

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA



POSGRADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

UNA METODOLOGÍA DE IMPLEMENTACIÓN DEL
CONCEPTO BIM EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN
DEL ESTADO DE SONORA

T E S I S

PRESENTADA POR
MARIA JULIANA OLIVAS PALMA

Desarrollada para cumplir con uno de los
requerimientos parciales para obtener
el grado de Maestra en Ingeniería

DIRECTOR DE TESIS DR. ALONSO PÉREZ SOLTERO

HERMOSILLO, SONORA.

JUNIO 2013

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

Hermosillo, Sonora a 14 de junio de 2013

MARÍA JULIANA OLIVAS PALMA

Con fundamento en el artículo 60, fracción III, del Reglamento de Estudios de Posgrado vigente, otorgamos a usted nuestra aprobación de la fase escrita del examen profesional, como requisito parcial para la obtención del Grado de Maestra en Ingeniería.

Por tal motivo este jurado extiende su autorización para que se proceda a la impresión final del documento de tesis: **UNA METODOLOGÍA PARA IMPLEMENTACIÓN DEL CONCEPTO BIM EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN DEL ESTADO DE SONORA** y posteriormente efectuar la fase oral del examen de grado.

ATENTAMENTE

Dr. Alonso Pérez Soltero
Director y Presidente del Jurado

Dr. Mario Barceló Valenzuela
Secretario del Jurado

M.C. Martín Chávez Morales
Vocal del Jurado

Dr. Jaime Alfonso León Duarte
Vocal del Jurado

RESUMEN

Este documento presenta una metodología para la implementación del concepto BIM (Modelado de Información de la Construcción) en la industria de la construcción. La metodología está basada en el análisis de los resultados de la investigación acerca de las fases de los diseños constructivos, los beneficios del concepto BIM, las metodologías para la implementación del BIM, procedimientos para la medición de la capacidad y madurez de los procesos BIM y las tecnologías BIM existentes; con el fin de establecer un procedimiento estructurado que permita a los involucrados lograr los beneficios del BIM durante todo el ciclo de vida de los proyectos de diseños constructivos.

El ámbito de aplicación de este trabajo es la industria de la construcción del estado de Sonora, en la cual se determinó que la mayoría de los diseños constructivos se documentan y entregan con tecnología CAD (Diseño Asistido por Computadora). Posteriormente se desarrolló una metodología para la implementación de BIM, que está conformada por los siguientes elementos: metas y propósitos para el BIM, plan de modelado, plan de análisis de los modelos, procedimientos para el intercambio de información, mecanismos para la interoperabilidad, definición de la infraestructura organizacional y física para el BIM y evaluación de la capacidad y madurez de los procesos de adopción de BIM.

Los hallazgos más importantes fueron que con el uso de procesos y tecnologías BIM se pueden mejorar la calidad, constructividad, capacidad y madurez de los proyectos constructivos durante todo su ciclo de vida.

ABSTRACT

This document presents a methodology for the implementation of the BIM concept (Building Information Modeling) for the construction industry. The methodology is based on the analysis of the results in the research of the following: the phases of constructive designs, the benefits of BIM concept, and existing methodologies and technologies for BIM implementation and procedures for measuring the BIM capability and maturity processes, in order to establish a structured workflow that will allow stakeholders to achieve the benefits of BIM throughout the life cycle of construction projects.

The scope of this work is the construction industry in the state of Sonora, where it was determined that most constructive designs are documented and delivered with CAD technology (Computer Aided Design). Subsequently it was developed a methodology for BIM implementation, which consists of the following elements: establishment of goals and purposes for BIM, modeling plan, analysis models, procedures for information exchange, mechanisms for interoperability, definition of the physical and organizational infrastructure for BIM, and evaluation of the capability and maturity of the BIM adoption processes.

The most important findings were that using BIM processes and technologies can improve the quality, constructivity, capacity and maturity throughout the life cycle of the construction projects.

DEDICATORIAS

Esta tesis está dedicada a la familia que yo formé, a mi esposo Enrique por tantos senderos de vida recorridos, sueños realizados y por la promesa de un futuro siempre juntos y a mis amados hijos Carlos Julián y Yail Melisa por inspirarme tanto amor incondicional.

También le dedico esta tesis a mis padres (q.e.p.d.) por haberme dado la vida; muy especialmente a mi mamá Eliza por quererme tanto y confiar siempre en mí, y aunque hoy ya no está conmigo sé que desde donde se encuentra está sonriendo, guiñándome un ojo y levantando su dedo pulgar diciéndome: ¡lo lograste!

También le dedico este trabajo a mis hermanos (Gregorio, Aurora, María Luisa, Manuela, Rafael, Elsa, Lázaro, Otilia, Rito y Aniceto) por toda una vida compartida, disfrutando de ese sentimiento de pertenencia y por haberme dado uno de los títulos que más he disfrutado: el ser tía.

La siguiente dedicatoria va para los amigos de toda la vida, por todas las risas, danzas y andanzas en que me han acompañado, que le han dado sentido a mi vida y me han hecho tan feliz.

Finalmente dedico este trabajo a todos aquellas personas que verdaderamente se alegren por mí por su culminación.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente le agradezco a Dios por todos los dones recibidos, principalmente por la salud, las fuerzas, la inspiración y la voluntad para continuar hasta el final en este proyecto personal.

Un agradecimiento muy especial a mi Director de tesis, Dr. Alonso Pérez Soltero por creer en mi proyecto, darle valor a mis ideas y a mi esfuerzo, escucharme y hasta tolerar mis ocurrencias. ¡Muchas gracias! por tenerme la suficiencia paciencia, compartir sus conocimientos y motivarme para concluir este trabajo en los momentos de indecisión; sin su perseverancia tal vez este no hubiera llegado a su final.

Agradezco a mis sinodales, Dr. Jaime León, M.C. Martín Chávez y Dr. Mario Barceló por el tiempo y esfuerzo dedicado en leer y evaluar esta tesis.

Agradezco a los maestros del posgrado de la Universidad de Sonora, Dr. Alonso Pérez Soltero, M.C. Guillermo Cuamea, Dr. Luis Felipe Romero, M.C. Ignacio Fonseca, Dr. Jaime León, Dr. Mario Barceló y M.C. Martín Chávez, porque con sus experiencias y enseñanzas influyeron en la culminación de este proyecto.

Agradezco a los compañeros del posgrado el tiempo y experiencias compartidos durante las clases y fuera de ellas; ha sido invaluable para mí volver a las aulas después de un largo tiempo y disfrutar de su compañía y amistad.

Agradezco a la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción, Delegación Sonora, las facilidades y el apoyo brindado para la realización del caso de estudio en sus instalaciones.

CONTENIDO

CARTA CON LOS VOTOS APROBATORIOS	i
RESUMEN	ii
ABSTRACT	iii
DEDICATORIAS	iv
AGRADECIMIENTOS	v
CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Presentación.....	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Objetivo general.....	3
1.4 Objetivos específicos	3
1.5 Hipótesis.....	3
1.6 Alcances y delimitaciones.....	3
1.7 Justificación	4
2. MARCO DE REFERENCIA	6
2.1 Fases de desarrollo en los proyectos de diseños constructivos.....	6
2.1.1 Fase 1: Diseño conceptual.....	7
2.1.2 Fase 2: Diseño esquemático.....	10
2.1.3 Fase 3: Desarrollo del diseño.....	11
2.1.4 Fase 4: Elaboración de los documentos de construcción	13
2.2 Análisis y evaluación de los proyectos de diseños constructivos	15
2.2.1 Evaluación de la calidad en los diseños constructivos	16

2.2.3 Evaluación de la Constructividad	25
2.2.4 Evaluación de la capacidad y madurez de los procesos.....	30
2.3 El Concepto BIM.....	34
2.4 Beneficios del BIM	37
2.5 Revisión de metodologías de implementación de BIM	40
2.5.1 Propuesta desarrollada por Autodesk.	40
2.5.2 Propuesta desarrollada por AEC UK Committee.....	44
2.5.3 Propuesta de la Universidad de Indiana (IU).....	48
2.5.4 Propuesta del Instituto Nacional de Ciencias (NIBS).	50
2.6 Revisión de Modelos de Evaluación de la Capacidad y Madurez de implementación de BIM.....	54
2.6.1 Propuesta de NIBS, ICMM.....	54
2.6.2 Propuesta de Bilal Succar, BMMI.....	54
2.6.3 Propuesta de CIFE: CIFE's VDC Scorecard.	55
3. METODOLOGÍA BIM	56
3.1 Modelo Propuesto.....	56
3.2 Sección I. Preparación a Nivel Organizacional	58
3.2.1 Fase 1, Presentación del proyecto a la instancia correspondiente.	58
3.2.2 Fase 2, Definición de metas y propósitos para el BIM	58
3.2.3 Fase 3, Evaluación de las competencias laborales.....	59
3.2.4 Fase 4, Evaluación de la infraestructura de la compañía para BIM.	61
3.2.5 Fase 5, Definición del plan de colaboración.....	64
3.3 Sección II. Preparación a nivel proyecto.....	65
3.3.1 Fase 1, Definición del proyecto	65
3.3.2 Fase 2, Plan de modelado BIM.....	67

3.3.3 Fase 3, Plan de modelado detallado.....	69
3.3.4 Fase 4, Plan de análisis.	70
3.3.5 Fase 5, Plan de calidad.....	70
3.4 Sección III. Evaluación de la capacidad y madurez del proceso BIM	74
3.4.1 Fase 1. Selección del modelo CMM.....	74
3.4.2 Fase 2. Aplicación del modelo CMM.....	75
3.4.3 Fase 3. Análisis de los resultados.....	76
4. IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM.....	77
4.1 Sección I. Preparación a nivel organizacional	77
A continuación se describen cada una de las fases de la implementación de la sección de preparación a nivel organizacional.....	77
4.1.1 Fase 1, Presentación del proyecto	77
4.1.2 Fase 2, Definición de metas y propósitos para el BIM	78
4.1.3 Fase 3, Evaluación de las competencias laborales.....	79
4.1.4 Fase 4, Evaluación de la infraestructura de la compañía para BIM.	81
4.1.5 Fase 5, Definición del plan de colaboración.....	84
4.2 Sección II. Preparación a Nivel proyecto.	87
A continuación se describen cada una de las fases de la implementación BIM en la sección de preparación del caso de estudio a nivel proyecto.....	87
4.2.1 Fase 1, Definición del proyecto	87
4.2.2 Fase 2, Plan de modelado BIM.....	88
4.2.3 Fase 3, Modelado detallado.	96
4.2.4 Fase 4, Plan de análisis de los modelos (todas las fases)	108
4.2.5 Fase 5, Definición del plan de calidad para las fases del diseño constructivo.....	109

4.3 Sección III. Evaluación de la capacidad y madurez del proceso BIM	112
4.3.1 Fase 1. Selección del modelo CMM.....	112
4.3.2 Fase 2. Aplicación del modelo ICMM.....	123
4.3.3 Fase 3. Análisis de los resultados	124
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	128
5.1 Conclusiones de la implementación de BIM en el caso de estudio.	128
5.2 Recomendaciones	132
5.3 Reflexiones personales sobre el panorama actual de los diseños en la IC sonorense.....	134
6. REFERENCIAS.....	138

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Fases secuenciales del diseño constructivo	7
Figura 2.2. Procesos iterativos de la fase 1, diseño conceptual.....	8
Figura 2.3. Procesos iterativos de la fase 2, diseño esquemático.....	10
Figura 2.4. Procesos iterativos de la fase 3, desarrollo del diseño.....	12
Figura 2.5. Procesos iterativos de la fase 4, elaboración de los documentos de construcción	14
Figura 2.6. Curva de MacLeamy, impacto en los costos de los cambios en el diseño	15
Figura 2.7. Las tres dimensiones de los procesos	32
Figura 2.8. Fases de Autodesk para la implementación del concepto BIM desde el punto de vista organizacional.....	41
Figura 2.9. Fases de Autodesk para la implementación del concepto BIM desde el punto de vista del proyecto.....	43
Figura 2.10. Fases de la implementación de BIM propuesta por de AEC UK Committee.....	46
Figura 2.11. Fases de implementación de BIM propuesto por IU.....	49
Figura 2.12. Fases de implementación de BIM desarrolladas.....	51
Figura 3.1. Modelo Conceptual de la Metodología BIM.....	57
Figura 4.1. Planta Arquitectónica del diseño en CAD.....	89
Figura 4.2. Pantalla de captura de los datos básicos de identificación del proyecto .	91
Figura 4.3. Pantalla de captura de unidades de diseño para el proyecto.....	92
Figura 4.4. Pantalla de captura de la ubicación del proyecto	92
Figura 4.5. Secuencia de Creación del elemento muro de ladrillo de barro recocido	94
Figura 4.6. Resultado de la búsqueda de elemento de familia ventana en Autodesk Seek.....	95
Figura 4.7. Vista del elemento familia elegido para el proyecto	95
Figura 4.8. Propuesta de Diseño en CAD	97

Figura 4.9. Propuesta 1 diseño conceptual (1 nivel, reporte masa 3D y QTO)	98
Figura 4.10. Propuesta 2 diseño conceptual (2 niveles, masa 3D y reporte QTO)....	98
Figura 4.11. Propuesta3 diseño conceptual (3 niveles, masa 3D, y reporte QTO)....	99
Figura 4.12. Propuesta 4 diseño conceptual	100
Figura 4.13. Propuesta 4 diseño esquemático losas de entrepiso	101
Figura 4.14. Modelado de muros interiores nivel 1 y 2 Modelado de muros interiores nivel 3.....	101
Figura 4.15. Modelado de muros exteriores	102
Figura 4.16. Modelado de puertas y ventanas	103
Figura 4.17. Modelado de elementos de paisaje (árboles).....	104
Figura 4.18. Plantas arquitectónicas y de azotea de los niveles 1, 2, 3, y 4	105
Figura 4.19. Fachadas Norte y Este.....	105
Figura 4.20. Fachadas Sur y Oeste.....	105
Figura 4.21. Detalles constructivos	106
Figura 4.22. Cortes longitudinales y transversales.....	106
Figura 4.23. Vista 3D en corte sin corte	107
Figura 4.24. Vistas en perspectiva	107
Figura 4.25. Vista para presentación (Render).....	107
Figura 4.26. Modelo de Evaluación de Capacidad y Madurez del proceso BIM	113
Figura 4.27. Escala de la riqueza de los datos del proceso BIM.....	114
Figura 4.28. Escala del establecimiento de fases durante todo el ciclo de vida del proceso BIM	114
Figura 4.29. Escala de los puestos y disciplinas BIM del proceso BIM	115
Figura 4.30. Escala de la administración del cambio del proceso BIM.....	115
Figura 4.31. Escala de los procesos empresariales del proceso BIM	116
Figura 4.32. Escala de la respuesta a solicitud de información del proceso BIM....	116
Figura 4.33. Escala de los métodos de entrega del proceso BIM	117
Figura 4.34. Escala de la información gráfica del proceso BIM.....	117
Figura 4.35. Escala de la localización espacial del proceso BIM	118
Figura 4.36. Escala de la exactitud de la información del proceso BIM	118

Figura 4.37. Escala del manejo de la interoperabilidad del proceso BIM	119
Figura 4.38. Resultado de la evaluación de la capacidad y madurez del proceso BIM	123
Figura 4.39. Gráfica de evaluación de la capacidad y madurez del proceso BIM ...	124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Principios de la Calidad	18
Tabla 2.2. Herramientas de la Planificación de la calidad de Hoshin	22
Tabla 2.3. Técnicas/Herramientas de medición de la calidad	23
Tabla 2.4. Sistemas de mejora de la calidad.....	23
Tabla 2.5. Técnicas avanzadas de la mejora de la calidad	24
Tabla 2.6. Herramientas/Técnicas básicas del Control Total de Calidad	24
Tabla 2.7. Principales conceptos asociados con el grado de constructividad	27
Tabla 2.8. Barreras para la constructividad.....	29
Tabla 2.9. Fases de Autodesk para la implementación del concepto BIM	41
Tabla 3.1. Metas para el BIM	59
Tabla 3.2. Propósitos para el BIM	59
Tabla 3.3. Evaluación de las competencias laborales actuales.....	60
Tabla 3.4. Competencias laborales BIM requeridas.....	60
Tabla 3.5. Programa de capacitación en los procesos y tecnologías BIM	61
Tabla 3.6. Evaluación de los recursos de hardware.....	62
Tabla 3.7. Evaluación de los recursos de software	62
Tabla 3.8. Procesos de modelado del software BIM	63
Tabla 3.9. Manejo de la colaboración.....	65
Tabla 3.10. Datos del proyecto.....	66
Tabla 3.11. Equipo de trabajo del proyecto.....	66
Tabla 3.12. Directorio del equipo de trabajo.....	66
Tabla 3.13. Lista de los modelos planeados	67
Tabla 3.14. Lista de sub-proyectos de los modelos	68
Tabla 3.15. Administradores de los modelos	68
Tabla 3.16. Definición de criterios para la base de datos.....	69
Tabla 3.17. Plan de análisis de los modelos	70
Tabla 3.18. Revisión de calidad de la fase de diseño conceptual	71
Tabla 3.19. Revisión de calidad de la fase de diseño esquemático	72

Tabla 3.20. Revisión de calidad de la fase de desarrollo del diseño	73
Tabla 3.21. Revisión de calidad de la fase de elaboración de los documentos	73
Tabla 3.22. Revisión de la normatividad aplicable al proyecto	74
Tabla 4.1. Metas para BIM	78
Tabla 4.2. Propósitos para BIM	79
Tabla 4.3. Análisis de competencias laborales existentes	79
Tabla 4.4. Detección de necesidades de Capacitación en BIM.....	80
Tabla 4.5. Programa de entrenamiento BIM.....	80
Tabla 4.6. Tabla de características de hardware de la compañía	82
Tabla 4.7. Análisis del software para el modelo arquitectónico	84
Tabla 4.8. Definición del proyecto	87
Tabla 4.9. Equipos del proyecto	88
Tabla 4.10. Directorio del equipo del proyecto	88
Tabla 4.11. Sub-Procesos de Modelado	90
Tabla 4.12. Administradores de los modelos	91
Tabla 4.13. Criterios de diseño para los procesos de modelado.....	93
Tabla 4.14. Estimación de costos de muros diseño esquemático	102
Tabla 4.15. Estimación de costos de pisos diseño esquemático.....	102
Tabla 4.16. Estimación de costos de techo diseño esquemático	103
Tabla 4.17. Estimación de costos de ventanas desarrollo del diseño	104
Tabla 4.18. Estimación de costos de puertas desarrollo del diseño.....	104
Tabla 4.19. Resumen de análisis sobre el modelo arquitectónico.....	108
Tabla 4.20. Reporte de Análisis de Colisiones	109
Tabla 4.21. Resumen del análisis de calidad en la fase conceptual	110
Tabla 4.22. Análisis de calidad en la fase de diseño esquemático.....	110
Tabla 4.23. Análisis de calidad en la fase de desarrollo del diseño	111
Tabla 4.24. Análisis de calidad en los documentos de construcción.....	111
Tabla 4.25. Análisis de la normatividad mexicana aplicable	111
Tabla 4.26. Áreas de interés de los indicadores de capacidad y madurez del proceso BIM.....	113

Tabla 4.27. Capacidad y madurez percibida sobre riqueza de los datos y establecimiento de fases en el ciclo de vida.....	120
Tabla 4.28. Capacidad y madurez percibida sobre puestos y disciplinas BIM y administración del cambio.....	120
Tabla 4.29. Capacidad y madurez percibida sobre procesos empresariales y respuesta a la información	121
Tabla 4.30. Capacidad y madurez percibida sobre métodos de entrega e información gráfica	121

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se enfoca en la implementación de una metodología para la aplicación del concepto de Modelado de Información para la Construcción (BIM, Building Information Modeling) en la Industria de la Construcción (IC), durante las fases de diseño de proyectos constructivos. Esta metodología se presenta como una manera posible de atacar el reto de documentación de los proyectos de diseños constructivos con un alto grado de calidad y constructividad. Se propone en esta metodología la adopción de conceptos, procesos inter-organizacionales y herramientas innovadoras de software y hardware, que permitan la entrega integrada de proyectos de diseños constructivos.

1.1 Presentación

La IC tiene características muy especiales que la distinguen de otras áreas de la industria. Según Harty (2005), algunas de estas características son: 1) Trabajo de tipo colaborativo, inter-organizacional y basado en proyectos, 2) Gran importancia y necesidad de comunicación inter-disciplinaria y de transferencia de información y además 3) Presenta una distribución dispersa de la autoridad y poder. Y es debido a esta forma de trabajar que existe una "muy reconocida necesidad de mejorar la integración, colaboración y coordinación de los equipos de diseño y proyecto de la construcción", es decir, de aumentar el grado de constructividad (Cicmil & Marshall, 2005).

Las empresas de la IC en México en su mayoría, están agremiadas a la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC), con 9,500 empresas asociadas a nivel nacional, de ellas 285 son sonorenses; aportan al Producto Interno Bruto (PIB) el 6.3 % del total nacional; y tienen afiliados al IMSS 1,241,453 trabajadores, que representan el 7.7 % de empleos en México (CMIC, 2013).

En México, la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC), Delegación Sonora, desde mediados de 2011 ha estado difundiendo el concepto BIM entre sus socios, proveedores, estudiantes y maestros de las ramas de ingeniería

civil y arquitectura, a través de conferencias y cursos gratuitos del software BIM, con el fin de concientizar al sector de la IC sonorense sobre las ventajas que la aplicación de este concepto innovador tiene en la entrega de los proyectos de diseños constructivos de construcción.

A pesar de todos estos esfuerzos, la aplicación del concepto BIM aún no se ha generalizado en los proyectos de la IC en México, de tal manera que en la mayoría de los casos los proyectos de diseños constructivos continúan realizándose y entregándose con las técnicas tradicionales del Diseño Asistido por Computadora (CAD, Computer Aided Design), con las desventajas que esto acarrea; ya que las herramientas CAD son equivalentes a una técnica manual de producción de dibujos; es decir, las herramientas de CAD no son técnicas de diseño y a pesar de haber sustituido el papel por la pantalla los diseños son meras representaciones geométricas del modelo.

1.2 Planteamiento del problema

La IC está catalogada por sus métodos de trabajo, como una industria fragmentada, poco innovadora, y sin prisas para responder a los cambios tecnológicos (Thorpe & Neal, 2007), que además sigue utilizando en gran medida la tecnología CAD para la documentación de los proyectos de diseños constructivos.

Las asociaciones de profesionales e instituciones públicas y privadas relacionadas con la IC, incluyendo las del estado de Sonora, están haciendo un consenso general de que existen problemas que se tienen que corregir. La esencia de estas conclusiones es que los métodos, herramientas tecnológicas y conceptos tradicionales; con los que se diseñan, documentan, construyen y se entregan los proyectos producen desperdicios, retrasos, nuevos trabajos (obra no contemplada), costos innecesarios, pérdida de oportunidades, pobre coordinación interdisciplinaria, aumento de la responsabilidad, y calidad inferior; situación que se puede resumir en que los proyectos de diseños constructivos no reúnen la calidad y constructividad requerida para su construcción, mantenimiento y operación.

1.3 Objetivo general

El objetivo de este trabajo es proponer una metodología que permita aplicar el concepto BIM, e implementarla en el desarrollo de un proyecto de diseño constructivo representativo de la industria de la construcción sonorense.

1.4 Objetivos específicos

Los objetivos específicos de este trabajo son:

- Proponer una metodología para aplicar el concepto BIM e implementarla en un proyecto de diseño constructivo.
- Documentar todas las fases de un proyecto de diseño constructivo usando software paramétrico que trabaje bajo el concepto BIM.
- Evaluar la madurez de implementación del BIM en el proyecto utilizando un modelo de capacidad y madurez (CMM).

1.5 Hipótesis

Con la implementación de una metodología para aplicar el concepto BIM en la industria de la construcción sonorense, es posible mejorar la calidad y la constructividad de los proyectos de diseños constructivos.

1.6 Alcances y delimitaciones

La implementación de la metodología para aplicar el concepto BIM se realizará en una Compañía de Modelado de Diseño Constructivo (CMDCC), creada exclusivamente para este fin, la cual está formada por alumnos del Diplomado BIM que se imparte en la CMIC. A continuación se describen los alcances y delimitaciones específicas que tiene el presente trabajo de investigación.

- Este trabajo se enfocará a la elaboración de los documentos de construcción del modelo arquitectónico del caso de estudio; de tal manera que puedan ser utilizados posteriormente en las fases de construcción, licitación y operación.
- Partiendo de documentos de construcción realizados con tecnología CAD, se creará con tecnología y procesos BIM el modelo arquitectónico del caso de estudio, que incluye realizar los siguientes procesos de modelado: muros,

techos, pisos, puertas, ventanas, área de estacionamiento, áreas verdes, generación de los documentos para las diferentes fases del diseño constructivo y generación de reportes y tablas de los análisis realizados sobre el proyecto.

- Una vez implementada la metodología BIM en el proyecto constructivo se le hará una evaluación de la capacidad y madurez del proceso BIM utilizando una matriz de capacidad y madurez.

1.7 Justificación

La IC de Sonora comparte muchas de las características que presenta esta industria a nivel global. Entre esas características se encuentran un alto nivel de fragmentación, (en 2011 estaban afiliadas a la CMIC delegación Sonora 285 empresas constructoras), los altos costos, el deficiente control de calidad y la baja productividad con los que se diseñan, documentan y construyen los proyectos constructivos, entre otras.

En los últimos años está ocurriendo un cambio global en la IC, la era CAD poco a poco está dando lugar al BIM. Éste permite una simulación completa del proyecto constructivo en un solo archivo en formato de base de datos. Desde este archivo casi cualquier información contenida en la base de datos puede ser extraída y presentada en diferentes formatos. Esta conversión del CAD al BIM está cambiando el proceso de producción de los documentos de construcción y este cambio se refleja en todo el ciclo de vida del proyecto. Ante estos nuevos esquemas, la IC sonorense carece de una estrategia que le permita transitar a estas nuevas tendencias de los diseños constructivos. Con el BIM, la IC de Sonora se encuentra ante la gran oportunidad de evolucionar hacia mejores prácticas de negocios; ya que es un concepto que combina métodos de trabajo con tecnologías innovadoras de software para los diseños constructivos; que permiten entre otras ventajas y beneficios elaborar procesos de proyectos constructivos con mayor calidad, constructividad y capacidad.

Los empresarios de la IC sonorense, afiliados a la CMIC se preguntan de qué manera pueden incorporar estos cambios a su propio trabajo, ya que están

conscientes de que los nuevos estándares para los procesos de diseños constructivos deben ser incorporados. Como una solución se presenta esta metodología de implementación del BIM, ya que el cambio no es solo a nivel tecnología, sino que involucra un cambio en la actitud, cultural y organizacional.

2. MARCO DE REFERENCIA

En este capítulo se desarrollan los principales conceptos abordados en el presente trabajo relacionados con los proyectos de diseños constructivos, los cuales son: descripción de las fases de los proyectos de diseño constructivo; análisis y evaluación de la calidad, constructividad y madurez de la capacidad del proceso; el concepto BIM, beneficios del BIM, descripción de algunas metodologías de implementación de BIM; y descripción de algunos modelos de evaluación de la capacidad y madurez de la implementación de BIM.

2.1 Fases de desarrollo en los proyectos de diseños constructivos

La Guía PMbok define proyecto como un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único y tiene un principio y un final claramente definidos (PMI, 2008). Para su ejecución, los proyectos en general se dividen en fases, que pueden desarrollarse secuencialmente o superpuestas, cuya denominación y número depende del tamaño de la organización, de la naturaleza del proyecto y de su área de aplicación. El número de fases y el grado de control aplicado a cada una dependen en gran medida del tipo de proyecto, del impacto que éste tenga, y sobre todo del tamaño del mismo. Las fases a su vez están formadas por procesos, y los procesos están divididos en actividades.

ISO9000 define proceso como conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados (ISO, 2005). Los procesos de cualquier tipo de proyecto, sin importar el área de la industria para la que se desarrollen se ejecutan dentro de las siguientes cinco fases: 1) Iniciación, 2) Planificación, 3) Ejecución, 4) Seguimiento y Control, y 5) Cierre (PMI, 2008).

Por otro lado, en la IC, independientemente de los métodos de diseño, las tecnologías empleadas en su elaboración y las formas de licitación y contratación; han sido reconocidas las siguientes fases: Diseño Conceptual, Diseño Esquemático,

Desarrollo del Diseño, Elaboración de los Documentos de Construcción, y Cierre (AIA, 2007). Estas fases corresponden a una división administrativa de un proyecto de diseño y no equivalen a las fases del proceso creativo del diseño (Formoso, et al., 1998). La diferencia consiste en que el proceso administrativo es lineal, mientras que el proceso creativo es iterativo. Las fases de los diseños constructivos se desarrollan tradicionalmente en forma secuencial, dado que la siguiente fase inicia una vez que se ha cerrado la fase precedente, aunque algunos de sus procesos son de carácter iterativo. En la figura 2.1 se muestran las fases secuenciales del diseño constructivo.

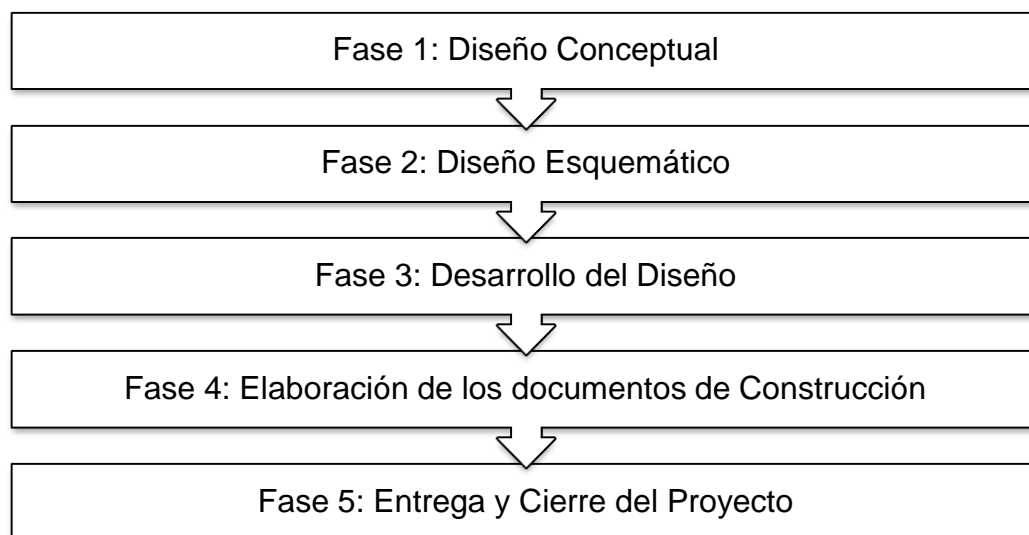


Figura 2.1. Fases secuenciales del diseño constructivo
Fuente: Elaboración propia

Además de las 5 fases de diseño que se muestran en la figura 2.1, existen otras tres fases reconocidas para los proyectos de la IC, las cuales son: licitación, construcción, y operación (AGC, 2010b). El análisis y estudio de estas últimas tres fases no forma parte de este trabajo.

A continuación se proporciona una descripción de cada una de las fases del diseño constructivo, así como una lista de los procesos principales que se realizan en cada una de ellas.

2.1.1 Fase 1: Diseño conceptual

También conocida como fase de verificación de la viabilidad. Es en ésta donde se da el arranque del proyecto, se establecen los objetivos por alcanzar, se elabora el

primer planteamiento del diseño y dependiendo de su sencillez o complejidad serán las soluciones que proponga el equipo de diseño. En esta fase también se establecen los límites del proyecto de diseño, se eliminan las ideas inviables; trabajando en conjunto la organización, el equipo de diseño, el cliente y demás interesados en el proyecto (Pérez, J.B. y Sabador A., 2004).

La entrada para la fase del diseño conceptual es la solicitud del cliente de un diseño constructivo. Los procesos son iterativos y no necesariamente secuenciales, como se muestra en la figura 2.2.



Figura 2.2. Procesos iterativos de la fase 1, diseño conceptual
Fuente: Elaboración propia

Descripción de los procesos que se llevan a cabo en la fase de Diseño Conceptual

Proceso a): Juntas de inicio / revisión de avances. Son las reuniones de todos los involucrados en el proyecto para definir todo lo concerniente al diseño constructivo. Se recomienda que a la junta de inicio asistan por lo menos: el cliente o sus representantes, el director, el administrador, consultores externos (si los hubiera), representantes de las autoridades, miembros de la sociedad, entre otros actores involucrados; por otro lado, a las juntas de revisión se recomienda que asistan todos

los involucrados en el tema a discusión de la agenda del día, ya sean los aspectos legales, técnicos, tecnológicos, normativos, entre otros; que dependerán enteramente del tipo de diseño y de las necesidades del cliente.

Proceso b): Revisar las necesidades y requerimientos del cliente. Es decir, explorar los deseos y aspiraciones del cliente, tales como el uso que le va a dar al diseño, qué aspecto y forma del mismo tiene en mente, sus objetivos y prioridades, las condiciones especiales, con cuánto presupuesto cuenta, cuándo espera que esté terminado, la situación legal del sitio; entre otros aspectos importantes que deben estar resueltos antes de iniciar el diseño.

Proceso c): Analizar la viabilidad del proyecto. Esto significa que es posible realizarlo, y que todas las restricciones pueden ser superadas; entre esas restricciones se pueden mencionar técnicas, normativas, tecnológicas, legales, medioambientales, uso de suelo, financieras, de calendario, de función y forma; entre otras que dependen de la naturaleza del proyecto y de los requerimientos del cliente.

Proceso d): Definir los objetivos del proyecto de diseño. Se refiere a que el equipo de diseño debe comprender cabalmente los alcances del proyecto de diseño, en base a las prioridades, objetivos y recursos del cliente, en lo relacionado con la función, forma y presupuesto con que cuenta el mismo cliente; considerando también todos los aspectos relacionados con el diseño que no dependen del cliente, sino del entorno y por último deben ser capaces de plasmarlos por escrito.

Proceso e): Definir los integrantes del equipo de diseño. De acuerdo a los objetivos del diseño elegir a los profesionales y expertos idóneos que se encargarán de resolver todos los aspectos del proyecto, según los requerimientos del cliente, la naturaleza del diseño y las disciplinas de construcción involucradas.

Proceso f): Estimar los costos y presupuesto de construcción. Dado que en esta fase aún no se genera el diseño constructivo en forma gráfica, se debe calcular un presupuesto base para todo el proyecto, en el cual los costos provienen de la

experiencia, juicio profesional, y de tabuladores de asociaciones, colegios, cámaras de profesionales de la IC, entre otras fuentes.

Proceso g): Cierre y establecimiento del contrato / documento de autorización, entre el cliente y el equipo del proyecto para el posterior desarrollo del diseño constructivo.

Los entregables de esta fase son: el directorio de los miembros del equipo de diseño, la lista de distribución del equipo del proyecto y de los demás interesados, las minutas de las juntas, la lista de las modificaciones al programa de requerimientos del cliente, así como la justificación de estas modificaciones, descripción detallada de los retos constructivos del diseño y de sus características especiales, una recomendación espacial y funcional del diseño propuesto y la aceptación oficial del cliente para que se prosiga con el diseño, o en su defecto se declare el proyecto inviable y se cancele .

2.1.2 Fase 2: Diseño esquemático

Es la fase de diseño constructivo en la cual por primera vez el programa de necesidades y requerimientos del cliente se presenta en forma gráfica (AIA,1997).

Los procesos se muestran en la figura 2.3.

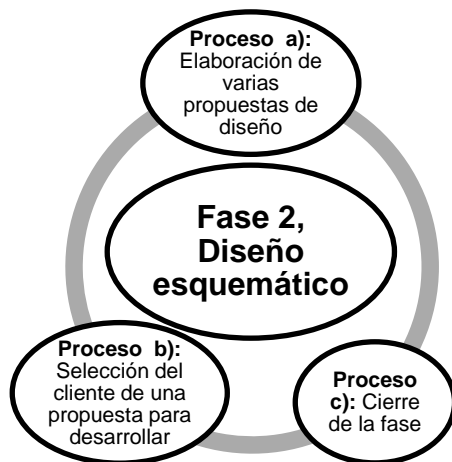


Figura 2.3. Procesos iterativos de la fase 2, diseño esquemático
Fuente: Elaboración propia

La entrada a la fase de diseño esquemático es la autorización del cliente para realizar el diseño. Una de las características de esta fase es el alto nivel de iteración del proceso a), antes de pasar al proceso b).

Descripción de los procesos que se llevan a cabo en la fase de diseño esquemático

Proceso a): Elaboración de varias propuestas de diseño. Elaboración iterativa de varias propuestas esquemáticas del diseño para poner a prueba las relaciones funcionales del programa de requerimientos y necesidades del cliente, estimación de los costos preliminares de cada elemento en base a la experiencia o basándose en tabuladores oficiales, análisis de la factibilidad de construcción de cada propuesta y selección por el cliente de una de las propuestas.

Proceso b): Selección del cliente de una propuesta para desarrollar. En este proceso se analizan a fondo todos los conceptos de diseño de la propuesta seleccionada por el cliente; así como los resultados que contribuyeron al establecimiento de una solución única para desarrollar el alcance del diseño constructivo y su costo; de tal manera que satisfaga el programa de requerimientos del cliente, y cuidando que se mantenga dentro del presupuesto estimado.

Proceso c): Cierre de la fase. Se da con la aceptación oficial del cliente.

Los entregables de esta fase son la representación gráfica de los diseños de cada una de las disciplinas involucradas en el proyecto, estimación del presupuesto y programa de obra. Se recomienda que a partir de esta fase ya no se hagan cambios importantes al diseño.

2.1.3 Fase 3: Desarrollo del diseño

Es la fase del proyecto en la que el diseño constructivo se transforma de ideas, conceptos y esquemas generales, en insumos de construcción (materiales, mano de obra, herramientas y equipo), detalles constructivos, instrucciones y especificaciones que permitan al 100% llevar a cabo las fases de licitación, construcción y operación de la obra física (DAS, 2011).

La entrada de esta fase es el diseño esquemático de una propuesta elegida por el cliente, de varias que se le presentaron en la fase 2.

Los procesos que componen esta fase se muestran en la figura 2.4.



Figura 2.4. Procesos iterativos de la fase 3, desarrollo del diseño
Fuente: Elaboración propia

Descripción de los procesos que se llevan a cabo en la fase de desarrollo del diseño.

Proceso a): Crear los diseños de todas las disciplinas. Agregar al proyecto todos los diseños planeados para cada una de las disciplinas involucradas. Dependiendo de la naturaleza y tipo de proyecto, el equipo de diseño plasma cada uno de los espacios que integran el diseño; por ejemplo, en proyectos de edificación son: diseño de muros, pisos, techos, estacionamiento, jardines, estructuras, instalaciones, ventanas, puertas, entre otros.

Proceso b): Agregar todos los elementos de detalle a los diseños. Agregar a cada uno de los diseños del proyecto los elementos y objetos constructivos, con todos los detalles y especificaciones requeridos para la licitación, construcción y operación. De acuerdo a los diseños del proceso a) de esta fase 3, y siguiendo con un ejemplo de

edificación, en este proceso se grafica el grosor de los muros, inclinación de los techos, espesor de los pisos y losas, ubicación de puertas y ventanas, ubicación de pasillo, entre otros.

Proceso c): Integración de los métodos de construcción. Integrar los procesos y métodos constructivos de cada una de las disciplinas. Acorde con los diseños y elementos de los procesos a) y b) de esta fase 3, y siguiendo con el ejemplo de edificación, en este proceso los elementos del diseño se convierten en conceptos de construcción, desglosando para cada uno los insumos de construcción por la unidad correspondiente; es decir, se detalla la composición de materiales, mano de obra, herramienta y equipo que integran cada elemento.

Proceso d): Creación del programa de obra y secuenciación. En este proceso el diseño constructivo se convierte de conceptos en actividades de construcción, que de acuerdo a su naturaleza y recursos requeridos se programa su ejecución en forma secuencial y/o paralela, de tal manera que cumplan con las fechas de entrega pactadas con el cliente.

Proceso e): Revisión intra-disciplinar e inter-disciplinar. Intra-disciplinar: asegurar que el personal calificado de cada disciplina involucrada en el diseño evalúe los entregables de esa disciplina; inter-disciplinar: solucionar las discrepancias entre las diferentes disciplinas involucradas en el diseño constructivo.

Proceso f): Cierre. Cierre de la fase. Se da cuando el cliente y el equipo de diseño oficializan la aceptación de la propuesta.

Los entregables de esta fase son los diseños de los modelos gráficos digitales de todas las disciplinas completamente revisados, detallados y terminados.

2.1.4 Fase 4: Elaboración de los documentos de construcción

Esta es la última fase del diseño constructivo y el objetivo principal es la producción de los documentos de construcción definitivos y adecuados para llevar a cabo las fases de licitación, construcción y operación. Los procesos se muestran en la figura 2.5 (DAS, 2011).

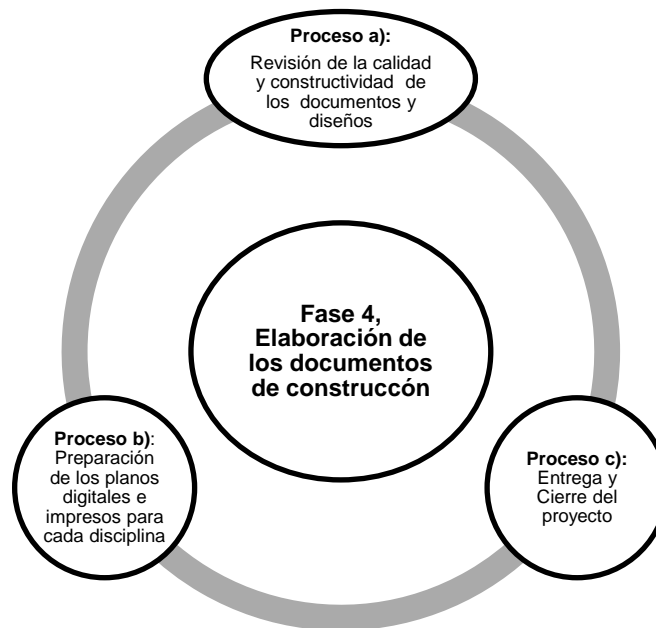


Figura 2.5. Procesos iterativos de la fase 4, elaboración de los documentos de construcción

Fuente: Elaboración propia

Descripción de los procesos que se llevan a cabo en la fase de elaboración de los documentos de construcción.

Proceso a): Revisión de la calidad y constructividad de los documentos y diseños. Esto se hace para identificar cualquier error, omisión, incoherencia o ambigüedad, entre otros aspectos.

Proceso b): Preparación de los planos digitales e impresos para cada disciplina. De acuerdo al tipo de proyecto, a las necesidades del cliente, y a la normatividad existente se crearán todas las vistas, detalles y especificaciones que corresponda a cada diseño para su aprobación, licitación, construcción y operación. Los planos impresos deben corresponder al 100% con los documentos digitales. El diseño constructivo plasmado en los documentos de construcción generados en esta fase no debe ser cambiado en las fases siguientes del proyecto sin autorización.

Proceso c): Entrega y cierre del proyecto. Se da por terminado el proyecto y se protocoliza la recepción y aceptación del diseño constructivo entre el cliente y la organización. Generalmente en este proceso el equipo de diseño se disuelve. Los entregables de esta fase son: los documentos de construcción de cada una de las

disciplinas que integran el proyecto; así como todos los documentos requeridos para las fases de licitación, construcción y operación.

2.2 Análisis y evaluación de los proyectos de diseños constructivos

En un proyecto constructivo las principales decisiones y las más trascendentes se toman durante las fases del diseño (Qing, et al., 2003). Y es durante estas fases cuando se puede tener la mayor influencia en la calidad, la constructividad, y la capacidad del proceso, y en general en todos los aspectos del proyecto; como se muestra en la figura 2.6. De ahí la importancia de aplicar instrumentos adecuados de análisis y evaluación de los diseños constructivos desde las fases tempranas del diseño (NIBS, 2007).

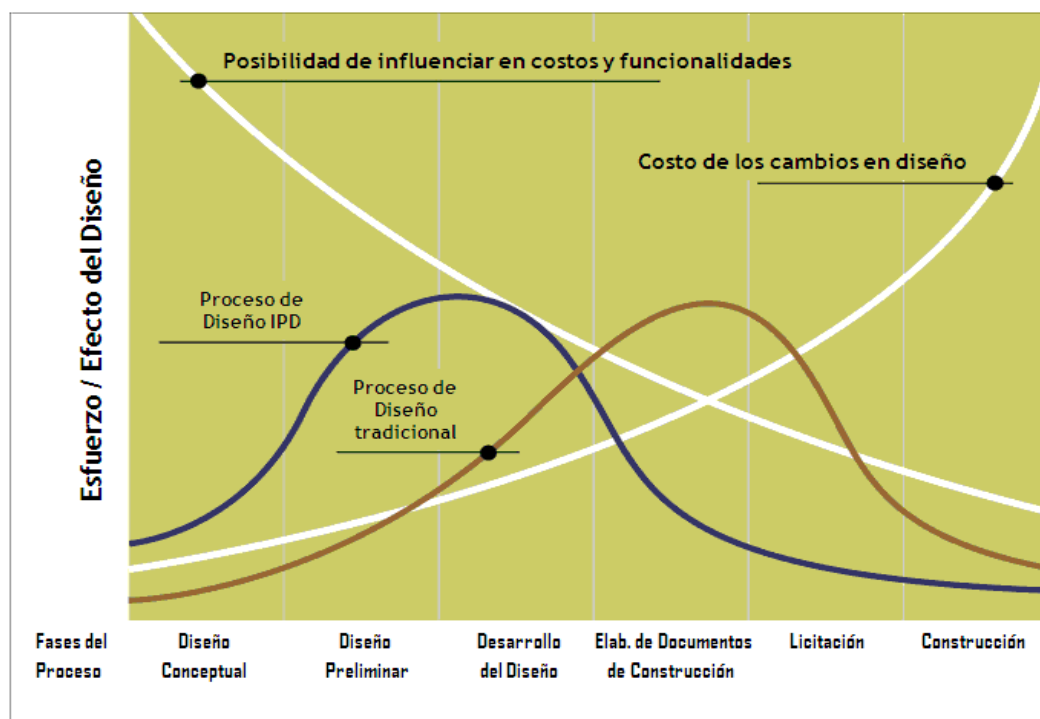


Figura 2.6. Curva de MacLeamy, impacto en los costos de los cambios en el diseño
Fuente: Adaptada de (AIA, 2007), traducción propia

La evaluación de la calidad de los diseños constructivos se basa en las teorías de los gurúes de la calidad. Entre los objetivos de evaluación de la calidad se encuentra el asegurar que el proyecto de diseño constructivo satisfaga las necesidades para las

que se inició; así como determinar la manera de satisfacerlas. A continuación se describen algunos aspectos a evaluar en los diseños constructivos que son la evaluación de la calidad, evaluación de la constructividad y la evaluación de la capacidad y madurez de los procesos.

2.2.1 Evaluación de la calidad en los diseños constructivos

Entre las actividades de evaluación de la calidad de los diseños constructivos se encuentran las siguientes: comparación de características del diseño con los requerimientos del cliente en forma, función, tiempo y costo, revisiones interdisciplinarias, solución de discrepancias entre disciplinas, solución de discrepancias entre partes de un proyecto, procesos estructurados para la detección de errores, entre otras.

El término calidad es muy subjetivo, existen muchas definiciones válidas en la literatura, ya que su interpretación y/o aceptación depende del contexto en que se esté aplicando. Para poder entender la dificultad de definir la calidad Deming (1988) escribió lo siguiente:

"Los problemas inherentes en tratar de definir la calidad de un producto, casi de cualquier producto, fueron establecidas por el maestro Walter Shewhart. La dificultad de definir calidad es traducir las necesidades futuras de los usuarios en características medibles, solo así un producto puede ser diseñado y fabricado para dar satisfacción a un precio que el cliente pagará".

El diccionario de la lengua española (RAE, 2013) la define como la propiedad o conjunto de propiedades inherentes a algo, que permiten juzgar su valor.

Crosby (1987) dice que la calidad es cumplir con los requerimientos, o también el grado de satisfacción que ofrecen las características del producto o servicio en relación con las exigencias del consumidor.

Juran (1999) menciona que la calidad es adecuación al uso del cliente.

Feigenbaum (1991) menciona que la calidad es la satisfacción de las expectativas del cliente.

Deming (1988) dice que la calidad es satisfacción del cliente.

La Organización Internacional de Normalización (ISO por sus siglas en inglés) establece la siguiente definición de calidad en el ISO 9000: "Calidad, grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos". (ISO, 2005).

Philip B. Crosby escribió: "La calidad no cuesta. No es un regalo, pero es gratuita. Lo que cuesta dinero son las cosas que no tienen calidad -todas las acciones que resultan de no hacer bien las cosas a la primera vez". También escribió: "El costo de la calidad es lo que se gasta por hacer las cosas mal. Es el desperdicio, el volver a hacer las cosas, el dar servicio tras servicio, la garantía, la inspección, las pruebas y actividades similares que se hacen necesarias debido a los problemas por no cumplir con los requisitos". Crosby fue quién enunció la teoría de calidad de Cero Defectos (Crosby, 1987).

A continuación en la tabla 2.1 se presenta una recopilación de los principales principios de la calidad enunciados por los gurúes de la calidad.

La calidad en el diseño constructivo es mucho más que estilo y apariencia; se refiere a la incorporación de requisitos de todos los involucrados, tales como funcionalidad, aportación de valor durante todo el ciclo de vida de la obra, administración y operación flexible, saludable, segura, sustentable y con bajo impacto ambiental.

La calidad durante las fases de diseño debe ser tratada como una unidad con las fases de licitación, construcción y operación. Calidad en el diseño también significa hacerlo bien desde la primera vez, entregar a tiempo y dentro de lo presupuestado, innovar en beneficio del cliente, y evitar el desperdicio; ya sea que se trate del diseño, manejo de materiales, mano de obra, maquinaria y equipo (procedimientos de construcción), tanto dentro como fuera del sitio de la obra. La calidad en el diseño es una combinación de funcionalidad, es decir, qué tan útil es la obra en el logro de

los objetivos; impacto, es decir, cómo la obra crea y se integra en un ambiente; y calidad de la construcción, es decir, desempeño de la obra terminada (OGC, 2004).

Principio	E. Deming (1988)	J. Juran (1999)	P. Crosby (1987)	A. Feigenbaum (1991)	K. Ishikawa (1985)
1	Hacer constante el propósito de mejorar la calidad.	Identificar quiénes son los clientes.	Compromiso de la dirección a mejorar la calidad	Es un proceso de toda la empresa.	La calidad empieza y termina con educación.
2	Adoptar la nueva filosofía de calidad.	Determinar sus necesidades.	Equipo de mejoramiento de la calidad.	Es lo que el cliente dice que es calidad.	El primer paso en la calidad es conocer las necesidades de los clientes
3	Terminar con la dependencia de la inspección masiva	Traducirlas al lenguaje de la organización	Mediciones de la calidad	La calidad y el costo es una suma, no una diferencia	El estado ideal del Control de Calidad es cuando la inspección ya no es necesaria
4	Terminar con la práctica de definir los negocios en base al precio y no en la	Desarrollar un producto que responda a dichas necesidades	Evaluación del costo de calidad	Requiere el entusiasmo de los individuos y los equipos	Es necesario remover las raíces y no los síntomas de los problemas
5	Encontrar y resolver problemas para resolver el sistema de producción y servicios	Optimizar las bondades del producto para satisfacer las necesidades de la empresa así como las de	Conciencia de calidad	Es un modo de administración	El control de calidad es responsabilidad de toda la organización
6	Instituir métodos de capacitación en el trabajo	Desarrollar un proceso capaz de producir el producto	Acción correctiva	La calidad y la innovación dependen una de la otra	No se deben confundir los medios con los objetivos
7	Instituir liderazgo con modernos métodos estadísticos	Optimizar el producto	Establecer un comité adecuado para el programa de cero defectos	Es un principio ético	Se debe poner en primer lugar la calidad, los beneficios financieros vendrán como consecuencia
8	Expulsar de la organización el miedo	Comprobar que el proceso puede producir el producto bajo condiciones	Entrenamiento de los supervisores	Requiere una mejora continua	La Mercadotecnia es la entrada y éxito de la calidad
9	Romper las barreras entre departamentos de apoyo y de línea	Transferir el proceso a las operaciones	Día de cero defectos	Es el camino más eficaz hacia la productividad en relación con el costo y con el capital	La alta dirección no debe mostrar resentimientos cuando los hechos son presentados por los subordinados
10	Eliminar metas numéricas, carteles, y frases publicitarias que piden aumentar la productividad sin proporcionar métodos		Fijar metas	Se implementa dentro de un sistema total conectado a clientes y proveedores	El 95% de los problemas de la compañía pueden ser resueltos con las herramientas del control de calidad
11	Eliminar estándares de trabajo que estipulen cantidad y no calidad		Eliminación de la causa de los errores		Datos sin dispersión son falsos
12	Eliminar las barreras que impiden al trabajador hacer un buen trabajo		Reconocimiento		
13	Instituir un vigoroso programa de educación y entrenamiento		Encargados de mejorar la calidad		
14	Crear una estructura en la alta administración que impulse día a día los trece puntos anteriores		Empezar de nuevo, la calidad es un ciclo		

Tabla 2.1. Principios de la Calidad
Fuente: Elaboración propia

A continuación algunos indicadores de calidad de los diseños constructivos:

1. Impacto: Carácter e innovación en la forma y materiales, espacios habitables, integración urbana y social. Esto se refiere a la habilidad para crear un sentido de pertenencia y un efecto positivo sobre la comunidad y el medio ambiente. También se refiere a la influencia del diseño sobre las otras disciplinas.
2. Calidad de construcción: Consideración del desempeño de las otras disciplinas (ingeniería y construcción). Lo anterior se refiere a la ingeniería de la obra, lo cual incluye estabilidad estructural, integración de aspectos de seguridad e higiene, durante toda la vida del proyecto. También se refiere a la durabilidad de las instalaciones, acabados, mobiliario y equipos.
3. Funcionalidad: Uso, acceso y espacio. Esto se refiere a la distribución, y las interrelaciones de los espacios, de tal manera que sean útiles para todos los usuarios (OGC, 2004).

A continuación se describen algunos indicadores de calidad de los diseños constructivos en las diferentes fases.

Fase1, Diseño Conceptual: En ésta se deberá tener respuestas a las siguientes preguntas del proyecto, ¿Qué, Quién, Cómo, Cuándo, Cuánto y Dónde?

Antes de cerrar esta fase todos los involucrados en el equipo de diseño deberán contar con la siguiente información: los requerimientos del cliente están documentados y al alcance de todos los involucrados, el equipo de proyecto está formado por profesionales adecuados a cada disciplina involucrada, los objetivos y el alcance del proyectos están documentados y disponibles, existe un análisis de viabilidad del proyecto, existe una propuesta inicial de diseño por escrito, existe un presupuesto base, existe el calendario para el diseño, se cuenta con una agenda de juntas de revisión y entregas se dispone de un formato de comunicación e intercambio de información y, se ha recopilado el directorio del equipo, se han identificado los responsables de aprobación y revisión y se ha establecido el compromiso oficial entre el cliente y el equipo para realizar el diseño constructivo y se ha cerrado la fase.

Fase 2, Diseño Esquemático: se han elaborado y presentado al cliente varias propuestas esquemáticas del diseño en forma gráfica, o modelos (virtuales o maquetas), se ha realizado la validación de las relaciones funcionales de las propuestas con los requerimientos del cliente, la factibilidad de construcción ha sido revisada, los costos unitarios de cada concepto del diseño han sido estimados, el presupuesto preliminar ha sido calculado en base a estadísticas y tabuladores oficiales, los entregables de cada disciplina han sido elaborados en forma gráfica, existe constancia oficial de la aceptación de una propuesta por parte del cliente y se ha cerrado la fase.

Fase 3, Desarrollo del Diseño: los modelos de todas las disciplinas involucradas han sido diseñados hasta el último nivel de detalle requerido para la fase de construcción, los métodos de construcción propuestos (materiales, mano de obra, maquinaria y equipo) para cada modelo son viables, los diseños de cada disciplina cuentan con especificaciones completas y entendibles, el presupuesto ha sido elaborado con costos reales en base a los diseños y especificaciones, el programa de obra ha sido realizado en base a las fechas de entrega y aceptación oficial por parte del cliente del diseño y se ha cerrado la fase.

Fase 4, Elaboración de los documentos de construcción: los planos de cada disciplina están completos, son digitales e imprimibles, los planos son útiles y adecuados para la fase de licitación (independientemente del tipo de esta), los planos de cada disciplina cuentan con todos los detalles, especificaciones y métodos constructivos, de tal manera que el diseño pueda ser construido y posteriormente operado, se realizó la entrega oficial al cliente y se cerró el proyecto de diseño constructivo.

A continuación se listan algunos estándares reconocidos para los proyectos de diseños constructivos.

Tablas OmniClass: Clasificación de los conceptos para la IC

En el ámbito internacional se encuentran las normas OmniClass, que se han convertido en un estándar. En la industria de la construcción estadounidense es uno de los instrumentos más utilizados, que en términos sencillos son unas tablas para organizar la información de la industria de la construcción. El concepto de OmniClass se deriva de estándares internacionalmente aceptados, desarrollados por ISO y la International Construction Information Society (ICIS) desde el inicio de los noventa, hasta nuestros días (OmniClass,2006). OmniClass está basado en los lineamientos establecidos en el ISO-12006, 1, 2, y 3.

EL ISO-12006 es un marco de referencia para la clasificación de la información de los trabajos de la industria de la construcción. Está agrupado en tres categorías primarias: 1) Recursos de construcción, 2) Procesos de construcción y 3) Resultados de construcción. OmniClass contempla la organización de información tanto electrónica como material impreso, y puede utilizarse en la preparación de cualquier tipo de proyecto, para intercambiar información como manejo de costos, especificaciones y cualquier otra información que se genere durante le elaboración del diseño de construcción. En las tablas OmniClass la información de los diseños constructivos está organizada según su función, forma, disciplina, materiales, propiedades, productos, fases, rol organizacional, entre otras clasificaciones para el manejo de las categorías de información, las cuales permiten la estandarización en todas las fases del proyecto constructivo (OmniClass, 2006).

Normatividad mexicana

En México se deben utilizar los lineamientos de la normatividad mexicana, que son un conjunto de leyes, normas y reglamentos, que tienen el propósito de asegurar valores, cantidades y características mínimas o máximas en el diseño, producción, o servicio de los bienes de consumo entre personas morales y/o físicas.

Los diseños de construcción en México deben cumplir con las disposiciones legales y reglamentarias siguientes: ley de Obras Públicas y su Reglamento, ley Federal para

Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental, y Federal de Protección del Patrimonio Cultural, Reglamento de Ingeniería Sanitaria de la Secretaría de Salud, Reglamento de Higiene y Seguridad, Reglamento de Obras e Instalaciones Eléctricas de la Comisión Federal de Electricidad, Reglamento de la Distribución de Gas de la Dirección General de Energía de la SEMIP, Reglamento de Construcciones del Distrito Federal y Normas Técnicas Complementarias, Reglamento de Construcciones de la Entidad Federativa en la que se vaya a realizar la obra, Normas Oficiales Mexicanas (NOM), las normas y reglamentos de la SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transporte), entre otras leyes que rigen a la industria de la construcción mexicana, cuya aplicación depende del tipo de diseño constructivo, es decir, si se trata de una carretera, de un hospital, de una escuela, plaza comercial, una fábrica, y de la entidad federativa y el municipio para el que se esté realizando el proyecto.

A continuación en las tablas 2.2 a la 2.6 se listan algunos instrumentos de evaluación de mejora, control y evaluación de la calidad aplicables a los diseños de proyectos constructivos revisados por Casals (1997).

Nombre de la técnica	Uso
Diagramas de interrelaciones	Identificar causas y efectos asociados a ideas o actos.
Diagramas de árbol	Identificar grupos de tareas a ser cumplidas.
Diagramas matriciales	Mostrar relaciones entre actividades.
Matriz de actividades (Gantt, PERT, CPM)	Relacionar eventos y tiempo, establecer precedentes para las actividades.

Tabla 2.2. Herramientas de la Planificación de la calidad de Hoshin

Fuente: *Elaboración propia adaptada de Casals, 1997*

La planificación de la calidad utilizando las herramientas Hoshin (tabla 2.2) es un estilo de dirección que pretende lograr objetivos clave de una organización coordinando las actividades de sus miembros para que puedan reaccionar rápidamente ante un entorno de cambios rápidos; se compara con la administración por objetivos y está estrechamente ligada a los principios de la calidad total.

Nombre de la Técnica	Uso
Revisión de conceptos	Comparar características del diseño con los requerimientos del cliente, de tiempo y de costo.
Revisión intra-disciplinar	Asegurar que el personal calificado de cada disciplina evalúe los entregables de esa disciplina.
Revisión inter-disciplinar	Solucionar discrepancias entre resultados de distintas disciplinas.
Verificación de especificaciones en dibujos	Solucionar discrepancias entre instrucciones gráficas y escritas.
Comprobación de servicios	Solucionar discrepancias entre partes de un proyecto grande diseñado por más de un equipo.
Evaluación previa de los entregables para licitación.	Proceso estructurado de detección de errores en los entregables de la fase de elaboración de los documentos de construcción.
Revisión por el proveedor	Obtener revisiones de fabricantes de productos para detectar aplicaciones inapropiadas o selecciones obsoletas.
Revisión de constructividad	Asegurar que el diseño no incluye elementos difíciles o imposibles de realizar.
Revisión de operatividad	Revisión de la administración de los servicios, para asegurar que el diseño sea fácil de operar (mantenimiento)
Registrar dibujos	Documentar cambios entre documentos del contrato y trabajo realizado.

Tabla 2.3. Técnicas/Herramientas de medición de la calidad

Fuente: Adaptada de Casals, 1997

Las herramientas de medición de la calidad analizadas por Casals (1997) en la tabla 2.3 son de las más utilizadas en los proyectos de diseños constructivos; si se aplican en las fases del diseño se asegura un proyecto construible.

Nombre de la técnica	Uso
Sistemas de costos de la calidad	Identificar costos de la poca calidad
La organización aprendiz	Conceptualizar el aprendizaje de la empresa
Contratos proveedor/Cliente	Detallar requerimientos del cliente
Shojinka	Mover trabajos para ajustar demanda
Normas ISO	Sistema de mejora de la calidad
Premios TQM	Deming, Malcolm Baldrige, Lieberman

Tabla 2.4. Sistemas de mejora de la calidad

Fuente: Elaboración propia adaptada de Casals, 1997

Entre las actividades más importantes para la mejora de la calidad Casals (1997) propone la adopción de nuevas tecnologías, revisión de los procesos para reducir los índices de error, entre otras actividades derivadas de las técnicas de mejora.

Nombre de la técnica	Uso
Grupos focales	Brainstorming (lluvia de ideas) estructurado
Benchmarking	Comparación con otras firmas
Procesos de identificación e integración de equipos de trabajo	Empleados identificados con los objetivos de la empresa.
Trazado de las necesidades del cliente	Organizar necesidades del cliente; desarrollo de programas detallados.
Despliegue de la función calidad QFD	Briefing (expediente) formal, desarrollo del programa detallado.

Tabla 2.5. Técnicas avanzadas de la mejora de la calidad
Fuente: Elaboración propia adaptada de Casals (1997)

Las técnicas avanzadas de mejora de la calidad listadas en la tabla 2.5 se centran en la identificación de los procesos clave de la empresa, la apertura a nuevas ideas y la satisfacción de las necesidades de los clientes.

Nombre de la Técnica	Uso
Diagramas de flujo	Entender situaciones
Hojas de Encuesta	Reconocer/indagar
Listas de chequeo	Reconocer/Indagar
Gráficas de avance Gantt	Implementación, mostrar resultados de procesos en función del tiempo
Plan-Do-Check-Act (PECA)	Elaborar procesos de acción / retroalimentación para estructuras simples de actividad.
Escala de Likert	Medir datos subjetivos
Listas personales de chequeo de la calidad	Estructurar los efectos de los cambios individualmente.
Objetivos de calidad; establecimiento de la visión	Establecer objetivos de empresa (requerido por ISO 9000)
Gráfico de desarrollo	Asignar recursos (requerido por ISO 9000)
Gráfico de radar	Mostrar intensidades relativas entre actividades clave.
Lluvia de ideas (Brainstorming)	Generación de ideas
Multi-votación	Reducir listas de ideas; usado con brainstorming
Análisis de campos de fuerza; análisis multivariable	Entender cómo conducir y moderar fuerzas; análisis del cambio
Mejora de la calidad percibida	Entender expectativas del cliente; moldear el marketing
Presentaciones efectivas	Analizar factores en las presentaciones

Tabla 2.6. Herramientas/Técnicas básicas del Control Total de Calidad
Fuente: elaboración propia adaptada de Casals (1997)

Las herramientas básicas del control de calidad listadas en la tabla 2.6, según Casals (1997) bien aplicadas pueden contribuir a resolver gran cantidad de problemas.

2.2.3 Evaluación de la Constructividad

La evaluación de la constructividad es un análisis exhaustivo de todos los factores relacionados con la viabilidad del proyecto y se refiere a la medida en la que el diseño facilita su construcción; así como a la determinación de la cantidad de conocimiento constructivo que ha sido incorporada al diseño; por otro lado, una evaluación de la constructividad también incluye las razones por las que el diseño no pudiera construirse físicamente. Para la evaluación de la constructividad en los diseños (Loyola y Goldsack, 2010) recomiendan los siguientes mecanismos: revisiones de expertos, modelos de simulación de la construcción, retroalimentación desde la obra e instrumentos de gestión, seguimiento y evaluación del diseño desde la obra a través de listas de chequeo, registro de las lecciones aprendidas, entre otros.

El concepto de constructividad (buildability) surgió en Inglaterra entre 1960 y 1970, como una solución a la problemática de que los diseños no sean construibles y/o que los documentos de construcción presenten serias dificultades de interpretación en la fase de construcción. Una vez detectada esa problemática, diferentes investigadores, académicos e industriales propusieron aplicar el concepto de constructividad a los diseños de proyectos constructivos; ya que asociaron la pérdida de eficiencia, calidad y productividad en la industria de la construcción con la forma en que los diseñadores estaban entregando los documentos de construcción (Emmerson (1962); EDC (1967); NEDO (1975)). Más adelante, en la década de los ochenta otros investigadores como Gray (1984), Griffith (1984), Adams (1989), y Ferguson (1989), aportaron otras investigaciones sobre los efectos de la falta de conocimientos de construcción en los diseños y abundaron sobre las bondades de la constructividad como una solución para mejorar la calidad y reducir los costos durante la fase de construcción.

Fue en 1983, en Inglaterra, cuando se acotó una de las definiciones de constructividad (buildability) más aceptadas hasta el día de hoy, la cual textualmente dice: *"es la manera en la cual el diseño de un proyecto constructivo facilita su*

construcción" (CIRIA, 1983); es decir, que los diseñadores entreguen los documentos de construcción con la suficiente cantidad de detalles, especificaciones y elementos de construcción y así evitar y/o disminuir los problemas en las fases de licitación, construcción y operación de la obra.

Años después, en 1986, investigadores norteamericanos aportaron el concepto de constructabilidad (*constructability*) para referirse a la "integración óptima de los conocimientos y experiencia en construcción durante la planeación, diseño, logística y operaciones en la obra para lograr los objetivos globales del proyecto" (CII, 1986).

Aún cuando los conceptos de CIRIA y de CII son bastante parecidos, la definición de CII posee una diferencia importante en sus alcances, que consiste en que va más allá de la fase de diseño, incluyendo todas las fases del proyecto (Wong, et al., 2007), es decir, mientras que la constructividad es un atributo del diseño, que se define en esa etapa del proyecto y depende generalmente solo del equipo de diseño; la constructabilidad se refiere a la gestión eficiente del conocimiento y experiencia en construcción para optimizar todas las fases del proyecto y depende, además del conocimiento sobre constructividad de los diseñadores, de la capacidad y oportunidad que tengan los administradores del proyecto y los constructores de intervenir en el diseño, lo que a su vez depende en gran medida de las formas contractuales. No obstante esas diferencias, ambos conceptos persiguen lograr la facilidad de construcción, optimizar los recursos y cumplir con los objetivos del proyecto de la forma más eficiente posible.

Características del conocimiento en la constructividad

El conocimiento de la constructividad se inscribe dentro del conocimiento tácito, que de acuerdo a Nonaka y Takeuchi (1995) este tipo de conocimiento se caracteriza por ser muy personal, difícil de comunicar y formalizar, formado por habilidades técnicas y/o habilidades generales como percepción, intuición, entre otras. Por otro lado, también existe el conocimiento explícito, aunque en menor medida, en la forma de documentos, escritos, manuales, guías, y datos concretos. El conocimiento explícito "es un conocimiento ordenado, consistente, reusable y de fácil transferencia" (Egbu

& Robinson, 2005). Para almacenar el conocimiento organizacional existen diversos sistemas de memoria organizacional a través de las tecnologías de la información (Pérez-Soltero, 1997).

Diferencias entre constructividad e integración diseño-construcción

Existe una confusión, creencia, o interpretación generalizada de que la mayor constructividad se logrará con la integración temprana del equipo de construcción al equipo de diseño, y en efecto, en forma ideal esta sería una gran solución para los problemas de presentación de los documentos de construcción; pero en las condiciones actuales de fragmentación de la IC, esta integración a veces no es posible y es entonces que la gestión del conocimiento y aplicación de la constructividad en la fase de diseño adquiere mayor relevancia. Los principales conceptos de la constructividad se muestran en la tabla 2.7

Cuadro 11: Principales conceptos relacionados con el grado de constructividad según la literatura

	Proponen directamente estructuras de formalización											Se refieren indirectamente											
	CIBA, 1983	CI, 1987	Adams, 1990	CHA, 1993	Ferguson, 1987	Lam et al., 2006a	Lam et al., 2007	Low, 2001	Low et al., 2008a	Low et al., 2008b	Nima et al., 2001a	Nima et al., 2001b	O'Connor et al., 1987	O'Connor y Davis, 1988	Wong et al., 2006b	Andri et al., 2002	BCA, 2005	De Rio, 2005	Fischer y Tatum, 1997	Tatum, 1987	Gleislich, 1995	Hendon y Sanvido, 1995	
Flexibilidad	■					■					□		■	■	■			□					
Simplificación	■		■					■			■		■	■	■	□				□			
Prefabricación			□			■					■		■	■	■			■	□				
Pre-montaje	□	■			■	□		□			■		■	■	□								
Estandarización	■	■	■		■			■			■		■	■	■		■	■					
Modularización			■			□					■		■	■	■			□					
Mano de Obra		□	■	■	■	■		□					□	■	■				□		■	■	
Proced. Constructivos	■	□	■	□		□					■		□	□	□				□		■	□	
Secuencia de construcción	■	□	■		■			■			■		□	□	□						■	■	
Equipos y maquinarias			□	□	■	■		□			■		■	■	■	□			□		■	■	
Materiales	■		■		■	■		□			□		■	■	■	□		□		■	■	■	
Clima	□	■	□			■							■	■	■						■	□	
Terreno	■		□		□						■			■	■						□	□	
Infraestr. exterior, servicios						□								■	■							□	
Accesibilidad al sitio		■	■		■	□		□			□		■	■	■						■	■	
Espacio interior e ins faenas	□	□	■			□		□			□		□	□	□							□	■
Tiempo	■	■		■				■			■		■	■	■							□	■
Información, comunicación	□	■	■		■	■		■			□		□	□	□						□	■	
Coordinación de proyecto	□	■	□			□		□			□		□	□	□						□	■	
Sistema contractual											■											■	
Tolerancias	■		□		■	■		■							■						■	■	
Seguridad en obra			■			■		□							■						■	■	

■ lo menciona en forma explícita □ lo menciona en forma implícita

Tabla 2.7. Principales conceptos asociados con el grado de constructividad
Fuente: (Loyola & Goldsack, 2010)

Panorama general de los sistemas de organización de conocimientos de constructividad

CIRIA (1983) y CII (1987) constituyen las bases fundamentales de la formalización de la constructividad. CIRIA establece una estructura de 7 principios generales y 24 reglas o recomendaciones específicas derivadas de estos principios generales. Los 7 principios generales establecidos por CIRIA (1983) son los siguientes: 1) Desarrollar una investigación rigurosa de todo lo concerniente al diseño constructivo, 2) Planificar el diseño considerando las necesidades esenciales del sitio donde se construirá, 3) Planificar para una secuencia práctica de operaciones y un cierre adelantado o sin retrasos, 4) Planificar para un montaje simple y secuencia lógica de actividades, 5) Especificar los detalles con el máximo de repetición y estandarización, 6) Especificar los detalles con tolerancias alcanzables, y 7) Especificar materiales adecuados y robustos.

Por su parte CII (1987) establece también 7 principios generales y alrededor de 150 recomendaciones específicas derivadas. Los 7 principios generales establecidos por CII (1987) son los siguientes: 1) Diseño y programación están guiados por las necesidades de los procesos constructivos, 2) Los diseños están configurados para facilitar una construcción eficiente, 3) Los elementos de diseño están estandarizados y se maximiza su repetición, 4) Los elementos prefabricados son preparados para facilitar la fabricación, transporte y montaje, 5) Los diseños facilitan la accesibilidad de mano de obra, materiales y equipos, 6) El diseño facilita la construcción bajo condiciones climáticas adversas, y 7) El cliente, diseñador y constructores revisan las especificaciones en detalle y simplifican los procesos constructivos en terreno.

O'Connor y Miller (1994) evaluaron la presencia de barreras para la constructividad a través de entrevistas a profundidad entre representantes de 62 empresas que afirmaban tener un programa de constructividad. Para ese estudio entrevistaron a 26 propietarios, 8 diseñadores, 20 diseñadores-constructores, 14 contratistas generales, y 12 administradores de empresas constructoras.

El resultado del estudio arrojó que las principales barreras generales para

implementar la constructividad son las mostradas en el tabla 2.8

Barrera	Descripción
1	Conformismo con el status quo actual.
2	Resistencia a invertir dinero extra y esfuerzos en las fases tempranas del proyecto de construcción.
3	Limitaciones por el tipo de licitación.
4	Ausencia de experiencia en construcción en el equipo de diseño.
5	La percepción de parte de los diseñadores que "tenemos la razón" o "somos el proyecto".
6	Ausencia de respeto mutuo entre diseñadores y constructores.
7	Llamada tardía del equipo de construcción, como para aportar valor.
8	Creencia de que no existen pruebas del beneficio de la constructividad.

Tabla 2.8. Barreras para la constructividad

Fuente: elaboración propia, basada en (O'Connor & Miller, 1994)

De acuerdo a un estudio realizado por (Giménez y Suárez, 2008) las dificultades más comunes que se presentan en las obras durante la fase construcción por falta de constructividad son: Modificaciones al diseño durante la ejecución, inconveniencias con el diseño, falta de ingeniería de detalles, contrariedades con los permisos, inconvenientes de abastecimiento, problemas con el clima, dificultades de financiamiento, entorpecimientos por exigencias de la comunidad, re-trabajos (trabajos re-hechos), dificultades con los estudios preliminares (topografía, replanteo, estudio de suelos), problemas con equipos, maquinarias y herramientas, ausencia de proyecto de diseño, falta de supervisión del trabajo, complicaciones con el terreno (nivel freático, grandes desniveles, accesibilidad), problemas legales (expropiaciones, permisos, de paso), y accidentes en el trabajo, entre otros.

Por otro lado, (Loyola y Goldsack, 2010) mencionan que se han documentado factores y mecanismos inherentes a las fases del diseño que si son contemplados aumentan su constructividad y son los siguientes factores y mecanismos:

Factores

- Internos a la obra. Son aquellos que pertenecen a la categoría de condiciones de trabajo y que se ven directamente afectados por las decisiones del equipo de diseño del proyecto, tales como mano de obra, procedimientos constructivos, materiales, herramientas y equipos.

- Externos a la obra. Como consideraciones climáticas, terreno, accesibilidad, y tiempo.
- Factores transversales. Aquellos que son propios del trabajo en equipo del diseño del proyecto y no guardan relación con las condiciones del trabajo en la obra de construcción, como comunicación y coordinación, entre otros.

Mecanismos

- Revisiones de expertos. Consisten en una revisión sistemática y exhaustiva del expediente del diseño por un equipo de expertos en construcción, quienes basados en su propia experiencia y conocimiento, prevén los problemas e informan a los diseñadores los puntos que requieren mejoramiento.
- Modelos de simulación. Lo que se simula es la construcción física, pueden ser modelos físicos o virtuales; en forma tradicional son las maquetas, en forma virtual se realiza con tecnología y conceptos de BIM, entre otros.
- Retroalimentaciones desde obra. Aunque propiamente no es un método de incorporación de conocimiento al diseño porque funciona a posteriori, se menciona porque podría ser útil para futuros diseños.
- Instrumentos de control de gestión, seguimiento y evaluación del diseño en obra. Se hace a través de registros escritos con herramientas como listas de chequeo, matrices, registros de lecciones aprendidas, entre otros.

2.2.4 Evaluación de la capacidad y madurez de los procesos.

Montgomery (2009) define la evaluación o estimación de la capacidad de los procesos como un estudio de ingeniería, que a través de distribuciones de probabilidad predice que tanto los procesos se mantendrán dentro de las tolerancias, y ayudarán a los desarrolladores / diseñadores a seleccionar o modificar los procesos para la reducción de su variabilidad; entre otros aspectos relevantes.

La evaluación de la capacidad de los procesos es una actividad que forma parte del control de calidad, la cual se lleva a cabo una vez que los procesos están bajo el control estadístico. La capacidad del proceso se mide comparando la salida de un

proceso bajo control con índices de capacidad. Los índices de capacidad de los procesos se popularizaron a partir de que Juran (1951) en el manual de control de calidad publicó algunos índices de capacidad de desempeño de los procesos. Las primeras mediciones de capacidad de los procesos estaban orientadas hacia la industria de manufactura. Posteriormente se desarrollaron modelos para procesos administrativos, para la ingeniería de software y en la actualidad existen modelos de evaluación de la capacidad en muchas otras áreas, entre ellas la IC. Para la medición de la capacidad de los procesos relacionados con tecnologías de información, las bases se encuentran en el ISO-15504.

A continuación se describen brevemente algunos modelos de capacidad y madurez de los procesos.

Capability Maturity Model Integration (CMMI) son modelos para evaluar la capacidad y madurez de los procesos de una organización. Estos modelos han sido desarrollados por miembros de la industria, gobierno y la pionera en este concepto fue la Universidad Carnegie Mellon. Inicialmente se desarrollaron para los procesos de adquisición e implementación de software del SEI (Software Engineering Institute) con fondos del departamento de la Defensa de Estados Unidos. Este modelo establece una serie de prácticas en áreas clave de los procesos; las cuales son agrupadas en los siguientes niveles llamados de “madurez”: inicial, repetible, definido, administrado, y optimizado.

Los modelos de madurez se basan en los conceptos y principios para los procesos desarrollados por Crosby, Deming y Juran, entre otros filósofos y promotores del concepto de calidad total. La figura 2.7 muestra las tres dimensiones que interactúan con los procesos, las cuales son procedimientos y métodos; las personas con sus habilidades, entrenamiento y motivaciones; y los equipos y herramientas (CMU, 2010b). Los procesos dirigen a la evolución y proporcionan una manera de incorporar conocimiento sobre cómo hacer mejor las cosas en las organizaciones.

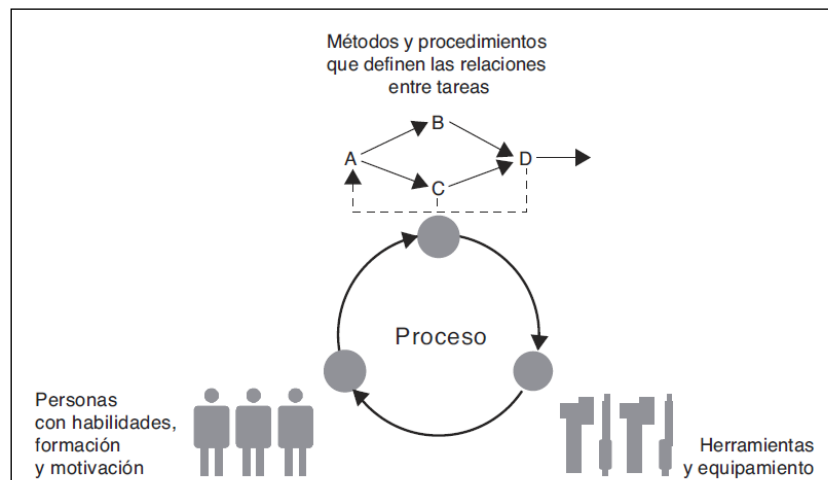


Figura 2.7. Las tres dimensiones de los procesos
Fuente: (CMMI product Team, 2010)

Definición de los niveles de CMMI. A continuación se describen los criterios para ubicar las actividades que se desarrollan en los procesos en los diferentes niveles.

Nivel 1, Proceso Inicial. En este nivel la organización por lo general no proporciona un entorno estable para apoyar los procesos. El éxito depende de las personas, de su actitud y propia motivación, y no en el uso de procesos probados. A pesar de todo existen varios grados de control administrativos, han sido descrito como “ad hoc” o caóticos. En este nivel puede haber resultados pero no de una manera sistematizada, con mucha frecuencia se supera el presupuesto y no se cumplen las fechas de entrega.

Nivel 2, Proceso repetible. Se ha logrado un proceso estable, con una administración rigurosa, con compromisos, se conocen los costos y programa (fechas de entrega). En este nivel se emplea gente calificada, con los recursos adecuados para producir resultados que benefician a todos los involucrados y se adecúan a la descripción de los procesos. La disciplina adquirida en este nivel asegura que las buenas prácticas se mantengan durante los momentos de tensión o estrés. Los planes se llevan a cabo mediante procedimientos documentados.

Nivel 3, Proceso definido. Se han establecido los procesos como base para la ejecución consistente, el riesgo del proyecto por la introducción de nuevas

tecnologías se ha reducido. En este nivel ya se han establecido estándares que le dan coherencia a toda la organización. La diferencia entre el nivel dos y tres es que en el tres ya se ha alcanzado el cumplimiento de la normatividad. En este nivel los objetivos cuantitativos se basan ya en los requerimientos del cliente, los usuarios finales, la organización y los ejecutores de los procesos. La calidad se entiende en términos de control estadístico.

Nivel 4, Proceso Administrado. Se han puesto en marcha procesos de medición integral y análisis. En este punto es cuando las mejoras de calidad comienzan. Los objetivos cuantitativos están basados en las necesidades de los clientes, usuarios finales, organización e implementadores y ejecutores de los procesos. Se seleccionan subprocesos, se recopilan sus rendimientos y se analizan estadísticamente.

Nivel 5, Proceso Optimizado. En este nivel el proceso se administra cuantitativamente, se mejora en base a las causas comunes de variación inherentes al proceso. El enfoque es mejorar continuamente el rango de ejecución del proceso.

Las mejores prácticas CMMI se publican en los documentos llamados modelos. Actualmente cubren las áreas de Desarrollo, Adquisición y Servicios. La versión actual de CMMI es la 1.3, liberada en noviembre de 2010. Los modelos actuales son: CMMI-DEV 1.3 (CMU,2010b), apoya la mejora de las organizaciones que desarrollan software; sistemas y hardware; CMMI-ACQ (CMU,2010a), respalda a las organizaciones que adquieren software, hardware, ó sistemas de otros fabricantes; y CMMI-SVC (CMU,2010c), apoya las mejoras en las organizaciones que prestan servicios, por ejemplo salud, logística y consultoría, entre otras.

Todos los modelos de CMMI tienen la misma estructura y comparten elementos comunes, tales como la mejora de los procesos, y el apoyo a los procesos de administración de proyectos. Los modelos CMMI están estructurados en un conjunto de áreas de procesos que cubren las prácticas de las organizaciones referentes a desarrollo, adquisición o servicio. Un nivel de capacidad se puede alcanzar en cada

área de proceso; el nivel de capacidad describe el grado en el que ha sido establecido el trabajo requerido en esa área de proceso en una organización.

Los modelos CMMI también tienen niveles de madurez que describen una secuencia lógica para la mejora de los procesos, que representan un punto de referencia contra el cual se puede evaluar una organización en desarrollo y son un premio reconocido en la industria.

Las prácticas CMMI son de carácter general, por lo tanto deben adaptarse a cada organización en función de sus metas y objetivos a nivel organización y de proyectos. Dado que la institucionalización de los procesos es un concepto importante en la mejora de los mismos cuando se menciona en las metas, objetivos y prácticas genéricas, implica que el proceso está arraigado en la forma en la que se realiza el trabajo y por lo tanto existe compromiso y consistencia al ejecutarlo.

En resumen el propósito de las prácticas de CMMI es apoyar la mejora de la organización para hacerla más competitiva. Las mejores prácticas pueden ser utilizadas como: un lenguaje común, evaluar las fortalezas y debilidades de la organización objetivamente y darle prioridad a las acciones de mejora.

Diversa instituciones, organismos e investigadores han desarrollado modelos CMM para la IC; entre ellos se encuentran: The National Institute of Science a través de NBIMS, la Universidad de Stanford, a través de CIFE; el investigador Succar (2010) entre otros.

2.3 El Concepto BIM

La IC se ha estado enfrentando a un cambio de paradigma ante la necesidad de incrementar la calidad, constructividad, valor de infraestructura, sostenibilidad, y reducción de costos durante todo el ciclo de vida, reducir el tiempo de entrega y disminuir la duplicidad de trabajos, a través de la colaboración y comunicación efectiva de todos los involucrados en los proyectos de construcción (Arayici, et al., 2011). De acuerdo a Ashar et al. (2008) BIM tiene el potencial para lograr esos objetivos, ya que representa el uso y desarrollo de modelos n-dimensionales

generados por computadora para la planeación, diseño, licitación, construcción, operación y de-construcción de las obras de esta industria.

Diferentes instituciones, investigadores, académicos, e industriales de la construcción han definido BIM desde diferentes perspectivas. Antes de empezar con las definiciones, debe aclararse que BIM no es un producto que pueda encontrarse en los estantes de algún establecimiento comercial, sino que BIM es un concepto.

AIA (2008) define BIM como el Modelado de Información para la Construcción, es el conjunto de procesos y tecnologías usadas para crear una representación digital de las características físicas y funcionales del modelo.

De acuerdo a Taylor y Bernstein (2009), BIM se refiere a tecnologías y procesos de diseño tridimensional y paramétrico asistido por computadora para la industria de la construcción.

Autodesk (2011) define BIM como un método innovador para tender lazos de comunicación ágiles al interior de la industria de la construcción. Con BIM, los arquitectos e ingenieros generan e intercambian información con eficiencia, crean representaciones digitales de todas las etapas del proceso de construcción y simulan el comportamiento de manera realista, estableciendo el flujo de trabajo, aumentando la productividad y mejorando la calidad.

La Asociación General de Contratistas de América define el modelo BIM como Una herramienta de diseño de construcciones orientada a objetos que utiliza conceptos de modelado 6D (2D = largo, ancho; 3D = largo, ancho, alto; 4D = largo, ancho, alto, secuenciación; 5D = largo, ancho, alto, secuenciación, costo; 6D = largo, ancho, alto, secuenciación, costo, operación), tecnologías de información e interoperabilidad del software para diseñar, construir y operar un proyecto de construcción, y para comunicar sus detalles (AGC, 2010a).

Holder Construction (2009), define BIM como el uso generalizado de modelos de construcción digitales, con información paramétrica vinculada, para lograr datos de proyecto integrados, una mejor visualización, coordinación y detección de colisiones,

y el uso compartido de datos y su reutilización por los distintos miembros del equipo de construcción durante todo el ciclo de vida del proyecto.

BIM es un enfoque en la ejecución de proyectos que integra personas, sistemas, estructuras y prácticas de negocios en un proceso de colaboración que aprovecha el talento y las ideas de todos los participantes, para optimizar los resultados de los proyectos, aumentar el valor para el propietario, reducir los desperdicios, y maximizar la eficiencia durante todo el ciclo de vida del proyecto, es decir, desde el diseño conceptual hasta la operación de la obra Parrot y Bomba (2010).

"El Modelado de Información para la Construcción (BIM) es un proceso enfocado en el desarrollo, utilización y transferencia de información de un modelo digital de un proyecto de construcción, para mejorar el diseño, construcción y operación de un proyecto o portafolio de obras".
(NBIMS, 2012).

Una premisa básica del BIM es la colaboración entre los diferentes interesados, en las diferentes fases del ciclo de vida de la obra, para insertar, extraer, actualizar o modificar información en el modelo y de esa manera fundamentar y representar las funciones que son responsabilidad de cada interesado. El modelo BIM es una representación digital compartida que se basa en estándares abiertos para que sea interoperable (NIBS, 2007).

El ambiente del BIM se refiere a la información que acompaña la geometría de los modelos. Con el BIM es posible analizar, entender, y hasta predecir el comportamiento a través del modelado virtual. Lo anterior significa que pueden existir una gran cantidad de datos valiosos para todos los involucrados en el proyecto de diseño constructivo durante todo el ciclo de vida, desde el diseño conceptual, hasta la operación y mantenimiento de las obras. Por lo anterior, es evidente que en el BIM la mayoría de sus características se refieren a los datos y a la posibilidad de re-uso de los mismos por todos los interesados en el proyecto de construcción. En otras palabras, BIM es dinámico y el modelo se enriquece con el tiempo, a diferencia de los modelos CAD, que si bien son representaciones geométricas, no van

acompañados de suficiente información para cualquiera que desee consultar el modelo, o desee extraer información de utilidad para otras fases del proyecto, como por ejemplo la operación de las instalaciones. *"Contrastando el BIM con el CAD, este último tiende a ser estático, pues una vez liberado el proyecto, los planos comúnmente se enrollan y almacenan, mientras que el modelo BIM queda disponible para ser utilizado cuando se desee"* (AGC, 2010b). BIM es paramétrico:

"El modelado de objetos paramétricos no representa objetos con geometría y propiedades fijas. En vez de eso representa objetos mediante parámetros y reglas que determinan la geometría, así como algunas propiedades no geométricas y otras características. Los parámetros y reglas permiten a los objetos actualizarse automáticamente de acuerdo a los cambios de los usuarios o del contexto" (Eastman, et al., 2008).

BIM es tecnología, aunque es necesario resaltar que va mas allá de usar un nuevo paquete de software; ya que también establece un nuevo flujo de trabajo para los proyectos, que puede incrementar la colaboración entre los miembros del equipo de proyectos de construcción. Las herramientas tecnológicas BIM permiten obtener: visualización del diseño, clarificación de metas y alcance del diseño, coordinación espacial, detección de interferencias, secuencia de construcción, establecimiento de fases, logística, análisis, recorridos simulados a pie y aéreos, presentaciones de mercadotecnia, pre-fabricados, administración de las instalaciones, entre otros procesos AGC (2010c).

Dado que no existe una única definición de BIM, en el presente trabajo se usará BIM para referirnos a la actividad del modelado de la información para la construcción, resaltando el hecho de que BIM abarca tanto las tecnologías como los procesos de trabajo, que permiten la creación del modelo virtual de las obras de construcción.

2.4 Beneficios del BIM

El National Institute of Building Sciences establece que: *"BIM representa conceptos y prácticas que son mejoradas mediante nuevas tecnologías de*

información y estructuras administrativas, en medida tan grande que éstas reducen substancialmente las múltiples fuentes de desperdicio e ineficiencia en la industria de la construcción" (NIBS, 2012).

En Estados Unidos, la utilización de los programas BIM aplicados al desarrollo de los proyectos han demostrado una disminución del costo final de construcción estimado entre un 3% y hasta un 9% del presupuesto base, y esta es una de las razones por las que actualmente más del 50% de los dirigentes de la IC exigen tecnologías BIM para el desarrollo de sus proyectos (McGraw-Hill Construction, 2009).

La Universidad de Stanford, Centro de Servicios Integrados de Ingeniería (CIFE), cuantifica algunos de los beneficios que se obtuvieron aplicando BIM en 32 grandes proyectos: hasta un 40% la eliminación de los cambios no presupuestados, precisión de la estimación de costos a menos de 3%, una reducción de hasta el 80% del tiempo empleado para generar una estimación de los costos, un ahorro de hasta un 10% del valor del contrato a través de detecciones de interferencias y conflictos, hasta el 7% de reducción en el tiempo del proyecto (CIFE, 2007).

Por otro lado, Barlish (2011), realizó una revisión literaria en más de 600 fuentes acerca de los beneficios de BIM y encontró que los más significativos se proyectan desde las fases del diseño; el orden de importancia de los beneficios de BIM que se encontró en este estudio es el siguiente: 1) el programa de obra, 2) la coordinación y secuenciación, 3) la disminución de re-trabajos, la visualización del proyecto, la productividad durante todo el ciclo de vida, la disminución de los costos, 4) mejoras en la comunicación, conflictos físicos, detección de colisiones, 5) mano de obra, seguridad, 6) órdenes de cambio, mantenimiento de las obras, calidad, y 7) simulación, construcción tal como el diseño, disminución de los costos de los proyectos "pilotos" y prototipos.

A continuación se presenta una lista de beneficios del BIM, obtenidos de una revisión literaria de las siguientes fuentes: AGC (2010a), Langdom (2012), AIA (2012), NIBS (2007), Yan y Damian (2008), CIFE (2008), Ashar et al. (2008), entre otras fuentes.

1. La colaboración total entre los miembros del equipo de proyecto.
2. Permite el almacenamiento de información del proyecto de una manera tal que facilita que esta información sea compartida entre las fases y las disciplinas de los proyectos constructivos durante todo su ciclo de vida.
3. Facilita el desarrollo y manipulación de los modelos digitales de los proyectos para refinar el diseño, probarlo y validarlo.
4. En el concepto BIM, cada entidad geométrica puede tener un significado simbólico o abstracto, así como cualitativo o cuantitativo.
5. Reutilización efectiva de información a través del conocimiento almacenado en las bases de datos, entre los que se puede mencionar materiales de construcción, códigos de clientes, proveedores, elementos prefabricados, entre otros.
6. Almacenamiento de las lecciones aprendidas de proyectos anteriores realizados por la empresa
7. Habilitado de la comparación, interrogación y comparación de información compartida entre los diferentes interesados en los proyectos de construcción remota.
8. Automatización de la calidad, tiempo, y costos generando: los documentos de construcción, reportes de cantidades de obra automáticos, generación instantánea de los modelos, detección de colisiones y errores de diseño en las fases tempranas del proyecto, compartición e intercambio de información, mayor flexibilidad para satisfacer a los clientes, trabajo simultáneo con los asesores de la compañía.
9. Capacidad y posibilidad de asegurar la consistencia y precisión de los documentos de construcción para la entrega oportuna de los materiales en la obra.
10. Diseño efectivo y revisión técnica de los proyectos de construcción para evitar problemas potenciales que se pudieran presentar, tales como cambios en las especificaciones, en los materiales, en la planeación y programación.

11. Liderar en forma ágil y fluida el proceso de diseño en toda la compañía
12. Distribución efectiva de la información a los interesados externos.

2.5 Revisión de metodologías de implementación de BIM

La implementación de BIM en la IC está siendo promovida por autoridades gubernamentales, académicas, investigadores, organizaciones y empresarios del ramo de la construcción, entre otros interesados en proyectos constructivos con mayor eficiencia, calidad y constructividad y como una manera de contribuir a que el BIM se convierta en un estándar internacional para el sector, estos organismos e instituciones están liberando propuestas metodológicas, en la mayoría de los casos de uso abierto y gratuito para su implementación.

En este trabajo de tesis se escogieron 4 metodologías para analizar; las cuales se seleccionaron porque han sido desarrolladas desde las siguientes perspectivas: 1) Desde el punto de vista de una empresa desarrolladora de Software (Autodesk, 2010), 2) desde el punto de vista de los clientes (Indiana University, 2009), 3) desde el punto de vista de una asociación de empresarios de la IC (AEC UK Committee, 2012), en respuesta a la institucionalización del BIM en el gobierno de UK, y 4) desde el punto de vista de una institución líder en la creación de estándares (NIBS, 2012), desarrollado por una institución académica (Universidad de Pensilvania).

A continuación se presentan breves resúmenes de las metodologías para la implementación de BIM mencionadas, resaltando algunas propuestas relevantes contenidas en ellas.

2.5.1 Propuesta desarrollada por Autodesk.

En 2010, Autodesk colocó en su sitio web, una propuesta para la implementación del concepto BIM, a la cual denominó BIM Deployment Plan (Autodesk, 2010). El plan de implementación del concepto BIM que propone esta empresa está dividido en las dos secciones siguientes:

1. Plan de Implementación de BIM desde un enfoque organizacional
2. Plan de Implementación de BIM desde un enfoque hacia el proyecto

Cada una de las secciones de la propuesta de Autodesk para la implementación del BIM está formada por las fases que se muestran en la tabla 2.9

Fase	Enfoque organizacional	Enfoque hacia el proyecto
1	Visión organizacional	Arranque del proyecto
2	Plan de modelado	Plan de modelado
3	Plan de consultoría	Documentación contractual
4	Plan de implementación de sistemas	Plan de modelado detallado
5	Plan de colaboración corporativo	Plan de análisis de los modelos
6	Plan de tecnología corporativa	Plan de colaboración y comunicación
7	-----	Plan tecnológico

Tabla 2.9. Fases de Autodesk para la implementación del concepto BIM

Fuente: elaboración propia

En la figuras 2.8 se muestra un resumen de las fases y actividades principales que se llevan a cabo en la implementación de BIM con enfoque organizacional.

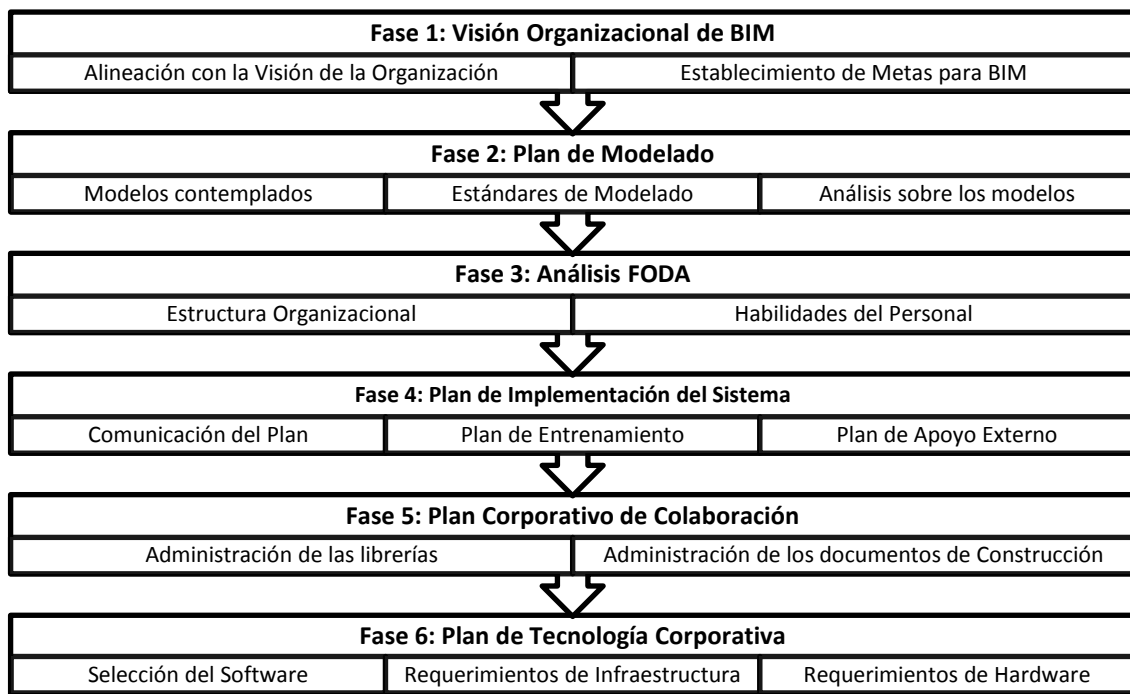


Figura 2.8. Fases de Autodesk para la implementación del concepto BIM desde el punto de vista organizacional

Fuente: Adaptado de Autodesk (2010)

A continuación se describen brevemente las fases propuestas por Autodesk para la implementación de BIM desde el punto de vista organizacional.

Fase 1, Visión organizacional para BIM: Autodesk propone que cada organización defina una visión para el BIM, la cual deberá incluir las metas y objetivos exclusivos del BIM y estos deberán estar alineados con la visión corporativa global de la organización.

Fase 2, Plan de modelado: La metodología de Autodesk establece que se evalúen los diferentes tipos de diseños que se planea modelar, se establezcan estándares para el modelado, y se revisen las diferentes opciones de análisis para los modelos.

Fase 3, Análisis FODA (Fortalezas Oportunidades, Debilidades y Amenazas): Se propone realizar un análisis de la estructura organizacional actual, habilidades del personal, servicios de consultoría externos requeridos y detección de necesidades de entrenamiento.

Fase 4, Plan de implementación del sistema: Autodesk propone que la organización se apoye en servicios de consultoría externa para la generación del programa de ejecución de BIM, y es en esta fase donde se deben definir los procesos de comunicación, de entrenamiento, y el plan de soporte necesario.

Fase 5, Plan corporativo de colaboración: Se establecen las reglas de comunicación, compartición, y consulta de la información creada por las nuevas tecnologías BIM; ya que en algunos casos la organización solo deberá reforzar los protocolos existentes de comunicación, y en otros casos las tecnologías BIM obligarán a re-evaluar completamente la forma de colaboración de la organización.

Fase 6, Plan de tecnología corporativa: La organización deberá evaluar la capacidad y accesos de los usuarios a la tecnología instalada, y contrastarla con los requerimientos tecnológicos que demanda el BIM. En esta evaluación por lo menos se deben incluir los requerimientos de software, infraestructura, y hardware.

En la figura 2.9 se muestra un resumen de las fases y actividades principales que se llevan a cabo en la implementación de BIM con enfoque hacia el proyecto.

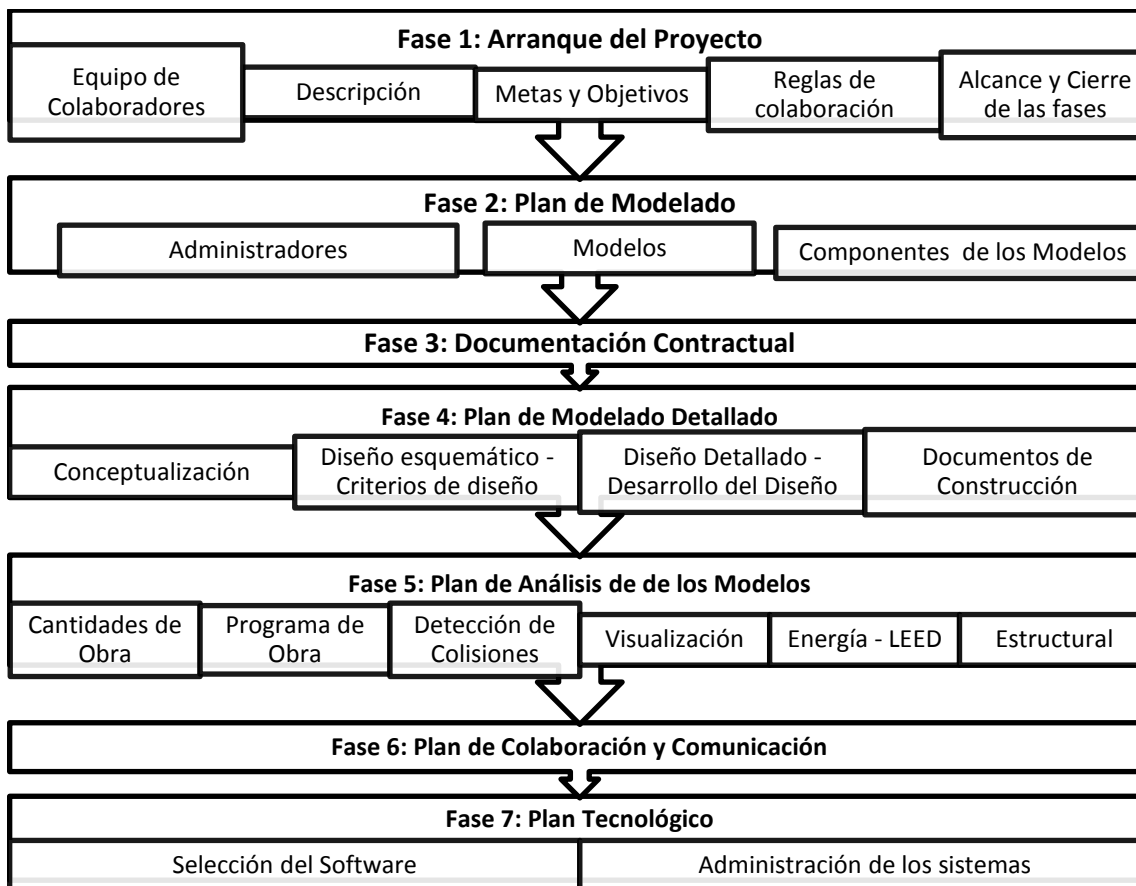


Figura 2.9. Fases de Autodesk para la implementación del concepto BIM desde el punto de vista del proyecto

Fuente: Adaptado de Autodesk (2010)

A continuación se describen brevemente las fases propuestas por Autodesk para la implementación de BIM desde el punto de vista del proyecto.

Fase 1, Arranque del proyecto: Definición del equipo de colaboración central, los objetivos del proyecto, las fases del proyecto y el plan general de comunicación a través de las fases del proyecto, tomando en cuenta el tipo de licitación o contratación.

Fase 2, Plan de modelado: Tomar la decisión lo más adelantado posible sobre cuáles modelos se van a crear durante las diferentes fases del proyecto; así como quiénes serán los responsables de su actualización y distribución. También el contenido y formato de los modelos se anticipa tanto como sea posible. Ejemplos de

modelos, civil, arquitectónico, estructural, instalaciones, construcción, entre otros, que dependen enteramente del tipo y naturaleza del proyecto.

Fase 3, Documentación contractual: Definir los planos y documentos impresos que deben ser generados y entregados según el contrato y las bases de licitación.

Fase 4, Plan de modelado detallado: Definición para cada una de las fases del diseño constructivo los objetivos, el alcance del proceso de modelado en cada fase, la delimitación de responsabilidad, entre otros aspectos exclusivos de cada fase.

Fase 5, Plan para el análisis de los modelos: Hacer listas y especificar los tipos de análisis para el proyecto, para asegurar que los modelos principales incluyen la información relevante. Ejemplo de análisis, reportes de cantidades, programación, detección de colisiones, entre otros.

Fase 6, Plan de colaboración y comunicación: Establecer las reglas y formas de comunicación, compartición y consulta de información tan anticipadamente como sea posible. Ejemplos de formas de comunicación, mensajería, minutas de las juntas y agendas, correspondencia, administración de los documentos, permisos y accesos, carpetas y archivos, mantenimiento de carpetas y archivos, entre otros.

Fase 7, Plan de tecnología para el proyecto: Definición de la tecnología corporativa para el proyecto, que incluye la selección de los sistemas de software BIM, definición de los requerimientos en materia tecnológica y responsabilidades administrativas.

Acerca de la metodología de Autodesk es importante mencionar que la aportación que hizo esta empresa es de aplicación universal en los proyectos de diseños constructivos y no exclusiva para el software BIM de Autodesk.

2.5.2 Propuesta desarrollada por AEC UK Committee.

En mayo de 2011, el Gobierno del Reino Unido (Gran Bretaña), hizo oficial que para el año 2016 todos los proyectos constructivos del sector público de ese país tendrían que ser documentados bajo el concepto BIM (UK Cabinet Office, 2012). En respuesta a ese anuncio, los profesionales de la IC de ese país por medio del comité

denominado 'AEC UK Committee' elaboraron propuestas de implementación del concepto BIM; como un esfuerzo de interpretación y estandarización de los protocolos para BIM establecidos por el gobierno, con la intención de ayudar al sector de la construcción a trabajar el BIM de una manera consistente y coordinada, sobre todo a las pequeñas empresas; ya que según Nigel Davies presidente del comité BIM de la AEC (UK), "La industria de la construcción del Reino Unido está atravesando por un periodo emocionante de cambios rápidos y la estrategia para BIM del Gobierno está afectando a todos nosotros, el sector privado y público, dado que sus especificaciones son demasiado técnicas" (AEC (UK) chair, 2012).

A continuación se describen brevemente las fases propuestas por el AEC UK Committee para la implementación de BIM.

Fase 1, Establecimiento de las mejores prácticas: Para el BIM y para la generación de los documentos de construcción. Con respecto al BIM, en esta fase se establece la necesidad de una metodología para la ejecución del proyecto BIM, que incluya revisiones periódicas del proyecto para asegurarse de la integridad de los modelos y de la continuidad del flujo de trabajo, la elaboración de directrices de colaboración interna y externa para mantener la integridad de los datos electrónicos, subdivisión de los modelos entre disciplinas, establecer el nivel de detalle del modelado, entre otras prácticas. Con respecto a los documentos de construcción, en esta fase se establece que todos los documentos emanados de BIM deberán seguir las normas y reglas del dibujo tradicional, es decir evitar cotas, vistas, y detalles redundantes, o no requeridos, entre otras prácticas que dependen del tipo de proyecto.

El plan de implementación del concepto BIM que propone el AEC UK Committee se puede agrupar en 10 fases, las cuales se muestran en la figura 2.10.

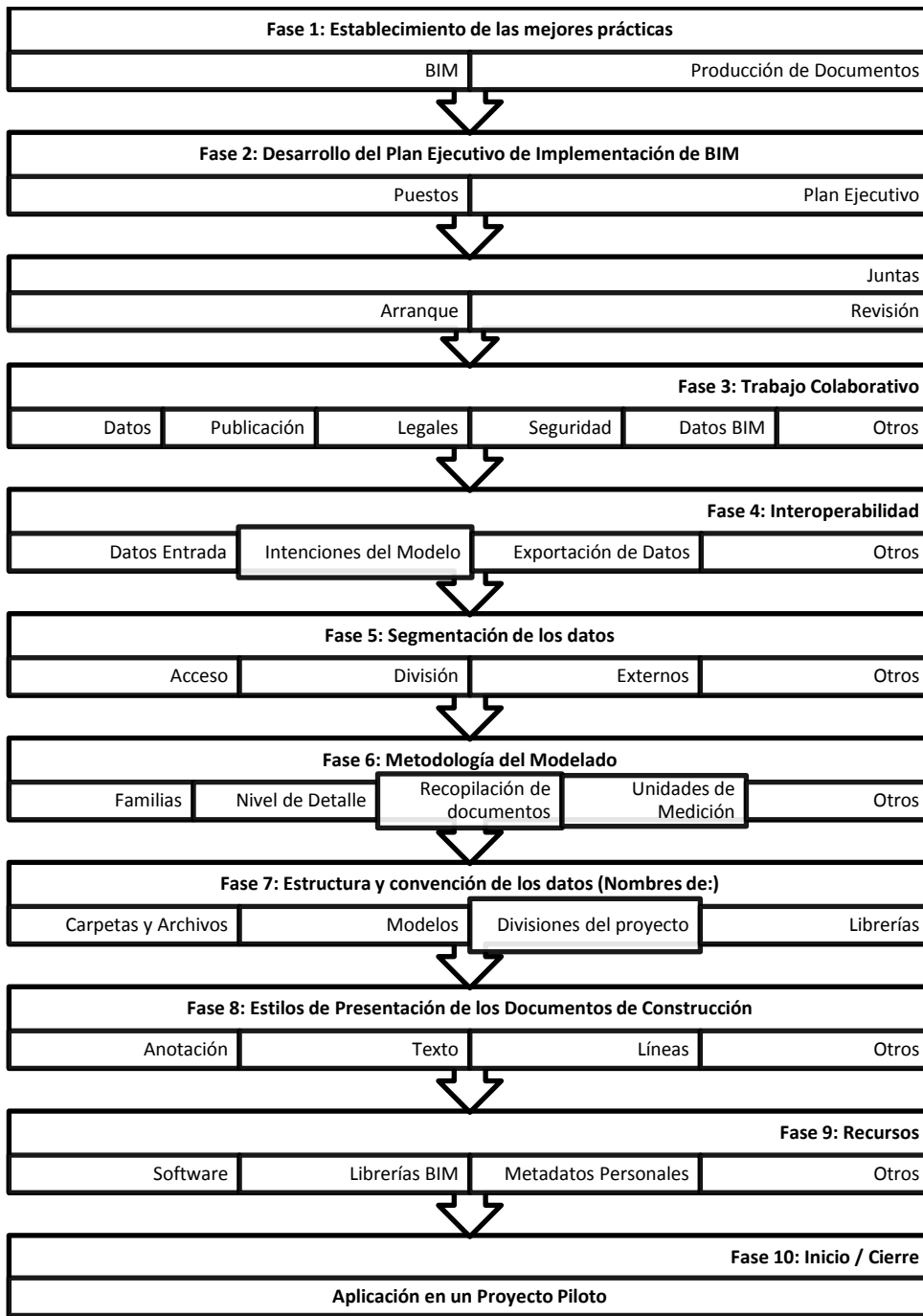


Figura 2.10. Fases de la implementación de BIM propuesta por de AEC UK Commitee
 Fuente: Elaboración propia, adaptado de AEC UK Commitee (2011)

Fase 2, Plan del proyecto ejecutivo para BIM: Se crea el proyecto ejecutivo para la implementación de BIM, teniendo en mente aspectos como colaboración,

establecimiento de un lenguaje común para los puestos de trabajo, descripción de puestos y responsabilidades.

También en esta fase se establecen los objetivos estratégicos para BIM, como son los objetivos corporativos BIM, los procesos y flujos de trabajo, la creación de estándares y protocolos, las estrategias de entrenamiento, la creación del administrador de BIM, diferenciándolo claramente del administrador CAD, entre otras actividades que se realizan en esta fase.

Fase 3, Trabajo colaborativo: Se establecen los ambientes para el manejo de los datos y la información. Se proponen las siguientes categorías para los datos comunes: compartidos, publicados, trabajo en progreso y archivados.

Fase 4, Interoperabilidad: Se abordan los procesos de comunicación y transferencia de datos e información entre los diferentes paquetes de software involucrados en el BIM; ya sea que se trate de herramientas de visualización, detección de colisiones, análisis, programación, o cualquier otro proceso diferente al del modelado, por ejemplo exportar e importar datos.

Fase 5, Segmentación de los datos: Se definen los procedimientos y reglas para trabajar en ambientes multiusuario, se contemplan y analizan todas las variables tales como plataformas tecnológicas, la colaboración interdisciplinaria, la eficiencia en proyectos grandes, entre otros aspectos importantes del manejo de datos y de información compartida por varios usuarios.

Fase 6, Metodología del modelado: El enfoque es el desarrollo del plan para llevar a cabo los diseños con todos sus elementos desde las fases tempranas, y de esa manera facilitar la reutilización de datos de todas las disciplinas involucradas, durante todo el ciclo de vida del proyecto.

Fase 7, Estructura y convención de nombres de las carpetas de datos: Se define todo lo concerniente al almacenamiento de datos, desde los servidores, convenciones de nombres para las carpetas y archivos, plantillas estándar, nombre

para los modelos, librerías, códigos de clasificación para el nivel de detalle, nombre de las vistas, nombre de los documentos de construcción, entre otros aspectos importantes para mantener las bases de datos bien organizadas.

Fase 8, Estilos de presentación: Se define todo lo relacionado con la apariencia y calidad de presentación e impresión de los documentos de construcción. Algunos aspectos que se consideran son las características del texto, grosores de líneas, patrones de relleno, estilos de líneas, estilos de acotación, simbología, entre otros aspectos de presentación que regula el gobierno de UK.

Fase 9, Recursos: Se define todo lo concerniente al manejo de los recursos como software, librerías BIM, ubicación de las librerías principales, entre otros aspectos importantes para el BIM.

Fase 10, Inicio/Cierre: Elección del proyecto piloto para aplicación de la metodología de implementación de BIM. En este aspecto se recomienda que sea un proyecto típico de la organización, que sea sencillo, y sobre todo uno con el que todos los integrantes del equipo de diseño estén familiarizados.

2.5.3 Propuesta de la Universidad de Indiana (IU).

En Julio de 2012, la Universidad del estado de Indiana, de los Estados Unidos, puso a disposición de sus contratistas, ingenieros y arquitectos la última revisión de los lineamientos y estándares BIM, con carácter obligatorio para todos sus proyectos con una inversión mayor a cinco millones de dólares (IU Architects Office, 2012); e igualmente colocó en su sitio web las plantillas para la ejecución de BIM, entre otros documentos útiles para la transición (Indiana University, 2009).

En las plantillas de implementación de BIM la IU contempla las fases que se muestran en la figura 2.11.

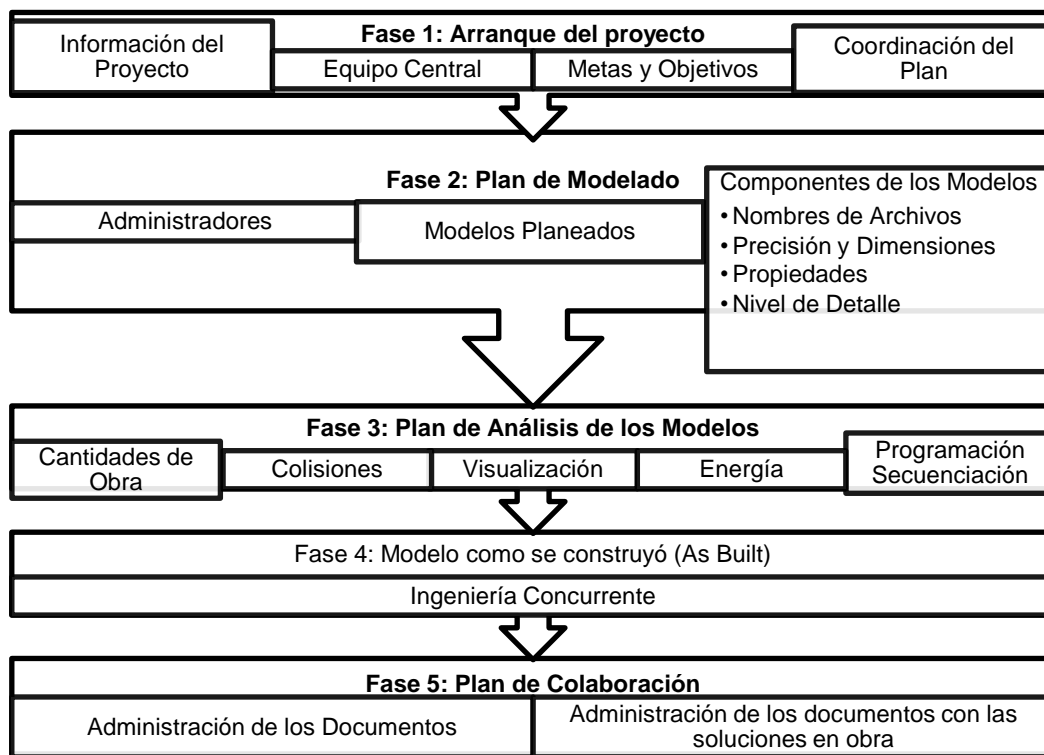


Figura 2.11. Fases de implementación de BIM propuesto por IU
Fuente: Elaboración propia, adaptado de Indiana University (2009)

A continuación se describen brevemente las fases propuestas por IU en su propuesta de implementación del BIM.

Fase 1, Arranque del proyecto BIM: Se define el equipo central de colaboración, se recaba toda la información del proyecto, se definen los objetivos y las fases del proyecto, así como las metas y objetivos para el BIM. También en esta fase se realiza un mapeo conceptual de todo el proyecto constructivo para establecer relaciones entre las fases del diseño constructivo y las fases de implementación del BIM, así como la asignación y delimitación de responsabilidades entre los involucrados.

Fase 2, Plan de Modelado: Se definen los modelos a crear durante las diferentes fases del proyecto, se define a los responsables de actualizar y distribuir los modelos, además se pre-determina el formato de los modelos tanto como sea posible, con la intención de que el proyecto se ejecute en forma fluida, eficiente, y con costos efectivos en cada una de las fases del diseño.

Fase 3, Plan de análisis: Definición de los análisis que se planea obtener de los modelos, tales como reportes de cantidades (quantity takeoff), programación, visualización, energía, estructural, detección de interferencias, entre otros análisis que se requiera realizar sobre los modelos.

Fase 4, Creación del modelo ‘tal como se construyó’ (As Built): Se lleva a cabo en la fase de construcción y significa crear los modelos de nuevo, de tal manera que reflejen los cambios sobre el diseño a medida que se va ejecutando la obra. Se recomienda hacer uso de técnicas de ingeniería concurrente para documentar los modelos durante la construcción.

Fase 5, Plan de colaboración: Definir tan temprano como sea posible, los permisos, y la estructura de los archivos, para lograr una comunicación, compartición y consultas eficientes a través de todas las fases del proyecto. En esta fase se toman decisiones acerca de si la colaboración se dará a través de la red (web-based), intranet, autorización de quiénes pueden tener acceso remoto al proyecto, creación de los perfiles de usuarios y permisos sobre los modelos, entre otras muchas actividades que requieren especial atención y cuidado relacionadas con la seguridad informática.

2.5.4 Propuesta del Instituto Nacional de Ciencias (NIBS).

Esta propuesta es un producto de The building Smart Alliance (bSA), basada en los estándares NBIMS. En 2007, la Fundación Charles Pankow y otros patrocinadores, otorgaron fondos al programa de investigación de la Construcción Integrada por Computadora (The Computer Integrated Research Program) de la Universidad del estado de Pensilvania, de los Estados Unidos, para que desarrollaran una guía para la planeación de proyectos de ejecución de BIM, a la cual denominaron *Project Execution Planning Guide*, con el propósito de desarrollar y difundir procedimientos estructurados para la adopción de BIM en proyectos y en organizaciones de la IC (CIC, 2011).

Esta guía proporciona un procedimiento de implementación de BIM en las cuatro fases que se muestran en la figura 2.12

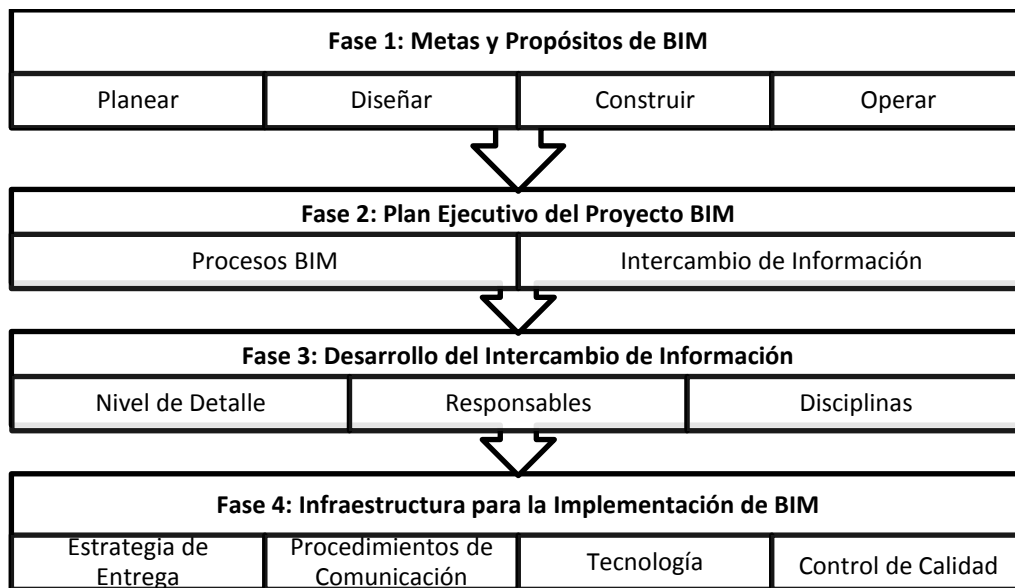


Figura 2.12. Fases de implementación de BIM desarrolladas

Fuente: Elaboración propia, adaptado de CIC(2011)

A continuación se describen brevemente las fases propuestas por CIC en su propuesta de implementación de BIM

Fase 1, Metas y propósitos para BIM: Se identifican y establecen claramente las metas y propósitos para el BIM en todas las fases del proyecto constructivo, tomando en cuenta los retos, riesgos y oportunidades que presenta el proyecto; entre las metas para BIM se pueden mencionar reducción del programa de obra y costos, e incremento de la calidad global del diseño; por otro lado, algunos propósitos para BIM son revisiones al diseño, coordinación 3D, estimación de los costos, entre otros.

Fase 2, Plan del proyecto ejecutivo BIM: Una vez que se han identificado las metas y propósitos para el BIM en este proyecto constructivo, es necesario visualizar el proyecto de implementación en forma integral y diseñar una estrategia o metodología de implementación, en la cual se detalle en forma general y paso a paso los procesos y actividades para la ejecución del proyecto BIM, teniendo siempre en mente a dónde se quiere llegar.

Fase 3, Desarrollo del intercambio de información: La meta principal es definir los métodos para el intercambio de información, y definir claramente qué información es necesario entregar/recibir para cada propósito del BIM. En esta fase también se define quiénes reciben la información y se delimitan responsabilidades, sobre la autoría, exactitud y seguridad de la misma; se verifica la interoperabilidad entre las diferentes herramientas de software; entre otras actividades importantes para el manejo de los datos e información que dependen de la naturaleza de cada proyecto constructivo y especialmente de los propósitos establecidos para el BIM.

Fase 4, Infraestructura para la implementación de BIM: Se definen los requerimientos de infraestructura organizacional y del proyecto para lograr una implementación efectiva de BIM, tal como se planeó en la fase 2. Los autores de esta metodología proponen 14 categorías del proyecto que requieren soporte, las cuales son: plan de ejecución del proyecto BIM, información del proyecto, contactos clave, roles organizacionales y consultores, proceso de diseño BIM, intercambio de información, requerimientos de los datos BIM, procedimientos de colaboración, control de la calidad, requerimientos de infraestructura tecnológica, estructura de los modelos, entregables del proyecto, y estrategias de licitación / contratación.

A continuación se presenta un resumen de las categorías de información encontrada en la revisión de las cuatro metodologías.

1. Información general del proyecto de ejecución del BIM, explicación de la razón para la creación del plan de implementación.
2. Información del proyecto, el plan de ejecución deberá incluir la información crítica sobre el proyecto, como número, localización, descripción, y las fechas críticas de programación y entregas para futuras referencias.
3. Información de los contactos clave para el proyecto.
4. Metas del proyecto y objetivos para el BIM.
5. Asignación de puestos del personal en la organización, consultores, y nombramiento del coordinador del proyecto de ejecución del BIM.

6. Proceso del diseño constructivo para BIM, esta sección claramente deberá mostrar la ejecución del proceso de diseño a través de la utilización de diagramas de flujo.
7. Intercambio de información BIM, los elementos y el nivel de detalle requerido de los modelos deberán ser claramente definidos en los requerimientos de intercambio de información.
8. Datos BIM y requerimientos de la obra terminada, los requerimientos del propietario (cliente) deberán ser documentados y entendidos.
9. Procedimientos de colaboración, el equipo deberá desarrollar los procedimientos para la colaboración y e intercambio de información (ejemplo, estructuras de archivo, permisos, entre otros).
10. Procedimientos para el control de calidad, un procedimiento para asegurar que los participantes en el proyecto cumplan con los requerimientos, los cuales deberán ser monitoreado durante todo el proyecto.
11. Requerimientos de infraestructura tecnológica, el hardware, software, y la infraestructura de red requerida para ejecutar el plan deberá ser definida.
12. Estructura del modelo, el equipo deberá discutir y documentar aspectos tales como la estructura del modelo, estructura de los nombres de archivos, sistemas de coordenadas y estándares de modelado.
13. Entregables del proyecto, el equipo deberá documentar los entregables requeridos por el cliente (propietario).
14. Estrategia de entrega (licitación) / Contratos, se deberá documentar la estrategia de entrega (DB, DBB) lo cual impactará ampliamente la implementación, y también tendrá impacto en el lenguaje a ser incorporado dentro de los contratos para asegurar una exitosa implementación.

2.6 Revisión de Modelos de Evaluación de la Capacidad y Madurez de implementación de BIM

El BIM está obteniendo cada vez más adeptos entre el gremio de la IC, sin embargo, el nivel en la calidad de su ejecución varía entre los diferentes interesados que lo están adoptando, en parte debido a que no existe alguna estandarización oficial en su aplicación o implementación (Giel y Raja, 2012). Por otro lado, diferentes organizaciones, líderes de la IC, académicos e interesados en general, conscientes de la importancia de que la calidad en la implementación del BIM debe ser evaluada, han desarrollado modelos para medir la capacidad y madurez. A continuación se describen brevemente algunos de esos modelos.

2.6.1 Propuesta de NIBS, ICMM

En el año 2007, el NIBS a través de BSA publicó y liberó en su sitio web el Modelo Interactivo de Capacidad y Madurez (ICMM) para evaluar la implementación de BIM, establecer un nivel de calidad y cantidad de información requerido para un '*mínimo BIM*' y proponerlo como estándar.

El ICMM ayuda a evaluar los proyectos de la IC en las áreas siguientes: Riqueza de los datos, puntos de vista del ciclo de vida del proyecto, roles y/o disciplinas, manejo de los procesos, manejo del cambio, el tiempo de respuesta, los métodos de entrega, la información gráfica, la capacidad espacial, la precisión de la información, y el soporte para la interoperabilidad. Posteriormente para cada una de estas áreas se establecieron 10 niveles de madurez. En 2007 se fijó una puntuación mínima para BIM de 20.1 (NIBS, 2007), y en 2013 esta puntuación se encuentra establecida en 40 puntos de 100 para el BIM mínimo y de 50 puntos para el nivel certificado (NIBS, 2012).

2.6.2 Propuesta de Bilal Succar, BMMI

En el año 2009, Bilal Succar desarrolló una matriz de madurez para solucionar algunas de las limitaciones del modelo ICMM, a la cual denominó BMMI, la cual se enfoca en evaluar los equipos y las organizaciones, basada en las siguientes áreas: procesos, tecnología y políticas; en lugar de evaluar la administración de la

información del proyecto como lo hace ICMM. El modelo de Succar establece la siguiente clasificación para cada una de las áreas: Tecnología: software, hardware y redes; procesos: liderazgo, infraestructura, recursos humanos, productos y servicios y políticas: contratación, legales y normativas, y preparatorias (Succar, 2010).

Una de las grandes aportaciones de Succar (2009), en BMMI es que diferencia el concepto de capacidad del concepto de madurez entre las organizaciones; define capacidad como la capacidad para ejecutar una tarea o entregar un servicio o producto BIM, y por otro lado define madurez como “la calidad y grado de excelencia con la cual los servicios BIM son ejecutados”.

2.6.3 Propuesta de CIFE: CIFE’s VDC Scorecard.

En 2009, el Centro de Ingeniería para instalaciones integradas de la Universidad de Stanford desarrolló una propuesta para evaluar la madurez de los proyectos de la construcción virtuales; a la cual denominó CIFE’s VDC scorecard (CIFE, 2012).

CIFE’s VDC scorecard evalúa la madurez de los diseños y construcción virtuales, basado en un marco práctico en función de su grado de innovación en las áreas de planificación, adopción de tecnología y rendimiento. Las áreas se dividen de la siguiente manera: Planeación en objetivos, estándares y preparación; Adopción en procesos y organización; Tecnología en madurez, cobertura e integración; y Desempeño en cantidad y calidad. El objetivo que persigue es realizar un benchmarking entre los nuevos proyectos y los del pasado para comparar el desempeño de BIM contra los estándares de la industria. A diferencia de los modelos ICMM y BMMI; CIFE’s VDEC scorecard está basado en una clasificación percentil con diferentes rangos de porcentaje, entre los que se incluyen: prácticas convencionales, prácticas comunes, prácticas avanzadas, mejores prácticas, prácticas innovativas. El modelo CIFE’s VDC scorecard se ofrece en línea en tres versiones, una versión express, otra lite y una versión completa; para que un mayor número de interesados puedan participar de acuerdo a su interés, compromiso y tiempo disponible.

3. METODOLOGÍA BIM

En este capítulo se describe detalladamente la forma en que se realizará la metodología para la implementación del concepto BIM; indicando las fases y los procesos que se desarrollarán en cada una de ellas y su secuencia; la forma de ejecución del plan de implementación, la logística organizacional y tecnológica requerida; así como los alcances de cada proceso en la consecución de los objetivos.

Este procedimiento fue desarrollado a través de varios pasos de investigación de procesos provenientes de las diferentes metodologías analizadas en el capítulo anterior, así como del análisis detallado de documentos dirigidos a la implementación de BIM, juntas de grupo con miembros de la CMIC Sonora, asistencia a foros y conferencias acerca del BIM, entre otras acciones ejecutadas. Cada uno de los pasos se basa en el conocimiento de las fases de los diseños constructivos y sus procesos; así como de las herramientas tecnológicas BIM para la obtención de modelos, documentos, análisis, información y datos. En esta investigación los instrumentos y herramientas como formatos, listas de chequeo, análisis, mapas de procesos, el plan de implementación del BIM y herramientas tecnológicas fueron desarrollados y/o seleccionados para luego ser aplicados a un diseño constructivo en un contexto de la IC sonorensis y cuyo caso de aplicación del que se detallará en el siguiente capítulo.

3.1 Modelo Propuesto

Una vez planteada la situación a resolver, se procedió a conceptualizar un modelo (figura 3.1) para que en base a este sea factible planear, desarrollar e implementar una metodología para la aplicación del concepto BIM a las fases del diseño constructivo.

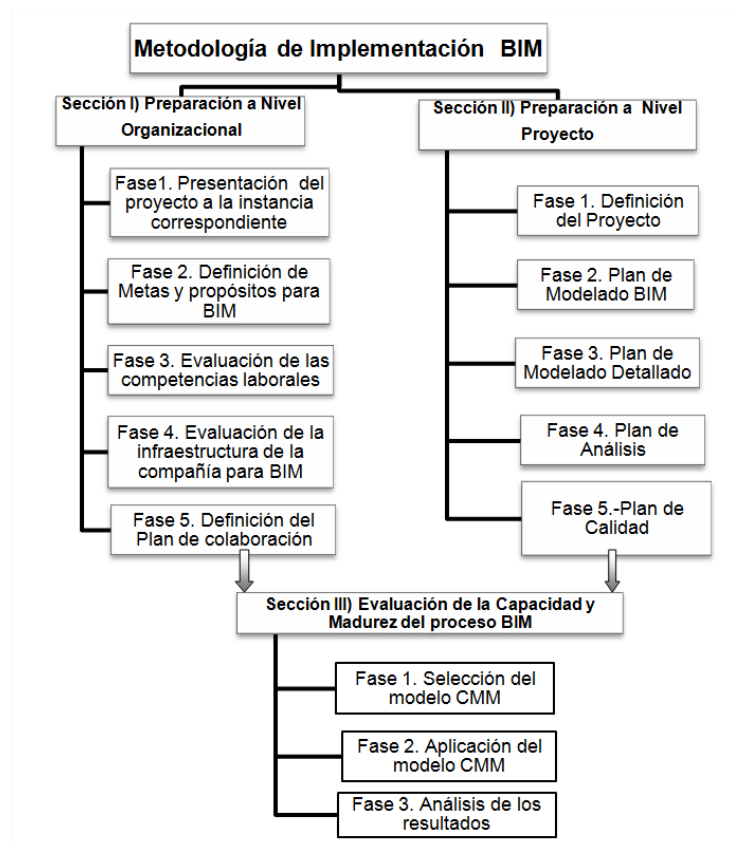


Figura 3.1. Modelo Conceptual de la Metodología BIM

Fuente: Elaboración propia

El modelo que se muestra en la figura 3.1 consta de tres secciones, la primera se refiere a la preparación de la metodología BIM desde el punto de vista de la organización, en la segunda se describe el plan de preparación desde el punto de vista del proyecto, y la tercera se refiere a la evaluación de la capacidad y madurez del proceso de implementación de BIM.

Dado que la preparación de la metodología BIM es un proyecto, para su desarrollo se establecieron fases para presentar cada una de las secciones. A diferencia de los proyectos de los diseños constructivos donde las fases han sido reconocidas oficialmente por el gremio de la IC; en la revisión de literatura de las metodologías BIM se encontró que diferentes autores y organizaciones manejan diferentes nombres y número para las fases de implementación de BIM.

3.2 Sección I. Preparación a Nivel Organizacional

En esta sección de la metodología para su desarrollo se establecieron cinco fases; las cuales corresponden a los preparativos generales de la implementación BIM, cuyos resultados benefician a todos los proyectos de la organización. A continuación se describen cada una de las fases de esta sección, así como los procesos que se llevan a cabo.

3.2.1 Fase 1, Presentación del proyecto a la instancia correspondiente.

El primer paso para la preparación de esta metodología es la proposición del proyecto a las instancias correspondientes para obtener la aprobación de llevarlo a cabo; posteriormente se procede a conformar el equipo de trabajo, el cual debe de desarrollar los procesos de modelado y análisis al proyecto de diseño constructivo indicados en la metodología.

3.2.2 Fase 2, Definición de metas y propósitos para el BIM

La definición de las metas y propósitos para el BIM es uno de los pasos más importantes en el proceso de planeación de esta metodología. Para su identificación se aplicará el método de "empezar con el final en mente" (Covey, 2003); de tal manera que se busque primero los beneficios de la última fase de los proyectos constructivos y después se transite en sentido inverso hasta llegar a las fases del diseño. La razón para proceder de esta manera es que aun cuando la mayoría de los procesos del BIM se ejecutan en las fases del diseño constructivo, los mayores beneficios se reflejan en las fases de licitación, construcción, y operación de las construcciones. En esta fase se desarrollan dos procesos.

Proceso 1: Establecimiento de las metas para BIM, son aspectos globales que se pretende lograr con la implementación, tales como mejora de la calidad, mayor constructividad, facilidad de operación y mantenimiento de las instalaciones, entre otras. En la tabla 3.1 se muestran algunos ejemplos de posibles metas para BIM.

Metas para el BIM (Algunos ejemplos)	
Descripción	Fase beneficiada
Facilitar el mantenimiento y construcción	Operación, Construcción
Visualización efectiva	Todas las fases
Presentaciones para marketing (Render)	Todas las fases
...	
Otras	

Tabla 3.1. Metas para el BIM

Fuente: Elaboración propia

Proceso 2: Establecimiento de los propósitos para BIM, son aspectos tangibles y resultado directo de la aplicación de BIM a los modelos de diseños constructivos, tales como creación de los modelos 3D, estimación de los costos, programa de obra, presentaciones, elaboración de los documentos de construcción, entre otros. En la tabla 3.2 se muestran algunos ejemplos de propósitos para BIM.

Propósitos para el BIM (Algunos ejemplos)	
Descripción	Fase beneficiada
Creación de masas de volúmenes conceptuales	Todas las fases del diseño
Creación de modelos virtuales	Todas las fases del proyecto
Estimación de costos	Todas las fases del proyecto
...	
Otros	

Tabla 3.2. Propósitos para el BIM

Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Fase 3, Evaluación de las competencias laborales

La implementación de BIM en ocasiones puede cambiar la estructura de las organizaciones, hasta puede requerirse la creación de departamentos y puestos nuevos y la adquisición de nuevas competencias laborales, entre otros elementos. En esta fase se desarrollan cuatro procesos:

Proceso 1: Evaluación de la estructura actual de personal y sus competencias laborales. En este proceso se hace una lista de verificación de la formación profesional, experiencia y tecnologías de software que posee el personal, incluyendo los administrativos, ejecutivos; es decir, aún aquellos que no van a trabajar directamente sobre los diseños constructivos. En la tabla 3.3 se muestra una evaluación de contraste entre las competencias CAD y las competencias BIM.

Evaluación de las competencias laborales			
Tipo de personal	Cantidad	Competencia en CAD	Competencia en BIM
Administrativo			
Arquitecto			
Ingeniero Mep			
Ingeniero Civil			
Instructor			
Ejecutivo			
...			
Otros			

Tabla 3.3. Evaluación de las competencias laborales actuales

Fuente: Elaboración propia

Proceso 2: Definición de las competencias laborales requeridas para BIM. En este proceso se establecen los conceptos y herramientas BIM que deben dominar los miembros del equipo BIM; así como las necesidades de capacitación requeridas para los procesos de modelado, tomando en cuenta las plataformas de software BIM y los procesos de modelado de acuerdo a cada disciplina de los diseños constructivos. En la tabla 3.4 se muestran algunos ejemplos de competencias BIM requeridas en la mayoría de los procesos BIM de cualquier tipo de proyecto.

Competencias BIM requeridas
Procesos
Concepto BIM
Procesos de Colaboración y Comunicación
Procesos de Modelado
Análisis de los modelos
...
Otros

Tabla 3.4. Competencias laborales BIM requeridas

Fuente: Elaboración propia

Proceso 3: Desarrollo de un plan de entrenamiento. Este plan va dirigido al personal involucrado en la implementación de BIM para que adquiera las competencias laborales requeridas. Este plan se basa en la detección de necesidades de entrenamiento en BIM y sus tecnologías. En este punto se analiza si se contratarán consultores externos, o si existe algún miembro del equipo con suficiente conocimiento y dominio de los procesos BIM que pueda impartir la capacitación. En la tabla 3.5 se muestra un ejemplo de un plan de entrenamiento y capacitación en competencias BIM, tanto en procesos como en tecnologías.

Programa de Capacitación BIM		
Procesos	Horas	Participantes
Concepto BIM		
Procesos de Colaboración y Comunicación		
Procesos de Modelado		
Análisis de los modelos		
...		
Otros		

Tabla 3.5. Programa de capacitación en los procesos y tecnologías BIM

Fuente: Elaboración propia

Proceso 4: Nombramiento del BIM manager, en este proceso se analiza si entre el personal alguien reúne las competencias laborales adecuadas para desempeñarse como el BIM manager, o si tendrán que contratarse servicios de consultoría externa. El BIM manager debe ser alguien que conozca el concepto BIM, que domine sus herramientas tecnológicas, con una actitud abierta a los cambios, que sea capaz de asumir los retos, comprometerse y convertirse en una especie de evangelizador de BIM (Autodesk, 2008).

3.2.4 Fase 4, Evaluación de la infraestructura de la compañía para BIM.

En ésta se desarrollan los siguientes procesos:

Proceso 1: Evaluación de las instalaciones, en este proceso se revisan los recursos físicos para la realización de las actividades relacionadas con la implementación de BIM, se analiza si se dispone de un espacio asignado para las reuniones del equipo de proyecto, que cuente con servicios de electricidad, agua potable, sanitarios, sala de juntas, mesas, sillas, teléfonos, estacionamiento, y en general todas aquellas herramientas e instalaciones que faciliten, fomenten y contribuyan a la actividad creativa y de trabajo en equipo característica de los procesos de diseños constructivos.

Proceso 2: Evaluación de los recursos de hardware de la compañía; en este proceso de la metodología se evalúan la cantidad y capacidad de los equipos de cómputo, si son portátiles o de escritorio, la resolución de los monitores, las instalaciones de red, las conexiones a internet, las tarjetas de video, las pantallas electrónicas y cañones

para presentaciones, los dispositivos de almacenamiento de datos; entre otros elementos de hardware que demandan las diferentes plataformas de software BIM y que dependerán de la que se haya seleccionado para el proyecto. En la tabla 3.6 se muestran ejemplos de los elementos de hardware más comunes y necesarios de evaluar de tal manera que sean capaces de soportar el software BIM.

Evaluación de hardware		
Características Técnicas de equipos de cómputo y periféricos		
Elemento		
Procesador		
Memoria		
Disco duro		
Monitor		
Procesador gráfico		
Tarjeta de red		
...		
Otros		

Tabla 3.6. Evaluación de los recursos de hardware

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.7 se muestra una lista del software común que se maneja en la IC.

Evaluación de software				
Características de los paquetes de software instalados				
	Paquete1	Paquete2	BIM	Interoperabilidad
Sistemas operativos				
Procesadores de palabras				
Hojas de cálculos				
Suites y Bases de datos				
Presupuestos				
BIM				
Diseño Cálculo y Análisis				
Redes y Conexiones remotas				
Presentaciones				
Georeferenciación y mapas				
Dibujo				
...				
Otros				

Tabla 3.7. Evaluación de los recursos de software

Fuente: Elaboración propia

Proceso 3: Evaluación de los recursos de software de la compañía, en este proceso se hará una revisión detallada de las herramientas de software instaladas en el espacio asignado para el desarrollo del proyecto. Se analizarán los alcances y

orientación, los procesos BIM que soporta, las alternativas de colaboración, las plataformas de inter-comunicación e intra-comunicación. Se evaluarán características como versión, compatibilidad, licencias; entre otros elementos que dependerán de los modelos que se van a desarrollar para el diseño constructivo del proyecto.

Proceso 4: Elección del software para el desarrollo de los modelos planeados, dado que a través de BIM se pueden realizar las siguientes funciones: compartición de las bases de datos de los proyectos durante todo su ciclo de vida, delimitar los roles de los integrantes y asignación de responsabilidades, manejo de los proyectos de la IC con un enfoque a procesos, una respuesta pronta y oportuna a los cambios, trabajo en equipo de los diseños y en redes informáticas, información gráfica de alta resolución de los modelos, coordinación espacial y geo-referenciación, exactitud y precisión en la información de entrada y salida, capacidad para manejar la interoperabilidad entre varias plataformas de software de diferentes usos, y adopción de estándares reconocidos de la IC; entre otros beneficios que trae el BIM, la elección del software a través del cual se va a implementar el BIM debe ser una plataforma que sea capaz de realizar las funciones listadas, además de las requeridas por el propio proyecto constructivo que se va a modelar. En la tabla 3.8 se muestran ejemplos de los procesos de modelado y sub-procesos BIM más comunes.

Componente de software	Modelo	Sistema de software		
		Plataforma 1	Plataforma 2	Plataforma n
Creación del modelos	Diseño arquitectónico			
Integración del modelo (Interoperabilidad)				
Visualización de los modelos				
Secuenciación de los modelos				
Cantidades de arranque de los modelos (QTO)				
Detección de colisiones				
Administración de los documentos				
....				
Otros				

Tabla 3.8. Procesos de modelado del software BIM

Fuente: Elaboración propia

3.2.5 Fase 5, Definición del plan de colaboración

Esta fase se desarrolla en los dos procesos siguientes:

Proceso 1: Definición de las formas de comunicación entre los involucrados en el proyecto, el ambiente de los datos e información comunes (compartidos, publicados, en progreso y archivados). En este proceso se establecen las reglas y la forma de comunicación que emplearán los involucrados en el proyecto en los siguientes aspectos: mensajería, minutas de las juntas y agendas, correspondencia, administración de los documentos, permisos y accesos, nombres y ubicación de las carpetas y archivos; así como el mantenimiento y destino de todo los documentos electrónicos generados durante el proyecto.

Proceso 2: Definición de los procedimientos y procesos para el manejo de la interoperabilidad, entendida esta como la capacidad de diversos sistemas y organizaciones de trabajar juntos (AGC, 2010b). Debido a que el BIM involucra varias plataformas de software, en este proceso se establecen las reglas de colaboración, compartición y comunicación de la información gráfica y de datos creados por las tecnologías BIM durante los procesos de modelado.

Los aspectos más relevantes a analizar en esta fase son importación y exportación de archivos para cada propósito de BIM; así como los archivos generados durante los análisis de detección de colisiones, estimación de costos, programa de obra, visualización, entre otros. Se definen claramente los formatos de archivo y la autorización para consultarlos, modificarlos y guardarlos. Se define la autoría de los modelos, precisión de dimensionamiento y convención de medidas. Se contemplan los protocolos de seguridad, entre otros aspectos.

En esta fase se determina si es necesario establecer nuevos protocolos o solamente se tienen que reforzar los ya existentes en la compañía.

En la tabla 3.9 se muestran las actividades de colaboración más comunes entre los integrantes del equipo de diseño. En este proceso se involucra el personal responsable de los diseños constructivos y el de tecnologías informáticas.

Colaboración		
Formas y medios de comunicación para:		
	Comunicación	Interoperabilidad
Mensajería		
Minutas		
Juntas		
Agenda		
Correspondencia		
Administración de los documentos		
Permisos		
Accesos		
Nombre y ubicación de las carpetas		
Nombre de los archivos		
Mantenimiento de los archivos		
Conexiones remotas		
Exportación		
Importación		
Análisis		
Visualización		
Seguridad		
...		
Otros		

Tabla 3.9. Manejo de la colaboración

Fuente: Elaboración propia

3.3 Sección II. Preparación a nivel proyecto

En esta sección de la metodología de implementación para su desarrollo se establecieron cinco fases; las cuales corresponden a las que se llevan a cabo sobre el proyecto mismo y cuyos resultados y definición dependen del tipo de proyecto que se esté abordando. A continuación se describe brevemente cada una de estas fases y sus procesos.

3.3.1 Fase 1, Definición del proyecto

Esta fase se desarrolla en los cuatro procesos siguientes:

Proceso 1: Información del proyecto, en este proceso se describe el proyecto, así como toda la información relevante acerca del mismo, como número de proyecto, nombre del proyecto, dirección del proyecto, área de modelado y nombre del propietario. En la tabla 3.10 se muestra un listado de los datos más importantes para recabar acerca del cliente, el proyecto en general y los procesos de modelado.

Definición del proyecto	
Cliente / Propietario	
Nombre del Proyecto	
Número de Proyecto	
Dirección de Proyecto	
Descripción del proyecto	
Modelos	
Procesos de modelado	

Tabla 3.10. Datos del proyecto

Fuente: Elaboración propia

Proceso 2: Definición del equipo de colaboración, en este proceso se selecciona a los miembros del equipo de colaboración para el proyecto de diseño; de acuerdo a los procesos de modelado que se establecieron para el proyecto. En la tabla 3.11 se muestra una lista de los profesionales comúnmente involucrados en un proyecto de diseño constructivo.

Composición de los equipos de trabajo								
Número	Diseñadores		Ingenieros			Otros		
	Arquitectos	Otros	Eléctricos	Mecánicos	Civiles	Administradores	Ejecutivos	Consultores
Equipo 1								
Equipo 2								
Equipo 3								
Un coordinador para cada equipo, un BIM manager y un Cliente para cada proyecto								

Tabla 3.11. Equipo de trabajo del proyecto

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.12 se muestra el directorio con la relación de nombres, puestos, y datos generales del resto del equipo de proyecto.

Directorio equipo de colaboración					
Nombre del contacto	Puesto	Compañía	Correo electrónico	Teléfono fijo	Teléfono Móvil
Contacto 1	Puesto 1		Correo1	Teléfono1	Móvil1
...
....					
Contacto n	Puesto n		Correo n	Teléfono n	Móvil n

Tabla 3.12. Directorio del equipo de trabajo

Fuente: Elaboración propia

Proceso 3: Elaboración de mapas de procesos de las fases del diseño constructivo, mostrando información de la fase, los modelos, los involucrados y los entregables.

3.3.2 Fase 2, Plan de modelado BIM

En esta fase se establece el plan de modelado del proyecto de diseño constructivo de acuerdo a los requerimientos del cliente. A continuación se describen los procesos que se desarrollan en esta fase.

Proceso 1: Definición de los modelos del diseño constructivo planeados. De acuerdo a los requerimientos del cliente se delimita el proyecto de diseño constructivo y se establecen cuáles son los modelos BIM a desarrollar para este caso de estudio.

En la tabla 3.13 se muestra una lista con ejemplos de los modelos planeados del área de edificación.

Modelos Planeados				
Modelos	Contenido	Fase del diseño	Software BIM	Interesados involucrados
Arquitectónico				
Civil				
Estructural				
Eléctrico				
Mecánico				
Construcción				
Tal como se construyó				
Topográfico				
Hidráulico				
Análisis de energía				
...				
Otros				

Tabla 3.13. Lista de los modelos planeados

Fuente: Elaboración propia

Proceso 2: Definición de los sub-proyectos de modelado. En este proceso los modelos planeados para el proyecto se dividen en sub-proyectos de modelado de acuerdo a su naturaleza técnica.

En la tabla 3.14 se muestra una lista de los sub-proyectos en los cuales se dividió el proyecto con la intención de asignar responsabilidades y al mismo tiempo delimitarlas.

Modelo arquitectónico				
Sub-proyectos	Fase del diseño constructivo	Fecha estimada de inicio	Fecha estimada de finalización	Interesados involucrados
Creación de masas de volúmenes conceptuales	Conceptual			
Modelado de muros	Esquemático y Desarrollo			
Modelado de pisos	Esquemático y Desarrollo			
Modelado de techos	Esquemático y Desarrollo			
Modelado de puertas y ventanas	Esquemático y Desarrollo			
Modelado de muebles y equipo	Esquemático y Desarrollo			
Modelado de estacionamiento y	Esquemático y Desarrollo			
...				
Otros				

Tabla 3.14. Lista de sub-proyectos de los modelos

Fuente: Elaboración propia

Proceso 3: Definición de los administradores de los modelos. En este proceso se asignan los procesos de modelado a desarrollar a cada integrante del equipo y se delimitan responsabilidades para el diseño constructivo con BIM. En la tabla 3.15 se muestra una lista con los datos de las personas responsables de los modelos.

Administradores de los modelos			
Equipo	Nombre	Disciplina	BIM manager
1			
....			
n			

Tabla 3.15. Administradores de los modelos

Fuente: Elaboración propia

Proceso 4: Creación de la base de datos particular para este proyecto. Aquí se añaden los registros de los elementos o familias a modelar con los criterios de diseño establecidos entre el cliente y el equipo de diseño.

En este proceso se establecen los criterios para los nombres de cada elemento del sub-proyecto a modelar, así como su conformación. También se crea el archivo plantilla para el proyecto donde se irán incorporando los elementos de familia o registros.

En este proceso se establecen los protocolos de precisión y dimensionamiento de los modelos, tanto para el diseño como para la presentación. Estas actividades se llevan a cabo a través del software BIM seleccionado para realizar el proyecto de diseño constructivo.

Dependiendo de las características de los elementos a modelar será la configuración de los campos de los registros de la base datos en el software elegido.

Dado que el alcance de esta metodología está orientado hacia los procesos de la implementación del concepto BIM, solo cubre de forma general los detalles de captura de los registros.

El aprendizaje del software se llevará a cabo durante el entrenamiento y capacitación en las tecnologías BIM. En la tabla 3.16 se muestran algunos elementos de la base de datos, así como los criterios de definición de los elementos.

Creación de la base datos del proyecto (Registros para los elementos de modelado o criterios de diseño de los sub-proyectos)							
Clave	Descripción	Unidades	Fabricante	URL	Materiales	Largo	Otros
Muros							
Pisos							
Techos							
Puertas							
Ventanas							
Estacionamiento							
Paisaje							
...							
Otros							

Tabla 3.16. Definición de criterios para la base de datos
Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Fase 3, Plan de modelado detallado.

Esta fase se desarrolla en cuatros procesos, los cuales se detallan a continuación.

Proceso 1: Plan de modelado para la fase de diseño conceptual. Dado que BIM permite la incorporación de los involucrados en el proyecto de diseño desde las fases tempranas del proyecto, y que la tecnología BIM permite transitar de un proceso a otro; a diferencia del diseño tradicional donde la representación gráfica se lleva a cabo a partir del diseño esquemático, en este proceso se desarrollan las masas volumétricas del concepto de diseño.

Proceso 2: Plan de modelado para el diseño esquemático. En este proceso se desarrollan varias propuestas del diseño constructivo y se planea el nivel de detalle esperado para esta fase del diseño constructivo.

Proceso 3: Plan de modelado para el desarrollo del diseño. En este proceso se define el nivel de detalle de modelado de la propuesta elegida por el cliente en el diseño esquemático y se crean los registros de la base de datos (elementos de familia) con los criterios correspondientes a los objetivos establecidos para los modelos del proyecto de diseño constructivo.

Proceso 4: Plan para la elaboración de los documentos de construcción de los modelos. En este proceso se definen los entregables del diseño constructivo de acuerdo a los requerimientos del cliente, establecidos en el diseño preliminar.

3.3.4 Fase 4, Plan de análisis.

En esta fase se definen los análisis que se van a realizar sobre los modelos en las diferentes fases del diseño constructivo. También se definen los análisis que no se van a realizar. En la tabla 3.17 se muestran algunos ejemplos para el plan de análisis de los modelos BIM.

Plan de análisis de los modelos					
Análisis	Herramienta de análisis	Modelo	Fase del proyecto	SI/NO	Formato de archivo
Visualización 2D y 3D					
Detección de colisiones					
Cantidades de arranque (QTO)					
Programación					
Estimación de costos					
Análisis de energía					
Presentaciones					
...					
Otros					

*Tabla 3.17. Plan de análisis de los modelos
Fuente: Elaboración propia*

3.3.5 Fase 5, Plan de calidad

En esta fase se desarrollan los cinco procesos siguientes:

Proceso 1: Revisión de la calidad en la fase de diseño conceptual del proyecto constructivo. En este proceso se revisarán los aspectos siguientes: documentación por escrito de los requerimientos del cliente y al alcance de todos los involucrados, el equipo de proyecto está formado por profesionales adecuados a cada disciplina, los objetivos y el alcance del proyecto están documentados y disponibles, existe un análisis de viabilidad del proyecto, existe una propuesta inicial de diseño por escrito, existe un presupuesto base, existe el calendario para la entrega del proyecto de diseño, se cuenta con una agenda de juntas de revisión y entregas se dispone de un formato de comunicación e intercambio de información, se ha recopilado el directorio del equipo y está disponible, se han identificado los responsables de aprobación y revisión y se ha establecido el compromiso oficial entre el cliente y el equipo para realizar el diseño constructivo, entre otros aspectos.

En la tabla 3.18 se muestra una lista de chequeo de la calidad durante la fase de diseño conceptual.

Revisión de la Calidad en la fase de Diseño Conceptual		
Concepto	SI	NO
Requerimientos del cliente por escrito y disponibles		
Selección de involucrados de acuerdo disciplina constructiva		
Objetivos y alcance del diseño por escrito y disponibles		
Se conoce el presupuesto del cliente		
Calendario para las entregas del proyecto		
Agenda de juntas de revisión y entregas		
Forma de comunicación e intercambio de información		
Directorio del equipo de proyecto		
Nombramiento de los responsables de aprobación		
Contrato de diseño		
Elaboración de masas conceptuales volumétricas		
Estimación de los costos preliminares en base a estadísticas		
Estimación de los costos preliminares en base a masas conceptuales		
...		
Otros aplicables		

Tabla 3.18. Revisión de calidad de la fase de diseño conceptual
Fuente: Elaboración propia

Proceso 2: Revisión de la calidad en la fase de diseño esquemático. En este proceso se evalúan los procesos siguientes: se han elaborado y presentado al cliente varias propuestas del diseño en forma gráfica, o modelos (virtuales o maquetas), se ha realizado la validación de las relaciones funcionales de las propuestas con los requerimientos del cliente, la factibilidad de construcción ha sido revisada, los costos unitarios de cada concepto del diseño han sido estimados, el presupuesto preliminar ha sido calculado en base a estadísticas y tabuladores oficiales, los entregables de cada disciplina han sido elaborados en forma gráfica, existe constancia oficial de la aceptación de una propuesta por parte del cliente.

En la tabla 3.19 se muestra una lista de chequeo de la calidad durante la fase de diseño esquemático.

Revisión de la calidad en la fase de diseño esquemático		
Concepto	SI	NO
Elaboración y presentación de varias propuestas de diseño		
Validación de las propuestas con los requerimientos del cliente		
Revisión de la factibilidad de construcción		
Estimación de los costos de diseño de cada elemento del diseño		
Elaboración de los entregables de cada disciplina solicitada por el cliente		
Aceptación de una propuesta por parte del cliente		
...		
Otros aplicables		

Tabla 3.19. Revisión de calidad de la fase de diseño esquemático

Fuente: Elaboración propia

Proceso 3: Revisión de la calidad en la fase de desarrollo del diseño. Los modelos de todas las disciplinas involucradas han sido diseñados hasta el último nivel de detalle requerido para la fase de construcción, los métodos de construcción propuestos (materiales, mano de obra, maquinaria y equipo) para cada modelo son viables, los diseños de cada disciplina cuentan con especificaciones completas y entendibles, el presupuesto ha sido elaborado con costos reales en base a los diseños y especificaciones, el programa de obra ha sido realizado en base a las fechas de entrega y 6) aceptación oficial por parte del cliente del diseño.

En la tabla 3.20 se muestra una lista de chequeo de la calidad durante la fase de desarrollo del diseño.

Revisión de la calidad en la fase de desarrollo del diseño		
Concepto	SI	NO
Elaboración de los modelos planeados de todas las disciplinas		
Desarrollo de los modelos al nivel de detalle requerido para construcción		
Los modelos incluyen métodos constructivos viables		
Los modelos de cada disciplina tienen especificaciones entendibles		
Los costos son reales y en base a los modelos		
El programa de obra ha sido realizado		
El diseño desarrollado ha sido aceptado por el cliente		
...		
Otros aplicables dependiendo del proyecto		

Tabla 3.20. Revisión de calidad de la fase de desarrollo del diseño

Fuente: Elaboración propia

Proceso 4: Revisión de la calidad y constructividad en la fase de elaboración de los documentos de construcción. En este proceso se evaluarán los aspectos siguientes: los planos de cada disciplina están completos, son digitales e imprimibles, los planos son útiles y adecuados para la fase de licitación (independientemente del tipo de esta), los planos de cada disciplina cuentan con todos los detalles, especificaciones, y métodos constructivos, de tal manera que el diseño pueda ser construido y posteriormente operado, se realizó la entrega oficial al cliente y se cerró el proyecto de diseño constructivo.

En la tabla 3.21 se muestra una lista de chequeo de la calidad durante la fase de elaboración de los documentos de construcción.

Revisión de la calidad en la elaboración de los documentos		
Concepto	SI	NO
Los planos digitales de cada disciplina modelada están completos y son imprimibles		
los planos reúnen los requisitos para ser utilizados en la fase de licitación		
Los planos reúnen los requisitos para ser utilizados en la fase de construcción		
Se realizó la entrega oficial al cliente		
los planos reúnen los requisitos para ser utilizados en la fase de operación		
...		
Otros, aplicables dependiendo del tipo de proyecto		
El proyecto se encuentra cerrado y archivado		

Tabla 3.21. Revisión de calidad de la fase de elaboración de los documentos

Fuente: Elaboración propia

Proceso 5: Revisión de la calidad en el seguimiento de normas, reglamentos, y estándares reconocidos para el tipo de diseño. Se evaluará si cumple con la Ley de Obra Pública, las NOM, las NMEX, entre otras leyes y reglamentos aplicables al tipo

de proyecto. En la tabla 3.22 se muestra una lista de chequeo de las normas y reglamentos mínimos aplicables a los procesos de diseño constructivo.

Revisión de la normatividad aplicable al tipo de proyecto		
Concepto	SI	NO
Ley de obra pública		
Reglamento de Construcción del Estado de Sonora		
Reglamento de Construcción de la Cd. De Hermosillo		
Normas Oficiales Mexicanas (NOM)		
Normas Mexicanas (NMEX)		
Normas de Protección al Ambiente		
...		
Otras normas aplicables por el tipo de proyecto		

Tabla 3.22. Revisión de la normatividad aplicable al proyecto

Fuente: Elaboración propia

3.4 Sección III. Evaluación de la capacidad y madurez del proceso BIM

En esta sección de la metodología se evalúa el nivel de BIM en la organización y en el proyecto. Se seleccionan indicadores de capacidad y madurez y se adopta un modelo de evaluación de la capacidad para ejecutar una tarea o entregar un servicio BIM, y la medición de la madurez o grado de excelencia con el cual los servicios BIM son ejecutados (Succar, 2009).

A continuación se describen brevemente las fases y procesos propuestos en esta metodología para evaluar la capacidad de madurez del proceso BIM en el caso de estudio.

3.4.1 Fase 1. Selección del modelo CMM

El modelo CMM se seleccionará de acuerdo al tipo de proyecto y a los procesos BIM implementados; así como a los diferentes modelos de evaluación a que se tenga acceso. Actualmente se encuentran diferentes modelos; cada uno de estos modelos tiene diferentes características e indicadores, por lo que la selección se hará de acuerdo a lo que realmente se desee evaluar.

Proceso 1. Selección del modelo CMM. En esta fase se selecciona y/o desarrolla el modelo CMM más apropiado a la naturaleza del proyecto en estudio. El modelo se puede escoger de entre los analizados en la revisión de literatura del capítulo 2 de

este trabajo, otros modelos desarrollados por instituciones académicas, empresas, investigadores, y/o en sitios WEB entre otros. El modelo seleccionado deberá contener los indicadores que se desea evaluar del proyecto en estudio. Al seleccionar un modelo de evaluación de capacidad y madurez se deberá tomar en cuenta lo siguiente: que el modelo se adapte a los procesos BIM del proyecto en estudio, que sea un modelo al que el equipo de proyecto tenga acceso, que los pesos de los indicadores de capacidad y madurez sean los apropiados para el proyecto, que sea fácil y rápido de aplicar, y de ser posible que los resultados se puedan conocer a la brevedad posible; ya que existen algunos modelos cuya aplicación en línea dura alrededor de 4 horas, y otros en los cuales el resultado de la evaluación solo se conoce a la vuelta de correo electrónico.

Proceso 2. Análisis de los indicadores del modelo CMM seleccionado. En este proceso se estudian los indicadores de madurez y capacidad clave a ser evaluados de acuerdo a la naturaleza del proyecto. Diferentes instituciones e investigadores han realizado estudios para determinar los indicadores de capacidad y madurez de los proyectos constructivos; entre esos indicadores se encuentran los siguientes: calidad de los datos, división del proyecto en fases, establecimiento y delimitación de los roles o disciplinas, trabajo en equipo y en redes de computación, incorporación de procesos de cambio a nivel organizacional, cantidad, disponibilidad y calidad de la información en tiempo real, inteligencia de los objetos (paramétricos o no), geo-referenciación del proyecto, exactitud y veracidad de la información, grado de interoperabilidad y estandarización, entre otros indicadores.

Proceso 3. Análisis y ubicación de los indicadores de capacidad y madurez. En este proceso se analizan las escalas y los niveles de los indicadores de evaluación de capacidad y madurez del modelo CMM seleccionado con los del proceso de implementación de BIM del proyecto.

3.4.2 Fase 2. Aplicación del modelo CMM

Proceso 1. Análisis del nivel de los indicadores del proyecto en estudio. En este proceso se analizan y contrastan los indicadores de capacidad y madurez del

proceso BIM del proyecto con los niveles de los indicadores en las áreas de interés del modelo CMM seleccionado.

Proceso 2. Ubicación de los indicadores de capacidad y madurez del proyecto en el modelo CMM. En este proceso se capturan /seleccionan los indicadores del proyecto en las áreas y los niveles que le corresponden en el modelo CMM seleccionado.

3.4.3 Fase 3. Análisis de los resultados.

Proceso 1. Se analizan los resultados obtenidos respecto al nivel de madurez y capacidad del proceso BIM. En este proceso el modelo CMM elegido arroja un resultado numérico de ubicación de capacidad y madurez del proceso BIM.

Proceso 2. Se detectan las áreas y oportunidades de mejora. Una vez que se han obtenido los resultados arrojados por el modelo CMM, se analiza el nivel de ubicación y en caso de ser posible todavía se corrige y/o complementa el proyecto de diseño, en todos los casos se documenta y se planean las futuras mejoras, tanto al proceso de diseño como al proceso de implementación de BIM en la compañía.

Proceso 3. Se toman decisiones a nivel organizacional para futuros proyectos, respecto a los equipos de trabajo y respecto a los procesos constructivos. En este proceso se revisan las áreas de oportunidad y mejora detectadas, se establecen nuevos estándares, procedimientos y procesos; los cuáles se incorporan a nivel organizacional para que se pongan en práctica para futuros proyectos.

4. IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM

“Implementar BIM es más una decisión de negocios que una decisión tecnológica, por lo tanto, la tecnología sólo deberá ser desplegada como parte de la estrategia para lograr el éxito” (Smith y Tardif, 2009).

4.1 Sección I. Preparación a nivel organizacional

La metodología propuesta se implementó en un proyecto de diseño constructivo de una plaza comercial a construirse en un futuro en la ciudad de Hermosillo, Sonora; de la cual previamente se habían elaborado el análisis de viabilidad y el diseño de una propuesta arquitectónica con herramientas tecnológicas CAD.

El escenario de aplicación de esta metodología es una Compañía de Modelado de Diseño Constructivo (CMDC), integrada exclusivamente para este proyecto de estudio. Está conformada por alumnos del Diplomado BIM que se imparte en la CMIC, en el Instituto de Capacitación de la Industria de la Construcción (ICIC) en Hermosillo, Sonora. Se asume que es una sola oficina, está ubicada en las aulas del Centro de Entrenamiento Autorizado Autodesk (ATC) del ICIC, el grupo de trabajo es voluntario, no ha realizado antes un proyecto completo en BIM y todos los involucrados están conscientes de que BIM es el camino al futuro en la IC. Los planos CAD fueron donados para este estudio por el arquitecto que diseñó la plaza comercial.

A continuación se describen cada una de las fases de la implementación de la sección de preparación a nivel organizacional.

4.1.1 Fase 1, Presentación del proyecto

La presentación del proyecto se hizo al presidente de la CMIC Sonora, quien inmediatamente accedió y giró instrucciones al gerente y al jefe de capacitación para que se otorgara el apoyo necesario durante el desarrollo del mismo. En esa reunión se acordó que el aula de capacitación del diplomado BIM se utilizara para el proyecto de implementación de la metodología, y que me pusiera de acuerdo con los estudiantes inscritos en el diplomado para la realización del proyecto.

Al personal directivo de la CMIC les pareció un proyecto valioso ya que la CMIC es una institución promotora del BIM y tiene como meta de desarrollo tecnológico para el año 2020 que todos los agremiados a esta cámara hayan incorporado la plataforma BIM a sus proyectos constructivos.

4.1.2 Fase 2, Definición de metas y propósitos para el BIM

Esta fue una de las fases más importantes, ya que de la definición de las metas y propósitos para BIM dependen las demás fases y procesos del proyecto de implementación.

Proceso 1: Establecimiento de las metas para BIM, las cuales se muestran en la tabla 4.1.

La definición de las metas para BIM se hizo pensando en los resultados que se deseaban obtener en todas las fases, aún en aquellas posteriores al diseño; es decir, en todo el ciclo de vida del proyecto.

Metas para el BIM	
Descripción	Fase beneficiada
Facilitar el mantenimiento y construcción	Operación, Construcción
Visualización efectiva	Todas las fases
Presentaciones para marketing (Render)	Todas las fases
Transparencia del diseño	Todas las fases
Colaboración en tiempo real	Todas las fases
Disminuir conflictos en la obra	Construcción
Aumentar la calidad y constructividad en el diseño	Construcción
Veracidad y precisión de conceptos en los contratos	Licitación
Revisión del progreso del diseño	Todas las fases del diseño
Seguimiento de los avances de construcción	Construcción
Asociación automática de costos con los cambios	Todas las fases
Aumento del control de calidad	Todas las fases

Tabla 4.1. Metas para BIM

Fuente: elaboración propia

Proceso 2: Establecimiento de los propósitos para BIM, los cuales se muestran en la tabla 4.2.

En este proceso se definieron los propósitos del BIM de acuerdo a las necesidades del cliente para el diseño constructivo, a los procesos que la tecnología BIM es capaz

de realizar considerando el beneficio para el proyecto constructivo durante todo su ciclo de vida.

Propósitos para el BIM	
Descripción	Fase beneficiada
Creación de masas de volúmenes conceptuales	Todas las fases del diseño
Creación de modelos virtuales	Todas las fases del proyecto
Estimación de costos	Todas las fases del proyecto
Revisión de los diseños	Todas las fases del proyecto
Creación del programa de obra	Construcción
Detección de colisiones	Construcción
Análisis sobre los modelos	Todas las fases del diseño
Detallado del diseño	Todas las fases
Coordinación 3D	Todas las fases del diseño
Reportes de cantidades de arranque	Diseño esquemático
Creación de los documentos de construcción	Todas las fases
Creación de presentaciones	Todas las fases

Tabla 4.2. Propósitos para BIM
Fuente: elaboración propia

4.1.3 Fase 3, Evaluación de las competencias laborales.

Proceso 1: El procedimiento de evaluación de las competencias laborales consistió en la evaluación de ubicación de nivel y preparación para la certificación del software BIM de los ATC's (Authorized Training Centers). Esta evaluación consiste en exámenes en línea a disposición de los administradores de ATC's; por ejemplo, el disponible en: <http://www.member.cadlearning.com/course/view.php?id=119>.

La evaluación de la estructura actual de personal y sus competencias laborales en manejo de tecnologías de diseño constructivo se muestran en la tabla 4.3.

Evaluación de las competencias laborales			
Tipo de personal	Cantidad	Competencia en CAD	Competencia en BIM
Administrativo	2	Intermedio	Ninguna
Arquitecto	6	Avanzado	Intermedio
Ingeniero Mep	3	Avanzado	Básica
Ingeniero Civil	3	Avanzado	Básica
Instructor	1	Certificado	Certificado
Ejecutivo	1	Básico	Básica

Tabla 4.3. Análisis de competencias laborales existentes
Fuente: elaboración propia

Proceso 2: Definición de las competencias laborales para BIM (Detección de necesidades de entrenamiento, y plan de capacitación), las cuales se muestran en la tabla 4.4. Para poder llevar a cabo la implementación de la metodología en el caso de estudio fue necesario desarrollar el plan de formación en BIM, de acuerdo al examen de evaluación inicial de las competencias laborales. La estrategia principal de este plan de capacitación fue dirigir la formación hacia el cambio en la forma de trabajar, en la forma de organizar los procesos, haciendo énfasis que BIM es mucho más que software y tecnología, que BIM son procesos secuenciales, intercambio de información y trabajo en equipo. Ese fue el corazón del plan de capacitación establecido, sin descuidar la capacitación en el dominio técnico del software.

Competencias BIM requeridas	
Procesos	
Concepto BIM	
Procesos de Colaboración y Comunicación	
Procesos de Modelado y Análisis de los modelos	
Creación de la Base de datos (elementos paramétricos)	
Visualización	
Presentaciones (Render)	
Creación de los documentos de Construcción	

Tabla 4.4. Detección de necesidades de Capacitación en BIM

Fuente: elaboración propia

Proceso 3: Desarrollo de un plan de entrenamiento. En este proceso, para el proyecto de diseño en estudio se consideró la sección del programa del diplomado aplicable al proyecto como el plan de entrenamiento. A continuación se detalla el programa de capacitación en la tabla 4.5.

Programa de Capacitación BIM		
Procesos	Horas	Participantes
Concepto BIM y	10	15
Procesos de Colaboración y Comunicación	5	15
Procesos de Modelado y Análisis de los modelos	15	15
Creación de la Base de datos (elementos paramétricos)	10	15
Visualización y Presentaciones Render	5	15
Creación de los documentos de Construcción	5	15
3 horas diarias de lunes a viernes		

Tabla 4.5. Programa de entrenamiento BIM

Fuente: Elaboración propia

Proceso 4: Nombramiento del administrador de BIM (BIM manager).

En este proyecto se eligió a uno de los instructores del diplomado como el 'BIM manager', dado que reúne todas las competencias laborales que demanda una implementación de BIM, tiene los conocimientos de las herramientas tecnológicas, y la teoría del BIM y sobre todo es un entusiasta promotor de este innovador concepto de trabajo.

4.1.4 Fase 4, Evaluación de la infraestructura de la compañía para BIM.

Proceso 1: Evaluación de las instalaciones.

Las instalaciones asignadas por la CMIC para la realización de este proyecto se detallan a continuación.

Acceso limitado a 3 horas diarias a un aula de capacitación en la cual se encontraron los siguientes elementos: 16 computadoras de escritorio, cañón y pantalla electrónica, 16 sillas y 16 mesas individuales, iluminación artificial y aire acondicionado, acceso a instalaciones sanitarias, acceso al estacionamiento, servicio de cafetería, suministrados por la CMIC; 9 computadoras portátiles y 16 teléfonos móviles propiedad de los integrantes. La infraestructura física fue suficiente, no hubo necesidad de realizar ninguna adquisición adicional.

Proceso 2: Evaluación de los recursos de hardware de la compañía.

En este proceso se hizo un levantamiento físico de los equipos de cómputo instalados para conocer sus características y especificaciones técnicas; con el propósito de determinar si el aula de capacitación asignada contaba con los equipos y periféricos suficientes para el desarrollo del caso en estudio.

De aquellos elementos que no fue posible determinar su configuración o especificaciones por simple observación se solicitaron los manuales al departamento de sistemas o se buscaron en Internet las características, funciones uso y cuidados recomendado.

Las características del hardware encontrado en el aula de capacitación y donde se desarrolló el caso en estudio se muestran en la tabla 4.6.

Evaluación de hardware		
Características Técnicas Computadoras		
Elemento	Escritorio	Pórtatil
Procesador	Intel Core i5-3330 de cuatro núcleos a 3.0GHz	AMD A6 de cuatro núcleos a 2.7 GHz
Memoria	8GB	8 GB
Disco duro	1 Terabyte SATA a 7200 rpm	Disco duro 500 GB - SATA a 5400 rpm
Monitor	19", Resolución 2048x1536	17.3", Resolución 1920x1600 (HD+)
Procesador gráfico	ATI Radeon HD 5670 soporta DirectX® 11 y Shader Model 5.0	Gráficos AMD Radeon HD 7520G
Tarjeta de red	Ethernet 100 base-T por cable UTP CAT5	Inalámbrica wi-fi 802.11b/g/n

Tabla 4.6. Tabla de características de hardware de la compañía

Fuente: Elaboración propia

Proceso 3: Evaluación de los recursos de software de la compañía.

En el aula donde se realizó el proyecto se hizo un inventario de las herramientas de software instaladas, encontrándose los siguientes: Sistema operativo Windows 7 professional 64, Microsoft Office 2010, Autodesk AutoCAD versión 2012, Autodesk Civil3D versión 2012, Autodesk Revit versión 2012, Autodesk MEP Suite 2012, Autodesk NavisWorks 2012, Google Sketchup, Google Earth, EcoSoft Opus, Arqcom CivilCad 2010, Microsoft Project, e Internet Explorer 8.

Del software instalado en el aula de capacitación es software BIM el siguiente: Autodesk Civil3D versión 2012, Autodesk Revit versión 2012, Autodesk MEP Suite 2012, y Autodesk NavisWorks 2012.

Proceso 4: Elección del software para el desarrollo de los modelos del proyecto, de acuerdo a las metas y propósitos BIM de este proyecto, se eligió el software Autodesk Revit Architecture 2012 para realizarlos.

Respecto al software se buscó una plataforma que se capaz de realizar los siguientes procesos:

Creación de los modelos, el software debe operar como base de datos, con objetos y elementos paramétricos, con respuesta automática a los cambios, ser

interoperable, capaz de producir documentos en 2D y 3D, contar con distribución y soporte accesibles, y que sea capaz de trabajar con los estándares establecidos para la IC de Sonora.

Interoperabilidad (Integración de los modelos), dado que el modelo será utilizado para combinar los archivos de diseño de varias plataformas de software, deberá ser capaz de realizar simulaciones de los procesos de construcción en tiempo real, tales como recorridos virtuales, avances de obra, entre otros. El software integrador deberá tener la capacidad de abrir y combinar al menos los siguientes tipos de archivo .dwg, .dxf, .sat, .ifc, .dgn, .prp, .prw, .ipt, .iam, entre otros formatos compatibles.

Detección de colisiones, deberá contar con la herramienta de detección de colisiones entre los elementos de diseño de las diferentes disciplinas y ser capaz de generar los reportes, los cuales puedan ser exportados a formatos .xls, .csv, o .xml, con la lista de colisiones encontradas.

Visualización del modelo, la herramienta de visualización del software elegido deberá ser capaz de ser utilizado por los interesados que no requieren de todas las funciones de creación de los modelos BIM.

Secuenciación del modelo, la herramienta de secuenciación deberá ser capaz de mostrar el proceso de construcción en base al programa de obra y además tener capacidad de integrarse a sistemas estándar como Microsoft Project y Primavera.

Cantidades de arranque del modelo (Model Quantity Takeoff), esta herramienta deberá ser capaz de extraer automáticamente de los modelos BIM 2D y 3D cantidades para la estimación de costos. Los reportes también deberán reflejar los cambios efectuados a los modelos en tiempo real, y de ida y vuelta, es decir, si se realizan los cambios en los modelos, estos se deben realizar automáticamente en los reportes y viceversa.

Los formatos de archivo para exportación de estos reportes son .xls, .csv, o .xml.

En la tabla 4.7 se muestra el formato para la elección de software.

Componente de software	Modelo	Sistema de software	
		Revit Architecture	Bentley Architecture
Creación del modelos	Diseño arquitectónico		
Integración del modelo (Interoperabilidad)	✓	✓	✓
Visualización de los modelos	✓	✓	✓
Secuenciación de los modelos	✓	✓	✓
Cantidades de arranque de los modelos (QTO)	✓	✓	✓
Detección de colisiones	✓	✓	✓
Administración de los documentos	✓	✓	✓

Tabla 4.7. Análisis del software para el modelo arquitectónico

Fuente: elaboración propia

En este proceso de elección de software se buscaron las características mencionadas en la tabla 4.7, las cuales reúnen 2 de las plataformas de software BIM comparadas; las cuales son Bentley Architecture y Autodesk Revit Architecture. En el caso de Bentley Architecture se consultó el manual del fabricante (Bentley, 2011) por no contar con licencia del software y en el caso de Revit Architecture se operó el software y se constataron las características en la práctica. Se eligió Revit Architecture porque es el software más utilizado por los constructores afiliados a la CMIC, Sonora, además de que la CMIC es un Autodesk Training Center (ATC), y en Hermosillo, Sonora se encuentran dos centros autorizados para capacitar en los productos de esta empresa.

4.1.5 Fase 5, Definición del plan de colaboración

Proceso 1: Definición de las formas de comunicación en la CMDC. Los archivos se clasificaron en dos tipos: archivos administrativos y archivos de datos del proyecto. Para los archivos administrativos toda la comunicación entre los integrantes del equipo acerca de la planeación del proyecto se manejó por medios electrónicos como: mensajería instantánea (solo para emergencias), correo electrónico, ninguna información del proyecto se manejó en redes sociales, todos los integrantes del equipo manejaron el mismo sistema de correo electrónico, los documentos comunes

y las minutas de las juntas se subieron a un servicio de los llamados “en la nube”, que permite revisar y editar documentos comunes.

Respecto al manejo de los datos del proyecto en red se manejó la compartición a través de las herramientas multiusuario del software BIM elegido para el proyecto; las cuales permiten que varios integrantes del mismo equipo accedan simultáneamente a un único modelo (en un único archivo), compartido a través de un **archivo central** para trabajar sobre él. Para todos resultó un desafío compartir la base de datos única, lo cual se hizo a través de un proceso del software denominado sub-proyectos. La forma en la que el software elegido maneja los archivos multiusuario se detalla a continuación: se creó el **archivo central**, que es el archivo maestro del proyecto y el cual contiene todos los datos del modelo, una vez creado se guardó en el servidor en un área compartida de la red, para que los integrantes pudieran trabajar en el proyecto simultáneamente. Posteriormente se crearon las **copias locales**, las cuales se guardaron en las computadoras asignadas a los diferentes integrantes del equipo. Esta copia local transmite y recolecta datos desde y hacia el archivo central. Para finalizar se crearon los **sub-proyectos** para cada integrante, los cuales son áreas específicas del proyecto de modelado asignadas a los integrantes del equipo y que solo pueden ser editados por un miembro a la vez. La compartición de información entre los miembros del equipo se estableció por medio de los mecanismos de **préstamo de elementos**, el cual es un proceso que permite editar el sub-proyecto asignado a otro usuario. Cuando un **sub-proyecto** está siendo modificado por un miembro del equipo, este conserva la facultad de edición y si otro miembro quiere editar ese mismo sub-proyecto debe presentar una solicitud al propietario.

Para los nombres de archivo se eligió la siguiente nomenclatura:

Proy-Dis-Pro-Núm. En este caso proy = proyecto, dis = disciplina, pro = proceso y num = número consecutivo, por ejemplo el proyecto del equipo 1 se denominó plaza-arq-mod-001. El destino final de todos los documentos electrónicos generados fue entregarle al cliente el archivo digital BIM de su proyecto, cada integrante del equipo

conservó una copia y se decidió conservarlos en la red del aula de capacitación como documentos con fines de capacitación en el futuro. Respecto a las comunicaciones de carácter administrativo cada integrante decidió qué hacer con ellas.

Proceso 2: Definición de los procedimientos y procesos para el manejo de la interoperabilidad en la CMDC. En este proceso se definieron las plataformas de software compatibles con el software BIM elegido de acuerdo a los objetivos, metas y usos definidos para este proyecto.

En el presente caso de estudio la interoperabilidad se manejó entre Revit Architecture y Autocad Civil 3D, Microsoft Excel, Project y Access a través de Opus CMS y un Block de notas. En todos los casos se exportó desde Revit Architecture, excepto en el caso de Autocad, donde además de exportar los archivos desde Revit, también se importó el archivo que sirvió de base para este estudio. Para los elementos prefabricados se estableció la interoperabilidad a través de Autodesk Seek, que es una plataforma donde los diferentes fabricantes colocan los diseños de sus productos con todas las especificaciones técnicas y funcionales de sus diseños a la venta. Los formatos de archivo que se manejan en esta plataforma son los requeridos para el software BIM y CAD. Para la geo-referenciación y ubicación física del proyecto se eligió la aplicación GoogleMaps y GoogleEarth. El software BIM elegido para el proyecto tiene la capacidad de importar, exportar, abrir y/o combinar al menos los siguientes tipos de archivo: .dwg, .dxf, .sat, .ifc, .dgn, .prp, .prw, .ipt, .iam, entre otros formatos compatibles y que se requieren para obtener los resultados de los análisis establecidos como propósitos de este trabajo. Respecto a la seguridad informática para este proyecto se consideró que la red instalada en la CMIC mantenía niveles aceptables de seguridad para un proyecto académico, sin embargo, este aspecto es bastante importante para cualquier proyecto que no sea académico y merece un estudio aparte.

4.2 Sección II. Preparación a Nivel proyecto.

A continuación se describen cada una de las fases de la implementación BIM en la sección de preparación del caso de estudio a nivel proyecto.

4.2.1 Fase 1, Definición del proyecto

Proceso 1: Información del proyecto, el proyecto de diseño constructivo consistió en la elaboración de propuestas adicionales de diseño arquitectónico con tecnologías BIM para el proyecto de una plaza comercial a construirse en Hermosillo, Sonora, cuyo diseño había sido elaborado previamente con tecnologías CAD.

En la tabla 4.8 se muestran los datos relevantes del proyecto.

Definición del proyecto	
Cliente / Propietario	Arquitecto V CH C
Nombre del Proyecto	Plaza Comercial
Número de Proyecto	CMDC-DPC-0001
Dirección de Proyecto	Hermosillo, Sonora
Descripción del proyecto	Creación de propuestas arquitectónicas en BIM para la Plaza Comercial, a partir del diseño de CAD
Modelos	Arquitectónico
Procesos de modelado	Masas conceptuales, Muros, Pisos, Techos, Ventanas, Puertas, Estacionamiento y paisaje (landscaping)

Tabla 4.8. Definición del proyecto

Fuente: Elaboración propia

Proceso 2: Definición del equipo de colaboración. Selección del equipo de trabajo para el proyecto, en este proceso todos los participantes del diplomado se anotaron como voluntarios, por lo que se formaron tres equipos de trabajo, cada uno con la encomienda de desarrollar un diseño constructivo para la plaza comercial y aplicarle la metodología BIM. Este proceso es de vital importancia para el correcto desarrollo del proyecto de diseño constructivo.

En la composición de los equipos había solamente un coordinador BIM (el instructor), y un cliente o propietario (el autor del proyecto en CAD) para los tres equipos.

Los equipos quedaron conformados como se muestra en la tabla 4.9

Composición de los equipos de trabajo						
Número	Arquitectos	Ingenieros			Administradores	Ejecutivos
		Eléctricos	Mecánicos	Civiles		
Equipo 1	2	1		1	1	
Equipo 2	2		1	1		1
Equipo 3	2		1	1	1	
Un coordinador BIM (Instructor) y un Cliente (Diseñador de la propuesta en CAD)						

Tabla 4.9. Equipos del proyecto

Fuente: Elaboración propia

Una vez que se formaron los equipos se procedió a elaborar el directorio de todos los involucrados en el proyecto, esta información se muestra en la tabla 4.10, la cual se subió a la nube de Autodesk 360, quedando disponible para consulta de todos los miembros del equipo de proyecto, tanto internos como externos (por ser datos personales no se incluye la información real en la tabla).

Equipos de Colaboración					
Nombre	Puesto	Compañía	Correo electrónico	Teléfono fijo	Teléfono Móvil
Equipo 1					
Arq. Juan Morales S.	Coordinador de modelo	CMDC	morales@gmail.com	(662)-218-9564	6621-49-1865
Arq. Miguel López P.	Diseñador / modelador	CMDC	malopez@hotmail.com	(662)-218-9565	6621-49-1866
I. E. Daniel Aguilar T.	Diseñador / Modelador	CMDC	dan-aguilar@hotmail.com	(662)-218-9566	6621-49-1867
LAE. Margarita Urquijo B.	Diseñador / Modelador	CMDC	mar_urq@yahoo.com	(662)-218-9567	6621-49-1868
I. C. Miltza Fernández J.	Diseñador / Modelador	CMDC	Miltza_fer@gmail.com	(662)-218-9568	6621-49-1869
Equipo 2					
Arq. Verónica Tarazón U.	Coordinador de modelo	CMDC	ver_tar@gmail.com	(662)-218-9570	6621-49-1871
Arq. Guadalupe Mercado H.	Diseñador / modelador	CMDC	mercado@hotmail.com	(662)-218-9571	6621-49-1872
I. M. Carlos Daniel Beltrán D.	Diseñador / modelador	CMDC	dan-beltran@hotmail.com	(662)-218-9572	6621-49-1873
I.C. Ana Lucía Covarrubias F.	Diseñador / modelador	CMDC	al_covarrubias@yahoo.com	(662)-218-9573	6621-49-1874
L.A.E. Ricardo Gonzalez C.	Diseñador / modelador	CMDC	richard_gonzalez@gmail.com	(662)-218-9574	6621-49-1875
Equipo 3					
Arq. Enrique López B.	Coordinador de modelo	CMDC	henry_lopez@gmail.com	(662)-218-9576	6621-49-1877
Arq. Lina Martínez L.	Diseñador / modelador	CMDC	martinezl@hotmail.com	(662)-218-9577	6621-49-1878
I.C. Melisa Aguiar B.	Diseñador / modelador	CMDC	melisa_aguiar@hotmail.com	(662)-218-9578	6621-49-1879
I.M. José Ochoa D.	Diseñador / modelador	CMDC	ochoa_jo@yahoo.com	(662)-218-9579	6621-49-1880
L.A.E. Arq. Víctor Dórame S.	Diseñador / modelador	CMDC	vic_dor@gmail.com	(662)-218-9580	6621-49-1881
BIM manager y Cliente (para los tres equipos)					
Ing. Juliana Olivas P.	BIM manager	CMIC	ju_palma@hotmail.com	(662)-218-9582	6621-49-1883
Arq. Vicente Chávez G.	Cliente	Particular	vicentech_@hotmail.com	(662)-218-9583	6621-49-1884

Tabla 4.10. Directorio del equipo del proyecto

Fuente: Elaboración propia

4.2.2 Fase 2, Plan de modelado BIM

Proceso 1: Definición de los modelos del diseño constructivo planeados para el proyecto en estudio. De acuerdo a los requerimientos del cliente, que solicitó nuevas propuestas de diseño arquitectónico para su proyecto de diseño constructivo desarrollado en CAD, el cual se muestra en la figura 4.1; lo primero que se hizo fue

importar a Revit Architecture la planta arquitectónica en CAD del cliente y analizarla junto con él, para determinar los modelos que requiere. Se estableció que el único modelo que solicita a la CMDC es el arquitectónico.

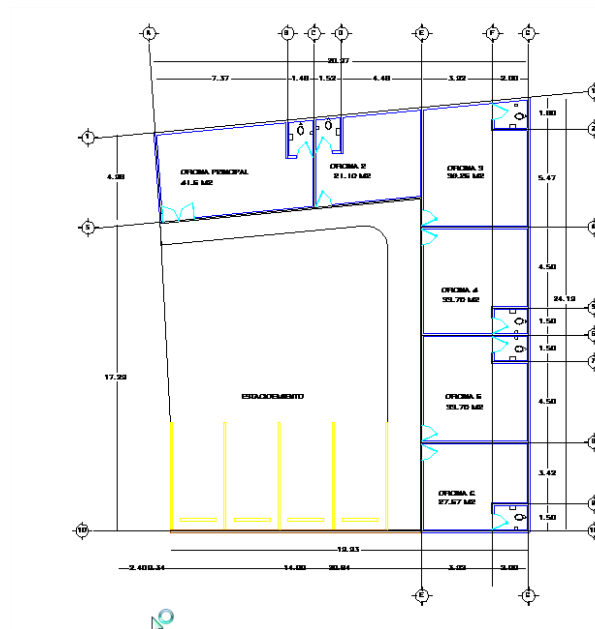


Figura 4.1. Planta Arquitectónica del diseño en CAD
Fuente: Diseño realizado por el cliente: Arquitecto V CH C

Proceso 2: Definición de los sub-proyectos de modelado.

En este proceso el diseño se dividió en tareas lógicas, acordes con la terminología de las herramientas del software, con la secuencia de diseño del modelo arquitectónico del caso y con la especialidad y conocimiento de los involucrados en el proyecto. Cada una de estas divisiones lógicas se denominó sub-proyecto

Posteriormente se procedió a la definición del nivel de detalle que el modelo arquitectónico de la plaza requiere, tomando en cuenta las necesidades y requerimientos del cliente y además se asignaron los sub-proyectos a los diferentes miembros del equipo de modelado, delimitando la responsabilidad de cada uno.

Para la realización de este proceso, una vez creadas las masas conceptuales, fue posible que todos los miembros del equipo trabajaran en forma simultánea sobre el modelo y además pudieran reaccionar ante los avances o cambios.

En la tabla 4.11 se muestran los sub-proyectos en los que se dividió el modelo arquitectónico del caso de estudio, la fase del diseño en la que se estará trabajando; así como las fechas estimadas de inicio y fin de los sub-proyectos.

Modelo arquitectónico				
Sub-proyectos	Fase del diseño constructivo	Fecha estimada de inicio	Fecha estimada de finalización	Interesados involucrados
1.-Creación de masas de volúmenes conceptuales	Conceptual	18/03/13	18/03/13	Todos los equipos
2.-Modelado de muros	Esquemático y Desarrollo	19/03/13	19/03/13	“
3.-Modelado de pisos	Esquemático y Desarrollo	19/03/13	19/03/13	“
4.-Modelado de techos	Esquemático y Desarrollo	19/03/13	19/03/13	“
5.-Modelado de puertas y ventanas	Esquemático y Desarrollo	20/03/13	20/03/13	“
6.-Modelado de muebles y equipo	Esquemático y Desarrollo	20/03/13	20/03/13	“
7.-Modelado de estacionamiento y	Esquemático y Desarrollo	20/03/13	20/03/13	“
8.-Modelado de los elementos de paisaje	Esquemático y Desarrollo	20/03/13	20/03/13	“
9.-Elaboración de los documentos de construcción	Documentos de Construcción	21/03/13	21/03/13	“

Tabla 4.11. Sub-Procesos de Modelado

Fuente: Elaboración propia

Proceso 3: Definición de los administradores de los modelos. En este caso de estudio se realizaron tres proyectos para el diseño arquitectónico de la plaza, con cuatro propuestas cada uno, pero solamente se documentó una de ellas. La razón por la que se detallaron tres proyectos es que todos los participantes en el proyecto académico voluntario tuvieran oportunidad de practicar y la razón por la que solo se documentó una propuesta es por la extensión del documento de tesis.

Para cada equipo se nombró un administrador del modelo, en los tres casos la persona elegida fue un arquitecto, como se muestra en la tabla 4.12. Es deseable que el administrador de los modelos sea alguien experto y con formación en la

disciplina que se está modelando, si el modelo hubiera sido el estructural, por ejemplo, se hubiera elegido a un ingeniero.

En este caso de estudio el coordinador de BIM, o BIM manager es el mismo para los tres proyectos al igual que el cliente.

Administradores de los modelos							
Número	Arquitectos	Ingenieros			Administ radores	Ejecutivos	Administrad or de modelo
		Eléctricos	Mecánicos	Civiles			
Equipo 1	2	1		1	1		Morales J.
Equipo 2	1		1	1		1	Tarazón V.
Equipo 3	2		1	1	1		López E.
Un coordinador BIM (Olivas J.) y un Cliente (Chávez V.)							

Tabla 4.12. Administradores de los modelos

Fuente: elaboración propia

Proceso 4: Creación de la base de datos para el proyecto. En este proceso lo primero que se hizo fue crear una plantilla o template para el proyecto en el software Revit. En esta plantilla se configuraron los parámetros fijos de identificación del proyecto, tales como autor, fecha de entrega, nombre del cliente, entre otros y que se muestran en la pantalla de captura de la figura 4.2. Es importante realizar esta captura para que estos datos se impriman en forma automática en los documentos de construcción.

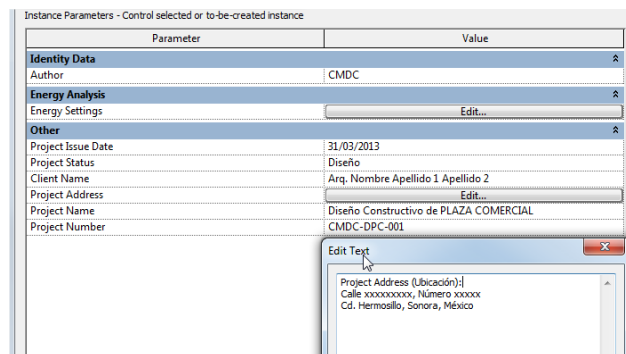


Figura 4.2. Pantalla de captura de los datos básicos de identificación del proyecto

Fuente: Software Revit Architecture, menú/manage/project information

Posteriormente se procedió a especificar las unidades para el diseño y la precisión de las mismas; tales como unidades para longitud, área, volumen, moneda,

pendientes, entre otras, como se muestra en la figura 4.3. Para este proyecto se especificó dos dígitos de precisión.

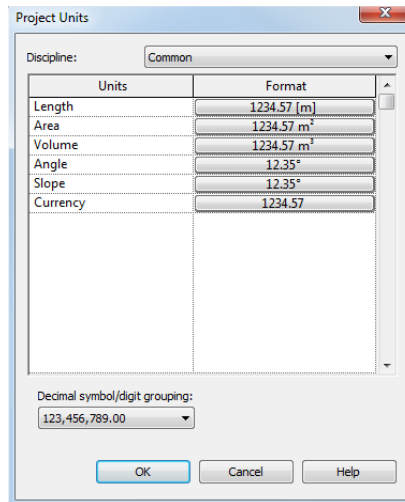


Figura 4.3. Pantalla de captura de unidades de diseño para el proyecto
Fuente: Software Revit Architecture, menú/manage/units

Una vez establecida la identificación del proyecto se procedió a ubicarlo geográficamente desde Revit Architecture, utilizando para ello la aplicación Google Maps, la cual se accesa desde Revit. En este caso la pantalla de captura que se muestra en la figura 4.4 no corresponde a la ubicación real por confidencialidad de los datos reales del proyecto.

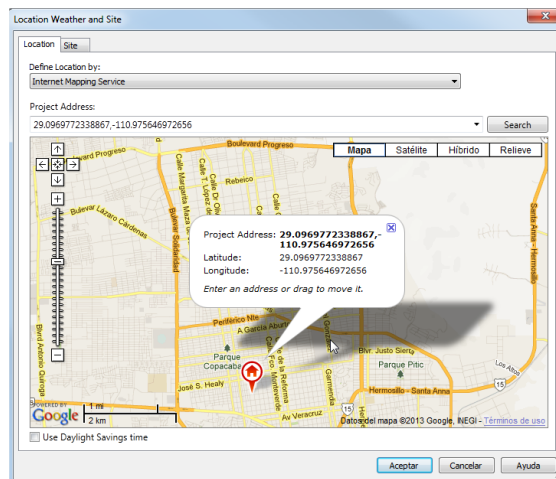


Figura 4.4. Pantalla de captura de la ubicación del proyecto
Fuente: Software Revit Architecture, menú/manage/location

Entre otras cosas, la actividad de ubicar geográficamente el proyecto sirve para que se asocien las bases de datos de iluminación, luz, sombra, condiciones climatológicas, entre muchos otros datos que se encuentran en los registros de las bases de datos de las plataformas de software BIM; pues recordemos que las plataformas tecnológicas para BIM están enfocadas en el diseño y no en el dibujo; por lo que más adelante con la información que se obtiene en este proceso se podrán realizar procesos de topografía, cálculos de movimientos de tierras, curvas de nivel, presentaciones, análisis de energía, entre otros análisis y cálculos de intercambio entre las bases de datos, de los distintos proyectos de construcción.

Creación de los criterios de diseño para los elementos de las familias de los procesos a modelar. Para este proyecto se crearon los criterios para muros, techos, pisos, puertas, ventanas, árboles y cajones de estacionamiento. Para la creación de estos elementos se utilizó la información proporcionada por el cliente, la cual se plasma en la tabla 4.13

Criterios para las familias del diseño	
Elemento	Descripción
Muros	Muro de ladrillo de barro recocido, con acabado interior de mortero, cemento cal arena y acabado exterior aparente.
Pisos	Piso firme de concreto armado a base de cemento gris, arena, y grava de 15 cms de espesor
Techo	Losa de concreto armado a base de varilla, cemento gris, grava, y arena de 25 cms de espesor
Puertas	Las puertas son prefabricadas
Ventanas	Las ventanas de aluminio prefabricadas
Estacionamiento	Se eligió un elemento precargado con el software
Paisaje (Árboles)	De la región o adaptados (se eligió palmeras)

Tabla 4.13. Criterios de diseño para los procesos de modelado
Fuente: elaboración propia

A continuación se describe el procedimiento que se utilizó para añadir a la base de datos del proyecto el registro de uno de los elementos de familia, en este caso se escogió el muro. Existen varias maneras de añadir elementos de familia a una base de datos, ya sea creándolos desde de cero con el editor de familias de Revit, a partir de elementos ya diseñados, o bajándolos desde sitios en línea, en los cuáles los fabricantes y diseñadores de software han colocado diseños para todas las

categorías imaginables de elementos de detalle de los proyectos constructivos, entre otras formas.

Para crear el elemento de familia muro de ladrillo con acabado aparente de 20 centímetros de espesor, con las características descritas se procedió como se muestra en la figura 4.5. En la plantilla del proyecto: 1) se escogió un elemento muro, como si se fuera a modelar un muro, 2) se duplicó, 3) se le cambió el nombre y 4) se editó la estructura de composición de los materiales de acuerdo a los requisitos establecidos para el proyecto.

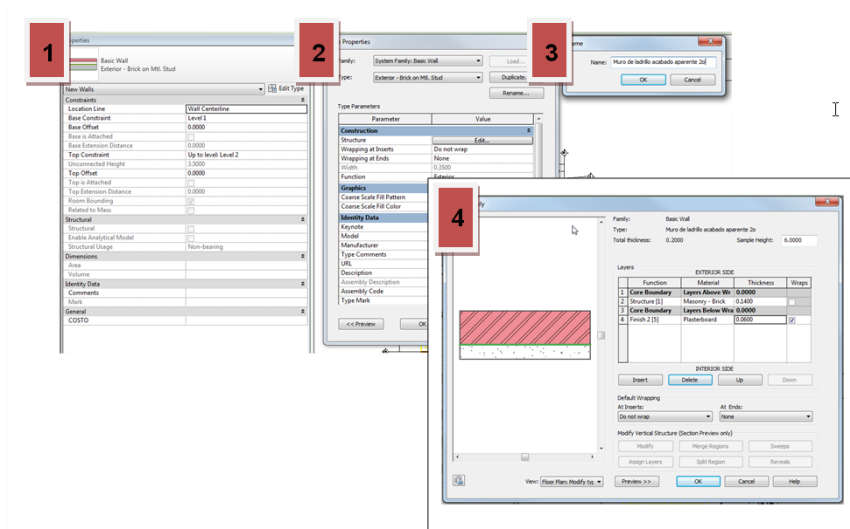


Figura 4.5. Secuencia de Creación del elemento muro de ladrillo de barro recocido
Fuente: composición propia de pantallas de captura de Revit

De la misma manera que se diseñó el elemento de familia muro se procedió a diseñar los elementos para pisos y techo.

Para las ventanas y puertas se hizo uso de la interoperabilidad entre plataformas y se eligieron elementos de familia de Autodesk Seek; a cuya aplicación on-line es posible acceder desde Revit Architecture. El procedimiento para hacerlo se describe a continuación: 1) Menú Insert de Revit, 2) En el panel de Autodesk Seek se escribió “windows” y se hizo clic en Find. Este procedimiento se muestra en la figura 4.6.

Al llegar al sitio de Autodesk Seek nos encontramos ante un mundo completo de elementos de diseño al alcance de un clic. Son elementos reales, que se encuentran

para venta en las en fábricas, los cuales tienen todos los datos de diseño, para instalarlos, para ensamblarlos y hasta para fabricarlos si así se desea, y por otro lado son archivos compatibles con el software BIM y los elementos de familia están listos para ser insertados en los proyectos de diseños constructivos, ya sea en plataformas BIM o en plataformas CAD, sencillamente la interoperabilidad funcionando al 100%.

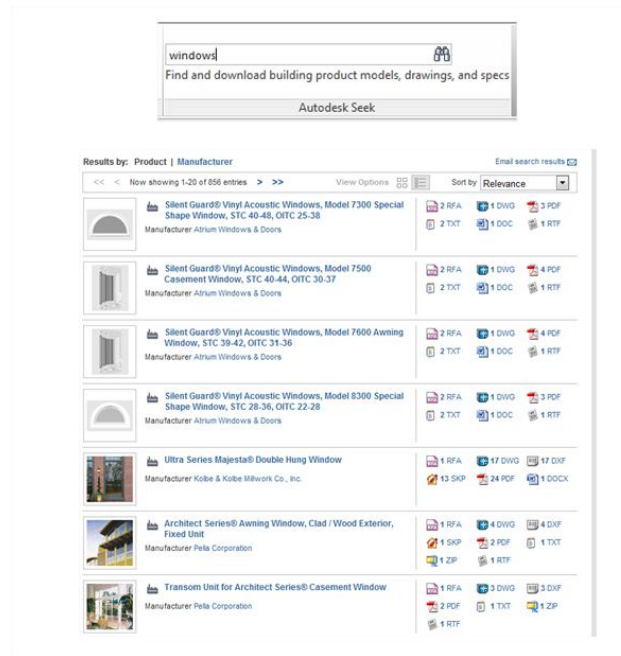


Figura 4.6. Resultado de la búsqueda de elemento de familia ventana en Autodesk Seek

Fuente: Captura de pantalla del sitio Autodesk Seek

Para este proyecto elegimos la categoría de ventana que se muestra en la figura 4.7 porque el cliente ya conocía la marca y diseño.

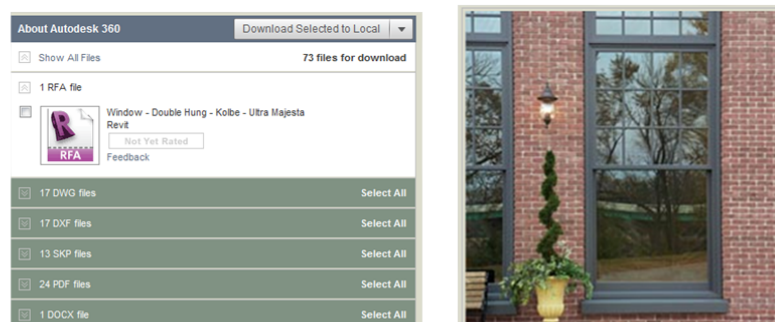


Figura 4.7. Vista del elemento familia elegido para el proyecto

Fuente: Captura de pantalla de Autodesk Seek

Se descargó el elemento de familia, se agregó al proyecto y quedó lista para utilizarse así como está, o hacerle cambios, ya que en su sitio Web este fabricante ofrece el suministro de este modelo en forma personalizada.

Para las puertas y los elementos de paisaje se siguió el mismo procedimiento descrito anteriormente para los elementos de ventana en la figura 4.6.

Los cajones de estacionamiento se propusieron de entre los elementos de familia que se instalan de origen en la plataforma de Revit Architecture.

Una vez que se le añadieron los criterios para los principales procesos del modelado, se grabó la plantilla en la carpeta compartida para que quedara a disposición de los miembros de todos los equipos y se cerró (paso importante en los procesos de creación de plantillas).

4.2.3 Fase 3, Modelado detallado.

Proceso 1: sub-proyecto de modelado para la fase de conceptualización. Sub-proyecto masas conceptuales.

Modelado de masas conceptuales. Esta herramienta del diseño soporta el modelado de sólidos y el modelado de superficies. Los objetos de masas conceptuales son utilizados para la forma y la geometría del diseño de una construcción. Una vez que la forma ha sido modelada con masas conceptuales, se pueden calcular las áreas y volúmenes y hasta generar los reportes de las cantidades de arranque o cantidades gruesas de obra (Quantity Take OFF, QTO). Si se desea a partir de las masas se pueden crear los elementos sólidos del diseño como muros, pisos, techos, entre otros (Patrick Davis, 2011).

En este proceso se insertó el diseño de CAD en el software Revit y se crearon las masas conceptuales volumétricas con herramientas de Revit. El diseño CAD se muestra en la figura 4.8.

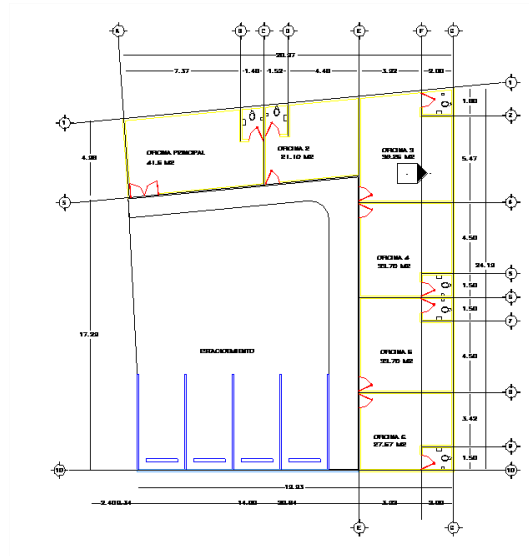


Figura 4.8. Propuesta de Diseño en CAD
Fuente: Importación desde archivo CAD

De acuerdo a los requerimientos del cliente se le presentaron 4 propuestas de diseño conceptual de la plaza de 1, 2, y 3 niveles; es decir, de un piso, de dos pisos y de tres pisos; además se le presentaron las estimaciones gruesas de cantidades de obra para cada uno de los niveles.

El nivel de detalle de estas propuestas comprendió hasta la creación de las masas conceptuales y generación de los reportes de volúmenes, áreas y perímetros del proyecto. Con esta información sobre la geometría fue posible estimar el costo total de construcción de la plaza utilizando para ello el precio de “mercado” por metro cuadrado de construcción; para este proyecto se utilizaron las bases de datos de la CMIC.

En la figura 4.9 se muestra la propuesta correspondiente al nivel 1 de 3.50 metros sobre el nivel de piso terminado. Los entregables para el cliente son: la vista de la fachada principal, el modelo 3D y el reporte de cantidades preliminares de obra.

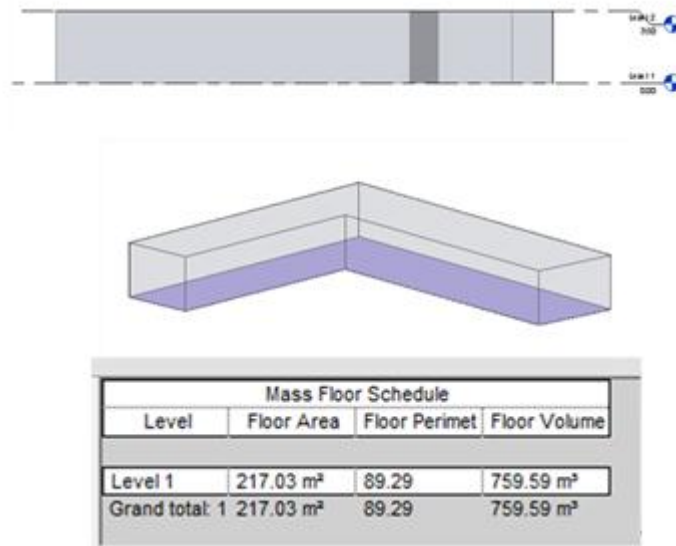


Figura 4.9. Propuesta 1 diseño conceptual (1 nivel, reporte masa 3D y QTO)
Fuente: Elaboración propia Revit Architecture

En la figura 4.10 se muestra la propuesta 2 del diseño conceptual. En esta figura se muestra la fachada vista desde el sur, el modelo 3D y el reporte de cantidades iniciales (QTO).

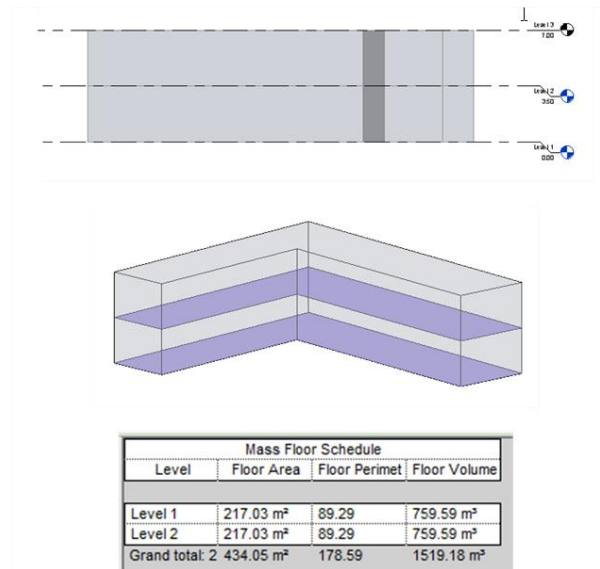


Figura 4.10. Propuesta 2 diseño conceptual (2 niveles, masa 3D y reporte QTO)
Fuente: Elaboración propia en Revit Architecture

En la figura 4.11 se muestra el diseño conceptual de la propuesta 3. Los entregables para el cliente son: la vista de fachada, el modelo 3D y el reporte de cantidades preliminares de obra.

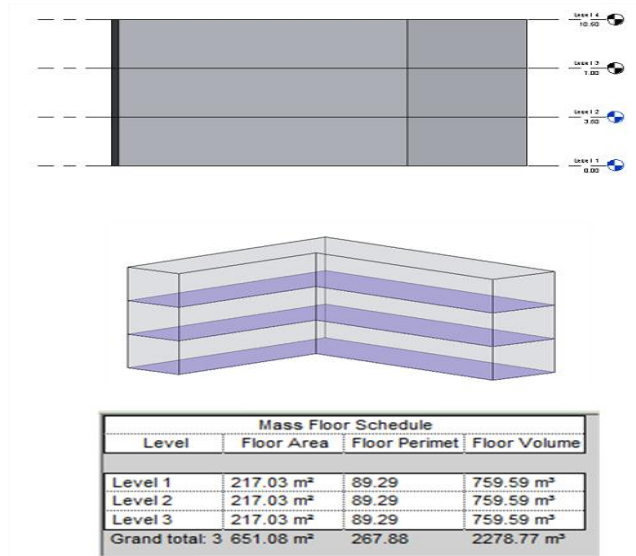


Figura 4.11. Propuesta3 diseño conceptual (3 niveles, masa 3D, y reporte QTO)

Fuente: Elaboración propia en Revit Architecture

Al llegar a la propuesta 4 el cliente solicitó que esta se basara en la propuesta 3, de la figura 4.11, solicitando que se le agregaran más elementos de diseño tales como un muro cilíndrico en la entrada principal.

En la figura 4.12 se muestra el diseño conceptual de la propuesta 4. Como se puede observar en los entregables de esta fase la forma y niveles son semejantes a los de la propuesta 3 (figura 4.11), solo que de acuerdo a los nuevos requerimientos del cliente se modificó el diseño del muro de la entrada principal.

En la realización de estos procesos iterativos del diseño, en los cuales el diseño está sometido a cambios constantes es donde se pueden apreciar los grandes beneficios de las tecnologías de modelado de información, ya que los cambios se reflejan en forma instantánea en cada uno de los sub-proyectos del modelado y son visibles a todos los interesados.

La figura 4.12 muestra la fachada vista desde el sur, el modelo 3D y el reporte de cantidades gruesas de obra.

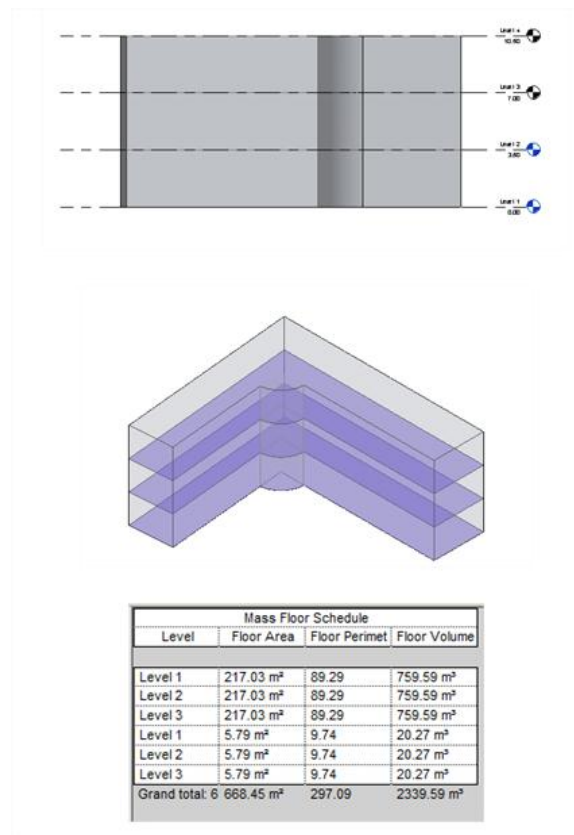


Figura 4.12. Propuesta 4 diseño conceptual
Fuente: Elaboración propia en Revit Architecture

Finalmente el cliente se decidió por la propuesta 4 mostrada en la figura 4.12 y se procedió a realizar el sub-proyecto de modelado de diseño esquemático.

Proceso 2: Plan de modelado para la fase de diseño esquemático. Sub-proyecto de diseño esquemático.

En este proceso se agregaron los pisos, los muros, los espacios interiores, los techos y se crearon reportes de estimación de costos de los conceptos principales de la propuesta 4 elegida por el cliente.

En la figura 4.13 se muestra el modelado de losas de entrepiso-pisos.

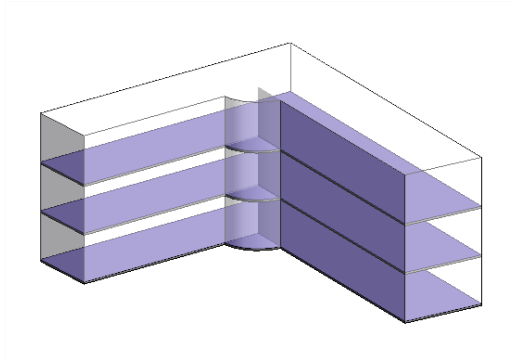


Figura 4.13. Propuesta 4 diseño esquemático losas de entepiso
Fuente: Elaboración propia en Revit Architecture

En la figura 4.14 se muestra el modelado esquemático de los muros interiores para los niveles 1, 2 y 3 de la propuesta elegida por el cliente.

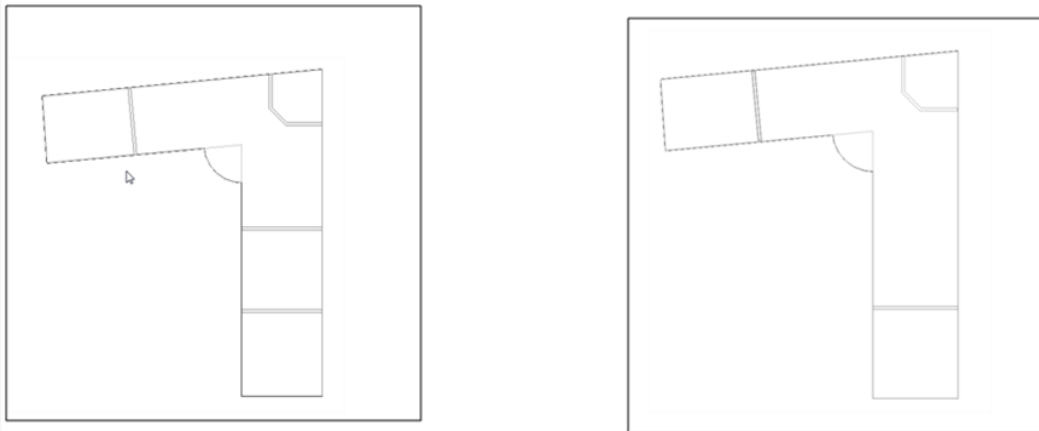


Figura 4.14. Modelado de muros interiores nivel 1 y 2 Modelado de muros interiores nivel 3
Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.15 se muestra el resultado del modelado esquemático 3D de los muros exteriores del caso de estudio. Se puede apreciar la textura del ladrillo y demás elementos del diseño en forma de presentación o modelado fino. Para la creación de esta vista se utilizaron las herramientas del mismo software en el que están creando los modelos.

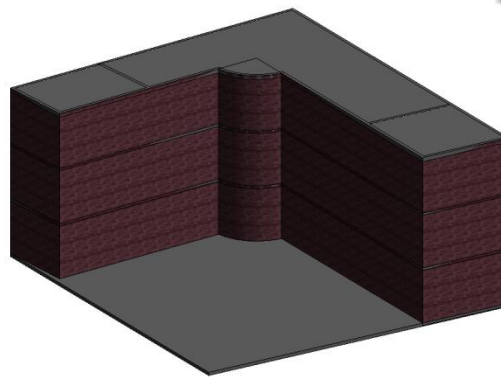


Figura 4.15. Modelado de muros exteriores
Fuente: Elaboración propia en Revit Architecture

En la tabla 4.14, se muestra la estimación de los costos de los muros para la fase del diseño esquemático.

Wall Schedule					
Family	Family and Type	Cost	Width	Length	Area
Basic Wal	Basic Wall: MURO-INT-LADR-APARENTE-9 CMS	300.00	0.09	4.89	16.77 m²
Basic Wal	Basic Wall: MURO-INT-LADR-APARENTE-9 CMS	300.00	0.09	5.80	19.60 m²
Basic Wal	Basic Wall: MURO-INT-LADR-APARENTE-9 CMS	300.00	0.09	2.43	8.53 m²
Basic Wal	Basic Wall: MURO-INT-LADR-APARENTE-9 CMS	300.00	0.09	2.57	9.01 m²
Basic Wal	Basic Wall: MURO-INT-LADR-APARENTE-9 CMS	300.00	0.09	1.66	5.68 m²
Basic Wal	Basic Wall: MURO-INT-LADR-APARENTE-9 CMS	300.00	0.09	5.80	19.60 m²
Basic Wal	Basic Wall: MURO-INT-LADR-APARENTE-9 CMS	300.00	0.09	4.89	16.77 m²
Basic Wal	Basic Wall: MURO-INT-LADR-APARENTE-9 CMS	300.00	0.09	2.43	8.53 m²
Basic Wal	Basic Wall: MURO-INT-LADR-APARENTE-9 CMS	300.00	0.09	1.70	6.27 m²
Basic Wal	Basic Wall: MURO-INT-LADR-APARENTE-9 CMS	300.00	0.09	2.54	8.47 m²
Basic Wal	Basic Wall: MURO-INT-LADR-APARENTE-9 CMS	300.00	0.09	5.80	19.60 m²
Basic Wal	Basic Wall: MURO-INT-LADR-APARENTE-9 CMS	300.00	0.09	4.89	16.77 m²
Basic Wal	Basic Wall: MURO-INT-LADR-APARENTE-9 CMS	300.00	0.09	5.80	19.60 m²
Basic Wal	Basic Wall: Muro EXT-de ladrillo acabado aparente 2	300.00	0.20	4.78	52.29 m²
Basic Wal	Basic Wall: Muro EXT-de ladrillo acabado aparente 2	300.00	0.20	20.73	217.75 m²
Basic Wal	Basic Wall: Muro EXT-de ladrillo acabado aparente 2	300.00	0.20	23.99	251.99 m²
Basic Wal	Basic Wall: Muro EXT-de ladrillo acabado aparente 2	300.00	0.20	4.19	47.65 m²
Basic Wal	Basic Wall: Muro EXT-de ladrillo acabado aparente 2	300.00	0.20	11.77	121.47 m²
Basic Wal	Basic Wall: Muro EXT-de ladrillo acabado aparente 2	300.00	0.20	15.81	166.06 m²
Basic Wal	Basic Wall: Muro EXT-de ladrillo acabado aparente 2	300.00	0.20	5.80	58.80 m²
Basic Wal	Basic Wall: Muro EXT-de ladrillo acabado aparente 2	300.00	0.20	23.99	249.89 m²
Grand total					1341.12 m²

Tabla 4.14. Estimación de costos de muros diseño esquemático
Fuente: elaboración propia, extracción de Revit

A continuación se presenta la tabla 4.15, correspondiente a los costos de los pisos de la fase de diseño esquemático.

Floor Schedule						
Description	Family	Level	Cost	Perimeter	Area	Volume
Losa de entrepiso de concreto armado de 20 cms.	Floor	Level 1	500.00	89.29	217.03 m²	32.55 m³
Losa de entrepiso de concreto armado de 20 cms.	Floor	Level 2	500.00	89.29	217.03 m²	32.55 m³
Losa de entrepiso de concreto armado de 20 cms.	Floor	Level 3	500.00	89.29	217.03 m²	32.55 m³
Losa de entrepiso de concreto armado de 20 cms.	Floor	Level 1	500.00	9.74	5.79 m²	0.87 m³
Losa de entrepiso de concreto armado de 20 cms.	Floor	Level 2	500.00	9.74	5.79 m²	0.87 m³
Losa de entrepiso de concreto armado de 20 cms.	Floor	Level 3	500.00	9.74	5.79 m²	0.87 m³
Losa de entrepiso de concreto armado de 20 cms.	Floor	Level 1	500.00	88.21	483.83 m²	96.77 m³
Grand total				385.30	1152.29 m²	197.03 m³

Tabla 4.15. Estimación de costos de pisos diseño esquemático
Fuente: elaboración propia, extracción de Revit

En la tabla 4.16 se presenta la estimación de los costos correspondientes al techo de la fase de diseño esquemático.

Roof Schedule					
Type	Family	Description	Cost	Area	Volume
LOSA DE TECHO 25 CMS	Basic Roo	Losa de t	1000.00	217.03 m ²	54.26 m ³
LOSA DE TECHO 25 CMS	Basic Roo	Losa de t	1000.00	5.79 m ²	1.45 m ³
Grand total				222.82 m ²	55.70 m ³

Tabla 4.16. Estimación de costos de techo diseño esquemático

Fuente: elaboración propia, extracción de Revit

Proceso 3: Plan de modelado para la fase de desarrollo del diseño, sub-proyecto desarrollo del diseño.

En este proceso se desarrolló la propuesta elegida por el cliente, al modelo se le agregaron elementos de paisaje, puertas, ventanas y cajones de estacionamiento. En la figura 4.16 se muestra el resultado del modelado de las puertas y ventanas, las cuales corresponden a los elementos de familia programados en la plantilla del proyecto.

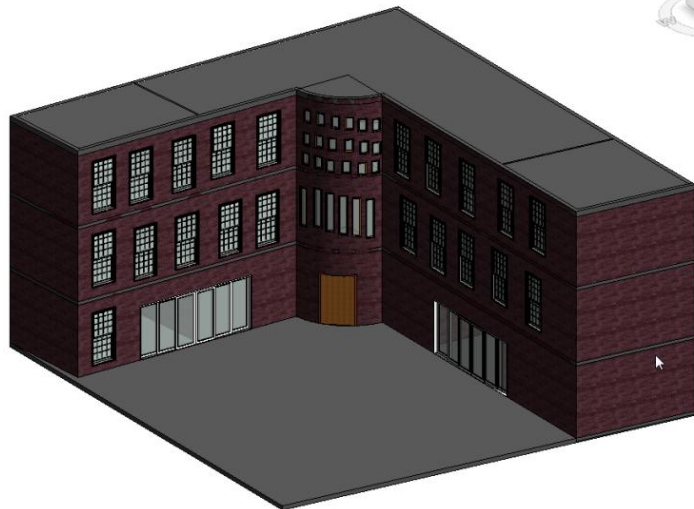


Figura 4.16. Modelado de puertas y ventanas

Fuente: Elaboración propia en Revit Architecture

En la tabla 4.17 se muestra la estimación de los costos de las ventanas de la fase de desarrollo del diseño.

Proceso 4, Plan para la preparación de los documentos de construcción.

En este proceso se extrajeron del modelo las vistas requeridas para la elaboración de los documentos de construcción. La extracción del modelo arquitectónico de las vistas de las plantas arquitectónicas y planta de azotea de todos los niveles se muestra en la figura 4.18.

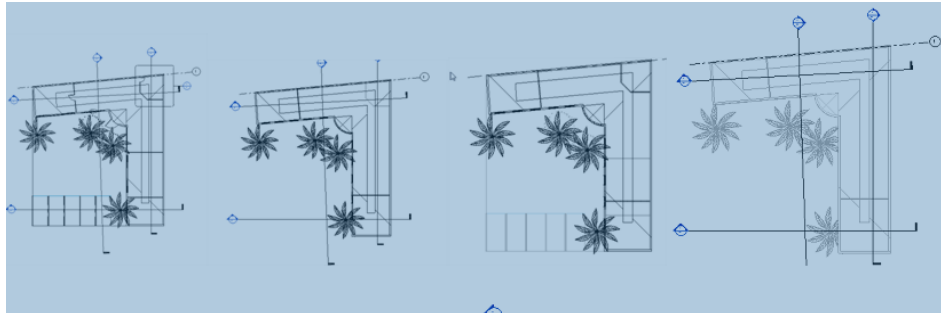


Figura 4.18. Plantas arquitectónicas y de azotea de los niveles 1, 2, 3, y 4
Fuente: Elaboración propia, extracción de Revit Architecture

La extracción del modelo arquitectónico de las vistas de las fachadas norte y este se muestra en la figura 4.19.

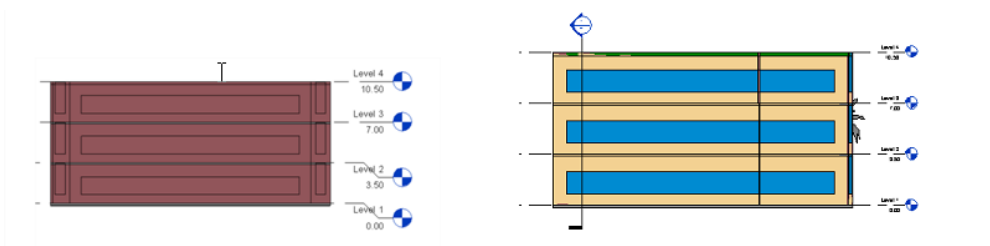


Figura 4.19. Fachadas Norte y Este
Fuente: Elaboración propia, extracción de Revit Architecture

La extracción del modelo arquitectónico de las vistas de las fachadas sur y oeste se muestra en la figura 4.20.

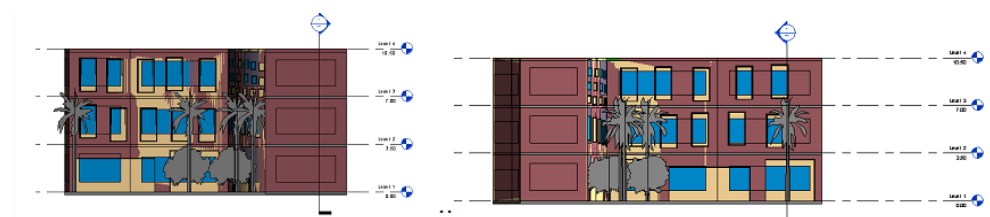


Figura 4.20. Fachadas Sur y Oeste
Fuente: Elaboración propia, extracción de Revit Architecture

La extracción del modelo arquitectónico de las vistas de los detalles constructivos se muestra en la figura 4.21.

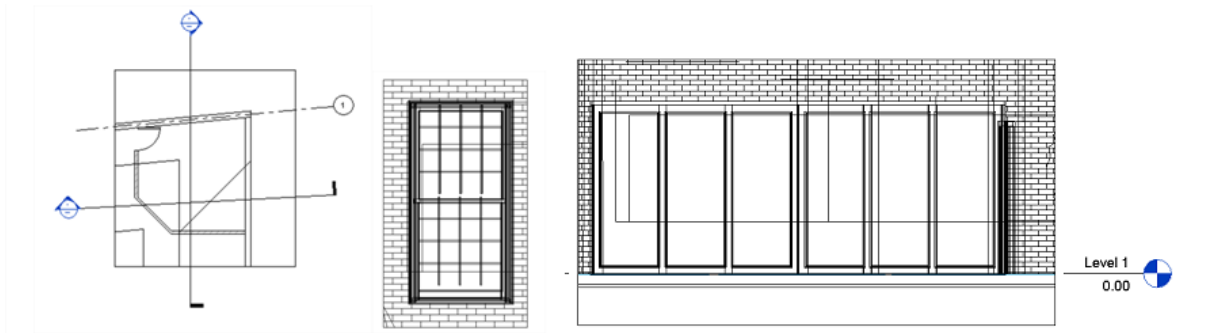


Figura 4.21. Detalles constructivos
Fuente: Elaboración propia, extracción de Revit Architecture

La extracción del modelo arquitectónico de las vistas de los cortes longitudinales y transversales se muestra en la figura 4.22.

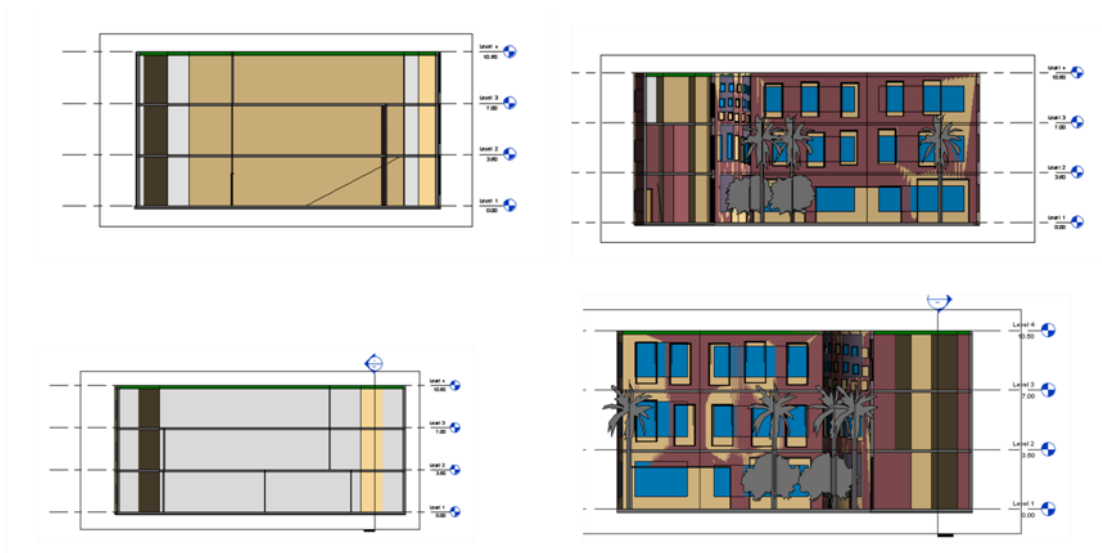


Figura 4.22. Cortes longitudinales y transversales
Fuente: Elaboración propia, extracción de Revit Architecture

La extracción del modelo arquitectónico de las vistas 3D en corte y sin corte se muestra en la figura 4.23.

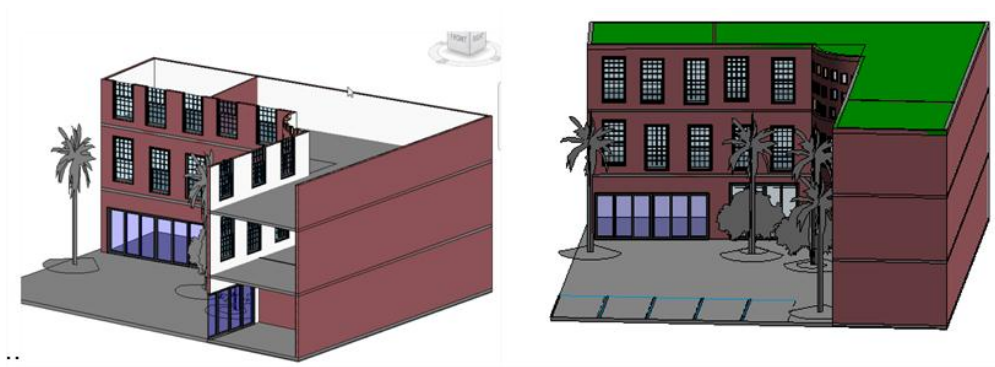


Figura 4.23. Vista 3D en corte y sin corte
Fuente: Elaboración propia, extracción de Revit Architecture

La extracción del modelo arquitectónico de las vistas en perspectiva se muestra en la figura 4.24.

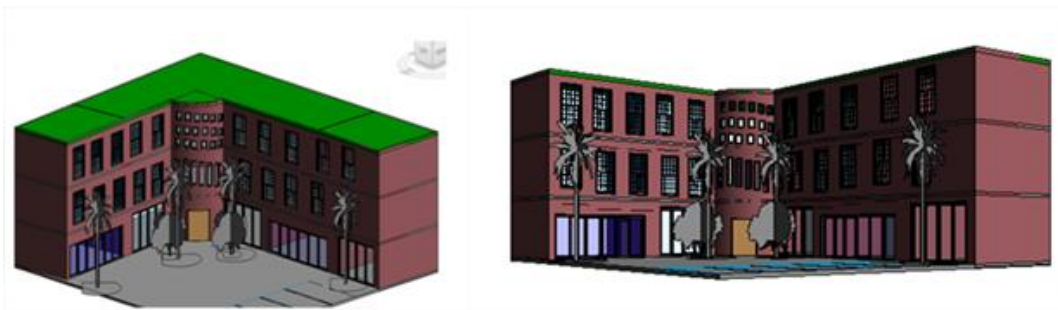


Figura 4.24. Vistas en perspectiva
Fuente: Elaboración propia, extracción de Revit Architecture

La extracción del modelo arquitectónico de la vista para presentaciones renderizadas de marketing se muestra en la figura 4.25.



Figura 4.25. Vista para presentación (Render)
Fuente: Elaboración propia, extracción de Revit Architecture

4.2.4 Fase 4, Plan de análisis de los modelos (todas las fases)

En la tabla 4.19 se muestra una lista de los análisis efectuados al modelo arquitectónico del caso de estudio. Algunos de estos análisis se realizaron a medida que se iba desarrollando el proyecto, como son las visualizaciones 3D, estimación de los costos, los reportes de cantidades gruesas de obra y las presentaciones (renderizado), entre otros, como el análisis de interferencias o colisiones (reporte de colisiones), que además de irse realizando a medida que se avanzaba en los sub-proyectos de modelo se realizó un análisis al final de la fase de diseño detallado.

Plan de análisis de los modelos					
Análisis	Herramienta de análisis	Modelo	Fase del proyecto	SI/NO	Formato de archivo
Visualización 2D y 3D	View de Revit	Arq	Todas	Se realizó durante todo el desarrollo	.rte
Detección de colisiones	Interference check de Revit	Arq	Todas	Se realizó cada vez que se cerró una fase	.rte
Cantidades de arranque (QTO)	Schedules de Revit	Arq	Diseño Conceptual	Se realizó cada vez que se cerró una fase	.txt, .csv
Programación	Microsoft Project	Arq	Todas	No se realizó porque el diseño solo incluye el modelo arquitectónico	.prj
Estimación de costos	Schedules de Revit	Arq	Diseño esquemático, Desarrollo del diseño	Se realizó cada vez que se cerró una fase	.txt, .csv, .xls
Análisis de energía	Analyze de Revit	Arq	Desarrollo del diseño	No se realizó porque el diseño solo incluye el modelo arquitectónico	
Presentaciones	Render de Revit	Arq	Todas las fases	Se realizó durante todo el desarrollo	.jpg

Tabla 4.19. Resumen de análisis sobre el modelo arquitectónico

Fuente: Elaboración propia

Análisis de detección de colisiones

En la tabla 4.20, se muestra las pantallas de captura para el reporte de detección de colisiones para el proyecto. La información que se muestra corresponde a la interacción de los muros con las puertas y ventanas. Se debe mencionar que las mayores ventajas de realizar un análisis de colisiones se obtienen al efectuarlo entre los modelos arquitectónicos y los modelos estructurales de columnas, trabes, y/o los modelos de instalaciones como son ductos de aire acondicionado, ventanas y puertas, entre otros elementos de las construcciones.

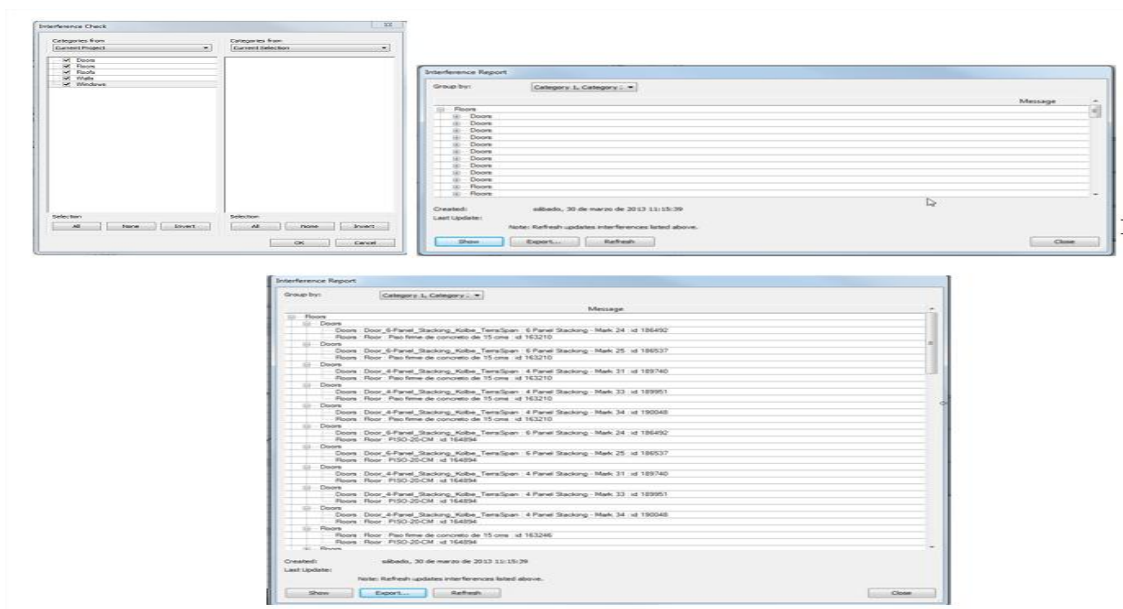


Tabla 4.20. Reporte de Análisis de Colisiones
Fuente: Elaboración propia, extracción de Revit

4.2.5 Fase 5, Definición del plan de calidad para las fases del diseño constructivo.

Proceso 1, Revisión de la calidad en la fase de diseño conceptual del proyecto constructivo. A este proceso equivalente a la planeación del diseño constructivo se le dedicó todo el tiempo que se consideró necesario antes de pasar a la siguiente fase, con la intención de limitar en lo posible los cambios drásticos en el futuro o la cancelación del proyecto derivado de un incorrecto análisis de viabilidad. Los elementos a verificar se muestran en la tabla 4.21.

Revisión de la Calidad en la fase de Diseño Conceptual		
Concepto	SI	NO
Requerimientos del cliente por escrito y disponibles	✓	
Selección de involucrados de acuerdo disciplina constructiva	✓	
Objetivos y alcance del diseño por escrito y disponibles	✓	
Se conoce el presupuesto del cliente	✓	
Calendario para las entregas del proyecto	✓	
Agenda de juntas de revisión y entregas	✓	
Forma de comunicación e intercambio de información	✓	
Directorio del equipo de proyecto	✓	
Nombramiento de los responsables de aprobación	✓	
Contrato de diseño	✓	
Elaboración de masas conceptuales volumétricas	✓	
Estimación de los costos preliminares en base a estadísticas	✓	
Estimación de los costos preliminares en base a masas conceptuales	✓	
Otros aplicables	✓	

Tabla 4.21. Resumen del análisis de calidad en la fase conceptual

Fuente: Elaboración propia

Proceso 2, La revisión de la calidad en la fase de diseño esquemático. En este proceso se revisaron junto con el cliente varias propuestas de diseño hasta que finalmente el cliente se decidió por una para desarrollarse.

Los conceptos de calidad revisados y los resultados se muestran en la tabla 4.22.

Revisión de la calidad en el diseño esquemático		
Concepto	SI	NO
Elaboración y presentación de varias propuestas de diseño	✓	
Validación de las propuestas con los requerimientos del cliente	✓	
Revisión de la factibilidad de construcción	✓	
Estimación de los costos de diseño de cada elemento del diseño	✓	
Elaboración de los entregables de cada disciplina solicitada por el cliente	✓	
Aceptación de una propuesta por parte del cliente	✓	
Otros aplicables	✓	

Tabla 4.22. Análisis de calidad en la fase de diseño esquemático

Fuente: Elaboración propia

Proceso 3, Revisión de la calidad en la fase de desarrollo del diseño. En este proceso se revisaron junto con el cliente que los modelos realizados cumplieran con sus requerimientos, con las especificaciones y la normatividad aplicable.

Los conceptos de calidad verificados y los resultados se muestran en la tabla 4.23.

Revisión de la calidad en la fase de desarrollo del diseño		
Concepto	SI	NO
Elaboración de los modelos planeados de todas las disciplinas	✓	
Desarrollo de los modelos al nivel de detalle requerido para construcción	✓	
Los modelos incluyen métodos constructivos viables	✓	
Los modelos de cada disciplina tienen especificaciones entendibles	✓	
Los costos son reales y en base a los modelos	✓	
El programa de obra ha sido realizado	✓	
El diseño desarrollado ha sido aceptado por el cliente	✓	
Otros aplicables dependiendo del proyecto	✓	

Tabla 4.23. Análisis de calidad en la fase de desarrollo del diseño

Fuente: Elaboración propia

Proceso 4, Los resultados de la revisión de la calidad y constructividad en la fase de elaboración de los documentos de construcción se muestra en la tabla 4.24.

Revisión de la calidad en la elaboración de los documentos		
Concepto	SI	NO
Los planos digitales de cada disciplina modelada están completos y son imprimibles	✓	
los planos reúnen los requisitos para ser utilizados en la fase de licitación		✓
Los planos reúnen los requisitos para ser utilizados en la fase de construcción (solo se elaboró el modelo arquitectónico)		✓
Se realizó la entrega oficial al cliente, se cerró y se archivó el proyecto	✓	

Tabla 4.24. Análisis de calidad en los documentos de construcción

Fuente: Elaboración propia

Proceso 5, Revisión de la calidad en el seguimiento de normas, reglamentos, y estándares mexicanos, se muestran en la tabla 4.25.

Revisión de la normatividad aplicable al tipo de proyecto		
Concepto	SI	NO
Ley de obra pública	✓	
Reglamento de Construcción del Estado de Sonora	✓	
Reglamento de Construcción de la Cd. De Hermosillo	✓	
Normas Oficiales Mexicanas (NOM)	✓	
Normas Mexicanas (NMEX)	✓	
Normas de Protección al Ambiente	✓	
Otras normas aplicables por el tipo de proyecto	✓	

Tabla 4.25. Análisis de la normatividad mexicana aplicable

Fuente: Elaboración propia

4.3 Sección III. Evaluación de la capacidad y madurez del proceso BIM

Existen diferentes modelos de evaluación de capacidad y madurez del proceso BIM. Estos modelos se seleccionan y aplican dependiendo de la naturaleza del proyecto. A continuación se describen las fases y los procesos para la selección, aplicación y análisis del modelo CMM para el proyecto constructivo de esta investigación.

4.3.1 Fase 1. Selección del modelo CMM

Algunos de los criterios utilizados para seleccionar el modelo CMM son los siguientes: el que más se adaptara al proyecto en estudio, estuviera disponible en la red en forma gratuita e interactiva, los pesos de sus indicadores hubieran sido resultado de un estudio en un sector importante de la IC, rápido y fácil de aplicar, y los resultados se pudieran tener de inmediato.

Proceso 1, Selección del modelo CMM. Para este caso de estudio se seleccionó el instrumento ICMM versión 2.0; el cual es un instrumento disponible en línea en el sitio WEB de NIBS, es gratuito, está en formato de hoja de cálculo y los resultados se obtuvieron inmediatamente. Por otro lado, la matriz ICMM se puede descargar, guardar y aplicar la evaluación aún si no hay conexión a internet.

A continuación se describe el modelo ICMM.

Proceso 2. Análisis de los indicadores del modelo CMM seleccionado. Se divide en dos secciones, como se muestra en la figura 4.26. La sección 1 muestra las áreas de interés (son once en total), el peso de los indicadores en porcentaje, el área de selección de la madurez percibida, el puntaje por cada nivel del área de interés (se explica en el proceso 3 de esta fase cómo se obtuvieron dichas calificaciones), la suma de calificaciones y el nivel de madurez obtenido. La sección 2 muestra el grado de madurez dentro de los niveles establecidos por ICMM; así como la cantidad de puntos faltantes para alcanzar el nivel de certificación BIM del proceso.

FECHA:		April 8, 2013	
Modelo Interactivo de Madurez y Capacidad BIM			
© NBS 2012 Sección 1	Área de Interés	Peso del Indicador	Seleccione su nivel de madurez percibido
	Riqueza de Datos	84%	Datos con la mayoría de la información autorizada
	Establ. de Fases Ciclo de Vida	84%	Se han establecido las fases para planeación y diseño
	Administración del Cambio	90%	Consciencia de la necesidad de cambio, análisis de la causa raíz y retroalimentación.
	Puestos y Discipl. Soport. BIM	90%	Al menos dos puestos soportados por BIM
	Procesos Empresariales	91%	La mayoría de los procesos recopilan información
	Respuesta a Solicitudes de Inf	91%	La mayoría de las respuestas ya se encuentran en BIM
	Método de Entrega	92%	Acceso a una red con seguridad informática limitada
	Información Gráfica	93%	Gráficas 3D paramétricas
	Localización Espacial	94%	Espacialmente ubicado con metadatos
	Exactitud de la Información	95%	Información a ras de suelo limitada a espacios int. y ext.
Interoperabilidad / Soporte IFC	96%	Uso limitado de IFC para la interoperabilidad	
Suma de Calificaciones			50.2
Nivel de Madurez			BIM mínimo
Sección 2			
ADMINISTRACIÓN			
Puntuación Requerida para Nivel de Certificación			
Inferior		Superior	
20		29.9	BIM mínimo
40		49.9	BIM mínimo
50		59.9	BIM mínimo
60		69.9	Certificado
70		79.9	Silver
80		89.9	Gold
90		100	Platinum
Puntos Faltantes Para Alcanzar:		Certificado	9.8

Figura 4.26. Modelo de Evaluación de Capacidad y Madurez del proceso BIM
Fuente: NIBS (2007), traducción propia

La tabla 4.26 muestra una traducción de las once áreas de interés que propone ICMM; así como el peso total asignado por NIBS a cada una de las áreas. Los porcentajes de representación en la madurez han sido establecidos de acuerdo a la aplicación del modelo de capacidad y madurez sobre proyectos reales y revisiones estadísticas sobre casos de estudios llevados a cabo por NIBS.

Área de interés		
Categoría	Concepto	Indicador (peso)
a)	Riqueza de datos	84%
b)	Establecimiento de fases en el Ciclo de vida	84%
c)	Puestos y disciplinas soportados por BIM	90%
d)	Administración del cambio	90%
e)	Procesos empresariales	91%
f)	Respuesta a la solicitud de información	91%
g)	Métodos de entrega	92%
h)	Información gráfica	93%
i)	Localización espacial	94%
j)	Exactitud de la información	95%
k)	Interoperabilidad / Soporte IFC	96%

Tabla 4.26. Áreas de interés de los indicadores de capacidad y madurez del proceso BIM
Fuente: Elaboración propia, traducida de ICMM (NBIMS, 2007)

Cada una de las áreas de interés del modelo ICMM está formada por una escala de madurez y capacidad de diez niveles, los cuales se describen a continuación:

a) Riqueza de los datos BIM. En la figura 4.27 se muestra la escala propuesta en el modelo ICMM asignada a esta área, la cual va desde: datos básicos; ampliación del conjunto de datos; mejora del conjunto de datos; datos con información; datos con información ampliada; datos con información oficial limitada; incremento de datos con información oficial; la mayoría de los datos con información oficial; información, totalmente oficial; gestión del conocimiento limitado; hasta gestión total del conocimiento.

Riqueza de los datos				
Nivel/Descripción				
1	2	3	4	5
Datos Básicos	Conjunto de datos ampliado	Conjunto de datos mejorado	Algunos datos más la información	Los datos más la información ampliada
6	7	8	9	10
Datos con / Información Autorizada Limitada	Datos con / Información mayormente autorizada	Información Completamente Autorizada	Gestión del Conocimiento Limitado	Gestión del Conocimiento completo

Figura 4.27. Escala de la riqueza de los datos del proceso BIM

Fuente: Elaboración propia, basado en los indicadores de NIBS (2007)

b) Establecimiento de fases en el ciclo de vida. En la figura 4.28 se muestra la escala propuesta en el modelo ICMM asignada a esta área, la cual va desde: no existen fases; fases para planeación y diseño; se agregan las fases de construcción y suministros, incluye construcción y suministro completas; incluye construcción, suministro y fabricación; se agregan las fases de operación y garantía en forma limitada; fases de operación y garantía en forma completa, se añade la fase financiera; se han establecido fases para todo el ciclo de vida de la construcción hasta el punto donde la información externa está vinculada al modelo.

b) Establecimiento de fases en el ciclo de vida				
Nivel/Descripción				
1	2	3	4	5
No existen fases	Existen fases para planeación y diseño	Se agregan las fases de construcción y suministros	Incluye construcción y suministro completas	Incluye construcción, suministro y fabricación
6	7	8	9	10
Se agregan las fases de operación y garantía en forma limitada	Fases de operación y garantía en forma completa	Se añade la fase financiera	Se han establecido fases para todo el ciclo de vida	La información externa está vinculada al modelo

Figura 4.28. Escala del establecimiento de fases durante todo el ciclo de vida del proceso BIM

Fuente: Elaboración propia, basado en los indicadores de NIBS (2007)

c) Puestos y disciplinas soportados por BIM. En la figura 4.29 se muestra la escala propuesta en el modelo ICMM asignada a esta área, la cual va desde: **Puestos:** ningún puesto; solo un puesto; al menos dos puestos parcialmente; dos puestos completamente y para **Disciplinas:** parcialmente planeación, diseño y

construcción; totalmente planeación, diseño y construcción; parcialmente operación y sustentabilidad; totalmente operación y sustentabilidad; parcialmente todas las fases y puestos del ciclo de vida internos; todas las fases y puestos internos y externos).

c) Puestos y disciplinas soportados por BIM				
Nivel/Descripción				
1	2	3	4	5
Ningún puesto	Solo un puesto	Al menos dos puestos	Dos puestos completamente	Parcialmente planeación, diseño y construcción
6	7	8	9	10
completamente planeación, diseño y construcción	Parcialmente operación y sustentabilidad	totalmente operación y sustentabilidad	Parcialmente todas las fases y puestos internos	Todas las fases y puestos internos y externos

Figura 4.29. Escala de los puestos y disciplinas BIM del proceso BIM
Fuente: Elaboración propia, basado en los indicadores de NIBS (2007)

d) Administración del cambio. En la figura 4.30 se muestra la escala propuesta en el modelo ICMM asignada a esta área, la cual va desde: no existe capacidad de administrar el cambio; conciencia de la necesidad de administrar el cambio; conciencia de la necesidad de administrar el cambio y analizar la causa raíz de los problemas; conciencia del cambio, análisis de la causa raíz y retroalimentación; implementación de la administración del cambio; proceso inicial de la administración del cambio implementado; administración del cambio establecido, y aplicación temprana de los análisis de causa raíz; capacidad para administrar el cambio y análisis de causa raíz implementados y usados; los procesos del negocio están sostenidos por la administración del cambio, análisis de causa raíz, y los ciclos de retroalimentación; hasta el punto de madurez en donde los procesos del negocio están incorporados y en forma rutinaria se llevan a cabo la administración del cambio, análisis de causa raíz, y ciclos de retroalimentación.

d) Administración del cambio				
Nivel/Descripción				
1	2	3	4	5
No existe capacidad de administrar el cambio	Consciencia de la necesidad de administrar el cambio	Consciencia de la necesidad de administrar el cambio y analizar la causa raíz de los problemas	Consciencia del cambio, análisis de la causa raíz y retroalimentación	Implementación de la administración del cambio
6	7	8	9	10
Proceso inicial de la administración del cambio implementado	Administración del cambio establecido, y aplicación temprana de los análisis de causa raíz	Capacidad para administrar el cambio y análisis de causa raíz implementados y usados	Los procesos del negocio están sostenidos por la administración del cambio, análisis de causa raíz, y los ciclos de retroalimentación	Los procesos del negocio están incorporados y en forma rutinaria se llevan a cabo la administración del cambio, análisis de causa raíz, y ciclos de retroalimentación

Figura 4.30. Escala de la administración del cambio del proceso BIM
Fuente: Elaboración propia, basado en los indicadores de NIBS (2007)

e) Procesos empresariales. En la figura 4.31 se muestra la escala propuesta en el

modelo ICMM asignada a esta área, la cual va desde: procesos separados-no integrados; muy pocos procesos recopilan información; algunos procesos recopilan información; la mayoría de los procesos recopilan información; todos los procesos recopilan información; pocos procesos recopilan y mantienen la información; algunos procesos recopilan y mantienen la información; todos los procesos recopilan y mantienen la información; algunos procesos recopilan y mantienen la información en tiempo real; hasta la madurez en la cual todos los procesos recopilan y mantienen la información en tiempo real.

e) Procesos empresariales				
Nivel/Descripción				
1	2	3	4	5
Procesos separados-no integrados	Muy pocos procesos recopilan información	Algunos procesos recopilan información	La mayoría de los procesos recopilan información	Todos los procesos recopilan información
6	7	8	9	10
Pocos procesos recopilan y mantienen la información	Algunos procesos recopilan y mantienen la información	Todos los procesos recopilan y mantienen la información	Algunos procesos recopilan y mantienen la información en tiempo real	Todos los procesos recopilan y mantienen la información en tiempo real

Figura 4.31. Escala de los procesos empresariales del proceso BIM
Fuente: Elaboración propia, basado en los indicadores de NIBS (2007)

f) Respuesta a la solicitud de información. En la figura 4.32 se muestra la escala propuesta en el modelo ICMM asignada a esta área, la cual va desde: la mayoría de la información es lentamente recopilada en forma manual; la mayoría de la información es recopilada manualmente; la información no está en BIM pero ya existen datos; respuesta limitada aunque ya existen información y algunos datos en BIM; la mayoría de las respuestas ya se encuentran en BIM; todas las respuestas se encuentran en BIM; todas las respuestas se encuentran en BIM y oportunamente; acceso limitado en tiempo real desde BIM; acceso completo en tiempo real desde BIM; hasta el grado de madurez donde existe el acceso en tiempo real y transmisión de la información en vivo.

f) Respuesta a la solicitud de información				
Nivel/Descripción				
1	2	3	4	5
La mayoría de la información es lentamente recopilada manualmente	La mayoría de la información es recopilada manualmente	La información no está en BIM pero ya existen datos	Respuesta limitada aunque ya existen información y algunos datos en BIM	La mayoría de las respuestas ya se encuentran en BIM
6	7	8	9	10
Todas las respuestas se encuentran en BIM	Todas las respuestas se encuentran en BIM y oportunamente	Acceso limitado en tiempo real desde BIM	Acceso completo en tiempo real desde BIM	Acceso en tiempo real y transmisión de la información en vivo

Figura 4.32. Escala de la respuesta a solicitud de información del proceso BIM
Fuente: Elaboración propia, basado en los indicadores de NIBS (2007)

g) Métodos de entrega. En la figura 4.33 se muestra la escala propuesta en el modelo ICMM asignada a esta área, la cual va desde: un único punto de acceso sin seguridad informática; un único punto de acceso con seguridad informática limitada; acceso a una red sin seguridad informática; acceso a una red con seguridad informática limitada; acceso a una red con total seguridad informática; servicios web limitados; servicios web habilitados; servicios web completamente habilitados; servicios web seguros; acceso a red central SOA (Services Oriented Architecture) basada en accesos CAC (Common Access Card); hasta la existencia de una red central basada en accesos CAC por puestos.

g) Métodos de entrega				
Nivel/Descripción				
1	2	3	4	5
Un único punto de acceso sin seguridad informática	Un único punto de acceso con seguridad informática limitada	Acceso a una red con seguridad informática limitada	Acceso a una red con total seguridad informática	Servicios web limitados
6	7	8	9	10
Servicios web habilitados	Servicios web completamente habilitados	Servicios web seguros	Acceso a red central SOA (services oriented architecture) basada en accesos CAC (common Access card)	Red central basada en accesos CAC por puestos

Figura 4.33. Escala de los métodos de entrega del proceso BIM
Fuente: Elaboración propia, basado en los indicadores de NIBS (2007)

h) Información gráfica. En la figura 4.34 se muestra la escala propuesta en el modelo ICMM asignada a esta área, la cual va desde: texto sin gráficas técnicas; gráficas en 2D sin inteligencia, gráficas 2D no paramétricas con estándares CAD; gráficas 2d paramétricas con estándares CAD; gráficas 2D paramétricas y con estándares tal como se construye; gráficas 2D paramétricas y actualizadas; gráficas 3D paramétricas; gráficas 3D paramétricas y actualizadas; gráficas 3D con el programa y secuenciación (4D); hasta la generación de gráficas 3D con tiempo, costo y operación (nD).

h) Información gráfica				
Nivel/Descripción				
1	2	3	4	5
Texto sin Gráficas técnicas	Gráficas en 2D no paramétricas	Gráficas 2D no paramétricas con estándares CAD	Gráficas 2d paramétricas con estándares CAD	Gráficas 2D paramétricas y con estándares tal como se construye
6	7	8	9	10
Gráficas 2D paramétricas y actualizadas	Gráficas 3D paramétricas	Gráficas 3D paramétricas y actualizadas	Gráficas 3D con el programa y secuenciación (4D)	Gráficas 3D con tiempo, costo y operación (nD).

Figura 4.34. Escala de la información gráfica del proceso BIM
Fuente: Elaboración propia, basado en los indicadores de NIBS (2007)

i) Localización espacial. En la figura 4.35 se muestra la escala propuesta en el modelo ICMM asignada a esta área, la cual va desde: no espacialmente situado; ubicación espacial básica; espacialmente ubicado; ubicado espacialmente con información compartida limitada; espacialmente ubicado con metadatos; espacialmente situado con la información completamente compartida; ubicación formando parte de un sistema GIS limitado (Geographical Information System); ubicación formando parte de un sistema GIS más completo; hasta la ubicación del proyecto integrada completamente a un sistema GIS.

i) Localización espacial				
Nivel/Descripción				
1	2	3	4	5
No espacialmente situado	Ubicación espacial básica	Espacialmente ubicado	Ubicado espacialmente con información compartida limitada	Espacialmente ubicado con metadatos
6	7	8	9	10
Espacialmente situado con la información completamente	Ubicación formando parte de un sistema GIS limitado(Geographical	Ubicación formando parte de un sistema GIS más completo	Ubicación integrada completamente a un sistema GIS	Integración a un sistema GIS con flujo de información

Figura 4.35. Escala de la localización espacial del proceso BIM
Fuente: Elaboración propia, basado en los indicadores de NIBS (2007)

j) Exactitud de la información del terreno. En la figura 4.36 se muestra la escala propuesta en el modelo ICMM asignada a esta área, la cual va desde: no existe información a ras de suelo (no ground truth); realidad del terreno inicial; realidad del terreno limitada a espacios interiores; realidad del terreno limitada a espacios interiores y exteriores; realidad del terreno interior y exterior completa; realidad del terreno y cálculo de áreas limitadas, realidad del terreno y cálculo de áreas completas; cálculo de la realidad del terreno con métricas limitadas; hasta el cálculo de la realidad del terreno completa con todas las métricas completas.

j) Exactitud de la información				
Nivel/Descripción				
1	2	3	4	5
Información a raz de suelo (no ground truth = tierra firma)	Información a raz de suelo inicial	Información a raz de suelo limitada a espacios interiores	Información a raz de suelo completa limitada a espacios interiores	Información a raz de suelo limitada a espacios interiores y exteriores
6	7	8	9	10
Información a raz de suelo interior y exterior completa	Información a raz de suelo y cálculo de áreas limitadas	Información a raz de suelo y cálculo de áreas completas	Cálculo de la Información a raz de suelo con métricas limitadas	Cálculo de la Información a raz de suelo completa con métricas completas

Figura 4.36. Escala de la exactitud de la información del proceso BIM
Fuente: Elaboración propia, basado en los indicadores de NIBS (2007)

k) Interoperabilidad. En la figura 4.37 se muestra la escala propuesta en el modelo ICMM asignada a esta área, la cual va desde: no hay interoperabilidad;

interoperabilidad forzada; interoperabilidad limitada; transferencias limitadas de información entre COTS (Commercial Off The Shelf); aumento de la cantidad de transferencia de información entre COTS; transferencia de información completa entre COTS; uso limitado de IFC para la interoperabilidad (Industry Foundation Clases); uso expandido de IFC's para la interoperabilidad; hasta el nivel de madurez en el cual toda la información usa IFC's para la interoperabilidad.

k) Interoperabilidad				
Nivel/Descripción				
1	2	3	4	5
no hay interoperabilidad	Interoperabilidad forzada	Interoperabilidad limitada	Transferencias limitadas de información entre COTS (Commercial Off The Shelf)	La mayor parte de la transferencias de información se da entre COTS
6	7	8	9	10
Aumento de la cantidad de transferencia de información entre COTS	Transferencia de información completa entre COTS	Uso limitado de IFC para la interoperabilidad (Industry Foundation Clases)	Uso expandido de IFC's para la interoperabilidad	Toda la información usa IFC's para la interoperabilidad

Figura 4.37. Escala del manejo de la interoperabilidad del proceso BIM
Fuente: Elaboración propia, basado en los indicadores de NIBS (2007)

Proceso 3, En este proceso se analizó y ubicó la capacidad y madurez percibida del proyecto en estudio en el nivel correspondiente de cada una de las áreas de interés del modelo ICMM.

Las valoraciones de capacidad y madurez en este proyecto fueron realizadas por el BIM manager y el coordinador del equipo de diseño. Es recomendable que sean realizadas por personal ajeno al equipo del proyecto de diseño, que además conozca y domine el tipo de proyecto constructivo que va a evaluar y que en caso de que se tenga acceso y presupuesto para consultoría externa sean estos los que hagan la evaluación.

Durante este proceso el BIM manager y el coordinador del equipo tuvieron algunas dudas para ubicar la capacidad y madurez del proceso en el modelo ICMM; dado que este proyecto en estudio no contempla todos los modelos de las diferentes disciplinas de un proyecto constructivo de edificación.

En las tablas 4.27 a la 4.30 se muestra le evaluación percibida de capacidad y madurez del caso de estudio en cada una de las áreas.

a)Riqueza de los datos para BIM	Nivel	b)Establecimiento de fases en el ciclo de vida	Nivel
Datos Básicos	1	No existen fases	1
Conjunto de datos ampliado	2	Existen fases para planeación y diseño	2
Conjunto de datos mejorado	3	Se agregan las fases de construcción y suministros	3
Algunos datos más la información	4	Incluye construcción y suministro completas	4
Los datos más la información ampliada	5	Incluye construcción, suministro y fabricación	5
Datos con / Información Autorizada Limitada	6	Se agregan las fases de operación y garantía en forma limitada	6
Datos con / Información mayormente autorizada	7	Fases de operación y garantía en forma completa	7
Información Completamente Autorizada	8	Se añade la fase financiera	8
Gestión del Conocimiento Limitado	9	Se han establecido fases para todo el ciclo de vida	9
Gestión del Conocimiento completo	10	La información externa está vinculada al modelo	10

Tabla 4.27. Capacidad y madurez percibida sobre riqueza de los datos y establecimiento de fases en el ciclo de vida

Fuente: Elaboración y traducción propia, basada en ICMM (NBIMS, 2007)

c)Puestos y disciplinas soportados por BIM	Nivel	d)Administración del cambio	Nivel
Ningún puesto	1	No existe capacidad de administrar el cambio	1
Solo un puesto	2	Consciencia de la necesidad de administrar el cambio	2
Al menos dos puestos	3	Consciencia de la necesidad de administrar el cambio y analizar la causa raíz de los problemas	3
Dos puestos completamente	4	Consciencia del cambio, análisis de la causa raíz y retroalimentación	4
Parcialmente planeación, diseño y construcción	5	Implementación de la administración del cambio	5
Completamente planeación, diseño y construcción	6	Proceso inicial de la administración del cambio implementado	6
Parcialmente operación y sustentabilidad	7	Administración del cambio establecido, y aplicación temprana de los análisis de causa	7
Totalmente operación y sustentabilidad	8	Capacidad para administrar el cambio y análisis de causa raíz implementados y usados	8
Parcialmente todas las fases y puestos internos	9	Los procesos del negocio están sostenidos por la administración del cambio, análisis de	9
Todas las fases y puestos internos y externos	10	Los procesos del negocio están incorporados y en forma rutinaria se llevan a cabo la	10

Tabla 4.28. Capacidad y madurez percibida sobre puestos y disciplinas BIM y administración del cambio

Fuente: Elaboración propia, traducida de ICMM (NBIMS, 2007)

e)Procesos empresariales	Nivel	f)Respuesta a la solicitud de información	Nivel
Procesos separados-no integrados	1	La mayoría de la información es lentamente recopilada manualmente	1
Muy pocos procesos recopilan información	2	La mayoría de la información es recopilada manualmente	2
Algunos procesos recopilan información	3	La información no está en BIM pero ya existen datos	3
La mayoría de los procesos recopilan información	4	Respuesta limitada aunque ya existen información y algunos datos en BIM	4
Todos los procesos recopilan información	5	La mayoría de las respuestas ya se encuentran en BIM	5
Pocos procesos recopilan y mantienen la información	6	Todas las respuestas se encuentran en BIM	6
Algunos procesos recopilan y mantienen la información	7	Todas las respuestas se encuentran en BIM y oportunamente	7
Todos los procesos recopilan y mantienen la información	8	Acceso limitado en tiempo real desde BIM	8
Algunos procesos recopilan y mantienen la información en tiempo real	9	Acceso completo en tiempo real desde BIM	9
Todos los procesos recopilan y mantienen la información en tiempo real	10	Acceso en tiempo real y transmisión de la información en vivo	10

Tabla 4.29. Capacidad y madurez percibida sobre procesos empresariales y respuesta a la información

Fuente: Elaboración propia, traducida de ICMM (NBIMS, 2007)

g)Métodos de entrega	Nivel	h)Información gráfica	Nivel
Un único punto de acceso sin seguridad informática	1	Texto sin Gráficas técnicas	1
Un único punto de acceso con seguridad informática limitada	2	Gráficas en 2D no paramétricas	2
Acceso a una red con seguridad informática limitada	3	Gráficas 2D no paramétricas con estándares CAD	3
Acceso a una red con total seguridad informática	4	Gráficas 2d paramétricas con estándares CAD	4
Servicios web limitados	5	Gráficas 2D paramétricas y con estándares tal como se construye	5
Servicios web habilitados	6	Gráficas 2D paramétricas y actualizadas	6
Servicios web completamente habilitados	7	Gráficas 3D paramétricas	7
Servicios web seguros	8	Gráficas 3D paramétricas y actualizadas	8
Acceso a red central SOA (services oriented architecture) basada en accesos CAC (common Access card)	9	Gráficas 3D con el programa y secuenciación (4D)	9
Red central basada en accesos CAC por puestos	10	Gráficas 3D con tiempo, costo y operación (nD).	10

Tabla 4.30. Capacidad y madurez percibida sobre métodos de entrega e información gráfica

Fuente: Elaboración propia, traducida de ICMM (NBIMS, 2007)

i)Localización espacial	Nivel	j)Exactitud de la información	Nivel
No espacialmente situado	1	Información a ras de suelo (no ground truth = tierra firme)	1
Ubicación espacial básica	2	Información a ras de suelo inicial	2
Espacialmente ubicado	3	Información a ras de suelo limitada a espacios interiores	3
Ubicado espacialmente con información compartida limitada	4	Información a ras de suelo completa limitada a espacios interiores	4
Espacialmente ubicado con metadatos	5	Información a ras de suelo limitada a espacios interiores y exteriores	5
Espacialmente situado con la información completamente compartida	6	Información a ras de suelo interior y exterior completa	6
Ubicación formando parte de un sistema GIS limitado(Geographical Information System)	7	Información a ras de suelo y cálculo de áreas limitadas	7
Ubicación formando parte de un sistema GIS más completo	8	Información a ras de suelo y cálculo de áreas completas	8
Ubicación integrada completamente a un sistema GIS	9	Cálculo de la Información a ras de suelo con métricas limitadas	9
Integración a un sistema GIS con flujo de información	10	Cálculo de la Información a ras de suelo completa con métricas completas	10

Tabla 4.31. Capacidad y madurez percibida sobre localización espacial, exactitud de la información
Fuente: Elaboración propia, traducida de ICMM (NBIMS, 2007)

k)Interoperabilidad/Soporte IFC	Nivel
no hay interoperabilidad	1
Interoperabilidad forzada	2
Interoperabilidad limitada	3
Transferencias limitadas de información entre COTS (Commercial Off The Shelf)	4
La mayor parte de la transferencias de información se da entre COTS	5
Aumento de la cantidad de transferencia de información entre COTS	6
Transferencia de información completa entre COTS	7
Uso limitado de IFC para la interoperabilidad (Industry Foundation Clases)	8
Uso expandido de IFC's para la interoperabilidad	9
Toda la información usa IFC's para la interoperabilidad	10

Tabla 4.32 Capacidad y madurez percibida sobre puestos interoperabilidad
Fuente: Elaboración propia, traducida de ICMM (NBIMS, 2007)

4.3.2 Fase 2. Aplicación del modelo ICMM

Proceso 1. En este proceso se seleccionaron los niveles de capacidad y madurez percibida de la matriz ICMM, de acuerdo al análisis realizado en las tablas 4.27 a la 4.32.

Esta selección se muestra en la figura 4.38 en la cual también se muestran los resultados.

Como puede observarse la calificación mínima obtenida corresponde al área de establecimiento de fases y la máxima corresponde al manejo de la interoperabilidad y manejo de estándares IFC. También se observa la calificación obtenida para el caso de estudio, la cual corresponde a un mínimo BIM superior.

FECHA:		April 8, 2013		
Modelo Interactivo de Madurez y Capacidad BIM				
© NIBS 2012 Sección 1	Área de Interés	Peso del Indicador	Seleccione su nivel de madurez percibido	Calificación
	Riqueza de Datos	84%	Datos con la mayoría de la información autorizada	5.9
	Establ. de Fases Ciclo de Vida	84%	Se han establecido las fases para planeación y diseño	1.7
	Administración del Cambio	90%	Consciencia de la necesidad de cambio, análisis de la causa raíz y retroalimentación.	4.5
	Puestos y Discipl. Soport. BIM	90%	Al menos dos puestos soportados por BIM	3.6
	Procesos Empresariales	91%	La mayoría de los procesos recopilan información	3.6
	Respuesta a Solicitudes de Inf	91%	La mayoría de las respuestas va se encuentran en BIM	4.6
	Método de Entrega	92%	Acceso a una red con seguridad informática limitada	2.8
	Información Gráfica	93%	Gráficas 3D paramétricas	6.5
	Localización Espacial	94%	Espacialmente ubicado con metadatos	5.6
	Exactitud de la Información	95%	Información a ras de suelo limitada a espacios int. y ext.	4.8
Interoperabilidad / Soporte IFC	96%	Uso limitado de IFC para la interoperabilidad	6.7	
Suma de Calificaciones			50.2	
Nivel de Madurez			BIM mínimo	
Sección 2				
ADMINISTRACIÓN				
Puntuación Requerida para Nivel de Certificación				
Inferior		Superior		
20		29.9	BIM mínimo	
40		49.9	BIM mínimo	
50		59.9	BIM mínimo	
60		69.9	Certificado	
70		79.9	Silver	
80		89.9	Gold	
90		100	Platinum	
Puntos Faltantes Para Alcanzar:		Certificado	9.8	

Figura 4.38. Resultado de la evaluación de la capacidad y madurez del proceso BIM
Fuente: ICMM NIBS (2007)

Además de mostrarse los resultados en la figura 4.38 también se muestran en la figura 4.39, que corresponde a la representación gráfica de la calificación obtenida en cada una de las áreas interés que evalúa el modelo ICMM.

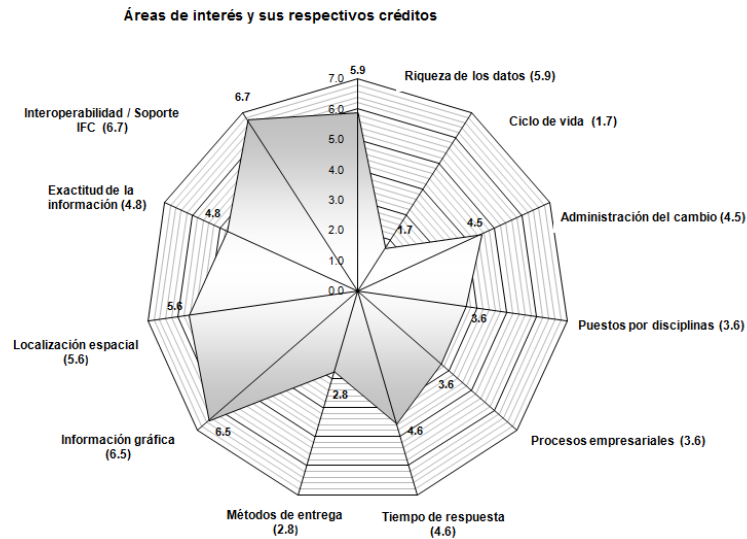


Figura 4.39. Gráfica de evaluación de la capacidad y madurez del proceso BIM
Fuente: Traducido de ICMM NIBS (2007).

4.3.3 Fase 3. Análisis de los resultados

Proceso 1. Análisis de resultados. En este proceso se analizaron los resultados, observando que se obtuvo una puntuación de 50.2 puntos, la cual corresponde a la capacidad y madurez del BIM mínimo establecido para un proyecto evaluado por el modelo ICMM.

A continuación se describen brevemente algunos de los criterios utilizados para asignar los créditos en la evaluación de capacidad y madurez del proceso BIM. Se presentan en orden ascendente en relación a la calificación obtenida (menor calificación a mayor calificación).

La puntuación más baja se obtuvo en el establecimiento de fases durante todo el ciclo de vida del proyecto y fue de 1.7. La explicación para esta calificación son los alcances del proyecto de diseño de la plaza que sólo incluyen el modelo arquitectónico. En esta área el coordinador del equipo del proyecto y el BIM manager tardaron en ponerse de acuerdo en el nivel a asignar; deliberaron acerca de si se tomaría en cuenta el alcance definido para el proyecto en estudio, o bien el ciclo de vida de los proyectos constructivos; decidiéndose por este último y consideraron que

en el caso de estudio BIM solo soporta las fases de planeación y diseño (en este proyecto la fase de planeación se incluyó en las fases del diseño).

La puntuación asignada a los métodos de entrega de 2.8 se asignó por el tipo de red informática en la que se desarrolló el diseño constructivo de la plaza, la cual corresponde a una red informática con seguridad limitada, dado que solo cuenta con el antivirus de Windows y claves de seguridad asignadas por el gerente de sistemas o elegidas por los usuarios, y aunque se tiene acceso a internet en forma continua y constante, el diseño constructivo no se compartió en la web, ni tampoco se configuró la red para colaboración sobre el diseño constructivo en tiempo real en forma remota.

La puntuación de 3.6 en el área de puestos y disciplinas soportados por BIM se asignó porque el siguiente nivel corresponde a planeación, diseño y construcción, y definitivamente el caso de estudio no incluye la construcción del proyecto. En este punto también el BIM manager y el coordinador del equipo tardaron en ponerse de acuerdo en la calificación, dado que tenían discrepancias en si la calificación se asignaría de acuerdo a los aportes del diseño constructivo a la fase de construcción, o a los alcances del proyecto de diseño. Se decidieron por esto último.

La puntuación de 3.6 para el área de procesos empresariales se estableció de acuerdo al alcance del proyecto que solo incluye el modelo arquitectónico; aunque en realidad aquí se hubiera podido evaluar mejor, quizás hasta el nivel nueve o diez, dado que los procesos que se manejaron recopilan y mantienen la información en tiempo real. Finalmente, se decidió por asignar este nivel dado que solo se diseñó el modelo arquitectónico.

La ubicación de los procesos de administración del cambio quedaron ubicados en el nivel 3, con una calificación de 4.5. Los evaluadores decidieron ubicar el caso en estudio en este nivel debido a las características del equipo de proyecto y el tiempo de exposición a los procesos BIM, que para casi todos era la primera vez que abordaban un proyecto de diseño constructivo con un enfoque en procesos concurrentes con tecnología BIM.

El área de tiempo de respuesta se evaluó en el nivel 5, asignándole una calificación de 4.6, porque el diseño no incluye todas las disciplinas y no está en redes informáticas basadas en la web. En esta área el BIM manager y el coordinador deliberaron acerca de ubicar la calificación entre el nivel 6 o 7 que corresponde a todas las respuestas se encuentran en BIM oportunamente.

Respecto a la calificación del área de exactitud de la información, se ubicó en el nivel cinco con una calificación de 4.8. Se ubicó en este nivel porque a pesar de que se contaba con tecnología GPS (Global Positioning System), esta no fue utilizada en el proyecto de diseño constructivo del caso de estudio, y solo se utilizaron mapas electrónicos de conocido buscador de internet.

En el área de interés de la localización espacial se ubicó en el nivel cinco, correspondiéndole una calificación de 5.6, ya que la ubicación y sus metadatos (coordenadas, datum, latitud, longitud, entre otros) fueron identificados e incorporados al diseño a través de mapas electrónicos geo-referenciados desde la web.

Las áreas de interés mejor evaluadas corresponden a manejo de la interoperabilidad (6.7), información gráfica (6.5) y riqueza de los datos (5.9). La razón es que se tenían todos los recursos para llevar a cabo los procesos BIM de estas áreas, tales como los recursos humanos de alto nivel de preparación y experiencia profesional en la IC, las instalaciones físicas y tecnológicas de hardware y software, un BIM manager muy motivado, y el cliente trabajando en colaboración con el equipo de diseño.

Proceso 2. Detección de áreas de oportunidad y mejora. De acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación de capacidad y madurez del caso de estudio, se determinó que independientemente de la calificación y el nivel de ubicación, los mayores retos se encuentran en las áreas de administración del cambio, la riqueza de los datos y el manejo de la interoperabilidad y estandarización, ya que estas áreas son en las que no han incursionado los participantes en el caso de estudio, y no dependen de la tecnología, sino de la actitud de las personas y su nivel de adaptación a los cambios organizacionales y culturales.

Proceso 3. Toma de decisiones a nivel organizacional para futuros proyectos.

En este proceso se determinó lo siguiente:

A nivel organizacional, se mejorarían los métodos de entrega estableciendo un sistema de red basado en WEB, se contratarían servicios de consultoría externa para el manejo del cambio, se manejaría la interoperabilidad y se adoptarían las normas omni-class para el diseño de la forma y función de los espacios.

A nivel proyecto: se crearían las bases de datos por adelantado, se revisarían todos los procesos y fases de los proyectos, se manejarían gráficas n-dimensionales, y se conectará el proyecto con un sistema GIS para mejorar la ubicación espacial y la exactitud del terreno a ras de tierra y se intentaría utilizar tecnología GPS en los proyectos que aplicara.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se detallan algunas conclusiones derivadas del análisis de la aplicación de la metodología propuesta en el caso de estudio; además, se emiten algunas recomendaciones a tomar en cuenta desde la fase de planeación e implementación de BIM en proyectos futuros. Finalmente, se presentan algunas reflexiones personales obtenidas a través de la experiencia como consultora e instructora en el gremio de la construcción sonoreense. Estas pueden considerarse como conocimiento previo y utilizarse como herramienta de diagnóstico para las empresas y demás involucrados en la IC que planean realizar la transición a BIM.

5.1 Conclusiones de la implementación de BIM en el caso de estudio.

Al inicio del proyecto en estudio algunos de los participantes tenían la percepción de que BIM era un producto de software que podía comprarse en una tienda o almacén. Una vez aclarada la confusión y quedando establecido que BIM es un concepto de trabajo en forma de procesos concurrentes, que se apoya en las nuevas tecnologías de software para la IC, y que se trata principalmente de la entrega integrada de los proyectos constructivos; los involucrados expresaron la idea de que solo se requería una intensiva capacitación en el software BIM seleccionado para el proyecto y estarían listos para el BIM. Esta también es una idea errónea, ya que a pesar de que el entrenamiento es fundamental para la implementación de BIM, se requiere ir más allá de un cambio de tecnologías y herramientas de software, ya que estas son solo un complemento y es igual de importante, o más aún, enfocarse en las actitudes de las personas involucradas, la cultura regional, la cultura organizacional, y las políticas gubernamentales sobre la obra pública, entre otros aspectos relevantes del proceso de transición a BIM; ya que según Charles Hardy, citado por Randy Deutsh (2011), “BIM es 10% tecnología y 90% sociología”.

A continuación se describen algunos de los hallazgos durante la aplicación de la metodología BIM en el proyecto en estudio.

Hallazgos para las fases de diseño:

- Reducción considerable en los tiempos de producción y reducción de errores, ya que BIM favorece la productividad y eficacia permitiendo la integración del equipo de diseño desde las fases más tempranas del proyecto y eliminando casi por completo la dependencia de los dibujantes.
- Permite, fomenta y propicia la colaboración interdisciplinaria en ambientes multiusuario de redes informáticas. En el caso de estudio a través del software BIM seleccionado los integrantes del equipo trabajaron simultáneamente en una red local de computadoras en las diferentes fases, procesos y sub-proyectos.
- Almacenamiento de la información y los datos del proyecto de una manera tal que se pueden compartir entre las fases y las disciplinas de los proyectos de diseño durante todo su ciclo de vida y queden disponibles para futuros proyectos constructivos. En el caso de estudio se crearon archivos plantillas, en donde se guardaron los elementos de familia (registros) utilizados.
- EL BIM facilita el desarrollo y manipulación de los modelos digitales de los proyectos de diseño para refinarlos, probarlos y validarlos en los diferentes procesos de la fase de diseño. En el caso de estudio se realizaron diferentes propuestas para el cliente, antes de que este se decidiera por una.
- Reutilización efectiva de la información y los datos a través del conocimiento almacenado en las bases de datos en los diferentes procesos de modelado; entre los que se puede mencionar datos de materiales de construcción, de clientes, proveedores, elementos prefabricados, ubicación espacial, entre otros. En el caso de estudio se compartió el archivo de la plantilla entre los diferentes equipos participantes y los datos e información se trasladaron en forma automática a todas las fases del diseño y además quedaron disponibles para las fases de licitación, construcción y operación.
- Posibilita el intercambio consistente de información entre los responsables de los sub-proyectos y los demás interesados, tanto internamente como

externamente. En el caso de estudio el cliente pudo participar como un miembro más del equipo de diseño. En este proyecto no había consultores externos.

- Habilitado de la comparación y consulta de información compartida entre los diferentes interesados en el proyecto de construcción en forma remota. En el caso de estudio por la limitante de la red informática se probó subirlo a la nube del fabricante del software, aunque con reglas claras de horarios.
- Automatización de la calidad, tiempo, y costos; generando automáticamente los documentos de construcción y reportes de cantidades de obra, entre otros. En el caso de estudio esto se logró con éxito total, ya que a partir del modelo 3D se generaron los demás componentes de los documentos de construcción, de acuerdo a los objetivos del proyecto de diseño.
- Generación instantánea de los modelos, detección de colisiones y errores de diseño en las fases tempranas del proyecto. En el caso de estudio los reportes y errores de diseño se generaron entre muros, ventanas y puertas, y se corrigieron instantáneamente.
- Compartición e intercambio de información, mayor flexibilidad para satisfacer al cliente y trabajo simultáneo con los asesores de la compañía. En el caso de estudio el cliente siempre tuvo su propia estación de trabajo con el diseño corriendo en tiempo real, aunque solo se le habilitaron las funciones de visualización; de esta manera se aseguró de que sus necesidades y requerimientos quedaran plasmados en el proyecto de diseño y además pudo externar sus opiniones y puntos de vista.
- Creación automática e instantánea de las representaciones de elevación del diseño a partir del modelo 3D (vistas norte, sur, este, oeste); vistas de las perspectivas; vistas de cortes y secciones longitudinales y transversales; y detalles de construcción entre otras representaciones. En el caso de estudio esto se logró a cabalidad, ya que se estableció como uno de los alcances del diseño.
- Actualización instantánea y automática a los cambios en el diseño, sin

importar en cual fase se lleven a cabo. En el caso de estudio hubo muchas oportunidades de disfrutar de este beneficio, ya que el cliente solicitó varias propuestas de diseño e hizo varios cambios en la forma del mismo. Esta facilidad es muy útil en las siguientes fases de licitación, construcción y operación ya que los cambios se reflejan tanto en los aspectos técnicos como en los financieros.

- Generación automática e instantánea de los reportes de cantidades gruesas de los elementos de construcción y reportes de materiales. En el caso de estudio se aprovechó esta facilidad desde la fase de diseño conceptual.
- Presentaciones (renderizado) automáticas e instantáneas de los modelos, con capacidad de almacenar diferentes versiones del modelo, para comparar la evolución o ayudar al cliente a la toma de decisiones.
- Gran parte del conocimiento y experiencia en el manejo de BIM logrado en el caso de estudio a nivel equipo se va a perder, quedándose solo en experiencias individuales; dado que al cerrar el proyecto el equipo se disolvió, como ocurre a menudo en los proyectos de la IC.

Hallazgos para las fases de construcción, licitación y operación:

- Almacenamiento de las lecciones aprendidas para los proyectos siguientes de la empresa a través de los formatos, creación de las bases de datos con los elementos de familia y las plantillas.
- Capacidad y posibilidad de asegurar la consistencia y precisión de los documentos de construcción para la entrega oportuna de los materiales en la obra.
- Diseño efectivo y revisión técnica de los proyectos de construcción para evitar problemas potenciales que se pudieran presentar, tales como cambios en las especificaciones, en los materiales, en la planeación y programación.
- Liderar en forma ágil y fluida el proceso de diseño en toda la compañía.
- Distribución efectiva de la información a los interesados externos por diversos medios de intercambio de información.

5.2 Recomendaciones

Con base a esta investigación, que considera la revisión literaria y la aplicación de la metodología en el caso de estudio, se emiten las siguientes recomendaciones: es necesario dar a conocer a los involucrados en los proyectos de diseños constructivos los métodos de trabajo basados en procesos y las herramientas tecnológicas que permitan realizar diseños constructivos con calidad, constructividad, y eficiencia y de esa manera lograr que los procesos de cada proyecto de diseño constructivo adquieran la capacidad y madurez. Con lo anterior se propicia que se puedan replicar los logros obtenidos en proyectos futuros en forma rutinaria, a través de la compartición y documentación del conocimiento y experiencia adquiridos en cada uno de los proyectos abordados.

Para lograrlo, se proponen las siguientes acciones:

- Adoptar como modelo de diseño constructivo el concepto BIM y las tecnologías asociadas, establecer una visión para el BIM, definiendo sus metas y propósitos y alinearlos con la visión organizacional; crear o adoptar una metodología de implementación del BIM, que incluya revisiones a los procesos y a la continuidad del flujo de trabajo, elaboración clara y precisa de las directrices de colaboración interna y externa con el propósito de mantener la integridad de los archivos electrónicos, subdividir los procesos de modelado en sub-proyectos para asignar y delimitar responsabilidades.
- Seleccionar el proyecto adecuado para la implementación de BIM, se recomienda que sea un proyecto de características técnicas conocidas, no muy grande para los estándares de la empresa.
- Evitar la sobre documentación, dado que el software BIM produce dibujos y modelos y dibujos con tanta facilidad que se puede caer en esta tentación.
- Establecer reglas claras para trabajar en ambientes multiusuario, definir quienes envían y reciben la información, establecimiento de los protocolos de seguridad informática para trabajo en redes, selección e implementación de las plataformas tecnológicas para el tipo de proyecto y para los propósitos BIM

establecidos.

- Definir el equipo principal de trabajo, y establecer las relaciones entre fases y los diferentes miembros del equipo. Se recomienda que sean personas de mente abierta, curiosos, y dispuestos a aprender y experimentar los nuevos métodos de trabajo, de preferencia que proceda de toda la organización.
- Seleccionar de las herramientas tecnológicas BIM más apropiadas de acuerdo a la naturaleza de los proyectos constructivos de la compañía.
- Establecer un plan de capacitación y entrenamiento, tanto en los nuevos procesos como en las herramientas tecnológicas BIM adoptadas, dirigido a todo el personal de la compañía, no nada más a los equipos de proyecto.
- Adoptar los conceptos de la calidad total, la mejora continua y la constructividad.
- Llamar la atención de las instituciones formadoras de profesionales para la IC acerca de la necesidad de que desde la academia se enseñen a los jóvenes egresados los métodos, procesos, y herramientas tecnológicas que un sector tan importante como la IC está demandando.
- Adoptar modelos de medición de la capacidad y madurez de los procesos BIM de la compañía y aplicarlos a todos los proyectos, y en base a sus resultados tomar acciones para mejorar los procesos de la organización.

La conclusión principal de este trabajo es que la adopción del concepto BIM, para que pueda ser exitoso tiene que ir acompañado de un cambio de actitud y cultura, fomentada y apoyada desde los más altos niveles de las compañías, por las asociaciones de profesionales de la IC y por el sector académico; puesto que solo operar el software BIM ni equivale a una adopción ni a una implementación.

Dado que BIM significa cambios en la forma de trabajar, cambios en las necesidades del personal, cambios en la organización de los proyectos y cambios en la manera que la empresa utiliza la información y conocimiento de los modelos, hay que estar preparados para la inevitable resistencia al cambio entre todos los involucrados a nivel regional, industria, organización y proyecto. Una manera de preparar a todos

para el cambio podría ser realizando presentaciones dirigidas a todos los involucrados, -sociedad, gobierno, instituciones educativas- donde se expliquen los motivos para el cambio a BIM, los beneficios potenciales y las consecuencias que podrían ocurrir; “ya que una aplicación BIM solo será tan buena como las capacidades de las personas que lo desarrollan, y se volverá más exitoso si todos los involucrados abordan los proyectos en forma colaborativa”.

5.3 Reflexiones personales sobre el panorama actual de los diseños en la IC sonorense

Los proyectos de diseños constructivos de manera similar a los proyectos de cualquier otra índole, se desarrollan en fases bien identificadas y conocidas por los empresarios de la IC; aunque a diferencia de otras áreas de la industria en general, en las cuales los proyectos se abordan desde la perspectiva de procesos interconectados o concurrentes; en la IC sonorense las fases de los proyectos se abordan como si fueran proyectos independientes; es decir, en forma secuencial. Además, en ocasiones el mismo proyecto de diseño es abordado en cada fase por diferentes equipos; muchas veces sin relación entre ellos, o sin trasladar la información de una fase a otra y en otras ocasiones recopilando nuevamente los datos en cada fase que se va abordando. La situación anterior se presenta en edificación, vías terrestres, o en cualquier proyecto de la IC sonorense.

A continuación se describen algunas situaciones que se presentan en la actualidad en la IC sonorense.

Aspectos organizacionales

- En algunas empresas de la IC sonorense sus procesos funcionan como empresas de personas y no de sistemas, es decir, el conocimiento de los procesos constructivos y demás actividades que se llevan a cabo en la realización de los proyectos lo posee el personal y muchas veces no está documentado de manera oficial en forma de manuales, guías, entre otros instrumentos.

- Dada la naturaleza única de los proyectos constructivos es muy común que el equipo de trabajo se disuelva una vez finalizado el proyecto; lo que repercute entre otros aspectos, en que las organizaciones pierden gran parte del conocimiento adquirido; al no tener muchas de ellas la práctica de documentar a nivel organizacional las lecciones aprendidas en cada proyecto que finalizan; quedándose este en las mentes de las personas, las cuales se lo llevan; sin que este pase a formar parte del activo de conocimiento de la organización.
- Al no documentar las lecciones aprendidas de los proyectos finalizados corren el riesgo de cometer los mismos errores una y otra vez.
- Dada la gran fragmentación de la IC, no están desarrollando a los proveedores, como si lo hace la industria de manufactura.
- No existe una conciencia clara entre los responsables de las diferentes disciplinas a nivel académico, organizacional y operativo de los proyectos constructivos de que algo anda mal en la forma en que se están abordando los proyectos de la IC sonoreNSE.

Aspectos técnicos

- En muchas ocasiones los diseñadores del concepto de diseño le dan más importancia al aspecto visual del diseño que a la riqueza de los datos y métodos de construcción; es decir, el concepto final del diseño constructivo es presentado como un producto de diseño gráfico para ventas y no como un producto técnico, lo que repercute en la baja calidad y poca constructividad.
- Para la presentación final del concepto de diseño se ha generalizado la exportación a plataformas de software que manejan una interoperabilidad casi nula; por lo que cualquier cambio al concepto del diseño significa volver a empezar con la presentación, además de que la utilidad mayor de estos softwares de presentación se encuentra en proyectos pequeños, según los desarrolladores de los mismos.
- Las vistas de elevación se dibujan en la mayoría de los casos casi de manera manual e independiente del diseño conceptual o vista de planta, de tal manera que en algunos casos existen discrepancias entre las vistas y la planta, y por

otro lado, si se actualiza o modifica cualquiera de ellas, es necesario modificar el resto en forma manual ya que no están ligados.

- La misma situación se presenta con las demás representaciones, tales como cortes longitudinales y transversales, detalles constructivos, e instalaciones, entre otros elementos que se plasman en los diseños constructivos de cualquier naturaleza.
- En la mayoría de los casos se abordan las fases de los proyectos de diseños constructivos en forma segmentada y en forma solitaria. Es decir, para un mismo proyecto de diseño se manejan varias copias del archivo del concepto en las cuales los especialistas de las diferentes disciplinas van plasmando la parte del proyecto que les corresponde.
- Propiciado por el hecho de que la distribución de las copias de los archivos no se lleva a cabo en forma automática, en muchas ocasiones si el concepto del diseño cambia, no todos los especialistas de las diferentes disciplinas reciben las actualizaciones. Lo anterior se puede traducir como un incorrecto manejo a los cambios en la evolución del diseño constructivo.
- Otro hallazgo es el hecho de que los constructores sonorenses no están haciendo uso de las redes informáticas ni de las bases de datos para manejar los proyectos de diseños constructivos en forma colaborativa o de equipo; lo cual propicia que el manejo de la interoperabilidad entre las diferentes plataformas tecnológicas solo se dé en forma forzada, si es que se llega a dar.
- La estandarización se maneja a muy bajo nivel, de tal manera que frecuentemente en cada nuevo proyecto existe la necesidad de reinventar e interpretar conceptos para poder adaptarse a la terminología.
- En la elaboración de los presupuestos para la fase de licitación generalmente se cuantifican los elementos visibles en los documentos de construcción en forma manual.
- Por otro lado, el proceso de elaboración de presupuestos, costeo y análisis de los precios unitarios de los conceptos de construcción es una de las herramientas que dominan en forma excelente los constructores sonorenses,

además cuentan con estándares de rendimientos muy optimizados; tienen acceso al software especializado; sin embargo, muchas veces estos rendimientos no les sirven para la planeación y el control de la obra para la fase de construcción porque en muchos casos ajustan el presupuesto en base al costo deseado, lo cual modifica los rendimientos previamente analizados en las matrices.

- Por otro lado, en general los empresarios de la IC sonorense sí tienen acceso a tecnologías que les permiten abordar los proyectos en forma integrada, y en algunos casos hasta saben manejarlas; sin embargo, no tienen la formación ni le dan el enfoque de procesos a los proyectos de esta industria, ya sea por tradición, por desconocimiento o por la resistencia al cambio.
- Otro gran hallazgo fue descubrir que desde la academia sonorense relacionada con la IC no se están enseñando ni promoviendo los nuevos métodos de trabajo en base a procesos colaborativos, ni sus herramientas tecnológicas asociadas.
- A los estudiantes de las profesiones de arquitectura e ingeniería se les sigue enseñando a abordar los proyectos constructivos en procesos independientes y en la mayoría de los casos con tecnologías de dibujo en vez de tecnologías de diseño.
- Existe la concientización de los directivos de la CMIC, Sonora, de los nuevos procesos de trabajo y tecnologías para desarrollar los proyectos de la IC con un enfoque integrador de procesos interconectados o concurrentes y por otro lado; como resultado de la investigación se encontró que existe una tendencia global en la IC a la adopción de nuevos métodos de abordar los proyectos de diseños constructivos, entre ellos se encuentra muy bien posicionado BIM.

6. REFERENCIAS

AEC UK Committee, 2012. *AEC (UK) BIM Protocol*. [pdf] Londres: AEC UK Committee. Disponible en: <<http://aecuk.files.wordpress.com/2012/09/aecukbimprotocol-v2-0.pdf/>> [Último acceso 15 enero 2013].

AEC (UK) chair, 2012. *AEC (UK) BIM Protocols v2.0 now available*. AEC (UK) CAD & BIM Standards Site, [blog] 7 Septiembre 2012. Disponible en: <<http://aecuk.wordpress.com/>> [Último acceso 18 febrero 2013].

AGC, 2010a. *Unit 1 BIM 101: An introduction to Building Information Modeling*. Arlington: The associated Contractors of America.

AGC, 2010b. *Unit 2: BIM Technology*. Arlington: The Associated General Contractor of America.

AGC, 2010c. *Unit 3 BIM Contract Negotiation and Risk Allocation*. Arlington: The Associated General Contractors of America.

AGC, 2010d. *Unit 4: BIM process, adoption, and integration*. Arlington: The Associated General Contractors of America.

AIA, 2007. *Integrated Project Delivery: A guide*. [pdf] The American Institute of Architects Nacional y California Council. Disponible en: < > [Último acceso 22 noviembre 2012].

AIA, 2008. *AIA Document E202TM - 2008 Building Information Modeling Protocol Exhibit*. [pdf] The American Institute of Architects. Disponible en: <<http://www.aia.org/contractdocs/training/bim/aia078742>> [Último acceso 21 septiembre 2012].

AIA, 2012. *IPD Case Studies*. [pdf] The American Institute of Architects Nacional y Minnesota. Disponible en: <<http://www.aia.org/aiaucmp/groups/aia/documents/pdf/aiab093702.pdf>> [Último acceso 15 diciembre 2012].

Arayici, Y., Coates P., Koskela, L., Kagioglou, M., Usher, C. y O'Reilly K., 2011. *Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice*. *Automation in Construction*: 20(2), pp. 189-195.

Ashar, S., Nadeem, A., Mok, J. y Leung B., 2008. Building Information Modeling (BIM): A new paradigm for visual interactive modeling and simulation for construction projects. *Proceedings of the First International Conference on Construction in Developing Countries "Advancing and Integrating Construction Education, Research and Practice"*, Karachi, Pakistán, Agosto 4-5, 2008.

Autodesk, 2008. *Transitioning to BIM*. [pdf] Autodesk Inc. Disponible en: <http://images.autodesk.com/apac_india_main/files/gb_revit_bim_transitioning-to-bim_jan07_1.pdf> [Último acceso 31 julio 2012].

Autodesk, 2010. *Autodesk Building Information Modeling - BIM Deployment Plan*. [pdf] San Rafael: Autodesk Inc. Disponible en: <<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/item?id=14652957&siteID=123112>> [Último acceso 22 noviembre 2011].

Autodesk, 2011. *Realizing the Benefits of BIM: A vehicle for business transformation*. [en línea] Disponible en: <http://images.autodesk.com/adsk/files/2011_realizing_bim_final.pdf /> [Último acceso 4 enero 2013].

Barlish, K., 2011. *How to Measure the Benefits of BIM: A Case Study Approach*. (Tesis de maestría). Phoenix: Arizona State University. Disponible en: <http://repository.asu.edu/attachments/57013/content/Barlish_asu_0010N_10983.pdf> [Último acceso 12 enero 2013].

Casals, M., 1997. *Estudio de la aplicación de distintas técnicas de gestión de la calidad en la elaboración del proyecto de construcción* (Tesis doctoral). Terrassa: Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Ingeniería de la construcción. Disponible en: <<http://www.tdx.cat/handle/10803/31788>> [Último acceso 16 enero 2013].

CIC, 2011. *Project Execution Planning Guide*. [en línea] Disponible en: <<http://bim.psu.edu/>> [Último acceso 28 diciembre 2012].

Cicmil, S. & Marshall, D., 2005. *Insights into collaboration at the project level: complexity, social interaction and procurement mechanisms*. *Building Research & Information*, 33(6), pp. 523-535.

CIFE, 2007. *VDC Use in 2007: Significant Value, Dramatic Growth, and Apparent Business Opportunity*. [en línea] Disponible en: <<http://cife.stanford.edu/sites/default/files/TR171.pdf>> [Último acceso 17 diciembre 2012].

CIFE, 2012. *VDC Scorecard Version 2012v7*. [en línea] Disponible en: <<https://vdcscorecard.stanford.edu/sites/default/files/VDC%20Full%20Version.pdf>> [Último acceso 16 febrero 2013].

CII, 1986. *Constructability: A premier*. Austin: Construction Industry Institute.

CIRIA, 1983. *Buildability: An assessment*. London: Construction Industry Research Association.

CMIC, 2013. *Indicadores Económicos de la Construcción 2013*. [en línea] DF: CMIC-Gerencia de Economía y Financiamiento Disponible en: <http://www.cmic.org/cmic/economiaestadistica/2013/indec_28feb13.pdf> [Último acceso 20 febrero 2013].

CMU, 2010a. *CMMI for Acquisitions, Version 1.3*. [pdf] Pittsburg: Carnegie Mellon University. Disponible en: <<http://www.sei.cmu.edu/reports/10tr032.pdf>> [Último acceso 12 febrero 2013].

CMU, 2010b. *CMMI for Development, Version 1.3*. [pdf] Pittsburg: Carnegie Mellon University. Disponible en: <<http://www.sei.cmu.edu/reports/10tr033.pdf>> [Último acceso 12 febrero 2013].

CMU, 2010c. *CMMI for Services, Version 1.3*. [pdf] Pittsburg: Carnegie Mellon University. Disponible en: < <http://www.sei.cmu.edu/reports/10tr034.pdf> > [Último acceso 12 febrero 2013].

Crosby, P., 1987. *La Calidad no Cuesta*. Traducido del (Inglés) por Díaz O. Distrito Federal: Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V.

CURT, 2006. *Optimizing the Construction process: An implementation Strategy*. gngycuc.org. [pdf] Cincinnati: The Construction Users Roundtable. Disponible en: <<http://www.gngycuc.org/media/curt2.pdf>> [Último acceso 15 enero 2013].

DAS, 2011. *The SAO Manual 2012: A management guide for Ohio Capital Improvements*. [pdf] Bloomington: Ohio State Architect's Office. Disponible en: <<http://www.kent.edu/universityarchitect/guidelines/upload/thesaomanual2012.pdf>> [Último acceso 22 octubre 2012].

Davis, P., Busa, C., Turner, B. y Stafford S., 2011. *Introducing Autodesk Revit Architecture 2012. 2da ed.* Hoboken: Wiley & Sons Inc..

Deming, E., 1988. *Out of the Crisis*. Cambridge: MIT Press.

Deutsch, R., 2011. *BIM and Integrated Design*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.

DSD Department for Social Development, 2004. *09 Design quality*. [en línea] Disponible en: <<http://www.forthconstruction.co.uk/downloads/achieving-excellence-guide-9.pdf>> [Último acceso 12 enero 2013].

Eastman, C., Teicholz, P. y Liston, K., 2008. *BIM Handbook: A guide to Building Information Modeling*. Hoboken: Wiley & Sons, Inc..

EDC, 1967. *Action on the Banwell Report: A survey of the Implementation of the Recommendations of the committee Under the Chairmanship of Sir Harold Banwell on the placing and managements of contracts*. Londres: Economic Development Council.

- Egbu, C., Robinson, H., 2005. Construction as a Knowledge Based-Industry. En: C. J. Anumba, C. O. Egbu, P. M. Carrillo, eds. 2005. *Knowledge Management in Construction*. Oxford: Blackwell Publishing Ltd, pp. 31-48.
- Emmerson, H., 1962. *Survey of Problems Before the Building Industry*. Londres: Ministry of Works.
- Feigenbaum, A. V., 1991. *Total Quality Control*. 3ra. ed. New York: McGraw Hill.
- Ferguson, I., 1989. *Buildability in Practice*. London: Batsford LTD.
- Formoso, C. T., Tzotopoulos, P., Jobim, M. S. y Liedtke, R., 1998. Developing a protocol for managing the design process in the building industry. En: International Group for Lean Construction, *Sixth Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC-6)*. Guarujá, Brazil, 13-15 August 1998. Los Angeles: Berkeley University.
- Gambatese, J., 2007. *Constructability: Concepts and Practice*. Reston: ASCE The American Society of Civil Engineers.
- Giel, B. y Raja, I., 2012. Quality and Maturity of BIM implementation within the AECO industry. En: Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), *14th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (14th ICCBE)*. Moscow, Russian Federation 27–29 June 2012. Moscow: Publishing House "ASV".
- Giménez, Z. y Suárez, C., 2008. *Diagnóstico de la gestión de la construcción e implementación de la constructabilidad en empresas de obras civiles*. Revista ingeniería de construcción, 23(1), pp. 4-17.
- Gray, C., 1984. *Buildability: The construction contribution*. Ascot: Chartered Institute of Building.
- Griffith, A., 1984. *Buildability: the effect of Design and Management on Construction: A Case Study*. Edinburgh: Heriot-Watt University, Department of Building.

- Harty, C., 2005. *Innovation in construction: a Sociology of Technology Approach*. Building Research and Information, 33(6), pp. 512-522.
- Holder Construction, 2009. *Building Information Modeling* [en línea] Disponible en: <<http://www.holderconstruction.com/SERVICES/Pages/Building-Information-Modeling.aspx>> [Último acceso 20 marzo 2013].
- Indiana University, 2009. *IU BIM Standards: Standards: Consultants and contractors*. [en línea] Disponible en: <<http://www.iu.edu/~vpcpf/consultant-contractor/standards/bim-standards.shtml>> [Último acceso 20 octubre 2012].
- ISO, 2005. *ISO 9000 Norma Internacional (traducción certificada)*. [pdf] Ginebra: Secretaría Central de ISO. Disponible a través de: <http://www.iso.org/iso/iso_9000> [Último acceso 20 Noviembre 2012].
- IU Architects Office, 2012. *Guidelines & Standards for architects, Engineers, and Contractors*. [pdf] Bloomington: Indiana University. Disponible en: <<http://www.indiana.edu/~uao/docs/standards/IU%20BIM%20Guidelines%20and%20Standards.pdf>> [Último acceso 20 julio 2012].
- Ishikawa, K., 1985. *¿Qué es el Control Total de Calidad? La modalidad japonesa*. Bogotá: Editorial Norma.
- Juran, J., 1951. *Quality Control Handbook*. New York: McGraw-Hill.
- Juran, J., 1999. *Quality Control Handbook*. 5a. ed. New York: McGraw Hill.
- Langdom, D., 2012. *Getting the most out of BIM A guide for clients*. [pdf] Londres: David Langdom an AECOM Company. Disponible en: <<http://www.Davislangdom.com/uploadstaticfiles/>> [Último acceso 20 diciembre 2012].
- Loyola, M. y Goldsack, L., 2010. *Constructividad y Arquitectura*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- McGraw-Hill Construction, 2009. *The Business Value of BIM for Infrastructure*. [pdf] Bedford: McGraw Hill Construction Disponible en: <http://www.bim.construction.com/research/pdfs/2009_BIM_SmartMarket_Report.pdf> [Último acceso 20 mayo 2012].

Montgomery, D. C., 2009. *Introduction to Statistical Quality Control*. 6th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc..

Murray, M. y Langford, D., 2008. *Construction Reports 1944-98*. [en línea]

Disponible en: <<http://onlinelibrary.wiley.com/book/10.1002/9780470758526>>

NIBS, 2012. *National BIM Standard-United States Versión 2*. [en línea]

Disponible en: <http://www.nationalbimstandard.org/nbims-us-v2/pdf/NBIMS-US2_c5.2.pdf> [Último acceso 22 noviembre 2012].

NEDO, 1975. *The Wood Report: The Public Client and the Construction Industry*. Londres: National Economic Development Office.

NIBS, 2007. *US National Building Information Modeling Standard*. [pdf] National Institute of Building Sciences Disponible en: <http://www.wbdg.org/pdfs/NBIMsv1_p1.pdf> [Último acceso 25 septiembre 2012].

Nonaka, I. y Takeuchi, H., 1995. *The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*. New York: Oxford University Press, Inc.

O'Connor, J. & Miller, S., 1994. *Barriers to Constructability Implementation*. Journal of performance of Constructed Facilities, 8(2), pp. 110-128.

Ohio State, Architect's Office, 2011. Ohio Das general Services Division. [en línea] Disponible en: <<http://das.ohio.gov/LinkClick.aspx?fileticket=JVVZIVN5ZRY%3D&tabid=305>> [Último acceso 12 agosto 2012].

OmniClass, 2006. *OmniClass: A Strategy for Classifying the Built Environment*. [en línea] Disponible en: <<http://www.omniclass.org/>> [Último acceso 6 diciembre 2012].

Parrot, B. y Bomba, M., 2010. *Integrated Project delivery and building information modeling: A new breed of contract*. [pdf] PCIJournal Disponible en: <http://www.pci.org/view_file.cfm?file=JL-10-FALL-12.PDF> [Último acceso 20 febrero 2012].

Pérez, J.B., Sabador A., 2004. *Calidad del Diseño en la Construcción*. Madrid: Ediciones Díaz santos.

Perez-Soltero, A. 1997. *Modelo para la representación de una memoria organizacional utilizando herramientas computacionales de Internet* (Tesis maestría). Monterrey: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Disponible en: <http://www.aperez.mx/memoria_organizacional.pdf> [Último acceso 10 de Mayo 2013].

PMI, 2008. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos*. 4a. ed. Newton Square: Project management Institute, Inc.

Qing, Y. Y., Qing, S. W., Dulaimi, M. y Pheng, S. L., 2003. *A fuzzy quality function deployment system for buildable design decision-makings*. *Automation in Construction*: 12(4), pp. 381-393.

RAE, 2013. *Diccionario de la lengua española*. [en línea] Real Academia Española. Disponible en: <<http://lema.rae.es/drae/?val=calidad>> [Último acceso Octubre 20 2012].

SAO, 2011. *State of Ohio Building Information Modeling Protocol*. [en línea] Ohio Department of Administrative services. Disponible en: <<http://das.ohio.gov/LinkClick.aspx?fileticket=JVVZIVN5ZRY%3D&tabid=305>> [Último acceso 12 agosto 2012].

Smith, D. K. y Tardif, M., 2009. *Building Information Modeling: A strategic Implementation Guide*. Hoboken: John Wiley & Sons Inc..

Stewart, A., 1990. *Constructividad*. Barcelona: CEAC.

Succar, B., 2009. *Building Information Modeling Framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders*. *Automation in Construction*, pp. 357-375.

Succar, B., 2010. “*Building Information Modelling Maturity Matrix*”. En: J. Underwood & U. Isikdag, edits. *Handbook of Research on Building Information Modeling and*

Construction Informatics: Concepts and Technologies. Salford, UK: IGI Global, pp. 65-103.

Taylor, J. E. y Bernstein, P. G., 2009. *Paradigm Trajectories of Building Information Modeling Practice in Project Networks*. Journal of Management in Engineering, 25(2), pp. 69-76.

Thorpe, D. y Neal, R., 2007. Responding to global issues: Sustainability and innovation in the Australian SME residential building construction sector. En: ICCPM/ICCEM, *5th International Conference on Construction Project Management, 2nd International Conference on Construction Engineering and Management*. Toowomba, Singapore, 1-2 marzo 2007. Singapore: Building and Construction Authority, Korea Institute of Construction.

UK Cabinet Office, 2012. *Government Construction Strategy - Publications*. [en línea] Disponible en: <https://www.gov.uk/government/publications/government-construction-strategy> [Último acceso 21 noviembre 2012].

Whyte, J., Lindkvist, C., Jaradat, S. & Hassan, N., 2012. *Lessons learned from the London 2012 Games construction project*. [en línea] London: Disponible en: <http://learninglegacy.independent.gov.uk/documents/pdfs/systems-and-technology/425009-231-data-transfer.pdf> [Último acceso 10 enero 2013].

Wong, F., Lam, P. & Chan, E., 2007. *A study of measures to improve constructability*. International Journal of Quality & Reliability, 24(6), pp. 586-601.

Yan, H. y Damian, P., 2008. *Benefits and Barriers of Building Information Modeling*. [en línea] Disponible en: http://homepages.lboro.ac.uk/~cvpd2/PDFs/294_Benefits%20and%20Barriers%20of%20Building%20Information%20Modelling.pdf [Último acceso 25 noviembre 2012]