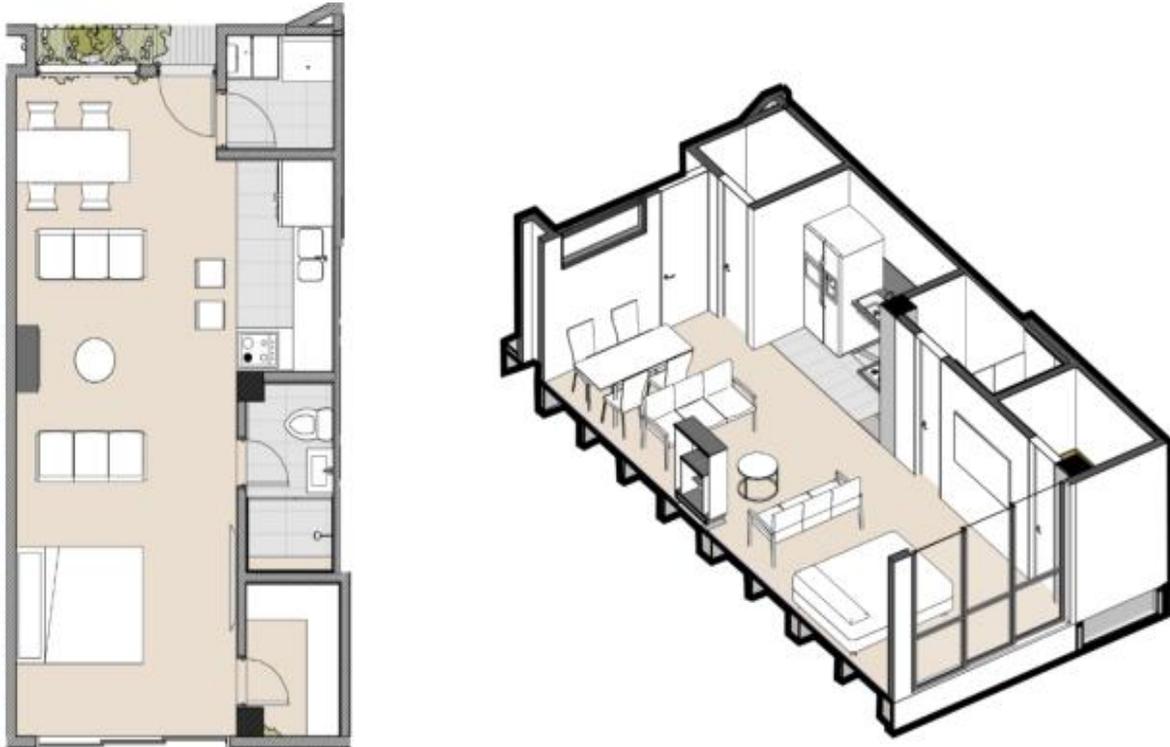
Fuente: Elaboración Propia

4.6. Programa arquitectónico - proyecto

El programa arquitectónico es lo que los arquitectos diseñadores denominan el estudio y solución espacial de las necesidades del cliente, que comprende la vinculación y jerarquización de cada uno de los espacios y elementos que compondrá el proyecto. Para este proyecto particular, se puede interpretar como la distribución espacial interna de cada uno de los apartamentos, en sus 4 pisos típicos de vivienda desarrolla 4 tipologías diferentes. Las tipologías desarrolladas y sus respectivas áreas son las siguientes:

4.6.1. Tipología de 1 dormitorio

Ilustración 76 Tipología de 1 alcoba: planta e isométrico.

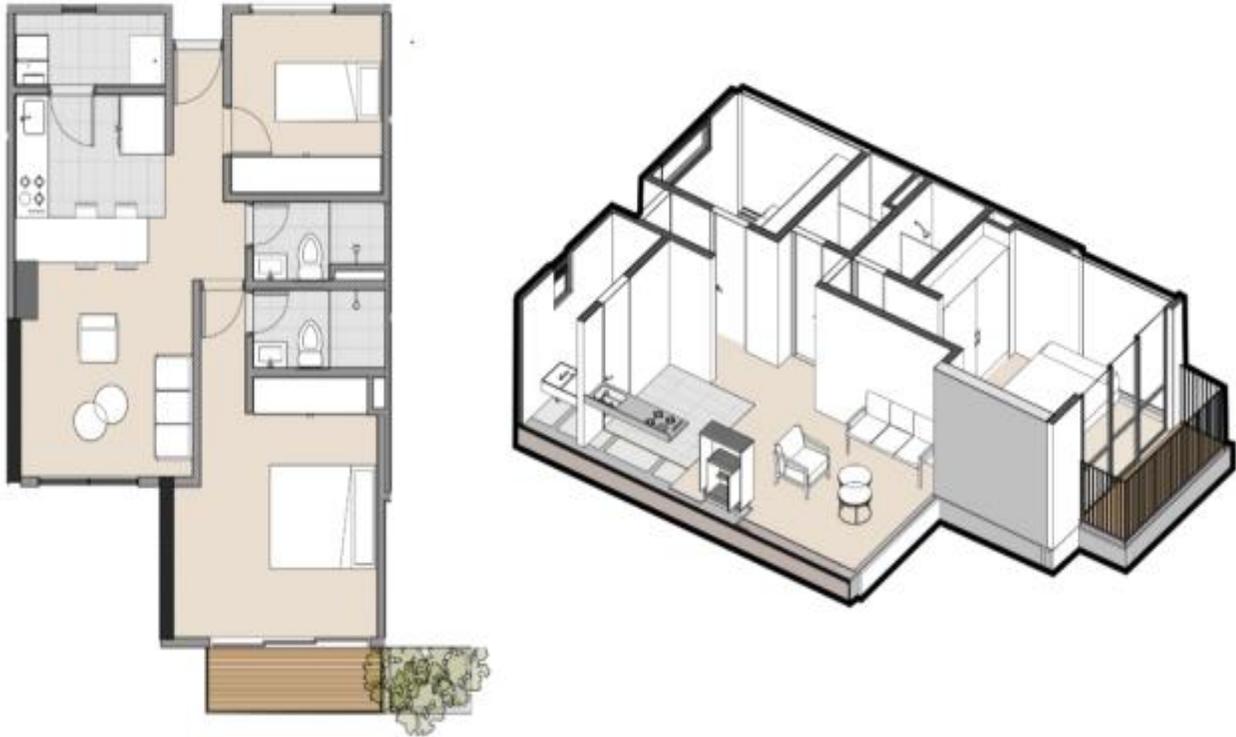


Fuente: Elaboración Propia

Tipología de 47.50 m² , se distribuye de forma lineal, con la zona social y dormitorio en un costado y zona húmeda en el otro. Cantidad total de apartamentos: 16 unidades.

4.6.2. Tipología de 2 dormitorios

Ilustración 77 Tipología de 2 alcobas: planta e isométrico.

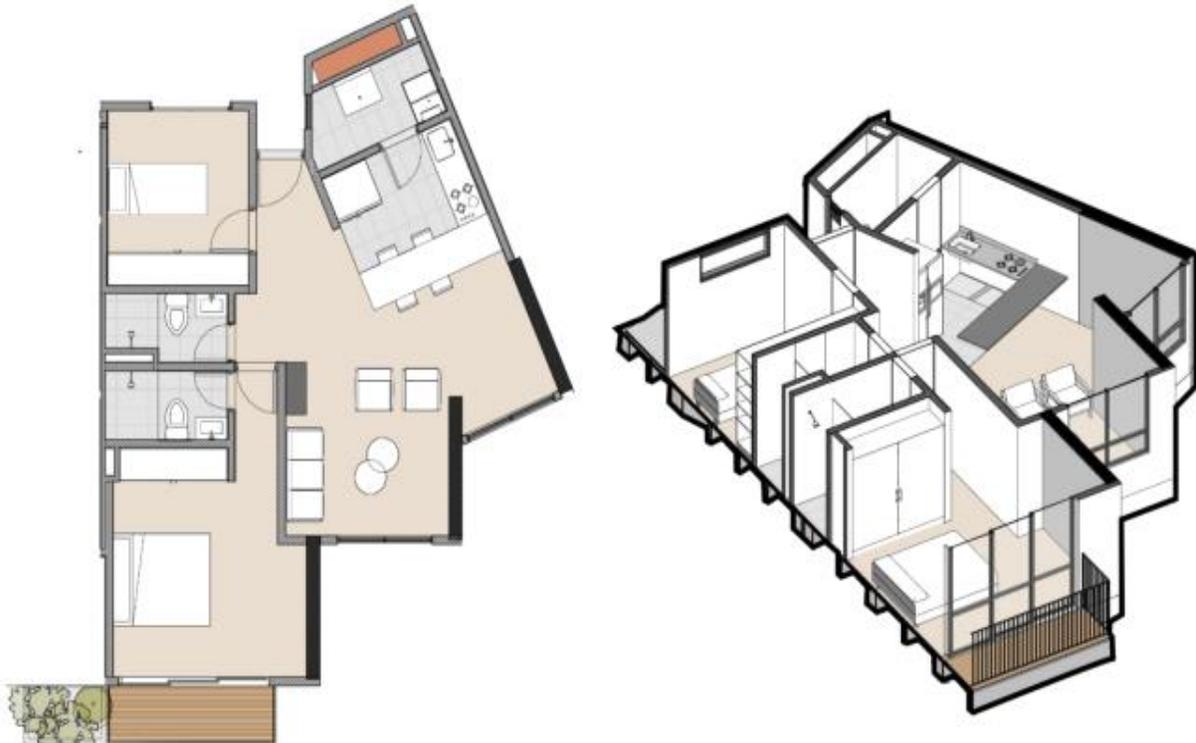


Fuente: Elaboración Propia

Tipología de 59.34 m² , 2 alcobas independientes, zona social integrada con la cocina. Cantidad total de apartamentos: 4 unidades.

4.6.3. Tipología de 2 dormitorios + estudio

Ilustración 78 Tipología de 2 alcobas + estudio: planta e isométrico.

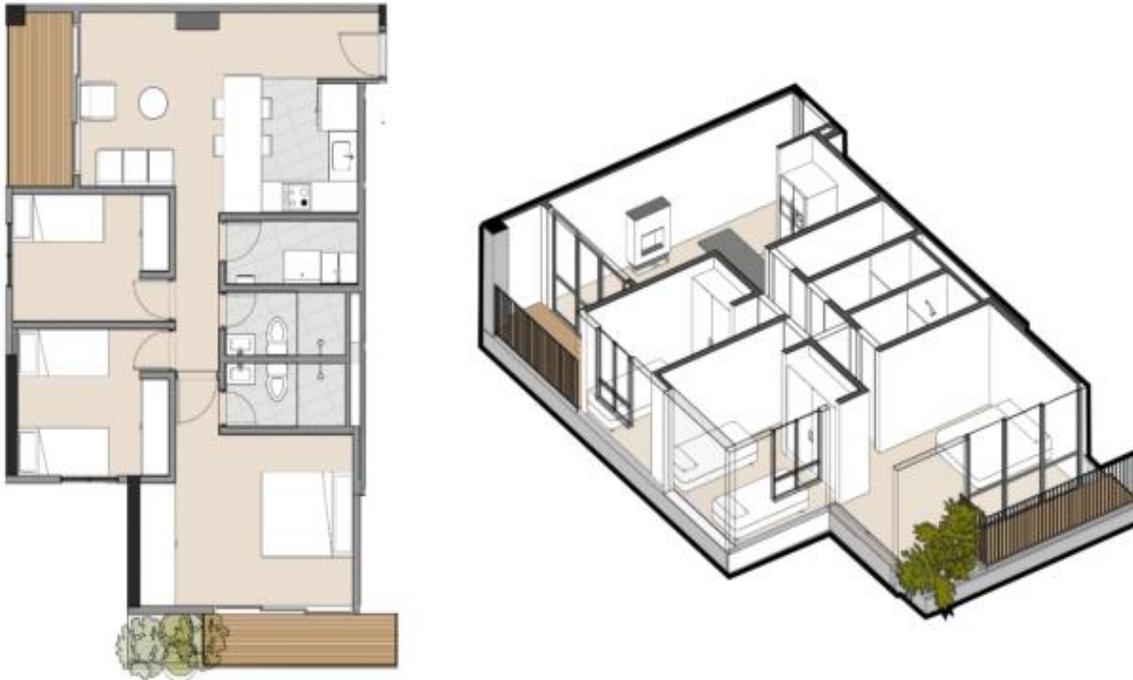


Fuente: Elaboración Propia

Tipología de 68.75 m² , se basa en la distribución anterior, pero se acopla con la transición geométrica de las 2 alas del proyecto, generando un estudio en esta área adicional. Cantidad total de apartamentos: 4 unidades

4.6.4. Tipología de 3 dormitorios

Ilustración 79 Tipología de 3 alcobas: planta e isométrico.



Fuente: Elaboración Propia

Tipología de 79.57 m², se ubica en los extremos del proyecto, dándole la posibilidad de tener 2 fachadas, lo que permite ubicar 3 habitaciones y un balcón adicional en la habitación principal. Cantidad total de apartamentos: 8 unidades.

4.7. Renders – imágenes fotorrealistas

Una vez modelado el proyecto y bien detallado el exterior y el interior, a un nivel LOD 400, se pueden producir con más facilidad algunas imágenes realistas para apoyar el área de ventas y facilitar la comprensión del proyecto y del producto a todos los clientes interesados; otra ventaja del modelado BIM. Analizando el modelo y los puntos más interesantes del proyecto, se escogieron 5 vistas o cámaras para llevar a cabo las siguientes imágenes foto realistas, por la empresa 331, que otorgó

un muy descuento al proyecto al estar modelado a tal punto de detalle, porque les facilitaba notoriamente el trabajo:

Ilustración 80 Render exterior.



Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 81 Render de sala del apartamento 201.



Ilustración 82 Render de habitación del apartamento 202.



Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 83 Render de sala del apartamento de 1 alcoba



Ilustración 84 Render de alcoba del apartamento 101.



Fuente: Elaboración Propia

4.8. Modelación de disciplinas técnicas

4.8.1. Capacitación en modelado BIM

Para la correcta implementación de los objetivos de la presente investigación fue necesario llevar a cabo las siguientes investigaciones y tareas autónomas:

- Asistencia a curso básico, presencial, de modelado BIM y BIM MEP (Mechanical, Electrical, Plumbing).
- Aprendizaje autónomo, mediante video tutoriales disponibles en internet, sobre el uso y manejo de Autodesk Revit Architecture y Navisworks (versiones estudiantiles)
- Estudio de proyectos reales modelados con la metodología BIM, donde se lleven a cabo estudio de colisiones e interferencias.
- Modelado de otro proyecto particular de la empresa con la metodología BIM.

4.8.2. Actividades previas

Durante el proceso de construcción virtual del modelo tridimensional surgen diferentes ciclos que ayudan a estructurar su desarrollo. Para llevar a cabo satisfactoriamente estas etapas es imprescindible definir los flujos de trabajo que se deben establecer como reglas de proyecto necesarias para obtener los mejores resultados de los modelos de información que están próximos a construirse. Una vez aclarado lo anterior, existe un concepto fundamental dentro de la metodología BIM que se asocia al trabajo en colaboración. Este concepto dentro de las etapas de modelación es la base para dar inicio a un flujo continuo de comunicación e información entre los diferentes agentes que intervendrán en los procesos de diseño.

Lo anterior se traduce en un archivo central que tiene la posibilidad de estar alojado en un servidor físico al que se accede mediante conexión por cableado WAN O LAN,

o un servidor virtual que puede estar en la nube. Cualquiera que sea la opción que se elija para almacenar el archivo central, dependerá de la ubicación de los actores que intervendrán en los diseños del proyecto; es decir, el espacio físico de trabajo de cada participante es un factor decisivo para la selección de una u otra opción.

4.8.3. Modelar BIM o re-modelar

Lo que la metodología BIM busca definir con el concepto de trabajo colaborativo, en palabras técnicas es: crear un único archivo de trabajo al que todos los diseñadores tengan acceso. Una vez definida la ubicación del archivo central, dar acceso a los diseñadores a la red local o virtual en la que podrán trabajar desde sus ordenadores los modelos tridimensionales correspondientes a cada disciplina, sincronizar sus avances, trabajar en línea, ver los avances de los demás, hacer correcciones, estar al día.

En este caso de estudio no fue posible trabajar de la manera expuesta anteriormente, puesto que el costo de los diseños técnicos modelados en 3D y bajo metodología BIM, era bastante alto y excedía los rubros disponibles por el gerente en su prefactibilidad. En algunos casos, la diferencia entre el costo de los diseños en 2D o en 3D, era 3 veces mayor en 3D

El costo de los diseños BIM es uno de las principales razones que impiden su implementación a nivel nacional. A la fecha de este estudio, la oferta de diseñadores técnicos que ofrezcan y trabajen bajo la metodología BIM es poco amplia y a su vez costosa. Se espera que con el paso del tiempo y a medida que se vayan demostrando las ventajas del BIM, a través de casos exitosos, se haga más popular y a su vez más económica su implementación, hasta el punto que se vuelva obligatoria, como ha sucedido en distintos países, como Dinamarca y Finlandia, entre otros.

Por el momento, el panorama nacional en cuanto a la implementación del BIM, en muchos casos sucede como el presente estudio, donde los diseños técnicos se contratan en 2D, y luego deben ser modelados en 3D por una persona o empresa, en un solo modelo local.

El deber ser, sería contratar todos los diseños en BIM 3D, donde cada diseñador disponga del tiempo necesario para asistir a comités de coordinación técnica, y así dar celeridad a los proyectos de construcción

Fue necesario re-modelar la información entregada por cada diseñador, desde 2D a BIM 3D. Aunque se invirtió una buena cantidad de tiempo en este proceso, o más bien “re proceso”, los resultados obtenidos fueron bastante satisfactorios, como se muestra a continuación por cada especialidad técnica:

4.8.3.1. Estructura

Luego de tener la arquitectura más definida y contar con un esquema arquitectónico inicial de cómo podría ser la disposición de la estructura, es necesario hacer un primer acercamiento con los diseñadores estructurales para darle viabilidad técnica al proyecto.

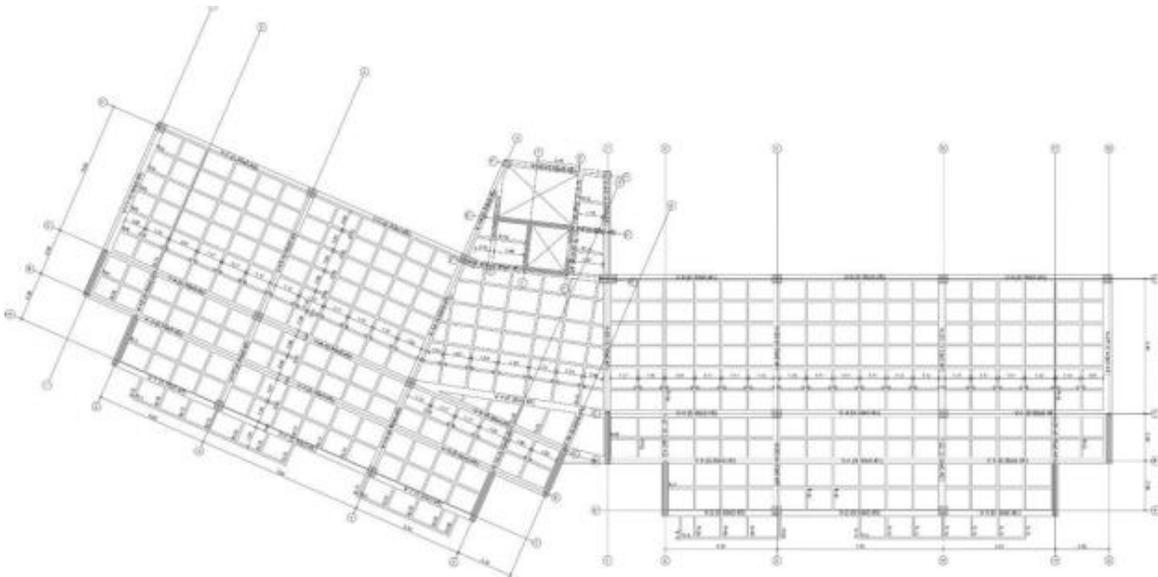
En el primer encuentro y por petición de la empresa la empresa, que fue previamente seleccionada para llevar a cabo el cálculo y el diseño estructural del edificio, es necesario exportar los planos del modelo arquitectónico actual (que está en Revit 3D) al formato 2D, tipo CAD, al ser esta la herramienta digital que ellos utilizan para hacer planos estructurales.

Desde antes de modelar la estructura en 3D, se pudieron evidenciar algunos errores de comunicación o interpretación, producto de la conversión de planos arquitectónicos entregados al diseñador estructural (de 3D a 2D), tales como:

- Fallas en diseño de jardineras, que son casetones invertidos en la losa, para poder generar espacio para la tierra y sustrato de las plantas.
- Los buitrones técnicos previstos para las redes del edificio se vieron interrumpidos por las vigas de concreto planteadas.
- Las escalares se inhabilitaban por una viga de concreto que las atravesaba, al igual que el foso del ascensor.

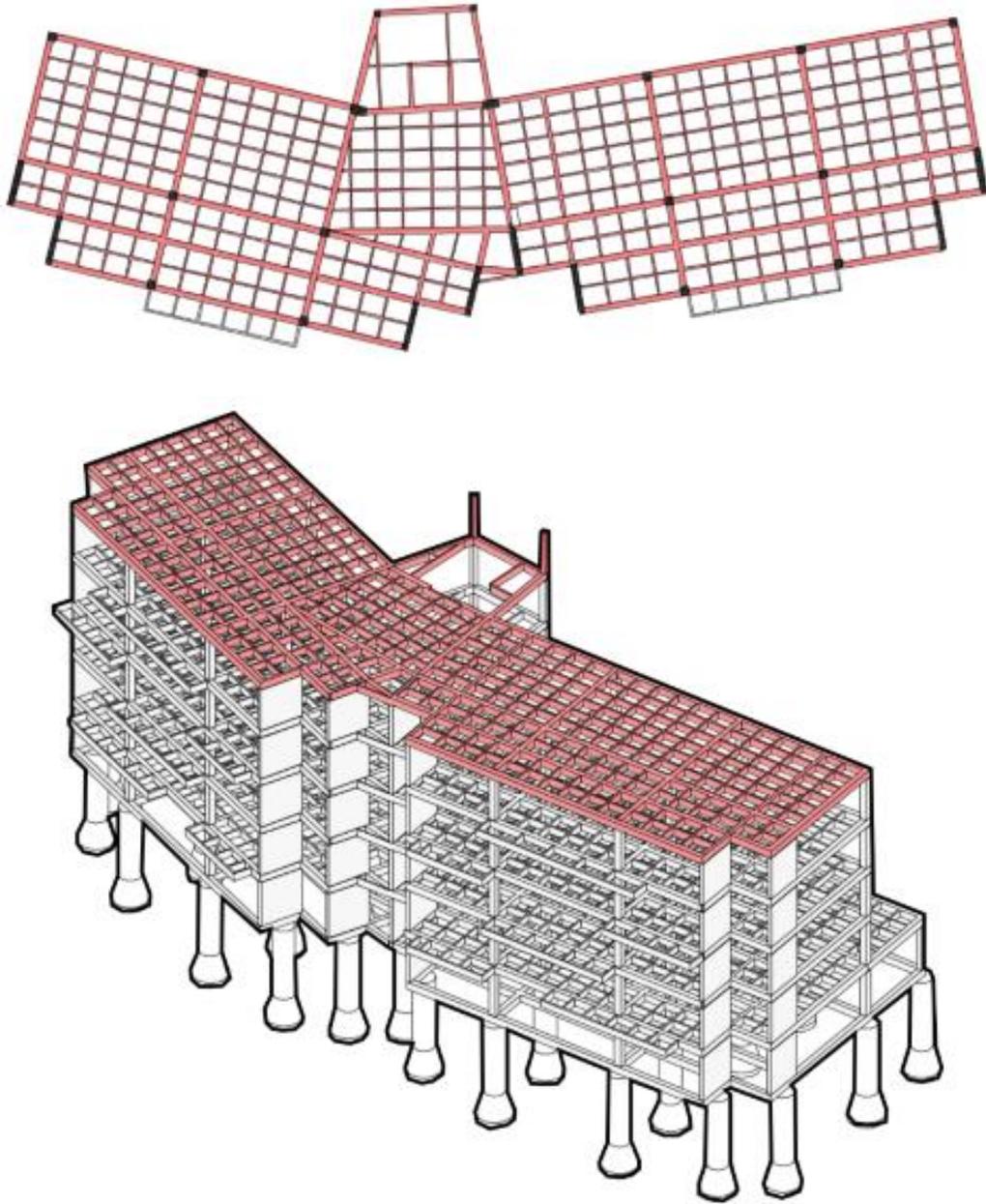
Al socializar estas inconsistencias y algunas otras, se solicitó a la empresa calculista hacer dichos ajustes para no sacrificar la arquitectura y funcionamiento del edificio. Pasado un tiempo entregaron la planimetría que se muestra a continuación:

Ilustración 85 Planta en 2D de la estructura del nivel 3.



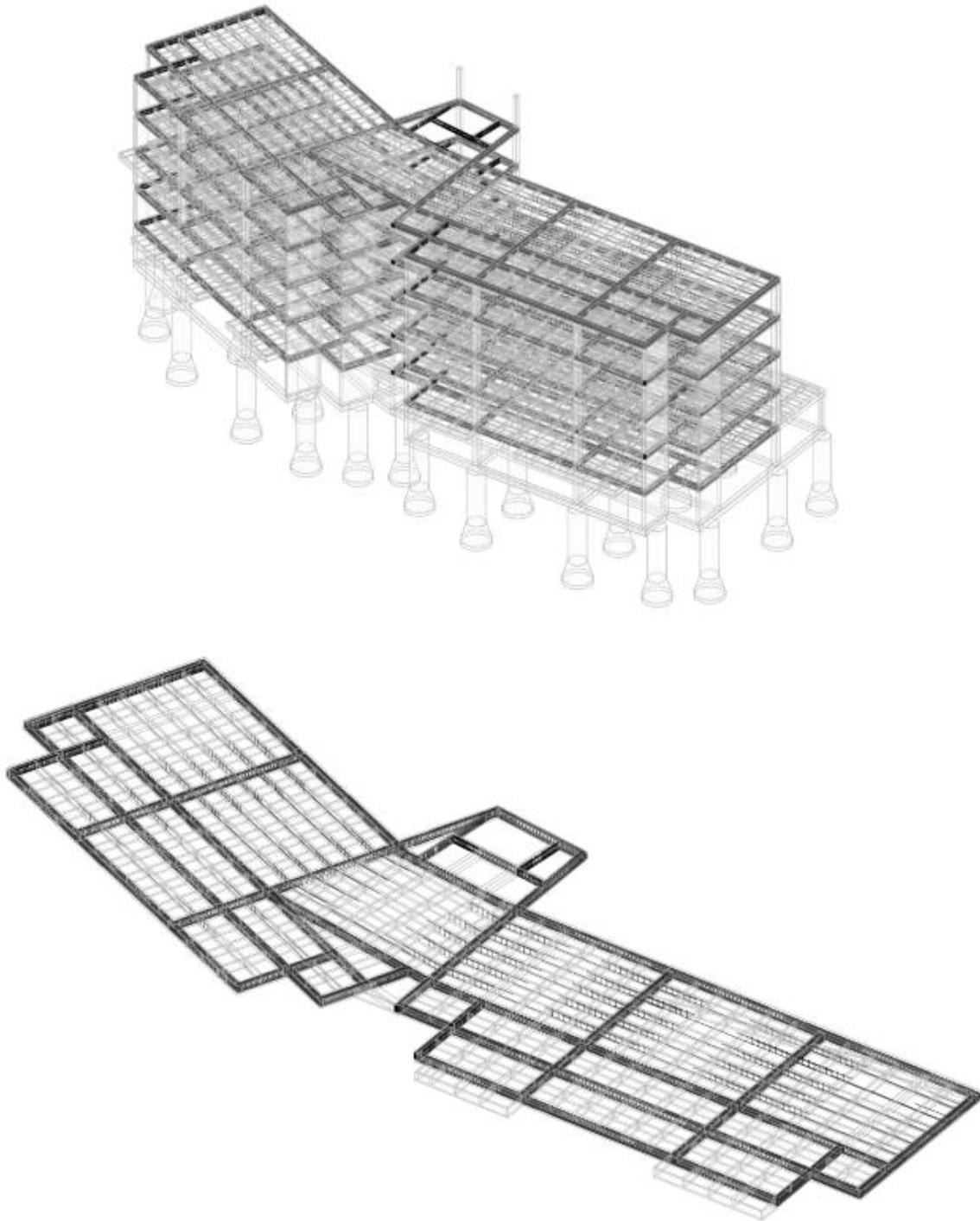
Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 87 Estructura modelada en Revit: fundaciones, vigas y columnas.



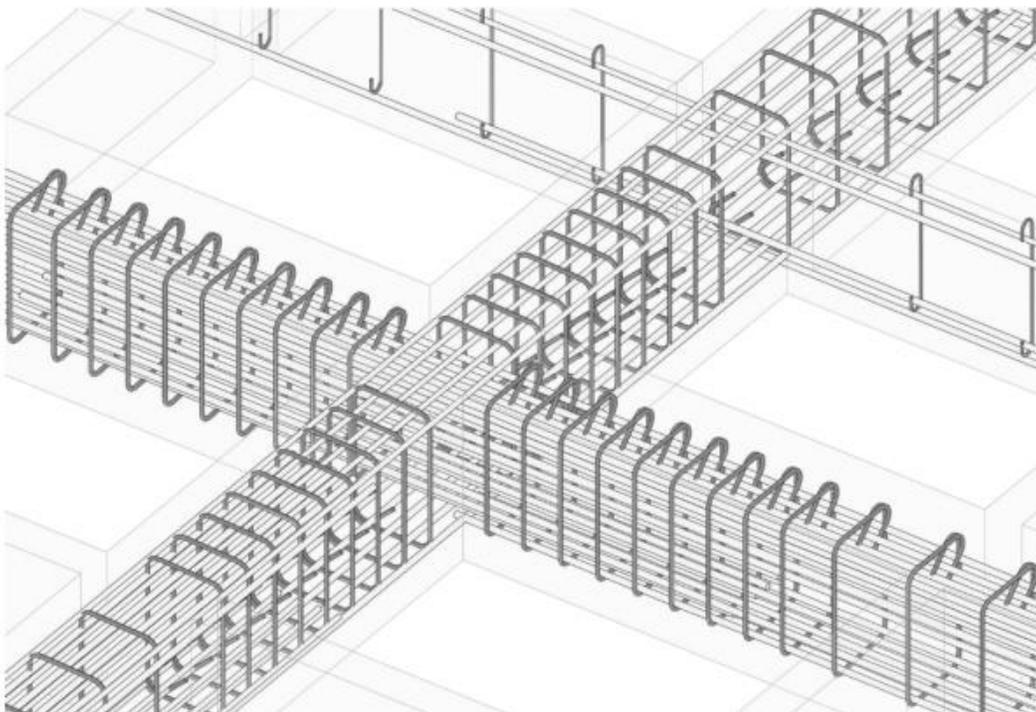
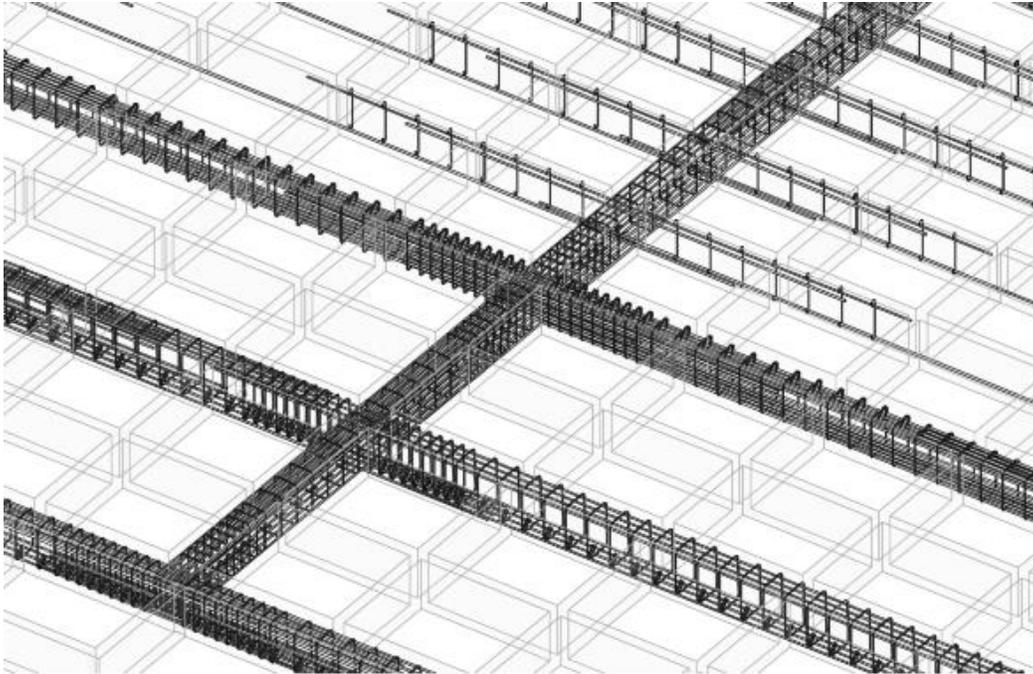
Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 88 Estructura con refuerzo de vigas en Revit.



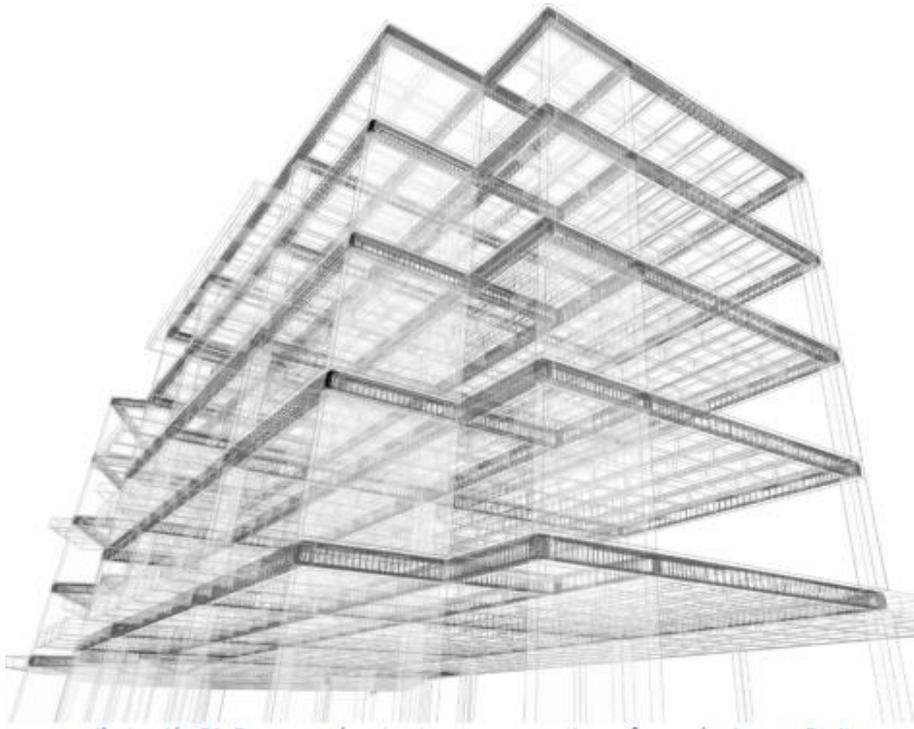
Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 89 Detalle en 3D de elementos estructurales, en Revit.



Fuente: Elaboración Propia

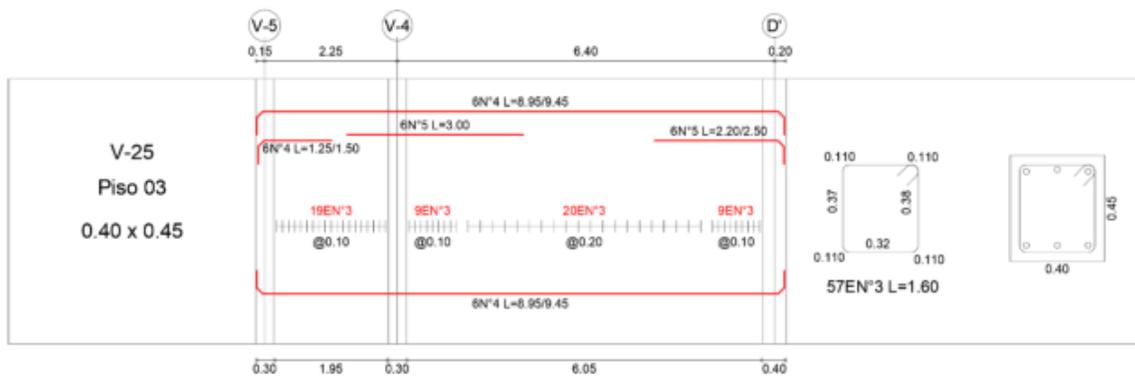
Ilustración 90 Esquemas de estructura en perspectiva, refuerzo de vigas en Revit.



Fuente: Elaboración Propia

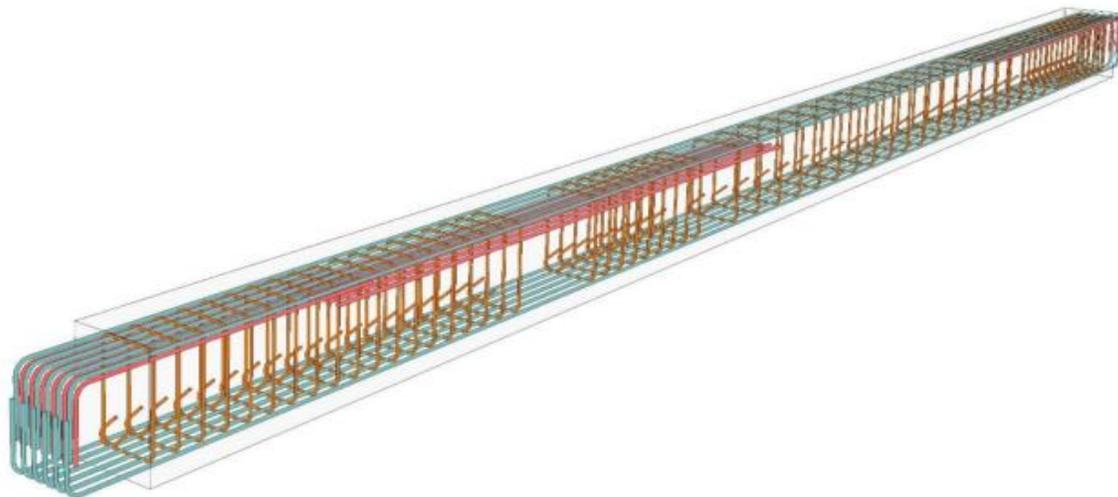
En los siguientes esquemas se puede apreciar del detalle de la viga de concreto número V-25 del nivel 03, en 2D, vs el mismo detalle modelado en 3D, perspectivado. Ambos detalles son bastante necesarios, pero el 3D permite visualizar mejor el desarrollo y la escala real de la viga, sus traslapos, el confinamiento de los estribos y el cuerpo del elemento como tal.

Ilustración 91 Detalle de Viga V-25 en 2D, según planos estructurales



Fuente: Elaboración Propia

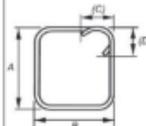
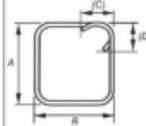
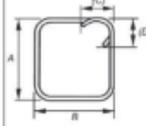
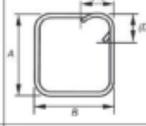
Ilustración 92 Detalle 3D de Viga V-25, en Revit.



Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente tabla se puede apreciar el nivel de detalle con el que el software genera las cartillas de despiece. En este caso se detalla la información del acero de la viga V-25, del nivel 03. Se aprecian las figuras, cantidades, diámetros, longitudes, separación, etc. Es de gran utilidad para presupuestadores y para la compra del material.

Ilustración 93 Cartilla de despiece de acero de viga V-25, nivel 3.

Rebar Schedule												
Family and Type	Schedule Mark	Partition	Total Bar Length	Bar Length	Bar Diameter	Quantity	Spacing	Shape	A	B	C	Shape Image
Rebar Bar: Structural Rebar ESTRIBO 3/8" - 0.22 x 0.37 - gancho	V-25 P3	PISO 3-A	12.01 m	1,33 m	10 mm	9	0,10 m	M_T1	0,37 m	0,22 m	0,11 m	
Rebar Bar: Structural Rebar ESTRIBO 3/8" - 0.22 x 0.37 - gancho	V-25 P3	PISO 3-A	26.67 m	1,33 m	10 mm	20	0,20 m	M_T1	0,37 m	0,22 m	0,11 m	
Rebar Bar: Structural Rebar ESTRIBO 3/8" - 0.22 x 0.37 - gancho	V-25 P3	PISO 3-A	11,99 m	1,33 m	10 mm	9	0,10 m	M_T1	0,37 m	0,22 m	0,11 m	
Rebar Bar: Structural Rebar ESTRIBO 3/8" - 0.22 x 0.37 - gancho	V-25 P3	PISO 3-A	25,32 m	1,33 m	10 mm	19	0,10 m	M_T1	0,37 m	0,22 m	0,11 m	
Rebar Bar: VARILLA no. 4 - 1/2 *	V-25 P3	PISO 3-A	56,31 m	9,38 m	13 mm	6		M_17B	0,25 m	8,95 m	0,25 m	
Rebar Bar: VARILLA no. 4 - 1/2 *	V-25 P3	PISO 3-A	56,31 m	9,38 m	13 mm	6		M_17B	0,25 m	8,95 m	0,25 m	
Rebar Bar: VARILLA no. 4 - 1/2 *	V-25 P3	PISO 3-A	8,80 m	1,47 m	13 mm	6		M_17A	1,25 m	0,25 m	0,00 m	
Rebar Bar: VARILLA no. 5 - 5/8 *	V-25 P3	PISO 3-A	14,78 m	2,46 m	16 mm	6		M_17A	2,20 m	0,30 m	0,00 m	
Rebar Bar: VARILLA no. 5 - 5/8 *	V-25 P3	PISO 3-A	18,00 m	3,00 m	16 mm	6		M_00	0,00 m	3,00 m	0,00 m	

Fuente: Elaboración Propia

Luego de llevar a cabo esta actividad se puede concluir que el modelado en 3D del acero de refuerzo en Revit, demanda bastante tiempo. Si todos los niveles fueran estructuralmente típicos, el tiempo de modelado sería mucho menor, pero como en algunos casos existen diversas especificaciones de acero en ciertos elementos, el tiempo de modelado juega en contra.

La utilidad de la modelación de dicha disciplina técnica en este caso de estudio, se limita a la generación de cartillas de despiece, eso sí, con bastante información (como se exponía anteriormente), la cual se actualiza automáticamente si existe alguna variación en el modelo. La inversión de tiempo en la etapa inicial es bastante alta, pero en etapas posteriores es casi cero, y es allí donde se aprecia su beneficio (Maia, L., Mêda, P., & Freitas, J. G., 2015)

Las metodologías tradicionales de despiece, manuales, son bastante más rápidas pero estáticas, y no se pueden visualizar los elementos modelados ni se actualizan automáticamente con cambios realizados. Sin mencionar que pueden suceder errores en los cálculos de las cantidades.

Existen algunos softwares de diseño estructural que exportan la estructura junto con el refuerzo a Revit. Esta sería la manera ideal y sería bastante beneficioso, pues las cartillas de despiece se obtendrían en Revit al instante, y no tocaría invertir exceso de tiempo en re-modelar el acero. Entre ellos se destacan los softwares: Tekla, Allplan, Autodesk Robot.

Una de las grandes ventajas inherentes a este proceso de re modelación de la estructura en 2D a 3D es que se pueden programar los pedidos de acero y obtener las cartillas de despiece, de una partición o etapa específica del proyecto, para un mejor manejo y control del mismo.

4.8.3.2. Red hidrosanitaria

Para el diseño de las redes hidrosanitarias se llevó a cabo una reunión con el área de ingeniería sanitaria, donde se exponía el proyecto, sus necesidades y requerimientos particulares. Gracias al modelo 3D era simple y rápido visualizar la ubicación exacta de las tomas de agua, ubicación de medidores, gabinetes, buitrones, aparatos hidráulicos etc. Aun así, fue necesario entregar la planimetría en 2D porque los diseñadores desconocían el uso de las herramientas y software 3D, además no lo ofrecían dentro del alcance de su propuesta económica. Los entregables por el diseñador hidráulico fueron: diseño de red de abastos de agua, red de aguas lluvias, aguas residuales, re ventilación, cálculo de consumos, diseño de tanques de almacenamiento, etc., como se observa a continuación

Ilustración 94 Planta general en 2D de la red hidrosanitaria del proyecto.



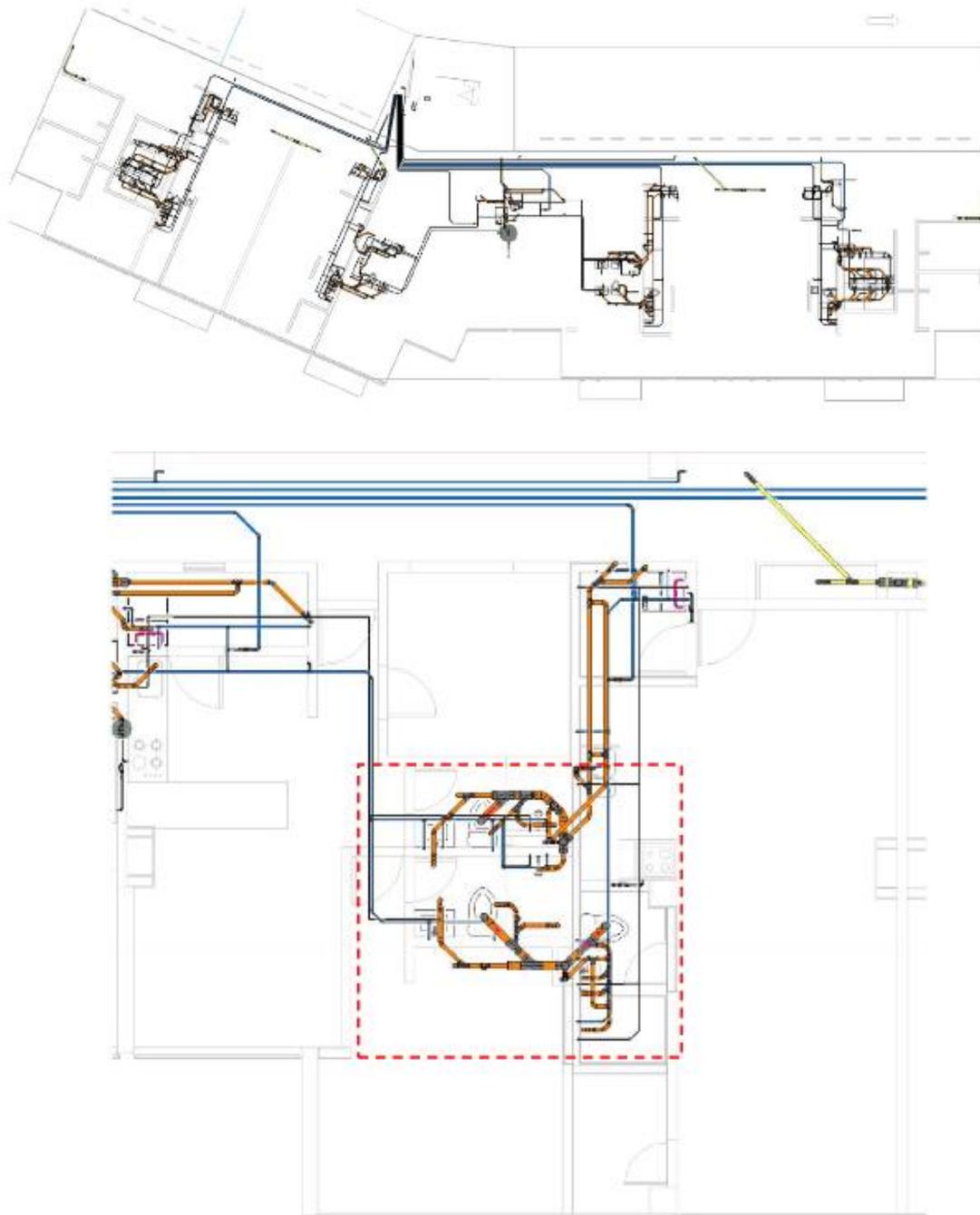
Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 95 Planta en 2D de la red hidrosanitaria de 2 apartamentos.

Fuente: Elaboración Propia

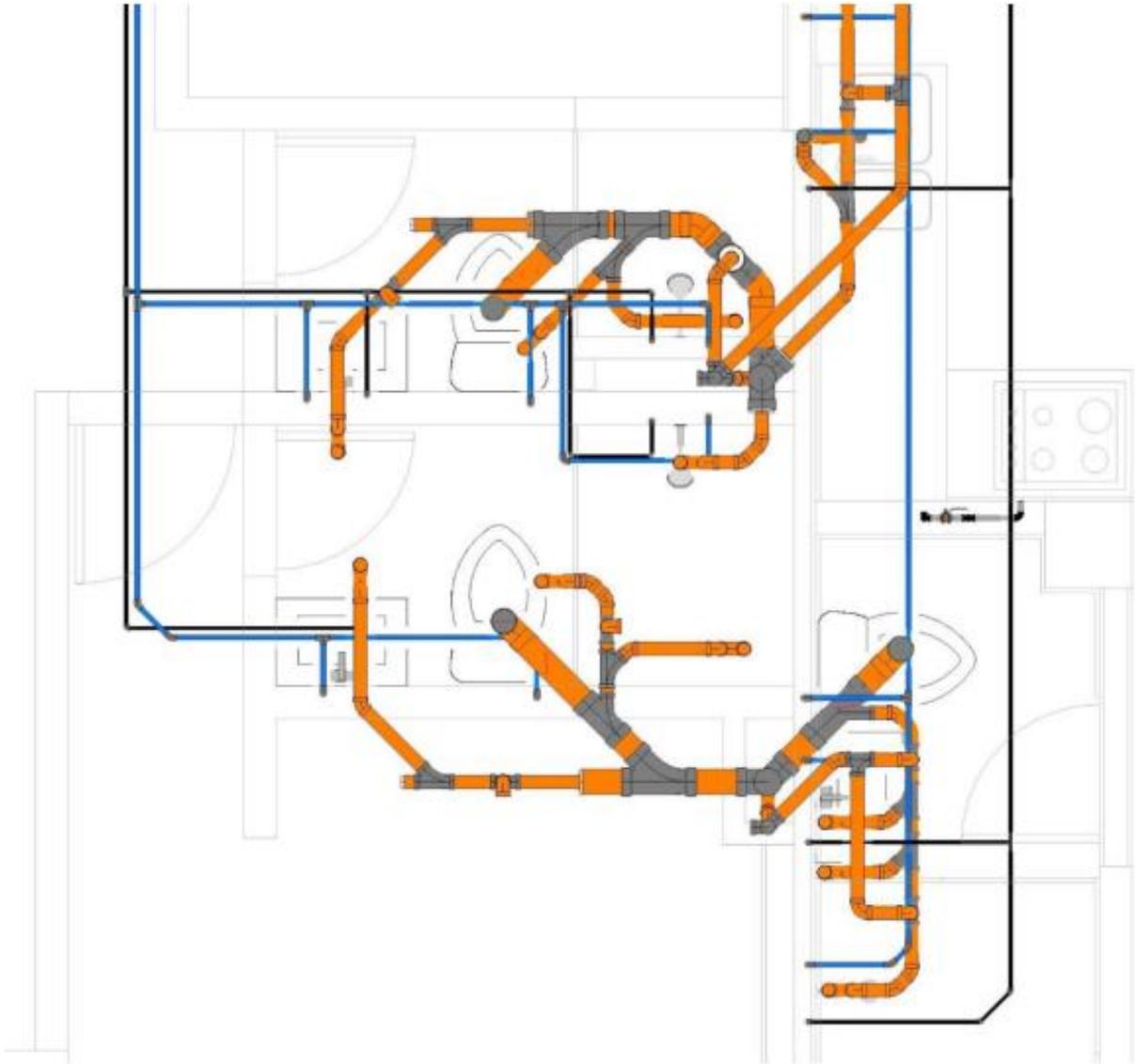
Tradicionalmente se han realizado la mayoría de los proyectos en Medellín con esta metodología de dibujo en 2D. Sin embargo, esta carece de muchas ventajas que el modelado BIM incorpora, donde además de poder obtener información de diferente índole como cantidades de obra, precio, etc., brinda también la posibilidad de coordinar las diferentes redes técnicas involucradas en un proyecto arquitectónico. A continuación se aprecian los planos y esquemas obtenidos tras modelar en 3D las redes hidrosanitarias, utilizando Revit.

**Ilustración 96 Planta en 2D de la red hidrosanitaria de 2 apartamentos.
Modelado en Revit.**



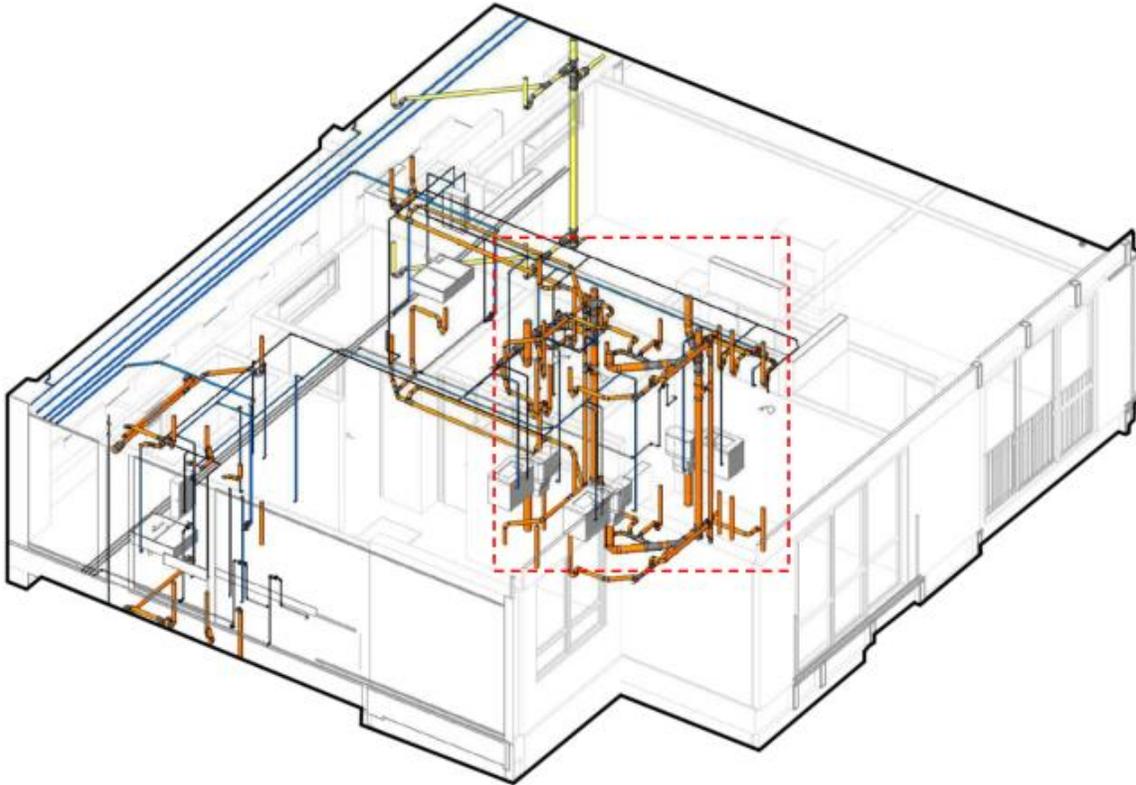
Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 97 Detalle en 2D de la red hidrosanitaria de 1 apartamento, modelado en Revit.



Fuente: Elaboración Propia

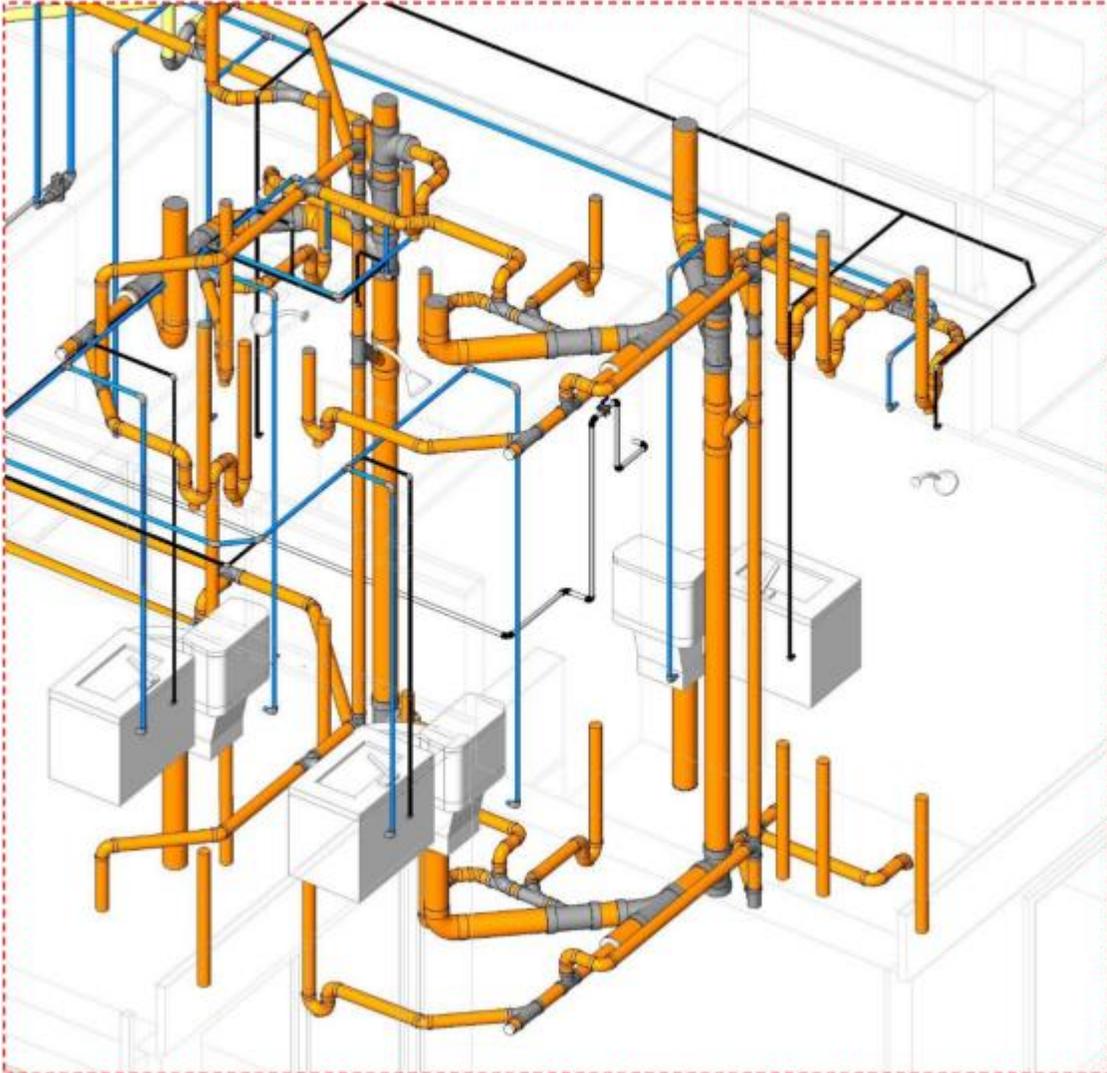
Ilustración 98 Esquema en 3D de la red hidrosanitaria de 2 apartamentos, modelado en Revit.



Fuente: Elaboración Propia

Para el proceso de modelación de las redes hidrosanitarias, se tomó la información original entregada por el diseñador hidráulico en 2D y se modeló en el software Revit Architecture, tal cual indicaban los planos, utilizando familias de la marca PAVCO. A todos estos elementos se les asignó una nomenclatura única para tener un mejor control técnico del proyecto, en términos de cantidades, costos, volumen a tener en cuenta para almacenar accesorios y tuberías en obra, calcular material sobrante y dónde pudiera ser reutilizado

Ilustración 99 Esquema en 3D, detalle de la red hidrosanitaria de 2 apartamentos, modelado en Revit.



Fuente: Elaboración Propia

En este detalle del muñeco sanitario (o armazón de plomería) se alcanzan a apreciar algunas colisiones entre la red de agua potable y la red sanitaria, aun siendo diseño del mismo contratista. Con este tipo de esquemas se puede apreciar con mayor facilidad la distribución y recorrido de las redes hidrosanitarias, al igual que la cantidad de accesorios, que, al estar parametrizadas, permite hacer un desglose de

materiales certero y completo. Hacer este tipo de modelos se convierte en una especie de auditoría para los contratistas y sirve para exigirles más rigor en sus diseños, y quizá motivarlos a migrar de software y metodologías.

4.8.3.3. Red eléctrica

Al diseñador eléctrico se le hizo entrega de planos de iluminación arquitectónicos, con ubicación de switches, tomas y tableros eléctricos. Ellos se encargaron de darle viabilidad al proyecto desde la parte técnica, y adquirieron el compromiso de entrega: planos de iluminación, switches, tomas y salidas eléctricas, televisión, comunicaciones, tableros eléctricos, contadores, medidores, cuadros de carga, apantallamiento, detección de incendios, etc.

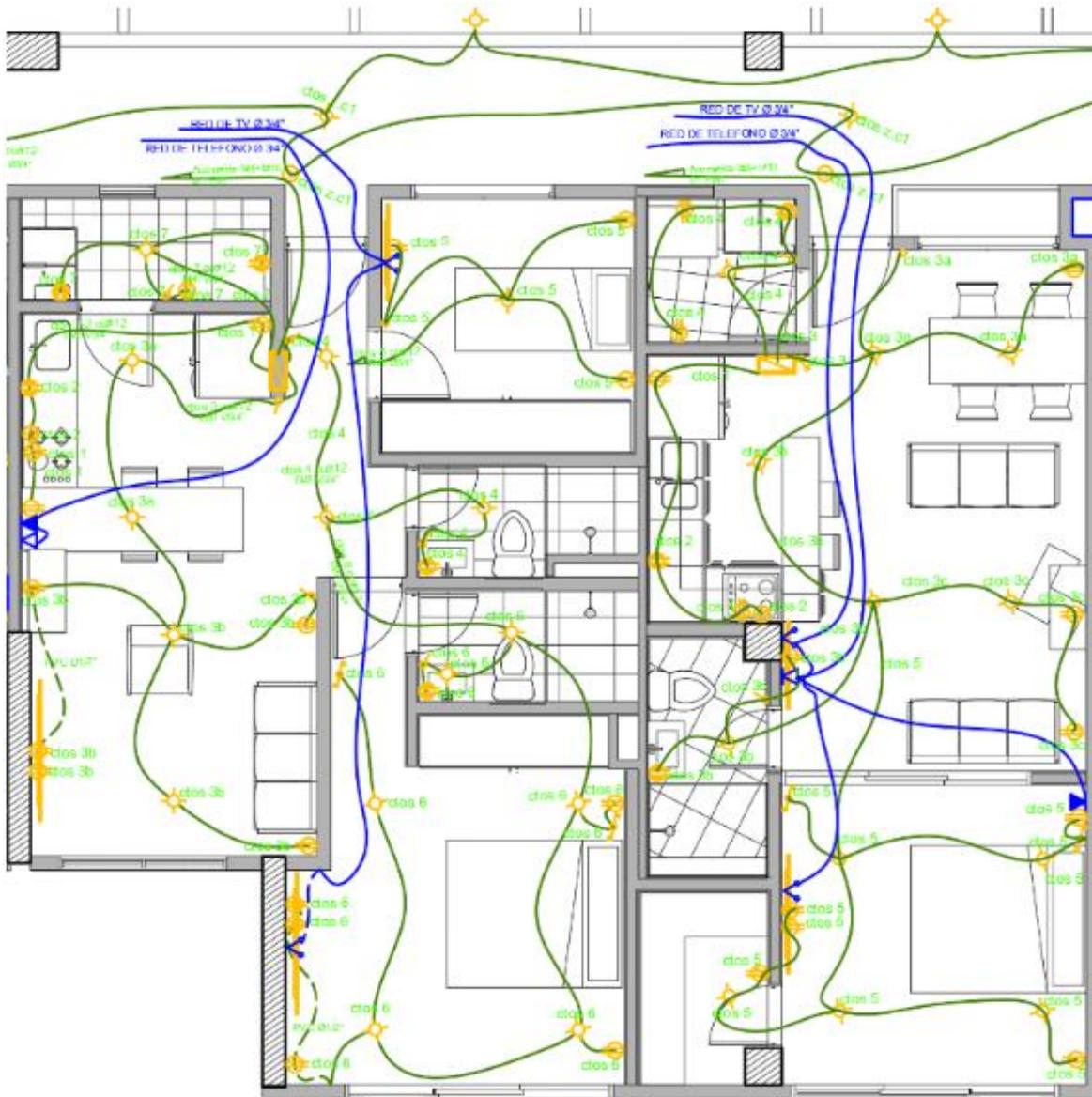
En la primera entrega de la información se pudo apreciar que el diseño de las rutas del cableado eléctrico, estaban representados por líneas curvas que sugerían una ruta conveniente a seguir para cada circuito. En ella no se especifican las cajas de empalme y cajas de paso necesarias para la construcción de dicha red, ni la ruta real a seguir. Al solicitar dichos ajustes, la respuesta del diseñador eléctrico fue que las rutas debían ser definidas en obra, según el criterio y conveniencia del contratista eléctrico, al igual que la cantidad de cajas y su ubicación.

Ilustración 100 Plano en 2D de la red eléctrica de un nivel.



Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 101 Plano en 2D de la red eléctrica de 2 apartamentos.



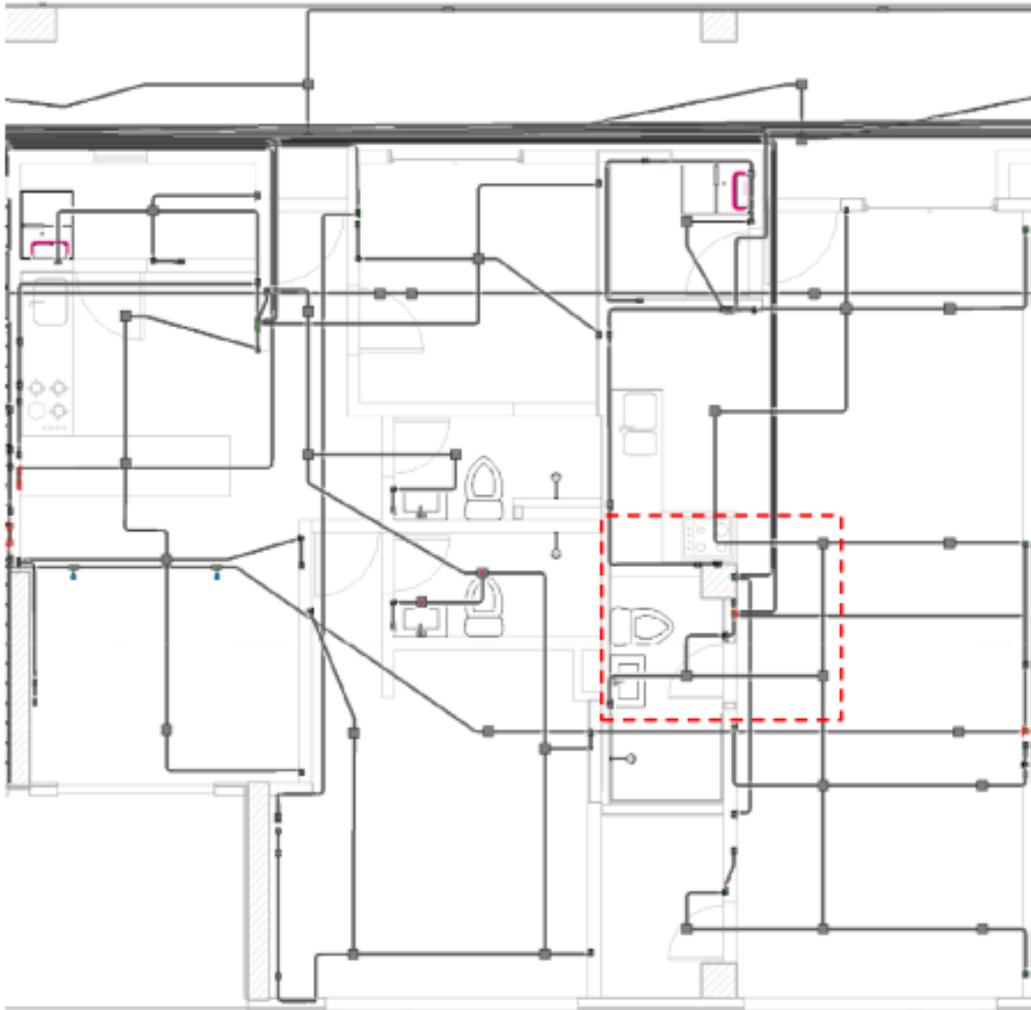
Fuente: Elaboración Propia

En esta ilustración se aprecia un poco de confusión en las rutas reales del recorrido de las tuberías y el cableado eléctrico. Tampoco se alcanza a entender con total claridad el recorrido que debe hacer la acometida de cada uno de los apartamentos hacia los buitrones o medidores eléctricos. En este caso, si no se lleva a cabo la

modelación de redes, quedaría a libre interpretación del contratista eléctrico las rutas a seguir, ocasionando posible interferencias y conflictos durante la obra, que al final se traducen en sobrecostos y retrasos.

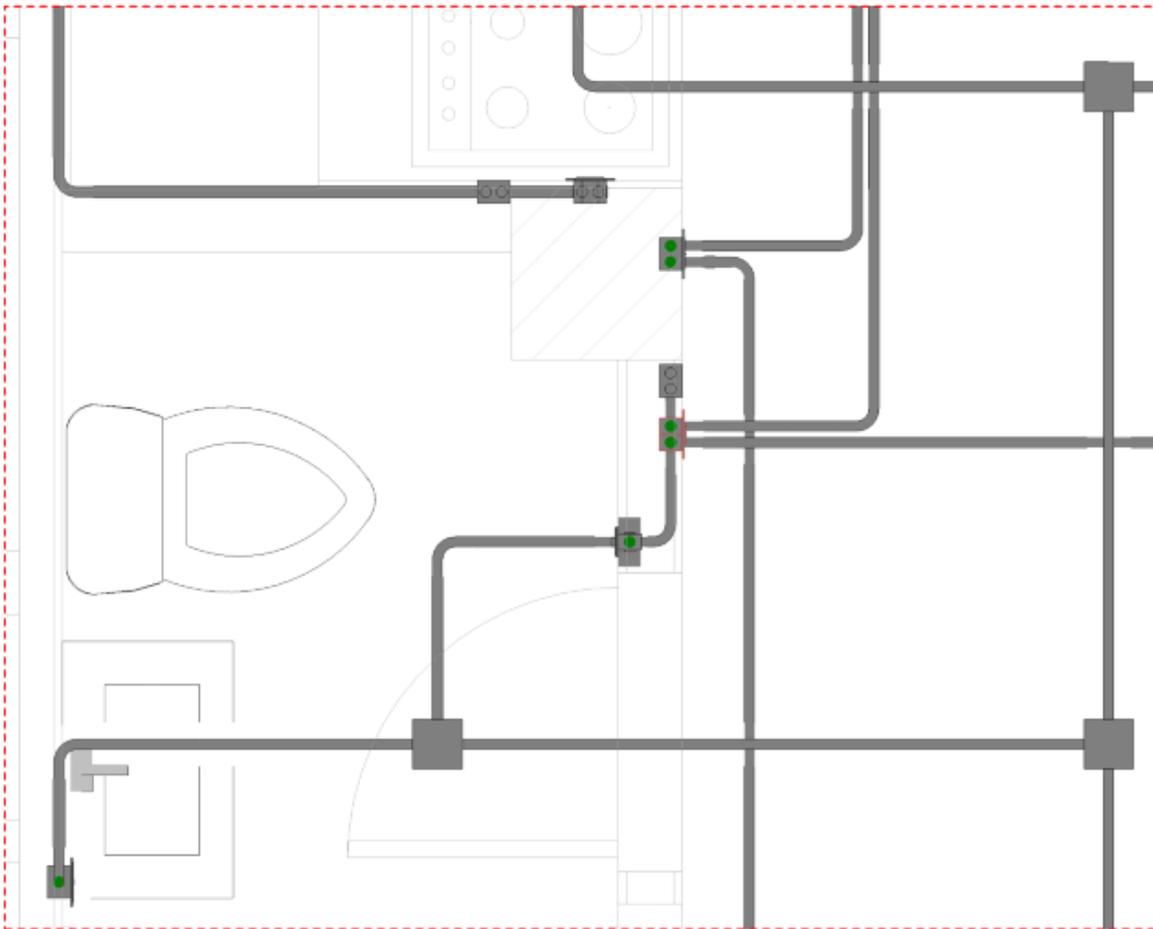
Ilustración 102 Plano en 2D de la red eléctrica de 2 apartamentos, modelado en Revit.





Fuente: Elaboración Propia

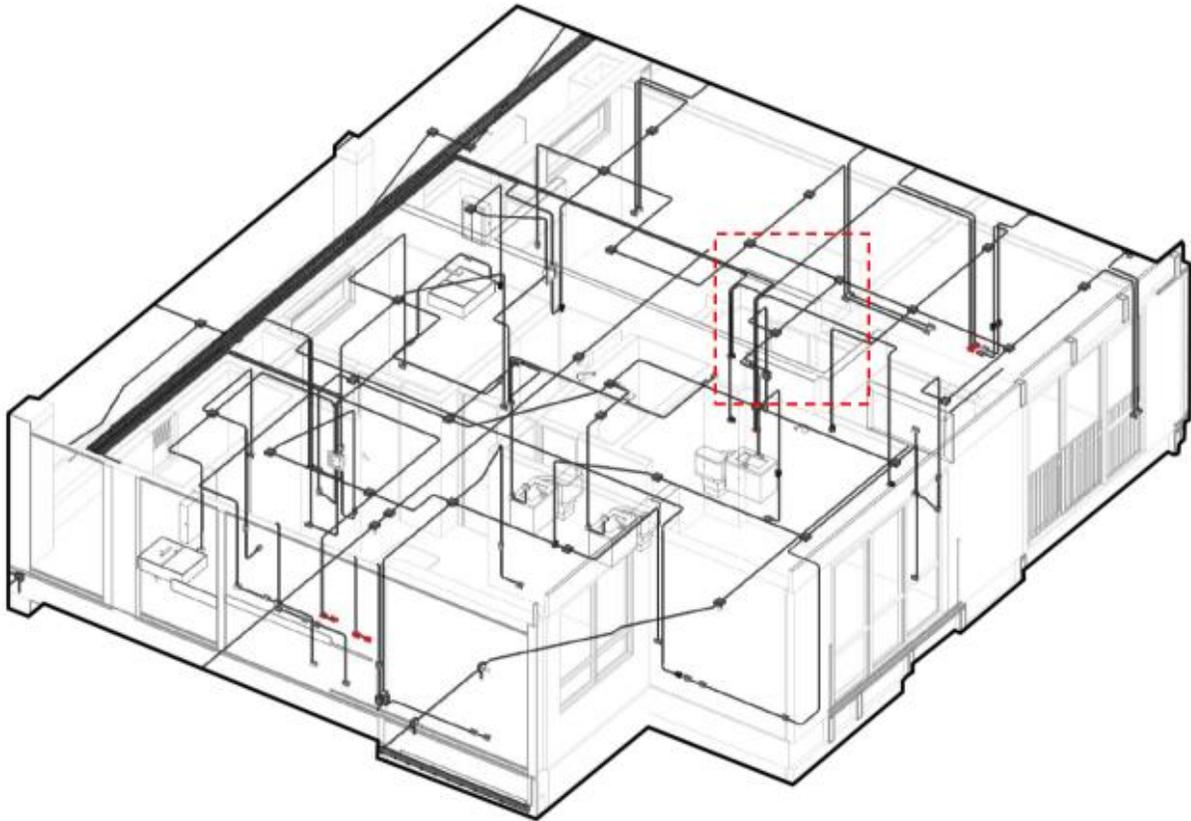
Ilustración 103 Detalle en planta de la red eléctrica de 1 apartamento, modelado en Revit.



Fuente: Elaboración Propia

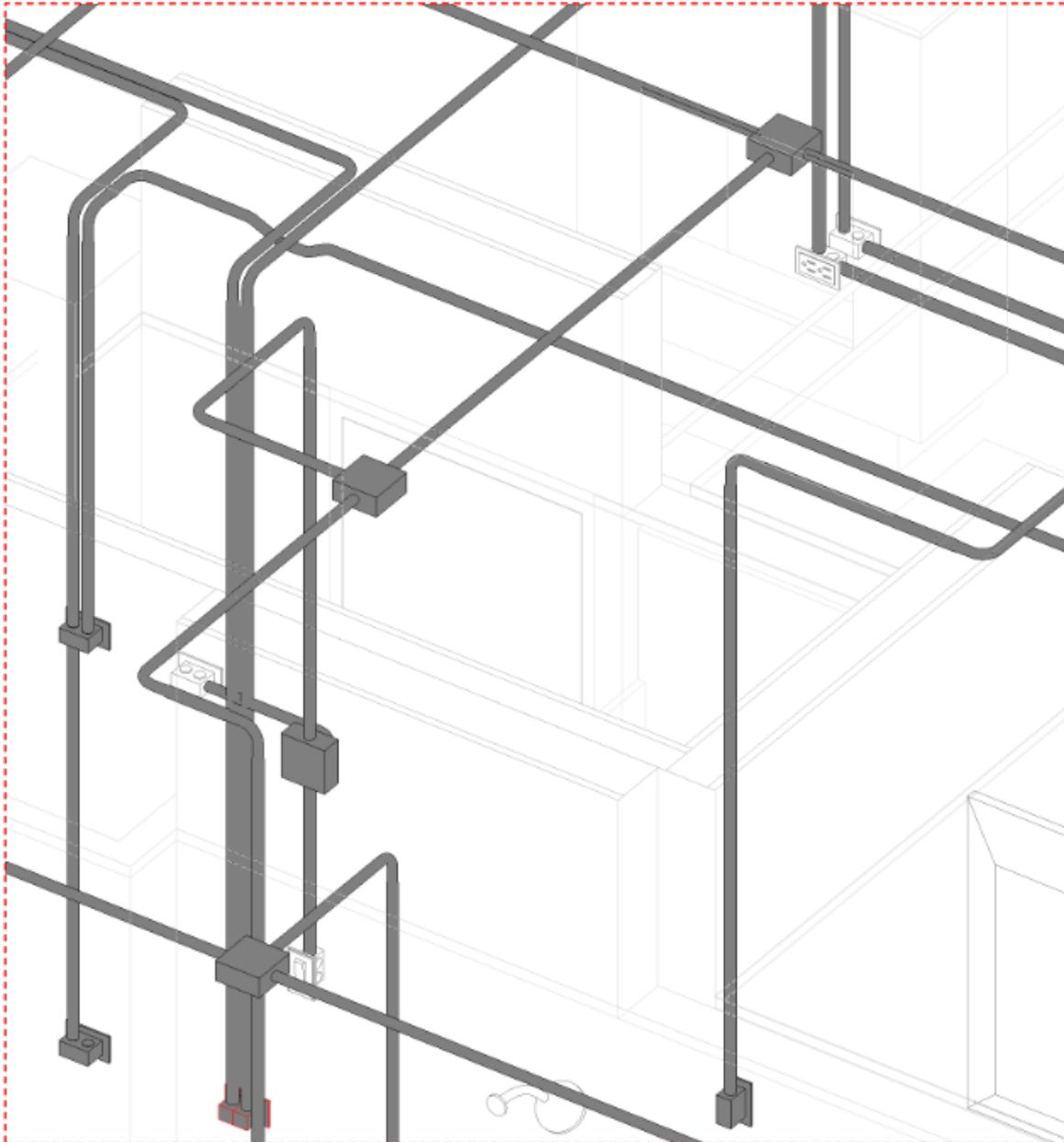
Al modelar los planos y la información eléctrica con herramientas BIM, fue más sencillo determinar las rutas de cada circuito, la ubicación de las cajas de paso y cajas de empalme con su respectiva altura, y la localización de cada una. También le fue asignada información paramétrica (proveedor, especificación, dimensiones, localización en el proyecto).

Ilustración 104 Esquema en 3D de la red eléctrica de 2 apartamentos, modelado en Revit.



Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 105 Detalle 3D de la red eléctrica de 1 apartamento, modelado en Revit.

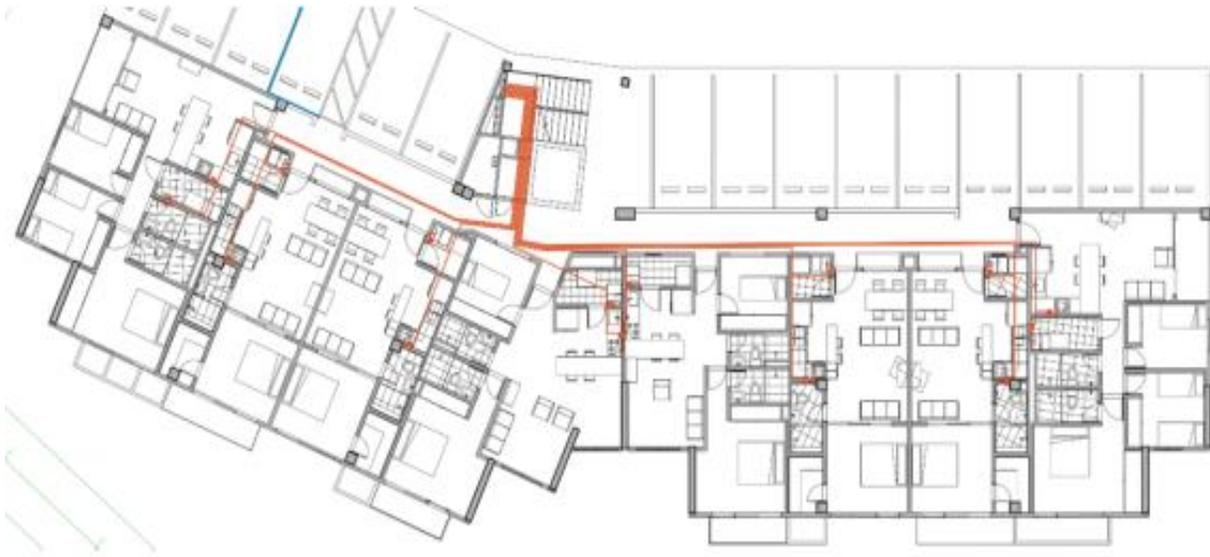


Fuente: Elaboración Propia

4.8.3.4. Red de gas

El diseño de la red de gas del proyecto no es muy compleja ni robusta. Consta de 2 salidas de gas para cada apartamento: una para el calentador de agua en la zona de ropas y otra para la cubierta-fogón en la cocina. Las acometidas vienen desde el gabinete de medida, ubicado el buitrón central en el punto fijo, y se distribuyen hacia cada apartamento, embebidas en el mortero de la circulación.

Ilustración 106 Plano en 2D de la red de gas de un nivel.



Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 107 . Plano en 2D de la red de gas de 2 apartamentos



Fuente: Elaboración Propia

A continuación, imágenes de la red de gas modelada en 3D, con Revit.

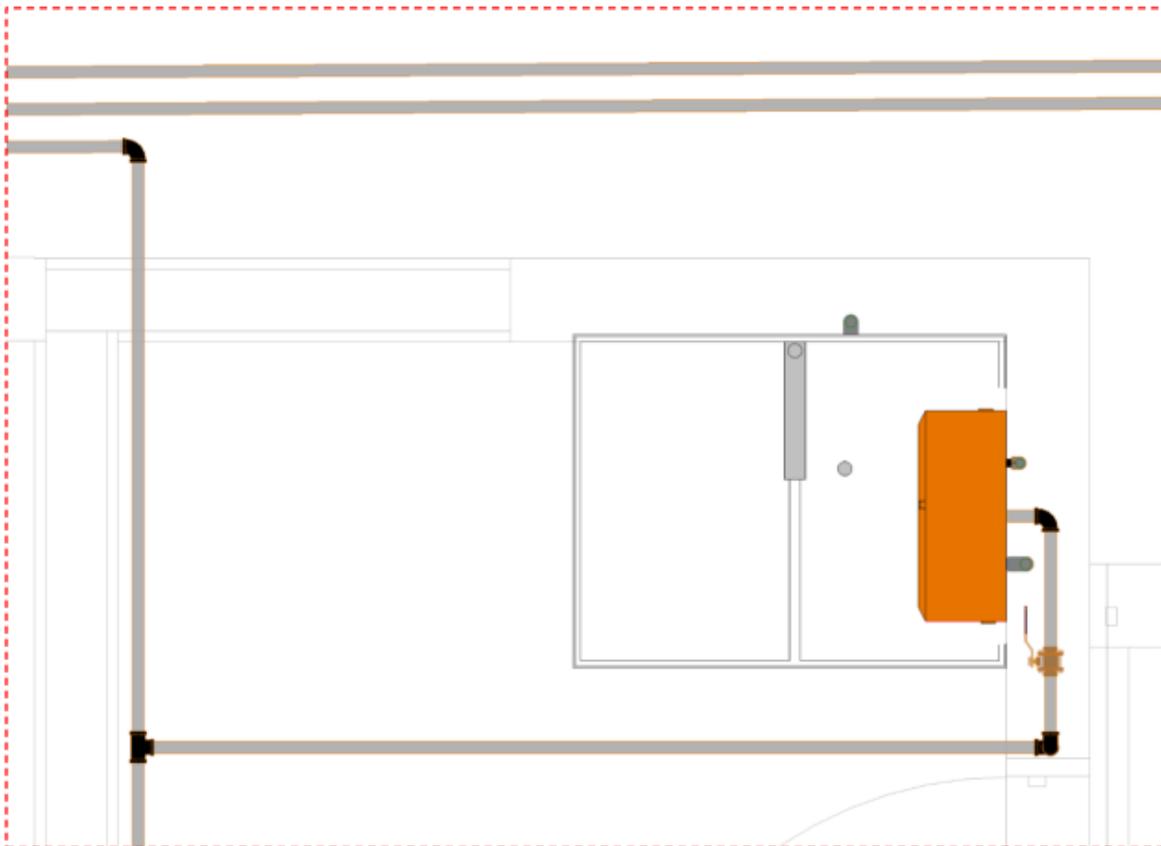
Ilustración 108 Plano en 2D de la red de gas de 2 apartamentos, modelado en Revit.



Fuente: Elaboración Propia

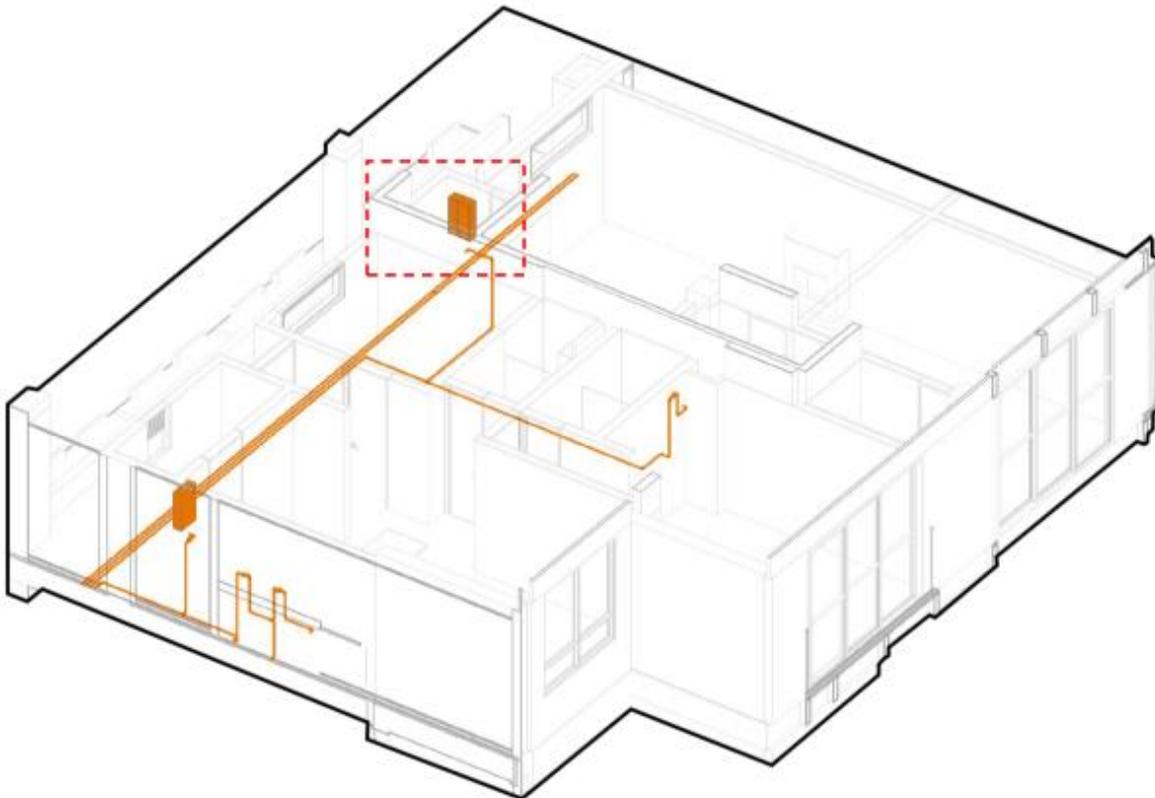
Comparando los planos de CAD 2D entregados por el diseñador de redes de gas, se pueden apreciar más fácilmente los diferentes elementos de la instalación, su verdadera dimensión y posicionamiento, como también los espesores de las tuberías utilizadas, las rutas horizontales y los recorridos verticales, al igual que su relación con la arquitectura y los elementos estructurales.

Ilustración 109 Plano en detalle 2D de la red de gas de 2 apartamentos, modelado en Revit.



Fuente: Elaboración Propia

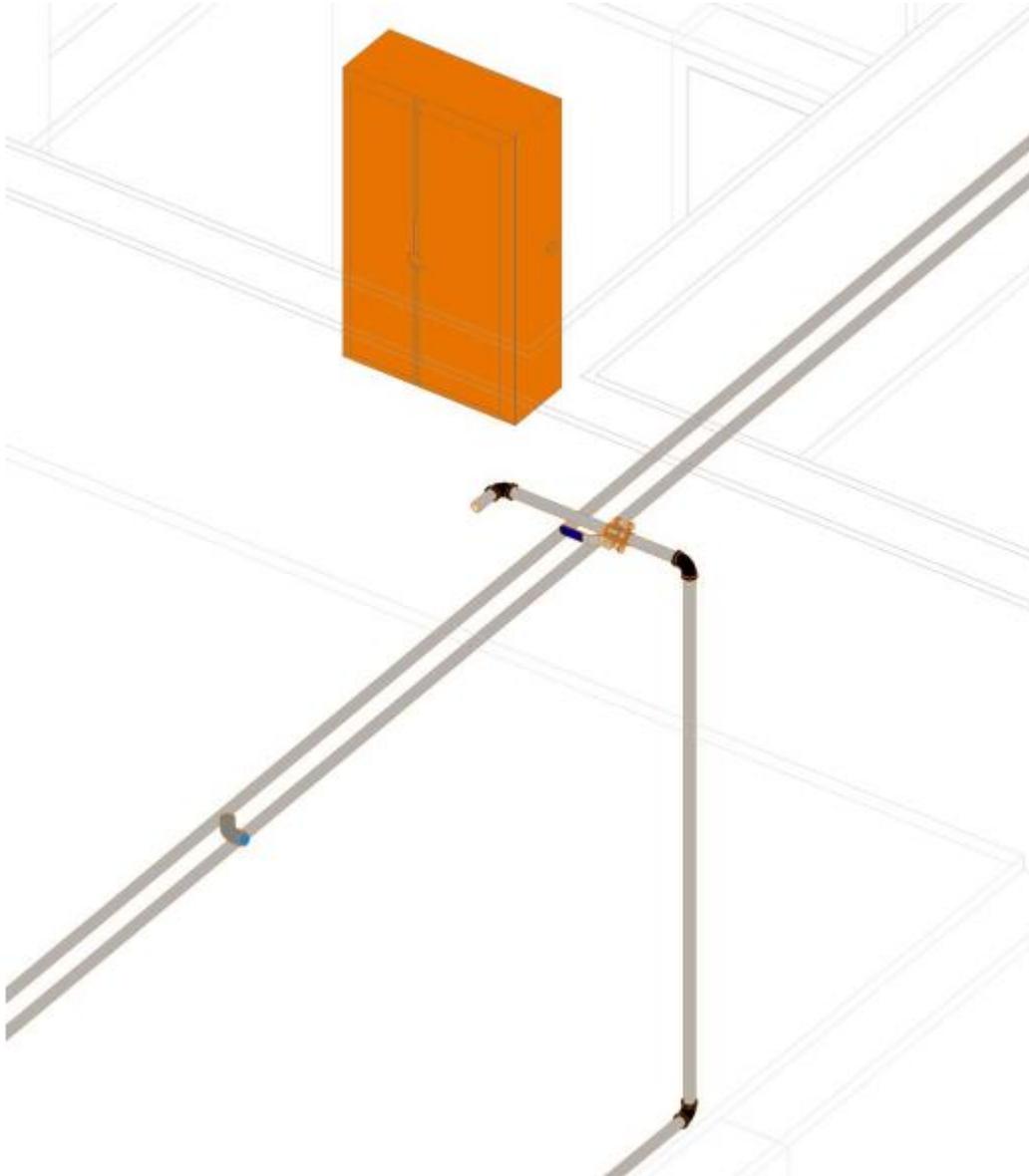
Ilustración 110 Esquema en 3D de la red de gas de 2 apartamentos, modelado en Revit.



Fuente: Elaboración Propia

Con el modelo de Revit es posible realizar esquemas 3D que se pueden anexar a los planos técnicos de obra y así facilitar al contratista que construye la red de gas, la comprensión de cada detalle: desde dónde viene la tubería, dónde hay desvíos, empalmes, accesorios etc. También determinar la cantidad de materiales a utilizar, e identificar las paredes y rutas por donde el contratista debería construir su red.

Ilustración 111 Detalle 3D de la red de gas de 1 apartamento, modelado en Revit.



Fuente: Elaboración Propia

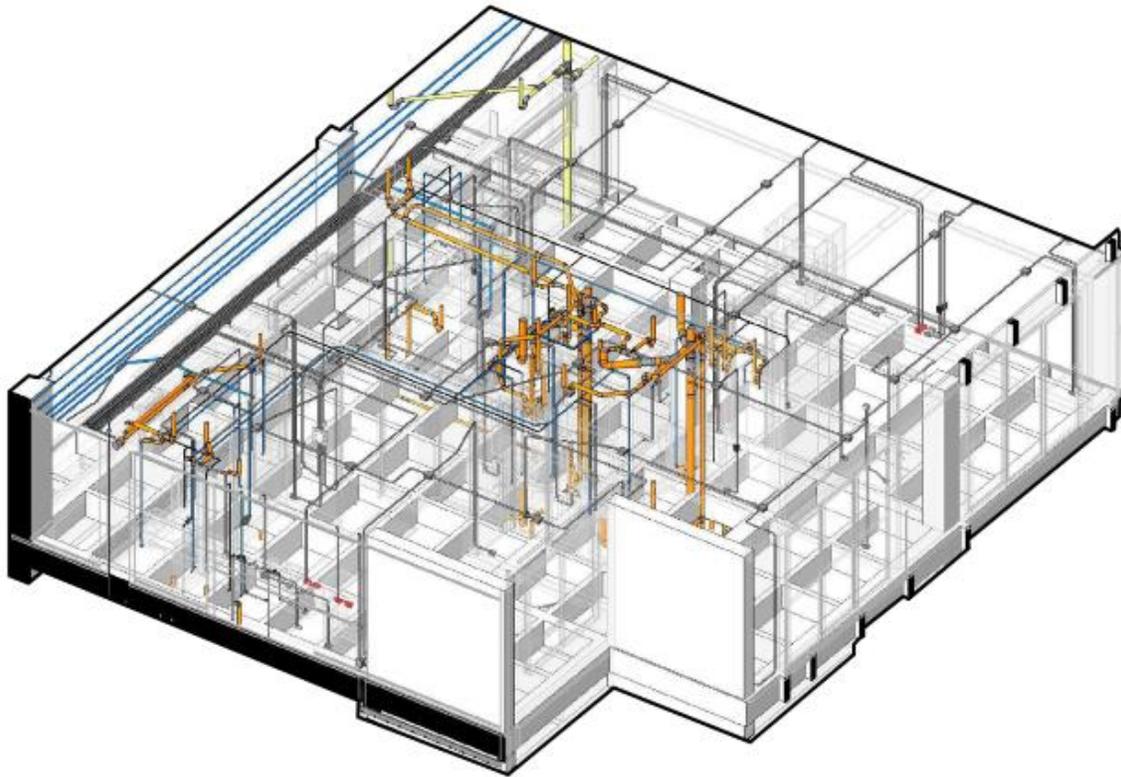
4.8.4. Síntesis de las redes modeladas.

Ilustración 112 Plano en 2D de las disciplinas técnicas de 2 apartamentos, modelado en Revit.



Fuente: Elaboración Propia

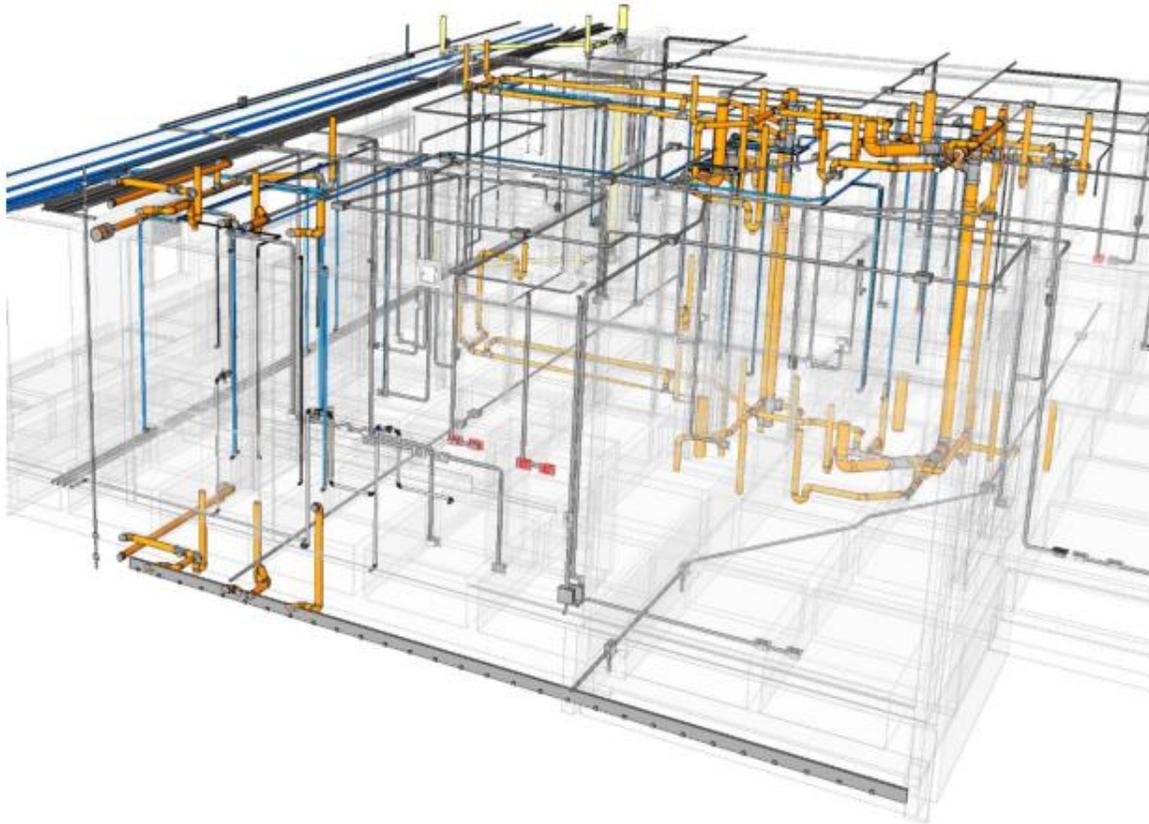
Ilustración 113 Esquema en 3D de las disciplinas técnicas de 2 apartamentos, modelado en Revit.



Fuente: Elaboración Propia

Al terminar con el modelado 3D de todas las redes e información, tal y como están diseñadas en los planos 2D de las diferentes disciplinas técnicas que intervienen en el proyecto, se tiene la posibilidad visualizar el edificio con la distribución de redes en su totalidad. Esto permite hacerse la imagen de cómo quedará construido el proyecto en un futuro y cuáles son las rutas que cada red debe tomar. También se comprende el grado de complejidad de la construcción.

Ilustración 114 Vista perspectiva de las disciplinas técnicas de 2 apartamentos, modelado en Revit.



Fuente: Elaboración Propia

A simple vista se aprecian algunas colisiones entre las diferentes disciplinas. El paso a seguir en este caso de estudio es elaborar un análisis de colisiones, con el fin de cuantificar, verificar y solucionar las interferencias que puedan existir, a través de la metodología BIM, para que posteriormente, el área de diseño pueda entregar un paquete completo de información a los constructores y así procurar simplificar la construcción del edificio.

4.9. Coordinación técnica

Como se exponía en capítulos anteriores, los errores de diseño y las diferentes colisiones que se presentan en los diseños, se pueden identificar con antelación al realizar la coordinación técnica bajo la metodología BIM. Una vez encontradas y cuantificadas las colisiones, se pueden coordinar reuniones con los profesionales involucrados para encontrar solución a las inconsistencias. Con una buena coordinación técnica, previa a la construcción, se pueden evitar estos contratiempos y solucionarlos, en cuanto a: cambios de diseño, ajustes en obras, demoliciones, desperdicios, nuevos materiales, demora en tiempo de ejecución, obras detenidas, entre otras actividades en las que se incurra para llevar a cabo la solución de dichas colisiones; que al final del ejercicio de obra, suman una cifra significativa en los proyectos constructivos.

En esta etapa se llevó a cabo la detección de interferencias entre los modelos correspondientes a las diferentes disciplinas del proyecto. En esta revisión el software utilizado, Navisworks, detecta, por ejemplo, cada vez que las redes entre ellas se intersectan o en los casos en los que estas se cruzan con otros elementos, como los estructurales (fundaciones, dados, vigas, nervios, columnas).

La coordinación técnica del proyecto Avanti se realizó mediante comités técnicos donde se discutió con los diseñadores técnicos las diferentes interferencias que se detectaron en los modelos tridimensionales. Luego se socializaron las posibles soluciones con cada diseñador del proyecto con la finalidad de realizar las correcciones necesarias de manera oportuna en los modelos, siempre verificando la factibilidad de los nuevos cambios y documentando los hallazgos

4.10. Programación de obra

En un proyecto de construcción, se entiende la programación de obra como el proceso de ordenar en el tiempo de forma lógica y secuencial la ejecución de cada

una de las actividades necesarias para poder llevar a buen término dicho proyecto. Es necesario realizar primero una estructura de división del trabajo; posteriormente, se debe hacer el cronograma de ejecución del proyecto, (Aguilar, 2015) visualizando el modelo 3D para conocer la magnitud, tamaño y alcance del proyecto, se encargó de realizar la división del trabajo, estimar los tiempos de cada capítulo y actividad involucrada durante la futura construcción de este proyecto, y de plasmar esta información en una programación de obra tipo Diagrama de Gantt, en el software Microsoft Project.

4.11. Modelado 4D

La evaluación del progreso de la construcción consiste en medir periódicamente el progreso y el avance real de un proyecto de construcción y luego compararlo con el progreso estimado o previsto. El progreso de un proyecto se expresa en términos de porcentaje de actividades completadas (Kim, C., Son, H., & Kim, C. , 2013)

Con el software Navisworks Manage, de la casa Autodesk, se llevó a cabo el modelado 4D del proyecto caso de estudio. Como se explicaba en el marco teórico del presente estudio, la modelación 4D sirve para simular teóricamente el avance constructivo y la programación de proyectos, de una manera virtual (VDC). En ella se puede evidenciar el avance de obra en una fecha específica, prever actividades futuras, comparar con el avance real de obra, actualizar programación, ver costos del proyecto a la fecha, entre algunas otras ventajas.

4.11.1. Metodología

Para llevar a cabo el modelado 4D se importaron al modelo de Navisworks las siguientes disciplinas, anteriormente modeladas:

- Arquitectura. Modelada en Revit, 3D
- Estructura. Modelada en Revit, 3D

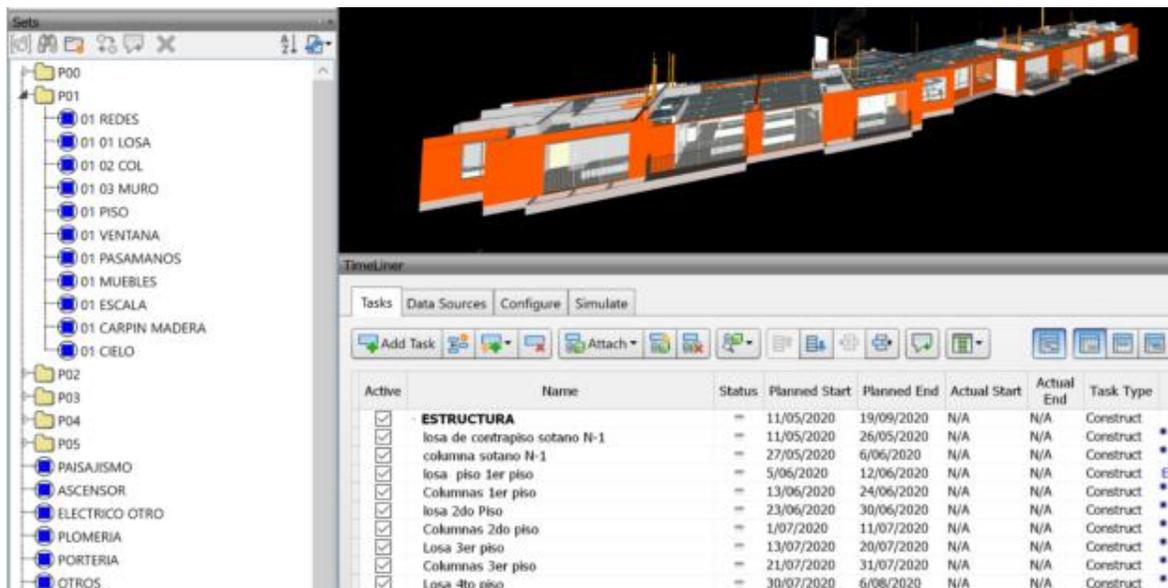
- Redes hidrosanitarias. Modelada en Revit, 3D
- Redes eléctricas. Modelada en Revit, 3D
- Redes de gas. Modelada en Revit, 3D
- Programación de obra. Modelada en Microsoft Project (con costos incluidos)

Posteriormente se organizan uno a uno todos los ítems del proyecto, clasificándolos por diferentes atributos (sets):

- Capítulo o actividad
- Subcapítulo
- Nivel o piso al cual corresponden

Una vez estén ordenados jerárquicamente, se asigna cada set a la programación de obra, de acuerdo al capítulo que corresponda. En la siguiente imagen se aprecia el nivel 01 del modelo, ordenado por sets, listo para ser asignado a la programación de obra:

Ilustración 115 Sets del nivel 01. Navisworks.



The screenshot shows the Navisworks interface. On the left, a 'Sets' tree lists various building components under levels P00 to P05. The main view displays a 3D model of a building structure. Below the model, a 'TaskLister' window is open, showing a table of tasks for the 'ESTRUCTURA' set.

Active	Name	Status	Planned Start	Planned End	Actual Start	Actual End	Task Type
<input checked="" type="checkbox"/>	ESTRUCTURA	—	11/05/2020	19/09/2020	N/A	N/A	Construct
<input checked="" type="checkbox"/>	losa de contrapiso sotano N-1	—	11/05/2020	26/05/2020	N/A	N/A	Construct
<input checked="" type="checkbox"/>	columna sotano N-1	—	27/05/2020	6/06/2020	N/A	N/A	Construct
<input checked="" type="checkbox"/>	losa piso 1er piso	—	5/06/2020	12/06/2020	N/A	N/A	Construct
<input checked="" type="checkbox"/>	Columnas 1er piso	—	13/06/2020	24/06/2020	N/A	N/A	Construct
<input checked="" type="checkbox"/>	losa 2do Piso	—	23/06/2020	30/06/2020	N/A	N/A	Construct
<input checked="" type="checkbox"/>	Columnas 2do piso	—	1/07/2020	11/07/2020	N/A	N/A	Construct
<input checked="" type="checkbox"/>	Losa 3er piso	—	13/07/2020	20/07/2020	N/A	N/A	Construct
<input checked="" type="checkbox"/>	Columnas 3er piso	—	21/07/2020	31/07/2020	N/A	N/A	Construct
<input checked="" type="checkbox"/>	Losa 4to piso	—	30/07/2020	6/08/2020	N/A	N/A	Construct

Fuente: Elaboración Propia

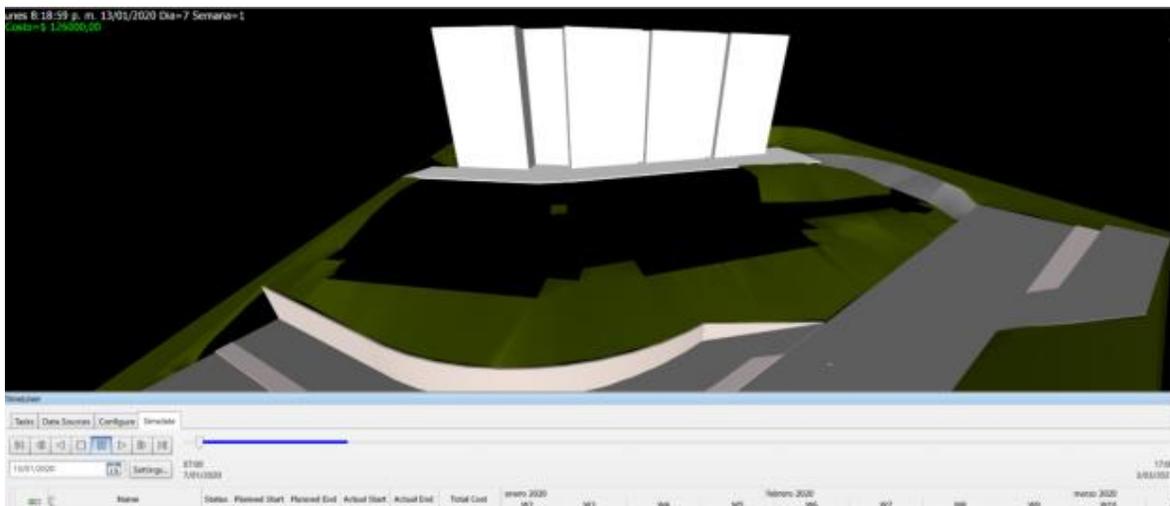
A continuación, se mostrarán apartes de la modelación 4D con su respectiva simulación teórica del avance que debería tener la obra en ciertas fechas. Como el presupuesto hace parte de la dimensión 5D, el costo que se observa en las imágenes es tentativo.

Ilustración 116 Imagen del edificio completo, terminado. Navisworks.



Fuente: Elaboración Propia

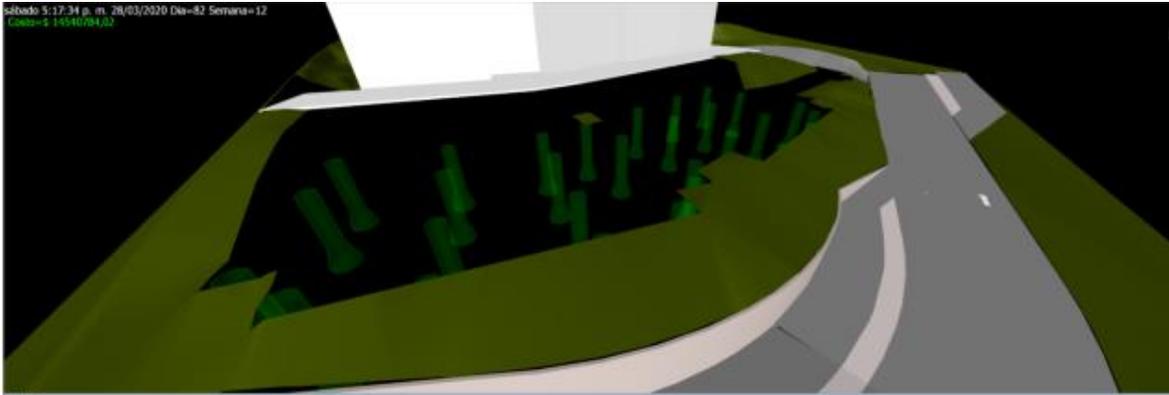
Ilustración 117 Excavación de tierra. Construcción de campamentos de obra, preliminares. Navisworks.



Fuente: Elaboración Propia

Comienza la construcción. Se excava la zona donde se va a edificar. Se construyen los preliminares de acuerdo al layout de construcción.

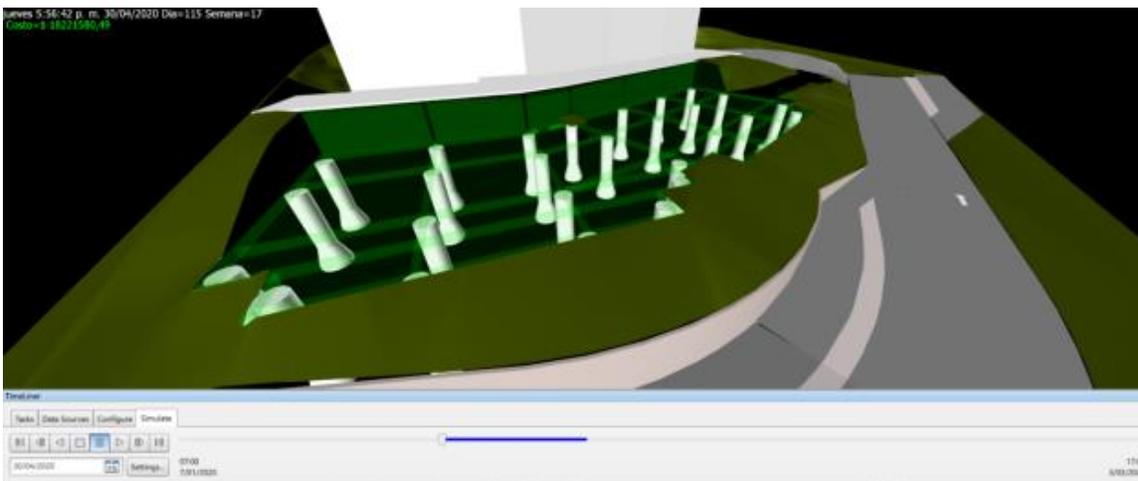
Ilustración 118 Proceso 02. Excavación manual, armada y vaciada de pilas, subestructura. Navisworks.



Fuente: Elaboración Propia

Se hace marcación topográfica del proyecto en general y de la cimentación. Comienza excavación manual de pilas.

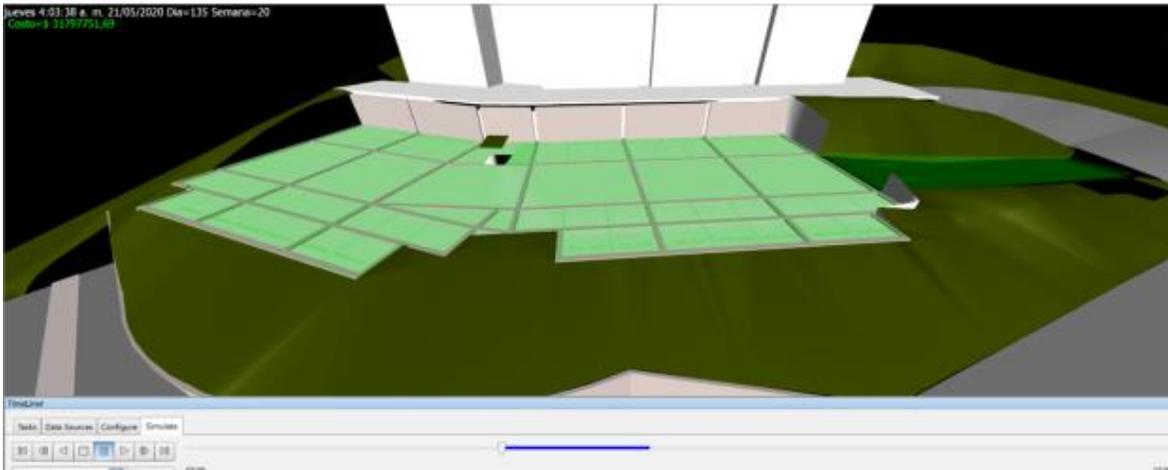
Ilustración 119 Proceso 03. Excavación manual. Vigas de fundación. Muro de contención. Navisworks.



Fuente: Elaboración Propia

A medida que se van vaciando las pilas ya excavadas, se van armando las vigas de la placa de fundación

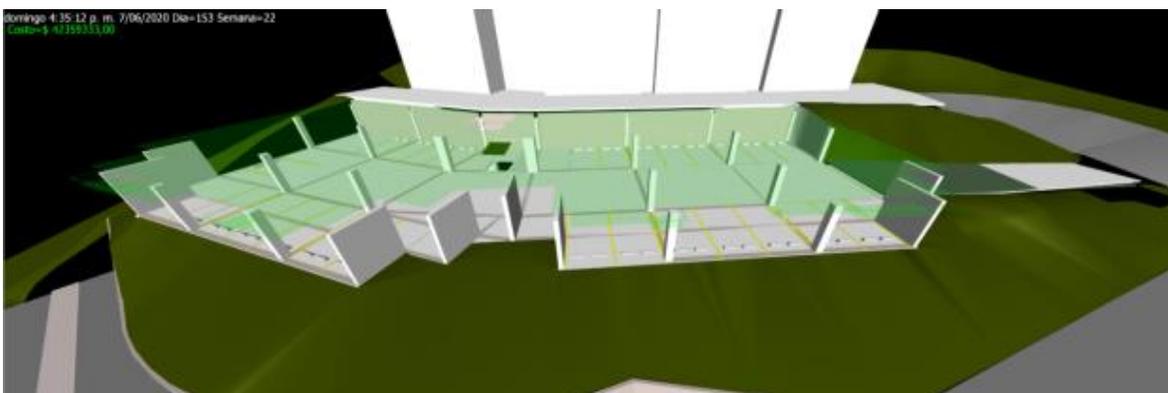
Ilustración 120 Proceso 04. Vaciado de placa de fundación, rampa de acceso a sótano. Navisworks



Fuente: Elaboración Propia

Se comienza vaciado de placa de fundación y muro de contención, al igual que la rampa vehicular de acceso al sótano.

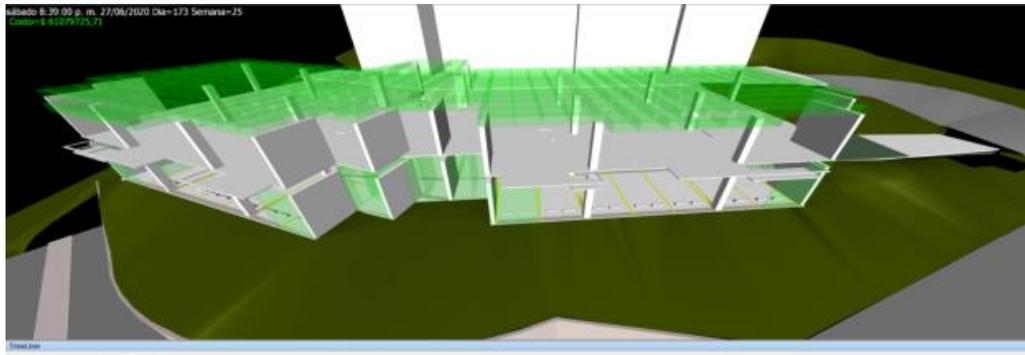
Ilustración 121 Proceso 05. Vaciado de columnas de sótano. Armada y vaciada de losa aérea nivel 1. Navisworks



Fuente: Elaboración Propia

Luego de tener vaciadas las columnas del sótano, se procede a encofrar y armar la losa del nivel 1.

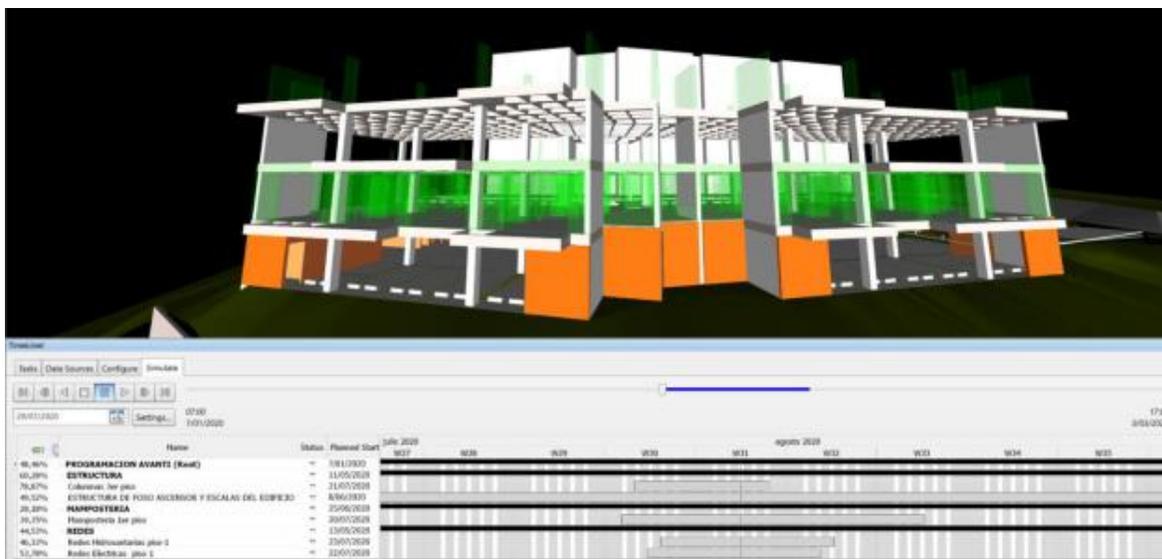
Ilustración 122 Proceso 06. Vaciado de columnas de nivel 1. Armada y vaciada de losa aérea nivel 2. Navisworks.



Fuente: Elaboración Propia

A medida que avanza la estructura apuntalada en concreto del edificio, se comienzan a liberar otras actividades, como las redes técnicas y la mampostería del sótano.

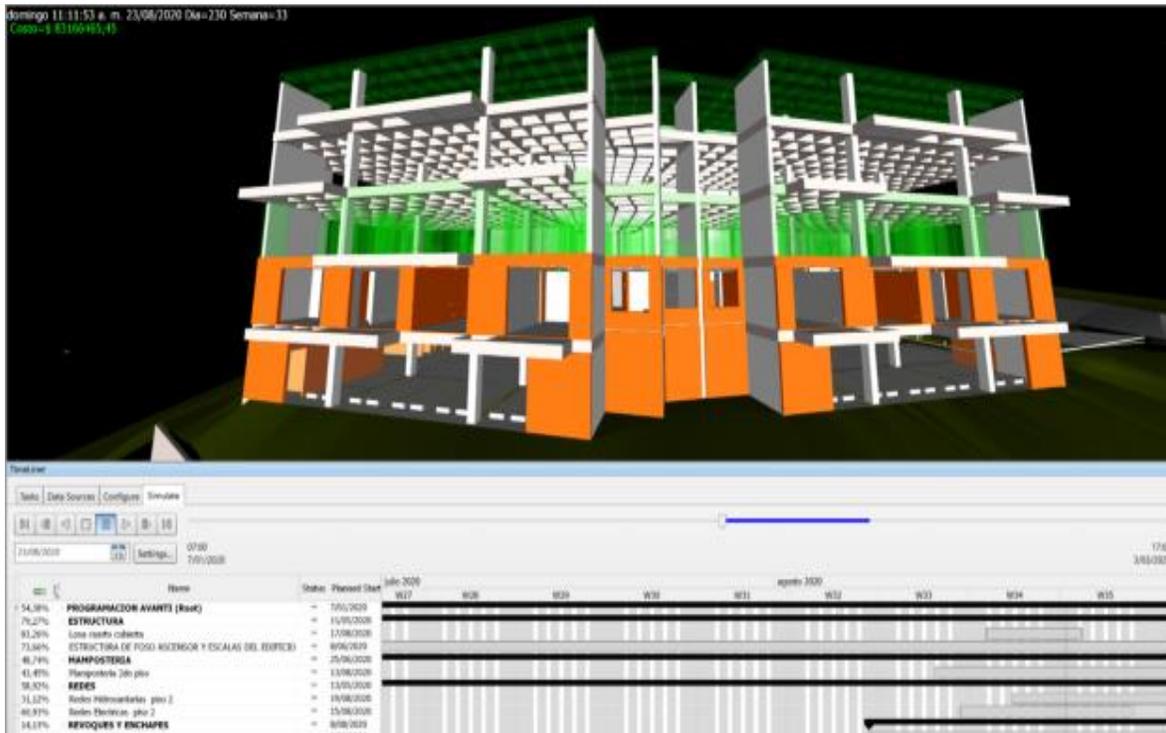
Ilustración 123 Proceso 07. Redes y mampostería. Navisworks.



Fuente: Elaboración Propia

Continúa la mampostería en nivel 1, al igual que las redes técnicas. Se están encofrando las columnas del nivel 3 para vaciar.

Ilustración 124 Proceso 08. Redes y mampostería. Vaciado de losa de cubierta. Navisworks.



Fuente: Elaboración Propia

La estructura está terminada. La mampostería va en curso, se están pegando muros interiores de nivel 2. A su vez se van armando redes internas de nivel 2 y 3. Se aprecia cómo las redes verticales quedan embebidas en los muros y las horizontales, descolgadas de las losas. A su vez, se está vaciando la losa de cubierta.

Ilustración 125 Proceso 09. Ventanería, morteros y pisos acabados. Navisworks.



Fuente: Elaboración Propia

El edificio está terminado en redes y mampostería. La instalación de la ventanería va en curso. Morteros y pisos comienzan en los niveles inferiores. La portería de acceso vehicular está culminada. Se está finalizando la obra gris y dando inicio a la obra blanca.

Ilustración 126 . Proceso 10. Inicio de obra blanca; pintura, carpintería, amoblamiento. Navisworks.



Fuente: Elaboración Propia

Se da inicio a la obra blanca, acabados. Construcción de cielos en drywall, pintura y estuco. Posteriormente comienza la actividad de carpintería y amoblamiento. Finalmente paisajismo

Ilustración 127 Proceso 10. Aseo de construcción. Finalización.



Fuente: Elaboración Propia

Finalización de construcción. Se lleva a cabo el aseo final de construcción y las entregas de apartamentos a clientes.

4.12. Presupuesto, extracción de cantidades.

La estimación del costo de un proyecto de construcción, también conocida como el cálculo del presupuesto de construcción, es el proceso de predecir el costo del proyecto, con base en: los materiales, las herramientas, los equipos, la mano de obra y el transporte, entre otros, requeridos para la ejecución según los estudios y diseños del proyecto (Marzouk, M., & Hisham, M., 2014)

Algunos de los problemas más importantes a la hora de laborar un presupuesto es el cálculo de las cantidades de obra y la minimización de los posibles imprevistos.

Un gran inconveniente es la baja precisión en su estimación, sea positivo o negativo, que muestra la diferencia entre la variación del costo final del proyecto y el costo objetivo que se planificó para el mismo (Porrás Díaz, 2015)

La elaboración del presupuesto no hace parte del alcance del presente estudio, pero sí la extracción de las cantidades de materiales desde el modelo 3D, de acuerdo con una buena modelación BIM. Para ello, todos y cada uno de los ítems del proyecto en cuestión debieron ser nombrados y caracterizados de tal manera que puedan ser extractados y organizados en tablas, que permitan totalizarlos e identificar su ubicación con facilidad.

Para ello se utiliza la opción de Schedules/Quantities del software de modelado 3D, Revit Architecture, la cual permite elaborar dichas tablas de cantidades y asignar criterios como áreas, cantidades, comentarios, ubicación, entre otros. Este proceso hace parte de la dimensión 5D de la metodología BIM.

A continuación, se muestran algunas imágenes de las tablas obtenidas del modelo 3D, que fueron exportadas al software Microsoft Excel y procesadas como tablas dinámicas para una mejor lectura de la información y una entrega clara al área encargada de elaborar el presupuesto del proyecto.

Tabla 3 Cantidad de closets y vestieres.

Cantidad Closets y Vestieres					
Familia	PISO				
Item	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Total general
Closet 145x055	2	2	2	2	8
Closet 175x055	2	2	2	2	8
Closet 205x055	2	2	2	2	8
Closet 235x075	2	2	2	2	8
Closet 270x055	2	2	2	2	8
Vestier Apto 45m2	4	4	4	4	16
Total general	14	14	14	14	56

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4 Cantidad de cielos y pintura

Item	Área (m2)
MP - Drywall 1/2" Ceilings	2018,54
MP - Paint - Vinyl Interior Ceiling	2018,54
MP - Stucco Drywall Ceilings	2018,54
Total general	6055,62

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5 Cantidad de concreto de columnas.

Cantidad Material Columnas Concreto

Item	Volumen (m3) 4,000 psi
SC-Re-025x025-Con-0000	0,77
SC-Re-025x227-Con-0000	15,02
SC-Re-025x250-Con-0000	49,54
SC-Re-030x030-Con-0000	3,59
SC-Re-040x040-Con-0000	28,98
SC-Re-040x080-Con-0000	8,44
Total general	106,34

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6 Cantidad de pasamanos

Cantidad Pasamanos, h: 1,20m

Item	Longitud (m)	Canr (und)
Jardinera Pasamanos 3 paraleles - OA+M	0	36
Pasamanos 120	232,55	46
Total general	232,55	82

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7 Cantidad de concreto de losa

Cantidad Material Losas Concreto (m3)

Familia	Piso									
Item	Cubierta	Piso 1	Piso -1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5	0 - 20 Bombas	Total general	
I-SF05-00-MOGOP0 Losa Estructural 5		39,41		28,13	28,4	28,36	26,89		151,19	
I-SF10-00-MOGOP0 Losa Contrapiso 10			77,82						77,82	
I-SF10-00-MOGOP0 Losa Estructural 10	1						0,87		1,87	
I-SF20-00-MOGOP0 Losa Estructural 20								2,73	2,73	
Total general	1	39,41	77,82	28,13	28,4	28,36	27,76	2,73	233,61	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8 Cantidad de materiales de muros

Cantidad Material Muros (m2)

Etiquetas de fila	Suma de Material: Area
Fridge Black	19,20
MP - Block Concrete 15	48,60
MP - Block Concrete 15 - Perforated	8,00
MP - Brick - Ladrillo 05 - Fachada Natural (Enchape)	70,60
MP - Brick - Ladrillo 10 - Divisorio Liso	753,10
MP - Brick - Ladrillo 15 - Divisorio Liso	1.298,80
MP - Brick - Ladrillo 15 - Fachada Natural Catalán	1.534,90
MP - Concrete - 3 Ksi - Retaining Wall 15	298,40
MP - Concrete - 3 Ksi - Structural Wall	135,60
MP - Drywall 1/2" Ceilings	2,30
MP - Drywall Fibrocemento	112,80
MP - Glass - Mirror	6,60
MP - Glass - Tempered Bathroom Cabinet	120,00
MP - Paint - Vinyl Interior - White	2.652,60
MP - Pega Ceramica	180,60
MP - Revoque Interior R1	19,80
MP - Steel - Sheet 1/4"	119,60
MP - Stucco	2.510,00
MP - Stucco Drywall Walls	140,60
MP - Tile - Baldosa Chimenea	59,60
MP - Tile - Porcelanato Madera	13,00
MP - Tile - Porcelanato Rectangular (en blanco)	108,00
Total general	12.523,90

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 9 Cantidad de materiales de pisos.

Cantidad Material Pisos (m2)						
Material: Area (m2)	Nivel					
Item	Piso 1	Piso -1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Total general
MP - Tile - Baldosa Chimenea	5,20		5,20	5,20	5,20	20,80
MP - Tile - Baldosa Punto Fijo	67,41	8,79	60,90	62,87	62,87	262,84
MP - Tile - Baldosa Terraza	23,50		15,60	23,74	16,86	79,70
MP - Tile - Porcelanato Baños	81,81		79,33	84,29	65,51	310,94
MP - Tile - Porcelanato Madera	316,82		316,82	316,82	333,08	1.283,54
Total general	494,74	8,79	477,85	492,92	483,52	1.957,82

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10 Cantidad de concreto de vigas

Cantidad Material Vigas Concreto 4,000 psi (m3)	
Item	Volumen (m3)
SB-Re-010x045-Con-0000	147,54
SB-Re-020x045-Con-0000	20,27
SB-Re-025x045-Con-0000	6,37
SB-Re-030x045-Con-0000	226,63
Total general	400,81

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 11 Cantidad de muebles de plomería.

Cantidad Muebles Plomería							
Muebles Plomería	Nivel						
Familia	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5	0-20 Bombas	Total general
Calentador Agua Paso	8	8	8	8			32
Ducha Baño Alcoba Secundaria	12	12	12	12			48
Lava Escobas 20x40	1		1				2
Lavadero 80x60	6	6	6	8			26
Lavamanos Pedestal Corona						1	1
Sanitario Baño Alcoba Principal - 6.1 Lpf	12	12	12	12			48
Sanitario Baño Alcoba Secundaria - 1.6 gpf Corona						1	1
Water Meter & Cover	1	1	1	1			4
Contador Agua general Brooks_Box_3MB_15861						2	2
Medidor de Gas. gas_meter_manifold_5854	1	1	1	1			4
Lavadero Ropas Avanti 80 x 60	2	2	2				6
Mueble Baño Alcoba Principal con Meson, Lavamanos, Grifería - 060x040	12	12	12	4			40
Mueble Baño Alcoba Principal con Meson, Lavamanos, Grifería 70 x 40				8			8
Tanque 10000 litros w/ Pump - MEP						1	1
Total general	55	54	55	54	1	4	223

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 12 Cantidad de puertas.

Cantidad Puertas

Familia	Ancho	Alto	Cant
I-DO04-050x205-10-SI-10 Puerta Cerradura Normal con Dintel 10 Ventilada Metálica	0,5	2,05	2
I-DO04-060x205-06-SI-10 Puerta Cerradura Normal con Dintel 10 Cuartos Utiles	0,6	2,05	2
I-DO04-070x205-06-SI-10 Puerta Cerradura Normal con Dintel 10 Cuartos Utiles	0,7	2,05	32
I-DO04-070x205-10-SI-10 Puerta Cerradura Normal con Dintel 10 Ventilada Metálica	0,7	2,05	4
I-DO04-070x240-06-SI-00 Puerta Cerradura Normal NO Dintel Enchapada	0,7	2,4	64
I-DO04-070x240-06-SI-10 Puerta Cerradura Normal con Dintel 10 Vidrio	0,7	2,4	1
I-DO04-080x180-10-SI-10 Puerta Cerradura Normal con Dintel 10 Ventilada Metálica	0,8	1,8	8
I-DO04-080x205-10-SI-10 Puerta Cerradura Normal con Dintel 10 Ventilada Metálica	0,8	2,05	1
I-DO04-080x240-06-SI-00 Puerta Cerradura Normal NO Dintel Enchapada	0,8	2,4	60
I-DO04-085x240-06-SI-00 Puerta Cerradura Normal NO Dintel Enchapada	0,85	2,4	4
I-DO04-090x240-06-SI-00 Puerta Cerradura Doble NO Dintel Enchapada - Entrada Principal	0,9	2,4	32
I-DO04-090x240-06-SI-00 Puerta Cerradura Normal NO Dintel Enchapada - Alcoba Ppal	0,9	2,4	8
Total general	0,77	2,31	218

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 13 Cantidad de ventanas

Cantidad Ventanas

Item	Ancho	Alto	Area	Cant	Total Area
WI00-040x040-07-LO Rejilla Ventilación	0,4	0,4	0,16	1	0,16
WI03-060x080-07-SI-FI Ventana Fija con Rejilla Ventilación Cocina	0,6	0,8	0,48	20	9,6
WI03-075x150-07-DO-CA Ventana Fija sin Sillar sin Dintel	0,75	1,5	1,13	1	1,13
WI03-120x150-07-DO-SL Ventana Doble Deslizante con Sillar Concreto	1,2	1,5	1,8	1	1,8
WI03-120x180-07-DO-SL Ventana Doble Deslizante con Montante	1,2	1,8	2,16	16	34,56
WI03-155x060-07-DO-CA Ventana Fija sin Sillar sin Dintel con Rejilla	1,55	0,6	0,93	24	22,32
WI03-170x150-07-DO-SL Ventana Doble Deslizante con Montante	1,7	1,5	2,55	1	2,55
WI03-180x180-07-DO-SL Ventana Doble Deslizante con Montante	1,8	1,8	3,24	12	38,88
WI03-290x240-07-TR-SL Puerta Ventana Triple Deslizante	2,85	2,4	6,84	8	54,72
WI03-290x250-07-TR-SL Puerta Ventana Triple Deslizante	2,9	2,5	7,25	32	232
Total general	1,81	1,59	3,43	116	397,72

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 14 Cantidad de tubería eléctrica

Cantidad de tubería eléctrica	
Item	Longitud (m)
EMT ELÉCTRICA	2.061
1"	116
1/2"	32
3"	1
3/4"	1.911
4"	1
EMT TELEFONO	168
3/4"	168
EMT TV	244
3/4"	244
PVC ELÉCTRICA	1.736
1"	12
1/2"	88
2"	22
3"	3
3/4"	1.601
4"	10
PVC RED TELEFONO	110
3"	26
3/4"	84
PVC RED TV	248
3/4"	248
Total general	4.567

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 15 Cantidad de accesorios de plomería y gas.

Cantidad accesorios plomeria, gas, incendios	
Item	Cant. (und)
ACOPLAMIENTO PVC	1
ADAPTADOR DE LIMPIEZA SANITARIA	4
BUJE EXPERIMENTAL-PRESION	67
CAJA LLUVIAS 0.60x0.60m	4
CRUZ - PVC - PRESION	4
Codo CxC_Sanitario_PAVCO 4"	793
Codo CxC_Sanitario_PAVCO 2"	459
CODO PRESION - PVC 1"	548
CODO PRESION - PVC 1/2"	1.195
CODO ROSCADO-GAS 1/2"	442
I_Yee doble sanitaria Wye- PVC - Sch, 4"	84
REDUCCION - PVC - SCH40 4" x 6"	4
REDUCCION PVC 2" x 4"	139
Sifon PVC CxE 2"	76
Sifón 180 CxC_Sin Codo_Sanitaria 2"	208
TAPON TEMPORAL 1 "	4
TAPÓN TEMPORAL 1/2"	110
TEE - PVC - SANITARIO 4"	605
TEE - PVC - VENTILACION 4"	8
TEE - PVC- SCH40 x 4" pvc	277
TEE - PVC- SCH40 x 4"	104
TEE REDUCIDA - PVC - SANITARIA 4" x 2"	64
TEE REDUCIDA - PVC - VENTILACION 4" x 2"	13
TEE ROSCADA-GAS 1/2"	48
Total general	5.261

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16 Cantidad de tubería de plomería y gas.

Cantidad de tubería plomería PVC, gas	
Item	Longitud (m)
AGUA FRÍA	1.829
1"	1.799
2"	30
AGUAS LLUVIAS	267
2"	152
4"	106
5"	1
6"	8
AGUAS RESIDUALES	8
2"	8
COBRE_AGUA CALIENTE	812
1"	812
GAS - POLIETILENO	612
1"	612
PVC sanitaria y aguas lluvia PAVCO	2.006
2"	1.506
4"	485
6"	15
PVC ventilación	738
2"	738
Total general	6.272

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 17 Cantidad de accesorios eléctricos.

Cantidad accesorios eléctricos	
Item	Cant (und)
CAJA ENERGIA 0.60x0.60x0.90	9
CAJA MACROMEDIDOR	2
CAJA TELEFONIA Y TV 0.60x0.60x0.90	4
I_Bombilla + Plafón	62
I_Bombilla + Plafón Ojo De Buey, Recesada 10W	640
Interruptor Sencillo	207
PROTEGIDO POR GFCI	113
TABLERO ELECTRICO 20 x 20	33
Toma GFCI	40
Toma normal	519
Toma trifasico	32
TOMACORRIENTE CON TAPA EXTERIOR	1
Total general	1.662

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 18 Cartilla con cantidad total de acero, resumen.

Suma de Total Kg Marca	Kg/piso					SOTANO	TODOS	Total general
	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 4	PISO 5			
Structural Rebar ESTRIBO 1/2" - 3,87 x 0.12 - anillo						3.974		3.974
Structural Rebar ESTRIBO 3/8" - 0.12 x 0.37 - gancho	61	57	51	50	52	53		324
Structural Rebar ESTRIBO 3/8" - 0.22 x 0.22 - gancho							880	880
Structural Rebar ESTRIBO 3/8" - 0.22 x 0.37 - gancho	1.107	1.032	937	920	953	961		5.910
Structural Rebar ESTRIBO 3/8" - 0.32 x 0.32 - gancho							2.228	2.228
Structural Rebar ESTRIBO 3/8" - 0.32 x 0.37 - gancho	10	9	8	8	8	8		52
Structural Rebar ESTRIBO 3/8" - 0.72 x 0.32 - gancho							526	526
Structural Rebar ESTRIBO 3/8" - 0.82 x 0.12 - gancho							176	176
Structural Rebar ESTRIBO 3/8" - 2.20 x 0.17 - gancho							1.452	1.452
Structural Rebar ESTRIBO 3/8" - 2.22 x 0.12 - gancho							412	412
Structural Rebar ESTRIBO 3/8" - 2.42 x 0.12 - gancho							445	445
Structural Rebar ESTRIBO 3/8" - 2.42 x 0.17 - gancho							4.355	4.355
Structural Rebar ESTRIBO 3/8" - 3,87 x 0.12 - gancho							689	689
Structural Rebar GANCHO 1/4" - 0.37 - 0.07 gancho NERVIO	260	242	220	216	223	225		1.385
Structural Rebar GANCHO 3/8" - 0.37 - 0.11 gancho	9	8	7	7	8	8		47
VARILLA no. 3 - 3/8 "	317	296	269	264	273	275		1.694
VARILLA no. 4 - 1/2 "	2.623	2.446	2.220	2.179	2.258	2.276	3.626	17.629
VARILLA no. 5 - 5/8 "	3.500	3.263	2.962	2.908	3.013	3.037	1.055	19.738
VARILLA no. 6 - 3/4 "	1.424	1.327	1.205	1.183	1.225	1.235	30.396	37.995
VARILLA no. 7 - 7/8 "	528	493	447	439	455	458		2.820
VARILLA no. 8 - 1 "							18.022	13.103
Total general	9.839	9.173	8.326	8.174	8.468	30.532	59.341	133.853

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 19 Cartilla con cantidad de acero de una referencia de varilla, ejemplo.

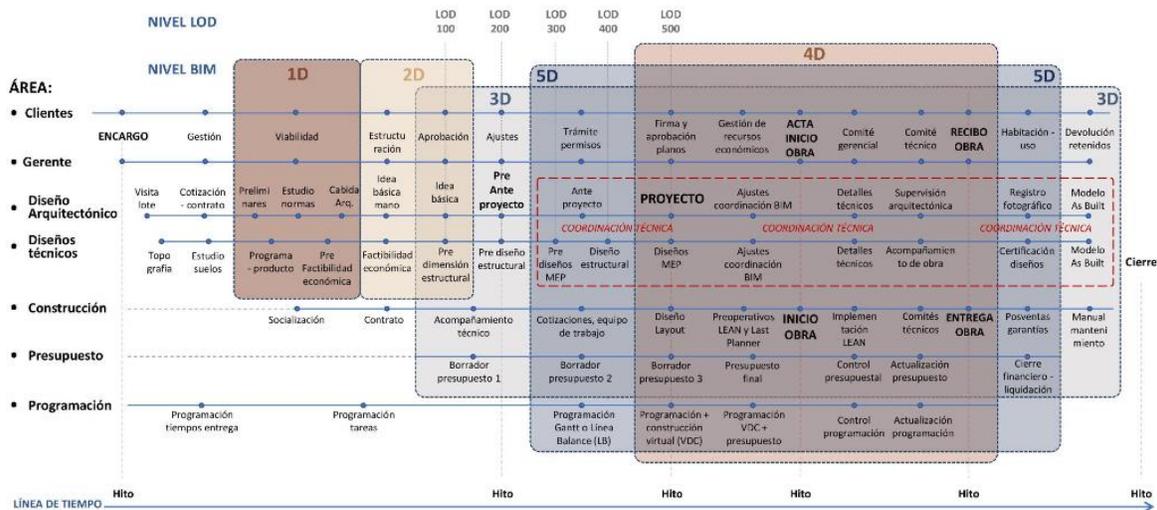
Suma de Total Kg Marca	Kg/piso					SOTANO	TODOS	Total general
	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 4	PISO 5			
VARILLA no. 5 - 5/8 "	3.500	3.263	2.962	2.908	3.013	3.037	1.055	19.738
6	25	23	21	20	21	21		132
7	477	444	403	396	410	414		2.544
8	264	246	223	219	227	229		1.409
C-06							1.055	1.055
V-07	420	392	355	349	362	364		2.242
V-12	27	25	23	22	23	23		144
V-13	54	50	46	45	46	47		288
V-14	72	67	61	60	62	62		384
V-17	12	12	10	10	11	11		66
V-11	172	161	146	143	148	149		919
V-23	41	38	35	34	35	36		219
V-01	480	448	406	399	413	417		2.563
V-03	217	202	183	180	187	188		1.157
V-04	211	196	178	175	181	183		1.124
V-21	100	93	84	83	86	87		533
V-22	41	38	35	34	35	36		219
V-05	238	222	201	198	205	207		1.271
V-02	405	378	343	336	349	351		2.162
N-04	12	11	10	10	10	10		63

Fuente: Elaboración Propia

4.13. Nuevo flujo de trabajo

El flujo de trabajo aquí propuesto deberá ser el que se utilice para los futuros proyectos de diseño y construcción de la empresa. Su resultado se podrá evaluar con el paso del tiempo y la implementación en varios proyectos, donde se podrán obtener conclusiones, modificaciones y mejoras continuas al flujo que se muestra a continuación.

Ilustración 128 Diagrama de flujo de trabajo, metodología BIM



Fuente: Elaboración Propia

El flujo de trabajo es una línea temporal. El eje X es la línea de tiempo. En el eje Y se aprecian las diferentes áreas intervinientes en el proyecto. A medida que se avanza en el tiempo van apareciendo tareas o actividades que son asignadas a cada área. Algunas de las tareas pertenecen a cierto nivel BIM.

Este flujo comienza con la primera actividad del cliente que es el “encargo” y los primeros acercamientos a qué es lo que desea diseñar, y cuáles son sus necesidades; representada con una bola de color azul. Luego se aprecia cómo las

nuevas actividades se van correlacionando con los diferentes intervinientes en el flujo, entre ellos el área de arquitectura, protagonista de esta investigación.

Las dimensiones o niveles de BIM agrupan algunas de las actividades del flujo, según corresponda su grado de dificultad. Desde el área de arquitectura se agrupan de la siguiente manera

- BIM 1D: Se lleva a cabo el estudio normativo de un lote, y con el levantamiento topográfico se hace una cabida arquitectónica para validar posteriormente la viabilidad del proyecto y sus requerimientos particulares. Para ello se utiliza el software Revit Architecture, en 2D.
- BIM 2D: Si el proyecto es viable y se tiene aprobación por parte de gerencia o cliente para continuar con el diseño arquitectónico, se comienza a elaborar la idea básica, donde se exploran distribuciones básicas, volumetría, funcionalidad y uso. Inicialmente se desarrollan dibujos a mano y luego son modelados en 3D, a un nivel LOD 100.
- BIM 3D – Pre anteproyecto: Una vez aprobada la idea básica se procede con la maduración del proyecto, en términos de materialidad, espacialidad y distribución del programa. El modelado 3D pasa a un LOD 200, donde empieza a coger forma el proyecto y se empieza a organizar estructuralmente. En paralelo se comienza a hacer los primeros diseños MEP por parte de los diseñadores técnicos.
- BIM 3D – Ante proyecto: En esta etapa se termina de estructurar el proyecto arquitectónico en términos de funcionalidad. Se definen las medidas finales, cuadro de áreas y funcionalidad del proyecto. Comienzan labores de coordinación técnica donde se concilia la arquitectura con la estructura, y se empiezan a chequear los diseños técnicos MEP. Se entregan cantidades preliminares y listado de especificaciones básicas al presupuestador. Los clientes pueden visualizar primeras imágenes realistas del proyecto. El

gerente procede a radicar el proyecto en las entidades competentes para el trámite de los permisos de construcción.

- BIM 3D – Proyecto: Durante el tiempo que tarda la aprobación del proyecto por parte de entidades competentes, se elaboran los detalles y especificaciones técnicas del proyecto. Se entregan planos de detalles al constructor y se hace una entrega formal a presupuestadores y programadores de obra. También se hace una entrega formal de todo el proyecto arquitectónico a los clientes y al constructor.
- BIM 4D y BIM 5D: En esta etapa se concilia la programación de obra junto con todos los elementos modelados en 3D, incluyendo el presupuesto 5D, obteniendo así una simulación virtual de la construcción del proyecto VDC, 4D. Se gestionan los recursos económicos. Se aprueban y firman planos, se firma el acta de inicio de obra e inicia la construcción del proyecto.

Durante la construcción del proyecto comienza el acompañamiento por parte de los diferentes diseñadores. Se resuelven detalles constructivos. Continúa la coordinación técnica. Se hace una supervisión arquitectónica, controles presupuestales y controles a la programación de obra. Comités técnicos, gerenciales, financieros. Finalmente se entrega la obra. Luego de entregada la obra, se atiende cualquier tipo de posventa o garantía necesaria, se actualiza el modelo según haya quedado la construcción (planos récord o as built) y se entregan planos finales junto con los modelos respectivos. Se liquida el proyecto. Se hace el cierre final.

4.14. Listado de chequeo de arquitectura

Para un correcto funcionamiento del flujo de trabajo presentado anteriormente, se diseñó un listado de chequeo de actividades y procesos que el área de arquitectura debe ejecutar y tener en cuenta para un correcto desarrollo del diseño y una buena gestión del proyecto a entregar al área de construcción. Con las actividades listadas

a continuación, al área de construcción se le facilita considerablemente la edificación de los proyectos, al contar con información al día, coordinada, completa y revisada

Ilustración 129 Lista de chequeo de arquitectura

ETAPA	ITEM	APLICA? (SI/NO)	COMENTARIO	HERRAMIENTA	ENCARGADO	CHECK	
PRELIMINARES	Abrir carpeta del proyecto, con plantilla, en la nube (google drive)			Google Drive	Arq. Encargado		
	Abrir carpeta física. Nomenclar. Guardar en archivador			Archivador	Arq. Encargado		
	Reunión inicial con cliente. Socialización, conocer necesidades			Empresa	Cliente		
	Elaborar programa de necesidades del cliente, según reunión			Presentación	Coordinador proy.		
	Definir producto y concepto del proyecto			Presentación	Taller Arq.		
	Estudio de referentes			Presentación	Taller Arq.		
	Visitar el lote			Empresa	Coordinador proy.		
	Levantamiento topográfico				Topografía		
	Estudio Reglamento de propiedad horizontal (RPH)				Cliente		
	Estudio de suelos				Geotecnista		
	Averiguar normativa, curaduría o ente competente, completa		Altura, Densidad, Ocupación, Retiros, Usos, Parquaderos, Vías, Otros		Entidades públicas, visita	Arq. Encargado	
	Diseño de cabida				Revit	Taller Arq.	
Cuadro área básico				Excel	Arq. Encargado		
Prefactibilidad				Excel	Coordinador proy.		
					-		
IDEA BÁSICA - A MANO	Abrir carpeta de dibujos física. Nomenclar. Guardar en archivador			Archivador	Arq. Encargado		
	Lluvia de ideas, en mesa de taller			Mano	Taller Arq.		
	Estudio de referentes, armar presentación			Presentación	Arq. Encargado		
	Bocetos e ideas a mano			Mano	Taller Arq.		
	Planimetría básica			Mano	Arq. Encargado		
	Volumen básico			Mano	Arq. Encargado		
	Materialidad y estilo			Presentación	Taller Arq.		
Presentación de idea básica a mano			Presentación	Coordinador proy.			
IDEA BÁSICA - DIGITAL	Abrir plantilla Rvt OA+M			BIM 3D	Arq. Encargado		
	Importar y modelar terreno			BIM 3D	Arq. Encargado		
	Emplazamiento del proyecto			BIM 3D	Arq. Encargado		
	Estudiar Materialidad			Presentación	Taller Arq.		
	Mobiliario básico			BIM 3D	Coordinador proy.		
	Ubicación Mobiliario arquitectónico			BIM 3D	Coordinador proy.		
	Bocetos			Presentación	Taller Arq.		
	Elaboración de planimetría básica			BIM 3D	Arq. Encargado		
	Cuadro de áreas			BIM 3D	Coordinador proy.		
	Prefactibilidad			Excel	Coordinador proy.		
	Ventanas y puertas básicas			BIM 3D	Arq. Encargado		
	Presentación de idea básica digital		Concepto, esquemas, bocetos, referentes, planta digital	Presentación	Arq. Encargado		
PRE - ANTEPROYECTO	Definir espacios según programa			BIM 3D	Coordinador proy.		
	Definir muros			BIM 3D	Arq. Encargado		
	Definir bordes de losa			BIM 3D	Arq. Encargado		
	Predimensionamiento estructural			BIM 3D	Ing. Claculista		
	Estudio de Suelos, entrega a estructural				-		
	Enumerar modificaciones a realizar			Excel	Coordinador proy.		
	Definir distribución espacial			BIM 3D	Coordinador proy.		
	Definir niveles de obra			BIM 3D	Coordinador proy.		
	Enviar información al diseñador estructural		Niveles generales	BIM 3D	Arq. Encargado		
			Niveles de losa para decks	BIM 3D	Arq. Encargado		
			Jardineras internas	BIM 3D	Arq. Encargado		
	Enviar información a los diseñadores técnicos MEP			BIM 3D	Arq. Encargado		
	Definir altura de techos			BIM 3D	Coordinador proy.		
	Definir altura de cielos			BIM 3D	Coordinador proy.		
	Definir ejes estructurales			BIM 3D	Coordinador proy.		
	Modelar losas con sistema estructural			BIM 3D	Arq. Encargado		
	Modelar Columnas con pre dimensionamiento básico			BIM 3D	Arq. Encargado		
	Modelar vigas con presimensionamiento básico			BIM 3D	Arq. Encargado		
	Modelar muros con grosor y material real			BIM 3D	Arq. Encargado		
	Modelar pisos con grosor y acabado			BIM 3D	Arq. Encargado		
	Corregir y proponer puertas y ventanas			BIM 3D	Arq. Encargado		
	Modelar Techos - Cubiertas			BIM 3D	Arq. Encargado		
	Modelar cielo falso			BIM 3D	Arq. Encargado		
	Definir dimensiones para cortineros - Dilataciones para ventanería			BIM 3D	Arq. Encargado		
	Definir distribución para muebles fijos			BIM 3D	Arq. Encargado		
	Definir distribución para mobiliario general			BIM 3D	Arq. Encargado		
	Definir idea básica de iluminación			BIM 3D	Coordinador proy.		
Renders básicos			BIM 3D	Arq. Encargado			

ANTE PROYECTO	Coordinación técnica, comité inicial, socialización		BIM 3D	Comité
	Revisión de modelo estructural BIM	Niveles, Ejes estructura vs Ejes	BIM 3D	Ing. Claculista
		Arq., Altura vigas, Cimentaciones,	BIM 3D	Ing. Claculista
		Losas de contrapiso, Fundaciones.	BIM 3D	Ing. Claculista
	Revisión de modelos MEP		BIM 3D	Técnicos
	Coordinación técnica, comités, análisis de interferencias y colisiones		BIM 3D	Comité
	Corregir muros según estructura final		BIM 3D	Arq. Encargado
	Eliminar elementos estructurales previos		BIM 3D	Arq. Encargado
	Dimensiones de puertas según estructura final		BIM 3D	Arq. Encargado
	Dimensiones de ventanería y puertas vidrieras según estructura final		BIM 3D	Arq. Encargado
	Adecuar cubierta		BIM 3D	Arq. Encargado
	Adecuar cielo falso y cortineros		BIM 3D	Arq. Encargado
	Pisos acabados		BIM 3D	Arq. Encargado
	Planos con especificaciones de todos los acabados	Materiales, especificaciones técnicas, espesores.	BIM 3D	Arq. Encargado
	Plano de iluminación interior		BIM 3D	Arq. Encargado
	Mobiliario arquitectónico		BIM 3D	Arq. Encargado
	Cuadro de puertas y ventanas		BIM 3D	Arq. Encargado
	Coordinación técnica de diseños MEP y estructural. BIM		BIM 3D	Comité
	Planimetría y especificaciones de:	Detalles Vestier	BIM 3D	Arq. Encargado
		Carpintería arquitectónica	BIM 3D	Arq. Encargado
		Iluminación	BIM 3D	Arq. Encargado
		Paisajismo	BIM 3D	Arq. Encargado
		Mampostería	BIM 3D	Arq. Encargado
		Especificación materiales de acabado	BIM 3D	Arq. Encargado
		Jacuzzi - Piscina	BIM 3D	Arq. Encargado
		Detalles constructivos generales	BIM 3D	Arq. Encargado
		Pasamanos	BIM 3D	Arq. Encargado
		Escaleras	BIM 3D	Arq. Encargado
		Modulación enchapes	BIM 3D	Coordinador proy.
		Planta - cortes - fachada	BIM 3D	Arq. Encargado
	Cocina	Especificación de iluminación	BIM 3D	Coordinador proy.
		Especificación de acabados	BIM 3D	Coordinador proy.
		Ubicación de aparatos eléctricos	BIM 3D	Coordinador proy.
		Ubicación de rejillas (desague - ventilación)	BIM 3D	Coordinador proy.
	Detalles baños	Especificación de grifería	BIM 3D	Coordinador proy.
		Modulación enchapes	BIM 3D	Coordinador proy.
		Especificación cabina	BIM 3D	Coordinador proy.
		Ubicación de rejillas (desague - ventilación)	BIM 3D	Coordinador proy.
		Especificación de ducha	BIM 3D	Coordinador proy.
		Especificación mezclador	BIM 3D	Coordinador proy.
		Especificación lavamanos	BIM 3D	Coordinador proy.
		Especificación grifería	BIM 3D	Coordinador proy.
	Plano puertas y ventanas	Especificación sanitario	BIM 3D	Coordinador proy.
		Acabado	BIM 3D	Coordinador proy.
		Tipo de Vidrio	BIM 3D	Coordinador proy.
Elaborar plano detallado de mampostería	Manijas	BIM 3D	Coordinador proy.	
	Sistema de apertura	BIM 3D	Coordinador proy.	
	Puertas y Ventanas	BIM 3D	Arq. Encargado	
	Electricidad	BIM 3D	Arq. Encargado	
	Hidraulicos	BIM 3D	Arq. Encargado	
	Gas	BIM 3D	Arq. Encargado	
	Redes en general	BIM 3D	Arq. Encargado	
Imprimir y enviar planimetría para curaduría	Domotica	BIM 3D	Arq. Encargado	
	Plantas generales	BIM 3D	Arq. Encargado	
	Planta de cubiertas	BIM 3D	Arq. Encargado	
	Fachadas	BIM 3D	Arq. Encargado	
	Secciones	BIM 3D	Arq. Encargado	
	Renders nivel medio	BIM 3D	Arq. Encargado	
	Cuadro de areas	BIM 3D	Arq. Encargado	
	Sección vial	BIM 3D	Arq. Encargado	
	Ubicación	BIM 3D	Arq. Encargado	
	Enviar información # 02 a presupuestador, con cantidades extractadas del 3D BIM	Plantilla excel	BIM 3D	Coordinador proy.
Detección de colisiones	Navisworks Manage	BIM 4D	Coordinador proy.	
Coordinación técnica de diseños MEP y estructural. BIM	Navisworks Manage	BIM 4D	Coordinador proy.	
			-	

PROYECTO	Inicio de modelo 4D, sincronizado con los modelos BIM 3D.	Navisworks Manage	BIM 4D	Coordinador proy.
	Revisar y confirmar modelo estructural		BIM 4D	Coordinador proy.
	Revisar y confirmar modelos MEP		BIM 4D	Coordinador proy.
	Coordinación técnica, con corrección interferencias y colisiones, llevadas a cero	Navisworks Manage	BIM 4D	Coordinador proy.
	Elaborar plano para marcación de terreno en obra		BIM 3D	Arq. Encargado
	Marcar emplazamiento en terreno u obra		BIM 3D	Arq. Encargado
	Elaborar plano detallado de mampostería		BIM 3D	Arq. Encargado
	Elaborar secciones de mampostería		BIM 3D	Arq. Encargado
	Rendens finales		BIM 3D	Arq. Encargado
	Revisión y aprobación presupuesto		BIM 3D	Construcción
	Revisión y aprobación de programación		BIM 3D	Construcción
	Entrega final de flujo de caja		BIM 3D	Construcción
	Entregar paquete final de planimetría para construcción.		BIM 3D	Arq. Encargado
	Entregar modelo 3D final para construcción		BIM 3D	Arq. Encargado
	Entregar modelo 4D final para supervisión de construcción		BIM 4D	Coordinador proy.
			-	
			-	
EN CONSTRUCCIÓN	Dirección y supervisión arquitectónica		BIM 3D	Coordinador proy.
	Elaborar detalles de obra según programación semanal LEAN		BIM 3D	Arq. Encargado
	Actualizar modelo 3D según cambios solicitados de obra		BIM 3D	Arq. Encargado
	Actualizar modelo 4D según cambios solicitados de obra		BIM 3D	Coordinador proy.
	Acompañamiento en comités de obra		BIM 3D	Coordinador proy.
	Registro fotográfico para avance de obra		BIM 4D	Coordinador proy.
	Registro fotográfico para banco de imágenes		BIM 3D	Arq. Encargado
				-
POST CONSTRUCCIÓN	Planos As Built (planos récord), entrega de modelo BIM coordinado		BIM 3D	Arq. Encargado
	Estudio fotográfico profesional	Contratar con empresa profesional	Fotógrafo	
	Cierre de proyecto	Acta de entrega de documentos arquitectónicos, planos, modelos BIM	PORTAFOLIO	Coordinador proy.
	Comentarios:			

Fuente: Elaboración Propia

4.15. Formato de control de los modelos BIM

Se desarrolló también un formato de control a los modelos BIM desarrollados por el área de arquitectura, para que los modelos puedan ser entregados la persona a cargo de la coordinación técnica del proyecto.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

Se debe crear un área nueva que se llamará Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+I). Para ello se debe destinar y aprobar un rubro anual para invertir en proyectos, iniciativas, capacitaciones, tecnologías, estudios, investigaciones o estrategias que ayuden al mejoramiento continuo e innovación de la empresa y de su personal de trabajo. Con estas inversiones y este nuevo departamento se espera que en futuro la empresa pueda retroalimentarse y capacitarse para enfrentar de manera más asertiva el mercado local.

Debe destinarse un profesional capacitado en el tema BIM para que se encargue de supervisar el modelado dentro de la empresa, y de liderar las coordinaciones técnicas con el resto de los profesionales. En otras palabras, se debe abrir una dependencia BIM e incrementar el presupuesto en inversión para la compra de software y tecnología de vanguardia para una mejor implementación de la metodología.

Durante la elaboración de este tipo de modelado se pudo validar (antes de comenzar la construcción) la veracidad de la programación de obra suministrada vs las condiciones y limitaciones a las cuales se enfrentaría el proyecto en realidad. En este análisis se pudo previsualizar que ciertas actividades como los transportes, la logística, a lógica constructiva, las limitantes de acceso, los rendimientos y el almacenamiento interno, afectaban (de manera positiva o negativa) los tiempos preestablecidos en la programación de obra. Con este tipo de simulación fue posible estimar un tiempo de ejecución de obra más certero, de acuerdo a las necesidades particulares del proyecto.

Bajo la metodología BIM, fue posible entregar tanto al presupuestador como al programador de obra, un listado con información de todas las partes diseñadas y modeladas del proyecto, para que fueran tenidas en cuenta durante la elaboración de sus diseños técnicos. Además, después de un buen tiempo de capacitación,

podieron acceder al modelo 3D, extraer información adicional y visualizar de una mejor manera el proyecto en el que estaban trabajando. Bajo este esquema de trabajo es posible obtener presupuestos y programaciones de obra muchos más acertados a la realidad del proyecto.

La metodología utilizada en proyectos anteriores de la empresa, implicaba estar actualizando constantemente el modelo, guardando nuevas versiones y enviando planimetría a los diferentes diseñadores técnicos, que con el pasar del tiempo, se quedaban con alguna versión antigua del proyecto, y no se enteraban de los ajustes y actualizaciones. Era de carácter obligatorio mantener comunicación constante y proactiva para informar cambios y modificaciones, incurriendo en sobretiempos y reprocesos. Con la implementación de metodología BIM la comunicación sigue siendo vital, pero al tener un modelo colaborativo, todos los profesionales involucrados tendrán siempre la última versión del modelo y la planimetría. Incluso pueden solicitar al software que le muestre únicamente las modificaciones hechas al modelo, para enterarse y actualizarse con facilidad.

El hecho de que varias personas puedan trabajar simultáneamente en el mismo modelo disminuye el tiempo que tarda la elaboración de los diseños, y aumenta el rigor técnico de la información y el nivel de detalle, al ser más personas las que supervisan y se retroalimentan entre sí. Para lograr este esquema de trabajo fue necesario para la empresa hacer inversiones en capacitación de personal y equipos tecnológicos, como también implementar nuevos formatos para una correcta supervisión y ejecución del modelado BIM.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

Si el área de diseño de la empresa no incursiona en esta metodología BIM, cada vez será menos competitiva y apetecida en el mercado, puesto que empresas locales de tamaño similar ya han decidido comenzar a incursionar con BIM. Consecuentemente, su crecimiento se verá afectado, al igual que alcanzar sus metas y su visión de ser reconocida en el mercado nacional

Sería conveniente que los programas académicos de pregrado en arquitectura a nivel nacional, implementaran la enseñanza de la metodología BIM y su aplicación en proyectos de grado. De igual manera, se debería ampliar la oferta de programas de posgrado y certificación BIM. La ampliación de la oferta académica en BIM, formaría profesionales con mejor perfil para laborar en empresas locales o internacionales.

Una limitante de la apropiación de la metodología BIM son los altos costos del software. Consecuente se requieren estrategias o subsidios para que dichas tecnologías e inversiones en equipos sean más asequibles para las pequeñas empresas del diseño y la construcción.

Para que el BIM a nivel nacional tenga una mayor acogida y aceptación, es necesario que los entes gubernamentales y rectores de la arquitectura reglamenten dicha metodología, y luego se estandarice y aplique en el sector de la construcción. Si se ofrecieran beneficios a las empresas que a la fecha utilicen la metodología BIM, la implementación a nivel nacional tendría mayor acogida, aceptación y renombre.

BIBLIOGRAFÍA

- Academia de Ciencias de Cuba, C. E. (1977). *Manual de normas editoriales para las publicaciones seriadas de la Academia de Ciencias de Cuba*. La Habana: Dirección de Publicaciones.
- Aguilar, G. (2015). *Modelado 4D y monitoreo de productividad IP en proyectos de construcción*. <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/8169>.
- Amado Soriano, S. (2019). *Diseño de una impresora 3D para la construcción de viviendas*. BARCELONA: ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA INDUSTRIAL DE BARCELONA GRADO DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES.
- BARBOSA CHACON . et al, J. W. (2013.). *Revisión y análisis documental para estado del arte: una propuesta metodológica desde el contexto de la sistematización de experiencias educativas*. Investig. bib vol.27, n.61, pp.83-105. ISSN 2448-8321.
- BARRAGAN et al, S. A. (2003). *Guía para la formulación y ejecución de Proyectos de Investigación. 3era Edición*. P. BOLIVIA:: IEB..
- blog.structuralia.com. (16 de noviembre de 2016). <https://blog.structuralia.com/la-revolucion-de-la-impresion-3d-llega-a-la-construccion>. (/blog.structuralia.com)
Recuperado el 11 de marzo de 2022, de <https://blog.structuralia.com/la-revolucion-de-la-impresion-3d-llega-a-la-construccion>.
- blog.ultracasas.com. (21 de marzo de 2022). <https://blog.ultracasas.com/>. Obtenido de <https://blog.ultracasas.com: https://blog.ultracasas.com/construir-una-casa-con-una-impresora-3d-ya-se-hizo-un-pueblo-entero/>
- Bryman A. (1995). *Quantity and Quality in Social Research*. London,: Routledge.
- Contrada Rosole. (2018). *The Business Value of BIM for Owners Managing Editor*,. Italy: ACCA software S.p.A.

- D'paola Puche, H. E. (2014). *Nuevas tecnologías en la enseñanza de la ingeniería civil: BIM y realidad virtual*. . Repositorio Institucional Universidad EAFIT. Retrieved from <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/2855>.
- DGVU, D. G. (2015). “*Guía Boliviana de Construcción de Edificaciones*”. La Paz: ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA, Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Vivienda.
- erbol.com.bo. (25 de marzo de 2022). <https://erbol.com.bo>. Obtenido de <https://erbol.com.bo>: <https://erbol.com.bo/econom%C3%ADa/doria-medina-inaugura-el-green-tower-el-edificio-m%C3%A1s-alto-de-bolivia>
- ERNSTROM, B., HANSON, D., & HILL, D. (s.f.). *The contractors' guide to BIM. First edition*. The associated general contractors of america, 2011. 41p.
- Eyzaguirre Vela, R. R. (2015). *POTENCIANDO LA CAPACIDAD DE ANÁLISIS Y COMUNICACIÓN DE LOS PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN, MEDIANTE HERRAMIENTAS VIRTUALES BIM 4D DURANTE LA ETAPA DE PLANIFICACIÓN*. Lima: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ en <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6414>.
- Fosse, R., Ballard, G., & Fischer, M. (2017). *Virtual Design and Construction: Aligning BIM and Lean in Practice*. 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, (July), 499–506. <https://doi.org/10.24928/2017/0159>.
- Grosser, A. (1973). *Explicar la política*.
- Guastini, R. (1998). *La interpretación jurídica en la obra*.
- Hernandez Sampieri, F. C. (2010). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION*. . MEXICO:.
- IRPINO, B., & Contrada, R. (2018). Las dimensiones del BIM. *ACCA software S.p.A.*, 1-6.
- Kim, C., Son, H., & Kim, C. . (2013). *Automation in Construction Automated construction progress measurement using a 4D building information model and 3D data*.

Automation in Construction, 31, 75–82.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.11.041>.

laventanabolivia.com. (15 de marzo de 2022). *www.laventanabolivia.com*. Obtenido de *www.laventanabolivia.com*:

https://l.facebook.com/l.php?u=http%3A%2F%2Fwww.laventanabolivia.com%2F%3Ffbclid%3DIwAR0uA96RsvDxU_jSGB6ZHcYNgEUmykuW7Su5MJ7CkFUJH8bPPzB_Sv3Xrrg&h=AT2AL0_7HWK9-oug3LeV4rvrT943nqQdMx_cF4i69mdTqdVijCMo_8jDafCupTmtRpO1kZ9rqsVsBESvjgJ26orxiPyVPEw8vV0harDXXdq6

Lopera, E. J. (2010). *EL MÉTODO ANALÍTICO COMO MÉTODO NATURAL*. Colombia: Universidad de Antioquia.

López, L. I. (2017). *Inclusión de BIM para empresas medianas de arquitectura en la etapa*.

Maia, L., Mêda, P., & Freitas, J. G. (2015). *BIM Methodology, a New Approach - Case Study of Structural Elements Creation*. In *Procedia Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.032>.

Márquez Pozas, Á. (2021). *IMPRESIÓN DE LA ARQUITECTURA EN 3D*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid Universidad Politécnica de Madrid.

MARTÍNEZ OSPINA, N. (2019). *IMPLEMENTACIÓN DE BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) EN PROYECTOS DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO*. Medellín, Colombia: Universidad EAFIT .

Marzouk, M., & Hisham, M. (2014). *Implementing earned value management using bridge information modeling*. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18(5), 1302–1313. <https://doi.org/10.1007/s12205-014-0455-9>.

Mixing, B. J. (1992.). *Methods: qualitative and quantitative research*. Aldershot: Ashgate.

- Murcio Juárez, M. C. (2013). *"Análisis y diseño estructural utilizando modelo bim"*. (Tesis de Licenciatura). México: Universidad Nacional Autónoma de México, . Recuperado de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/154926>.
- nissan.com.bo. (12 de marzo de 2022). <https://www.nissan.com.bo>. Obtenido de <https://www.nissan.com.bo>: <https://www.nissan.com.bo/experiencia-nissan/novedades/disenio/impresion-3D.html>
- Oscanoa Hidalgo, W. ... (2015). *"Uso De La Tecnología BIM Para La Gestión Y Desarrollo De Proyecto: Centro Cultural De La Universidad Nacional Del Centro Del Perú"*. Huancayo Peru: Universidad Central del Peru.
- Ponce de León, L. (1996). *La Metodología de la investigación Científica del Derecho*. México: Editorial Porrúa.
- Porras Díaz, e. a. (2015). *Tecnologías "Building Information Modeling" en la elaboración de presupuestos de construcción de estructuras en concreto reforzado*. *Entramado*, 11(1), 230–249. <https://doi.org/10.18041/entramado.2015v11n1.21116>.
- Ramirez, C. A. (1991). El método científico en el psicoanálisis. *Revista Universidad de Antioquia*, 35-41.
- Roselló Cruz, D. (2022). *ESTUDIO DE LAS APLICACIONES DE LA IMPRESIÓN 3D EN EL ÁMBITO DE LA CONSTRUCCIÓN*. CATALUYA: Escuela superior de Ingeniería Industrial de la universidad de Catluya.
- Rosole, C., & IRPINO, B. (2018). Las dimensiones del BIM: 3D, 4D, 5D, 6D, 7D, 8D, 9D, 10D. *ACCA software S.p.A.*, 1-6.
- Salazar, M. (2017). *Impacto económico del uso de BIM en el desarrollo de proyectos constructivos: estudio de caso en Manizales*. *Revista Espacios*, 39(07), 24–37. Retrieved from <http://www.revistaespacios.com/a18v39n07/a18v39n07p24.pdf>.

SALDIAS SILVA, R. O. (2010). *ESTIMACIÓN DE LOS BENEFICIOS DE REALIZAR UNA COORDINACIÓN DIGITAL DE PROYECTOS CON TECNOLOGÍAS BIM.*

Santiago: UNIVERSIDAD DE CHILE en
https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103904/cf-saldias_rs.pdf?sequence=3&isAllowed=y.

Sanz, M. J. (2017). *BIM en el mundo. Implantación de la nueva metodología en el sector de la arquitectura.* <https://www.arquitecturayempresa.es/noticia/bim-en-el-mundo-implantacion-de-la-nueva-metodologia-en-el-sector-de-la-arquitectura>.

Stan Alan. (1980). *Lógica formal y simbólica.* México.

Tamames, J. F., & Mieza, I. Z. (2018). *Grado de implantación del BIM (Building Information Modeling).* EAE Business School, Serie: Pro.

ANEXOS

Anexo B: Encuesta

ENCUESTA

Institución a la que perteneces

1. ¿Considera Usted que Diseñar un proyecto arquitectónico y modelado en 3D, bajo la metodología BIM y la utilización del software Revit Architecture, es de gran utilidad para el presupuestador por la mayor precisión?

Definitivamente si	
La mayoría de las veces	
Algunas veces si, otras no	
No en la mayoría de los casos	

2. ¿Considera usted que para la modelación 3D en Revit Architecture las colisiones e interferencias deben ser socializadas y solucionadas con cada uno de los profesionales, mediante una coordinación técnica?

Definitivamente si	
La mayoría de las veces	
Algunas veces si, otras no	
No en la mayoría de los casos	

3. ¿Considera usted que para garantizar su constructabilidad, el modelo 3D debe tener colisiones para desarrollarse un modelo 4D en el software Navisworks?

Definitivamente si	<input type="checkbox"/>
La mayoría de las veces	<input type="checkbox"/>
Algunas veces si, otras no	<input type="checkbox"/>
No en la mayoría de los casos	<input type="checkbox"/>

4. ¿Considera usted que las cantidades de obra para la elaboración del presupuesto serán extractadas en el modelo 3D?

Definitivamente si	<input type="checkbox"/>
La mayoría de las veces	<input type="checkbox"/>
Algunas veces si, otras no	<input type="checkbox"/>
No en la mayoría de los casos	<input type="checkbox"/>
Definitivamente No	<input type="checkbox"/>

Anexo C: Tabulación de la encuesta CADECO

Tabla de frecuencia CADECO

1. ¿Considera Usted que Diseñar un proyecto arquitectónico y modelado en 3D, bajo la metodología BIM y la utilización del software Revit Architecture, es de gran utilidad para el presupuestador por la mayor precisión?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Definitivamente si	5	10,4	10,4	10,4
	La mayoría de las veces	31	64,6	64,6	75
	Algunas veces si, otras no	9	18,8	18,8	93,8
	No en la mayoría de los casos	3	6,3	6,3	100
	Total	48	100	100	

2. ¿Considera usted que para la modelación 3D en Revit Architecture las colisiones e interferencias deben ser socializadas y solucionadas con cada uno de los profesionales, mediante una coordinación técnica?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Definitivamente si	13	27,1	27,1	27,1
	La mayoría de las veces	22	45,8	45,8	72,9
	Algunas veces si, otras no	8	16,7	16,7	89,6
	No en la mayoría de los casos	5	10,4	10,4	100
	Total	48	100	100	

3. ¿Considera usted que para garantizar su constructabilidad, el modelo 3D debe tener colisiones para desarrollarse un modelo 4D en el software Navisworks?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Definitivamente si	5	10,4	10,4	10,4
	La mayoría de las veces	34	70,8	70,8	81,3
	Algunas veces si, otras no	6	12,5	12,5	93,8
	No en la mayoría de los casos	3	6,3	6,3	100
	Total	48	100	100	

4. ¿Considera usted que las cantidades de obra para la elaboración del presupuesto serán extractadas en el modelo 3D?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Definitivamente si	11	22,9	22,9	22,9
	La mayoría de las veces	18	37,5	37,5	60,4
	Algunas veces si, otras no	10	20,8	20,8	81,3
	No en la mayoría de los casos	7	14,6	14,6	95,8
	Definitivamente No	2	4,2	4,2	100
	Total	48	100	100	

Anexo D: Tabulación de la encuesta UPEA

Tabla de frecuencia UPEA

1. ¿Considera Usted que Diseñar un proyecto arquitectónico y modelado en 3D, bajo la metodología BIM y la utilización del software Revit Architecture, es de gran utilidad para el presupuestador por la mayor precisión?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Definitivamente si	36	43,90	43,90	43,9
	La mayoría de las veces	35	42,68	42,68	45
	Algunas veces si, otras no	9	10,98	10,98	94
	No en la mayoría de los casos	2	2,44	2,44	100
	Total	82	100	100,00	

2. ¿Considera usted que para la modelación 3D en Revit Architecture las colisiones e interferencias deben ser socializadas y solucionadas con cada uno de los profesionales, mediante una coordinación técnica?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Definitivamente si	38	46,34	46,34	46,34
	La mayoría de las veces	29	35,37	35,37	36
	Algunas veces si, otras no	14	17,07	17,07	89,6
	No en la mayoría de los casos	1	1,22	1,22	100
	Total	82	100	100,00	

3. ¿Considera usted que para garantizar su constructabilidad, el modelo 3D debe tener colisiones para desarrollarse un modelo 4D en el software Navisworks?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Definitivamente si	17	20,73	20,73	20,73
	la mayoría de las veces	17	20,73	20,73	30
	algunas veces si, otras no	35	42,68	42,68	92,1
	No en la mayoría de los casos	13	15,85	15,85	100
	Total	82	100	100,00	

4. ¿Considera usted que las cantidades de obra para la elaboración del presupuesto serán extractadas en el modelo 3D?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Definitivamente si	31	37,80	37,80	37,8
	La mayoría de las veces	26	31,71	31,71	34
	Algunas veces si, otras no	17	20,73	20,73	25
	No en la mayoría de los casos	6	7,32	7,32	78,5
	Definitivamente No	2	2,44	2,44	100
	Total	82	100,00	100,00	

Anexo E: Listado de empresas Constructoras en La Paz

Tabla 20 Empresas CADECO La Paz

EMPRESA	AÑO	TIPO DE EMPRESA
3M	2014	EMPRESA AFIN
A.A.A. S.R.L.	2004	EMPRESA CONSTRUCTORA
AEBOL S.R.L.	2021	EMPRESA CONSTRUCTORA
ALTO LTDA.	1976	EMPRESA CONSTRUCTORA
ALVROSS S.R.L.	2004	EMPRESA CONSTRUCTORA
ALZA INGENIEROS S.R.L	2020	EMPRESA CONSTRUCTORA
ARDECONS S.R.L.	2021	EMPRESA CONSTRUCTORA
ARES	2019	EMPRESA CONSTRUCTORA
ARMAQ LTDA.	2002	EMPRESA AFIN
ARMEN S.R.L.	2014	EMPRESA CONSTRUCTORA
ASIC SRL.	1999	EMPRESA CONSTRUCTORA
ATLAS	1995	EMPRESA CONSTRUCTORA
BALA S.R.L.	2015	EMPRESA CONSTRUCTORA
BASALCAM S.R.L.	2016	EMPRESA CONSTRUCTORA
BAUART S.R.L.	2016	EMPRESA CONSTRUCTORA
BAYE OF CHINA SUCURSAL BOLIVIA	2016	EMPRESA EXTRANJERA
BEGONIA S.R.L.	2014	EMPRESA CONSTRUCTORA
BELMONTE INGENIEROS S.R.L.	2013	EMPRESA CONSTRUCTORA
BISONTE S.R.L.	2017	EMPRESA CONSTRUCTORA
C & C MULTIACTIVA	2000	EMPRESA CONSTRUCTORA
C.C.I. LTDA.	1977	EMPRESA CONSTRUCTORA
CAABOL S.R.L.	2001	EMPRESA CONSTRUCTORA
CAPISTRANO INGENIERIA S.R.L.	2018	EMPRESA CONSTRUCTORA

EMPRESA	AÑO	TIPO DE EMPRESA
CBI CONTRATISTAS GENERALES S.A.	2016	EMPRESA CONSTRUCTORA
CBI S.R.L.	1966	EMPRESA CONSTRUCTORA
CCB	2013	EMPRESA CONSTRUCTORA
CCCC-SECOND HIGHWAY ENGINEERING CO. LTD. (SUCURSAL BOLIVIA)	2016	EMPRESA EXTRANJERA
CHINA HARBOUR ENGINEERING COMPANY LTD. (SUCURSAL BOLIVIA)	2016	EMPRESA EXTRANJERA
CHURRUARRIN	1990	EMPRESA CONSTRUCTORA
CIDAL LTDA.	1981	EMPRESA CONSTRUCTORA
CINAL LTDA.	1975	EMPRESA CONSTRUCTORA
CIVITAS S.R.L.	2013	EMPRESA CONSTRUCTORA
COBAL S.R.L.	2017	EMPRESA CONSTRUCTORA
COCIV LTDA.	1987	EMPRESA CONSTRUCTORA
CODECI S.R.L.	2018	EMPRESA CONSTRUCTORA
COINPA S.R.L.	2016	EMPRESA CONSTRUCTORA
COLINA S.R.L.	2014	EMPRESA CONSTRUCTORA
CONHEVI S.R.L.	2019	EMPRESA CONSTRUCTORA
CONSPAR S.R.L.	2016	EMPRESA CONSTRUCTORA
CONSTEC S.R.L.	1986	EMPRESA CONSTRUCTORA
CONSTRUCTECBOL	2021	EMPRESA CONSTRUCTORA
CONSTRUCTORA VARGAS CONVAR S.A.	1996	EMPRESA CONSTRUCTORA
CONSTRUCTORA CONVLAS	2021	EMPRESA CONSTRUCTORA
CONSTRUCTORA INCOMAQ S.R.L.	2019	EMPRESA CONSTRUCTORA
CONSTRUCTORA SANTA FE LTDA. SUCURSAL BOLIVIA	2010	EMPRESA EXTRANJERA
CONSTRUCTORA TRINIDAD VALDEZ S.R.L.	2017	EMPRESA CONSTRUCTORA

EMPRESA	AÑO	TIPO DE EMPRESA
CONSTRUCTORA Y CONSULTORA ALCO	2016	EMPRESA CONSTRUCTORA
CONSTRUKTURAL S.R.L.	2016	EMPRESA CONSTRUCTORA
CONSVAL LTDA.	1981	EMPRESA CONSTRUCTORA
CONTINENTAL	1989	EMPRESA CONSTRUCTORA
CONVISA S.A.	1977	EMPRESA CONSTRUCTORA
COPESA	1951	EMPRESA CONSTRUCTORA
COREL S.R.L.	2013	EMPRESA CONSTRUCTORA
CORINSA	2003	EMPRESA AFIN
COTER - CONST. TECNICA RIVERO	2008	EMPRESA CONSTRUCTORA
COTIENNE S.A.	2012	EMPRESA CONSTRUCTORA
COVAS	1994	EMPRESA CONSTRUCTORA
CPB	1991	EMPRESA CONSTRUCTORA
CZETA S.R.L.	2002	EMPRESA CONSTRUCTORA
DCB	2014	EMPRESA CONSTRUCTORA
DE FATIMA CONSTRUCCIONES S.R.L.	2018	EMPRESA CONSTRUCTORA
DICA S.R.L.	1990	EMPRESA CONSTRUCTORA
DIOMEC S.R.L.	2012	EMPRESA CONSTRUCTORA
E.C.I.	1996	EMPRESA CONSTRUCTORA
E.I.C. FORTALEZA S.R.L.	2003	EMPRESA CONSTRUCTORA
E.L.P.	2014	EMPRESA CONSTRUCTORA
ECLA LTDA	1972	EMPRESA CONSTRUCTORA
ECM	2014	EMPRESA CONSTRUCTORA
ECSI SRL.	2021	EMPRESA CONSTRUCTORA
ECTOR LTDA.	1991	EMPRESA CONSTRUCTORA
ECY S.R.L.	2002	EMPRESA CONSTRUCTORA

EMPRESA	AÑO	TIPO DE EMPRESA
EDWIN JAVIER INGENIEROS S.R.L.	2018	EMPRESA CONSTRUCTORA
EMCOES S.R.L.	2010	EMPRESA CONSTRUCTORA
EMOVIT SRL.	2003	EMPRESA CONSTRUCTORA
EMPRESA CONSTRUCTORA CATETO S.R.L.	1976	EMPRESA CONSTRUCTORA
EMPRESA CONSTRUCTORA CRM	2016	EMPRESA CONSTRUCTORA
EMPRESA CONSTRUCTORA DE VIAS Y EDIFICACIONES S.R.L.	2018	EMPRESA CONSTRUCTORA
EMPRESA CONSTRUCTORA G.O.C.	2018	EMPRESA CONSTRUCTORA
EMPRESA CONSTRUCTORA MEAN MACHINE	2013	EMPRESA CONSTRUCTORA
EMPRESA CONSTRUCTORA PROGRESIVA S.R.L.	2017	EMPRESA CONSTRUCTORA
EMPRESA CONSTRUCTORA TORREZ	2018	EMPRESA CONSTRUCTORA
EMPRESA CONSULTORA & CONSTRUCTORA ROWICO S.R.L.	2016	EMPRESA CONSTRUCTORA
EMPRESA CONSULTORA - CONSTRUCTORA FROVER S.R.L.	2017	EMPRESA CONSTRUCTORA
EMPRESA CONSULTORA XPERTA S.R.L.	2018	EMPRESA CONSTRUCTORA
EMPRESA DE SERVICIOS & CONSTRUCCION LUFRAV	2018	EMPRESA CONSTRUCTORA
EMPRESA DE SERVICIOS SELCON S.R.L	1997	EMPRESA CONSTRUCTORA
ENACO LTDA.	1962	EMPRESA CONSTRUCTORA
FRANCA	2020	EMPRESA CONSTRUCTORA
FRANCISMAR S.R.L.	2014	EMPRESA CONSTRUCTORA
GAMEZ S.R.L.	1992	EMPRESA CONSTRUCTORA
GISHAY	1974	EMPRESA CONSTRUCTORA
HANSA LTDA.	2006	EMPRESA CONSTRUCTORA
I.A.A. LTDA	1998	EMPRESA CONSTRUCTORA
ICA BOLIVIA	1971	EMPRESA CONSTRUCTORA
ICARO S.R.L.	2003	EMPRESA CONSTRUCTORA

EMPRESA	AÑO	TIPO DE EMPRESA
ICASA LTDA.	2011	EMPRESA CONSTRUCTORA
INGELEC S.A.	1990	EMPRESA CONSTRUCTORA
INTECONS S.R.L.	2002	EMPRESA CONSTRUCTORA
ISP S.R.L.	1998	EMPRESA CONSTRUCTORA
JACENA S.R.L.	2017	EMPRESA CONSTRUCTORA
JIAM S.R.L.	2008	EMPRESA CONSTRUCTORA
JORGE J. MARQUEZ SALEG	2015	EMPRESA CONSTRUCTORA
KLIMAX LTDA.	1991	EMPRESA AFIN
KSTORRES S.R.L	2020	EMPRESA CONSTRUCTORA
L.K.I. S.R.L.	2016	EMPRESA CONSTRUCTORA
LAS LORITAS S.R.L.	2021	EMPRESA CONSTRUCTORA
LOGITRUCK`S SERVICE S.R.L.	2018	EMPRESA CONSTRUCTORA
M.L. CONSULTORIA Y CONSTRUCCION	2010	EMPRESA CONSTRUCTORA
MACROTEC S.R.L.	2020	EMPRESA CONSTRUCTORA
MAGNO WATTS	2002	EMPRESA AFIN
MAPA S.R.L.	1996	EMPRESA CONSTRUCTORA
MAPLAC	1991	EMPRESA CONSTRUCTORA
MONOPOL LTDA.	2011	EMPRESA AFIN
MUNDIAL SRL.	2003	EMPRESA CONSTRUCTORA
NAVLA	1972	EMPRESA CONSTRUCTORA
NIEMEYER S.R.L.	2021	EMPRESA CONSTRUCTORA
OBRAS CIVILES INDUSTRIALES - OCIS	2012	EMPRESA CONSTRUCTORA
OCM TRADING S.R.L.	2018	EMPRESA CONSTRUCTORA
OCTAGONO S.R.L.	2019	EMPRESA CONSTRUCTORA
ORO S.R.L.	2001	EMPRESA CONSTRUCTORA

EMPRESA	AÑO	TIPO DE EMPRESA
ORTHON S.R.L.	2015	EMPRESA CONSTRUCTORA
P Y T BOLIVIA	2013	EMPRESA CONSTRUCTORA
P&O S.R.L.	2019	EMPRESA CONSTRUCTORA
P.C.C. S.R.L.	1987	EMPRESA CONSTRUCTORA
P.H.B. S.R.L.	2017	EMPRESA CONSTRUCTORA
PACIFICO S.A.	2019	EMPRESA CONSTRUCTORA
PATRIAS S.R.L.	2013	EMPRESA CONSTRUCTORA
PERT LTDA.	2002	EMPRESA CONSTRUCTORA
PORTICO LTDA.	1993	EMPRESA CONSTRUCTORA
PROCICON SRL	2013	EMPRESA CONSTRUCTORA
PROVYC INGENIEROS S.R.L.	2021	EMPRESA CONSTRUCTORA
RIVERA & ALIAGA CONSTRUCCIONES LTDA. RIVALCO LTDA.	2019	EMPRESA CONSTRUCTORA
ROQUESANTO CONSTRUCCIONES S.R.L.	2017	EMPRESA CONSTRUCTORA
RYUNOSUQUE INGENIEROS S.R.L.	2018	EMPRESA CONSTRUCTORA
SAGITARIO S.R.L.	1996	EMPRESA CONSTRUCTORA
SALINAS S.R.L.	1985	EMPRESA CONSTRUCTORA
SAN CARLOS	2001	EMPRESA CONSTRUCTORA
SERCO S.R.L.	2016	EMPRESA CONSTRUCTORA
SIDI VIRTUAL S.R.L.	2016	EMPRESA CONSTRUCTORA
SILVIA ARQUITECTURA & CONSTRUCCIONES	2019	EMPRESA CONSTRUCTORA
SINOHYDRO	2014	EMPRESA EXTRANJERA
SOBOCE S.A.	2020	EMPRESA CONSTRUCTORA
SOLIDO S.R.L.	2014	EMPRESA CONSTRUCTORA
STS BOLIVIA LTDA.	2017	EMPRESA CONSTRUCTORA

EMPRESA	AÑO	TIPO DE EMPRESA
TALENT	2014	EMPRESA EXTRANJERA
TAURO S.A.	1977	EMPRESA CONSTRUCTORA
TAUVER S.R.L.	1998	EMPRESA CONSTRUCTORA
TECNOPLAN	1989	EMPRESA CONSTRUCTORA
TECNOPOR S.A.	2002	EMPRESA AFIN
TELEF?RICOS DOPPELMAYR BOLIVIA S.A.	2014	EMPRESA CONSTRUCTORA
TERRAZINNI S.R.L.	2013	EMPRESA CONSTRUCTORA
URIONA	1993	EMPRESA CONSTRUCTORA
URZAGASTE & MU?OZ CONSTRUCCIONES LTDA.	2014	EMPRESA CONSTRUCTORA
VELARDE	1996	EMPRESA CONSTRUCTORA
VICTOR MANUEL BALLADARES	2019	EMPRESA CONSTRUCTORA
VILTE & FLORES ICC S.R.L.	2016	EMPRESA CONSTRUCTORA
VILTE BELLIDO INGENIEROS	2013	EMPRESA CONSTRUCTORA
VIP LTDA.	2011	EMPRESA CONSTRUCTORA
VIVA S.R.L.	2015	EMPRESA CONSTRUCTORA
VIVECCA MARIA NACIF DE PALLAORO	2017	EMPRESA CONSTRUCTORA
VOLCAN S.A.	2015	EMPRESA CONSTRUCTOR

Fuente: En base a www/cadecolp.org/asociados/

Anexo F: Trabajo de campo

Auxiliares de investigación realizando el trabajo de campo mediante las encuestas virtuales a las empresas constructoras de la ciudad de La Paz CADECO.



Fuente: Propia

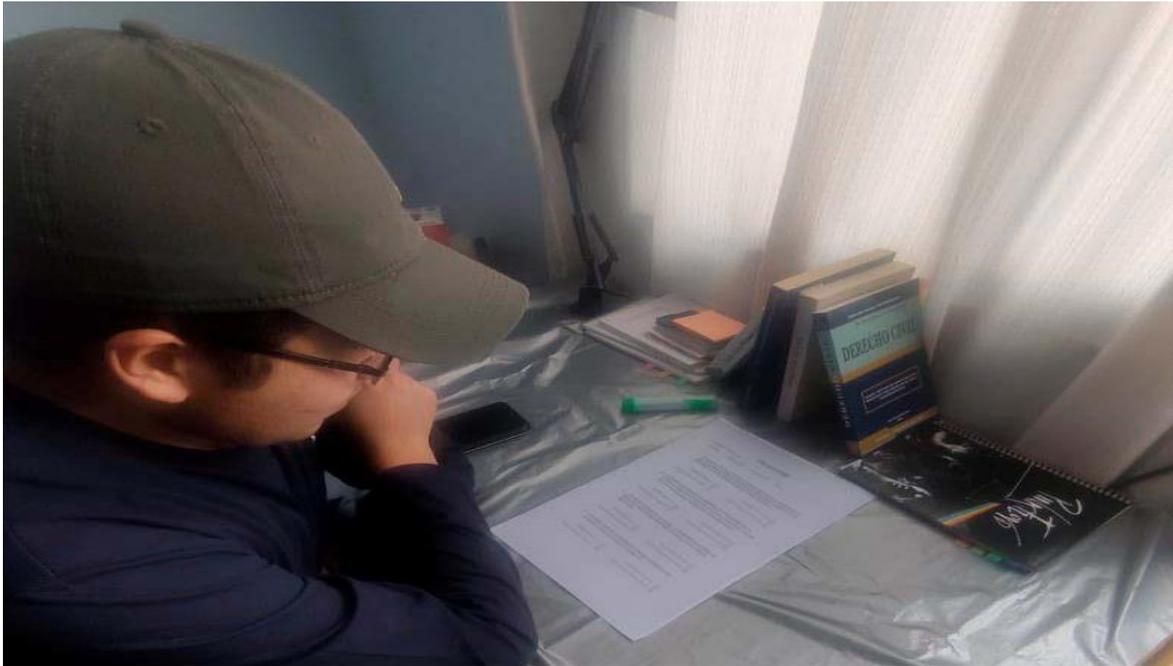
Auxiliares de investigación realizando encuestas presenciales y virtuales a estudiantes de último año de la carrera de arquitectura de la Universidad Pública de El Alto UPEA.



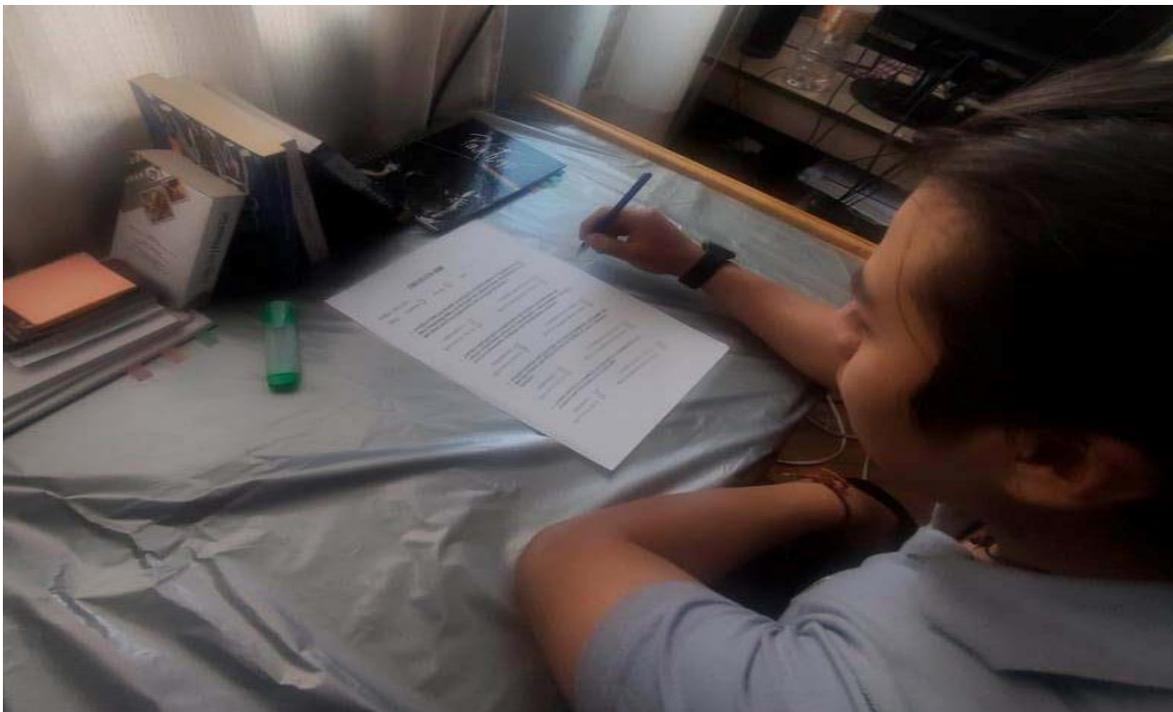
Fuente: Propia



Fuente: Propia



Fuente: Propia



Fuente: Propia



Fuente: Propia