



Esta obra está bajo una [Licencia
Creative Commons Atribución-
NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú.](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/)

Vea una copia de esta licencia en
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**Gestión de proyectos utilizando las herramientas BIM en la fase de
diseño de proyectos de infraestructura vial**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

AUTOR:

José Alfredo Díaz Linarez

ASESOR:

Ing. Máximo Alcibiades Vilca Cotrina

Tarapoto – Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**Gestión de proyectos utilizando las herramientas BIM en la fase de
diseño de proyectos de infraestructura vial**

AUTOR:

José Alfredo Díaz Linarez

Sustentada y aprobada el día 27 de agosto del 2019, ante el honorable jurado.

.....
Ing. M. Sc. Enrique Napoleón Martínez Quiroz

Presidente

.....
Ing. M.Sc. Juvenal Vicente Díaz Agip

Vocal

.....
Ing. Manuel Viloslada Trujillano

secretario

.....
Ing. Máximo Alcibiades Vilca Cotrina

Asesor

Declaratoria de autenticidad

José Alfredo Díaz Linarez, con DNI N° 46075142, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la tesis titulada: **Gestión de proyectos utilizando las herramientas BIM en la fase de diseño de proyectos de infraestructura vial.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 27 de agosto del 2019.



.....
Bach. José Alfredo Díaz Linarez

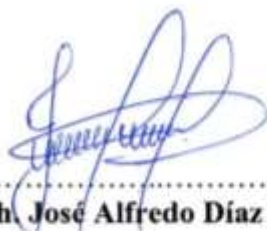
DNI N° 46075142

Declaratoria jurada

José Alfredo Díaz Linarez, con DNI N° 46075142, con domicilio legal en el Jr. Amazonas N° 315 – Banda de Shilcayo, a efecto de cumplir con las Disposiciones Vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, **Declaro bajo juramento**, que todos los documentos, datos e información de la presente tesis y/o informe de Ingeniería, son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos lo dispuesto en las Normas Académicas de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 27 de agosto del 2019.



.....
Bach. José Alfredo Díaz Linarez

DNI N° 46075142

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres: DIAZ LINAREZ JOSÉ ALFREDO	
Código de alumno : 073162	Teléfono:
Correo electrónico : jalfredo.diaz1@hotmail.com	DNI: 46075142

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de: INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de: INGENIERÍA CIVIL

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título: GESTIÓN DE PROYECTOS UTILIZANDO LAS HERRAMIENTAS BIM EN LA FASE DE DISEÑO DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL
Año de publicación: 2019

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI **“Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA”.**


.....
Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

Fecha de recepción del documento:

26 / 02 / 2020



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - T.
Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e
Innovación de Acceso Abierto - UNSM-T.

.....
Ing. M. Sc. Alfredo Ramos Perea
Responsable

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Dedicatoria

A mis Padres,

*José Benito y Doris, por todo el apoyo
que siempre me han dado.*

A mis abuelitos en el Cielo,

*Primo Alberto y Florita Isabel, por ser
mis mayores ejemplos de vida.*

A mi hermana,

*Marysabel, quien es el mejor regalo que
Dios pudo haberme dado.*

A mi compañera de vida,

*Annie Stephany, por su incondicional
amor.*

Agradecimiento

Agradezco a Dios, por haber estado a mi lado en cada paso que he dado y demostrarme que a pesar de mis errores y en mis momentos difíciles, nunca me ha abandonado.

A mis padres, por todo el apoyo y fuerza que siempre me han brindado.

A mi compañera de vida, Annie Stephany, por la motivación y apoyo durante la ejecución de esta investigación.

A mi buen amigo, Jorge Arturo, quien con él compartí grandes momentos en los proyectos donde nos tocó trabajar.

A mi asesor de tesis, Ing. Máximo Vilca Cotrina, por su valiosa guía y asesoramiento durante el desarrollo de esta investigación.

Y gracias a todas aquellas personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este informe de tesis.

Índice general

Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento	vii
Índice general	viii
Resumen	xix
Abstract.....	xx
Introducción.....	1
CAPÍTULO I.....	2
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.1. Planteamiento del problema	2
1.1.1. Formulación del problema	7
1.2. Objetivos de la investigación.....	8
1.2.1. Objetivo general	8
1.2.2. Objetivos específicos	8
1.3. Justificación de la investigación.....	8
1.3.1. Justificación teórica.....	8
1.3.2. Justificación práctica.....	9
1.4. Delimitación de la investigación	10
CAPÍTULO II.....	12
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1. Antecedentes de la Investigación	12
2.1.1. A nivel internacional:	12
2.1.2. A nivel nacional:.....	13
2.1.3. A nivel local:	14
2.2. Bases Teóricas	15
2.2.1. Los proyectos de construcción	15
2.2.1.1. El origen de los proyectos	15
2.2.1.2. Los proyectos de construcción	16
2.2.1.3. El ciclo de vida de un proyecto de construcción	19
2.2.1.4. Los Involucrados de un proyecto.....	23
2.2.2. La gestión de proyectos en la construcción.....	24

2.2.2.1. La industria de la construcción.....	24
2.2.2.2. La gestión de los proyectos	28
2.2.2.3. Historia de la gestión de proyectos.....	30
2.2.2.4. Enfoques de gestión de proyectos de construcción	31
2.2.2.5. Métodos y técnicas de gestión de proyectos.....	34
2.2.2.6. Indicadores de gestión de proyectos de construcción.....	49
2.2.2.7. Retorno de la inversión - ROI.....	55
2.2.3. Evaluación de la fase de diseño en proyectos de construcción	56
2.2.3.1. La fase de diseño de proyectos de construcción.....	56
2.2.3.2. Deficiencias en la fase de diseño de proyectos de construcción	57
2.2.3.3. Deficiencias en los documentos contractuales de diseño	59
2.2.3.4. La calidad en el diseño y la documentación	64
2.2.3.5. Indicador de calidad del diseño y del proceso de la documentación.....	66
2.2.3.6. Clasificación de las de solicitudes de información (RFI).....	67
2.2.4. Gestión de la información en la construcción	69
2.2.4.1. Definición de gestión de la información.....	70
2.2.4.2. El intercambio de la información en la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción (AEC).....	70
2.2.4.3. Procesos y flujos de información tradicionales.....	71
2.2.4.4. Problemas de documentación, información y comunicación	74
2.2.4.5. Innovación tecnológica en la construcción	79
2.2.5. Tecnologías de la información y comunicación.....	83
2.2.5.1. Concepto de tecnologías de la información y comunicación	83
2.2.5.2. Aplicación de las tecnologías de la información y comunicación	84
2.2.5.3. Las TIC en el sector de la construcción	85
2.2.5.4. Diseño y construcción virtual - VDC	86
2.2.6. BIM	88
2.2.6.1. El término BIM	88
2.2.6.2. Antecedentes del BIM	88
2.2.6.3. La diferencia entre CAD y BIM.....	93
2.2.6.4. Las herramientas BIM	97
2.2.6.5. La estandarización en BIM.....	98
2.2.6.6. Los entornos colaborativos.....	103
2.2.6.7. La metodología BIM	106

2.2.6.8. Los niveles de desarrollo BIM	108
2.2.6.9. Las dimensiones BIM.....	111
2.2.6.10.Los niveles de madurez BIM.....	114
2.2.6.11.Los usos BIM	116
2.2.7.BIM para la infraestructura vial	120
2.2.7.1. El BIM para las infraestructuras.....	120
2.2.7.2. Oportunidad de BIM en proyectos de infraestructura vial	121
2.2.7.3. El BIM para infraestructura vial.....	126
2.2.7.4. Las herramientas BIM para infraestructura vial	129
2.2.7.5. Dificultades en la adopción de BIM en proyectos de infraestructura vial	132
2.2.7.6. Gestión de proyectos con Civil 3D.....	133
2.2.8.La implementación de BIM en el mundo.....	138
2.2.8.1. Repercusiones del uso de BIM en el mundo	138
2.2.8.2. El valor comercial de BIM para proyectos de infraestructura vial.....	146
2.2.8.3. Perfiles y roles en la metodología BIM.....	155
2.2.8.4. La implementación de BIM en las políticas públicas en el mundo.....	156
2.2.8.5. BIM en el Perú	160
2.3. Hipótesis	164
CAPÍTULO III	165
MATERIAL Y MÉTODOS	165
3.1. Sistemas de variables.....	165
3.1.1. Variable independiente	165
3.1.2. Variable dependiente	165
3.1.3. Matriz de variables	165
3.2. Diseño de la investigación.....	165
3.3. Población y muestra.....	166
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	167
3.5. Procedimiento de Investigación.....	167
CAPÍTULO IV	168
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	168
4.1. Resultados.....	168
4.1.1. Gestión de la información en la fase de diseño de proyectos de infraestructura vial	168

4.1.1.1. Deficiencias de la gestión de la información en la fase de diseño de proyectos de infraestructura vial.....	169
4.1.2. Características de las herramientas BIM para el desarrollo de proyectos de infraestructura vial.....	173
4.1.2.1. Diseño civil.....	174
4.1.2.2. Dibujo y documentación.....	174
4.1.2.3. Visualización y análisis	174
4.1.2.4. Colaboración.....	174
4.1.3. Metodología de gestión de proyectos con las herramientas BIM en la fase de diseño de proyectos de infraestructura vial	175
4.1.3.1. Gestión de proyectos con el software Civil 3D 2019 (Metric).....	175
4.1.3.2. Flujo de trabajo avanzado con Civil 3D 2019 (Metric) para la gestión de proyectos	181
4.1.4. Efectos de la aplicación de la metodología de gestión de proyectos con las herramientas BIM en la fase de diseño de proyectos de infraestructura vial	199
4.2. Análisis y discusión de los resultados	200
4.2.1. Aumento de la eficiencia	200
4.2.2. Optimización de los flujos de trabajo	201
4.2.3. Mejora de la gestión de la información	201
4.2.4. Protección de la integridad de los datos	201
4.3. Contrastación de la Hipótesis	201
CONCLUSIONES	202
RECOMENDACIONES	203
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	204
ANEXOS	212
ANEXO A: Gestión de proyectos de AutoCAD Civil 3D 2019	213
ANEXO B: Flujos de trabajo avanzados con Civil 3D 2019 (Metric)	238

Índice de tablas

Tabla 1. Principales involucrados en un proyecto de construcción.....	23
Tabla 2. Desperdicios en la construcción	38
Tabla 3. Beneficios de Lean Construction.....	41
Tabla 4. Enfoque del rendimiento en guías y estándares de dirección de proyectos	52
Tabla 5. Lista indicadores claves de rendimiento de Gestión de Proyectos de Construcción	53
Tabla 6. Clasificaciones por tipo de RFI	67
Tabla 7. Oportunidades de mejora en la construcción con las TIC	82
Tabla 8. Herramientas TIC más influyentes en la construcción.....	86
Tabla 9. Lista de software enfocados según su función	97
Tabla 10. Principales formatos de software más utilizado en la industria	102
Tabla 11. Usos BIM y su aplicación en las etapas de los proyectos	118
Tabla 12. Herramientas que permiten crear y gestionar modelos BIM en infraestructura vial	130

Índice de figuras

Figura 1. Modelo Diseño-Construcción y modelo Diseño-Licitación-Construcción.....	3
Figura 2. Interpretación y comunicación de la información en la construcción.....	4
Figura 3. Incompatibilidad entre planos de diferentes especialidades	5
Figura 4. El conflicto	15
Figura 5. El Proyecto	16
Figura 6. Estructura genérica del ciclo de vida del proyecto.....	19
Figura 7. Impacto de las variables en función de tiempo del Proyecto	20
Figura 8. Ciclo de Vida del Proyecto y actividades típicas por fase	22
Figura 9. Productividad de la construcción comparada con otras industrias en Estados Unidos	28
Figura 10. Esquema metodología con enfoque tradicional	32
Figura 11. Esquema metodología PRINCE®2.....	33
Figura 12. Esquema metodología de Cadena Critica	34
Figura 13. Procesos de la Gestión de Proyectos.....	36
Figura 14. Grupo de Procesos de la Gestión de Proyectos	36
Figura 15. Modelo de producción tradicional	39
Figura 16. Modelo de producción Lean o TFV	39
Figura 17. Planificación tradicional.....	40
Figura 18. Proceso de desarrollo de proyectos de construcción basados en el sistema Diseño, Licitación y Construcción.....	42
Figura 19. Influencia del diseño en la productividad de la obra (Izquierda). Grado de eficiencia del diseño en los proyectos de construcción (Derecha).....	43
Figura 20. Enfoque del modelo Diseño-Construcción	45
Figura 21. Comparación del modelo Diseño-Construcción vs. modelo Diseño-Licitación-Construcción.....	46
Figura 22. Enfoque del modelo IPD	46
Figura 23. Modelo tradicional de entrega de proyectos vs modelo IPD	47
Figura 24. Enfoque del modelo de Asociación Publico-Privada.....	48
Figura 25. Formula general del ROI.....	56
Figura 26. Proceso de desarrollo de proyectos de construcción basados en el sistema Diseño Licitación y Construcción.....	57

Figura 27. Plano de Ubicación de DME - 01	60
Figura 28. Plano de Sistema de Drenaje Projectado.....	61
Figura 29. Incompatibilidad entre planos de DME y Sistema de Drenaje	61
Figura 30. Reparación de tubería de agua	64
Figura 31. Flujo de Información en el ciclo de vida de un proyecto.....	72
Figura 32. Flujo de Información entre actores del proyecto.....	73
Figura 33. Coordinación tradicional entre especialistas.....	74
Figura 34. Coordinación tradicional entre especialistas.....	76
Figura 35. Comunicación con actores no técnicos	77
Figura 36. Distintas interpretaciones del producto a construir por parte de actores del proyecto.....	77
Figura 37. Flujo de información basado en un esquema de trabajo tradicional (izquierda) y trabajo integrado (derecho)	83
Figura 38. El advenimiento de la sociedad de la información.....	84
Figura 39. Componentes de las TIC	85
Figura 40. Diseño tradicional basado en modelos independientes	90
Figura 41. Diseños conectados basado en modelos de información	91
Figura 42. Proveedores de Software BIM	93
Figura 43. Diseños un proyecto en CAD.....	95
Figura 44. Diseños un proyecto en BIM.....	96
Figura 45. Interoperabilidad BIM.....	99
Figura 46. Vista del modelado del sistema de agua fría en el software Revit.....	101
Figura 47. Formato estándar IFC.....	102
Figura 48. Entorno colaborativo con agentes implicado en el proyecto	104
Figura 49. Trabajo colaborativo en un entorno CDE	105
Figura 50. Principales programas de entorno de datos simplificados	106
Figura 51. Logos de programas de entorno de datos avanzados	106
Figura 52. Modelo Digital del Proyecto	108
Figura 53. Nivel de Desarrollo (LOD)	109
Figura 54. Niveles de Desarrollo en un proyecto BIM.....	110
Figura 55. Las dimensiones BIM	112
Figura 56. El modelo de madurez BIM por Mark Bew y Mervyn Richards.....	114
Figura 57. Usos BIM a lo largo de un ciclo de vida del edificio.....	117
Figura 58. Proceso de planificación de la ejecución del proyecto BIM	119

Figura 59. Flujo de trabajo tradicional de un proyecto de infraestructura vial	124
Figura 60. Flujo de trabajo BIM de un proyecto de infraestructura vial	125
Figura 61. Vista de un modelo virtual de una carretera.....	126
Figura 62. Principales empresas dedicadas a desarrollar software BIM	130
Figura 63. ROI percibido en BIM (según los ingenieros y contratistas que usan BIM por país).....	133
Figura 64. Estructura para administrar proyecto en Civil 3D.....	135
Figura 65. Esquema del uso de los Data Shortcuts.....	137
Figura 66. Flujo de trabajo con Data Shortcuts	137
Figura 67. Niveles de adopción BIM en América del Norte	139
Figura 68. Niveles de adopción BIM en América del Norte	140
Figura 69. Tiempo que los contratistas han estado usando BIM.....	140
Figura 70. Niveles de implementación de BIM actuales y futuros de los contratistas.....	141
Figura 71. Porcentaje de contratistas con niveles altos / muy altos de implementación BIM (por países)	142
Figura 72. Principales beneficios BIM citados por los contratistas dentro de su organización	143
Figura 73. El ROI percibido por los contratistas en BIM (por países)	144
Figura 74. Uso de BIM para la infraestructura vial entre las empresas encuestadas (por países).....	147
Figura 75. Uso de BIM en 50% o más en sus proyectos. (por países)	148
Figura 76. Años de experiencia en el uso de BIM para infraestructura de transporte. (por países).....	149
Figura 77. Propietarios que solicitan el uso de BIM en proyectos de infraestructura vial	149
Figura 78. Beneficios comerciales de BIM (calificados alto / muy alto por los usuarios de BIM)	151
Figura 79. Principales beneficios del proceso y resultados del proyecto de BIM.....	153
Figura 80. Etapa de proyecto en la que BIM proporciona el mayor valor (Según ingenieros y contratistas)	154
Figura 81. Modelo BIM 3D del edificio de la Universidad del Pacifico.....	161
Figura 82. Plan BIM Perú.....	163
Figura 83. Coordinación tradicional entre especialistas	171
Figura 84. Uso compartido de objetos de diseño.....	178
Figura 85. Esquema del uso de los Data Shortcuts en la gestión de proyectos	179

Figura 86. Flujo de trabajo con Data Shortcuts para la gestión de proyectos	179
Figura 87. Uso de los Data Shortcuts	180
Figura 88. Ubicación de las Plantillas de Proyectos de Civil 3D	181
Figura 89. Plantilla para el modelo de gestión de proyectos	182
Figura 90. Estructura de carpetas del proyecto que deberán incluirse en la plantilla del proyecto.....	182
Figura 91. Subcarpetas de la plantilla del proyecto: Diseños del proyecto.....	183
Figura 92. Subcarpetas de la plantilla del proyecto: Documentos	183
Figura 93. Subcarpetas de la plantilla del proyecto: Referencias externas	184
Figura 94. Subcarpetas de la plantilla del proyecto: Planos de ploteo	184
Figura 95. Seleccionando nuestra carpeta de Trabajo	185
Figura 96. Creando una nueva carpeta de accesos directos.....	186
Figura 97. Los accesos directos se muestran en la ficha Prospector	187
Figura 98. El nuevo proyecto en el Explorador de Windows.....	187
Figura 99. Carpeta del proyecto con acceso directo a datos.....	188
Figura 100. Superficie del proyecto Tacna - Collpa (Sub Tramo 3).....	188
Figura 101. Ubicación del archivo de la superficie del proyecto	189
Figura 102. Asociación del dibujo actual, Superficie Tacna - Collpa (Sub Tramo 3), a la carpeta del proyecto.....	189
Figura 103. Cuadro de dialogo para asociar el dibujo actual	189
Figura 104. Crear el acceso directo de datos para la superficie del proyecto.....	190
Figura 105. Agregar datos de la superficie a los accesos directos de datos	190
Figura 106. Lista de accesos directos de datos de Civil 3D disponibles para el proyecto actual	191
Figura 107. Archivo de la superficie con el dibujo del objeto de diseño	191
Figura 108. Ubicación del archivo de la superficie creada para los accesos directos	191
Figura 109. Archivo XML de la superficie del proyecto	192
Figura 110. Creando la referencia de la superficie del proyecto	192
Figura 111. Cuadro de diálogo de Crear referencia de superficie	193
Figura 112. Superficie referenciada al dibujo actual.....	193
Figura 113. Archivo del alineamiento con la superficie referenciada.....	194
Figura 114. Objeto alineamiento para el Eje del proyecto	194
Figura 115. Asociación del alineamiento al proyecto	195
Figura 116. Agregar datos del alineamiento a los accesos directos de datos	195

Figura 117. Alineamiento disponible para el proyecto actual	196
Figura 118. Open Source Drawing es una forma rápida de saltar al dibujo que quieras ..	197
Figura 119. Modificando la superficie de origen	198
Figura 120. Civil 3D enviará un mensaje al usuario cuando un objeto referenciado de datos haya cambiado	198
Figura 121. Sincronización desde el menú contextual del objeto	199

Índice de gráficos

Gráfico 1. PBI global y PBI de la construcción: 2013 – 2017 (Periodo: Diciembre)	25
Gráfico 2. Ranking del tamaño del sector de la construcción	26
Gráfico 3. Desviación el plazo original	27
Gráfico 4. Desviación del costo base.....	27
Gráfico 5. Comparación de los tipos de RFI	67
Gráfico 6. Comparación de clasificaciones dentro de las RFIs de aclaración de información.....	68
Gráfico 7. Clasificación de los RFI por tipo de consulta.....	69
Gráfico 8. Clasificación de consultas según naturaleza de los RFI's	69
Gráfico 9. Causas de los problemas más frecuentes en un proyecto de construcción.....	75
Gráfico 10. Tipos de RFI por obras	121
Gráfico 11. Adicionales respecto al costo directo por tipo de proyecto.....	122
Gráfico 12. Ampliaciones de plazo por tipo de proyecto	122
Gráfico 13. Causas de los problemas más frecuentes en un proyecto de construcción.....	170
Gráfico 14. Principales beneficios del proceso desarrollando proyectos con BIM.....	200

Resumen

El objetivo principal de esta investigación es implementar una metodología de gestión de proyectos utilizando las herramientas BIM en la fase de diseño de proyectos de infraestructura vial. El enfoque que se utilizó es cualitativo, empleando un diseño exploratorio. La muestra de la investigación es del tipo no probabilístico de selección intencional, considerando el tramo de carretera del Proyecto Integración Vial Tacna – La Paz, Tramo: Tacna – Collpa (Frontera con Bolivia), Sub Tramo 3: km 146+180 – km 187+404, perteneciente a la Ruta PE-40 de la Red Vial Nacional. Los instrumentos que se utilizaron fueron: La revisión documental y la observación no estructurada o participante. Como resultado, se observa que con el uso de las herramientas BIM, como el software Civil 3D 2019 (Metric), se pudo trabajar con grandes cantidades de datos, garantizando el normal rendimiento de las computadoras. Así mismo, se obtiene archivos más livianos, es decir, que el tamaño del archivo ocupa menos espacio (MB), evidenciando un ahorro hasta de un 75% en tamaños de archivos. También se observó, el aumento de productividad a la hora de realizar cambios en los diseños, ya que los objetos del diseño de Civil 3D, como las superficies, alineamientos, perfiles, entre otros, están vinculados, permitiendo generar de manera automática toda la documentación del proyecto, como planos, tablas, planillas, cantidad de materiales, etc. La investigación permite concluir que los efectos – beneficios encontrados luego de implementar el modelo de gestión de proyectos con el software BIM, AutoCAD Civil 3D 2019 (Metric) fueron, aumento de la eficiencia, optimización de los flujos de trabajo, mejora en la gestión de la información y protección de la integridad de los datos.

Palabras clave: Gestión de proyectos, herramientas BIM, fase de diseño, infraestructura vial.

Abstract

The main objective of this research is to implement a project management methodology using BIM tools in the road infrastructure project design phase. The approach that was used is qualitative, using an exploratory design. The research sample is of the non-probabilistic type of intentional selection, considering the road section of the Tacna - La Paz Road Integration Project, Section: Tacna - Collpa (Border with Bolivia), Sub Section 3: km 146 + 180 - km 187 +404, belonging to Route PE-40 of the National Road Network. The instruments that were used were: Documentary review and unstructured or participant observation. As a result, it is observed that with the use of BIM tools, such as Civil 3D software 2019 (Metric), you can work with large amounts of data, guaranteeing the normal performance of computers. Likewise, lighter files are obtained, that is, that the file size occupies less space (MB), evidencing a saving of up to 75% in file sizes. It was also observed, the increase in productivity at the time of making changes in the designs, since the objects of the Civil 3D design, such as surfaces, alignments, profiles, among others, are linked, allowing to automatically generate all the documentation of the project, such as plans, tables, forms, quantity of materials, etc. La investigación permite concluir que los efectos – beneficios encontrados luego de implementar el modelo de gestión de proyectos con el software BIM, AutoCAD Civil 3D 2019 (Metric) fueron, aumento de la eficiencia, optimización de los flujos de trabajo, mejora en la gestión de la información y protección de la integridad de los datos.

Key words: Project management, BIM tools, design phase, road infrastructure.



Introducción

El Modelado de la Información para la Construcción (BIM), por las siglas en inglés de *Building Information Modeling*, es una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de un proyecto de construcción, con el fin de centralizar toda la información en un modelo de información digital creado por todos sus agentes.

Para el desarrollo de los proyectos de infraestructura vial, el BIM representa una oportunidad para aumentar la calidad de la información y reducir los costos a través de flujos de trabajos más productivos. También busca mejorar la comunicación entre todos los profesionales encargados del diseño y gestión del proyecto.

El objetivo de esta investigación es implementar una metodología de gestión de proyectos con los softwares BIM para los proyectos de infraestructura vial, permitiendo mejorar la fase de diseño de dichos proyectos.

Para el desarrollo de esta investigación se revisaron y analizaron encuestas a profesionales de la AEC y se aplicó la técnica de la observación no estructurada para la implementación de una metodología de gestión, y así, determinar sus beneficios.

Esta investigación es importante debido a que nos aportará nuevos conocimientos para el uso de nuevas herramientas tecnológicas, como son los softwares BIM, para el mejor desempeño de los proyectos de construcción, en especial, para los proyectos de infraestructura vial.

La presente investigación está estructurada de la siguiente manera:

En el capítulo I se realizó el planteamiento y formulación del problema de investigación. Incluye los objetivos y la justificación e importancia del trabajo de investigación. Así mismo, está la delimitación de la investigación, los antecedentes bibliográficos y las bases teóricas. Por último, se propuso la hipótesis general.

En el capítulo II se presentaron las variables y el desarrollo el diseño de la investigación, se determinó la población y muestra, se mencionan los instrumentos que se emplearon y el procedimiento de la investigación y las técnicas de procesamiento y análisis de los datos.

En el capítulo III, se reporta los resultados de la investigación. Se desarrolla la contrastación de la hipótesis y la discusión de los resultados.

Finalmente están las conclusiones, recomendaciones, referencias y anexos.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La industria de la construcción es uno de los principales motores del desarrollo económico y social de un país (Rodríguez, 2018), y representa aproximadamente el 9% del PBI mundial (Monfort, 2015). En el Perú, el sector de la construcción es la actividad que mayor crecimiento registro en el año 2018 según el Informe Económico de la Construcción – IEC (2019). Esto, debido al aumento de la inversión, tanto privada como pública, en el desarrollo de los proyectos de construcción (IEC, 2019).

Por eso, la actividad de la construcción, es de mucha importancia para el desarrollo de un país, ya que proporciona elementos básicos de bienestar para la sociedad, como la construcción de infraestructuras básicas, como son los hospitales, escuelas, carreteras, puentes, entre otros.

Sin embargo, esta industria, según el Dr. Paul Teicholz (2004), de la Universidad de Stanford en EE. UU, es una de las que muestra menor grado de desarrollo productivo y bajo nivel tecnológico. Es también, el sector en donde se registran muchos problemas durante la ejecución de los proyectos de construcción (Pons, 2014).

Un informe publicado en el año 2018, por la Cámara Argentina de la Construcción (CAMARCO), sobre la gestión y productividad en obra, reveló que el 70% de las obras terminadas se encontraron fuera del plazo establecido y que el 43% de los proyectos ejecutados presentaron excesos sobre el costo, entre el 10% y el 30% del presupuesto inicial.

Para Alcántara (2013), estos problemas generados durante la etapa de construcción de los proyectos, son causados por las deficiencias en los documentos contractuales, elaborados en la fase de diseño, los cuales son originados por un modelo de entrega de proyecto tradicional, como es el de Diseño, Licitación y Construcción (Véase Figura 1), el cual separa las etapas más importantes del desarrollo de un proyecto, al Diseño y a la Construcción.



Figura 1. Modelo Diseño-Construcción y modelo Diseño-Licitación-Construcción

(Fuente: <https://www.buildingsunlimited.net/construction-management/design-bid-build/>).

Por eso, Alcántara (2013) propone modelos de entrega de proyectos más colaborativos, como los modelos Diseño-Construcción (Véase Figura 2), que permiten desarrollar proyectos más eficientes, ya que, la productividad en la fase de construcción, está estrechamente relacionada con la calidad de la información generada en la fase de diseño, la cual sirve de base, para la ejecución de los proyectos de construcción (PMI, 2013 y Fustamante ,2014). Así lo ratifica Vásquez (2006), donde en su estudio determinó que la información generada en la fase de diseño tiene gran influencia en la producción de la obra.

Así mismo, se han venido desarrollando otros métodos, como los del PMI o la filosofía del *Lean Construction*, que, de acuerdo a sus enfoques, permiten mejorar la gestión de los proyectos de construcción.

Pero, para Fustamante (2014), ningún método de gestión será capaz de lograr una mejora en la etapa de construcción, si es que primero no hay una mejora en el proceso de generación de la información en la fase de diseño.

La Fase de Diseño, es la etapa del proyecto donde se elaboran los diseños definitivos de todas las estructuras y obras complementarias que se requieran, de tal forma que el constructor pueda materializar la obra (Martínez, 2013). Una vez terminado estos diseños definitivos, se pasan a preparar los documentos técnicos correspondientes para la construcción de la obra, como son los planos, especificaciones técnicas, presupuestos, programación de obra, entre otros, estableciendo así, la cantidad de los materiales, el tiempo de ejecución y el costo para la construcción de la obra.

Sin embargo, durante la ejecución de los proyectos, se han encontrado muchos problemas en esta etapa, causados principalmente, según Pons (2014), por la deficiente información

generada durante los procesos en la fase de diseño, ocasionando deficiencias en los documentos técnicos contractuales, como, por ejemplo, en los planos, especificaciones técnicas, entre otros. Para Alcántara (2013), estas deficiencias influyen e impactan negativamente durante la etapa de construcción, generando adicionales de obra, que luego derivan en ampliaciones de plazo, perjudicando así la calidad de la obra. Y es que es, justamente, en plena etapa de construcción donde son encontrados y resueltos gran porcentaje de estos problemas.

Varios son los procesos llevados a cabo durante la fase de diseño para generar la información que será útil para la construcción de los proyectos. Sin embargo, estos procesos, en la actualidad, son muy deficientes y no generan valor a esta etapa.

Para Coloma (2008), uno de los principales inconvenientes durante el desarrollo de la etapa de diseño, es por el uso de softwares CAD que permiten una limitada representación de los proyectos, es decir, que los dibujos de los diseños se encuentran representados en dos dimensiones o 2D, que luego son impresos en planos.

Esto, según Saldías (2010), se presta a que se pueda cometer distintas interpretaciones de los elementos constructivos del proyecto, puesto que es la única manera de poder conocer el alcance del mismo. La figura 2 muestra como una mala interpretación de los planos, puede llevar a una mala comunicación con los responsables de la construcción, perjudicando la calidad proyecto. Además, Eastman criticaba los dibujos en papel, pues tenían tendencia a empobrecerse con el tiempo y por el hecho de no poder representar las formas (Tur, 2014).

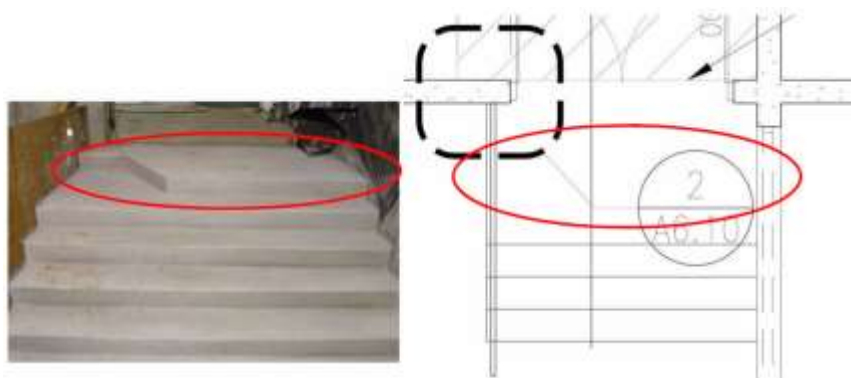


Figura 2. Interpretación y comunicación de la información en la construcción (Fuente: Morgues (2012).).

Los proyectos de infraestructura vial, debido a la magnitud y la complejidad, no son ajenos a esta realidad, pues también presentan muchas deficiencias de diseño, sobre todo, porque se continúan desarrollando con metodologías tradicionales y herramientas que tienen poca

capacidad para automatizar las actividades, los cuales, a su vez, no permiten evaluar mejores alternativas de solución.

Los proyectos de infraestructura vial, debido a su tipología, manejan grandes cantidades de datos, los cuales servirán para proyectar y visualizar los diferentes elementos del proyecto, como son los elementos del sistema de drenaje, la plataforma de la vía, los DME's, las señales, entre otros. Por eso es necesario recurrir al uso de herramientas tecnológicas que permitan contemplar el desarrollo de estos proyectos, así evitar, conflictos e interferencias con sus elementos. La figura 3 muestra la deficiencia en los planos de proyectos de infraestructura vial.



Figura 3. Incompatibilidad entre planos de diferentes especialidades. (Fuente: Proyecto Integración Vial Tacna – La Paz, Tramo: Tacna – Collpa (Frontera con Bolivia), Sub Tramo 3: Km 146+180 – Km 187+404).

En la figura 3, se observa la incoherencia entre los planos, debido a que se plantea proyectar una alcantarilla sobre el área del DME, causando la reubicación de uno de los dos elementos para el normal desarrollo del proyecto, generando sobre costos por esa modificación.

Por otro lado, el uso de los softwares actuales, como los sistemas CAD, no permiten la automatización en los procesos, lo cual genera inproductividad en las actividades y desperdicio de horas de trabajo durante en la etapa de diseño, no permitiendo evaluar y analizar otras alternativas de diseño.

Así mismo, la información que se genera por los diferentes especialistas que participan en el diseño, no se encuentra centralizada, debido a que, los softwares que usan cada especialista, no permiten la interoperabilidad entre ellos, ocasionando un intercambio

deficiente de los datos, lo que ocasiona pérdida de tiempo, puesto que muchas veces se tiene que volver a crear los dibujos para cada especialista (McGraw Hill Construction, 2007).

Por lo tanto, el intercambio de los datos y la gestión de la información, entre los involucrados durante el proceso de desarrollo de la fase de diseño, tiene mucha importancia para el desempeño de los proyectos de infraestructura vial.

En el Primer Congreso Internacional BIM, realizado en el año 2014 en Lima, se presentaron algunos resultados del estudio realizado por el Ing. Carlos Delgado sobre el estado del diseño de los proyectos y sus consecuencias en la fase de construcción.

Se mostro que, en los proyectos de carreteras, el 60% de los RFI (solicitudes de información) emitidos fueron por conflictos de diseño, el 33% para la confirmación de información y el 7% al valor agregado al diseño.

Por eso, ante esta imperiosa necesidad de ser eficientes en el desarrollo de los proyectos de infraestructura vial, las empresas de construcción están empezando a usar el BIM para el desarrollo de sus proyectos.

El BIM, es una nueva metodología de trabajo colaborativa en la industria de la construcción, la cual ordena a las personas, a las herramientas tecnológicas y a los procesos dentro de un proyecto de construcción (Miller, 2017), permitiendo mejorar los flujos de trabajo tradicionales para el desarrollo de los proyectos y gestionar adecuadamente la información durante todo el ciclo de vida de un proyecto.

El concepto BIM que hoy se conoce en la actualidad, existe desde hace ya más de 40 años y empezó hacerse más popular en los últimos 20 años, cuando varias empresas desarrolladoras de herramientas TIC's de la industria de la AEC, implementaron el BIM en sus softwares y los pusieron a disposición del mercado.

Por eso, lo que hoy se conoce como la metodología BIM, surgió primero con el desarrollo de las herramientas tecnológicas, y fueron los arquitectos, los primeros profesionales en implementar estas herramientas BIM en sus procesos para el desarrollo de sus proyectos. Desde ese momento hasta ahora, se han venido usando, a nivel mundial, el BIM para la representación digital de los proyectos de edificación. En cambio, el uso del BIM en proyectos de infraestructura vial, no esta tan avanzado como en las edificaciones (Ramos, 2016).

La mayoría de las investigaciones encontradas a cerca del BIM, se han centrado en el uso e implementación de BIM en las edificaciones, como en hospitales, oficinas, viviendas, etc., y son pocas las investigaciones realizadas en proyectos de infraestructura vial.

Solo algunos estudios realizados en los últimos años, están empezando a mostrar los beneficios del uso de BIM en proyectos de infraestructura vial (McGraw Hill Construction, 2012). Así mismo, algunas empresas constructoras ya vienen utilizando los softwares BIM, como herramientas de trabajo, mitigando así algunos de los problemas ya antes mencionados. Un estudio realizado por Dodge Data & Analytics (2017) revelo que más del 85% de las empresas constructoras están experimentando algún valor por el uso de BIM, es decir, estuvieron experimentando beneficios reales directamente atribuibles por las herramientas BIM. Tal es así que, todas las empresas encuestadas en el estudio de Dodge Data & Analytics (2017) informaron que están planeando invertir en capacitación BIM durante los próximos 5 años, para mejorar el desempeño de sus proyectos (Dodge Data & Analytics, 2017).

Sin embargo, el uso de estos softwares sin una adecuada gestión para el uso de la información y administración de los datos, reducen y limitan los beneficios que estas herramientas pudieran brindar dentro de los procesos en la fase de diseño (Acuña, 2016).

Por ese motivo, se pretende utilizar las herramientas BIM para mejorar los procesos y gestionar adecuadamente la información en la fase de diseño de proyectos de infraestructura vial.

1.1.1. Formulación del problema

Como parte de la solución a los problemas de la gestión de la información durante los procesos en la fase de diseño en proyectos de infraestructura vial, surge la necesidad de aplicar nuevas herramientas tecnológicas, que están transformando a la industria de la construcción hacia un sector más industrializado y digital.

Por ello, la presente investigación pretende proponer un metodología de gestión de proyectos, utilizando las herramientas BIM, para mejorar la eficiencia en la fase de diseño de los proyectos de infraestructura vial.

Así, ante todo lo anteriormente expuesto, la pregunta principal que guía esta investigación es: ¿De qué manera una metodología de gestión de proyectos con herramientas BIM mejora la fase de diseño de proyectos de infraestructura vial?

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo general

- Implementar una metodología de gestión de proyectos con herramientas BIM en la fase de diseño de proyectos de infraestructura vial.

1.2.2. Objetivos específicos

- Describir la gestión de la información en la fase de diseño de proyectos de infraestructura vial.
- Describir las características de las herramientas BIM para el desarrollo de proyectos de infraestructura vial.
- Aplicar la metodología de gestión de proyectos con las herramientas BIM en la fase de diseño de proyectos de infraestructura vial.
- Determinar los efectos de la aplicación de la metodología de gestión de proyectos con las herramientas BIM en la fase de diseño de proyectos de infraestructura vial.

1.3. Justificación de la investigación

1.3.1. Justificación teórica

La presente investigación realiza un estudio de la actual gestión de los proyectos de construcción, mostrando el estado del arte del sector, así mismo describe algunos enfoques y métodos más usados para la gestión eficiente de los proyectos, también se identifican las deficiencias en la fase de diseño de los proyectos de construcción.

Como la productividad de la fase de construcción está estrechamente relacionada con la calidad de información que se genera en la fase de diseño, según lo indica el PMI (2013), es necesario recurrir a herramientas tecnológicas que nos permitan ser más productivos en la etapa de diseño, puesto que, según el estudio realizado por el Dr. Paul Teicholz (2004), la industria de la construcción es uno de los que más bajos niveles de productividad presenta.

Por eso, con el desarrollo de esta investigación se aportará nuevos conocimientos para el uso de nuevas herramientas tecnológicas, como son los softwares BIM, para el mejor desempeño de los proyectos de infraestructura vial.

Un estudio realizado por Dodge Data & Analytics (2017), reveló que las empresas constructoras que estuvieron implementando el BIM en sus proyectos de infraestructura vial,

están obteniendo muchos beneficios, como mayor rentabilidad en la ejecución de sus proyectos, puesto que los softwares BIM les permitieron reducir errores y omisiones en los documentos de construcción, mejor comunicación y comprensión multidisciplinaria gracias a visualizaciones de los modelos 3D, entre otros.

Otra investigación realizada por McAuley y Hore (2017) mostro que países como, Reino Unido, Alemania, Francia, España, Japón, China, Australia, Nueva Zelanda, Estados Unidos, Canadá, entre otros, han implementado la metodología BIM es sus políticas públicas, ganado así más competitividad con los otros países que aún no lo implementan.

Por eso, en esta investigación, al desarrollar una metodología que permita gestionar los datos de un proyecto de infraestructura vial con las herramientas BIM, se pretende beneficiar a las empresas del sector de la construcción con una alternativa innovadora para aumentar su productividad.

1.3.2. Justificación práctica

La presente investigación brindará una nueva metodología de gestión para el uso de los softwares BIM, con el fin de desarrollar proyectos de infraestructura vial de una manera más eficiente, optimizando los flujos de trabajo y gestionando mejor la información generada en la fase de diseño.

La investigación será útil, pues nos permitirá desarrollar grandes y complejos proyectos de infraestructura vial. Así mismo, se podrá trabajar con grandes cantidades de datos, garantizando el normal rendimiento de las computadoras, pues con el uso de estas herramientas BIM sin una adecuada metodología de trabajo, se ven disminuidas en su capacidad, ya que estos softwares demandan muchos recursos de hardware, ocasionando pérdida de tiempo cuando se tienen que compartir los archivos.

Implementando la metodología de gestión se podrá organizar mejor las carpetas con los archivos creados para el diseño de obras viales, garantizando la seguridad e integridad de los mismos, permitiéndonos que un objeto creado en un archivo del diseño de un proyecto de obra vial, como son las superficies, alineamientos, perfiles, entre otros, puedan ser referenciados en otro archivo, a través de un acceso directo a datos, a fin de obtener archivos más livianos, es decir, que el tamaño del archivo ocupa menos espacio (MB), haciendo más eficiente el flujo de trabajo.

Con el desarrollo de la metodología de gestión se podrá controlar mejor las versiones de los archivos, dando seguridad a la distribución de la información generada en la fase de diseño.

Como la mayoría de investigaciones de BIM están centradas a las edificaciones, con el desarrollo de esta investigación, se pretende aumentar en número de investigaciones realizadas del uso de BIM en proyectos de infraestructura vial, permitiendo ampliar las posibilidades del uso de la metodología BIM a otros proyectos de construcción.

1.4. Delimitación de la investigación

Las obras de infraestructura vial en el Perú, son proyectos de construcción que se desarrollan a través de los tres niveles de gobierno, Central, Regional y Municipal, y su alcance está referido a las vías que conforman el Sistema Nacional de Carreteras (SINAC) (Artículo 3° D.S. N°034-2008-MTC del Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial). Así mismo, el Gobierno Central está a cargo de la gestión de la infraestructura de la Red Vial Nacional, los Gobiernos Regionales están a cargo de la Red Vial Departamental o Regional y los Gobiernos Municipales a cargo de la Red Vial Vecinal o Rural (Artículo 3° D.S. N°034-2008-MTC).

Según datos del Registro Nacional de Carreteras (RENAC), la red vial nacional representa el 17.7% de todo el Sistema Nacional de Carreteras (SINAC), la red vial departamental representa el 19.4% y la red vial vecinal representa el 62.9% (D.S. N° 012-2013-MTC).

Solo en el 2018, según cifras del Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) del Perú, el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) tuvo el 57.57% de la ejecución presupuestal con respecto a los otros sectores. Siendo Provias Nacional, la unidad ejecutora que mayor gasto en ejecución de proyectos realizó, a través de la intervención en la Red Vial Nacional, evidenciando así, la importancia de estas vías para desarrollo del Perú, ya que permiten la interconexión nacional e internacional.

Por eso, para esta investigación, el estudio se centrará en las carreteras de la Red Vial Nacional.

Dada la magnitud, complejidad y la premura para desarrollar los proyectos de infraestructura vial, estos proyectos pueden tardar hasta 1 o 2 años, desde su viabilidad, para ejecutarse, debido al desarrollo de sus estudios básicos de ingeniería.

En el presente estudio, se utilizaron los datos del replanteo topográfico realizado en el año 2016 para la ejecución del Proyecto “Integración Vial Tacna – La Paz, Tramo: Tacna – Collpa (Frontera con Bolivia), Sub Tramo 3: Km 146+180 – Km 187+404”.

Así mismo, la investigación se enfoca solo al desarrollo de la fase de diseño de proyectos de infraestructura vial, dejando de desarrollar aspectos en las otras fases del ciclo de vida de un proyecto, como la planificación, construcción, operación y mantenimiento.

Cabe mencionar que, por infraestructura vial, se entiende a todo el conjunto de elementos (obras) que permiten el desplazamiento de vehículos en forma confortable y segura. Para la presente investigación solo aplicara la metodología de gestión para el desarrollo de las carreteras, no se tendrán en cuenta las demás obras como puentes, túneles, intercambios viales, autopistas o vías ferroviarias. Por eso, se tendrá en cuenta para la fase de diseño, solo al desarrollo del diseño geométrico de la carretera.

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Antecedentes de la Investigación

En la última década, se han venido presentado a nivel mundial muchas investigaciones sobre la metodología BIM, evidenciado los beneficios por el uso de sus herramientas (software BIM), que permiten gestionar la información de una manera eficiente durante todo el ciclo de vida de los proyectos. Tal es así que, países como Reino Unido, desde el año 2011, y España, desde el año 2016, ya lo implementaron en sus políticas públicas, tanto para proyectos públicos como para proyectos privados, siendo conscientes del potencial que traen el uso de estas tecnologías.

Gran parte de las investigaciones encontradas a nivel internacional están más enfocadas con el uso de BIM para proyectos de edificaciones. Esto debido a que, los softwares para esos proyectos están más desarrollados. Sin embargo, en los últimos años se han venido presentando investigaciones sobre la aplicación de BIM a proyectos de infraestructuras, en especial a infraestructuras viales. Empresas como Autodesk, Bentley Systems y Buhodra Ingeniería (Istram), son los responsables de la creación de estos softwares para el desarrollo de proyectos de infraestructura vial.

Por su parte, en el Perú, desde los últimos años se están empezando a evidenciar el uso de estas metodologías, gracias a empresas extranjeras que vienen al Perú a desarrollar proyectos de construcción y son pocas las empresas nacionales que incorporan estas tecnologías en sus proyectos. Así mismo, existen escasas investigaciones sobre la aplicación de BIM en proyectos de infraestructura vial.

2.1.1. A nivel internacional:

Monfort, Carla (2015), en su trabajo investigación nos muestra 2 enfoques de la metodología BIM y sus ventajas para la gestión de un proyecto de arquitectura. Un enfoque teórico, sitúa el contexto actual del sector de la construcción para entender la importancia de una nueva forma de trabajo como es la metodología BIM. Se explica con detalle que es la tecnología BIM, cuáles son sus características, su origen, su uso a distintas escalas, los distintos softwares que integra esta tecnología y la interoperabilidad entre ellos, así como las ventajas y limitación frente a la tecnología CAD y sus principales diferencias.

En el enfoque práctico, realizó el modelado mediante un software BIM, Revit, a partir de la documentación 2D del proyecto Vivienda Unifamiliar en Yátova, en España, y redactada a partir de la tecnología tradicional CAD. Pudiendo identificar y evaluar el impacto de BIM en la gestión del proyecto y el seguimiento de la obra de arquitectura.

Acuña, Francisco (2016), presenta la aplicación de la metodología BIM para diseño y documentación de proyectos de infraestructura vial, permitiendo anticipar las condiciones finales de un proyecto, simular e identificar posibles conflictos en su contexto.

Salazar, Manuel (2017), en su tesis de maestría aplica la metodología de trabajo BIM y verifica la rentabilidad de su implementación en la coordinación multidisciplinar en el proyecto de vivienda multifamiliar Ópalo en la Ciudad de Manizales, Colombia, el cual se diseñó y se construyó con el sistema tradicional. Lo que le permitió, identificar los conflictos más comunes en la ejecución de proyectos de construcción y establecer cuales pudieron haberse evitado implementando la metodología BIM dentro del proceso. También le permitió cuantificar el costo adicional que se genera al corregir los conflictos encontrados, estimando la rentabilidad de implementar BIM en la etapa de diseño.

Hill, David (2015), nos muestra la aplicación de los softwares con tecnología BIM (AutoCAD Civil 3D, Revit e InfraWorks) para la realización de un modelo virtual de la Central Hidroeléctrica Mulatos II, ubicado en el municipio de Taso, departamento de Antioquía. Obteniendo así, las cantidades de obra, simular el proceso constructivo del proyecto e identificar las interferencias entre las áreas que participan en el diseño.

Honarpisheh, Amirkasra (2014), realizo una encuesta a ingenieros sobre la aplicación de BIM en proyectos de infraestructura vial, en la cual, determino la importancia de esta tecnología para el desarrollo de los proyectos de infraestructura vial en el país de Chipre.

2.1.2. A nivel nacional:

Alcántara, Vladimir (2013), a través de sus estudios y evaluaciones durante la etapa de construcción del Edificio Educativo Universidad del Pacífico ubicado en el distrito de Jesús María en Lima, pudo observar el potencial y los beneficios de utilizar la tecnología BIM basado en la “construcción virtual” como proceso que permite mejorar la calidad de los documentos contractuales de diseño (planos y especificaciones técnicas). Además, de cómo incorporar las herramientas BIM a los procesos tradicionales explorando otras aplicaciones adicionales.

Ulloa, Karem y Salinas, José (2013), en sus tesis de maestría, realizaron un diagnóstico de la situación actual de la empresa Inmobiliaria y Constructora MARCAN ubicada en el distrito de Miraflores en ciudad de Lima, que ya venía aplicando la tecnología BIM desde fines del 2010 y propusieron mejoras en la implementación BIM para los procesos de diseño y construcción, permitiéndoles tomar decisiones en etapas tempranas, eliminar desperdicios y obtener mejoras en la productividad como las que se han obtenido en otros países.

Poclin, Euclides (2014), a través de los planos en formato digital (archivos de AutoCAD) de Arquitectura, Estructuras, II.SS. e II.EE. del expediente técnico del proyecto “Construcción e Implementación del Hospital II-2 de Jaén”, de la región de Cajamarca, pudo evaluar las deficiencias en el diseño usando la tecnología BIM a través de un modelo 3D, detectando incompatibilidades e interferencias entre los planos.

Espinoza, Jaime y Pacheco, Roberto (2014), nos presentan un diagnóstico situacional de los problemas atribuibles a la ineficiente gestión en etapas de pre-construcción y las incertidumbres de la implementación de nuevas tecnologías en pequeñas y medianas empresas constructoras. Para ello, realizan un flujo de trabajo con toda la información de un proyecto, que le permitirán procesar y generar la información para modelar dicho proyecto, aplicando los conceptos de constructibilidad y las herramientas BIM.

Al final, analizan la relación costo/beneficio de la implementación de las herramientas BIM para una pequeña empresa, obteniendo resultados satisfactorios aplicando esta tecnología.

Céspedes, Alejandro y Mamani, Carlos (2016), en su investigación describen un modelo de gestión del proyecto, aplicando la metodología BIM, a través de un modelo paramétrico virtual en 3D en el proceso constructivo en la Planta Agroindustrial de la Universidad San Ignacio de Loyola en Lurín, el cual les permitió describir, modificar, estimar cantidades y controlar el proyecto. Concluyendo, que la realización de este proceso mejora la calidad, productividad y costos en el proyecto.

2.1.3. A nivel local:

A nivel local, no se han encontrado estudios sobre estos temas. Mas, al contrario, se vienen desarrollando charlas técnicas sobre el uso de estas herramientas para mejorar la gestión de los proyectos de construcción.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Los proyectos de construcción

2.2.1.1. El origen de los proyectos

Al buscar en la bibliografía el origen del proyecto, muchos autores lo proponen, generalmente, en dos situaciones distintas. Según Serer (2010) el origen de los proyectos proviene de un problema que hay que resolver, o bien, es consecuencia de una idea que hay que realizar y traducirlo en soluciones (Serer, 2010).

A partir de ambos casos, Serer (2010), propone un concepto más universal, en donde unifica ambas justificaciones y utiliza el término conflicto, como situación que se plantea y es arranque del proceso.

Para ello, Serer (2010) define al conflicto como: *“la situación que se produce, fruto de la aparición de un problema al que alguien decide ponerle solución, o bien de una idea que también alguien tiene y que le parece que será buena también para alguien y se decide a ponerla en práctica mediante la puesta en marcha de un proyecto”* (p. 39).

El conflicto es “el que se produce” entre una realidad actual y otra de futuro que será distinta porque cambiara respecto a la anterior, producto precisamente de esa idea o de ese problema que hace necesario un planteamiento de cambio (Véase figura 4).



Figura 4. El conflicto. (Fuente: Elaboración propia).

La figura 4 nos muestra, que, todavía existen pobladores de muchas localidades que se abastecen de aguas de los ríos o quebradas, consumiendo éstas, sin ningún tipo de

tratamiento, lo que hace que los pobladores, de preferencia niños y ancianos, sufran de enfermedades. Del ejemplo de la figura 4 se puede entender lo que sería el conflicto.

Lo que aparece después de la operación llevada a cabo para solucionar el conflicto, según Serer (2010), será distinto a lo que había antes, o al menos, en alguna de sus partes.

2.2.1.2. Los proyectos de construcción

2.2.1.2.1. Definición de proyecto

El término proyecto, es probablemente, según Serer (2010), uno de los conceptos técnicos que más definiciones admite.

Para Carbonel (2015), el término proyecto tiene dos acepciones, una general y amplia, que define a todo plan o idea que se tiene con miras a ejecutar algo en el futuro. Así, se tiene que normalmente se señala como proyecto, por ejemplo, la posibilidad de formación de una empresa, efectuar un viaje, comercializar un producto, construir una propiedad o adquirir un activo.

Carbonel (2015) entiende al término proyecto, como alguna actividad futura a realizar que puede conllevar o no a un beneficio de carácter económico (ganancia o rentabilidad), pero principalmente busca una satisfacción o resultado concreto.

Mientras que, en su acepción más específica, Carbonel (2015) señala que, un proyecto representa el estudio sistemático e integral de todas las variables que intervienen en el proceso de toma de decisiones económicas, es decir, aquellas relacionadas con las inversiones de capital, recursos humanos, materiales, etc. y que permite asegurar la obtención de determinados resultados económicos y/o sociales futuros.

Del ejemplo expuesto por la figura 4, podríamos dar una solución a ese conflicto, a través de la elaboración de un proyecto (Véase figura 5).



Figura 5. El Proyecto. (Fuente: Elaboración propia).

En la figura 5 se muestra la solución a ese conflicto, para lo cual, será necesario construir elementos que permitan disponer de un abastecimiento continuo de agua potable.

La revisión de la bibliografía, señala diversas definiciones sobre lo que es un proyecto. Así, tenemos que las Naciones Unidas, en su libro de Manual de Proyectos de Desarrollo Económico, define al proyecto como: *“conjunto de antecedentes que permiten juzgar las ventajas y desventajas que presenta la asignación de recursos económicos a un centro o unidad productora, donde serán transformados en determinados bienes y servicios”*. (Organización de las Naciones Unidas [ONU],1972, p. 14).

Para esta investigación, se opta la definición propuesta por el Instituto de Gerencia de Proyectos, en su Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK®) - Quinta Edición, en donde define al proyecto como *“un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único”* (Project Management Institute [PMI], 2013, p. 3).

Las características de estos proyectos, según la Guía del PMBOK® (PMI, 2013), son:

- Tienen un principio y final definidos.
- Pueden tener impactos sociales, económicos y ambientales.
- Generan producto, servicio o resultados únicos. En naturaleza, cada proyecto es diferente de otro, pero con actividades repetitivas e idénticas (Fustamante, 2014).
- Pueden ser tangible o intangible.
- Puede involucrar a una única persona o a varias personas, a una única unidad de organización, o a múltiples unidades de múltiples organizaciones.

2.2.1.2.2. Unidad de actuación

Serer (2010), en su investigación sobre la Gestión de los proyectos, menciona que una Unidad de Actuación es el: *“elemento que se quiere proyectar y sobre el que se actúa como eje fundamental, siendo una unidad en sí mismo, aunque esté constituido a su vez por diferentes elementos”* (p. 41).

Entonces, durante esta investigación cuando hablemos de Unidad de actuación (UA), estaremos refiriéndonos del Elemento Material Objeto del Proyecto. Con ello, el concepto tiene un aire universal, como sería un elemento industrial, arquitectónico, de urbanización, artístico o de infraestructura, lo que nos ayudara a generalizar cuando llegemos a tratar los conceptos de Gestión de Proyectos de Construcción.

2.2.1.2.3. Construcción/concretizar: realización

Serer (2010) dentro de su investigación, también introduce los términos construcción, concretizar y realización, considerándolos importantes para comprender mejor el concepto

de gestión y, para tratar de situar los esfuerzos realizados por los involucrados que, colaborando de forma activa, persiguen la obtención de unos objetivos que sobrepasan ampliamente la idea simple del término construcción.

Propone una primera distinción, como base para diferenciar a los dos primeros términos, y menciona que, construcción es la operación que nos lleva a materializar lo que indican unos documentos que se generan en la realización de un proyecto. En cambio, el término concretizar, lo entiende como, la operación que nos lleva a la Materialización de una Solución (Serer, 2010).

Así mismo, describe una filosofía de pensamiento y de actuación, donde el cliente, el proyectista y el constructor, son los únicos responsables de buscar la mejor solución al conflicto planteado.

Producto de esos pensamientos, Serer (2010) completa la definición de concretizar como: *“Materialización de la solución al conflicto, mediante la yuxtaposición y mezcla de diferentes elementos, cuya operatividad y estética recogen la filosofía de actuación del proyectista y, con ella la misión del proyecto”* (Serer, 2010, p. 42). La materialización conforma una UA que proporciona las funciones previamente definidas en una documentación técnica realizada por el proyectista (Serer, 2010).

Así mismo, completa la definición de construcción como la: *“Materialización de unas propuestas expresadas en unos documentos del proyecto (planos, especificaciones, memorias, etc.) que pretenden la solución a un conflicto”* (Serer, 2010, p. 42).

Es decir, según el pensamiento de Serer (2010), el constructor será quien instala o construye, entendiendo el fondo de la solución, los elementos de la UA de acuerdo a los documentos del proyecto, para materializar la solución que el proyectista ha propuesto y aceptado por el cliente.

En cuanto a la realización, Serer (2010) indica que es un concepto más claro y lo define como: *“La puesta en ejercicio de todo tipo de UA: materialización, en el sentido de hacer visible el resultado, de la solución que resuelve un conflicto”* (p. 42).

Por lo tanto, y de todo lo mencionado anteriormente, para esta investigación se propone definir a los Proyectos de Construcción como, conjunto de operaciones que lleva a conseguir, como objetivo fundamental, la materialización de la solución a un conflicto, a través de la construcción de una UA.

2.2.1.3. El ciclo de vida de un proyecto de construcción

Uno de las estrategias clave para organizar etapas y subdividir tareas y actividades dentro del trabajo basado en proyectos, es el Ciclo de Vida del Proyecto.

El ciclo de vida de un proyecto, como lo menciona el PMI (2013): “*es la serie de fases por la que atraviesa un proyecto desde su inicio hasta su cierre*” (p. 38).

2.2.1.3.1. Características del ciclo de vida de un proyecto de construcción

Diferentes autores identifican de tres a seis fases separadas, y no hay un acuerdo sobre la terminología (Adams, 1978). Sin embargo, existe un acuerdo general para indicar que cada fase del proyecto involucra diferentes consideraciones de gestión, y que presentan diferentes problemas operativos (Adams, 1978).

Según el PMI (2013), los proyectos pueden configurarse dentro de la siguiente estructura genérica de ciclo de vida. (Véase Figura 6):

- Inicio del Proyecto
- Organización y preparación
- Ejecución del trabajo, y
- Cierre del proyecto



Figura 6. Estructura genérica del ciclo de vida del proyecto. (Fuente: Guía del PMBOK® - PMI (2013)).

De la Figura 6, el PMI (2013) describe algunas las características generales de la estructura genérica del ciclo de vida de un proyecto de construcción:

- Los niveles de costo y dotación de personal son bajos al inicio del proyecto, alcanzan su punto máximo según se desarrolla el trabajo y caen rápidamente cuando el proyecto se acerca al cierre (Véase Figura 7).

- La influencia de los involucrados, al igual que los riesgos y la incertidumbre (según se ilustra en la Figura 7), son mayores al inicio del proyecto (Fustamante, 2014). Estos factores disminuyen durante la vida del proyecto.
- La capacidad de influir en las características finales del producto de proyecto, sin afectar significativamente el costo, es más alto al inicio del proyecto y va disminuyendo a medida que el proyecto avanza hacia su conclusión.

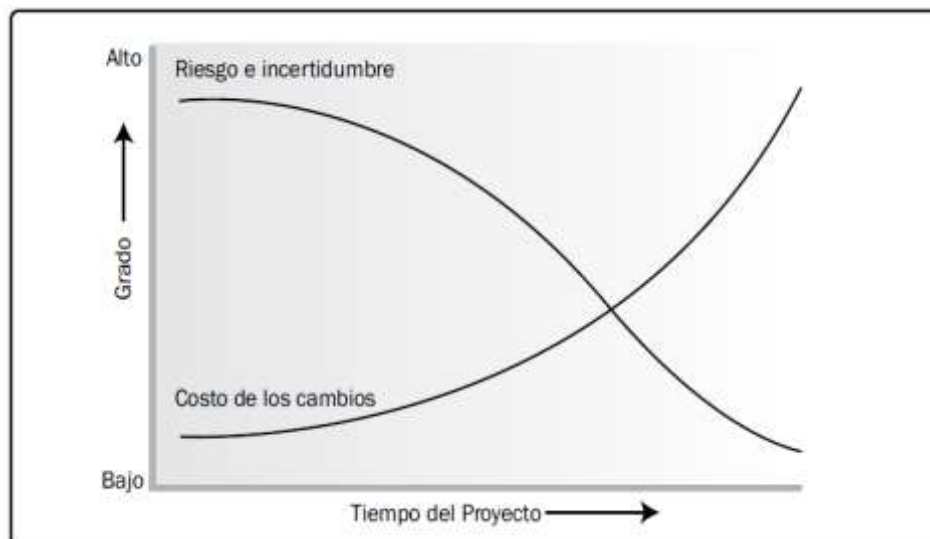


Figura 7. Impacto de las variables en función de tiempo del Proyecto. (Fuente: Guía del PMBOK® - PMI (2013)).

La Figura 7, nos muestra la idea de que el costo de efectuar cambios y de corregir errores suele aumentar sustancialmente según el proyecto se acerca a su fin.

2.2.1.3.2. Fases del proyecto de construcción

A medida que un proyecto avanza a lo largo de su ciclo de vida, pasa a través de una secuencia identificable de fases, distinguidas entre sí por el tipo de tareas, cuyas características son propias de cada fase (Adams, 1978).

Varios autores proponen diferentes versiones de ciclo de vida de proyectos, en función de lo que se persiga (Serer, 2010).

Hay esquemas como el de Kelly (Project Management Handbook), que presentan modelos en la cual favorecen al Control del Proyecto, poniendo especial énfasis en el control de sus tres fases principales: planificación, ejecución y operación, que a su vez incluyen las de concepto, viabilidad, definición, adquisición, implementación y rotación.

En el modelo que se orienta al Control de Calidad, el ciclo está dividido en tres fases: de conceptualización, materialización y rotación. Este modelo viene a demostrar, entre otras cosas, que la documentación que se genera no puede liberarse de forma precipitada.

El ciclo orientado a un Control del Riesgo, propuesto por Lacoste (1999), citado por Serer (2010, p. 87) tiene dos fases básicas: el preproyecto y el proyecto.

Para Velázquez (2015), en todo proyecto existe un orden lógico del desarrollo del mismo, en la cual, la industria de la construcción no es la excepción, donde a mayor magnitud y complejidad se tenga, se hace necesario dividirlo en fases que permita la facilidad para gestionarlo y dirigirlo.

El PMI, define a una fase del proyecto como: *“conjunto de actividades del proyecto, relacionadas de manera lógica, que culmina con la finalización de uno o más entregables”* (PMI, 2013, p. 41). Y es esta estructuración en fases, lo que permite la división del proyecto, para facilitar su dirección, planificación y control (PMI, 2013). Una característica que menciona el PMI (2013), es que el cierre de una fase termina con alguna forma de transferencia o entrega del trabajo producido como entregable de la fase.

Bower (2002), citado por Neyra (2008, p. 15) menciona que el objetivo de estas secuencias, deben producir un resultado útil, de tal manera que el propósito de cada fase sea permitir que la siguiente pueda llevarse a cabo.

2.2.1.3.3. Relación entre fases

Las fases son parte de un proceso generalmente secuencial, diseñado para asegurar el control adecuado del proyecto y para obtener el producto, servicio o resultado deseado.

Según el PMI (2013), existen dos tipos básicos de relaciones entre fases:

- **Relación Secuencial.** Una fase solo se inicia cuando se completa la fase anterior.
- **Relación de Superposición.** Una fase se inicia antes de que finalice la fase anterior.

Adams (1978), presentó una división en fases separadas en función de los tipos de tareas que se realizan y las decisiones que se toman. Esta división del ciclo de vida del proyecto se presenta en la Figura 8.

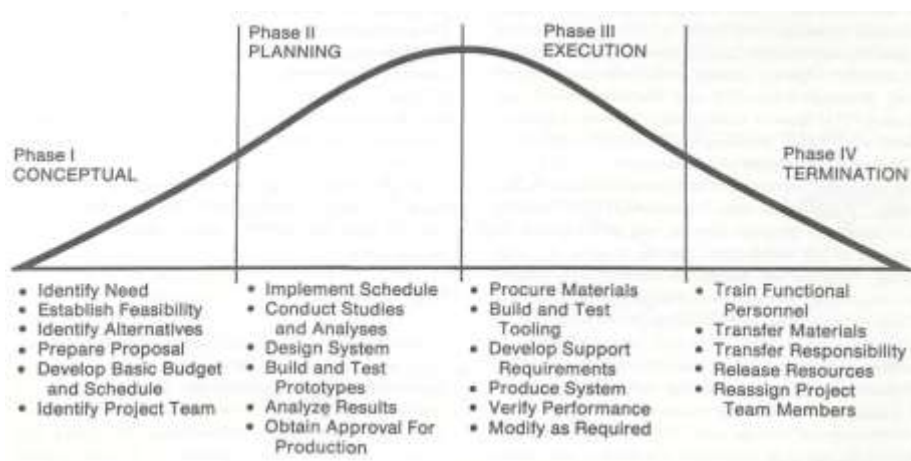


Figura 8. Ciclo de Vida del Proyecto y actividades típicas por fase. (Fuente: Adams (1978)).

En el Perú, esta división de las fases depende de la fuente de inversión, que pueden ser públicos o privados. Para el sector público en el año 2016, se crea el Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones, conocido como INVIERTE.PE, mediante el Decreto Legislativo N° 1252, en donde se establece cuatro grandes fases: Programación Multianual de Inversiones, Formulación y Evaluación, Ejecución y Funcionamiento. (Véase Figura 9).



Figura 9. Ciclo de Inversión del INVIERTE.PE.

(Fuente: Recuperado de: <https://www.mef.gob.pe/es/ciclo-de-inversion>)

Para el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) esta serie de fases del proyecto permite gestionar la inversión pública, con la finalidad de “orientar el uso de los recursos públicos destinados a la inversión para la efectiva prestación de servicios y la provisión de infraestructura necesaria para el desarrollo del país”. (Invier.te.pe - D.L. N° 1252, 2016, p. 1).

Por su parte, en el sector privado la división es más específica dado su capacidad de control sobre cada fase. Neyra (2008), divide al ciclo de vida de un proyecto de construcción en las fases de: Concepción, Diseño, Construcción y Operación. Además, estas fases se subdividen en fases más pequeñas, para así poder ser controladas.

2.2.1.4. Los Involucrados de un proyecto

Los involucrados, o *stakeholders* en inglés, son las personas, grupos u organizaciones que pueden afectar o ser afectados por una decisión, actividad o resultado del proyecto (PMI, 2013).

Para Winch (2002), existen muchos involucrados en un proyecto de construcción y ellos pueden obtener beneficio o sufrir pérdidas como resultado del proyecto.

Diversas clasificaciones de involucrados en un proyecto han sido propuestas por diferentes autores y organizaciones. En esta investigación se indican los involucrados, de acuerdo a la clasificación realizada por Winch (2002), quien los clasificó en involucrados internos e involucrados externos, tal como se muestra en la Tabla 1. Además, se muestran a los principales involucrados en un proyecto.

Tabla 1

Principales involucrados en un proyecto de construcción

Internos		Externos	
Demandantes	Proveedores	Privados	Públicos
- Clientes	- Arquitectos	- Usuarios finales (población beneficiaria)	- Agencias reguladoras (MEF, DGPMI, OR, OPMI, UF, UEI)
- Financistas	- Ingenieros	- Ambientalistas	- Gobiernos locales (GL)
- Propietarios	- Contratista Principal	- Conservadores	- Gobiernos regionales (GR)
	- Especialistas	- Arqueólogos	- Gobierno nacional (GN)
	- Proveedores de insumos y servicios	- Sociólogos	

Fuente: Winch (2002), Invierte.Pe (2017).

Los involucrados internos mostrados en la Tabla 1, son aquellos que tienen, según Neyra (2008), un contrato legal con el cliente, y los involucrados externos son aquellos que tienen un interés directo con el proyecto (Neyra, 2008).

Tjell (2010) e Izadi (2013), mencionan que cada agente involucrado en el proyecto tiene un rol y actividades definidas de las cuales dependen los roles y actividades de otros agentes

involucrados, de allí, la importancia de la comunicación, colaboración y transparencia entre éstos (Fustamante, 2014).

2.2.2. La gestión de proyectos en la construcción

2.2.2.1. La industria de la construcción

La industria de la construcción es uno de los principales motores del desarrollo económico y social de un país (Rodríguez, 2018), pues genera en su cadena de valor, relaciones con una gran parte de las ramas comerciales e industriales de un país. Y representa aproximadamente el 9% del PBI mundial (Monfort, 2015)

El Estado, en este sector, participa por medio de la inversión en obras de infraestructura básica, como hospitales, escuelas, carreteras, puentes, entre otros. A su vez, el sector privado acciona en gran parte en la construcción de viviendas y otras edificaciones, aportando conjuntamente al PBI de la economía nacional.

La construcción, en la medida que se ejecute de forma eficiente, se vuelve competitiva y accesible, permitiendo así una dinámica que activa los componentes de su cadena de valor, movilizándolo no solo a este sector, sino también, a todos los agentes involucrados en el mismo (Rodríguez, 2018).

Sin embargo, al igual que otros sectores, tal como lo indica Rodríguez (2018), presentan importantes deficiencias al llevar a cabo las actividades correspondientes a lograr los resultados de un proyecto de construcción

2.2.2.1.1. La productividad en la construcción

Uno de los conceptos más relevantes en el análisis de los procesos económicos es el que se refiere a la productividad, ya que es el eje central para el crecimiento económico de los países (Felsinger & Runza, 2002).

Actualmente, en la industria de la construcción es cada vez común escuchar conceptos relacionados con la productividad, ya que debido a la globalización es una necesidad para las empresas ser cada vez más productivas y competitivas para así garantizar su permanencia en el mercado. (Gómez & Morales, 2016).

Para Ticlla (2015), la productividad ha sido objeto de estudio por parte de todo tipo de industrias y empresas, especialmente en esta época donde la competencia obliga a que los niveles de productividad sean cada vez más altos.

La Construcción en el Perú, es uno de los sectores productivos que más aporta a la economía, siendo la Infraestructura, la Inmobiliaria y los Proveedores de materiales y servicios, los tres segmentos empresariales que operan y dinamizan este sector (CAPECO, 2018).

El sector construcción en el Perú, ha venido creciendo sosteniblemente como consecuencia de la expansión económica que experimenta, generando índices muy superiores a los del PBI nacional (Universidad ESAN, 2018).

A finales del 2017, según el INEI, la actividad constructora registro un crecimiento de 6.62% respecto al mismo mes del año pasado, siendo este superior al PBI global (Véase Gráfica 1).

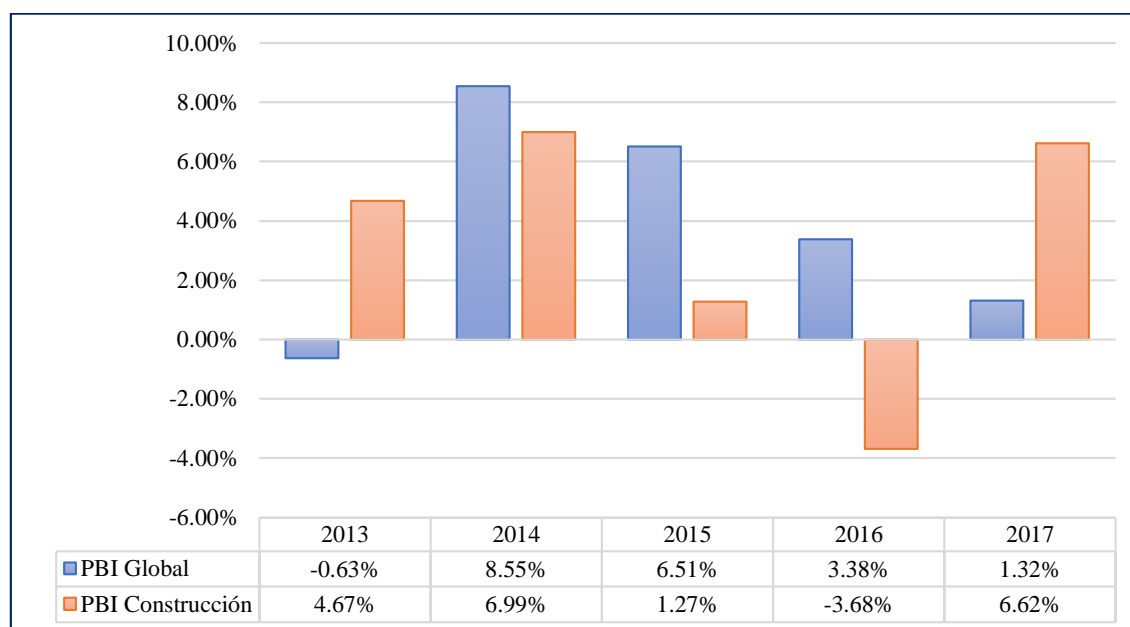


Gráfico 1. PBI global y PBI de la construcción: 2013 – 2017 (Periodo: Diciembre). (Fuente: INEI).

Según nos muestra el gráfico 1, la construcción en el Perú, es uno de los principales motores de la economía, por lo cual este sector está en búsqueda de métodos que permitan planear y desarrollar proyectos eficientes, que no incurran en sobrecostos ni reprocesos y, que disminuya su grado de incertidumbre.

2.2.2.1.2. Evaluación del modelo productivo en la industria de la construcción

La construcción es considerada a nivel mundial dentro de las actividades económicas más demandantes de mano de obra y ejerce efecto multiplicador en la economía, ya que es uno de los sectores productivos que más aporta al crecimiento de los países.

En el 2013, la Federación Interamericana de la Industria de la Construcción (FIIC), elaboro un Ranking del tamaño del sector construcción, en donde el Perú se encuentra en el puesto 7° en Latinoamérica, en cuanto a bienes y servicios producidos por ese sector.

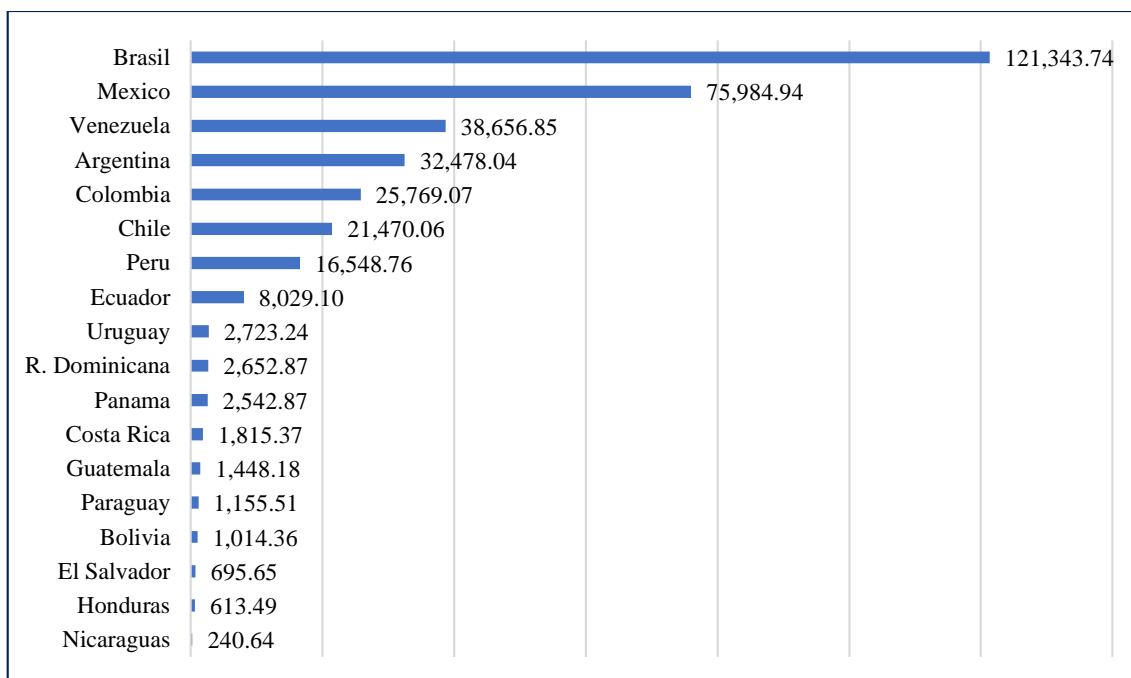


Gráfico 2. Ranking del tamaño del sector de la construcción. Nota: PBI expresado en millones de dólares (Fuente: FIIC (2013)R).

Como se vio en el Grafico 2, la construcción es un área de gran actividad e importancia dentro del desarrollo económico de un país. Sin embargo, la industria de la construcción es probablemente uno de los sectores productivos con menor grado de desarrollo (Teicholz, 2004).

Así lo reconoce Pons (2014) en su investigación desarrollado para la Fundación Laboral de la Construcción, donde señala que los problemas típicos del modelo tradicional de la gestión integral de proyectos, desde su fase inicial de diseño hasta su ejecución, uso y mantenimiento, son:

- Escasa formación y experiencia en los nuevos sistemas de gestión y planificación de obras.
- Control de calidad ineficaz.
- Escaso rigor en el cumplimiento de las medidas de seguridad.
- Errores y omisiones en documentos del proyecto.
- Falta de interés en la formación y capacitación de los trabajadores.
- Falta de coordinación entre los involucrados en las diferentes etapas del proyecto.
- Falta de transparencia y comunicación entre las partes interesadas y
- Baja productividad comparada con otras industrias.

Así mismo, en una encuesta realizada por la Cámara Argentina de la Construcción sobre la gestión y la productividad en obra, presento los siguientes resultados: el porcentaje de obras terminadas fuera del plazo supera al 70% (Ver Gráfico 3) y las desviaciones en el costo están por encima del 50 % (Ver Gráfico 4) (CAMARCO, 2018).

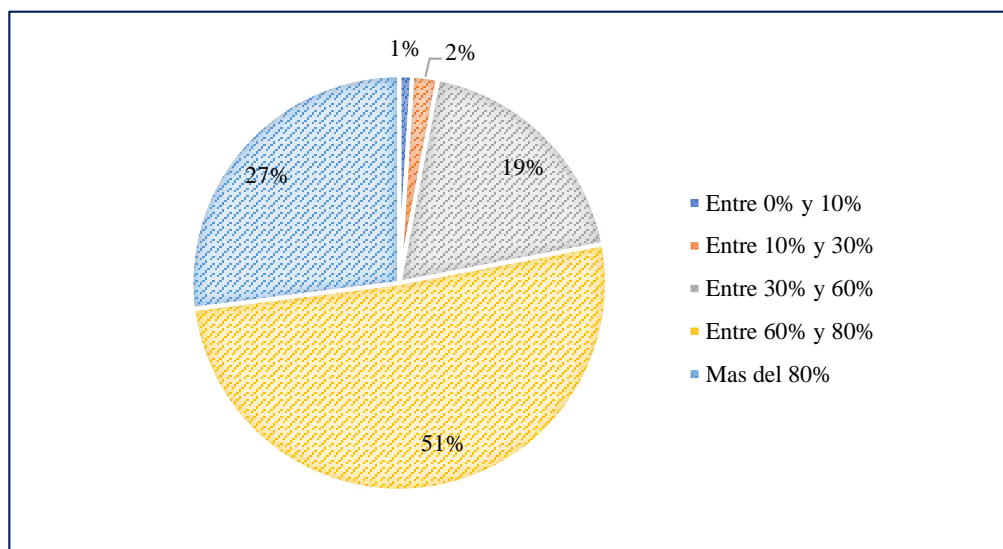


Gráfico 3. Desviación el plazo original. (Fuente: Cámara Argentina de la Construcción (2018)).

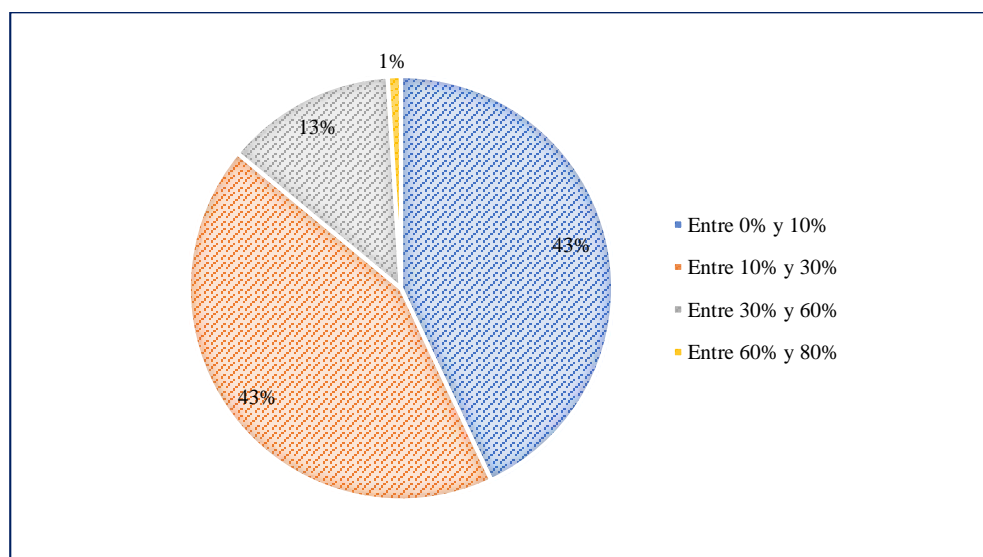


Gráfico 4. Desviación del costo base. (Fuente: Cámara Argentina de la Construcción (2018)).

Un análisis en el 2004 por el Dr. Paul Teicholz de la Universidad de Stanford en EE. UU, reveló que la productividad laboral de la construcción disminuyó casi un 20% entre 1964 y 2003, tal como se muestra en la Figura 9, mientras que otras industrias no agrícolas mejoraron en más del 200%.



Figura 9. Productividad de la construcción comparada con otras industrias en Estados Unidos
(Fuente: McGHC - SmartMarket Report 2009 - The Business Value of BIM).

Los efectos negativos de una información deficiente, la cual está relacionada con la generada en la fase de diseño, según (PMI, 2013), son evidentes y muchos involucrados se sienten incapaces de hacer algo al respecto (Fustamante, 2014). Los resultados son vistos mayormente en las fases subsecuentes, como la fase de construcción, y las consecuencias de todas estas son bien conocidas: ejecución de obras fuera del plazo, sobrecostos, RFI derivadas por la escasa calidad de la información en los documentos, excesivo número de accidentes laborales, proyectos inconclusos y abandonados y, en general, incertidumbre y variabilidad con respecto a las condiciones iniciales del contrato (Pons, 2014 y Fustamante, 2014).

Ante esta necesidad de aumentar el rendimiento de la industria de la construcción, mejorando los procesos en la gestión de la calidad y productividad, debemos encontrar metodologías y herramientas que, garanticen una mejor gestión de los proyectos de construcción.

2.2.2.2. La gestión de los proyectos

El ciclo de vida de un proyecto de construcción, sus costos y los beneficios de la planificación inicial hasta la disposición del resultado de la obra son relevantes para la toma de decisiones. La fragmentación de la gestión del proyecto entre diferentes especialistas puede ser necesaria por el conocimiento acumulado en estos participantes, pero se hace

necesaria una buena coordinación para lograr los objetivos generales del proyecto. Las nuevas tecnologías de información pueden ayudar en ese sentido. Las mejoras en la productividad de las operaciones son siempre importantes y valiosas. La introducción de nuevos materiales y procesos de construcción automatizados o más simples es un objetivo para disminuir costos e incrementar rendimientos. La calidad del trabajo y el rendimiento son críticamente importantes para el éxito de un proyecto (Hendrikson & Tung, 2008).

Sin embargo, existe un vacío en el conocimiento del tema, debido a que la gestión de los proyectos, académicamente, es una disciplina relativamente joven (Rodríguez (2018) y Leybourne, 2006), especialmente en comparación con otras áreas tradicionales como la economía, la sociología y las ciencias políticas.

A pesar que la gestión de proyectos es un área poco investigada, (Shenhar et al., 2005), existe un gran interés, tanto para académicos y profesionales, en cuanto a cómo puede beneficiar a las organizaciones y empresas.

Así, la gestión de los proyectos, se está convirtiendo en pieza esencial en muchos sectores como materia destinada al manejo de actividades únicas de carácter temporal, que maximiza la probabilidad de consecución de resultados a tiempo, dentro del presupuesto y con la calidad esperada (Gestión de Proyectos Software).

Serer (2010), define a la Gestión de Proyectos como: “*La coordinación, planificación, programación, organización, motivación y control de los recursos de una organización para conseguir unos objetivos de deben resolver un conflicto*” (p. 44).

Así mismo, revisando la bibliografía, se pudieron encontrar muchas definiciones propuestas por varios autores especialistas en el tema, y dentro de todos esos conceptos, se optó la definición propuesta por el PMI (2013), el cual define a la Gestión de Proyectos como “*la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto para cumplir con los requisitos del mismo*” (PMI, 2013, p. 5).

Fustamante (2014), en su investigación describe cada componente de la Gestión de Proyectos propuesta por el PMI:

- **Conocimiento:** para lograr la comprensión general y específica de los aspectos de un proyecto, esto adquirido a través de la experiencia e investigación constante y especializada.

- **Habilidades:** para reducir el nivel de riesgo e incertidumbre dentro de un proyecto y por lo tanto mejorar su probabilidad de éxito, esto es adquirido a través de la experiencia.
- **Herramientas:** para mejorar la productividad estas pueden ser software de modelación, software de planeamiento, plantillas, planillas, registros, checklists, etc.
- **Técnicas y procesos:** para monitorear y controlar el tiempo, costo, calidad y alcance del proyecto. Ejemplos incluyen gestión del tiempo, gestión del costo, gestión de la calidad, gestión del riesgo e incertidumbre, etc.

La gestión de proyecto por lo general incluye, según el PMI (2013) otros aspectos:

- Identificar los requisitos, necesidades, inquietudes y expectativas de los involucrados durante la planificación y ejecución del proyecto.
- Establecer, mantener y realizar comunicaciones activas, eficaces y de naturaleza colaborativa entre los involucrados.
- Gestionar a los involucrados para cumplir los objetivos del proyecto y generar los entregables del mismo.
- Equilibrar las restricciones contrapuestas del proyecto que se relacionan con el alcance, la calidad, el cronograma, el presupuesto, los recursos y los riesgos.

2.2.2.3. Historia de la gestión de proyectos

Si tuviéramos que hablar de la historia de la gestión de proyectos, deberíamos referirnos, según Yepes (2015), a las primeras construcciones hechas por los hombres. Construcciones como las pirámides de Egipto no pudieron construirse sin un plan previo y una compleja organización de los recursos, los cuales fueron capaces de colocar millones de bloques de piedra, para construir las pirámides, así mismo, mover a miles de personas, entre otras actividades, con lo cual ya estaban gestionando proyectos de gran envergadura.

Así podríamos seguir mencionando esta consideración en muchas etapas de la historia en diferentes países y civilizaciones. Pero no se sabe con certeza que esa gestión pudiera implicar aspectos que hoy en día se consideran claves para hablar propiamente de gestión de proyectos, como es la minimización de recursos, el control del plazo, etc.

Según Serer (2010), habría que reconocer que la gestión de proyectos siempre ha contemplado diferentes formas de resolución a lo largo de la historia; pero el hecho de analizar el objeto del problema, la situación existente o los métodos a seguir, son conceptos que empezaron a plantearse en esos términos justo después de la II Guerra Mundial (Morris

y Houg (1987), citado en Serer (2010), p. 37), aunque fue ya en la década de los 50 cuando, según indica Harvey Maylon (1996), cuando se empieza a elaborar alguna metodología que podríamos reconocer como gestión de proyectos.

La gestión de proyectos podría situarse, según lo indica Fustamante (2014), a comienzos del siglo XX, con la aparición de los primeros métodos de gestión, como, por ejemplo, el Diagrama de Gantt, creado por Henry Laurence Gantt en 1917, como precedente a las herramientas de planificación.

Siguiendo la historia, en la referida década de los 50 el tamaño y complejidad de los proyectos, principalmente de armamento y naval, que producían enormes desfases de presupuestos y plazos de entrega, forzaron al desarrollo de dos herramientas de control: por un lado, el Departamento Naval de los Estados Unidos en 1958 desarrollo el PERT y por otro lado al Dupont Corporation, el CPM en 1957 (Serer, 2010). Ambos instrumentos, según Serer (2010) permitían programar, planificar y controlar grandes proyectos.

Y ya a partir de 1960 y sobre todo en la década de los 70, la industria de la construcción y en especial la industria aeroespacial, comenzaron a desarrollar los primeros conceptos de gestión (Serer, 2010 y Fustamante, 2014). De ahí en adelante, varias organizaciones empezaron a aplicar sistemáticamente las herramientas y técnicas de gestión de proyectos (Fustamante, 2014).

2.2.2.4. Enfoques de gestión de proyectos de construcción

2.2.2.4.1. Enfoque tradicional

La metodología de gestión de proyectos con enfoque tradicional han sido las más habituales hasta ahora, y consisten en dividir el proyecto en diferentes procesos que se ejecutan de forma secuencial hasta conseguir los objetivos la fase o del proyecto.

La única tarea que se encuentra de inicio a fin del proyecto es la de seguimiento y control, en la que se va supervisando cada etapa para asegurar una correcta ejecución y aplicación de correcciones a posibles desviaciones.

Las fases por la que pasa el método de gestión de proyectos tradicionales son:

- Inicialización: definición inicial del proyecto y fase, junto con la aprobación de su inicio.
- Planificación: desarrollo de los diferentes planes de gestión.

- Ejecución: realización de las tareas planificadas en la fase anterior con objeto de completar los entregables.
- Seguimiento y control: supervisión de las tareas ejecutadas, comparación con la planificación (líneas base), y definición y aplicación de contramedidas en caso de desviaciones.
- Cierre: finalización de la fase o proyecto, bien por haber conseguido la aprobación del conjunto de entregables, por no ser posible conseguir estos, o porque el proyecto ha dejado de tener motivo de ser.

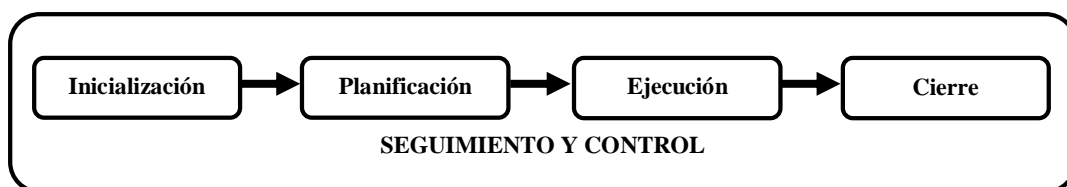


Figura 10. Esquema metodología con enfoque tradicional. (Fuente: RECURSOS ENPROJECTMANAGEMENT. Recuperado de: <https://www.Recursosenprojectmanagement.com/metodología-de-gestion-de-proyectos/>)

En este enfoque se habla indistintamente de fase o proyecto, debido al concepto de ciclo de vida del proyecto.

Para el Grupo PMC (2017) esta metodología podría ser la más apta para pequeños proyectos que estén bien definidos, con acontecimientos fáciles de prever y con alcance limitado.

Existen diferentes asociaciones que desarrollan, forma y certifican en esta metodología, como el *Project Management Institute* (PMI) o el *International Project Management Association* (IPMA), siendo la certificación más conocida la del PMI.

2.2.2.4.2. Enfoque PRINCE®2

A diferencia del enfoque tradicional, este enfoque de gestión de proyectos está basada en el producto, porque sus procesos se centran en obtener resultados concretos más que en la planificación de las actividades.

PRINCE®2 proviene de las siglas *Project In Controlled Environments* (Proyecto en entornos controlados). Este método de gestión de proyectos tiene aspectos al enfoque tradicional, pues también se divide en etapas. Esto permite, con el seguimiento y control de las fases, detectar a tiempo desviaciones y posibilitar sus correcciones pertinentes. Estas etapas son:

- Puesta en Marcha: descripción del proyecto, equipo, enfoque y objetivos del proyecto o fase.
- Iniciación: preparación y acuerdo del business case del proyecto o fase
- Planificación: planificación de los diferentes aspectos del proyecto o fase.
- Dirección: determinación de la forma en que se controlará el proyecto o fase, autorizaciones y planificaciones de las siguientes fases.
- Control de las fases: igual que en la metodología anterior el proyecto puede estar dividido en fases, por lo que se deben supervisar y presentar los resultados de cada una de estas fases.
- Gestión en las próximas fases: definición de lo que debe realizarse al final de cada fase y planificación de las siguientes. También se define la forma de actuar y se actualiza el plan en caso de haberse superado los niveles de tolerancia de la fase.
- Administración de los entregables: acuerdos y definición de requisitos de aceptación para los entregables, incluyendo contenido, costos, recursos y fechas.
- Cierre: actividades de cierre del proyecto y asignación formal de este a los responsables de sus últimos detalles. Incluye la evaluación formal.

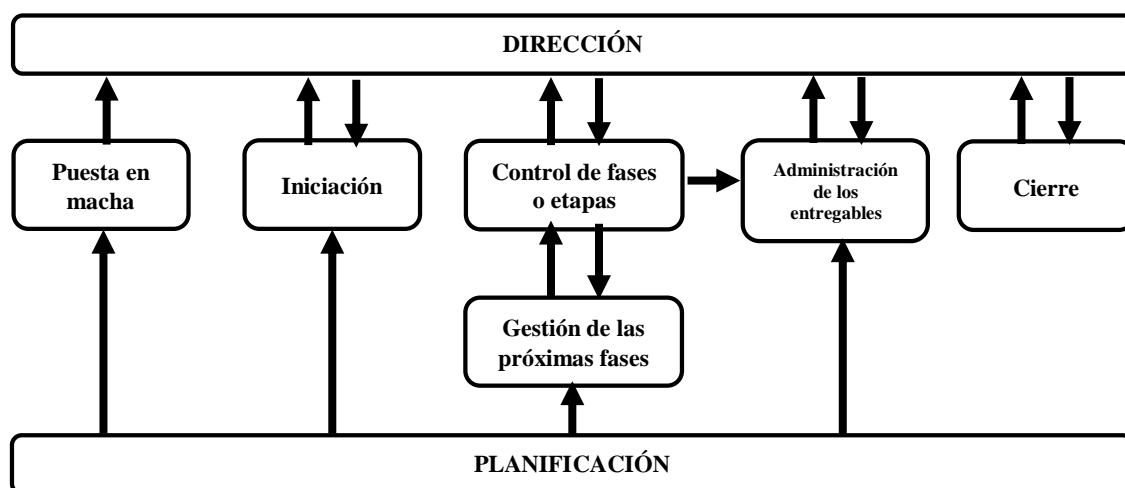


Figura 11. Esquema metodología PRINCE®2. (Fuente: Recuperado de: <https://www.Recursosenprojectmanagement.com/metodologia-de-gestion-de-proyectos/>)

Así mismo, esta metodología sigue los siguientes principios:

- Justificación comercial continua
- Aprender de la experiencia
- Roles y responsabilidades
- Gestión por fases
- Gestión por excepción

- Orientación a productos
- Adaptación

Según el Grupo PMC (2017) esta metodología se adaptaría a proyectos con un marco de trabajo bien definido.

2.2.2.4.3. Enfoque de gestión por Cadena Crítica

En esta metodología de gestión de proyectos el enfoque no está ni en las fases ni el producto, por el contrario, pone énfasis en los recursos que se dispone y se centra en maximizar el avance del proyecto. Se basa en aplicar los siguientes principios:

- **Identificación de las restricciones:** las limitaciones que presenta el proyecto, tanto de recursos como de tiempo, son las que nos delimitan temporalmente el proyecto. A estas restricciones son a quien llamaremos cadena crítica.
- **Priorizar las tareas pertenecientes a la cadena crítica:** se debe centrar el esfuerzo en la ejecución de las tareas pertenecientes a la cadena crítica, pues esta nos dirán el tiempo que se necesita para conseguir acabar el proyecto.
- **Subordinar el resto de tareas a tareas en la cadena crítica.**

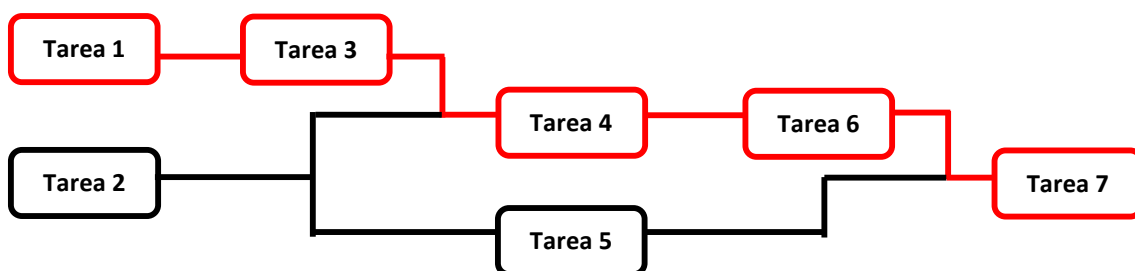


Figura 12. Esquema metodología de Cadena Crítica. (Fuente: Recuperado de: <https://www.Recursosenprojectmanagement.com/metodologia-de-gestion-de-proyectos/>)

Para el Grupo PMC (2017) esta sería la metodología que se adaptaría a proyectos complejos, cuyos equipos deben ser principalmente flexibles a la hora de cambiar las tareas o los horarios.

Como desventaja, requiere de una planificación mucho más sofisticada, sobre todo en situaciones de multiproyectos, lo que no siempre es posible de aplicar en empresas con poca cultura de gestión de proyectos (Garriga, 2014).

2.2.2.5. Métodos y técnicas de gestión de proyectos

Según la *OBS Business School*, la gestión de proyectos necesita apoyarse en el uso de metodologías para minimizar errores y aumentar su eficacia.

Aunque a primera vista se pueda pensar que la mayoría de los proyectos son similares, cada uno de los proyectos es diferente. Tienen objetivos, metas, alcances, limitaciones e involucrados diferentes, y para poder gestionarlo de la forma más óptima, se necesita un análisis profundo tanto del proyecto en sí, como de los elementos que hacen posible su realización (Grupo PMC, 2017). Esto es lo que hace que no siempre podamos seguir los mismos pasos a la hora de realizarlo. Es decir, que no sirve un mismo método de gestión de proyectos para todos, sino que serán las características del proyecto las que definirán y harán que se adapten mejor unas u otras metodologías. (Grupo PMC, 2017).

Lo que sí se puede mencionar según el Grupo PMC (2017), es que todas las metodologías de gestión de proyectos se rigen con un mismo principio de acción: el de conseguir mejorar el proceso constante para poder optimizar los resultados del proyecto.

La variedad de metodologías para la Gestión de Proyectos de Construcción hace que sean materia de constante desarrollo, por lo que esta investigación sólo se limita a describir brevemente algunos modelos de gestión de proyectos; sin embargo, no se debe considerar que una es mejor que las otras, sino más bien tratar de entender el enfoque de cada una, estudiar sus técnicas y herramientas y, decir cual se adapta mejor a los proyectos de construcción.

2.2.2.5.1. Metodología del Project Management Institute - PMI

El *Project Management Institute* (PMI) es una organización internacional sin ánimo de lucro, que se dedica al estudio y fomento de buenas prácticas para la Gestión de Proyectos.

Esta organización establece un conjunto de directrices que orientan la dirección y gestión de proyectos a través de su guía, *A Guide to the Project Management Body of Knowledge, (PMBOK® Guide)*; una guía donde se establecen los estándares que orientan la gestión de proyectos, y que configura lo se considera como el método del PMI.

Según el PMI, la gestión de proyectos se logra mediante la ejecución de una serie de actividades conocidas como procesos, aplicando conocimiento, habilidades, herramientas y técnicas (PMI, 2013. PMI, 2017).

2.2.2.5.1.1. Procesos de la Gestión de Proyectos

Según el PMI (2013), un proceso es un conjunto de acciones y actividades, relacionadas entre sí, que se realizan para crear un producto, resultado o servicio predefinido, también mencionado en los párrafos anteriores como unidad de actuación (Serer, 2010). Cada proceso se caracteriza por sus entradas, por las herramientas y técnicas que se pueden aplicar y por las salidas que se obtienen (Véase Figura 13).



Figura 13. Procesos de la Gestión de Proyectos. (Fuente: Fustamante (2014), adaptado de PMI (2017))

De la Figura 13, el PMI (2017) menciona que:

- Cada proceso de la gestión de proyectos produce una o más salidas a partir de una o más entradas mediante el uso de herramientas y técnicas adecuadas para la gestión de proyectos.
- La salida puede ser un entregable o un resultado.
- Los resultados son una consecuencia final de un proceso

Si bien la gestión eficaz se logra mediante la aplicación e integración adecuadas de procesos, la PMBOK® Guide, agrupa los procesos en cinco categorías llamadas Grupos de Procesos (PMI, 2017).

2.2.2.5.1.2. Grupo de Procesos de la Gestión de Proyectos

Un Grupo de Procesos de la Gestión de Proyectos según el PMI (2017), es un agrupamiento lógico de procesos para alcanzar objetivos específicos del proyecto.

Los procesos de la gestión de proyectos se agrupan en los siguientes cinco Grupos de Procesos: (Véase Figura 14).

- Grupo de Procesos de Inicio
- Grupo de Procesos de Planificación
- Grupo de Procesos de Ejecución
- Grupo de Procesos de Monitoreo y Control
- Grupo de Procesos de Cierre

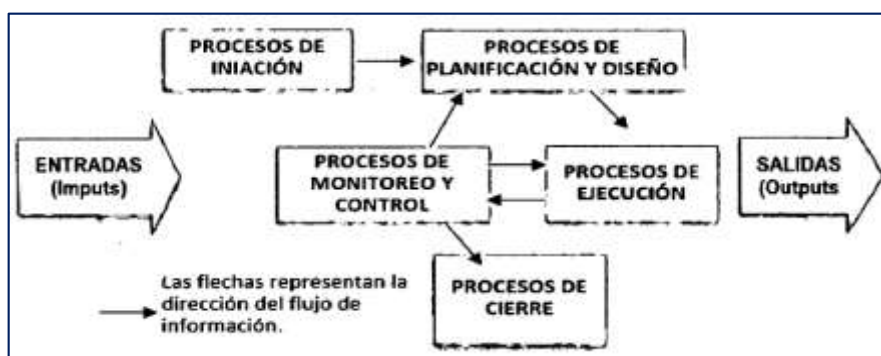


Figura 14. Grupo de Procesos de la Gestión de Proyectos. (Fuente Fustamante (2014), adaptado de PMI (2017)).

En la Figura 14, se muestra la interacción común entre los procesos de la gestión de proyectos.

El PMI (2017), también menciona que:

- Los grupos de procesos son independientes a las fases del proyecto.
- Los procesos de la gestión de proyectos están vinculados por entradas y salidas, de modo que el resultado de un proceso puede convertirse en la entrada de otro proceso que no está necesariamente en el mismo grupo de proceso

2.2.2.5.1.3. Áreas de Conocimiento de la Gestión de Proyecto

Además de los procesos identificados en la Guía del PMBOK®, los líderes del proyecto deben aplicar otros tipos de conocimientos adicionales, a parte de sus conocimientos específicos de su sector.

Para el PMI (2013), un Área de Conocimiento representa un conjunto completo de conceptos, términos y actividades que conforman un ámbito profesional, un ámbito de la gestión de proyectos o un área de especialización.

Para el PMI (2013), las 10 áreas de conocimiento adicionales que no pueden faltar a la hora de gestionar un proyecto son:

- Gestión de la Integración del Proyecto
- Gestión del Alcance del Proyecto
- Gestión del Tiempo del Proyecto
- Gestión de los Costos del Proyecto
- Gestión de la Calidad del Proyecto
- Gestión de los Recursos Humanos del Proyecto
- Gestión de las Comunicaciones del Proyecto
- Gestión de los Riesgos del Proyecto
- Gestión de las Adquisiciones del Proyecto
- Gestión de los Interesados del Proyecto

2.2.2.5.2. Filosofía Lean Construction

Según el *Lean Construction Institute* (ILC), *Lean Construction* es una filosofía que se orienta a la administración de la producción en construcción y su objetivo es reducir o eliminar las actividades que no agregan valor al proyecto y optimizar las actividades que sí lo hacen, por

ello se enfoca principalmente en crear herramientas específicas aplicadas al proceso de ejecución del proyecto y un buen sistema de producción que minimice los desperdicios.

Por desperdicios, se entiende, según Porras, Sánchez y Galvis (2014), todo lo que no agrega valor a las actividades necesarias para completar una unidad productiva.

El *Lean Construction* clasifica a los desperdicios de construcción en siete categorías como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2.

Desperdicios en la construcción

Desperdicios	Descripción
Sobreproducción	Producción de cantidades más grandes que las requeridas o más pronto de lo necesario; planos adicionales (no esenciales, poco prácticos o excesivamente detallados); uso de un equipamiento altamente sofisticado cuando uno mucho más simple sería suficiente; más calidad que la esperada.
Esperas o tiempo de inactividad	Esperas, interrupciones del trabajo o tiempo de inactividad debido a la falta de datos, información, especificaciones u órdenes, planos, materiales, equipos, esperar a que termine la actividad precedente, aprobaciones, resultados de laboratorio, financiación, personal, área de trabajo inaccesible, iteración entre varios especialistas, contradicciones en los documentos de diseño, retraso en el transporte o instalación de equipos, falta de coordinación entre las cuadrillas, escasez de equipos, repetición del trabajo debido a cambios en el diseño y revisiones, accidentes por falta de seguridad.
Transporte innecesario	Se refiere al transporte innecesario relacionado con el movimiento interno de los recursos (materiales, datos, etc.) en la obra. Por lo general, está relacionado con la mala distribución y la falta de planificación de los flujos de materiales e información. Sus principales consecuencias son: pérdida de horas de trabajo, pérdida de energía, pérdida de espacio en la obra y la posibilidad de pérdidas de material durante el transporte.
Sobreprocesamiento	Procesos adicionales en la construcción o instalación de elementos que causan el uso excesivo de materia prima, equipos, energía, etc. Monitorización y control adicional (inspecciones excesivas o inspecciones duplicadas).
Exceso de inventario	Se refiere a los inventarios excesivos, innecesarios o antes de tiempo que conducen a pérdidas de material (por deterioro, obsolescencias, pérdidas debidas a condiciones inadecuadas de stock en la obra, robo y vandalismo), personal adicional para

	gestionar ese exceso de material y costes financieros por la compra anticipada.
Movimientos innecesarios	Se refiere a los movimientos innecesarios o ineficientes realizados por los trabajadores durante su trabajo. Esto puede ser causado por la utilización de equipo inadecuado, métodos de trabajo ineficaces, falta de estandarización o mal acondicionamiento del lugar de trabajo. Pérdida de tiempo y bajas laborales.
Defectos de calidad	Errores en el diseño, mediciones y planos; desajuste entre planos de diseño y planos de estructura o instalaciones, uso de métodos de trabajo incorrectos, mano de obra poco cualificada. Las dos consecuencias principales de la mala calidad son: la repetición del trabajo y la insatisfacción del cliente.

Fuente: Porras, Sánchez y Galvis (2014) y Pons (2014)

El objetivo de *Lean Construction* es optimizar las transformaciones minimizando o eliminando, los flujos que los materiales deben seguir hacia los lugares de ejecución de los trabajos de obra para obtener más valor en los productos finales

El error del pensamiento tradicional en la construcción es, según Porras, Sánchez y Galvis (2014), centrarse en las actividades de conversión y no tener en cuenta el flujo de los recursos para lograr la generación de más valor en los productos finales obtenidos; la construcción es, en ese escenario, tan solo un modelo de transformación, como se muestra en la Figura 15, a diferencia del modelo propuesto por el Lean Construction, transformación-flujo-valor o TFV, que se muestra en la Figura 16.



Figura 15. Modelo de producción tradicional. (Fuente: Porras, Sánchez y Galvis (2014)).

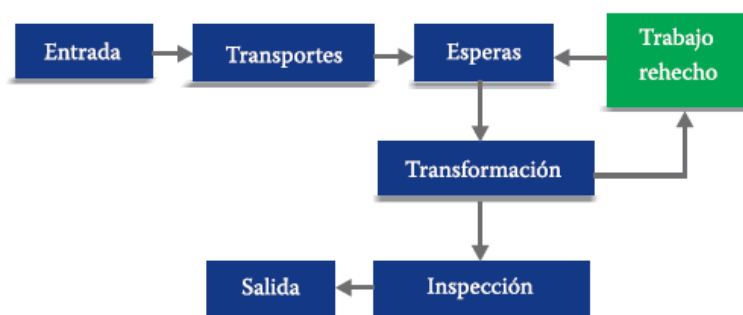


Figura 16. Modelo de producción Lean o TFV. (Fuente: Porras, Sánchez y Galvis (2014)).

En la filosofía *Lean Construction*, la planificación y el control, son procesos complementarios y dinámicos, en donde la planificación define los criterios y crea las estrategias necesarias para alcanzar los objetivos del proyecto y el control se asegura de que cada evento se producirá después de la secuencia prevista (Porrás, Sánchez y Galvis, 2014).

Para controlar la variabilidad en la planificación, la filosofía *Lean Construction*, propone según Pons (2014), el uso de una serie de herramientas, que permitan llevar a cabo los principios teóricos de la filosofía a la práctica profesional.

2.2.2.5.2.1. Herramientas de Lean Construction

Una de las herramientas más útiles en la aplicación de *Lean Construction*, es el SUP, Sistema del Último Planificador o *Last Planner System*, en inglés, desarrollado por Glenn Ballard y Greg Howell, como un sistema de planificación y control de la producción para mejorar la variabilidad en las obras de construcción y reducir la incertidumbre en las actividades programadas (Porrás, Sánchez y Galvis, 2014).

El sistema propuesto por Ballard y Howell controla de una mejor forma la incertidumbre de la planificación, ya que agrega un componente de control de la producción a la gestión tradicional de proyectos, puede entenderse como un mecanismo para la transformación de lo que debe hacerse en lo que se puede hacer.

Para el SUP, planificar es determinar lo que debería hacerse para completar un proyecto y decidir lo que se hará teniendo en cuenta que debido a ciertas restricciones no todo puede hacerse (Porrás, Sánchez y Galvis, 2014).

Alarcón (2016) establece este hecho gráficamente, tal como se observa en la figura 17, los cuales son los tres estados teóricos de la planificación: lo que debe hacerse, lo que se hará y finalmente lo que puede hacerse en obra.



Figura 17. Planificación tradicional. (Fuente: Adaptado por Alarcón (2016), mencionado en Porrás, Sánchez y Galvis (2014))

De la figura 17, se observa que las actividades que se espera ejecutar son mayores que las que se pueden realmente hacer, evidenciando así, una de las principales fallas de la planificación tradicional, sencillamente porque el programa general del proyecto dice lo que debe hacerse, los administradores deciden lo que se hará y en el campo realmente se ejecuta lo que se puede hacer.

2.2.2.5.2.2. Beneficios que aporta la implantación de Lean Construction

Un informe sobre el estado de *Lean Construction* en Estados Unidos (2012) y otro informe de *McGraw Hill Construction* (2013) sobre la aplicación *Lean Construction* en proyectos de edificación, revelaron que en aquellas empresas que ya han utilizado practicas *Lean*, entre el 70% y el 85% de sus proyectos, han alcanzado un nivel medio o alto sobre una amplia variedad de beneficios, entre los que se incluyen como resumen en la Tabla 3.

Tabla 3

Beneficios de Lean Construction

Informe sobre el estado de <i>Lean Construction</i> en EE.UU. (2012)	Informe <i>McGraw Hill Construction</i> sobre la aplicación de <i>Lean Construction</i> (2013)
Mejor cumplimiento del presupuesto	Mayor calidad en la construcción
Menor número de cambios de órdenes y pedidos	Mayor satisfacción del cliente
Rendimiento más alto de entregas a tiempo	Mayor productividad
Menor número de accidentes	Mejora de la seguridad
Menor número de demandas y reclamaciones	Reducción de plazos de entrega
Mayor entrega de valor al cliente	Mayor beneficio y reducción de costos
Mayor grado de colaboración	Mejor gestión del riesgo

Fuente: *McGraw Hill Construction* (2013)

El informe antes citado de *McGraw Hill Construction* (2013), recomienda el uso de herramientas que tengan que ver con el uso de redes colaborativas a nivel global o de intercambio de datos e información entre todos los involucrados, pues una vez tomada la decisión de implantar *Lean Construction*, los cambios van a afectar a todos, a los diseñadores o proyectista y constructores, puesto que tendrán que adaptarse a las nuevas tecnologías, sobre todo aquellas que tengan que ver con las tecnologías de la información y comunicación

2.2.2.5.3. Los modelos colaborativos de entrega de proyectos

2.2.2.5.3.1. Introducción a los modelos de entrega de proyectos

Para Alcántara (2013), los problemas generados en la etapa de construcción de los proyectos, son causados por las deficiencias en los documentos contractuales, elaborados en la fase de

diseño, los cuales son originados por un modelo de entrega de proyecto tradicional, como es el de Diseño, Licitación y Construcción, el cual separa las etapas más importantes del desarrollo de un proyecto, al Diseño y a la Construcción.

La Figura 18 muestra las etapas del modelo Diseño-licitación-construcción o DBB (*Design-Bid-Build*), el cual es el modelo de entrega de proyectos más tradicional y más utilizados por clientes y propietarios para desarrollar los proyectos, tanto públicos como privados (Alcántara, 2013).



Figura 18. Proceso de desarrollo de proyectos de construcción basados en el sistema Diseño, Licitación y Construcción. (Fuente: Alcántara (2013)).

En los proyectos de construcción, desarrollados bajo el modelo tradicional DBB, los documentos de diseño e ingeniería, son elaborados en la etapa de diseño por los proyectistas, ya sean arquitectos o ingenieros, quienes tiene un papel importante en los proyectos de construcción, ya que trasladan las necesidades y requerimientos del cliente a planos y especificaciones técnicas (Fetene, 2008, citado en Alcántara, 2013, p. 42). Estos documentos, al contener toda la información necesaria para llevar a cabo la construcción, sirven de base durante el proceso de licitación y posteriormente se entregan a la empresa contratista seleccionada, como documentos oficiales para que comience con la ejecución (Alcántara, 2013). Habitualmente, pero no siempre, el criterio de selección del contratista es el precio más bajo (e-book Autodesk).

Muchas veces, para acelerar la entrega de los proyectos, Alcántara (2013) indica que son los mismos clientes quienes aceleran el desarrollo de las etapas del proyecto, lo cual implica que el proceso de licitación, que encargará a una empresa constructora la ejecución del proyecto, sea realizado cuando los documentos de diseño e ingeniería están parcialmente elaborados o incompletos. Con ello, las empresas contratistas postores de la licitación elaboran un presupuesto de construcción, que muchas veces es inferior, si se compara con el costo real

valorizado al final de la ejecución del proyecto, participando así, en la licitación con un monto referencial y asumiendo los riesgos de la construcción del proyecto (Alcántara, 2013).

Por consiguiente, la empresa contratista seleccionada (o mejor postor) recibe los documentos oficiales para la construcción, los cuales según indica Alcántara (2013), aún están incompletos y deficientes, pues con la celeridad que se desarrolló el diseño, no se enfocaron esfuerzos por tratar de integrarlos y compatibilizarlos debidamente (Alcántara, 2013).

Alcántara (2013) también reflexiona que, en una situación ideal, los documentos contractuales del proyecto de construcción deberían estar completos, precisos, sin conflictos y ambigüedades, pero desafortunadamente esto es rara vez encontrado y muy a menudo la empresa contratista empieza la construcción con documentos incompatibles, erróneos e incompletos, requiriendo por consiguiente, aclaraciones sobre la información plasmada en los planos y otros documentos, los cuales tendrán que ser resueltas por los proyectistas en pleno procesos de construcción.

A raíz de ello, los problemas generados por la celeridad de los procesos en las etapas del ciclo de vida del proyecto, conllevan a que se presenten problemas durante la etapa de construcción; etapa en la cual, según lo indica Alcántara (2013), cualquier modificación o cambio imprevisto en el diseño pueden representar grandes pérdidas de tiempo y dinero.

Un estudio realizado por Vásquez (2006), en donde entrevisto a ingenieros residentes y a maestro de obra, revelo que, tal como se muestra en la Figura 19, el 73% de los entrevistados percibieron que la información generada en la etapa de diseño tiene gran influencia en la productividad en obra y el 66% de los ingenieros residentes califican el grado de eficiencia de los proyectos como deficiente a regular.

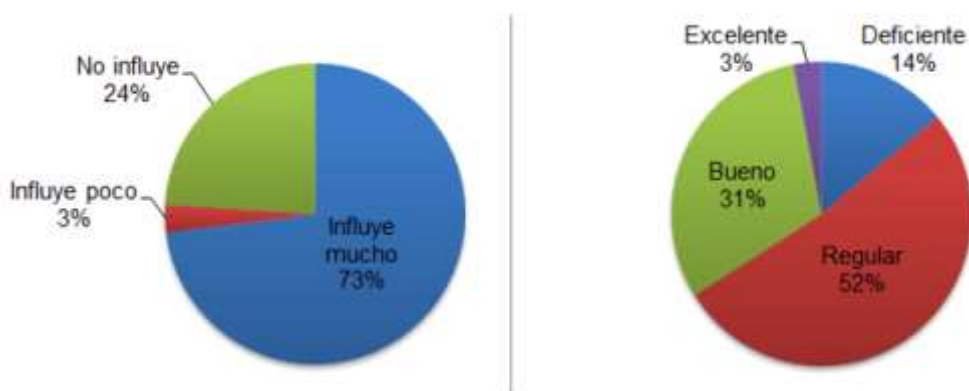


Figura 19. Influencia del diseño en la productividad de la obra (Izquierda). Grado de eficiencia del diseño en los proyectos de construcción (Derecha). (Fuente: Vásquez (2006)).

Por lo tanto, en un mercado global y competitivo, en donde los proyectos de construcción son cada vez más grandes y complejos, los cuales contienen metas más exigentes, siempre existe la necesidad de terminar la obra en los plazos y con los costos establecidos, y sumando a ello, el involucramiento de una gran cantidad de especialistas en todas las etapas, evidencia también, la necesidad de desarrollar estrategias que permitan integrar a todos los actores para orientar el diseño y la construcción para la satisfacción del cliente y/o propietario.

2.2.2.5.3.2. Los modelos entrega de proyectos

Una de las soluciones a estos problemas, es el *Lean Project Delivery System* o Sistemas de Entrega de Proyectos Lean, desarrollado por Glenn Ballard y publicado por el *Lean Construction Institute* en el año 2000 (Pons, 2014), el cual es la base a los modelos alternativos de entrega colaborativa de proyectos de construcción.

Estos modelos se definen, según Pons (2014), como un proceso colaborativo para la gestión integral de los proyectos de construcción, a lo largo de todo el ciclo de vida de éste, bajo un marco contractual que compromete a los involucrados del proyecto a trabajar de manera cooperativa desde etapas tempranas para alinear los objetivos, recursos y restricciones, garantizando así, la resolución de problemas potenciales antes de que se dé inicio a la construcción.

Estos acuerdos permiten, tal como lo indica Pons (2014), la flexibilidad entre los miembros del equipo para ofrecer mayor valor al cliente y/o propietario y crear un interés/riesgo compartido en el resultado del proyecto.

Los modelos de entrega de proyectos son diversos y se emplean para facilitar la ejecución de los proyectos de construcción (Porrás, Sánchez y Galvis, 2014).

En el Perú, en base al Artículo 36 del Reglamento de la Ley de Contrataciones del Estado, con Decreto Supremo N° 344-2018-EF, vendrían a hacer similar a las modalidades de ejecución contractual, las cuales son Llave en Mano y Concurso Oferta.

A continuación, se describen algunos de los modelos de entrega de proyectos. Así mismo, cabe resaltar que no se tiene ningún interés en mostrar que un modelo es mejor que otro, pues la elección de un modelo de entrega, depende del cliente y/o propietario del proyecto y de los agentes que conocen lo que se ejecutara en la obra, los cuales cumplirán mejor los objetivos y requisitos del proyecto.

2.2.2.5.3.3. Modelo diseño-construcción

A diferencia del modelo tradicional de diseño-licitación-construcción, donde al proyectista y contratista los licitan por separado, en el modelo Diseño-Construcción o DB (*Design-Build*, en inglés) se requiere que ambos se liciten juntos.

Los acuerdos abordados por DB pueden adoptar muchas formas, incluida la dirección por un contratista general o, por un solo arquitecto o ingeniero, también a través de una sociedad integrada o unión transitoria. La figura 20 muestra el enfoque del modelo diseño-construcción.

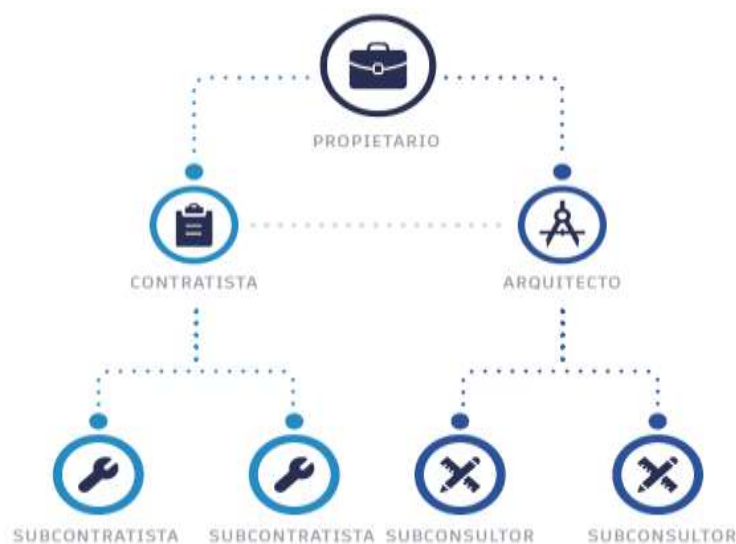


Figura 20. Enfoque del modelo Diseño-Construcción. (Fuente: e-Book Autodesk: Guía esencial para los modelos de entrega colaborativa de proyectos).

En los proyectos bajo el modelo de entrega DB, los proyectos son, generalmente, dirigidos por una empresa constructora, en función a un acuerdo entre el propietario y el contratista, en la cual este último designa y maneja el equipo de proyecto. Así el contratista puede elegir a los arquitectos o ingenieros, quienes serán los proyectistas, para elaborar el diseño definitivo (e-Book Autodesk). Así mismo, el propietario contrata a otra empresa para que supervise tanto el diseño como la construcción.

El estudio realizado por Konchar (1997), y publicado por el programa de investigación del CIC (*Computer Integrated Construction*) de la Universidad Estatal de Pensilvania, en Estados Unidos, reveló que los proyectos desarrollados bajo el modelo Diseño-Construcción lograron un 6.10% de ahorro en los costos y un 33.5% más rápido en la entrega que los proyectos desarrollados bajo el modelo Diseño-Licitación-Construcción.

La figura 21, ilustra la comparación entre el modelo DB y el modelo tradicional, reportado por Konchar (1997), así mismo se observa las actividades en cada método.

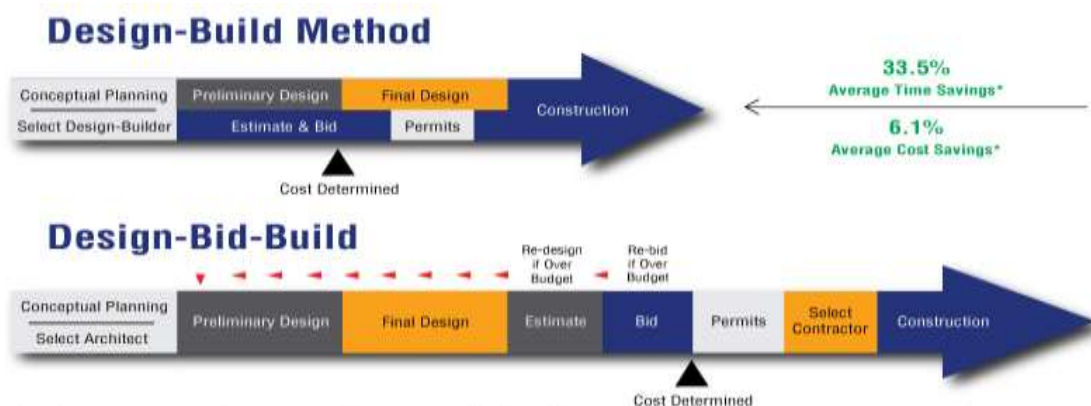


Figura 21. Comparación del modelo Diseño-Construcción vs. modelo Diseño-Licitación-Construcción. (Fuente: Adaptado de Konchar (1997). Recuperado de: <http://www.consolidated-const.com/5220-2/>)

2.2.2.5.3.4. Modelo entrega de proyectos integrados

En 1990, surge el modelo *Integrated Project Delivery* – IPD, o traducido al español como Entrega de Proyectos Integrados, y define, según Porras, Sánchez y Galvis (2014), la forma de organizar a todas las personas que trabajan en el proyecto en un grupo de trabajo colaborativo junto al cliente para entender mejor las ideas que cada quien desea aportar.

Es similar al modelo DB en el sentido que todas las partes trabajan en estrecha colaboración desde el principio. La diferencia clave, es que el propietario adopta un rol mucho más activo, y permanece altamente involucrado durante todo el proceso.

En un proyecto ejecutado bajo el modelo IPD, el propietario, proyectista y contratista celebran un contrato y funcionan como un equipo colaborativo para diseñar y construir el proyecto. La figura 22 muestra el enfoque del modelo IPD.



Figura 22. Enfoque del modelo IPD. (Fuente: e-Book Autodesk: Guía esencial para los modelos de entrega colaborativa de proyectos).

Con el modelo IPD se pretende solucionar la falta de colaboración entre las partes que intervienen en el proyecto y cambiar las actitudes individualistas que generan ineficiencias y pérdidas, las cuales constituyen, bajo en enfoque *Lean Construction*, un obstáculo para la creación de valor.

El modelo IPD difiere del modelo tradicional de ejecución de proyectos, el cual tiene un enfoque diseño-licitación-construcción. En la figura 9 se pueden observar los contrastes de ambos enfoques.

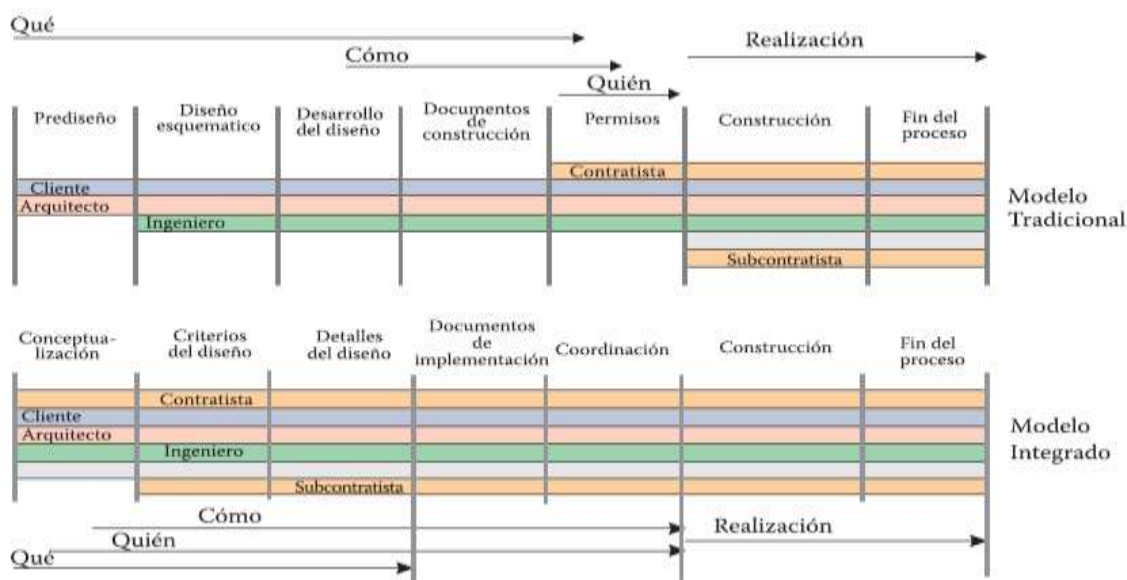


Figura 23. Modelo tradicional de entrega de proyectos vs modelo IPD. (Fuente: <http://innovatechbuild.com/category/construction/>).

Se muestra en la figura 23, que en el modelo tradicional los constructores no entran en el proyecto hasta que el diseño se ha completado, en cambio en el modelo IPD, todo el equipo entiende lo que el propietario quiere del proyecto.

2.2.2.5.3.5. Modelo de asociaciones públicos-privadas

Según el *World Bank Group* (2017) no existe una definición extensamente aceptada sobre que significa una Asociación Público-Privada (APP) o PPP (*Public-Private Partnership* en inglés). Pero en líneas generales, una APP se refiere a un acuerdo entre el sector público y el sector privado en el que parte de los servicios o actividades que son responsabilidad del sector público es suministrada por el sector privado bajo un acuerdo de objetivos compartidos para el abastecimiento del servicio público o infraestructura pública.

Existe un incremento en el número de países que incluyen una definición de APP dentro de sus leyes, y cada uno lo hace de manera que esa definición se adecue a sus instituciones y a las particularidades de su legislación (*World Bank Group*, 2017).

En el Perú, el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) define a una APP como: “*una modalidad de participación de la inversión privada, en las que se incorpora experiencia, conocimientos equipos, tecnología, y se distribuyen los riesgos y recursos, preferentemente privados, con el objetivo de crear, desarrollar, manejar, operar o mantener infraestructura pública y/o proveer servicios públicos bajo los mecanismos contractuales permitidos...*” (Artículo 3° del Decreto Legislativo N° 1012 (2012).

Existen tres categorías principales de APP:

- Contratos de Concesión, en los que una corporación privada proporciona una concesión en nombre de una autoridad pública por la que el público paga. Por ejemplo, una corporación privada acepta financiar la construcción de una carretera bajo el acuerdo de recibir un porcentaje específico de los ingresos que se generen con los peajes.
- PFI (*Private Finance Initiatives*) o Iniciativas de financiación privada, en las que una empresa del sector privado financia y brinda un servicio público, lo que puede incluir la construcción, el mantenimiento y el manejo, por el que la autoridad pública paga en un periodo establecido.
- APP institucionales, en las que una entidad pública y una corporación privada establecen una unión transitoria para brindar un servicio público

La figura 24 muestra el enfoque de gestión de proyectos de construcción a través de una Asociación Público-Privada

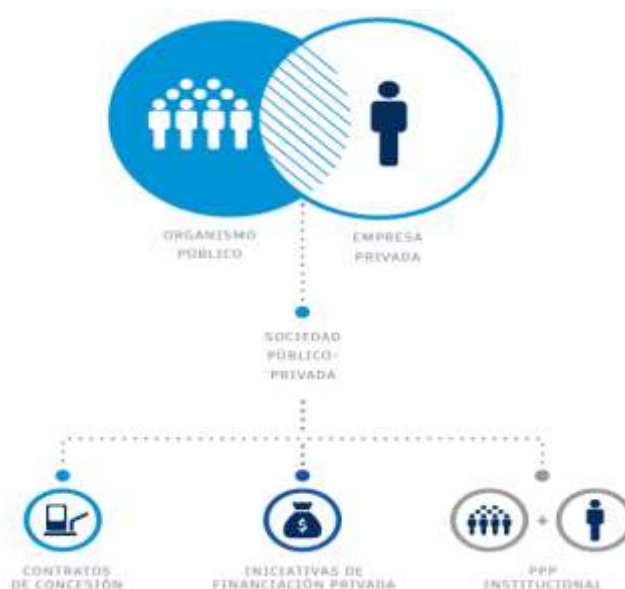


Figura 24. Enfoque del modelo de Asociación Público-Privada. (Fuente: e-Book Autodesk: Guía esencial para los modelos de entrega colaborativa de proyectos)

Las APP se crearon en el Reino Unido en la década de 1990 sobre la premisa de que las empresas privadas poseen una mejor posición y una mejor eficiencia para brindar servicios que la entidad es pública.

Actualmente, las APP son populares en todo el Reino Unido, Irlanda, Holanda, Portugal y España. Mas allá de Europa, las APP aumentan su popularidad en Oriente Medio, Sudáfrica, Japón, Australia y Canadá, en cambio en Estados Unidos, el uso es poco.

Julien Drouet, indica que, en una APP, los contratistas se involucran desde el principio y son conscientes de que deben utilizar materiales y diseños de alta calidad, ya que también son responsables del manejo y del mantenimiento a largo plazo.

Por eso, Gonzalo (2017) refiere que, los grandes proyectos de infraestructura que requiere un país, no pueden ser financiados, al menos no en su totalidad, con dinero y a riesgo público. Es más eficiente crear alianzas a largo plazo, a través de las APP.

Así mismo, Gonzalo (2017) indica que, en los proyectos donde se ha aplicado el financiamiento a través de APP ha quedado demostrado que esta es una solución más transparente, competitiva y menos sujeta a corrupción que en la Obra Pública (teniendo en cuenta, por ejemplo, que el concesionario retiene entre otros riesgos de sobrecostos de inversión y operación, los cuales se fijan desde la adjudicación).

Para Tantaleán (2016) las APP son una manera de colaboración que se ha extendido por muchos países del mundo, ya sea en países desarrollados o en proceso de desarrollo. En cualquier caso, los proyectos bajo la modalidad de gestión de APP resultan ser transacciones complejas, ya que manejan grandes cantidades de dinero, por lo que requieren de conocimiento y análisis legal, técnico y financiero, de las partes involucradas, es decir, tanto del sector público como del sector privado.

Como se puede ver, existen varios modelos de entrega de proyectos para ejecutar proyectos de construcción, dejando entonces, para futuras investigaciones, evaluar los beneficios y las limitaciones de cada modelo.

2.2.2.6. Indicadores de gestión de proyectos de construcción

2.2.2.6.1. Evaluación de la gestión de proyectos de construcción

El PMI, en su informe, Pulso de la Profesión 2016, señala que lo más crítico es el dinero que se sigue desperdiciando cuando los proyectos no se dirigen bien. Según el PMI se desperdician 12.2% de la inversión debido al deficiente desempeño en los proyectos.

Para Montero (2016), la fase de ejecución es la fase más larga e intensa del ciclo de vida de cualquier proyecto. Menciona que, durante este periodo, la gestión de proyectos se centra en la dirección en base a la planificación realizada, así como el seguimiento y control de las distintas actividades (Montero, 2016).

Gordillo (2014) señala que, existen una desarticulación entre la planificación y el control de los proyectos. Menciona que la planificación se ejecuta de una manera muy limitada, resumiéndolo solo a un cronograma y presupuesto, y sin prevenir lo que luego será el control. Por otro lado, el control carece del uso de técnicas analíticas basadas en indicadores, y los pocos que hacen uso de ellas, lo hacen bajo criterios no adecuados (Gordillo, 2014).

En ese sentido, la identificación de métricas e indicadores se convierten en herramientas de gran utilidad; y así, dan respuesta a la necesidad en la Gestión de Proyectos, como es su monitoreo y control. Por tanto, su uso resulta un instrumento clave para el éxito del proyecto (Montero, 2016).

Además, el beneficio que deben aportar el uso de indicadores no debe exceder el esfuerzo que supone. Por lo que se deben de considerar un número de éstos que aporten información suficiente y robusta para la toma de decisiones.

2.2.2.6.2. Definición de métricas e indicadores

Antes de continuar, resulta oportuno establecer la diferencia entre los distintos conceptos relacionados con métricas e indicadores. Son varios los autores que establecen estas diferencias (KPI, 2012).

- Medida: Número o cantidad que registra un valor directamente observable. Todas las medidas se componen de un número, que ofrece magnitud de la medida y una unidad de medida, que da un significado.
- Indicadores: factor o variable cuantitativa o cualitativa que establece un medio simple y fiable para medir logros, reflejar cambios relacionados con una intervención o para ayudar a evaluar el rendimiento de un actor del desarrollo.
- Métrica o medida o indicador de desempeño: Término genérico que abarca la base cuantitativa mediante el cual se establecen los objetivos y se evalúa el rendimiento. En el contexto de la medición y la gestión de rendimiento de estos términos se utilizan indistintamente.
- Indicador clave de rendimiento o *Key Performance Indicators* (KPI): indicador seleccionado como clave para supervisar el rendimiento de un objetivo estratégico,

resultado o área clave importante para el éxito de una actividad o el crecimiento de la organización en general. Por lo general, los KPI son monitoreados y se reportan a través de cuadros de mando o informes de rendimiento (Montero, 2016).

En esta investigación se mostrarán los KPI que permitan supervisar el rendimiento de las áreas claves de la gestión del proyecto.

Para Montero (2016) existen seis atributos que caracterizan los KPIs:

- Predecible: permite pronosticar la tendencia.
- Medible: se puede expresar cuantitativamente.
- Accionable: desencadena cambios que pueden ser necesarios.
- Relevante: se relaciona directamente con el éxito o fracaso del proyecto.
- Automatizado: su reporte minimiza el error humano.
- Pocos números: solo los necesarios.

Para Flapper, Fortuin y Stoop (1996), el rendimiento en gestión se define como la forma en que las organizaciones consiguen sus objetivos, habitualmente alcanzados con las actividades que conllevan a cabo los individuos que la conforman. (Diez, Pérez, Gimena y Montes, 2011, p. 2).

Según Díez et al. (2011) conocer la capacidad de rendimiento aporta información para orientar el proceso de planificación y control en el nivel organizativo, razón por la cual su adecuada medición aumenta su utilidad.

2.2.2.6.3. Indicadores de rendimiento según guías y estándares en gestión de proyectos

Díez et al. (2011) en su documento sobre Indicadores de rendimiento en procesos de gestión de proyectos, describe las consideraciones planteadas en algunas guías y estándares de gestión de proyectos con respecto al empleo de indicadores de desempeño.

En su investigación Díez et al. (2011) menciona que el rendimiento es incorporado como un aspecto vinculado a los procesos de ejecución. También observo algunas diferencias con respecto a los parámetros para su medición, además de pocas indicaciones sobre las métricas para su aplicación.

En la Tabla 4 se muestra un resumen elaborado por Díez et al. (2011) sobre el rendimiento, los parámetros para sus estudios y técnicas o herramientas recomendadas, en algunas de las principales guías o estándares en la gestión de proyectos.

Tabla 4

Enfoque del rendimiento en guías y estándares de dirección de proyectos

ESTÁNDAR	PROCESO	PARÁMETROS	TÉCNICAS
PMI - PMBOK	Comparación del trabajo frente a la ejecución del proyecto	Alcance (Entregables) Cronogramas (Fechas alcanzadas) Costo (% trabajo terminado)	Gestión del Valor Ganado KPI
IPMA - ICB	Comparación del progreso frente a la planificación	Objetivos Planes Contratos	Gestión del Valor Ganado
APM – APMBOK	Comparación del plan frente al rendimiento real.	Trabajo físico en valores financieros	Gestión del Valor Ganado
ISO - 10006	Análisis de la situación de avance frente al plan de gestión	Avance Contratos	Gestión del Valor Ganado KPI
PRINCE®2	Comparación del desempeño frente a metas planificadas	Tiempo, costo, alcance, riesgo Beneficios Productos por entregar, trabajo no finalizado	Gestión del Valor Ganado

Fuente: Díez et al. (2011)

Se puede apreciar en la Tabla 4 cómo los conceptos se argumentan con la comparación de lo planificado contra lo que se ha ejecutado, con algunas diferencias en los parámetros que se incluyen en dicha comparación.

La técnica de la Gestión del Valor Ganado, es una herramienta para la medición del rendimiento, que ayuda a evaluar la magnitud de todas las variaciones que tienen lugar en un proyecto y permite evaluar el avance real de un proyecto en cuanto a plazos y costos en un momento determinado (Montero, 2016).

En el año 2000, la International Standard Asociación (ISO) publica una nueva versión de su conocida norma ISO 9001, en la que introduce por primera vez el uso de indicadores (ISO, 2000):

- Seguimiento y medición de procesos, que implica la medición de estos para demostrar la capacidad de conseguir los resultados planificados.

- Seguimiento y medición de productos, para medir las características del mismo y verificar que cumplen con los requisitos.

2.2.2.6.4. Indicadores claves de rendimiento en gestión de proyectos de construcción

Montero (2016), en su estudio de Diseño de Indicadores para la Gestión de Proyectos, identifica una base para el uso de indicadores de rendimiento en la Dirección de Proyectos. Para lo cual, emplea una metodología considerando la Guía de los Fundamentos de la Gestión de Proyectos PMBOK®.

Dentro de su estudio, identifiqué el mayor número de indicadores para medir el rendimiento en los proyectos, dentro del enfoque de Dirección de Proyectos de Construcción.

Díez et al. (2011) también realizó una síntesis de la revisión de la literatura sobre la aplicación de indicadores o sistemas de métricas en procesos de gestión en proyectos, presentando una estructura en la cual agrupo en categorías las aportaciones estudiadas.

La mayor parte de esos indicadores se organizan tomando como base el denominado triángulo dorado (tiempo, costo y calidad) (Wi y Jung, 2010, citado en Díez et al., 2011). A partir de este conjunto de métricas, el número es extendido hacia otras categorías adicionales generadas de acuerdo al sector, tipo de proyecto o intereses de los autores. (Díez et al., 2011).

En la Tabla 5 se presenta una lista detallada elaborada por Montero (2016) de los indicadores para la Gestión de Proyectos, en ella se incluyen las caracterizaciones de: definición, el área de conocimiento al que corresponda el indicador, la tendencia deseada, el periodo de captura y frecuencia de cálculo

Tabla 5

Lista indicadores claves de rendimiento de Gestión de Proyectos de Construcción

Indicador	Definición	Área	Tendencia	Periodo de captura	Frecuencia de medida
Plazos de entrega	Mide el porcentaje de plazos de entrega cumplidos durante el proyecto sobre el total.	Alcance	Negativa	Puntual	Mensual
Hitos fallidos	Mide el porcentaje de hitos fallidos a tiempo sobre el total de hitos.	Alcance	Positiva	Mes	Mensual
Retraso del proyecto	Mide el retraso total del proyecto mediante la suma de los retrasos registrados en cada uno de los estados de implementación del proyecto.	Tiempo	Negativa	Ejercicio hasta la fecha	Mensual

Tareas atrasadas	Mide el porcentaje de tareas retrasadas del número total de tareas actuales.	Tiempo	Negativa	Puntual	Semanal
Presupuesto hasta la conclusión	Mide el valor de la totalidad del trabajo planificado, sumando todos los presupuestos para el trabajo a realizar.	Costos	Dentro del rango	Puntual	Mensual
Variación de costo	Mide la diferencia entre el valor ganado y el valor planificado.	Costos	Positiva	Puntual	Mensual
Variación del cronograma	Mide la diferencia entre el valor ganado y el valor planificado.	Costos	Positiva	Puntual	Mensual
Variación a la conclusión	Mide la diferencia estimada en costo a la conclusión del proyecto.	Costo	Positiva	Puntual	Mensual
Índice de desempeño de costo	Mide el valor numérico que describe el rendimiento general en términos de costo del proyecto, relacionando el valor ganado con el coste real	Costos	Mayor o igual a uno	Puntual	Mensual
Índice de desempeño del cronograma	Mide el valor del trabajo realizado por cada unidad monetaria de trabajo realizado, expresado como el cociente del costo presupuestado de los trabajos realizados al costo presupuestado del trabajo programado.	Costos	Dentro del rango	Puntual	Mensual
Índice Costo – Cronograma	Mide la probabilidad de recuperación para los proyectos que llegan tarde y/o por encima del presupuesto.	Costo	Positiva	Puntual	Mensual
Estimación a la conclusión	Mide el coste total esperado de una actividad programada según el EDT, o de la totalidad del proyecto, en casos donde el alcance del trabajo previamente definido este totalmente completado.	Costo	Negativa	Puntual	Mensual
Estimación hasta la conclusión	Mide el costo previo para terminar todo el trabajo restante del proyecto.	Costo	Positiva	Puntual	Mensual
Índice de desempeño del trabajo a completar (costo)	Mide la futura eficiencia de costos necesaria para completar el objetivo “Estimación a la conclusión” (EAC) o el “Presupuesto a la conclusión” (BAC).	Costo	Menor o igual a uno	Puntual	Mensual
Índice de desempeño del trabajo por completar (cronograma)	Mide cuanto debe trabajar el equipo de proyecto con el tiempo restante para finalizar el proyecto.	Costos	Positiva	Puntual	Mensual

Incidencias identificadas en el proyecto	Mide el número de nuevas incidencias que son identificados y necesitan resolverse una vez iniciado el proyecto.	Calidad	Negativa	Semana	Semanal
No conformidad es abiertas	Mide el porcentaje de no conformidades abiertas sobre el total en plazo.	Calidad	Negativa	Trimestre	Trimestral
Quejas abiertas	Mide el porcentaje de quejas abiertas sobre el total en plazo.	Calidad	Negativa	Trimestre	Trimestral
Satisfacción del cliente	Mide la satisfacción global de los clientes del proyecto.	Calidad	Positiva	Ejercicio hasta la fecha	Trimestral
Uso de los recursos del proyecto	Mide el porcentaje de los recursos del proyecto que actualmente están en uso.	Recursos Humanos	Positiva	Puntual	Semanal
Evaluación del desempeño	Mide el desempeño de los distintos miembros del equipo de proyecto.	Recursos Humanos	Positiva	Año	Annual
Productividad	Mide el tiempo que es efectivo en el proyecto a partir de la relación entre la horas-hombre productivas y las horas-hombre totales en el punto del proyecto.	Recursos Humanos	Positiva	Mes	Mensual
Satisfacción en el trabajo	Mide el clima laboral.	Recursos Humanos	Positiva	Ejercicio hasta el final	Trimestral
Elaboración puntual de informes de gestión	Mide el porcentaje de informes de gestión producidos a tiempo sobre el total de informes de gestión pendientes.	Comunicaciones	Positiva	Puntual	Mensual
Riesgos	Mide el número de riesgos identificados.	Riesgos	Positiva	Puntual	Trimestral
Riesgos posibles	Mide el porcentaje de riesgos que todavía pueden tener lugar en el momento del proyecto.	Riesgos	Negativo	Puntual	Mensual

Fuente: Díez et al. (2011)

Los KPI, por tanto, nos aseguran que el desarrollo de las actividades, vayan en sentido correcto, haciendo posible la evaluación de los resultados de la gestión, frente a los objetivos y metas planeadas (Vargas, 2012).

2.2.2.7. Retorno de la inversión - ROI

El sector de la construcción es una de las actividades económicas más importantes del mundo, y como industria de la construcción, se entiende no solo a la actividad de los constructores, sino también a los inversionistas, propietarios, gerentes de proyectos, empresas consultoras y constructoras hasta productores de insumos para la construcción.

Para los directores de proyecto y empresas dedicadas a la construcción, es muy importante obtener beneficios de acuerdo a la inversión que hagan. Y para poder medir los beneficios de su inversión, se calcula el ROI.

El Retorno de la Inversión o ROI (de las siglas en inglés, *Return On Investment*) es uno de los indicadores más útiles que se debe conocer acerca de la gestión de un proyecto.

Conocer este aspecto es muy importante dado que brinda información sobre si el proyecto permite ganar dinero o no a través de la inversión realizada. Por inversión realizada, nos referimos a la compra de equipos y/o herramientas tecnológicas, capacitación al personal, compra de software, implementación de sistemas informáticos, entre otros.

Este indicador es importante, porque permite evaluar como ciertas iniciativas contribuyen con los resultados de la gestión de los proyectos.

Al respecto, el ROI principalmente calcula la efectividad de una inversión. Y mediante una simple fórmula se puede obtener este valor

$$ROI = \frac{(Ganancia\ total\ de\ la\ inversión) - (Costo\ de\ la\ inversión)}{(Costo\ de\ la\ inversión)} \times 100$$

Figura 25. Formula general del ROI. (Fuente: Elaboración propia).

Un resultado positivo indica la obtención de ganancias y uno negativo, indica perdidas.

2.2.3. Evaluación de la fase de diseño en proyectos de construcción

2.2.3.1. La fase de diseño de proyectos de construcción

Los proyectos de construcción se caracterizan por su complejidad y tamaño. Por eso en su desarrollo puede ser dividido contractualmente en 3 etapas básicas: Diseño, Licitación y Construcción (FR4 Construcciones, 2017); y es con la fase de diseño que se definen los principales pilares que definirán el éxito de una construcción.

La fase de diseño de obras civiles se refiere a todo lo relacionado con el estudio, investigación y planificación del proyecto de construcción (FR4 Construcciones, 2017). A parte de la recopilación de documentos e información adicional requerida.

Para FR4 Construcciones (2017), sostienen que es a través de la fase de diseño que se justifica y sustenta la viabilidad financiera y técnica del proyecto de construcción, y así mismo su sostenibilidad.

El diseño en si puede subdividirse en tantos pasos como sea necesario para resolver todos los problemas de diseño e integrar los conceptos de un plan funcional de instalación. Generalmente se recomienda que se usen dos etapas: Diseño preliminar y Diseño final. Ambas etapas se adhieren a todos los conceptos desarrollados durante la fase de planificación. Los elementos restantes en el proceso de diseño son: Reevaluación de costos o ingeniería de valor (que es opcional), y Documentos de construcción y especificaciones técnicas.

Al final de la fase de diseño, el presupuesto está listo para su aprobación y el proyecto estará en condiciones para ser construido. Los entregables de la fase de diseño son los documentos de diseño, los documentos de construcción y el paquete de documentos del contrato.

2.2.3.2. Deficiencias en la fase de diseño de proyectos de construcción

La práctica en la ejecución de proyectos de construcción, han demostrado y se han encontrado una serie de deficiencias en los documentos contractuales de diseño e ingeniería, como son los planos y especificaciones técnicas, etc. Alcántara (2013) menciona que, estas deficiencias influyen e impactan negativamente durante la fase de construcción sobre los costos y los plazos de ejecución del proyecto y que luego derivan a problemas de calidad, porque es en plena fase de construcción de la obra, donde son encontrados y resueltos gran porcentaje de estos problemas.

Alcántara (2013) refiere que las deficiencias en los documentos contractuales de diseño se originan fundamentalmente debido a una marcada división de las dos fases más importantes para la entrega de proyectos, la de diseño y construcción, y por una etapa intermedia que es la licitación.



Figura 26. Proceso de desarrollo de proyectos de construcción basados en el sistema Diseño Licitación y Construcción. (Fuente: Alcántara (2013)).

Los problemas e impactos generados por la separación de las fases de diseño y construcción son muy notorios. Según Alcántara (2013), los principales problemas detectados son:

- La poca interacción entre ambas fases, la de diseño y construcción
- La poca interacción entre los diversos proyectistas (especialistas) encargados del proyecto.

Fetene (2008), citado por Alcántara (2013, p. 42), sostuvo que en los proyectos de construcción desarrollados bajo el modelo tradicional de Diseño/Licitación/Construcción, los documentos de diseño e ingeniería son elaborados por arquitectos, consultores y proyectistas de ingeniería, quienes tienen un papel importante en los proyectos de construcción, ya que trasladan las necesidades y requerimientos del cliente en planos y especificaciones técnicas. Estos documentos, al contener toda la información necesaria para llevar a cabo la construcción, sirven de base durante el proceso de licitación y posteriormente se entregan a la empresa contratista como documentos oficiales para que comience con la ejecución (Alcántara, 2013).

En una situación ideal, los documentos contractuales del proyecto de construcción deberían estar completos, precisos, sin conflictos y ambigüedades, pero desafortunadamente esto es raramente encontrado y muy a menudo la contratista empieza la construcción con documentos incompatibles, erróneos e incompletos, requiriendo, por consiguiente, aclaraciones en pleno proceso de construcción (Alcántara, 2013).

Cuando se da este caso, es esencial que la información sea entregada a la contratista eficientemente y sin retrasos, de lo contrario podría influir en la eficiencia durante el desarrollo del proyecto.

Hanvey (2007), citado por Alcántara (2013, p. 42), realizó un estudio para una consultoría internacional, *Interface Consulting*, que es encargada de absolver y dar arbitraje a las disputas y reclamos entre la contratista y el cliente/propietario, y sostuvo que hay muchas maneras en que los documentos de diseño e ingeniería puedan influir negativamente en el cumplimiento del tiempo y costos de proyectos de construcción.

Para Hanvey (2007), algunos de estos problemas más comunes, que afectan principalmente a la contratista son:

- Documentos de licitación incompletos e inadecuados
- Planos de diseño e ingeniería que llegan tardíamente
- Errores u omisiones en los planos

- Incompatibilidades entre los documentos contractuales de diseño (planos vs especificaciones técnicas)
- Excesivas solicitudes de información (RFI)
- El tiempo de espera de los RFI, y los cambios en el diseño

2.2.3.3. Deficiencias en los documentos contractuales de diseño

Luitz, Hancher y East (1990), citado por Alcántara (2013, p. 45), realizaron un estudio enfocado en cómo mejorar el diseño para asegurar la calidad de los documentos contractuales; el cual reportó que aproximadamente la mitad de todas las modificaciones del contrato de construcción pueden ser atribuidas a las deficiencias del diseño. Dicho estudio también define a la deficiencia de diseño, como “alguna deficiencia en los planos y especificaciones” (Alcántara, 2013, p. 45)

En el estudio realizado por Luitz et al (1990), se clasificó a las deficiencias de diseño más comunes, y son:

- Los Conflictos o discrepancias entre los planos y especificaciones de los documentos contractuales.
- Los errores y conflictos de coordinación interdisciplinaria, y
- La falta de constructibilidad.

Otro aspecto a tener en cuenta para la elaboración de los planos de construcción, es contar con los planos As-built. Ya que de no tener en cuenta estos planos, nuestras actividades que estaremos proyectando, se verían afectados por elementos construidos o instalaciones colocadas en proyectos anteriores, los cuales no son percibidos a simple vista, puesto que en algunas ocasiones estas se encuentran construidas y/o instaladas bajo tierra.

2.2.3.3.1. Incompatibilidades, conflictos o discrepancias en los documentos contractuales

La incompatibilidad, es un término muy usado en la industria de la construcción y suele referirse a la incoherencia de cierta información proporcionada por los planos o especificaciones técnicas cuando estos documentos tienen inconsistencias, errores y omisiones (Alcántara, 2013).

Para Alcántara (2013) estas deficiencias de diseño son identificadas cuando se comparan los distintos planos del proyecto, sean o no de la misma especialidad. En estos casos, las incompatibilidades se deben a una incorrecta representación gráfica bidimensional o simplemente a la falta de claridad en su presentación, como, por ejemplo, cuando el detalle

de un elemento mostrado en un plano no guarda relación con lo indicado en otro plano (Alcántara, 2013).

Para identificar estas deficiencias, Alcántara (2013) menciona se requiere de una minuciosa revisión de los documentos contractuales de diseño e ingeniería, con el fin de comprobar que los detalles e indicaciones que figuran en ellos concuerden entre sí. Este proceso de revisión e identificaciones de incompatibilidades entre los documentos de diseño se le conoce como “compatibilización”. Este proceso de compatibilización, consiste básicamente en la superposición de los planos 2D por especialidades, en la que se busca garantizar que estos tengan la información necesaria con coherencia, consistencia y no tengan ambigüedades (Alcántara, 2013).

Para mayor ilustración de cómo se presentan las incompatibilidades entre planos de proyectos, se muestra el siguiente ejemplo:

Ejemplo de incompatibilidad, conflicto o discrepancia: En la Figura 27, se muestra un Depósito de Material Excedente (DME) ubicado al lado izquierdo de la vía, entre las progresivas KM 147+210 y KM 147+260.



Figura 27. Plano de Ubicación de DME – 01. (Fuente: Proyecto Integración Vial Tacna – La Paz, Tramo: Tacna – Collpa (Frontera con Bolivia), Sub Tramo 3: Km 146+180 – Km 187+404).

Mientras que en la Figura 28, se muestra la proyección de una alcantarilla de alivio TMC de 36” ubicado en la progresiva KM 147+250, la cual tiene el sentido de flujo es de izquierda a derecha.

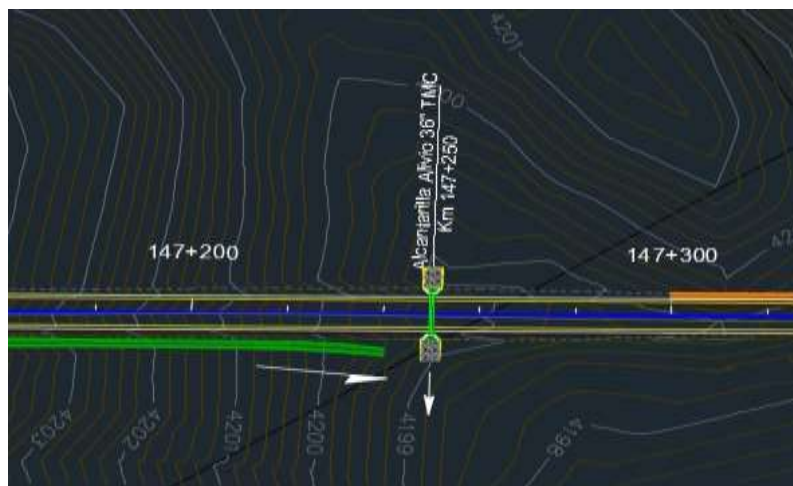


Figura 28. Plano de Sistema de Drenaje Proyectado. (Fuente: Proyecto Integración Vial Tacna – La Paz, Tramo: Tacna – Collpa (Frontera con Bolivia), Sub Tramo 3: Km 146+180 – Km 187+404).

Cuando se superponen los planos presentados en las Figuras 27 y 28, se aprecia la incompatibilidad entre dichos planos, lo cual evidencia una falta de coordinación entre las especialidades de las áreas de Medio Ambiente y Obras de Arte y Drenaje.

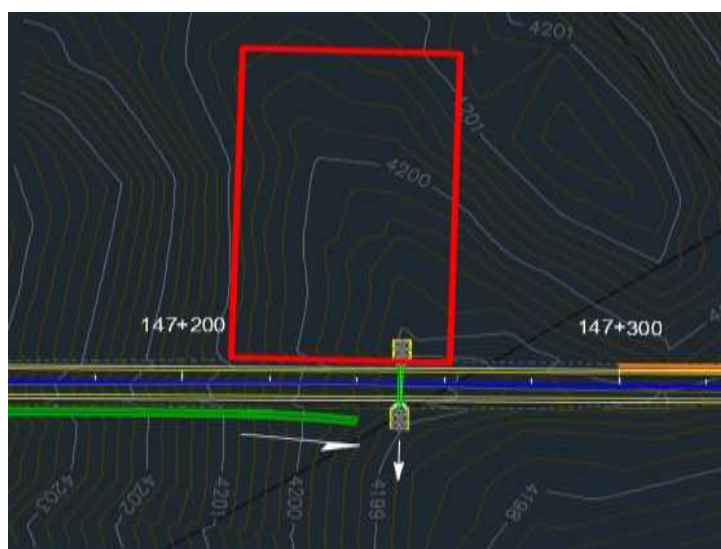


Figura 29. Incompatibilidad entre planos de DME y Sistema de Drenaje. (Fuente: Proyecto Integración Vial Tacna – La Paz, Tramo: Tacna – Collpa (Frontera con Bolivia), Sub Tramo 3: Km 146+180 – Km 187+404).

Como se observa en la Figura 29, el emboquillado en la entrada de la alcantarilla se encuentra dentro del área para la conformación del DME, generando así, la reubicación del DME, puesto que, si se está planteando la proyección de una alcantarilla en esa ubicación, será para aliviar las aguas que ahí se almacenan producto de las lluvias.

2.2.3.3.2. Interferencias o errores de coordinación interdisciplinaria

Las interferencias, según Alcántara (2013), son deficiencias encontradas en los planos, que al no ser detectados a tiempo generan en obra, una interrupción espacial debido a la ubicación de un elemento sólido que impide la correcta instalación, montaje o construcción de algún otro elemento. Estas deficiencias se deben a la falta de integración y coordinación entre las disciplinas del proyecto, sobre todo al momento de la elaboración de los planos en la fase de diseño (Alcántara, 2013).

Las interferencias entre los planos de diseño también pueden ser detectadas y levantadas en un proceso de compatibilización; sin embargo, a diferencia de las incompatibilidades, Alcántara (2013) refiere que las interferencias son más difíciles de detectar, ya que los procesos tradicionales de compatibilización se dan mediante la superposición de los planos en planta 2D, sin tomar en cuenta los planos de corte y elevaciones.

2.2.3.3.3. Falta de constructabilidad de los diseños

El *Construction Industry Institute* (CII) define el término constructabilidad (*constructability*) como “*la integración efectiva y oportuna de los conocimientos de construcción en la planificación conceptual, el diseño y las operaciones de campo de un proyecto para lograr los objetivos generales del proyecto*”.

Una definición más específica la propone Alcántara (2013), donde menciona que, constructabilidad es el uso del conocimiento y la experiencia para plantear soluciones de diseño que permitan construir o instalar algún componente del proyecto de la forma más eficiente y segura posible, mediante un uso óptimo de los recursos (mano de obra, materiales, equipos, etc.), permitiendo en algunos casos materializarlos a un menor costo, además permitirá la selección de los procesos constructivos más adecuados y seguros.

Según Alarcón y Mardones (1998), citado por Alcántara (2013), mencionan que la mayor parte de los problemas detectados en la fase construcción es debido a la falta de constructabilidad de los diseños. Además, los detalles no definidos en los diseños son problemas que la contratista tiene que resolver in-situ y generalmente los problemas son detectados justo antes de iniciar la construcción de una actividad específica, y en algunos casos, después que la actividad ha sido completada (Alcántara, 2013).

Alcántara (2013) menciona que, la poca o nula participación de profesionales encargados de la de la construcción en la fase de diseño, como se da con el desarrollo del modelo

Diseño/Licitación/Construcción, ocasiona que los documentos de diseño pasen a la fase de construcción sin una adecuada revisión de constructabilidad, resultando que los mismos no representen la alternativa constructiva más económica y segura de construirla, pudiendo existir otras alternativas que permitan realizarla de una forma más eficiente, segura y económica, sin perder la funcionabilidad para la cual fue diseñada originalmente (Alcántara, 2013).

Ejemplo de falta de constructabilidad: Para la colocación de las tuberías de desagüe en proyectos de Saneamiento, lo primero se tiene que construir son los buzones, los cuales son encofrados y vaceados in-situ de acuerdo a las dimensiones y detalles en los planos. La siguiente actividad es la instalación de los tubos en las zanjas habilitadas, pero en ningún detalle de los planos ni en las especificaciones técnicas, mencionan como los tubos se empotrarán en los buzones.

Esta falta de constructabilidad, genera la asignación de personal, equipo y herramientas para realizar la actividad de picar el concreto para la correcta instalación de la tubería. Estas actividades no están contempladas en el presupuesto, causando mayores costos a la contratista.

2.2.3.3.4. La importancia de los planos As-built

Es importante tener en cuenta los planos As-built o planos post-construcción de proyectos anteriores, puesto que de ello dependerá la elaboración de planos de construcción de algunas actividades que se proyectaran, que, al no ser considerados, causaran durante la ejecución de la obra, muchos retrasos y sobrecostos.

Los planos As-built, son los planos definitivos de obra una vez que ésta se ha terminado, es decir, son los últimos planos de la obra en los que aparecen recogidos todos los cambios que haya habido a lo largo de toda la ejecución de la obra.

La entrega de los planos As-built, es un requisito indispensable para la liquidación de la obra como parte del cierre del proyecto.

Los responsables de la planificación y el diseño del proyecto, al no recoger toda la información (planos As-built) necesaria para la correcta elaboración de los planos de construcción, trae como consecuencia la incertidumbre para realizar las actividades programadas. Y es la empresa contratista, muchas veces, la encargada de solicitar dicha

información a la entidad, para tener presente en la ejecución de sus trabajos, generando así, mayores costos en el presupuesto y más tiempo para realizar el resto de sus actividades.

Debido a no considerar los planos As-built o si es que estos fueron considerados, pero se encontraban mal elaborados, surgirán muchas consecuencias negativas para el avance de la obra, y en algunas ocasiones se pueden producir hasta accidentes.

Estas omisiones en los planos de construcción, sucede en muchas ocasiones en proyectos de Pistas y Veredas y en proyectos de Saneamiento.

Ejemplo importancia de los planos As-built: Cuando se esté ejecutando la excavación con maquinaria para zanja, para la colocación de la tubería de desagüe, se producen muchas veces la rotura de tuberías de agua que no fueron registradas, produciendo la inundación de la zanja, y debiendo reparar dichas tuberías de agua



Figura 30. Reparación de tubería de agua. (Fuente: Elaboración propia - Durante trabajos en obra)

Como se observa en la Figura 30, se tiene de disponer de operarios para la reparación de estas actividades no programadas, debido a que no fueron registrados en los planos de construcción, generando así, más horas hombre al proyecto.

2.2.3.4. La calidad en el diseño y la documentación

Kanji y Wong (1998), citado en Alcántara (2013, p. 43) mencionan que, en la industria de la construcción, tanto el cliente, como los proyectistas (diseñadores), la contratista y

subcontratistas, que forman parte del proyecto de construcción, tiene un rol importante para entregar un proyecto de calidad.

El término “Calidad en Construcción” fue acuñado para referirse a los procesos desarrollados durante la ejecución de la construcción (Alcántara, 2013). Por lo tanto, para garantizar la calidad en la construcción, Alcántara (2013) menciona que no solo se tiene que certificar los resultados o los productos entregables, sino también a los procesos que condujeron a la realización de dicho producto.

La empresa constructora más antigua de Japón, ganadora del Premio Deming de la Calidad, Takenaka, destaca que, para asegurar la calidad en los proyectos de construcción, se tienen que aplicar en ambos procesos, tanto en el diseño como en la construcción.

Alcántara (2013) refiere que, para asegurar un diseño de calidad, se tiene que enfocar en dos aspectos:

En el proceso de diseño, y en el producto del diseño

El proceso de diseño, está enfocado con la adecuada aplicación del conocimiento para elaborar el diseño y la ingeniería del proyecto, logrando así, correctos resultados técnicos. En cambio, el producto del diseño, se relaciona con los documentos donde se plasman estos resultados, como los planos, especificaciones técnicas, etc. (Alcántara, 2013).

McGregor (1988), citado en Tilley, Wyatt y Mohamed (1997, p. 3) al referirse a la calidad del diseño, menciona que, un buen diseño será efectivo si se construye con la mejor economía y seguridad posible. También señala, que dicho diseño se debe de comunicar de manera efectiva a través de la documentación, es decir, en planos, especificaciones técnicas, etc. (Tilley et al., 1997).

Según McGregor (1988) existen una serie de criterios que determinan el nivel de calidad de la documentación, como son:

- Puntualidad: que se entreguen cuando es necesario y así evitar demoras.
- Exactitud: que se encuentren libre de errores, conflictos e inconsistencias.
- Completo: que proporcionen toda la información requerida.
- Coordinación: completa coordinación entre las distintas disciplinas de diseño
- Conformidad: que cumpla con los requisitos de los estándares de rendimientos y las normas legales.

Por lo tanto, a la calidad del proceso de diseño y documentación se puede definir, según McGregor (1988), como “la capacidad de proporcionar al contratista toda la información necesaria para permitir que la construcción se lleve a cabo según sea necesario, de manera eficiente y sin obstáculo” (p. 3).

2.2.3.5. Indicador de calidad del diseño y del proceso de la documentación

Dado que la calidad del diseño y la documentación proporcionada a la empresa contratista tiene una gran influencia en el rendimiento general y la eficiencia de los proyectos de construcción (Burati et al 1992, Lutz et al 1990, Kirby et al 1988, citado en Tilley, et al, 1997), es necesario considerar métodos y herramientas que permitan evaluar la deficiencia de los diseños y la documentación contractual.

Tilley, et al (1997), sugirieron en su investigación que los procesos de consulta formal realizados a través de la emisión de Solicitudes de Información (RFI), pueden proporcionar indicadores necesarios para medir la calidad en los documentos de diseño o a su vez la deficiencia de diseño y documentación, y al mismo tiempo, el rendimiento general del proyecto.

Las Solicitudes de información o RFI por sus siglas en inglés *Request for Information*, son documentos estándar que forman parte del procedimiento de control de calidad de una empresa contratista, y que se utilizan en la industria de la construcción cuando es necesario la interpretación de un detalle y ampliación de notas en los planos de construcción, alguna especificación técnica o para solicitar aclaraciones al cliente o a la supervisión de alguna observación que impidan el normal desarrollo de las actividades, como ocurre por ejemplo, con las incompatibilidades y errores encontrados entre los planos de los proyectistas (Alcántara, 2013).

La cuantificación de la magnitud de las deficiencias en los documentos y su relativa gravedad, se obtiene, según Tilley, et al (1997) mediante los análisis de los RFI, pues estos, proporcionan un buen indicador de la calidad general del diseño y documentación.

El análisis de la cantidad de RFI's en relación con el valor del contrato y la duración del proyecto, proporcionan una indicación de las deficiencias de diseño y documentación, mientras que una evaluación de los tiempos de respuesta a estas RFI's proporciona una indicación de su gravedad.

Por lo tanto, la revisión de estas consultas (RFI) pueden proporcionar información muy importante sobre la naturaleza de los problemas de diseño, así como de las fuentes responsables.

2.2.3.6. Clasificación de las de solicitudes de información (RFI)

Tilley, et al (1997) en la primera parte de su investigación, presento una clasificación de RFI's a partir de evaluaciones de consultas recopiladas en varios proyectos de construcción, como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6

Clasificaciones por tipo de RFI

Tipo RFI	Descripción
Soluciones de diseño alternativo	Soluciones de diseño alternativas enviadas al equipo de diseño / cliente para su aprobación.
Aprobaciones	Dibujos, documentos, muestras de material o información técnica presentada al equipo de diseño / cliente para su aprobación.
Aclaraciones de información	Solicitudes de información adicional o aclaraciones a la información existente, del equipo de diseño / cliente.
Confirmaciones de información	Solicitudes de confirmación de información verbal y escrita, proporcionadas de manera que no sean vinculantes contractualmente para el contratista.
Otros	RFI's emitidos por cualquier otra razón.

Fuente: Tilley, Wyatt y Mohamed (1997)

Luego, como segunda parte de su investigación, realizó un análisis de las emisiones de RFI's en dos proyectos de construcción de tamaño similar, en base a la clasificación de la Tabla 6, mostrando los siguientes resultados (Véase Gráfico 5).

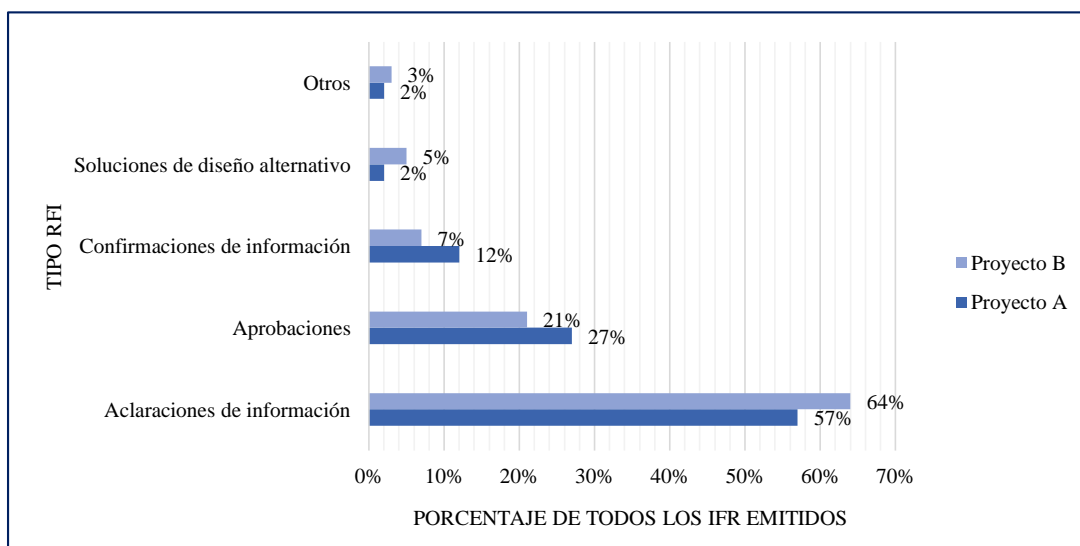


Gráfico 5. Comparación de los tipos de RFI. (Fuente: Tilley, Wyatt y Mohamed (1997))

Se muestra en el Grafico 5, que el principal tipo de RFI registrado para ambos proyectos fueron las aclaraciones de información.

De esa identificación realizada en el Grafico 5, Tilley, et al (1997), presentó nuevamente una sub clasificación, en base en las mismas consultas recopiladas, mostrando las causas de deficiencias que prevalecen en estas aclaraciones de información, dando resultado como se muestra en el Grafico 6.

Del Grafico 6, se muestra que, para ambos proyectos la cantidad de información insuficiente es mayor a la información conflictiva. Tilley, et al (1997) menciona que esto se debe, a que en ambos proyectos fueron desarrollados bajo el modelo Diseño/Licitación/Construcción.

Otra investigación realizada por Alcántara (2013) sobre la clasificación de los RFI por el tipo de consulta, en proyectos de edificación en la ciudad de Lima y desarrollados bajo el modelo Diseño/Licitación/Construcción, concluyo, según el grafico 7, que las “Deficiencias en los documentos de diseño/ingeniería” son las mayores consultas emitidas hacia el cliente

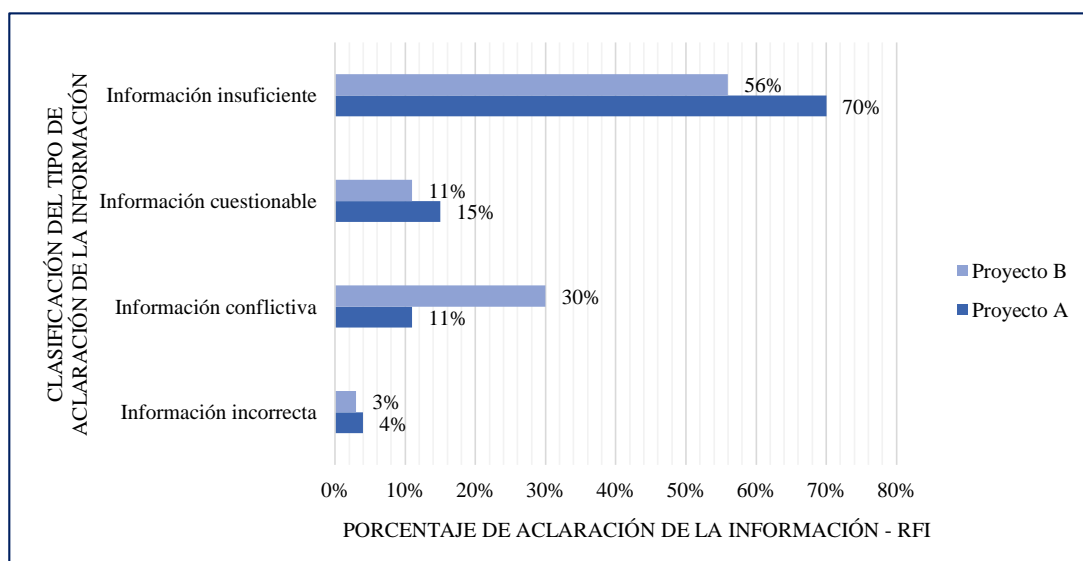


Gráfico 7. Comparación de clasificaciones dentro de las RFIs de aclaración de información (Fuente: Tilley, Wyatt y Mohamed (1997)).

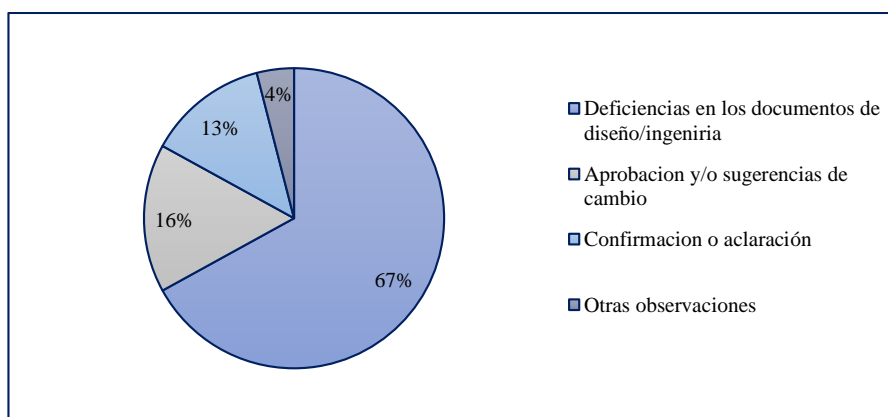


Gráfico 8. Clasificación de los RFI por tipo de consulta. (Fuente: Alcántara (2013)).

En otra investigación, Choque (2014) revisó y analizó un total de 3500 solicitudes de información de 9 proyectos de construcción, tales como oficinas, centros comerciales y supermercados, que fueron tomados como su muestra.

En dicha investigación Choque (2014) propuso una clasificación de RFI's según el tipo o naturaleza de consulta, es decir, consultas que contengan un mensaje similar a comunicar. También señala que la cantidad de RFI por cada proyecto, se debe a distintos factores como el tamaño del proyecto, el tipo de contratación adoptada, el grado de complejidad del proyecto, entre otros.

En el Gráfico 8 se muestra la clasificación y los resultados obtenidos según Choque (2014):

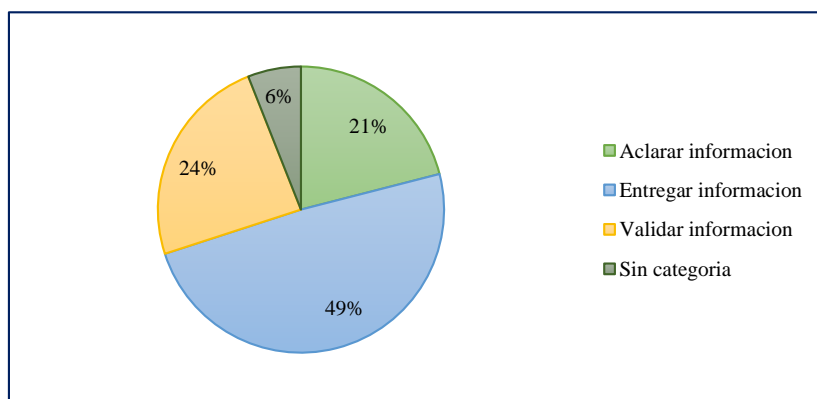


Gráfico 9. Clasificación de consultas según naturaleza de los RFI's (Fuente: Choque (2014)).

Por lo tanto, los RFI son buenos indicadores que nos permitirán evaluar la calidad del diseño y ver si se desarrolló correctamente la documentación para la construcción.

2.2.4. Gestión de la información en la construcción

La industria de la construcción posee una serie de características propias que la hacen muy diferentes a otros sectores industriales, entre ellas destaca la cantidad de agentes que intervienen en el proceso constructivo y la gran cantidad de información que se genera y que

se necesita comunicar a los involucrados a través de todo el ciclo de vida del proyecto. (Martínez, Marín y Vila, 2013).

Martínez, Marín y Vila (2013), mencionan que la complejidad de los proyectos de construcción conlleva que cada uno de ellos sea diferente, único y singular, lo que hace más difícil la toma de decisiones, lo que genera claramente la necesidad de disponer de sistemas que aporten la información necesaria a los involucrados en cada momento. En ese sentido, una adecuada gestión de la información, juega un rol muy importante en el sector de la construcción.

2.2.4.1. Definición de gestión de la información

La necesidad de mejorar el trabajo colaborativo, el intercambio de conocimientos, la eficacia operativa y tratar de tomar la decisión correcta, ha hecho que la Gestión de la Información sea una prioridad cada vez mayor para las organizaciones de la industria de la construcción (Sheriff, 2012).

Para Bustelo y Amarilla (2001), citado en Landa (2002), mencionan que la Gestión de información se puede definir como: *“el conjunto de actividades realizadas con el fin de controlar, almacenar y, posteriormente, recuperar adecuadamente la información producida, recibida o retenida por cualquier organización en el desarrollo de sus actividades”* (p. 13).

La gestión de la Información es el proceso de recopilación, almacenamiento, gestión y mantenimiento de la información en todas sus formas, tanto física como digital. La gestión de la información es un término que incorpora políticas y procedimientos para gestionar y compartir información de manera centralizada entre diferentes personas, organizaciones y/o sistemas de información a lo largo del ciclo de vida de la información.

Para Sheriff (2012), la gestión de la información proporciona los medios para mejorar la gestión de los proyectos, la coordinación entre los involucrados, la reducción de tiempo y los costos de los proyectos.

El desafío de la gestión de la información, según Fustamante (2014), está básicamente enfocado ahora a: (i) la reducción de las necesidades de procesamiento de la información y (ii) al aumento de la capacidad de procesamiento de la información en la organización

2.2.4.2. El intercambio de la información en la industria de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC)

La información en proyectos de la AEC, es creada partir del comienzo de la planificación de los proyectos y se desarrolla continuamente durante el diseño, la ingeniería de detalle y la

construcción (Berdillana, 2008). El intercambio de la información es entonces intensivo durante todo el proceso del ciclo de vida del proyecto. Berdillana (2008) menciona que la información y el intercambio de conocimientos entre los diseñadores y los contratistas se han basado principalmente en documentos en papel. Estos documentos vienen en forma de dibujos a través de planos, especificaciones técnicas, fichas técnicas de materiales, metrados, etc.

2.2.4.2.1. Necesidades de automatización y visualización

Para Berdillana (2008), los esfuerzos involucrados en la generación de información de los datos necesarios en el actual sistema basado en papel, causan una gran cantidad de superposición, repetición, sujeto a errores y añaden poco valor al trabajo. Lo mismo ocurre con la recopilación, almacenamiento, recuperación y comunicación de la información y, por tanto, la transmisión de conocimientos registrados. Los avances tecnológicos permitirán la automatización de estas tareas, la reducción del esfuerzo comprendido en la generación de información y mejorar el intercambio dentro de la industria de la AEC.

Según Berdillana (2008), se necesita mucho razonamiento acerca de cómo debería ser los elementos diseñados y construidos debido a la naturaleza implícita de la información, cuyo contenido debe ser interpretado por personas desde documentos en formato de papel, es decir, planos y especificaciones técnicas.

2.2.4.3. Procesos y Flujos de Información tradicionales

Los proyectos de construcción son cada vez más complejos, dinámicos e interactivos, lo cual, obliga a los administradores de obra y gerentes de proyectos a acelerar en la toma de decisiones (Saldias, 2010). Tal es así, que para Carrillo (2004), mencionado en Saldias (2010, p. 11), la información es uno de los recursos más importantes para contribuir en la toma de decisiones administrativas y para mejorar la ventaja competitiva de las organizaciones que llevan a cabo proyectos de construcción.

La información es un recurso que siempre está fluyendo de una etapa a otra y entre disciplinas. Una buena gestión de la información significa optimizar los procesos que ocurren entre los participantes del proyecto y entre las etapas de este (Saldias, 2010). Para Saldias (2010), existen dos tipos de flujos de información:

- Flujo de información en el ciclo de vida del proyecto
- Flujo de información entre involucrados del proyecto

2.2.4.3.1. Flujo de información en el ciclo de vida del proyecto

En cada etapa del proyecto se produce y utiliza información, que a la vez se remite o transmite a las otras etapas. Saldias (2010) señala que hay distintas formas en que la información es transferida, dependiendo del tipo y complejidad y envergadura del proyecto, del contexto en que este (según riesgo y objetivos se definirá el tipo de entrega y el tipo de contrato), entre otras.

Se puede observar en la Figura 31 cómo se comporta la información a través del ciclo de vida del proyecto.



Figura 31. Flujo de Información en el ciclo de vida de un proyecto (Fuente: Saldias, R. (2010)).

Por ejemplo, para un proyecto de construcción de una planta industrial, la información que generalmente se transmite/remite durante el ciclo de vida del proyecto es la siguiente:

- En la etapa de diseño, el proyectista (arquitecto o ingeniero) interpreta las necesidades y objetivos del cliente, plasmándolas en adecuados espacio y formas, definiendo los elementos que se utilizarán junto con la posición y forma de estos. Luego, las distintas especialidades se involucran para determinar los tipos de material a utilizar (información de diseño), datos que se plasman en planos y especificaciones técnicas que luego se transmiten a la etapa de construcción, a la de operación (o en el que caso que se quiera hacer algún tipo de mantenimiento) o a la de demolición.
- En la etapa de construcción al cliente le interesa la información de la duración y del costo real de la obra, de la calidad de la infraestructura, de las especificaciones de los equipos instalados, etc. (Información de Construcción). Por otro lado, los planos As-built es información que se transmite a las etapas de operación y de demolición, los dossiers de calidad, las solicitudes de información (RFI), información que se transmite a diseñadores, proyectistas, etc.

- En la etapa de la operación y/o mantenimiento se necesita información de, por ejemplo: modificaciones de diseño que se hayan hecho a la infraestructura en la etapa de construcción, etc. para realizar reparaciones a las diferentes estructuras y así, generar más información de la operación y el mantenimiento de la infraestructura (Información de Construcción).
- En la etapa de demolición/deconstrucción se necesita información de los cambios hechos, si se construyó con material prefabricado (para una posible reutilización), de las cantidades de obra (para evaluar el costo en el transporte de los desechos), calidad del material utilizado y el diseño estructural de la infraestructura (para evaluar la necesidad de utilizar explosivos y de que tipo), etc.

2.2.4.3.2. Flujo de información entre involucrados del proyecto

Las relaciones y los vínculos entre los distintos actores (stakeholders) y, por ende, los procesos y flujos de información entre estos, también dependerán del tipo de proyecto y la estrategia contractual definida por el cliente o la entidad (Saldias, 2010).

Los involucrados (directos o indirectos) en un proyecto de construcción en general son el cliente, proyectistas: arquitectos, ingenieros y especialistas de eléctricas, aguas y otras, fabricantes, proveedores, constructores (contratista y subcontratistas), supervisores, inspectores, usuarios y entidades externas (instituciones financieras, reguladoras y normativas), y la comunidad en general.



Figura 32. Flujo de Información entre actores del proyecto
(Fuente: Saldias, R. (2010)).

El cliente o entidad crea y desarrolla un proyecto en función de las necesidades de los usuarios (información de mercado). Luego, les comunica estos requerimientos a los proyectistas (arquitectos e ingenieros) quienes elaboran planos y especificaciones que son transferidos al contratista general quien construye el proyecto en base a estas especificaciones, y el cual interactúa además con proveedores, fabricantes y subcontratistas.

Por otro lado, el cliente contrata a una supervisión de obra, quien controla y supervisa la construcción de tal forma que cumplan los requerimientos de calidad establecidos por el cliente (apoyado en los proyectistas).

El gobierno (o agencia privada) define normativas o estándares que deben cumplir los distintos participantes.

Por último, la comunidad puede establecer ciertas restricciones al propietario en un proyecto, en particular en aquellos de gran impacto ambiental y social, como, por ejemplo, la construcción de centrales hidroeléctricas.



Figura 33. Coordinación tradicional entre especialistas (Fuente: Mourgues, C. (2016)).

2.2.4.4. Problemas de documentación, información y comunicación

2.2.4.4.1. Comunicación y Coordinación

Dada la complejidad y magnitud de los proyectos, la información generada en torno a ellos es cada vez más abundante. La información producida por muchas fuentes y por distintos niveles de detalle, contribuyen a la desintegración de la industria. Por tanto, la comunicación y coordinación entre estos, son clave para hacer posible una eficiente construcción.

Las organizaciones que emprenden múltiples proyectos de construcción o incluso solo un proyecto de alta complejidad, pueden enfrentar ineficiencias en la comunicación que crean innecesarios y costosos retrasos. Aunque algunas organizaciones racionalizan exitosamente la comunicación de la información del proyecto en forma interna, todavía luchan para comunicar la información eficazmente con el equipo externo del proyecto.

Flujos de información inadecuados, descentralizados y basados en el papel contribuyen a los múltiples desafíos que a menudo afligen a los proyectos de construcción.

Una encuesta realizada en el año 2007 por la FMI/CMAA concluyó que la pobre comunicación entre organizaciones es la principal causa de los múltiples problemas ocurridos durante el ciclo de vida del proyecto y tiene el mayor impacto en el costo, la duración, el alcance del proyecto y la calidad de este.

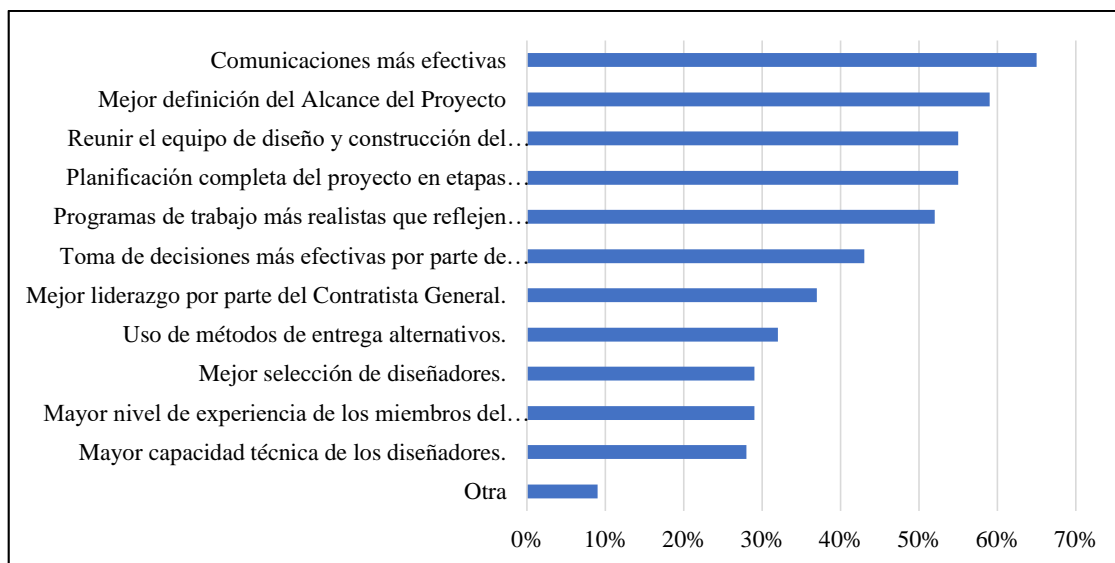


Gráfico 10. Causas de los problemas más frecuentes en un proyecto de construcción. (Fuente: CMAA/FMI (2007) citado en Saldías (2010)).

La complejidad del problema de la comunicación no solo reside en el tipo de proyecto, sino que en la misma naturaleza de estos. Incluso el proyecto de construcción más básico requiere que la información fluya dentro y entre las organizaciones. Internamente ejecutivos, gerentes de proyectos, financistas y el área legal crean, revisan, administran y aprueban documentos relacionados con el proyecto. Una vez que el proyecto está completado, estas organizaciones también deben administrar, operar y mantener las instalaciones, donde necesitan información que incluye planos as-built, plantas de espacios, especificaciones de equipos, garantías, etc. por otro lado gestionar la información del proyecto en forma interna es solo mitad de la batalla. Muchas organizaciones encuentran más difícil asegurar una comunicación efectiva entre las demás organizaciones involucradas en el proyecto.

Un proyecto demanda comunicaciones externas con clientes, entidades de gobierno, ingenieros, consultoras, constructores, subcontratistas, abogados, inversionistas, proveedores y muchos más.

Comunicación interna – problemas de interpretación

En la Figura 34, el administrador de obra (1) está explicando a los integrantes de la oficina técnica, el programa de trabajo semanal y cada receptor interpreta la información en forma

distinta, al estar cada uno preocupado de lo que debe hacer: del Control de Costos (2), de Producción (3), del contrato de los subcontratistas (4) y el de la Logística e información geoespacial.



Figura 34. Coordinación tradicional entre especialistas. (Fuente: Saldias, R. (2010)).

Cabe destacar en la Figura 34, la utilización del papel para comunicar y la presencia “física” de las personas, probablemente en muchos años esta reunión será distinta y en algunos proyectos actuales ya lo es: reuniones virtuales utilizando modelos 3D y 4D para comunicarse.

Comunicación externa – problemas de entendimiento entre los participantes del proyecto

Los profesionales de la construcción utilizan planos, especificaciones en papel, diagramas Gantt, etc. para predecir, entender y comunicar al alcance y el desempeño de sus proyectos. Esta forma de trabajo no es la más eficaz para planificar, controlar y coordinar las actividades, en particular en proyectos de gran envergadura que contienen mucha información y proyectos complejos, donde existen muchas iteraciones y modificaciones en su diseño, cambios que se desarrollan incluso en la etapa de construcción causando costos cuantiosos para el cliente.

Con estas herramientas (planos, especificaciones en papel, etc.), existe un difícil entendimiento entre el Cliente con los demás actores, quien aprueba el diseño. Esto produce incertidumbre en todas las fases siguientes del proyecto.



Figura 35. Comunicación con actores no técnicos
(Fuente: VICO Software (2009) citado en Saldias (2010)).

2.2.4.4.2. Incertidumbre de los profesionales respecto al alcance y desempeño del proyecto durante su ejecución

La cantidad de información con la que cuenta un proyecto y la forma en la que se encuentra representada y organizada influye directamente en la incertidumbre existente en el proyecto. En la actualidad, el conocimiento del alcance del proyecto se basa en la interpretación de planos y especificaciones técnicas. Ambos tipos de documentos pueden presentar incongruencias entre sí y llevar a cometer errores, por ejemplo, en las cubriciones. El arquitecto crea en su mente una imagen del proyecto que quiere desarrollar y de esa imagen extrae los planos y especificaciones. El constructor recibe estos documentos y construye en su mente una nueva imagen del proyecto que generalmente no coincide con la imagen pensada por el arquitecto.

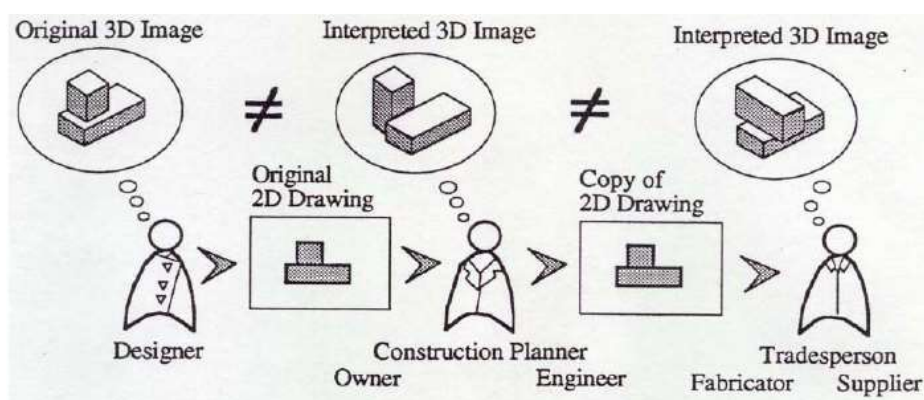


Figura 36. Distintas interpretaciones del producto a construir por parte de actores del proyecto. (Fuente: Saldias, R. (2010)).

Este es un riesgo que es preferible evitar para reducir el número de imprevistos que se generan durante la ejecución de la obra. Generalmente, la incertidumbre implica una variabilidad en los procesos de construcción, lo cual, según la filosofía “Lean Construction”,

una aparición de pérdidas en el proyecto. Información de calidad (disponible, confiable, transparente, exacta, etc.) más el uso de herramientas predictivas de análisis son importantes para reducir estos riesgos.

2.2.4.4.3. Disponibilidad y confiabilidad de la información del proyecto

Gran parte de los proyectos no cuentan con un almacén central de datos donde se organice y ordene la información de tal forma que cualquier profesional pueda acceder en forma rápida e información confiable. La información no está concentrada en un solo lugar, sino que aparece en distintos sitios y generalmente con inconsistencias, causando, por ejemplo, retrasos para gestionar los pedidos: no saber que pedir, cuanto pedir, ni cuando hacerlo o hacer juicios apresurados y erróneos. Todo esto se refleja en demoras, baja calidad y costos extras.

La poca precisión de la información le resta confiabilidad a los procesos que ocurren en la construcción, principalmente en materias relativas a las distintas cantidades y costos reales de la obra.

2.2.4.4.4. Consistencia en la documentación

Como se ha comentado anteriormente, en un proyecto de construcción, particularmente en los complejos y de gran envergadura, se producen cambios constantes, que generan inconsistencias en la documentación. Actualmente se utiliza el papel como medio para capturar e intercambiar información entre los participantes del proyecto. Este proceso es engorroso y contribuye a que aumente la probabilidad de error en la transmisión de información. Ante cambios, la información del proyecto no se actualiza rápida y eficazmente en todos los documentos involucrados, además los profesionales involucrados pierden confianza en la información brindada.

Para mejorar la consistencia en la documentación es necesario estandarizar los procesos constructivos y administrativos. Según estudios relacionados con la filosofía “Lean Construction”, con procesos consistentes se tiene una menor variabilidad y con esto una mayor productividad en los trabajos y mejores planificaciones con lo que se controlarán mejor los riesgos y se reducirán los costos del proyecto.

2.2.4.4.5. Calidad del proceso de toma de decisiones

En la actualidad los profesionales de la construcción toman la mayoría de sus decisiones durante la etapa de construcción del proyecto. Existe poca cultura para desarrollar un trabajo

multidisciplinario anterior a la ejecución del proyecto donde se converse de los posibles problemas, se hagan análisis de constructibilidad y donde se puedan desarrollar escenarios “que pasaría si”, previo a la construcción, necesario para tomar decisiones eficientes en el futuro.

Por otro lado, Alarcón y Pávez (2006), citado en Saldias (2010), mencionan que muchas veces los profesionales no cuentan con la cantidad y calidad de información necesaria para tomar decisiones correctas y rápidas, los administradores de proyectos tienen muchas interrupciones y a menudo deben atender requerimientos urgentes (tiempo dedicado a “apagar incendios”) que les impide terminar su propio trabajo (Saldias, 2010).

2.2.4.5. Innovación tecnológica en la construcción

La industria de la construcción en general se encuentra rezagada con respecto a: el nivel tecnológico alcanzado en otros sectores de la industria; el nivel tecnológico alcanzado en la investigación tanto en productos de construcción y técnicas constructivas, así como; el uso de herramientas tecnológicas que permiten ser más productivos. Ghio y Bascuñán (2012) aseguran que son diversos los factores que influyen en la lentitud en que se adoptan los nuevos avances tecnológicos en nuestro medio. Entre los factores más comunes, Ghio y Bascuñán (2012) mencionan que: (i) las empresas constructoras son altamente conservadoras y adversas al riesgo; (ii) hasta la fecha estas no han encontrado la necesidad de mejorar sus procesos ya que la rentabilidad que han obtenido los ha satisfecho, (iii) sus competidores son también altamente conservadores.

Estos factores generan una cierta inercia de la industria de la construcción ante cambios y la modernización. Así pues, son pocas las empresas que perciben las innovaciones tecnológicas como oportunidades poderosas de generar negocios.

2.2.4.5.1. Necesidad de innovación tecnológica: sector construcción vs. otros sectores productivos

En otras industrias, así como la industria manufacturera, por ejemplo, los conceptos de gestión han tenido un gran auge, debido al efecto que estas han tenido en la reducción de costos, reducción substancial en esfuerzo humano, y una importante reducción en plazos para desarrollar un nuevo producto. Adicionalmente, estos conceptos han puesto un fuerte énfasis en la mejora de la calidad de los productos. Por lo tanto, en la actualidad se han hecho muy populares y con mucha aceptación filosofías como: Calidad Total, “*Just in Time*”, Mejoramiento Continuo, “*Lean Production*”, etc. Pese a que en la industria de la

construcción también se ha hecho necesario mirar a estos conceptos, todavía no se ha alcanzado el nivel de desarrollo como de otras industrias.

En la actualidad, la construcción presenta un estado bajo en la aplicación de nuevos conceptos de gestión de producción y son escasos los intentos de implementación.

2.2.4.5.2. Condiciones que favorecen la utilización de tecnologías innovadoras

El contexto socioeconómico que atraviesa el Perú en la actualidad presenta diversas condiciones favorables para el desarrollo, adaptación e introducción de tecnologías innovadoras en el sector de la construcción.

Para el MEF, en sus informes económicos, el Perú está atravesando un periodo de crecimiento sostenido, el que se ha manifestado claramente en la construcción. Adicionalmente, se puede apreciar que la industria de la construcción en Perú enfrenta nuevos desafíos entre los que figuran, el incremento de la competitividad a través de la apertura de mercados internacionales, el incremento en la complejidad de los proyectos, mayores exigencias en la calidad, y la demanda por reducir los plazos de ejecución en los proyectos, la existencia en otros países de herramientas tecnológicas más avanzadas que la que se utiliza en la mayoría de los proyectos locales, entre otros, han creado un clima adecuado para la introducción de tecnologías innovadoras en la industria de la construcción.

2.2.4.5.3. El Impacto de la tecnología en la construcción

La innovación y la tecnología modifican la forma de vivir y trabajar de la población mundial. Lo confirma la acelerada evolución de las computadoras, como el uso de dispositivos móviles de potente capacidad, que nos han impactado de manera impensable hasta hace dos décadas. (Arcus Global, 2017).

Por su naturaleza, la construcción es una industria donde se registra un menor nivel de innovación o aprovechamiento de la tecnología que en otros sectores productivos. (Arcus Global, 2017).

A pesar de que nuestro sector no es de los más dinámicos, la innovación avanza. En Marcus Global (2017), citan algunos ejemplos:

- Los dispositivos móviles, teléfonos y aplicaciones impactan la construcción de obras a nivel latinoamericano. Su facilidad para comunicarse, transmitir fotografías, videos e información geo-referenciada de forma fácil, instantánea y con costos no tan elevados, han revolucionado los procesos.

- A nivel mundial, se están usando cada vez más los drones para planear y coordinar el uso de maquinaria pesada, equipada con dispositivos de geo-localización que ayudan a la planeación, control y eficiencia de las obras.
- Las impresoras 3D empiezan a impactar a la construcción, en gran medida a nivel experimental.
- Scanner láser que permiten levantamientos 3D muy precisos, rápidos y de bajo costo.
- La supervisión y control de obras se han transformado por la tecnología, permitiendo la gestión y la toma de decisiones oportunas con sistemas basados en información ejecutiva que se mantiene vía internet en base de datos remotas, como es La Nube, y permiten manejar cientos de obras si se requiere, generando información agregada y resumida, o tan detallada como se desee.

Es por estas tecnologías que la economía y los mercados globales evolucionan de manera vertiginosa, y los países que no estén preparados e innoven en sus procesos, se rezagaran cada vez frente a los países más desarrollados. Por ello y ante la necesidad de avanzar en la Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i) en el sector de la construcción, en Latinoamérica, la Federación Internacional de la Industria de la Construcción (FIIC) estableció en el 2010 INCONET (Red Latinoamericana de Centros de Innovación Tecnológica).

La misión de la Red es generar a través de las Cámaras miembros de la FIIC una instancia permanente de colaboración entre las distintas entidades interamericanas dedicadas a la Investigación, Desarrollo, Innovación (I+D+i) y Transferencia Tecnológica en el sector de la construcción, con el fin de mejorar la competitividad de la industria de la construcción a nivel regional y local (Corporación de Desarrollo Tecnológico - CChC).

INCONET ha definido 5 áreas estratégicas donde se concentran los principales intereses de los países en cerrar brechas en el campo de la tecnología aplicada a la construcción, para permitirles crecer competitivamente de manera importante

- El uso de las TIC (Tecnologías de la Información y Comunicación) en la construcción
- Construcción Sustentable
- Financiamiento a la I+D+i
- Pymes
- Planificaciones y Gestión de Proyectos de Construcción

2.2.4.5.4. Oportunidad de las TIC para mejorar los problemas del sector construcción

Las oportunidades para elevar los niveles de productividad en la industria AEC, en particular en la fase de diseño, aún no han sido aprovechadas. El diagnóstico presentado en los párrafos anteriores, muestran los grandes problemas que padecen los proyectos de construcción.

En ese sentido, las TIC se presentan como una poderosa herramienta, que puede contribuir de manera decisiva al despegue de la industria. Sin embargo, este aprovechamiento tiene que ir acompañado de una estrategia de implementación que permita aprovechar al máximo el verdadero potencial. Actividades muy importantes, como el diseño y la planificación, que tienen un incidencia directa y decisiva sobre la construcción, pueden ser ampliamente mejoradas con la incorporación de nuevas herramientas tecnológicas como los modelos BIM.

Saldias (2010) menciona que las TIC se muestran como el paso natural a seguir en las industrias y sectores que desean obtener competitividad. Las oportunidades de mejorar los procesos en la industria de la construcción mediante la implementación de las TIC se resumen en la siguiente tabla elaborada por Saldias (2010).

Tabla 7

Oportunidades de mejora en la construcción con las TIC

Dimensión	Valor		
	Eficiencia	Efectividad	Estratégico
Tiempo	Acelera tareas al usuario	Elimina flotamiento de información	Establece servicio al cliente en forma oportuna
Distancia	Mejora escala para mirar con perspectiva	Presenta puerta única de acceso	Alcanza presencia global
Relaciones	Altera rol de intermediarios	Permite hacer mirco marketing para mirar detalles	Crea dependencia de los usuarios
Interacción	Hace uso de retroalimentación del usuario	El usuario controla el nivel de detalle	Comunidad en línea
Producto	Automatiza tareas usando agentes de software	Proporciona herramientas de apoyo a decisiones en línea	Combina información, productos y servicios
Información	Almacenamiento y manejo de grandes volúmenes de datos.	Identificaciones de patrones “ocultos”	Prever situaciones y necesidades

Fuente: Saldias 2010

El objetivo principal de la mayoría de las aplicaciones TIC, es acercar a cada uno de los integrantes de las diversas etapas del proyecto, colaborando y compartiendo información. Un modelo central de información puede reducir considerablemente los flujos de información entre actores del proyecto. En la Figura 30 la misma información es ingresada en promedio 7 veces en diferentes sistemas (Rischmoller, 2011).

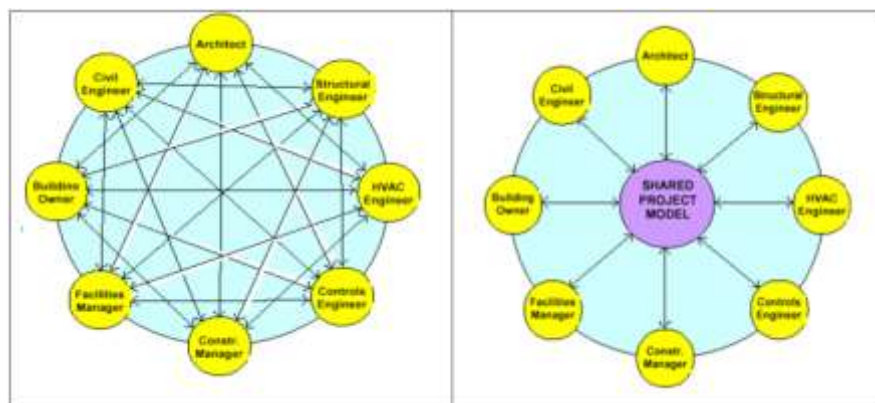


Figura 37. Flujo de información basado en un esquema de trabajo tradicional (izquierda) y trabajo integrado (derecho). (Fuente: Saldías (2010)).

2.2.5. Tecnologías de la información y comunicación

2.2.5.1. Concepto de Tecnologías de la Información y Comunicación

Es necesario establecer que las tecnologías de la información y comunicación (TIC) se entienden, como lo mencionan Almonacid, Navarro y Rodas (2015), son aquellas herramientas y métodos empleados para recabar, retener, manipular y/o distribuir información.

En general, las TIC son asociadas al uso de computadoras (Hardware) y de programas (Software) que vendrían a ser solo parte de las herramientas que componen a las TIC (Saldías, 2010).

Para Almonacid et al. (2015) estas tecnologías disponen de nuevas capacidades para tratar la información como son:

- Su gran capacidad para almacenar enormes cantidades de información. Esto cambia el papel tradicional del simple almacenamiento independiente por cada área de trabajo digitalizada.

- Las nuevas formas de comunicación entre los individuos, las redes de comunicación y telemática posibilitan el intercambio de información entre ordenadores de un modo eficiente y transparente, rompiendo los obstáculos espaciales y temporales que en otras épocas eran impensables.
- La capacidad de tratamiento de la información, y no solo textuales, sino de otros sistemas de símbolos, hoy muy arraigados en la vida cotidiana como son los lenguajes audiovisuales, multimedia, hipertexto, etc.

Hoy en día, los sistemas de información juegan un papel primordial en la vida de las empresas, ya que ayudan a mejorar procesos, reducir tiempos (hora/hombre) y ayudan a centrarse en tareas que agreguen valor. Esto es muy diferente al simple procesamiento de datos u obtención de los mismos, pero la función principal y que puede ser más palpable por la administración de la empresa es la de tener información fiable e inmediata, es decir, a tiempo y que sea de calidad.

El impacto de estas tecnologías es tan poderoso que se afirma que estamos en un nuevo periodo o etapa de la civilización humana: la llamada Sociedad de la Información y del Conocimiento, que sería, la revolución hacia el mundo digital.



Figura 38. El advenimiento de la sociedad de la información. (Fuente: Almonacid et al. (2015)).

2.2.5.2. Aplicación de las Tecnologías de la Información y Comunicación

Las tecnologías de la información y comunicación están presentes en todos los niveles de nuestra sociedad actual, desde las grandes corporaciones multinacionales, a las pymes, gobiernos, administraciones, universidades, centros de formación, empresas constructoras, biomedicina, profesionales y particulares.

La aplicación de las TIC a todos los sectores de la sociedad y de la economía mundial ha generado una serie de términos nuevos como, por ejemplo, e-business y e-commerce

(negocio y comercio electrónico), e-learning (formación a distancia), e-work (teletrabajo), e-mail (correo electrónico), entre otros.

2.2.5.3. Las TIC en el sector de la Construcción

La sociedad de la información y la revolución digital no es ajena al sector de la construcción, estas son aplicadas en las áreas administrativas, logísticas, contabilidad, diseño y construcción, ejemplo de ello son los sistemas ERP, sistemas de abastecimiento para la construcción, sistemas VDC, tecnología BIM, entre otros. Las TIC contribuyen a lograr que el sector sea más rentable, sólido y dinámico (Autodesk).

Estas tecnologías están estrechamente relacionadas con tres elementos principales:

- Personas
- Herramientas
- Procesos

Las TIC han sido adoptadas masivamente por la industria de la construcción y el problema no radica en los componentes (personas, procesos y herramientas), si no en los vínculos, interacción e integración de estos (Saldias, 2010).

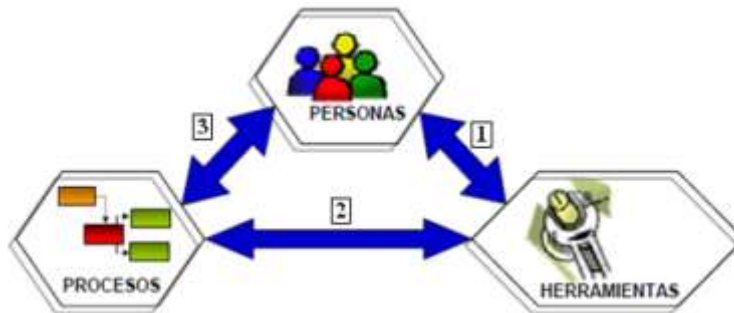


Figura 39. Componentes de las TIC. (Fuente: Saldias (2010)).

- Las personas: es un factor principal, ya que el equipo de trabajo y la cultura organizacional de una empresa deberán estar alineados a la flexibilización de los nuevos procesos de trabajo, presta a los cambios.
- Herramientas: el uso de software mejora la fluidez con la que se desarrollan los procesos de trabajo.
- Procesos: Desarrollo de nuevos procesos de trabajo, reingeniería de métodos de trabajos, nuevas metodologías.

Las tecnologías de la información y comunicación son más que el uso de un software, estos tres elementos se integran de manera que las TIC implementadas en las organizaciones tengan éxito y se mantengan en el tiempo (Almonacid, 2015).

Colwell (2008) elaboro un estudio basado en opiniones de expertos en dirección de proyectos y en su propia experiencia, logrando identificar las siete herramientas TIC más influyentes para la industria de la construcción, los cuales son mostrados en la Tabla 8. Así mismo, el estudio también identifica los beneficios de las herramientas TIC en las diversas fases de los procesos de diseño y construcción.

Tabla 8

Herramientas TIC más influyentes en la construcción

Nº	Herramientas TIC	Peso (%)
1	Software de Gestión de Proyectos	85
2	Modelado 3D y 4D	77
3	Computación móvil	73
4	Software para planeamiento y programación de obras	71
5	Sistemas ERP	66
6	Hojas de asistencia web	38
7	RFID y código de barras	32

Fuente: Saldias 2010

En ese estudio, Colwell identifico al modelado 3D y 4D como una de las herramientas TIC que pueden ser aplicados a la construcción dando beneficios y mejoras en la administración de: la programación, planeamiento del trabajo, calidad, seguridad y comunicación. Colocándose en el segundo componente TIC más influyente para la industria de la construcción con respecto a su aporte como herramienta de productividad.

Hoy en día, la aplicación de las herramientas TIC es crucial e influyen en gran manera en lograr el éxito de los proyectos de construcción, ya que reducen el tiempo de trabajo y los errores humanos (Fustamante, 2014).

2.2.5.4. Diseño y Construcción Virtual - VDC

El termino *Virtual Design and Construction* (VDC) fue introducido por el Centro para la Ingeniería de la Construcción Integrada (*Center for Integrated Facility Engineering - CIFE*) de la Universidad de Stanford en el año 2001. Según Kunz y Fischer (2012) definen a VDC como: “*El uso de modelos virtuales integrados, funcionales y multidisciplinarios de*

producto, organización y procesos de diseño y construcción para apoyar explícita y públicamente objetivos de negocios”.

Los modelos VDC son virtuales porque muestran descripciones del proyecto en el computador. El modelo de proyecto VDC enfatiza los aspectos del proyecto que pueden ser diseñados y gestionados, los cuales incluyen: el producto (infraestructura), la organización que van a definir, diseñar, construir, y operar ese producto y los procesos que los equipos de las organizaciones van a seguir. Estos modelos son lógicamente integrados en el sentido de que todos pueden acceder a una información compartida de datos y si un usuario resalta o cambia un aspecto de uno de estos modelos, los demás modelos cambian también.

Los modelos son multidisciplinarios en el sentido que representan la Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC) y Cliente/Propietario del proyecto.

Los modelos son funcionales en el sentido que predicen algunos aspectos del funcionamiento del proyecto y pueden mostrar rendimientos predictivos y cuantificados para lograr los objetivos del proyecto.

Las aplicaciones VDC abarcan todo el ciclo de vida de los proyectos, desde etapas muy tempranas de estudios a nivel de diseño conceptual, pasando por el diseño detallado, construcción y, finalmente, operación y mantenimiento de la infraestructura.

EL concepto VDC, define y alinea las metas de un proyecto, así como contribuye a la reducción de recursos innecesarios de tiempo, capacidad e inventarios, a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto; y así contribuir a la reducción de costos y tiempos sin comprometer estándares de calidad, niveles de prevención de riesgos y cuidado del medio ambiente.

Esta metodología se apoya en la gestión integral del proyecto a través de la construcción digital con un modelo BIM, la gestión de los procesos y la producción, la gestión de la interacción entre equipos multidisciplinarios a través de sesiones de trabajo de Ingeniería Concurrente Integrada (ICE) y el uso de indicadores de desempeño.

Pilares fundamentales de VDC, según Fustamante (2014):

- Gestionar la evolución del producto final a través del BIM.
- Gestionar procesos y producción.
- Gestionar la organización del proyecto y la interacción entre equipos multidisciplinarios.

- Gestionar la ejecución del proyecto por objetivos a través de indicadores de performance.

2.2.6. BIM

2.2.6.1. El término BIM

BIM, son las siglas de *Building Information Modeling*, que traducido al español es Modelado de Información del Edificio o Modelado de Información para la Construcción, siendo esta última traducción la que se tomara en cuenta para el desarrollo de la presente investigación. Pero, ¿qué es exactamente BIM?

2.2.6.2. Antecedentes del BIM

Antes de llegar al concepto general de la metodología BIM, primero explicaremos la diferencia entre el método de diseño tradicional basado en el sistema CAD y el nuevo proceso de trabajo llevado a cabo con el sistema BIM.

2.2.6.2.1. Los sistemas CAD y BIM

Los sistemas CAD y BIM son métodos de diseño completamente diferentes. La principal diferencia es que ambos tienen maneras distintas de desarrollar un proyecto (Graphisoft, 2018).

- **¿Qué es CAD?**

El CAD son las siglas de *Computer Aided Design* o diseño asistido por computador. Se trata de la tecnología implicada en el uso de ordenadores para realizar tareas de creación, modificación, análisis y optimización de un diseño (WordPress, 2013).

Según Farratell (2010), el CAD es un conjunto de herramientas 2D, que se basan en líneas, arcos y círculos, y también en herramientas 3D para añadir superficies y sólidos, a los que podemos asociar un nombre, un color, una capa, etc. En resumen, tenemos una mesa de dibujo virtual.

El CAD fue una revolución, puesto que se pasó del tablero de dibujo tradicional a un entorno de dibujo digital (Pacheco, 2017). Todas las funciones básicas que ofrece el CAD están inspiradas en el uso del tablero de dibujo tradicional (Chanes, 2018). Se basa en el hecho de que pasamos a realizar, los mismos dibujos que realizábamos a mano, prácticamente con los mismos criterios, pero ahora asistidos por un ordenador (Albornoz, 2017).

Con este sistema se puede trabajar realizando representaciones en 2D o 3D, y gracias a ello, permite el diseño y la realización de la documentación gráfica del proyecto (Montilla, 2017), que luego son plasmados a los planos.

Para Montilla (2017) las herramientas del sistema CAD imitan el proceso tradicional del lápiz y papel, como dibujar líneas, trazos y hacer textos, pero con mayor precisión. Hacer un *hatch*, un *offset* o un *trim* es una forma más ágil y exacta de hacer lo mismo que haríamos a mano, pero en este caso con las herramientas CAD (Albornoz, 2017).

Esta tecnología, que permite trabajar en 2D y 3D, también es usado tanto en el sector de la construcción como otros sectores industriales (Graphisoft, 2018).

- **¿Qué es BIM?**

Se podría decir que BIM también es un CAD, ya que también se diseña a través de un ordenador, pero es un CAD más avanzado, en el sentido que, ahora, ya no solo se dibuja para representar objetos del diseño, como líneas y arcos, sino que ahora se modela con elementos virtuales para simular la construcción de un edificio. Todo esto, gracias a que los sistemas BIM tienen integrado una base de datos de todos los elementos virtuales del edificio, como son las zapatas, muros, columnas, losas, escaleras, puertas, ventanas, etc.

El trabajo con BIM, centra el proceso en crear un modelo virtual del edificio, que se encuentra vinculado a una base de datos con la información de la construcción, modificando de manera recíproca los cambios que se produzcan tanto en el modelo como en la base de datos (Montilla, 2017).

Por medio de este sistema BIM, una vez generado el modelo virtual del edificio con su base de datos compuesta por elementos que imitan el proceso constructivo, se pueden obtener de una manera sencilla los planos y las mediciones (Montilla, 2017).

Para Gómez (2018) el edificio virtual es el núcleo y es el comienzo de todo lo que se refiere a BIM, puesto que todo arranca con un modelo 3D.

2.2.6.2.2. Evolución del CAD al BIM

Según Tur (2014), la evolución de la tecnología es la responsable de los cambios en las herramientas de trabajo. A finales de los años 90 el CAD fue sustituyendo a las mesas o tableros de dibujo, y con ello a sus instrumentos tradicionales, como la regla, el lápiz, la escuadra, el escalímetro, etc. (Tur, 2014 y Díaz, 2013), hasta convertirse en la herramienta profesional fundamental e imprescindible más extendida y conocida en el sector

construcción. Para Tur (2014) su éxito se debió mayormente por la popularización de los ordenadores y las impresoras, además de su similitud con la forma de trabajo anterior.

El BIM supone un avance respecto del CAD, ya que pese haber sustituido el papel por la pantalla, el diseño en CAD sigue trabajando con un sistema en que se definen diferentes modelos que interactúan entre sí, pero sin una vinculación real (por ejemplo, una planta y una sección) de manera que pueden presentar incoherencias (Tur, 2014).

En la figura 40 se muestra el diseño basado en la representación, como lo señala Coloma (2008), donde aparte de consumir enormes cantidades de tiempo, es muy propensa a errores, los cuales acaban apareciendo en la fase de construcción.

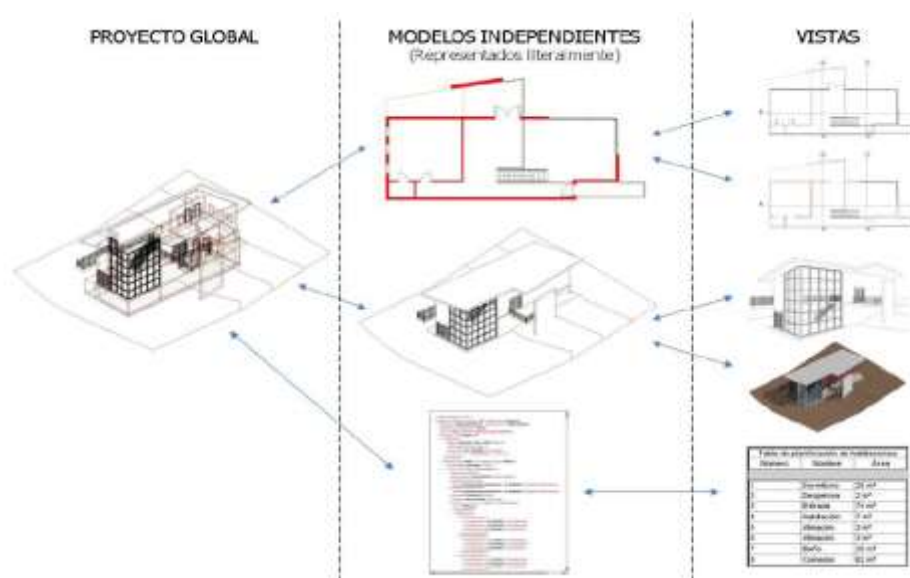


Figura 40. Diseño tradicional basado en modelos independientes. (Fuente: Coloma (2008)).

Según Coloma (2008), podríamos haber seguido trabajando así, si no fuera porque el resto de sectores industriales, como la aeronáutica y automovilística, hace años que han abandonado esta tecnología en beneficio de una basada en el diseño en base a objetos paramétricos. Esto les permitió trabajar con modelos de información que, como se verán más adelante, resultan mucho más eficientes de cara al diseño en todas sus fases, desde la concepción hasta la construcción (Coloma, 2008).

A pesar de las grandes diferencias que todavía hay entre la producción industrial y la construcción, esta evolución ha hecho que, poco a poco, las exigencias de productividad y de calidad propias de estos sectores vayan cuajando en el sector de la construcción (Coloma, 2008). Así, la parte técnica y normativa de un proyecto de construcción crece cada vez más.

Por otra parte, los tiempos de elaboración de los proyectos cada vez es menor, así como la exigencia en la fiabilidad de la documentación resultante (Coloma, 2008)

Por esto, hace tiempos que se desarrollan metodología de trabajo y aplicaciones que vayan en la dirección de emplear modelos coordinados entre sí de tal manera que los errores y las tareas redundantes disminuyan (Coloma, 2008). A pesar que los diseños desarrollados con herramientas CAD han ido mejorando sus procesos en lo que respecta a vinculación de sus representaciones o vistas, el origen del problema no se ha eliminado.

Es ahí, tal como lo menciona Coloma (2008) que, en la búsqueda de solucionar el problema para el desarrollo de proyectos a través de modelos no conectados, surgió la necesidad de crear una nueva generación de herramientas que trabajasen con bases de datos que, en vez de que contengan un sinnúmero de representaciones en 2D o 3D, contuvieran objetos paramétricos con información del edificio. Para Coloma (2008) estas bases de datos se conocen como Modelos de Información. (Véase figura 41).

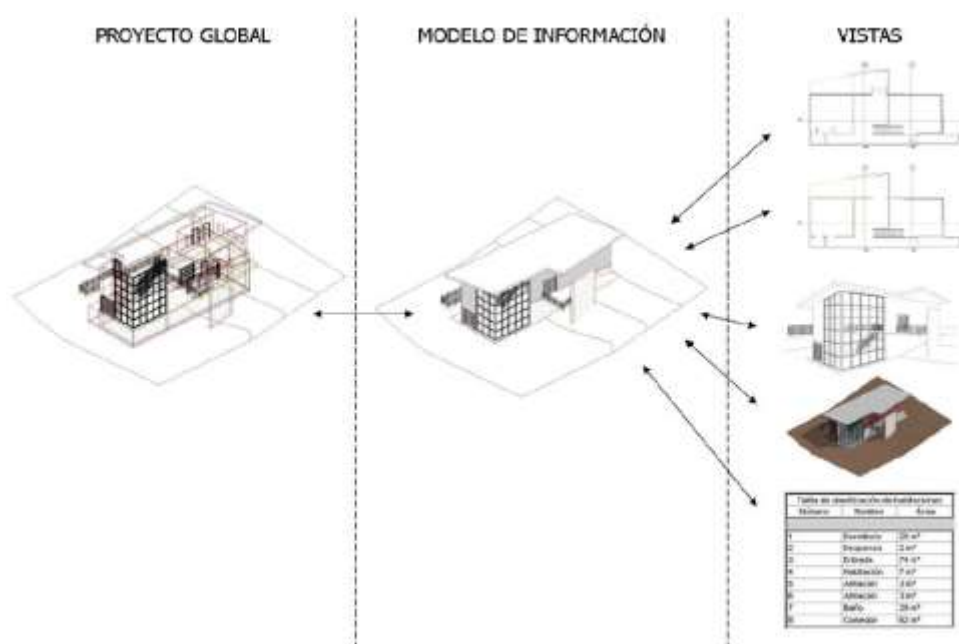


Figura 41. Diseños conectados basado en modelos de información. (Fuente: Coloma (2008)).

Así pues, la idea en BIM es la de generar un único modelo que contenga toda la información del edificio que, en vez de crear múltiples representaciones o vistas, haya suficiente con uno (Coloma, 2008). De él saldrán representaciones, las cuales en realidad serán diferentes tipos de vistas del modelo central o modelo virtual del edificio.

2.2.6.2.3. Origen de término BIM

Desde hace algún tiempo se viene hablando de BIM como una nueva metodología de trabajo en el diseño, y que está cambiando los métodos tradicionales de trabajo del sector de la AEC. Se puede decir que ni el concepto ni la nomenclatura BIM son nuevos.

Para Tur (2014) los conceptos, enfoques y metodologías que ahora conocemos como BIM se remontan unos cuarenta años. No obstante, la terminología *Building Information Modeling* ha estado presente al menos desde hace ya unos veinte años atrás (Tur, 2014).

El primer ejemplo documentado que se ha encontrado para el concepto de BIM fue el trabajo *Building Description System* publicado por Charles M. Eastman en el año 1999, publicado en EE.UU. En dicho trabajo se incorpora las bases de datos como un paso más en la búsqueda de calidad de proyectos. Además, Eastman criticaba los dibujos en papel por su tendencia a empobrecerse con el tiempo y por el hecho de no poder representar las formas (Tur, 2014).

Entre los años 1970 y 1980 se realizaron diversos trabajos de investigación y desarrollo sobre esta tecnología. Durante la década de 1980 se designó esta metodología en EE.UU. como *La construcción de modelos de producto*, y en Europa, como *Modelos de Información de Producto*. Así, estas dos nomenclaturas evolucionaron a *Building Information Model* (Tur, 2014).

Según Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston (2008), citado en Tur (2014), coinciden en que fue Jerry Laiserin quien en 1987 popularizó el término con el objetivo de intercambiar e interoperar información en formato digital. No obstante, hay quien defiende que la primera persona en emplear las siglas de BIM fue Phil Bernstein (Tur, 2014).

2.2.6.2.4. Origen de las herramientas BIM

En la actualidad se puede encontrar en el mercado, cientos de herramientas o software con lo que podemos desarrollar proyectos BIM. En la Figura 42, se muestran algunas de las empresas desarrolladoras de software más conocidas, como: Autodesk, Graphisoft, Nemetschek, Sigma Design, Bentley Systems, Tekla, entre otras.



Figura 42. Proveedores de Software BIM

(Fuente: http://dcom.arch.gatech.edu/aisc/content/software_and_equipment_vendor_participants).

La empresa pionera en la aplicación de BIM a un software informático, fue la empresa húngara Graphisoft, bajo el nombre de *Virtual Building* (Edificio Virtual) desde 1987 en su programa ArchiCAD, el cual es reconocido como el primer software CAD capaz de crear tanto dibujos en 2D como en 3D (Monfort, 2014).

De todos los programas que se pueden utilizar como herramienta BIM, el más joven de todos es Revit de Autodesk. El origen de Revit tiene lugar cuando la compañía *Revit Technology Corporation* desarrolló el primer software de diseño arquitectónico totalmente paramétrico. En 2002, la empresa fue comprada por Autodesk quien vio el potencial que tenía Revit y decidió comprarlo para evitar que amenazase la hegemonía de AutoCAD. No obstante, finalmente optó por mantener el desarrollo de las dos líneas de software (Revit y su programa estrella AutoCAD) ya que otros fabricantes de productos similares estaban en auge, como ArchiCAD de Graphisoft, Allplan de Nemetschek, Tekla de Trimble, entre otros. (Tur, 2014).

2.2.6.3. La diferencia entre CAD y BIM

Como ya se vio en los párrafos anteriores, estos sistemas son completamente distintos. La principal diferencia es que ambos tienen distinta manera de desarrollar un proyecto (Graphisoft, 2018).

Al pretender hablar sobre las principales diferencias entre CAD y BIM, el tema nos podría llevar por diferentes caminos. Por ello, solo nos vamos a centrar en el flujo de trabajo que representa la verdadera diferencia entre un sistema y otro.

Veamos un ejemplo hecho por Chanes (2018), en el que se muestra cómo se diferencian en el flujo de trabajo o en el proceso de diseño.

Cuando trabajamos en un entorno CAD, trabajamos en base a líneas y formas geométricas simples, que al final son líneas o polilíneas que nos van a servir para dibujar un objeto cualquiera de la misma forma que lo haríamos en un tablero de dibujo utilizando lápiz y papel.

Si estuviéramos desarrollando un proyecto arquitectónico y al dibujar dos líneas paralelas, solo nosotros interpretaríamos que es un muro, por el significado que representan estas líneas en el proyecto. Si fuera un proyecto de carretera, entonces esas dos líneas podrían ser los bordes del carril, o cualquier otro significado, al final son solo dos líneas paralelas.

Para organizar los dibujos en un entorno CAD vamos a utilizar colores, capas, y esas capas van a tener un nombre y ese nombre suele representar un objeto donde vamos a dibujar las líneas que pertenecen a ese objeto. Si no utilizamos líneas, vamos a utilizar círculos, arcos, rectángulos y elipses, pero al final son solo formas simples o variantes de la línea.

Si continuamos con el ejemplo del proyecto arquitectónico, tendríamos que decidir con qué tipo de dibujos vamos a empezar a crearlo, el cual podría ser a través de una planta, una elevación o una sección. Si decidimos comenzar por una planta, entonces vamos a trazar líneas o dibujaremos formas geométricas como rectángulos, círculos, etc., que a través de operaciones básicas como copiar, mover, girar e incluso extender o recortar servirán para ir definiendo los elementos del proyecto. Luego podríamos repetir este proceso para crear una sección o algún otro tipo de dibujo que podrían ser necesarios.

Si necesitásemos una elevación del edificio, vamos a tener que dibujarlo a parte o si necesitamos otro nivel de planta (o piso), y es similar al nivel que estamos trabajando, podríamos copiar y quitar aquello que es distinto y dibujar lo que corresponde a ese nivel. Pero al final seguimos creando dibujos o representaciones que no están conectados entre sí de ninguna manera, así que cuando se producen cambios de diseño, hay que hacer los cambios por separado en cada dibujo. (Véase figura 43)

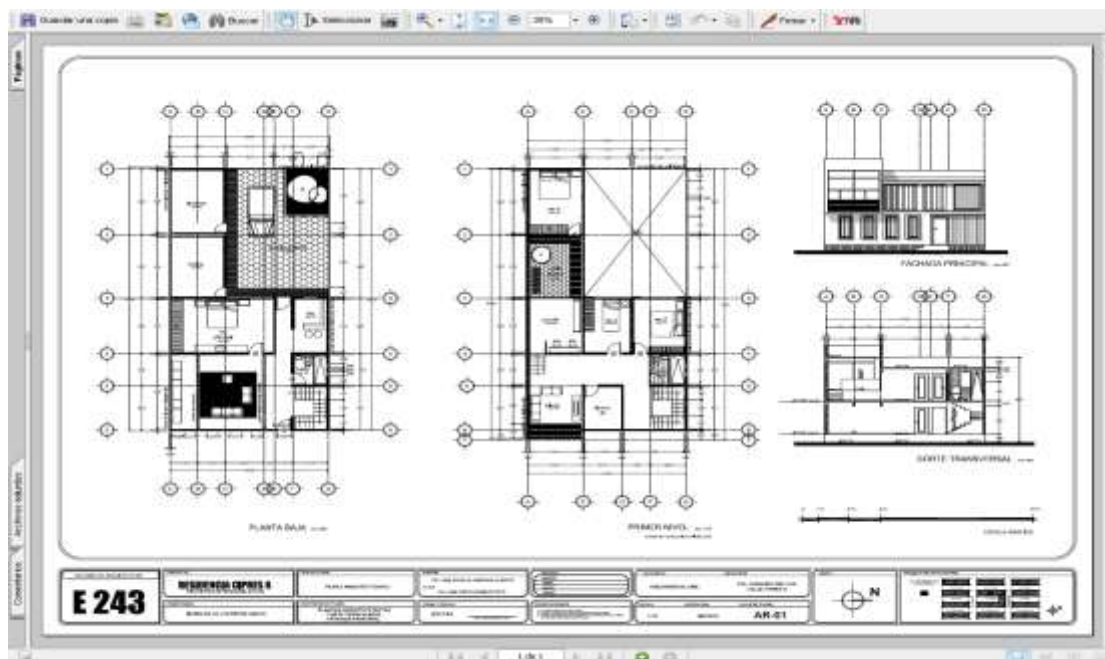


Figura 43. Diseños un proyecto en CAD. (Fuente: Planosmodernos.info)

Si la caja de una escalera, por la razón que fuera, hay que moverla 10 cm en un nivel, hay que ir manualmente a todos los niveles y corregirlo, y adaptar todo su entorno, afectando la superficie de ese nivel, los muros que llegan hasta la caja de la escalera, etc. y también afectaría a la elevación, a la sección y a toda la documentación del proyecto.

Por eso, cuando diseñamos con un sistema CAD donde más tiempo dedicamos, no es realmente a crear, si no a redibujar aquellas cosas que están siendo actualizadas (Chanes, 2018).

En cambio, en BIM, el proceso es totalmente diferente. Mientras que en CAD dibujamos, en BIM construimos. En lugar de crear dibujos individuales, construimos una sola representación del edificio, es decir, un modelo virtual.

Este modelo se crea utilizando una colección de elementos virtuales como muros, columnas, losas, rampas, escaleras, puertas, ventanas, etc., que nos permiten simular el edificio y entender su comportamiento en un entorno computarizado antes que se inicie su construcción real (Gómez, 2018). Estos elementos contienen sus propios ajustes y parámetros que coinciden con el tipo de objeto que se suponen están representando, pues cada elemento viene predefinido con una geometría, pero eso no significa que sus dimensiones sean fijas, al contrario, se pueden modificar cuantas veces sea necesario.

Por ello, mientras en CAD trabajamos con líneas y formas simples que definen objetos según nuestra experiencia y criterio, en BIM trabajamos con objetos, cuyos criterios ya están preestablecidos.

El modelo virtual definido en BIM, es un conjunto de elementos geométricos que interpretan o pretenden simular un elemento real. Las diferentes representaciones o vista de planta, elevación, sección o inclusive la vista en 3D, son una consecuencia obtenida a partir del modelo virtual del edificio.

Las vistas de un proyecto con BIM no son dibujos separados, sino diferentes formas de ver el mismo modelo. Algo que por sí sólo permite un ahorro enorme de tiempo al modificar cualquier parte del proyecto, ya que no importa la vista que estemos utilizando, los cambios realizados gráficamente (a través de una vista), son cambios que repercuten en la base de datos que conforma el edificio, con lo cual el sistema vuelca los cambios al resto de vistas. Al final, BIM es un motor que trabaja sobre una base de datos, alimentada a través de elementos gráficos y parámetros. (Véase figura 44)

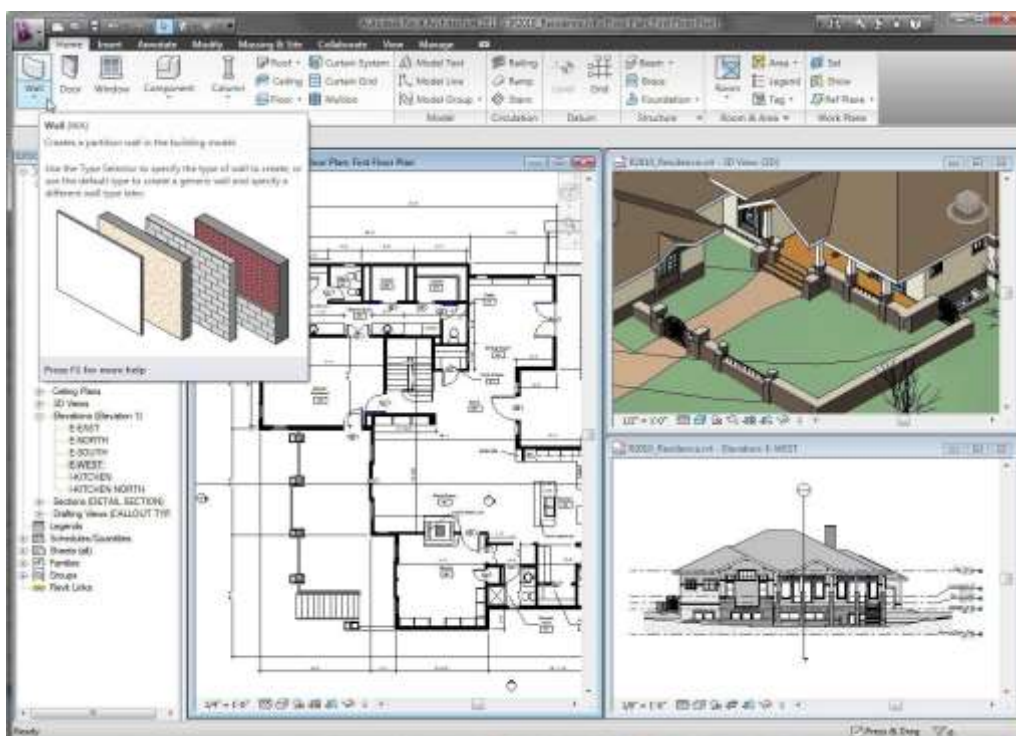


Figura 44. Diseños un proyecto en BIM. (Fuente: Planosmodernos.info).

Por ello, el punto más importante al comparar un sistema BIM con un CAD, es que un proyecto basado en MODELO permite una relación directa entre los elementos y los gráficos que los representan (Chanes, 2018). Todos son uno sólo

Por lo tanto, trabajar en base a un modelo, resulta rápido y eficaz, y cuando se sea capaz de comprender toda la información que un modelo de este tipo es capaz de albergar, se comprenderá porque el BIM es tan importante para el futuro del sector de la construcción.

2.2.6.4. Las herramientas BIM

Como ya se mencionó anteriormente, el sector de la arquitectura, ingeniería y construcción está experimentando una profunda transformación y evolución debido a la aplicación de la metodología BIM y al uso de herramientas informáticas capaces de aprovechar al máximo esta “filosofía” (ESDIMA).

En el mercado existe una considerable variedad de software BIM, es decir, programas informáticos capaces de desarrollar la metodología BIM aprovechando las múltiples ventajas que ofrece, siendo Revit de Autodesk, el software BIM más utilizado y extendido entre el sector debido a su gran potencial (Zigurat, 2018).

Una herramienta BIM, es un software que facilita el modelado de edificios en tres dimensiones y en tiempo real, incluyendo su geometría, la información geográfica, todos los elementos que lo componen, las relaciones espaciales existentes, las cantidades y propiedades de sus componentes, etc., a lo largo de todo su ciclo de vida, desde la fase de concepción hasta su operación, lo que supone alcanzar unos elevados niveles de optimización en tanto que disminuye el consumo de tiempo y recursos (ESDIMA).

Para Miller (2015) las herramientas BIM propiciaron el desarrollo del concepto BIM. Las herramientas se pueden clasificar en “nativas BIM” y “no nativas BIM”, según explica Miller (2015). Las herramientas no nativas BIM fueron las que se desarrollaron antes del concepto BIM, por ejemplo, AutoCAD, ZW CAD o 3D Studio, entre otras. Mientras que las herramientas nativas BIM son las que ya se desarrollaron con el concepto BIM.

Miller (2015) y Barco (2018) clasifican estas herramientas BIM según su función o características principales de cada software. Algunas de estas funciones son: creación o modelado, análisis, visualización y gestión. En la tabla 9 se muestra una lista de softwares enfocado bajo estas funciones.

Tabla 9

Lista de software enfocados según su función

Función	Empresa	Software
Modelado Arquitectura	Autodesk	Revit

	Nemetschek Group	Allplan
	Bentley	AECOSim Building Designer
	Graphisoft	ArchiCAD
	Trimble	Sketchup
Modelado y Calculo de Estructuras	Autodesk	Robot Structural
	Cype	CypeCAD
	Trimble	Tekla Structures
	Autodesk	Autodesk Advance Steel
	Nemetschek Group	Nemetschek Scia
	CSI	ETABS
Modelado y Calculo de Instalaciones MEP	Cype	CypeMEP
	Autodesk	Revit MEP
	Nemetschek Group	MEP Modeler
	Dial	DIALux
	Program	MagiCAD
	Data Design System	DDS CAD
Análisis	Autodesk	Green Building Studio
	Trimble	Tekla Structures Designer
	Open Source	Openstudio
	DesignBuilder	DesignBuilder
	Graphisoft	EcoDesigner
	Bentley	AECOSim
Visualización	Autodesk	Dynamo
	Robert McNell & Asso	Grasshopper
Gestión	Nemetschek Group	Solibri Model Checker
	Autodesk	Navisworks
	Bentley	Project Wise Navigator
	Trimble	Tekla BIMSight

Fuente: Barco (2018)

2.2.6.5. La estandarización en BIM

Debido a la existencia de un gran número de softwares que confluyen en este nuevo modelo de proceso de trabajo, donde la tecnología es un aspecto imprescindible, es necesario recurrir a una correcta estandarización de los procesos, de forma que se haga posible la operabilidad y conectividad entre todos los programas que giran alrededor de BIM (Gómez, 2015). Además, cuando hablamos de todos los programas del entorno BIM no nos referimos únicamente a las diversas plataformas BIM, sino también al resto de programas específicos que intervienen en el proceso, como son los programas de cálculo de estructuras, de cálculo de instalaciones, de certificación energética, etc. que deben leer los modelos que resultan de las plataformas BIM (Gómez, 2015).

Por lo tanto, para poder maximizar el potencial de BIM, la industria de la construcción necesita un mecanismo sólido para el intercambio de información digital,

independientemente del software o plataforma BIM que utilice (BuildingSMART España, 2017).

2.2.6.5.1. La Interoperabilidad

Para Muñoz (2013), citado en Tur (2014), define la interoperabilidad como el intercambio de información entre aplicaciones informáticas y entre los distintos involucrados a lo largo del proceso constructivo.

Precisamente es la interoperabilidad entre aplicaciones otro de los aspectos más importantes de BIM, ya que, una vez generados todos los objetos paramétricos del modelo, el siguiente paso es conseguir una fácil comunicación entre los distintos modelos de información (Coloma, 2008).

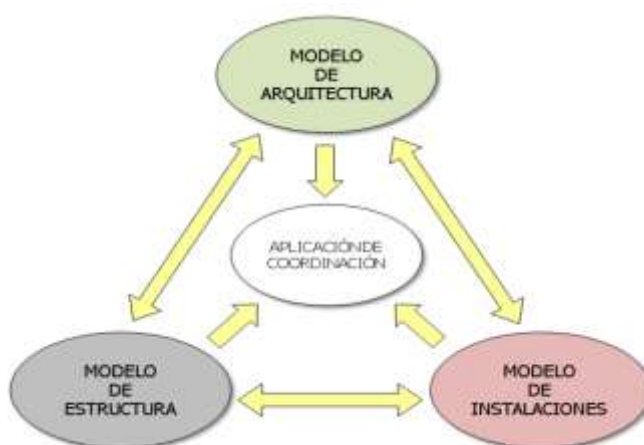


Figura 45. Interoperabilidad BIM. (Fuente: Coloma (2008)).

La importancia de la interoperabilidad radica en alcanzar una buena comunicación entre los involucrados, disponer de información de manera inmediata y que el intercambio de esta información se realice de una forma sencilla (Tur, 2014). En caso contrario, se produce un aumento del costo tanto en la elaboración del diseño del proyecto como en su construcción. Por tanto, la falta de interoperabilidad entre los involucrados provoca también pérdida de tiempo, resultando gasto de dinero (FIDE, 2009).

Un estudio realizado en EE.UU. el 2007 por *McGraw Hill Construction*, donde se encuestaron a 295 profesionales, entre arquitectos, ingenieros y contratistas, reveló que el aumento de los costos en los proyectos está relacionado con la no interoperabilidad del software. Afectando los procesos de diseño y construcción de los proyectos. En dicha investigación, los encuestados reportaron que los problemas de interoperabilidad contribuyen, en promedio, un 3.1% de los costos del proyecto.

La falta de interoperabilidad dificulta el intercambio de datos, lo que conlleva a trabajos redundantes y a la necesidad de invertir en tiempo y dinero en software no compatibles que aumentan los costos del proyecto (MCH, 2007). Por eso, el 62% de los encuestados indicaron que la incompatibilidad de los softwares es el factor principal que afecta la capacidad de los miembros del equipo de un proyecto para compartir información a través del software.

Así mismo, revelo que reingresar los datos de una aplicación a otra es el mayor costo (69%), ya que el personal duplica el trabajo ya completado por otros miembros del proyecto.

Por esta razón, es de gran importancia que los profesionales involucrados puedan intercambiar informaciones colaborando eficazmente a la realización del proyecto (BibLus, 2017).

Como consecuencia de todo esto, surgió la necesidad de crear un formato estándar que permita la interoperabilidad y el intercambio de datos de forma segura, sin errores y/o pérdida de información. Esta es exactamente la finalidad del formato IFC

2.2.6.5.2. El formato IFC

Como se vio en la Tabla 9, en el mercado existe gran variedad de software que permiten desarrollar proyectos BIM. El pilar fundamental de BIM, es un modelo de datos de construcción inteligente que no solo incorpora geometría 3D, sino también toda la información relevante sobre la construcción y sus componentes (Autodesk, 2018), como:

- Geometría
- Materiales de construcción
- Modelo analítico de estructuras
- Características térmicas y prestaciones energéticas.
- Cálculos de instalaciones.
- Mediciones
- Costos de materiales
- Tiempos de construcción
- Entre otros

Siempre y cuando las personas involucradas en el diseño utilicen el mismo software, el intercambio de datos se producirá sin pérdida de información. Pero como sabemos, en los proyectos de construcción, puede suceder que las personas involucradas en el proceso de diseño utilicen programas de diferentes empresas.

Es así que, en 1994 nació el estándar IFC, cuyas siglas provienen del término inglés *Industry Foundation Classes*. Se trata de un estándar informático neutro y abierto, utilizado en el diseño y la construcción de edificaciones para el intercambio de modelos de datos de construcción entre diferentes programas de software (Autodesk, 2018). Fue desarrollado por la Alianza Internacional para la Interoperabilidad o IAI (*International Alliance for Interoperability*, en inglés), con el propósito de convertirse en un estándar que facilite la interoperabilidad entre las aplicaciones de software en la industria de la construcción.

Desde el 2005 la IAI, paso a llamarse *BuildingSMART International*, y es la asociación principal cuyo objetivo es fomentar la eficacia en la industria de la construcción a través del uso de estándares abiertos de interoperabilidad sobre BIM, buscando alcanzar la reducción de los costos, el tiempo en ejecución y el aumento de la calidad en los proyectos de construcción.

¿Como funciona el formato IFC?

Según la *BuildingSMART*, el formato IFC es la herramienta principal para la realización del enfoque Open BIM, que pretende establecer un método universal para fomentar el trabajo colaborativo en el diseño y construcción de los edificios basados sobre estándares y flujos de trabajos abiertos. Según González (2017) el archivo IFC recoge información completa acerca de todos los elementos del edificio, como por ejemplo las instalaciones, los espacios, habitaciones, zonas, mobiliario, propiedades específicas de cada elemento constructivo.

En un escenario ideal, el archivo IFC debería utilizarse con fines de coordinación. Por ejemplo, un arquitecto podría recibir un archivo IFC de un ingeniero sanitario para ver donde está ubicada cierta tubería o los accesorios, y poder verificar si hay interferencias entre los elementos del edificio. (Véase la figura 46).

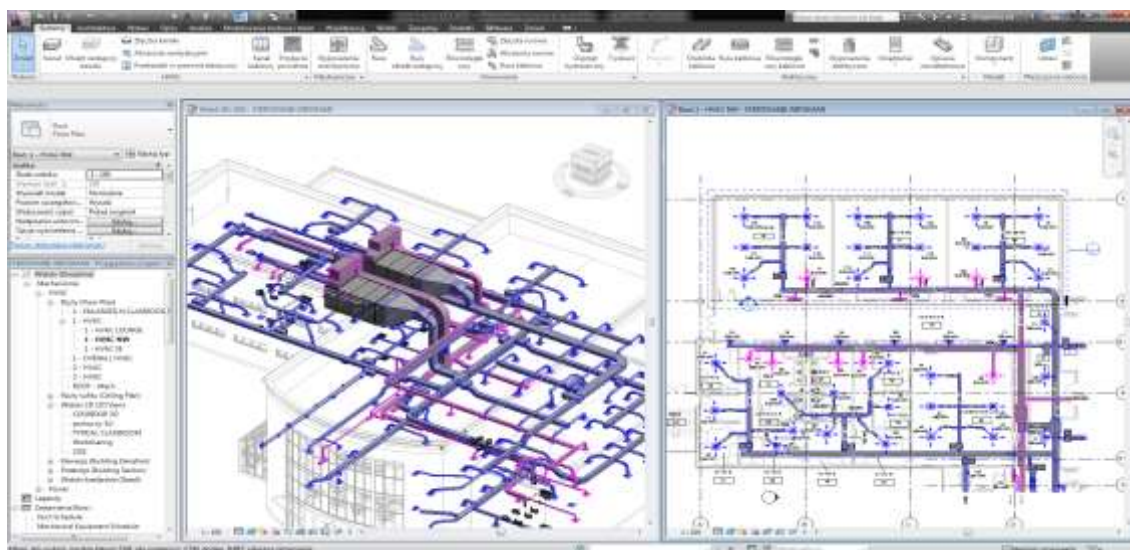


Figura 46. Vista del modelado del sistema de agua fría en el software Revit. (Fuente: Autodesk).

De esta forma, según Gómez (2015), el formato IFC se ha establecido como el marco de referencia para el almacenamiento y definición de los datos básicos de los modelos de los edificios, que deben conservarse y compartirse entre las diversas aplicaciones mediante dicho estándar (Véase la figura 47).

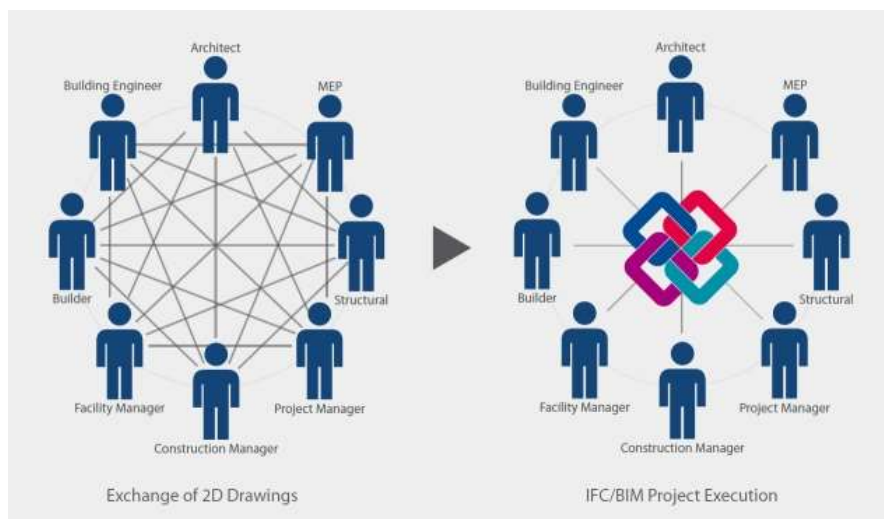


Figura 47. Formato estándar IFC. (Fuente: <http://www.hexabim.com/>).

De la figura 47, se puede observar el concepto del formato IFC, el cual ordena el proceso de intercambio de información entre los diferentes agentes en el desarrollo del proyecto.

Para Aliaga (2012) cada programa que existe, trabaja con diferentes extensiones de archivo por defecto, permitiendo exportar en la mayoría de ellos a algunos otros más conocidos que suelen utilizarse en varios softwares. En la Tabla 10 se muestra una comparación de algunos de los programas más utilizados con algunas de las principales extensiones de trabajo que utilizan cada uno.

Tabla 10

Principales formatos de software más utilizado en la industria

Programa	Exportación	Importación
Revit Architecture	AutoCAD (.dwg, .dxf)	AutoCAD (.dwg, .dxf)
	IFC2X3 (.IFC)	IFC2X3 (.IFC)
	IGES (.IGES, .igs)	Microstation(.dgn)
Allplan	AutoCAD (.dwg, .dxf)	AutoCAD (.dwg, .dxf)
	IFC2X3 (.IFC)	IFC2X3 (.IFC)
	Microstation(.dgn)	Microstation(.dgn)
AutoCAD Civil 3D	AutoCAD (.dwg, .dxf)	AutoCAD (.dwg, .dxf)
	Microstation(.dgn)	
Revit MEP	AutoCAD (.dwg, .dxf)	AutoCAD (.dwg, .dxf)
	IFC2X3 (.IFC)	IFC2X3 (.IFC)

		Microstation(.dgn)
Graphisoft ArchiCAD	AutoCAD (.dwg, .dxf)	AutoCAD (.dwg, .dxf)
	IFC2X3 (.IFC)	IFC2X3 (.IFC)
	IFCXMI 2X3 (.xml)	IFCXMI 2X3 (.xml)
Autodesk 3ds Max	AutoCAD (.dwg, .dxf)	AutoCAD (.dwg, .dxf)
	IGES (.IGES, .igs)	
Bentley Building Electrical Systems	AutoCAD (.dwg, .dxf)	
	IFC2X3 (.IFC)	IFC2X3 (.IFC)
	Microstation(.dgn)	Microstation(.dgn)
	STEP AP203/AP214 (.stp, .STEP)	STEP AP203/AP214 (.stp, .STEP)
Bentley Structural	AutoCAD (.dwg, .dxf)	
	CIS/2 LPM6 design (.stp, .p21, .STEP)	
	IFC2X3 (.IFC)	IFC2X3 (.IFC)
	Microstation(.dgn)	Microstation(.dgn)
	STEP AP203/AP214 (.stp, .STEP)	STEP AP203/AP214 (.stp, .STEP)
ETABS	AutoCAD (.dwg, .dxf)	AutoCAD (.dwg, .dxf)
	CIS/2 LPM6 design (.stp, .p21, .STEP)	CIS/2 LPM6 design (.stp, .p21, .STEP)
	Steel Detailing Format (.sdf, .sdf)	Steel Detailing Format (.sdf, .sdf)
		STEP AP214 (.stp, .STEP)
PipeDesigner 3D	AutoCAD (.dwg, .dxf)	AutoCAD (.dwg, .dxf)
	IFC2X3 (.IFC)	IFC2X3 (.IFC)
Revit Structure	AutoCAD (.dwg, .dxf)	AutoCAD (.dwg, .dxf)
	CIS/2 LPM6 design (.stp, .p21, .STEP)	CIS/2 LPM6 design (.stp, .p21, .STEP)
	IFC2X3 (.IFC)	IFC2X3 (.IFC)
Revit MEP	AutoCAD (.dwg, .dxf)	AutoCAD (.dwg, .dxf)
	IFC2X3 (.IFC)	IFC2X3 (.IFC)
SAP2000	AutoCAD (.dwg, .dxf)	AutoCAD (.dwg, .dxf)
	CIS/2 LPM6 design (.stp, .p21, .STEP)	CIS/2 LPM6 design (.stp, .p21, .STEP)
SolidEdge	AutoCAD (.dwg, .dxf)	AutoCAD (.dwg, .dxf)
	Microstation(.dgn)	Microstation(.dgn)
	STEP AP203/AP214 (.stp, .STEP)	STEP AP203/AP214 (.stp, .STEP)

Fuente: Aliaga (2012)

2.2.6.6. Los entornos colaborativos

En el ámbito de la informática, un entorno es un programa informático o sistema operativo que sirve de soporte básico para el trabajo con otros programas (Alsina, 2018).

Hoy en día se utiliza una multitud de sistemas que ya constituyen entornos colaborativos comunes (BIM6D, 2017), desde un servidor que gestiona la carpeta del proyecto accesible por los ordenadores de una oficina, el e-mail, sistemas FTP de intercambio de archivos entre oficinas en diferentes lugares, carpetas sincronizadas en tiempo real, sistemas virtualizados,

hasta las aplicaciones de chat que tenemos en nuestros celulares son herramientas muy potentes para intercambiar información relativa en un proyecto de manera muy eficaz. Todas caminan en su evolución en la dependencia de internet (BIM6D, 2017).

Con el uso del BIM se genera información cada vez más abundante, compleja y de una forma más rápida, por tanto, hace necesario herramientas tecnológicas cada vez más sofisticadas que gestionen esta información y se transmita de forma eficaz y legible a los agentes implicados (BIM6D, 2017). En la figura 48 se idealiza el concepto de entorno colaborativo.

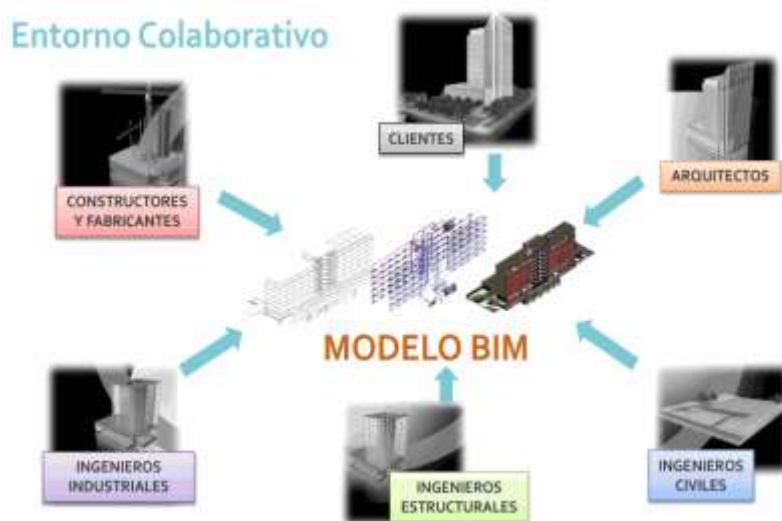


Figura 48. Entorno colaborativo con agentes implicado en el proyecto. (Fuente: BaboonLab.com).

Trabajar en BIM, es trabajar de forma colaborativa. La diversidad de interesados en un proyecto exige una plataforma común de trabajo interconectada, como si se tratara de un tablero de juego en donde participan muchos jugadores, con intereses y responsabilidades muy diversas, pero con reglas de juego comunes para todos (Bouzas, 2017)

Según Bouzas (2017) el intercambio de información es esencial para el éxito de un proyecto y debe realizarse en un entorno fiable, seguro, ágil y correctamente estructurado. Entonces, cuando un entorno colaborativo cumple con una serie de funcionalidades, como la que dispone la normativa del Reino Unido BS 1192:2007, se le denomina Entorno de Datos Comunes o CDE (*Common Data Environment*) (Barco, 2018), y es un elemento clave en los proyectos desarrollados con metodología BIM (Bouzas, 2017).

Para Barco (2018) estas funcionalidades son: el ser un sistema escalable, con control de accesos y seguridad, con creación de procesos, control de requisitos, control de documentos y del modelo, entre otros (Barco, 2018).

Es por esto que Bouza (2017) define al CDE como una herramienta informática que se utiliza para recopilar, gestionar y difundir datos de modelo y documentos del proyecto entre equipos multidisciplinarios en un proceso gestionado, independientemente de su tamaño. Permite, así mismo, un proceso auditable, transparente y controlable (Bouza, 2017).

Para la BIMCommunity (2017) un entorno común de colaboración, es un lugar virtual único, accesible y operable desde internet, para la gestión del modelo BIM, la información que el BIM genera (gráfica y no gráfica), los procesos evolutivos del proyecto, los roles de los agentes que intervienen y sus comunicaciones de un forma estructurada y direccional hacia la consecución de los objetivos del proyecto.

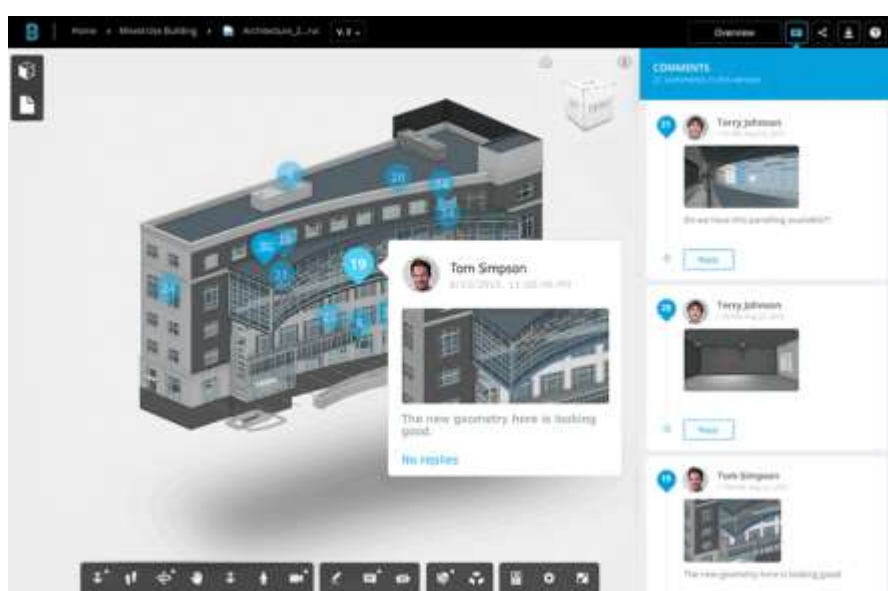


Figura 49. Trabajo colaborativo en un entorno CDE. (Fuente: reliant-ds.com).

Al trabajar en un entorno colaborativo se asegura que la información sea generada una sola vez y se utiliza las veces que sea necesario por todos los colaboradores e interesados del proyecto. Esto garantiza el trabajo sobre las actualizaciones aprobadas y que la información se vaya enriqueciendo de forma ordenada a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Barco (2018) clasifica a los CDE en dos niveles, esto son:

Entorno de datos compartidos simplificados (EDCS): son almacenamientos en la nube que solo gestionan archivos con un control de acceso básico. Son las soluciones más convencionales, más accesibles y económicas. Todas las soluciones permiten guardar cualquier tipo de archivo, compartirlo con otros usuarios para que puedan descargarlos y editarlos, y trabajar de forma sincronizada. En la figura 50 se muestran algunos programas dentro de este entorno.



Figura 50. Principales programas de entorno de datos simplificados. (Fuente: Elaboración propia).

Entorno de datos compartidos avanzados (EDCA): además de la gestión de archivos básica, disponen de sistemas de revisiones, de visores 3D muy completos, y los más avanzados tienen gestión documental, control de versiones, creación de procesos, etc., con lo cual, se podría decir que es el siguiente nivel en la coordinación de proyectos. En la figura 51 se muestran los logos de estos programas.



Figura 51. Logos de programas de entorno de datos avanzados. (Fuente: Elaboración propia).

2.2.6.7. La Metodología BIM

Encontrar una única definición sobre la metodología BIM es casi imposible, porque revisando la bibliografía podemos encontrar muchas definiciones. Con el paso de los años, se han presentado diferentes conceptos, pero todos coinciden en términos generales. Así tenemos:

Eloi Coloma (2008), en *Introducción a la Tecnología BIM*, lo define como: “*Conjunto de metodologías de trabajo y herramientas caracterizado por el uso de información de forma coordinada, coherente, computable y continua; empleando una o más bases de datos compatibles que contengan toda la información en lo referente al edificio que se pretende diseñar, construir o usar*” (p. 10).

es.BIM, es un grupo abierto a todos los agentes implicados (administraciones, ingenierías, constructoras, universidades, profesionales) cuya misión principal es la implantación de BIM en España, lo define de la siguiente manera: “*BIM es una metodología de trabajo colaborativa para la gestión de proyectos de edificación u obra civil a través de una maqueta digital. Esta maqueta digital conforma una gran base de datos que permite*

gestionar los elementos que forman parte de la infraestructura durante todo el ciclo de vida de la misma”.

BuildingSMART, es una asociación privada sin ánimo de lucro cuyo objetivo es fomentar la eficacia en el sector de la construcción, a través de estándares abiertos de interoperabilidad sobre BIM y de modelos de negocio orientados a la colaboración. Establece que Building Information Modeling (BIM): *“es una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de un proyecto de construcción. Su objetivo es centralizar toda la información del proyecto en un modelo de información digital creado por todos sus agentes”.*

Para Autodesk, compañía dedicada al desarrollo de software de diseño en 2D y 3D para la arquitectura, ingeniería y construcción, el BIM: *“Es un método innovador para facilitar la comunicación entre los sectores de la arquitectura, la ingeniería y la construcción. Con BIM, arquitectos e ingenieros generan e intercambian información de manera eficiente, crean representaciones digitales de todas las fases del proceso de construcción y simulan el rendimiento en la vida real, lo que perfecciona el flujo de trabajo, aumenta la productividad y mejora la calidad...”.*

Para la EUBIM TRASKGROUP, entidad pública de la Unión Europea cuya visión es alentar el uso común de BIM, como “construcción digital” en obras públicas, en su guía *Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector*, establece: *“BIM es una forma digital de construcción y operaciones de activos. Reúne tecnología, mejoras de procesos e información digital para mejorar radicalmente los resultados de proyectos y clientes y las operaciones de activos. BIM es un facilitador estratégico para mejorar la toma de decisiones tanto para edificios como para activos de infraestructura pública en todo el ciclo de vida...”.*

En Zigurat, Instituto Global de Tecnología, de España, lo definen como: *“Una metodología de trabajo en el sector de la construcción basada en el uso de unos sistemas que permiten integrar toda la información útil de un proyecto, permitiendo analizar y gestionar de forma efectiva todo el ciclo de vida del mismo desde su fase inicial hasta su deconstrucción o derribo de una forma colaborativa entre los diferentes participantes de un proyecto”.*

Como se pudo observar, existen muchas definiciones acerca de BIM, vistos desde diferentes enfoques, que van desde las organizaciones académicas, hasta los organismos públicos y privados, pero todas coinciden en que, BIM, es el uso de nuevas herramientas tecnológicas que sirven para mejorar la productividad en todas las fases de un proyecto de construcción,

y producto de estas, se hacen necesario crear nuevas metodologías o flujos de trabajo que permitan a todas las partes involucradas a usar la información de una manera continua y ordenada, a través de un único modelo virtual de información o modelo 3D (Véase Figura 52).



Figura 52. Modelo Digital del Proyecto. (Fuente: Autodesk Inc. (2011)).

En la Figura 52, se puede observar a los involucrados, o *stakeholder*, principales de un proyecto, a través de un único modelo digital de información.

2.2.6.8. Los niveles de desarrollo BIM

Los que han usado cualquier software para modelar, se habrán dado cuenta de una realidad muy cierta, el modelado es un proceso sin fin. Un agujero negro que llega hasta donde se quiera llegar. Porque uno empieza modelando una pared; pero la pared tiene acabados. entonces modelamos esos acabados, y también tiene accesorios, y los accesorios requieren perforaciones en la pared. Y a partir de esas perforaciones salen tuberías. Y las tuberías siguen un camino, y tienen otra serie de accesorios. Y en cada accesorio, podemos incorporar toda la información que queramos a nuestro modelo, por ejemplo, fabricante, marca, modelo, serie, garantías, materiales, colores, normas, certificaciones, etc. (MundoBIM, 2017).

Modelando una habitación podemos tardar cinco minutos o cinco semanas. Todo depende del detalle con el que queramos hacerlo. Y siempre será posible ir más lejos e incorporar más cosas al modelo.

Entre los modeladores de edificios (o de cualquier otra infraestructura), el pecado capital se llama sobre modelado. El sobre modelado, si lo vemos bajo la filosofía Lean Construction, es un desperdicio: sobre procesamiento y sobreproducción. Y como todo desperdicio, consume recursos, genera gastos, y al final no produce valor agregado.

Al modelar, es sumamente importante no modelar más de la cuenta. Se llega hasta donde digan las especificaciones que hay que llegar, y no más allá. Porque es demasiado fácil enredarse durante horas, y generar un montón de cosas en el modelo, que no sirven para nada.

Para determinar cuáles son esas especificaciones, el Instituto Americano de Arquitectura (AIA o *American Institute of Architects*) durante un evento internacional llamado BIMForum el año 2008, creo el concepto llamado Nivel de Desarrollo o LOD (*Level of Development*) (espaciosbim, 2016), con la finalidad de poder indicar el grado o escala de desarrollo de un proyecto desde el punto de vista de Modelado e Información en calidad como en cantidad (García, 2016).

El LOD, se podría descomponer en dos partes, el Nivel de Detalle o LoD (*Level of Detail*) y el Nivel de Información o LoI (*Level of Information*), tal como se muestra en la Figura 53.

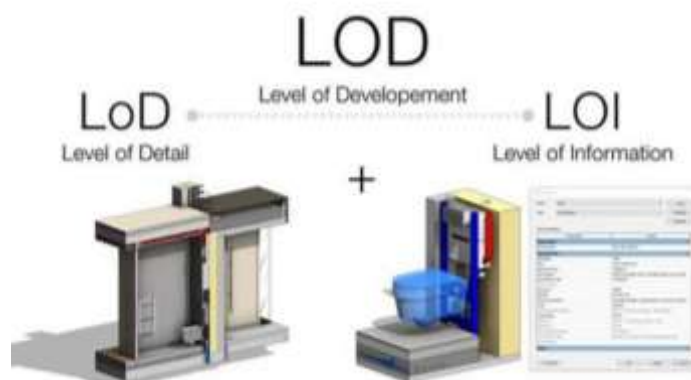


Figura 53. Nivel de Desarrollo (LOD). (Fuente: <http://www.srinsofttech.com/bim-level-of-development-lod-300-400-500.html>).

Para García (2016) una de las primeras apreciaciones que deben hacerse es no confundir el Nivel de Desarrollo LOD, con el Nivel de Detalle, ya que este se refiere únicamente a la cantidad de Grafismo que aparece en un modelo.

El LOD, es básicamente una especificación técnica, que dice qué se modela y con qué nivel de detalle. Se tienen varios niveles de LOD, generalmente numerados de 100 hasta 500.

Conforme se sube en la escala, aumenta la cantidad de cosas que hay que modelar, y el nivel de detalle del modelado. En la figura 54, se muestra como ejemplo los diferentes niveles de desarrollo que atraviesa un proyecto en BIM.



Figura 54. Niveles de Desarrollo en un proyecto BIM. (Fuente: <http://biblus.accasoftware.com/es/>).

2.2.6.8.1. LOD 100

El modelo 3D de construcción está desarrollado para representar la información en el nivel básico. Es un modelo general que aporta una visión global. Por lo tanto, solo la creación de modelos conceptuales es posible en esta etapa. Se definen parámetros como área, altura, volumen, ubicación y orientación

2.2.6.8.2. LOD 200

Aporta mayor información con magnitudes aproximadas de tamaño, forma, localización y orientación. El uso que se da es simplemente incrementar la capacidad de análisis. Pero las mediciones son aproximadas, nunca definitivas. También podemos adjuntar información no geométrica a los elementos del modelo.

2.2.6.8.3. LOD 300

La información de la geometría es precisa, está pendiente de detalles constructivos, tiene un nivel de detalle externo importante. Contiene los detalles constructivos necesarios para la fabricación o construcción, junto con la información de proveedores y la información comercial. Incluye detalles y elementos del modelo que representan cómo los elementos de construcción interactúan con varios sistemas y otros elementos de construcción con gráficos y definiciones escritas.

2.2.6.8.4. LOD 400

Una vez el objeto está definido geométricamente en detalle se añade información específica sobre su posición, pertenencia a un sistema constructivo específico, uso y montaje en términos de cantidades, dimensiones, forma, ubicación y orientación con detalle completo.

Los elementos del modelo se modelan como conjuntos específicos, con información completa de fabricación, montaje y detalle. También se puede adjuntar información no geométrica a los elementos del modelo.

Podríamos usar este nivel de desarrollo durante el proceso de ejecución de la Obra donde irán surgiendo modificaciones o necesidades de definición del proyecto, como detalles constructivos

2.2.6.8.5. LOD 500

Este nivel de desarrollo se identifica normalmente con el nivel de proceso constructivo finalizado “*as built*”. Acumula toda la información de los anteriores. El criterio válido será definido por la propiedad y las normativas correspondientes. Es un modelo adecuado para el mantenimiento y el funcionamiento de la instalación.

Según Sánchez (2016) se debe tener en cuenta que el LOD en ningún caso se refiere a la totalidad del proyecto y tampoco tiene vinculación con la fase de desarrollo o construcción, sino que se aplica a cada elemento del proyecto. De eso modo, para poder afirmar que un proyecto ha llegado a un determinado LOD, tal como lo señala García (2016), es necesario que todos sus elementos hayan alcanzado ese nivel. Sin embargo, es posible definir qué elementos deben acceder a qué determinado nivel de desarrollo para poder considerar que el conjunto del proyecto ha alcanzado cierto grado de desarrollo (LOD) (García, 2016).

2.2.6.9. Las dimensiones BIM

Los beneficios y funciones que ofrece la metodología BIM, adquieren una relevancia especial en los proyectos de alta complejidad, ya que estos deben coordinar con precisión una gran cantidad de áreas en las distintas etapas de su desarrollo.

En BIM, el control detallado de las acciones, requerimientos y evolución se puede lograr a través de las siete dimensiones que ofrece. Estas secciones o procesos corresponden a la esencia del modelo y representan a las etapas que involucra un proyecto de alta complejidad, como lo son por ejemplo la creación de hospitales, aeropuertos, otros (Hildebrandt Gruppe, 2016). En la Figura 55, se muestran las diferentes dimensiones del BIM.

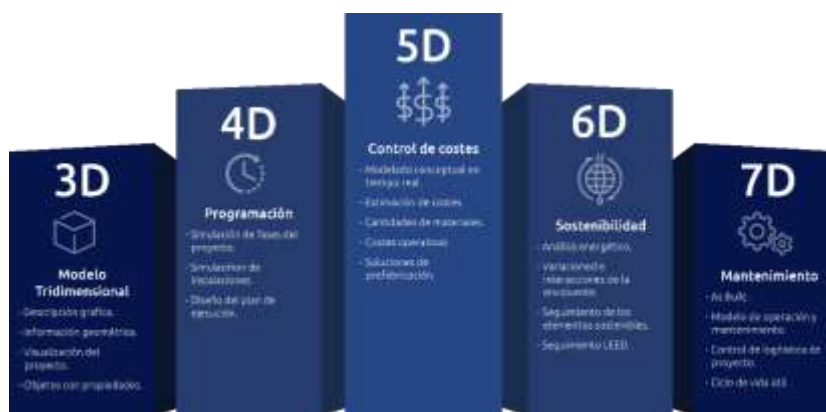


Figura 55. Las dimensiones BIM. (Fuente: <http://www.seycsa.com/servicios/servicios-bim/>).

La metodología BIM abarca varias dimensiones. Hasta el momento la mayoría de textos citan hasta 7 dimensiones, pudiendo encontrar en algunos la posibilidad de llegar en un futuro hasta la novena dimensión.

Las dimensiones son niveles en los que se va aportando cada vez un valor añadido nuevo. Un parámetro nuevo que influye en el modelo y que aporta información.

2.2.6.9.1. BIM 3D

Esta dimensión se enfoca en los objetos, como columnas, vigas y muros, que representarán toda la geometría del proyecto. En este modelo los arquitectos, ingenieros, constructores y directores, entre otros profesionales, pueden recoger o generar información de acuerdo a sus necesidades. Los participantes no solo pueden ver el edificio en tres dimensiones con anticipación, también puede actualizar las vistas durante todo el ciclo de vida del proyecto. (Hildebrandt Gruppe, 2016).

Gracias a estas funciones, la comunicación y visualización mejoran considerablemente, reduciendo la necesidad de iteraciones y correcciones.

2.2.6.9.2. BIM 4D

Al modelo se le agrega la dimensión del tiempo. Es decir, se puede asignar a cada elemento una secuencia de construcción. Nos permite controlar la dinámica del proyecto, realizar simulaciones de las diferentes fases de construcción, diseñar el plan de ejecución y anticipamos a posibles dificultades, aumentando así la productividad y facilitando el cumplimiento de plazos previstos inicialmente. (González, 2015).

Además, un seguimiento detallado permite una coordinación eficiente de los especialistas y sus actividades, mejorando los tiempos y el uso de recursos. (Hildebrandt Gruppe, 2016)

2.2.6.9.3. BIM 5D

Comprende todo lo relativo al control de costos y estimaciones de gastos del proyecto. Cada elemento representado en el modelo tiene un costo asociado. Ello permite realizar análisis presupuestarios detallados sin un trabajo añadido, obtenidos directamente del modelo. Además, permite la realización de predicciones más precisas sobre las desviaciones de proyecto y cuanto es necesario para llegar a los objetivos. (González, 2015).

Con BIM 5D se añade la dimensión de los costos de la obra generando un mayor control sobre el proyecto ya que cualquier cambio en el diseño queda reflejado inmediatamente en el presupuesto. (Tur, 2014)

Las entidades y los gerentes de obra pueden tomar las decisiones oportunas al poder disponer de una base de datos de costos y precios al poder observar cómo un cambio en el diseño influiría en la programación y en el presupuesto del proyecto (Salih, 2013).

2.2.6.9.4. BIM 6D

La sexta dimensión de BIM (también llamada Green BIM), esta relacionada con un factor que tiene cada vez más importancia, sostenibilidad del Edificio. Conciernen todo lo relativo a la sostenibilidad del modelo. Cubre aspectos tales como el uso energético, durabilidad en el tiempo de los materiales, diseño medioambiental y estrategias energéticas. (González, 2015).

BIM 6D, simula el comportamiento de los sistemas de ahorro energético y la gestión de recursos, entregando información fundamental para la toma de decisiones. Gracias a esto es posible seleccionar las mejores técnicas y tecnologías para cada proyecto, optimizando el consumo de energía y reduciendo lo más posible los daños al medio ambiente. (Hildebrandt Gruppe, 2016).

2.2.6.9.4. BIM 7D

Es la dimensión empleada para las operaciones de mantenimiento de las instalaciones durante la vida útil de los edificios, ya que consiste en un modelo as-built de los mismos. Permite conocer el estado de las instalaciones, especificaciones sobre su mantenimiento, manuales de uso, fechas de garantía, etc. (Impararia, 2015).

Como es conocido, la metodología BIM abarca toda la vida útil del proyecto. La fase de mantenimiento es el último de los trabajos concernientes al proyecto (sin tener en cuenta la demolición). Es un aspecto muchas veces olvidado ya que muchos profesionales consideran que el proyecto finaliza con la ejecución. Nada más lejos, el mantenimiento es un aspecto indispensable hasta el fin último del proyecto (González, 2015).

2.2.6.10. Los niveles de madurez BIM

El nivel de madurez es una referencia genérica que indica cuán “madura” está una organización aplicando un proceso en concreto. Se representa por una escala numérica o alfabética, un extremo representa una aplicación nula, y el otro extremo de la escala representa una aplicación total del proceso en cuestión.

La adopción de la metodología BIM de una organización o país también se mide por un nivel o índice de madurez. Y para poder determinar estos niveles, se toma como referencia lo hecho por el Reino Unido, pues desde sus inicios, el objetivo de la estrategia del país ha sido disponer de información de calidad para construir mejores proyectos.

Actualmente el Reino Unido lidera, en Europa y en el mundo, las iniciativas relacionadas con BIM. La Especificación Nacional de Construcción o NBS (*National Building Specifications*) es un sistema de especificación de la construcción utilizado por arquitectos y otros profesionales del sector en el Reino Unido, para describir los materiales, los estándares y la mano de obra de un proyecto de construcción. Este sistema, que fue lanzado en 1973 ha tenido una gran aceptación en la industria AEC, siendo utilizado ya en más de 5.000 oficinas.

La *National Building Specification* (NBS), desarrollado por el *Royal Institute of British Architects* (RIBA) del Reino Unido, han definido los distintos niveles de implementación BIM, los cuales se muestran en la Figura 56.

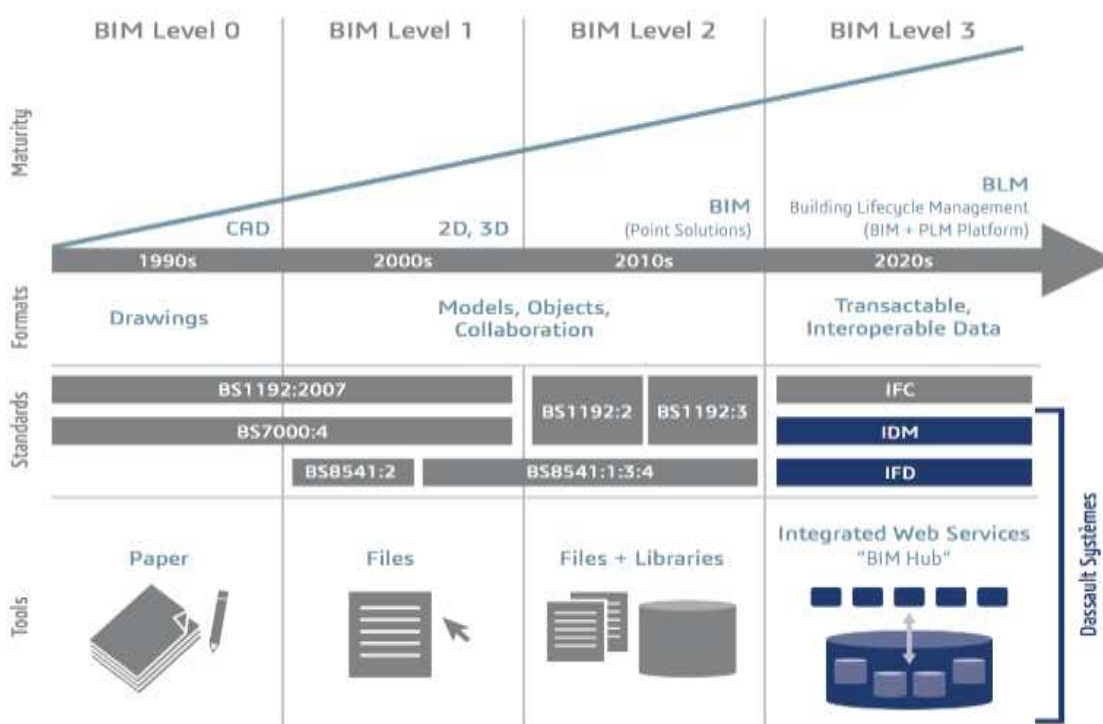


Figura 56. El modelo de madurez BIM por Mark Bew y Mervyn Richards. (Fuente: TDM Studio (2017)).

De la figura 56, se puede observar cuatro niveles: 0, 1, 2 y 3. Son progresivos y para alcanzar cada uno de ellos es necesario implantar nuevos procesos y mejorar los preexistentes.

2.2.6.10.1. Nivel 0

Es el inicio del camino de la implantación BIM. El nivel 0 equivale a una ausencia de colaboración. Se basa en el proceso de trabajo que se ha usado en las últimas décadas: Producción de información en 2D mediante CAD e impresión en papel o en formatos digitales de la información para desarrollar el proyecto.

Este nivel, ya ha sido superado por la mayoría de países del mundo (Zigurat, 2018).

2.2.6.10.2. Nivel 1

Implica una mezcla de trabajo en 3D para la concepción del proyecto y 2D para el desarrollo de la documentación técnica. El grado de colaboración se da, sobre todo, en el uso de un sistema de compartición de datos del proyecto, normalmente en la nube, sin embargo, el modelo no es compartido entre los miembros del equipo de forma simultánea.

Este es el nivel en el que muchas empresas y estudios trabajan actualmente (TDM STUDIO, 2017).

2.2.6.10.3. Nivel 2

Este nivel marca el inicio de la colaboración. Todas las partes trabajan sobre su propio modelo 3D, y comparten información con el mismo formato lo cual permite la creación de un flujo de trabajo colaborativo. Todos los softwares implicados en el proceso deben ser capaces de exportar la información a un formato común para que el resto de participantes puedan usarla en sus modelos.

Este nivel se ha establecido como el objetivo mínimo para todas las construcciones del sector público por parte del gobierno del Reino Unido a partir del año 2016 y podría considerarse que su adopción ha sido un éxito en el país (Zigurat, 2018).

2.2.6.10.4. Nivel 3

Este nivel aún está en plena definición, aunque existe cierto acuerdo con respecto a sus características más importantes. Esto incluye la creación de nuevos estándares internacionales de “datos abiertos” u “open data” que allanarán el camino para compartir información fácilmente en todo el mercado. Otro elemento clave sería la creación de un entorno colaborativo interesado en el trabajo colaborativo y abierto, así como en la capacitación del cliente del sector público en el uso de BIM.

Aunque este nivel no se ha definido completamente hasta el momento, lo que se quiere lograr es un proceso totalmente integrado y que implique el grado máximo de colaboración. Basándose en el trabajo sobre un único modelo que es compartido por todos los participantes, en que todas las partes pueden acceder y modificar el mismo modelo. Para hacer viable este grado de colaboración es necesario trabajar con soluciones de software que permitan un trabajo simultáneo sobre el modelo común.

2.2.6.11. Los usos BIM

En la bibliografía se encuentra mucha información sobre los usos BIM que existe en diversos países e instituciones que han desarrollado sus propios estándares y guías especificando los usos que han definido. Prado (2018) menciona que estos documentos cambian de cantidad de usos determinados e incluso de definición de usos BIM entre las versiones de una misma publicación.

A pesar de ello, todas las fuentes encontradas coinciden en una misma definición para los usos BIM: métodos para aplicar el modelado de información de construcción durante el ciclo de vida de una instalación para lograr uno o más objetivos específicos (PENN STATE CIC, 2013), es decir, los usos BIM, son las posibles aplicaciones que se le puede dar a la modelo BIM.

Para la *Pennsylvania State University* (Universidad Estatal de Pensilvania) estos usos BIM proporcionan la terminología y estructura fundamental para comunicar lo propósitos para las cuales se implementa BIM. En general, la clasificación de usos BIM permite una mejor comunicación de los propósitos y métodos para implementar BIM a lo largo del ciclo de vida de una instalación.

En otros países ya se han ido desarrollando guías, protocolos y estándares que han sido implementados con mucho éxito en esos países. Algunos de estos documentos son

- uBIM Series - Building SMART Spanish Chapter, de España.
- Standard Framework and Guide to BS1192 de BSI, del Reino Unido
- BIM Project Execution Planning Guide. Pennsylvania State University, de EE.UU.
- National BIM Standard. National Institute of Building Sciences (NIBS). EE.UU.
- Rgd BIM Standard, de Holanda
- Building Smart, Finlandia
- BIM Guide Versión 2, de Singapur
- BIM - Project Execution Plan - Hong Kong

Todos estos documentos describen los requisitos básicos y los conceptos para el uso de BIM. Los usos BIM más comunes son los definidos en el *BIM Project Execution Planning Guide* (Guía de planificación para la ejecución de proyecto BIM) desarrollado por la Universidad Estatal de Pensilvania de EE.UU. Estos usos han ido variando conforme se ha ido actualizando las primeras versiones de estos esquemas. La principal característica de estos usos BIM, es que están organizados por fases del proyecto, tal como se muestra en la figura 57.



Figura 57. Usos BIM a lo largo de un ciclo de vida del edificio. (Fuente: The Computer Integrated Construction Research Program at The Pennsylvania State University (2011)).

Así podríamos seguir mostrando varios esquemas de usos BIM de diversas universidades o entidades públicas de diferentes países. Sin embargo, también hay estudios realizados por varios autores en donde han presentado sus propios usos BIM, como lo hecho por Sacks Koskela en el 2010, en donde desarrollaron un esquema de integración entre las principales aplicaciones BIM que son compatibles con la Filosofía Lean Construction (Prado, 2018).

Por otro lado, un esquema con los más importantes usos BIM, según guías y estándares de los principales países con mayor desarrollo de implementación BIM, es el que se presenta

en la Tabla 11 del estudio realizado por Prado (2018). En la tabla 11 se puede observar cómo Prado (2018) los ha ordenado según su aplicación dentro de cada fase de los proyectos.

Tabla 11

Usos BIM y su aplicación en las etapas de los proyectos

USOS BIM	ETAPAS DE UN PROYECTO DE CONSTRUCCION			
	Concepción	Diseño	Construcción	Operación y Mantenimiento
Modelamiento del proyecto en todas sus etapas	X	X	X	X
Estimación de cuantificaciones (metrados) y costos	X	X	X	
Generación de diversas propuestas de diseño	X	X		
Revisión de normativa		X		
Detección de interferencias e incompatibilidades		X	X	
Planificación 4D		X	X	
Generación de documentación		X	X	X
Evaluaciones de sostenibilidad y eficiencia energética		X	X	X
Simulación de procesos constructivos			X	
Fabricación digital			X	
Programación de mantenimiento preventivo			X	X
Gestión de activos				X
Análisis de desempeño del activo				X

Fuente: Prado (2018)

2.2.6.11.1. Plan de ejecución BIM

Para alcanzar el éxito de un proyecto, se requiere del trabajo conjunto de muchas personas (y de distintos perfiles) que persiguen un objetivo común, lo cual no sería posible sin un sistema sólido de comunicación. Y es aquí, donde un BEP puede resultar de gran ayuda.

Un Plan de Ejecución BIM o BEP por sus siglas en inglés de *BIM Execution Plan*, es una herramienta muy valiosa y necesaria para cualquier proyecto de construcción en el que se desea implementar BIM (Zigurat Global Institute Technology, 2018).

Para Esarte (2017) un BEP es un documento en el que se definen las estrategias, procesos, recursos, técnicas, herramientas, sistemas, etc., que son aplicados para asegurar el cumplimiento de los requisitos BIM solicitados por un cliente (público o privado) para un proyecto determinado o, una fase o fases del ciclo de vida del proyecto. Es decir, es un plan a preparar por los agentes para explicar cómo se llevarán a cabo los aspectos de modelado y de la información durante el desarrollo de un proyecto (BSI: PAS 1192-2, 2013).

Cabe mencionar que este documento es único por cada proyecto y puede ir cambiando conforme el proyecto avance (National Institute of Building Science, 2017).

El objetivo de un BEP, según Esarte (2018), es proveer de un marco de funcionamiento que permite a los distintos agentes del proyecto desarrollar los procesos BIM, así como las mejores prácticas de una manera eficiente, el alcance de la información que tiene que ser compartida, los procesos de trabajo necesarios, así como el software y hardware correcto para su implementación, entre otros, a la fase del ciclo de vida para la cual se redacta el BEP.

Una de estos planes de ejecución es el *BIM Project Execution Planning Guide*, elaborado por la Universidad Estatal de Pensilvania de EE. UU en el año 2010.

Esta guía describe un procedimiento de cuatro pasos para desarrollar un plan BIM. El procedimiento está diseñado para guiar a los propietarios, administradores y participantes del proyecto a través de un proceso estructurado para desarrollar y definir usos BIM adecuados para un proyecto. Los cuatro pasos dentro del procedimiento se muestran en la figura 58.

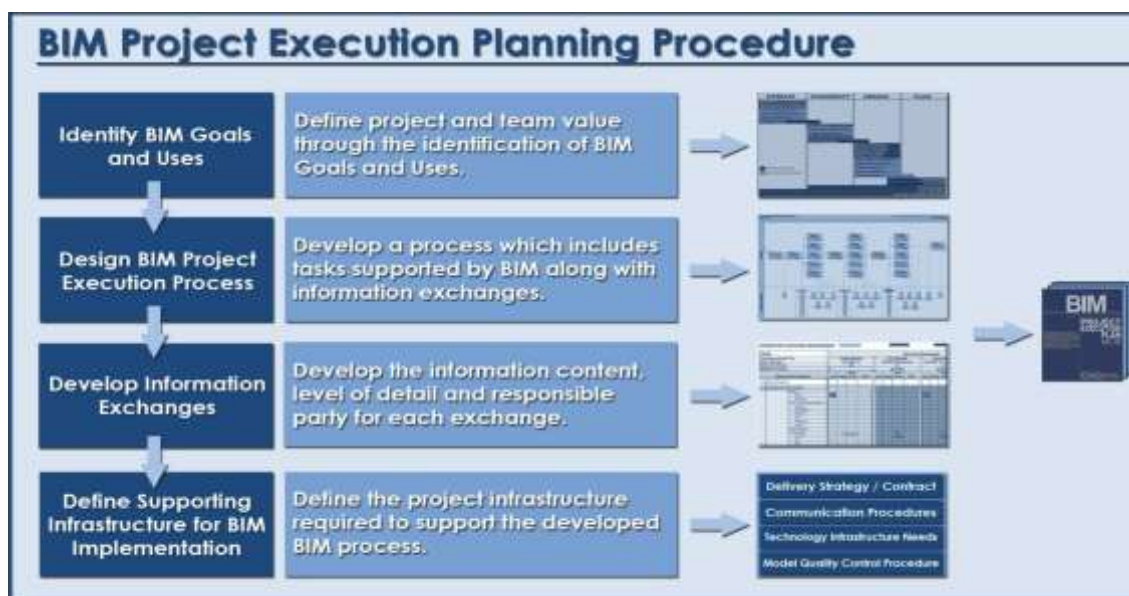


Figura 58. Proceso de planificación de la ejecución del proyecto BIM. (Fuente: The Computer Integrated Construction Research Program at The Pennsylvania State University (2011)).

Los cuatro pasos que se muestran en la figura 58, Prado (2018) los describe en:

- Identificar los objetivos y usos BIM más importantes para las fases de un proyecto.
- Diseñar el proceso de ejecución BIM mediante la creación de mapas de procesos.
- Definir los entregables BIM y la manera en la que estos serán compartidos a todos los involucrados.

- Identificar los requerimientos necesarios para implementar el plan BIM. Estos requerimientos son contratos, procedimientos de comunicación, tecnología y herramientas para controlar la calidad de la implementación (Kreider y Messner, 2013, citado en Prado, 2018, pag. 31).

2.2.7. BIM para la infraestructura vial

2.2.7.1. El BIM para las infraestructuras

Según Ramos (2016), el uso de BIM en proyectos de infraestructuras, no está tan avanzado como es en el caso de las edificaciones, esto debido a los formatos de intercambio de datos entre los distintos softwares.

En la edificación los formatos de intercambio de datos entre las diferentes plataformas, han evolucionado y existe una gran variedad de software que trabajan intercambiando datos entre sí (Zigurat Global Institute of Technology, 2018), permitiendo así, mejores procesos de la metodología BIM.

Sin embargo, en los últimos años se han venido dando iniciativas de diferentes *Chapters de Building Smart International*, de diferentes países, los cuales han iniciado el desarrollo de formatos de transmisión de datos para el BIM en proyectos de infraestructuras (Jardí, 2016), como las carreteras, puentes, etc. Según Márquez (2017) estos formatos son:

- IFC Road, desarrollado por el KITC de Corea del Sur
- IFC Bridge, desarrollado por el proyecto MINnd de Francia
- IFC Railways, desarrollado por CRBIM en China

En ese mismo camino y para poder aplicar la metodología BIM a proyectos de infraestructura, Building Smart crea en el año 2015 el grupo INFRASTRUCTURE ROOM, también llamado INFRAROOM, como primer paso en ese camino, y presenta el IFC Alignment, que permite modelar alineamientos como base para el desarrollo de infraestructuras lineales (Márquez, 2017). Esta extensión se convierte en el primer formato para infraestructuras. Sin embargo, hasta la actualidad el intercambio de datos bajo este formato no es satisfactorio, pues no está lo suficientemente desarrollado (Márquez, 2017).

Por otra parte, el uso de BIM en proyectos de infraestructura todavía es relativamente bajo, pues existe una falta de información, tanto teórica como práctica, sobre BIM en proyectos de infraestructura (Hjalmarsson y Höier, 2014).

Hasta la fecha, BIM no se utiliza en la gestión de proyectos de infraestructura. Solo recientemente, los beneficios de BIM para el diseño y construcción de infraestructuras han comenzado a ser reconocidos y realizados (Fanning, 2014). Sin embargo, los beneficios logrados a través de la implementación en la construcción de edificaciones sugieren que BIM representa una oportunidad significativa para obtener beneficios a lo largo del ciclo de vida de proyectos de infraestructura (Fanning, 2014).

2.2.7.2. Oportunidad de BIM en proyectos de Infraestructura Vial

Según Honarpisheh (2014), el éxito de la gestión de proyectos se evalúa principalmente midiendo la capacidad de administrar el tiempo y el costo en los proyectos. La implementación de BIM puede ser beneficiosa debido a los ahorros de costos y tiempo que pueden resultar de tomar las decisiones fuera del campo y explorarlas primero en la oficina (Fanning, 2014).

Según Ahmed et al. (2003), los proyectos de construcción han estado acompañados por demoras en la mayoría de los casos en todo el mundo, lo que resulta en un exceso de costos. Para Honarpisheh (2014) es más probable que estos retrasos ocurran en proyectos de infraestructura como carreteras, autopistas, ferrocarriles, etc., ya que son más grandes y más costosos. Esto es lo que hace que este tipo de proyecto sea más riesgoso, especialmente cuando tienen que planificarse precisamente para horizontes largos.

En el 2014 en el Perú, se realizó el Primer Congreso Internacional BIM, en donde el Ing. Carlos Delgado presento en dicha conferencia algunas estadísticas sobre el estado del diseño de los proyectos y sus consecuencias en la fase de construcción.

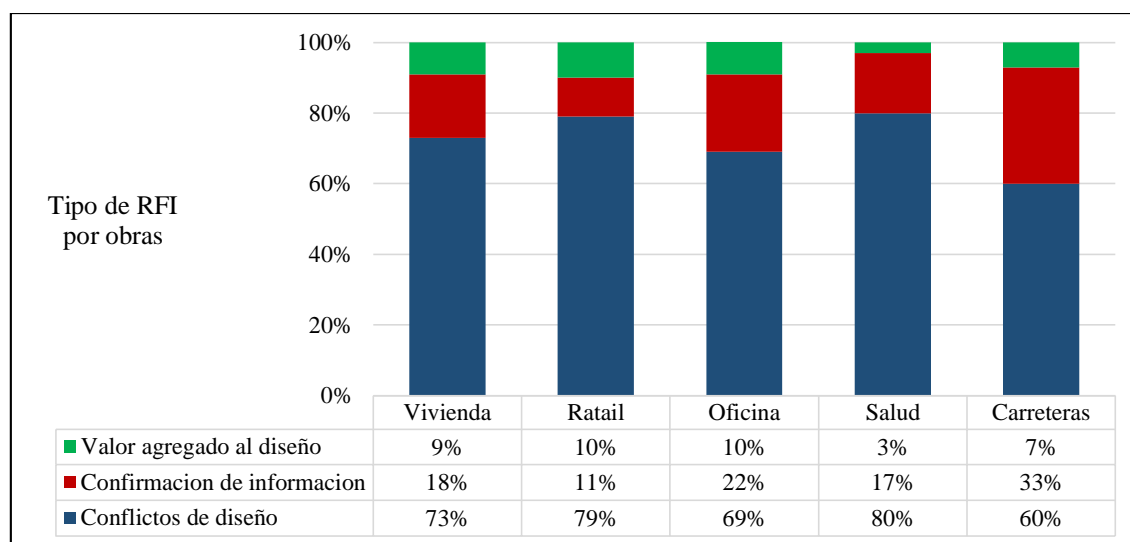


Gráfico 11. Tipos de RFI por obras. (Fuente: Delgado (2014)).

Del gráfico 10, se puede observar que los proyectos de carreteras muestran deficiencias en sus documentos contractuales de diseño. Por ello, es que se generan muchos sobrecostos (Véase Gráficos 11) y tiempos de ejecución fuera de los plazos contractuales, perjudicando la calidad del proyecto (Véase Gráficos 12).

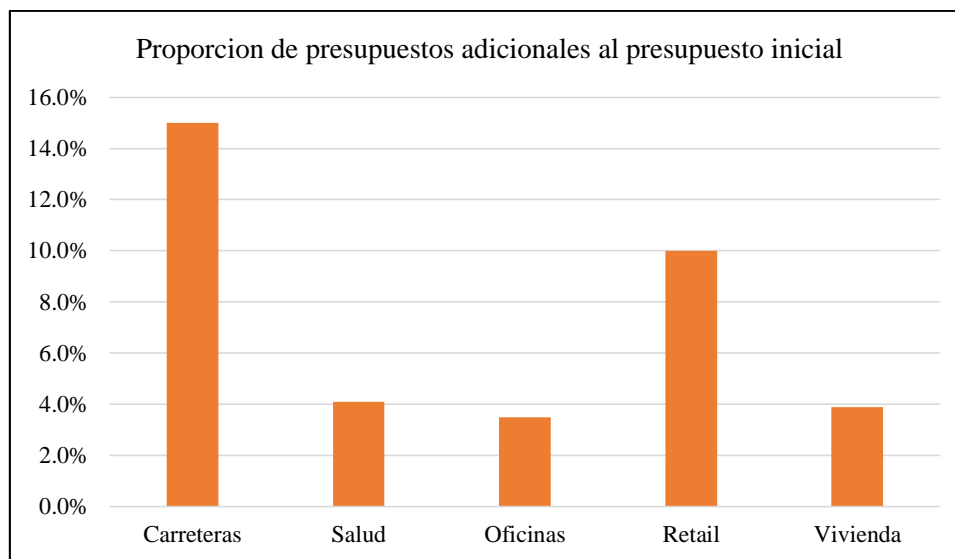


Gráfico 12. Adicionales respecto al costo directo por tipo de proyecto. (Fuente: Delgado (2014)).

Del gráfico 11 se puede observar cómo los proyectos de carreteras representan un monto en adicionales bastante considerable, lo que representa un porcentaje importante a la hora de tomar decisiones.

Así mismo, en el Gráfico 12, se puede apreciar el gran porcentaje que representan las ampliaciones de plazo en la ejecución de los proyectos de carreteras con respecto a otros tipos de proyectos.

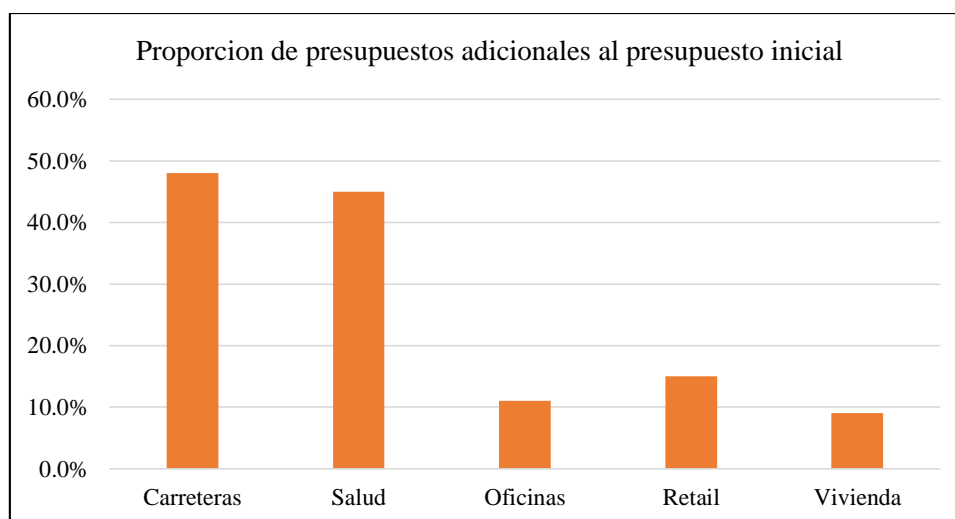


Gráfico 13. Ampliaciones de plazo por tipo de proyecto. (Fuente: Delgado (2014)).

Por lo tanto, BIM para la infraestructura vial brinda la oportunidad gestionar mejor los proyectos, tanto para los representantes del sector público como para el sector privado, para que así, los constructores, consultores y propietarios tengan una forma dinámica, confiable y organizada de mantener sus activos (Fanning, 2014). La construcción de carreteras, sin embargo, en la actualidad permanece años atrás en la realización del verdadero valor de la incorporación de la metodología BIM en la construcción y administración de los proyectos.

2.2.7.2.1. Limitaciones del diseño centrado en dibujos

Para entender el modo en que BIM es oportuno para los proyectos de infraestructura vial, como son los proyectos de carreteras, y que ya no solo se limitan a los proyectos de edificación, es útil echar un vistazo a los procesos que se han utilizado en los últimos 20 años para el diseño y construcción de proyectos viales, los cuales han sido los diseños centrados en dibujos 2D. Este proceso, que puede ser llamado como “aislado”, comienza con el diseño preliminar, sigue con el diseño detallado y, luego con la documentación de construcción. Cada paso debe completarse antes del inicio del siguiente paso, en la cual la colaboración es muy limitada.

Este proceso funciona bien hasta que se necesite hacer cambios inevitables en el diseño, y es aquí, donde se necesita realizar actualizaciones al diseño, procesos que se lleva a cabo manualmente, que requiere mucho tiempo y esta propensa a errores.

La Figura 59 muestra el nivel de esfuerzo que se requiere durante el ciclo de vida de un proyecto de carreteras, desde el diseño preliminar hasta su operación. Como indica la línea azul, la capacidad que se tiene para influir en el costo y desempeño durante el ciclo de vida del proyecto está al máximo en el diseño preliminar, pero decrece abruptamente conforme avanza el proyecto. La línea roja muestra que el costo al hacer cambios en el diseño es bajo durante el diseño preliminar, pero se incrementa también abruptamente durante del desarrollo del proyecto. Finalmente, la línea negra muestra en qué momento los ingenieros civiles y proyectistas utilizaron mayor esfuerzo y más recursos con un proceso basado en el dibujo 2D: en la fase de documentación del proyecto.

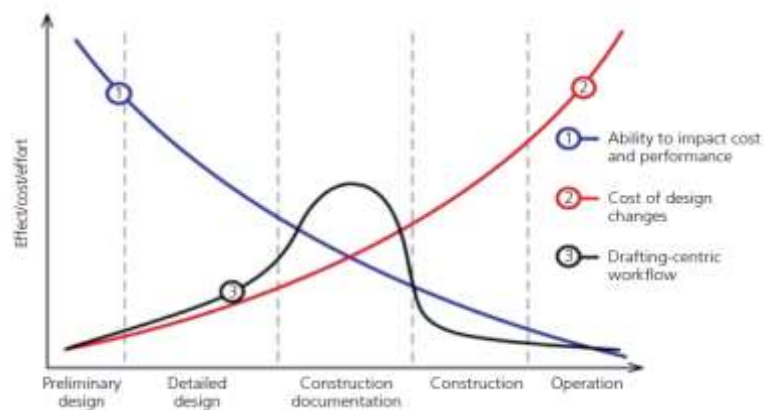


Figura 59. Flujo de trabajo tradicional de un proyecto de infraestructura vial
(Fuente: Strafaci, 2008 (gráfico originado por Patrick McLeamy, ALA / NOK)).

El problema que nos muestra la Figura 59, es que el punto más alto de los esfuerzos (línea negra) coincide con un punto en el que la capacidad de los ingenieros para impactar en el desempeño del proyecto se está reduciendo y el costo de hacer cambios al diseño se está incrementando.

Esto llega al fondo de las limitaciones en un flujo de trabajo basado en dibujos 2D. Es costoso hacer cambios múltiples al diseño y evaluar los impactos en el desempeño del proyecto una vez que se ha comenzado con la documentación. Como consecuencia, el proceso centrado en dibujos 2D produce el primer diseño que se alcanza y que no es necesariamente el mejor diseño.

2.2.7.2.2. Nuevos flujos de trabajo con BIM

Implementar un proceso BIM para proyectos de infraestructura vial, comienza con la creación de un modelo virtual de la carretera, en el que los componentes están conectados entre sí de forma dinámica (Strafaci, 2008), no solo los puntos, superficies, alineaciones y perfiles, sino también la abundante información y atributos de ella. Esto significa, tener a disposición un conjunto de información de diseño coordinada y confiable del proyecto en un solo archivo.

Por ejemplo, justo a la mitad del proyecto de diseño de una carretera, el perfil longitudinal necesita ajustes en una curva vertical y en las pendientes, al ajustar el perfil, todos los elementos relacionados del diseño se actualizan de manera automática, lo que permite que el diseñador vea al instante el impacto de actividades como excavar y rellenar o la influencia de la plataforma en el derecho de vía, entre otras cosas. De este modo, BIM facilita la evaluación de muchas más alternativas de diseño (Strafaci, 2008).

Como parte del proceso en BIM, los ingenieros civiles pueden aprovechar el modelo de información para llevar a cabo la simulación y el análisis, y optimizar el diseño para objetivos como constructabilidad, sostenibilidad y seguridad de la carretera.

Lo que se entrega incluye, no solo la documentación de construcción 2D, sino también el modelo mismo y toda la información que contenga (Strafacci, 2008), la cual se puede aprovechar para el cálculo de cantidad de materiales, la secuencia de construcción y, lo que es el centro de atención, en la planificación y programación de la construcción, lo que podría llevar a la prevención de errores costosos.

Otra ventaja de este modelo de información, es que nos puede mostrar las interferencias entre los objetos del diseño, a través de la visualización del modelo 3D (Honarpisheh, 2014). Y así evitar conflictos con infraestructuras bajo el suelo, como las redes de agua potable y alcantarillado, cables eléctricos y de telecomunicaciones, etc.

Entonces, el uso del modelado, la visualización 3D y el análisis nos es nada nuevo para los profesionales del diseño de carreteras. La diferencia es que con los enfoques tradicionales centrados en dibujos 2D, el diseño, análisis y documentación son desconectados. Esto hace que la evaluación de los posibles escenarios sea ineficiente y pesado.

Como lo muestra la línea verde en la Figura 60, gracias a que el diseño, análisis y documentación se conectan de manera dinámica en un flujo de trabajo en BIM, la mayor parte del esfuerzo en el diseño de un proyecto de carretera se traslada hacia la fase de diseño detallado, cuando la capacidad de influir en el desempeño de un proyecto es alta y cuando el costo por hacer modificaciones al diseño es bajo. Esto permite que los ingenieros utilicen más tiempo para evaluar los escenarios posibles y optimizar el diseño y, menos tiempo en generar la documentación de la construcción.

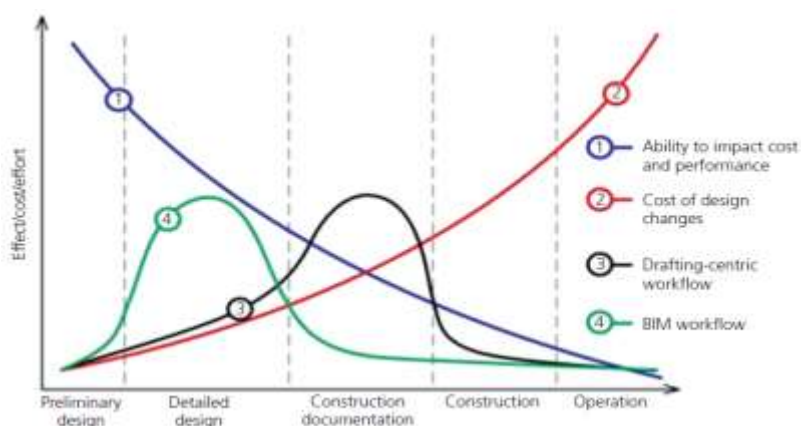


Figura 60. Flujo de trabajo BIM de un proyecto de infraestructura vial. (Fuente: Strafacci, 2008- gráfico originado por Patrick McLeavey, ALA / NOK)

De todo lo anterior mencionado, ya podríamos tener claro el concepto de BIM para proyectos de infraestructura vial.

2.2.7.3. El BIM para Infraestructura Vial

Como se vio en las secciones anteriores, la metodología BIM es versátil, y a pesar que el campo de mayor desarrollo de BIM se ha dado en las edificaciones, el concepto se aplica de igual manera a través de diferentes softwares. Según Acuña (2016) estos softwares podrán variar de acuerdo a la estructura a diseñar. Para proyectos de infraestructura vial se deberá utilizar el software cuyas herramientas faciliten le creación de elementos viales (Acuña, 2016), como la superficie del terreno o modelo digital del terreno, los alineamientos, los perfiles longitudinales, la estructura vial, entre otros.

Para Acuña (2016), BIM se presenta como una solución al diseño, documentación y administración de proyectos de infraestructura vial.

En Bentley Systems Latinoamérica (2015) definen al BIM para las infraestructuras de transportes, como la metodología para generar y administrar la información durante el ciclo de vida de la infraestructura a través de un portafolio de soluciones de software. Para ello, se deben usar aplicaciones que estén conectadas, que realicen el intercambio de la información y permitan la colaboración de todo el equipo de trabajo, no solo de los ingenieros civiles, que son los que encargan del trazo o diseño, sino también de los ingenieros estructurales, los geotecnistas, los de obras de arte y drenaje, los topógrafos, los cadistas, los de costos y planeamiento, etc. todo esto, a través de un único modelo virtual o modelo de información.

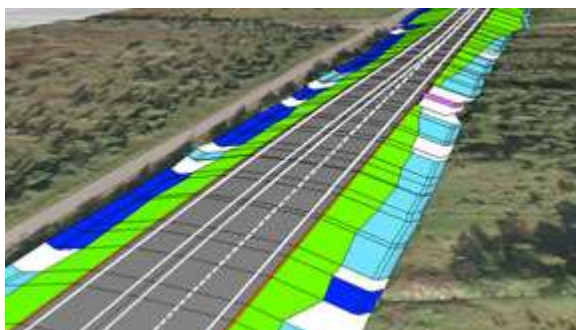


Figura 61. Vista de un modelo virtual de una carretera
(Fuente: OpenRoads – Bentley).

Parte de la metodología BIM es seguir usando los modelos 3D a lo largo de todas las fases del desarrollo de un proyecto, aportando la información que se requiere para el cumplimiento de una fase y enriqueciéndose de mayor información para la siguiente (Acuña, 2016).

Para el diseño y ejecución de un proyecto de infraestructuras podrán ser aplicados todos los procesos de la metodología BIM, sin embargo, los proyectos de infraestructura vial podrían no atravesar todas las etapas (Acuña, 2016).

Acuña (2016) menciona que varios de los procesos BIM que intervienen en el desarrollo integral de un proyecto de infraestructura vial, pudieran ser excluidos dependiendo de la especialidad y particularidad de los elementos a diseñarse. Ya que no todo software permite aprovechar la información de los elementos modelados como se requiere en un flujo de trabajo BIM, o no tienen la capacidad necesaria para modelar aquellos elementos de mayor complejidad.

De lo anterior mencionado, Acuña (2016) establece de manera general un flujo de procesos para la implementación de la metodología BIM en el desarrollo de proyectos de infraestructura vial, la cual cumple con las siguientes etapas:

2.2.7.3.1. Planificación vial BIM

Etapa técnica inicial de un proyecto. Esta etapa se caracteriza por el planteamiento del alcance del proyecto, sus objetivos y se establecen sus principales características técnicas y lineamientos, así como la recopilación de información de factores influyentes, tales como:

- Lugares a comunicar, límites normativos, técnicos, presupuestarios, intenciones de diseño, etc.
- Recopilación y análisis de información: Estudios de tráfico, topografía referencial, imágenes satelitales, información de posibles expropiaciones, análisis de zonas de riesgos, identificación hidrográfica y caracterización de suelos, etc.

En esta etapa se plantea el flujo de trabajo y se seleccionan las herramientas BIM necesarias para desarrollar esta etapa

2.2.7.3.2. Diseño conceptual vial BIM

Etapa que es consecuencia de haber reunido y analizado toda la información que delimita el proyecto. Es en esta etapa donde se plantean las distintas alternativas posibles, basado en información digitalizada, como por ejemplo información cartográfica, aerofotogrametría, etc.

Ahí se realizan varios escenarios con diseños conceptuales de la vía, para el análisis y posterior elección de la idea o diseño que represente mayores beneficios que converja con el objetivo del proyecto.

Para esta etapa es necesario el uso de herramientas de diseño BIM, que permitan visualizar las alternativas planteadas, así como también la evaluación geométrica, técnica y presupuestaria, la cual será parte del sustento de la elección de la mejor alternativa, como, por ejemplo, las cantidades de material a excavar o rellenar, las distancias recorridas, características del suelo, viabilidad presupuestal, entre otros.

2.2.7.3.3. Diseño detallado vial BIM

Seleccionada la mejor alternativa entre los diseños conceptuales, empieza el diseño y la ingeniería de detalle, a partir de la recopilación de información de campo y levantamientos topográficos, así como de los estudios específicos de las estructuras y componentes de la infraestructura vial.

Además, comprende el diseño geométrico con software para modelar obras viales y la aplicación de normativas de diseño, todo sustentado para obtener un diseño final.

Es recomendable que la herramienta BIM en la que se realizó el diseño conceptual sea compatible con la herramienta BIM de diseño definitivo, para poder aprovechar la mayor cantidad de características geométricas e información del diseño conceptual.

2.2.7.3.4. Análisis vial BIM

En base a la información planimétrica y altimétrica, el diseño detallado de la infraestructura debe ser probado de manera digital, existen varios análisis que son posibles de realizar digitalmente o mediante procesos computacionales. La etapa de análisis es donde se somete el modelo del diseño detallado a ciertos ensayos o condiciones que puedan avalar o no el diseño. Estos análisis deben ser cuidadosamente programados para que los resultados obtenidos sean semejantes a la realidad, como, por ejemplo: comprobación de geometría basada en normativas técnicas, análisis gráfico y recorrido del modelo vial, análisis espacial de interferencias entre estructuras y cálculo de materiales de obra para elaboración del diagrama de masas, análisis hidráulico del sistema de drenaje superficial, en caso de existir, entre otros.

Existen herramientas BIM capaces de realizar análisis dentro del mismo software de diseño, de igual manera existen programas exclusivos de análisis. Sin embargo, la condición necesaria para cumplir el ciclo BIM en esta etapa es que los resultados puedan ser consumidos y usados para ajustes del modelo de tal manera que el diseñador tenga datos de juicio para perfeccionar el modelo.

2.2.7.3.5. Documentación vial BIM

Cuando el modelo ha sido ajustado y todos sus elementos de diseño han sido completados, se extraen los documentos producto del diseño. Como son los planos de planta, perfil longitudinal y secciones transversales, reportes del diseño geométrico, tablas de los elementos de curvas horizontales y verticales, captura de imágenes del modelo, computo de materiales (corte, relleno, sub base, base y pavimento), planillas, leyendas, etc.

2.2.7.3.6. Construcción vial BIM

En esta etapa se requiere la aplicación de una administración o gestión de la obra, ya que es aquí cuando se elabora y vincula el plan o cronograma de ejecución del proyecto. También se debe realizar en esta etapa, el seguimiento y control del avance del proyecto a través del modelo digital, para así poder identificar posibles conflictos con otras disciplinas que intervienen en el proyecto.

Para este fin, es necesario que la herramienta BIM permita extraer información de cuantificación y caracterización de materiales para los elementos modelados.

2.2.7.4. Las Herramientas BIM para Infraestructura Vial

En la actualidad es amplio y variado los softwares disponibles con tecnología BIM, existen una serie de aplicaciones comerciales, las cuales llevan años desarrollándose y comienzan a ser, en estos últimos años, herramientas fiables que permiten trasladar la concepción del proyecto, por complejo que esta sea, a una realidad virtual exacta (Goyzueta y Puma, 2016).

En el mercado existen varias empresas desarrolladoras de software BIM para infraestructura vial, algunas principales son:

- **Autodesk, Inc.** Es una empresa estadounidense dedicada al desarrollo de softwares de diseño en 2D y 3D para las industrias de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC por sus siglas en ingles).
- **Bentley System, Inc.** Con sede en el Reino Unido y EE.UU., es una empresa especializada en software para el diseño, evaluación, simulación, planificación, construcción y operación de las infraestructuras, como carreteras, ferrovías, puentes, aeropuertos, edificios, plantas industriales y eléctricas, así como los sistemas de información geográficas (cartografía) y redes de agua y alcantarillado, entre otros. Cada solución está diseñada para garantizar que la información fluya entre los procesos de flujo de trabajo y los miembros del equipo del proyecto para permitir la interoperabilidad y la colaboración.

- **Buhodra Ingeniería S.A.** es un grupo empresarial que se han encargado de desarrollar la familia de productos ISTRAM®. Estas aplicaciones que también están dirigidas al sector de la AEC, permiten diseñar y controlar el proceso constructivo de obras civiles. Compañía española, con mucha presencia en países de Europa e Hispanoamérica.

En la Figura 62 se muestran los logos de estas principales empresas.



Figura 62. Principales empresas dedicadas a desarrollar software BIM. (Fuente: Elaboración Propia).

En la Tabla 9 se muestran los softwares más importantes que permiten crear y gestionar los modelos BIM para infraestructura vial.

Tabla 12

Herramientas que permiten crear y gestionar modelos BIM en infraestructura vial

Empresa	Software	Función
Autodesk	ReCap	Permite crear modelos 3D con captura de la realidad, a través de escaneos laser o fotos capturadas
	InfraWorks	Para diseño y visualizaciones preliminares
	Civil 3D	Para diseño de infraestructura y documentación de construcción, también permite flujos de trabajo BIM
	Vehicle Tracking	Permite el diseño y analizar el seguimiento de la trayectoria de vehículos.
Bentley System	Bentley Pointools	Para procesar nubes de puntos, permitiendo visualizar y editar para el flujo de trabajo
	OpenRoads ConceptStation	Permite crear diseños conceptuales de carreteras y puentes
	OpenRoads Designer	Para diseño de modelos de terrenos, sistemas de drenajes, redes de agua y alcantarillado y diseño de carreteras
	OpenRoads Navigator	Es una aplicación para celular que proporciona acceso rápido a información del proyecto

Buhodra
Ingeniería

Istram - Ispol

Es una aplicación para el diseño y gestión de proyectos de ingeniería civil. Es una herramienta muy completa pues permite realizar todas funciones de las otras aplicaciones, pero en un solo programa

Fuente: Elaboración propia

Independientemente del tipo de software que se utilice, lo importante es poder garantizar un flujo de trabajo que permita obtener los mayores beneficios de estas herramientas.

Todo este intercambio de información entre las diferentes herramientas es posible gracias a que todas ellas permiten el intercambio de archivos en formatos LandXML, que vendría a ser el IFC de las infraestructuras viales (Montagud, 2018).

2.2.7.4.1. Ventajas del uso de las herramientas BIM

La metodología BIM presenta una serie de ventajas con respecto a la metodología tradicional. A continuación, se describen algunas de las principales ventajas del uso de las herramientas BIM para infraestructura vial.

- Permiten analizar diferentes alternativas de diseño. Se pueden realizar iteraciones al diseño y simplificar tareas que demandan tiempo. Facilitan el modelado de distintos escenarios de diseño antes de llegar al diseño final y así, poder determinar un diseño más eficiente y rentable con el menor impacto al social, económico y ambiental.
- Gracias a que todos los elementos del modelo están conectados, permiten generar toda la documentación del proyecto, como planos, tablas, planillas, cantidad de materiales, etc., de manera automática, aumentando así la productividad, reduciendo los errores y las omisiones, y garantizando una mayor calidad en el proceso y producto del diseño.
- Dado que se trabaja en todo momento en un modelo 3D, es posible visualizar todos los elementos que conforman la carretera, permitiendo comprobar si hay algún problema de integración entre los diferentes elementos de una forma segura y rápida.
- BIM permite el trabajo colaborativo a través de una sola plataforma en el que los diferentes agentes implicados en el proceso de diseño pueden trabajar en la misma herramienta, integrando y compartiendo en tiempo real. De esta forma se consigue mejorar la colaboración multidisciplinaria durante las fases de diseño y construcción.

2.2.7.5. Dificultades en la adopción de BIM en proyectos de infraestructura vial

Como toda metodología nueva, existen restricciones u obstáculos para su aplicación o implementación. Diversos son los factores que dificultan la adopción de estos nuevos métodos de trabajo.

En una conferencia realizada en el 2017 en España sobre la implementación de BIM, se mencionaron algunas de las principales barreras para la adopción de la metodología BIM en proyectos de infraestructura vial, los cuales reflejan de manera muy parecida a las dificultades para el uso de estas herramientas tecnológicas en el Perú:

- **Baja Demanda.** Son muy pocas las entidades, instituciones o empresas que solicitan estos nuevos métodos de trabajo. Nadie podría implementar estos nuevos procesos de diseño si es que nadie los solicita. A demás, no existen normas que garanticen el uso de estas herramientas tecnológicas.
- **Ausencia de estándares.** La interoperabilidad en el desarrollo de proyectos viales es muy limitada. Los softwares todavía tienen problemas con la transferencia de información hacia los demás involucrados, dificultando así el diseño colaborativo.
- **Inversión inicial.** Uno de los obstáculos más grandes es que las empresas de construcción creen que la implementación BIM costaría a su empresa mucho dinero. Si bien es cierto, para poder implementar estos nuevos métodos de trabajo, se tienen que invertir en la compra de computadoras, software o capacitación al equipo de trabajo, los resultados obtenidos luego de estas inversiones son positivos.

Una encuesta realizada a ingenieros y contratistas en 4 cuatro países, informaron que experimentaron un ROI positivo de su inversión en BIM (Véase Figura 63). Este resultado particularmente positivo, se da, gracias a que los usuarios han estado usando BIM durante tres años o menos.

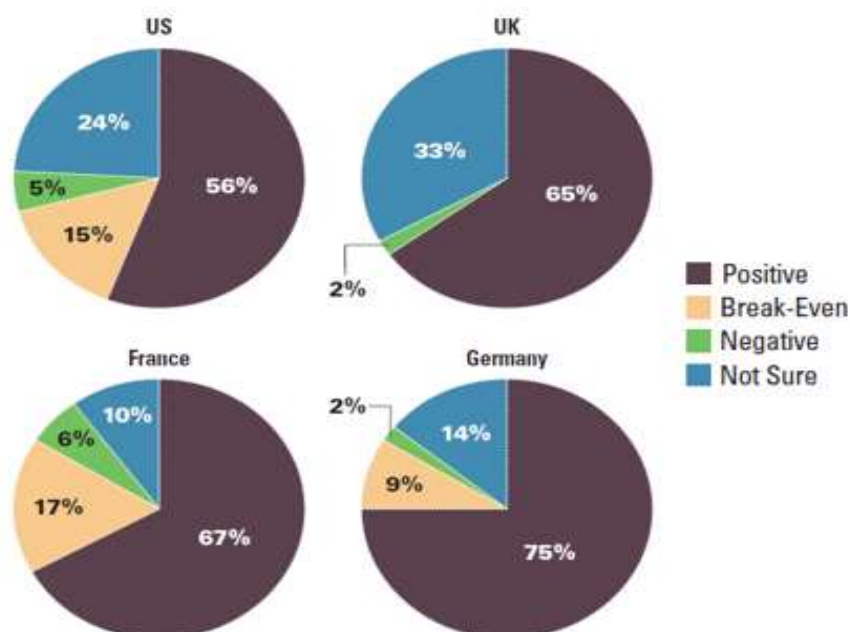


Figura 63. ROI percibido en BIM (según los ingenieros y contratistas que usan BIM por país)
(Fuente: SmartMarket Report: The Business Value of BIM for Infrastructure 2017).

Se puede observar de la Figura 63 que más de la mitad de los encuestados registraron un ROI positivo con el uso de herramientas BIM en sus proyectos.

- Falta de experiencia. La poca cantidad de profesionales con conocimientos en BIM, es una de las principales razones que dificulta el poder desarrollar proyectos viales con todo lo beneficioso que debe ser para todos los involucrados (Millasaky, 2018). Las herramientas BIM mencionadas en los párrafos anteriores, quizás no sean nuevas para algunos ingenieros, pero poderlos aplicar bajo procedimientos que hagan más eficiente y productivo a los procesos de diseño y construcción, son obstáculos que nos tenemos que enfrentar para garantizar un correcto flujo de trabajo en todas las fases del ciclo de vida del proyecto.

2.2.7.6. Gestión de proyectos con Civil 3D

Se puede establecer que los pilares en los que se fundamenta la metodología BIM, son la construcción del modelo 3D, la colaboración entre las distintas áreas o especialidades involucradas en el proyecto, el seguimiento y control de dicho proyecto a lo largo de su ciclo de vida, y la gestión del mismo.

Dada la cantidad de herramientas BIM que existen para infraestructura vial, y las que permiten trabajar en cualquier etapa del ciclo de vida del proyecto, en esta investigación solo se centrará en una de las que facilite el diseño de todos los elementos de una obra vial y el que mayores usos le pueda dar al modelo. Es por eso, que para cumplir con el objetivo de

esta investigación se utilizó el software Civil 3D 2019 (Metric), de Autodesk, para el desarrollo del diseño de un proyecto de infraestructura vial.

Esta herramienta que permite, no solo realizar un análisis de la topografía sobre la cual vamos a construir nuestro proyecto y modelar todos los elementos de una carretera, nos ofrece una variedad de opciones para administrar nuestros proyectos.

La administración de proyectos es un asunto de carácter global que afecta a todos los miembros del equipo (Autodesk AutoCAD Civil 3D, 2013). Las decisiones que se tomen acerca de cuál será el sistema de administración del proyecto pueden tener consecuencias muy desfavorables a lo largo del desarrollo del mismo.

Por ejemplo, un sistema que funciona bien con un proyecto de un mes en el que se maneje un conjunto de 20 dibujos podría resultar inadecuado en un proyecto de varios meses con 400 dibujos. Lo que se pretende es, implementar un sistema de administración de un proyecto cuando esté completamente cargado de objetos de diseño y dibujos, y estos a su vez, de toda la información correspondiente a cada elemento de la carretera, como las superficies, el alineamiento, los perfiles, entre otros. De esta manera los flujos de trabajo serán más eficientes.

El software Civil 3D nos permite implementar desde un sistema sencillo hasta uno más complejo, la cual se podrá ampliar o reducir a medida que cambien los requisitos del proyecto.

2.2.7.6.1. Descripción de la gestión de proyectos en Civil 3D

Dependiendo de la complejidad del proyecto, el sistema de administración de proyectos puede comprender desde unos pocos dibujos en una carpeta hasta una gran base de datos con objetos compartidos y con controles de seguridad (Autodesk AutoCAD Civil 3D, 2013).

Al decidir la estructura que se utilizara para la administración de proyectos, se deben tener en cuenta los siguientes tres factores.

- El número y complejidad de los dibujos.
- El tamaño del equipo del proyecto y el número de personal que requieren acceso a los archivos.
- La necesidad relativa de facilitar el uso en comparación con la seguridad de los datos.

2.2.7.6.2. Uso compartido de objetos

El uso compartido de objetos de diseño, como superficies y alineaciones, entre dibujos produce un importante ahorro de tiempo si se hace correctamente (AutoCAD Civil 3D, 2013).

Existen tres métodos principales para compartir datos en un proyecto en Civil 3D. Estos también se conocen como tipos de referencia a datos:

- Referencias externas (xrefs), en las que el contenido de un dibujo (dwg) se importa a otro.
- Acceso directo a datos entre dwg.
- Referencia a objetos con el software Autodesk Vault.

La estructura común para poder administrar correctamente un proyecto en Civil 3D, es organizar los objetos de diseño individuales como alineaciones y superficies en dibujos distintos (Véase Figura 64).

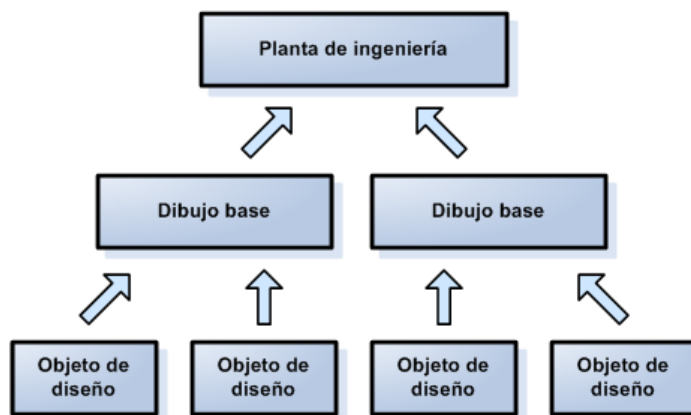


Figura 64. Estructura para administrar proyecto en Civil 3D

(Fuente: Autodesk (2013))

La figura 64, nos muestra una estructura común de gestión de proyectos en donde los dibujos base hacen referencia a los objetos de diseño durante los procesos de diseño. Los dibujos de producción finales y las plantas de ingenierías completas se prepararán con una combinación de referencias de objetos y de dibujos.

Cabe mencionar que, así como estas herramientas nos ayudan a gestionar los proyectos, proporcionándonos acceso compartido a los datos de ingeniería, también protegen la integridad de los datos (AutoCAD Civil 3D, 2013).

Para esta investigación se desarrolló el método de Acceso directo a Datos o *Data Shortcuts* en inglés, para la gestión del diseño de un proyecto de carretera.

2.2.7.6.3. Los Data Shortcuts

Si bien Civil 3D es una herramienta que brinda beneficios para el diseño de proyectos de infraestructura, también es cierto que el software demanda muchos recursos de hardware y que, al manejar proyectos grandes, el rendimiento de las computadoras se ve disminuido considerablemente.

Una forma de trabajar con grandes cantidades de datos es mediante el uso de accesos directos a datos o los *data shortcuts*.

Un *data shortcut* es un enlace entre dibujos que permite compartir datos específicos de Civil 3D (Mastering Civil 3D 2016). El acceso directo en si no contiene datos, pero es un vínculo, que dirige Civil 3D para leer información de un conjunto común de datos. Se crea un acceso directo a datos en el dibujo de origen y una referencia de datos es la manifestación de los datos en un dibujo de destino (Mastering Civil 3D 2016).

Para Ibarra (2008), un objeto creado en un archivo puede ser incluido en otro, referenciado a través de un acceso directo. El objeto referenciado tiene geometría de solo lectura, pero el usuario puede cambiar el estilo del objeto en el archivo local y consultar las propiedades del objeto origen. Este objeto referenciado, según Ibarra (2008), ocupa mucho menos espacio que el archivo origen, y que cualquier cambio al archivo origen se ve reflejado en el objeto referenciado mediante una sincronización.

Los accesos directos a datos o *Data Shortcuts*, no es más que el trabajo con archivos XML de forma automática y coordinada entre archivos de origen y el archivo “master”. En la Figura 65 se observa un esquema la cual se muestra la relación entre distintos archivos y el archivo “master”.



Figura 65. Esquema del uso de los Data Shortcuts. (Fuente: CAPSFOT (2018)).

Como se observa en la Figura 65, la gran ventaja es que ya no se tiene en un solo archivo toda información, sino que esta se encuentra en los archivos de origen y es un único archivo el que hace lectura de estos, lo cual permite el trabajo con archivos livianos, haciendo eficiente el flujo de trabajo.

Otro esquema que define el flujo de trabajo con los data shortcuts, es el que se muestra en la Figura 66.



Figura 66. Flujo de trabajo con Data Shortcuts. (Fuente: Autodesk University (2012)).

Se puede observar en la Figura 66, que cada acceso directo de cada objeto de diseño servirá para crear el siguiente objeto de diseño, referenciándolo en su mismo dibujo, y estos a su vez, a los objetos siguientes de nivel superior.

Al mismo tiempo que permite manejar grandes cantidades de datos y hacer más livianos los archivos, estos accesos directos nos garantizan la seguridad e integridad de los datos.

El uso de *data shortcuts* implica dos procesos principales:

- Crear los accesos directos a datos desde sus dibujos de origen, y
- Crear referencias a datos en los dibujos de destino a objetos de origen de los dibujos de origen.

Los accesos directos a datos se pueden utilizar para superficies, alineaciones, perfiles, redes de tuberías, obras lineales y los grupos de marcos o vistas.

El uso y manejo de los *Data Shortcuts* se desarrolló en el ejemplo de aplicación de la presente investigación.

2.2.8. La implementación de BIM en el mundo

El impacto positivo del BIM en los proyectos de construcción ha estado constituido por el potencial económico que presenta, al ser una estrategia sostenible de trabajo, que promueve una ejecución de proyectos de manera colectiva y organizada (Martínez, 2015).

Los mercados globales de grandes economías han adoptado esta metodología y han visto los resultados positivos que presenta, mediante la introducción de métodos eficientes e innovadores hacia los procesos de diseño y construcción.

La construcción es un sector que por su actividad afecta en gran medida las perspectivas económicas de un país. Algunos países de economías emergentes ya han empezado a adoptar esta metodología como medida innovadora, para la gestión de sus proyectos. También BIM ha generado la presencia de nuevos agentes en las etapas de diseño y construcción, en marco de la gestión, legalidad y promoción de la estrategia (Martínez, 2015). Esto ha impulsado a que profesionales, no necesariamente, arquitectos, ingenieros, constructores o demás, vean la necesidad de inclinar su formación profesional hacia este mercado laboral en vías de desarrollo.

Para Martínez (2015) la gestión del proyecto es cosa de todos los involucrados, el trabajo colaborativo y la documentación del proyecto que se genera a través de esta metodología, ha cambiado la percepción de los procesos en todas las fases el ciclo de vida de los proyectos. Según Martínez (2015) se ha establecido una notoria calidad de los procesos y agregado valor en las fases de los proyectos.

Como consecuencia de esto, veremos cómo ha sido la respuesta del sector de la AEC en mercados globales y casos de éxitos con la metodología aplicada en las diferentes fases del proyecto.

2.2.8.1. Repercusiones del uso de BIM en el mundo

Para poder identificar las repercusiones del uso de BIM en el mundo, es necesario mostrar los estudios hechos por empresas e instituciones dedicadas a publicar informes sobre la implementación de BIM en la industria de la construcción.

2.2.8.1.1. McGraw Hill Construction - SmartMarket Report

McGraw Hill Company, es una empresa estadounidense con varias divisiones que se encarga de publicar revistas científicas y técnicas (informática y otros), de economía empresarial, gestión, entre otras disciplinas. Una de estas divisiones de *McGraw Hill Company* es

McGraw Hill Constuction. Esta división se dedica a realizar investigaciones de mercado en la industria de la construcción.

McGraw Hill Construction desde el 2007, ha venido recopilado en sus informes, las experiencias de varios mercados tras la utilización del BIM. Estos reportes son citados para identificar el impacto que ha tenido el BIM sobre el uso, la implementación, el valor, los beneficios y las dificultades en su adopción, en países de economías desarrolladas y emergentes.

Estos informes son muy aceptados en la industria de la construcción, pues el tamaño de sus muestras y técnicas utilizadas en sus estudios, cumplen con estándares para el desarrollo de estas investigaciones, y tienen un alto grado de confianza y un bajo margen de error.

SmartMarket Report 2012

Desde las investigaciones iniciales llevadas a cabo por *McGraw Hill Construction* sobre el BIM en América del Norte (EE.UU. y Canadá) realizados en el 2007 y 2009, el potencial de BIM para respaldar la transformación de los procesos de diseño y construcción han sido evidente. Así lo señala el *SmartMarket Report 2012*, en donde la adopción de BIM aumento de 28% en el 2007 a 71% en 2012.

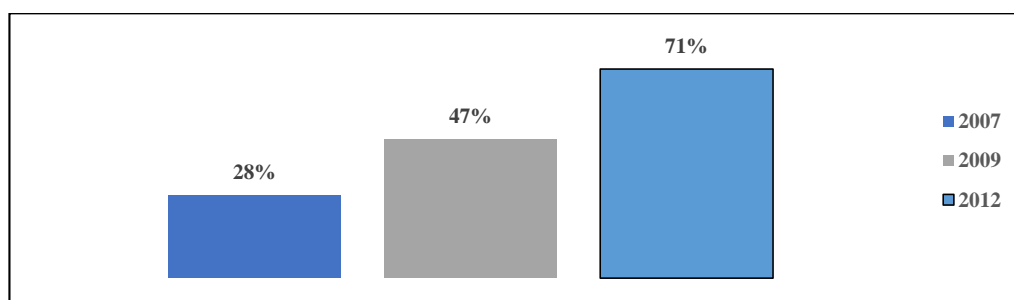


Figura 67. Niveles de adopción BIM en América del Norte. (Fuente: McGraw-Hill Construction, 2012).

En la Figura 67 se muestra cómo ha ido creciendo la tendencia en la implementación de BIM en las empresas de la industria de la construcción en el Norte de América.

En dicha investigación, se encuestaron a un total 582 profesionales, entre arquitectos, ingenieros y contratistas. Y fueron los contratistas (74%) los que superaron a los arquitectos (70%) e ingenieros (67%), en la adopción de BIM, evidenciando así, la capacidad de los contratistas para impulsar el crecimiento de esta tecnología.

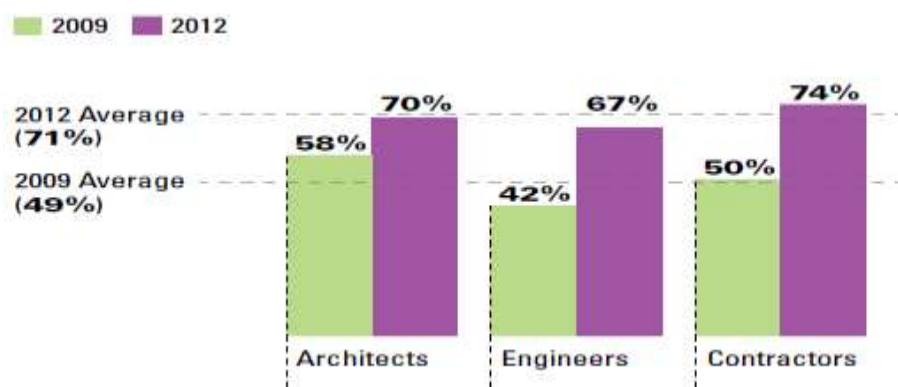


Figura 68. Niveles de adopción BIM en América del Norte. (Fuente: McGraw-Hill Construction, 2012).

SmartMarket Report 2014

En el *SmartMarket Report 2014*, se sigue evidenciando a los contratistas como los principales impulsores de la innovación del BIM. Debido a su papel en el desarrollo de los proyectos, los contratistas se encuentran en el centro de los flujos de trabajo y los procesos que obtienen los mayores beneficios de BIM (McGraw-Hill Construction, 2014).

En esta investigación se muestran los datos de las encuestas de empresas de construcción de los principales mercados del mundo, los cuales utilizan BIM para mejorar su productividad, eficiencia, calidad, seguridad y su propia competitividad.

El estudio se realizó a través de una encuesta en línea por internet a contratistas generales y gerentes de construcción que utilizan BIM. Fueron un total de 727 profesionales de 10 países diferentes: Australia, Brasil, Canadá, Francia, Alemania, Japón, Corea del Sur, Nueva Zelanda, Reino Unido y Estados Unidos.

Los resultados de esa investigación mostraron la cantidad de años que los contratistas han estado usando la tecnología BIM.

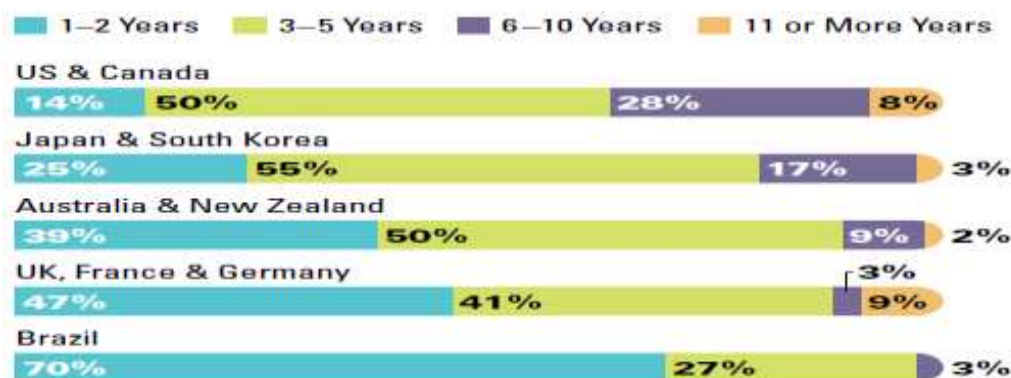


Figura 69. Tiempo que los contratistas han estado usando BIM. (Fuente: McGraw-Hill Construction, 2014).

En la Figura 69 se puede observar que los países de Europa (12%) han estado utilizando BIM o herramientas relacionadas con BIM durante seis o más años. Lo que evidenciaría que BIM se haya desarrollado inicialmente en Europa.

Este estudio también indico que, en el Reino Unido, el 19% de sus contratistas generales tienen más de 10 años de experiencia con BIM.

Por otra parte, se observa en la Figura 69 que Brasil es el país que más creció en esos últimos años (70%).

El nivel de implementación BIM se refiere al porcentaje de proyectos de un contratista que involucran a BIM. McGraw Hill Construction ha estado utilizando una escala constante para la implementación de BIM en sus estudios desde el 2009. Esta escala del nivel de implementación es:

- Bajo : menos del 15% de sus proyectos utilizan BIM
- Medio : de 15% a 29%
- Alto : de 30% a 59%
- Muy Alto : 60% o más

La investigación de McGraw Hill Construction muestra la relación entre los niveles de implementación BIM y los años de experiencia con BIM.

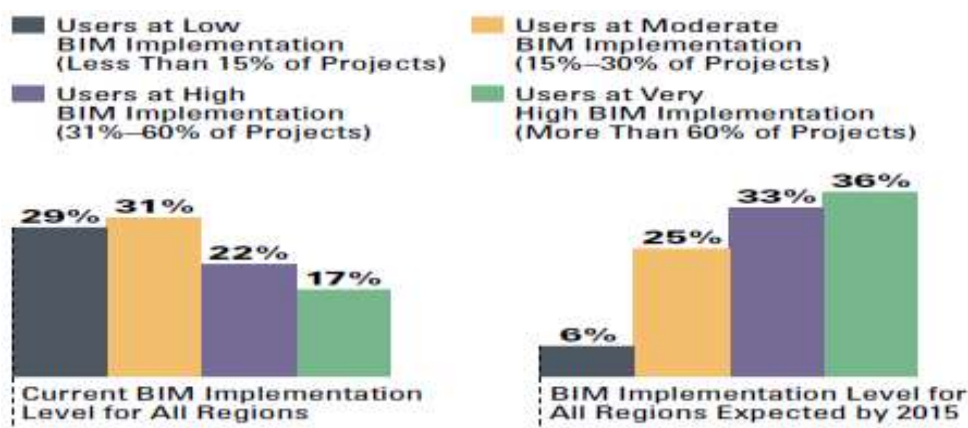


Figura 70. Niveles de implementación de BIM actuales y futuros de los contratistas

(Fuente: McGraw-Hill Construction, 2014).

Se puede observar en la Figura 70, que, en todos los países encuestados, la mayoría (60%) de los contratistas operan actualmente en niveles bajo o medio, es decir, en menos del 30% de sus proyectos. Mas, por el contrario, se espera que en los próximos dos años más de los

dos tercios de los contratistas pasen a operar en niveles altos o muy altos, es decir a más del 30% de sus proyectos. Lo cual refleja que a medida que avanza la experiencia en el uso de BIM, los contratistas elevaran sus niveles de implementación BIM.

En esta misma investigación se realizó una proyección para el año 2015 entre los contratistas de los diferentes países con mayor implementación en BIM. La Figura 71 nos muestra que los contratistas de todos los países encuestados que participan con BIM en más del 30% de sus trabajos aumentara considerablemente en los próximos dos años. Esto debido a los beneficios obtenidos en el desarrollo de sus proyectos.

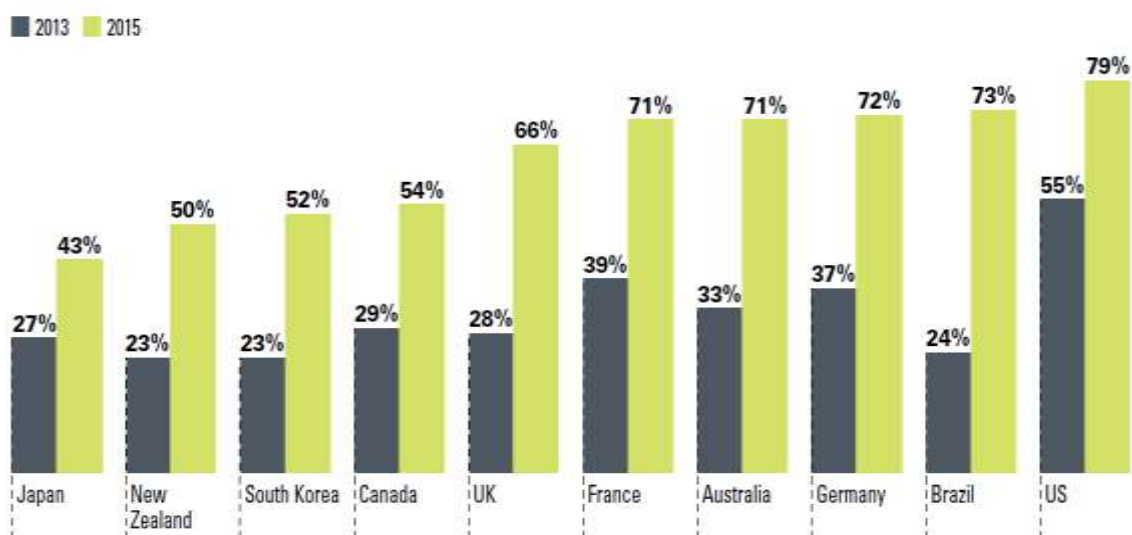


Figura 71. Porcentaje de contratistas con niveles altos / muy altos de implementación BIM (por países)
Fuente: McGraw-Hill Construction, 2014

Desde el 2009, McGraw Hill Construction también ha estado siguiendo el grado en que los usuarios reciben beneficios específicos como una forma de predecir la mejora en los resultados de la implementación BIM. En la Figura 72 se muestran los principales beneficios reportados por los contratistas dentro de sus organizaciones. En la cual la reducción de errores y omisiones se clasifico como el principal beneficio.



Figura 72. Principales beneficios BIM citados por los contratistas dentro de su organización (Fuente: McGraw-Hill Construction, 2014).

De la Figura 72, se observa que la colaboración con los propietarios y las empresas de diseño, es el segundo principal beneficio reportado por los contratistas, evidenciando así, la tendencia hacia los proyectos integrados, involucrando a todos los miembros del equipo.

También se observa en la Figura 72, los beneficios relacionados con el desarrollo de negocios. La comercialización de nuevos negocios y la oferta de nuevos servicios, permitirán la expansión de BIM a proyectos no relacionados con la construcción de edificios, como carreteras, puentes, obras hidráulicas, entre otros.

Cabe mencionar, que pueden surgir más beneficios, puesto que en este *SmartMarket Report* 2014, solo se describen los beneficios citados por los contratistas, quedando por mencionar los diferentes beneficios de los arquitectos, ingenieros y propietarios.

Habiendo conocido los principales beneficios reportados por los contratistas, ya se puede mostrar la percepción del ROI luego de implementar BIM en sus proyectos.

Si bien no existe un único método o métrica para calcular el retorno de la inversión (ROI) de una empresa en BIM, la mayoría de los encuestados tienen una percepción del valor que están recibiendo por el tiempo, el dinero y el esfuerzo que han gastado en su implementación en BIM.

Las métricas financieras, como la reducción de costos, mayor rentabilidad y mayor productividad, generalmente se consideran la categoría más importante para medir el ROI en las inversiones en BIM, seguidas de las métricas relacionadas con el proceso de entrega del proyecto, como menos RFI, menos cambios no planificados, mayor satisfacción del cliente y menos interrupciones en el proceso del proyecto.

McGraw Hill Construction ha elaborado siete rangos numéricos, a los cuales les dividió en tres niveles para el análisis de tendencia.

- Nivel 1: ROI negativo / equilibrado en inversiones BIM
 - Negativo
 - Equilibrado
- Nivel 2: ROI moderadamente positivo en inversiones BIM
 - Menos de 10%
 - 10% - 25%
- Nivel 3: ROI muy positivo en inversiones en BIM
 - 26% - 50%
 - 51% - 100%
 - Mas de 100%

Cabe mencionar, que el ROI analizado en este estudio no es el ROI del proyecto, sino el ROI estimado de la inversión en BIM. Luego de determinar los rangos y los niveles, se pidió a los contratistas de los diferentes países compartir su percepción del ROI en BIM, los resultados se muestran en la Figura 73.

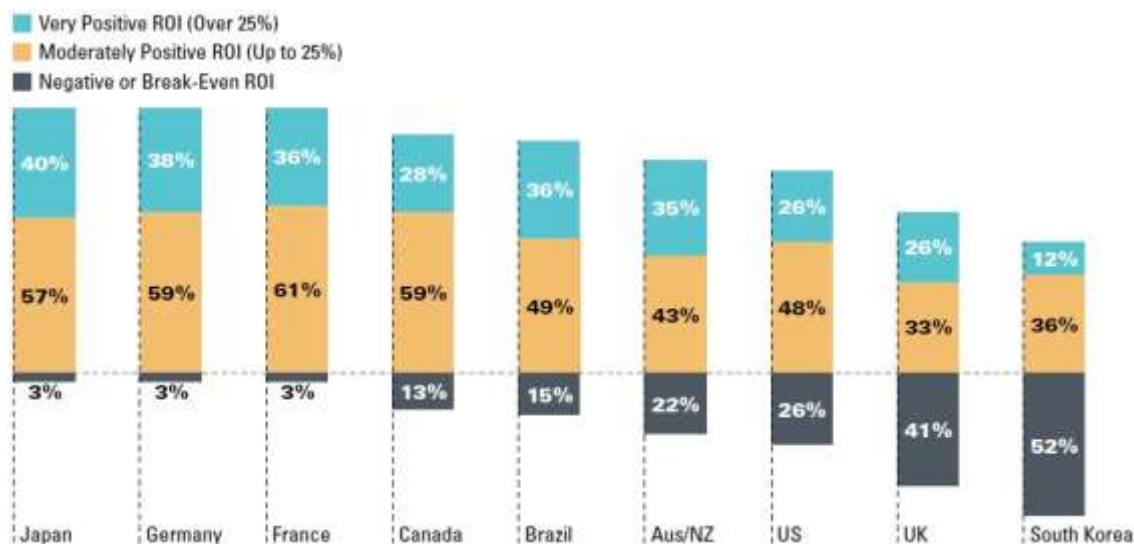


Figura 73. El ROI percibido por los contratistas en BIM (por países). (Fuente: McGraw-Hill Construction, 2014).

En la Figura 73, se observa a Corea del Sur (52%), Reino Unido (41%) y EE.UU. (26%), con los porcentajes más grandes que reportan un ROI negativo o equilibrado. Lo cual, reflejaría un aumento reciente en la adopción de BIM por parte de estos contratistas en esos países. Los contratistas de Japón, Alemania y Francia, son los países que reportan mayores retornos de inversión en BIM. También se observa en la Figura 73 que el mayor porcentaje

de contratistas reportan que el ROI en sus inversiones en BIM está en un nivel moderadamente positivo, es decir, entre el 10% y el 25%.

2.2.8.1.2. RIBA: NBS - International BIM Report

La *National Building Specification* o NBS, propiedad del Real Instituto de Arquitectos Británicos (RIBA) a través de su subsidiaria RIBA Enterprise, es una institución, con sede en Newcastle, Inglaterra, que ha venido desarrollando especificaciones técnicas durante los últimos 40 años para la industria de la construcción en el Reino Unido.

Esta institución, publicó en su segundo informe internacional, llamado *International BIM Report 2016*, los resultados sobre los usos y la adopción de BIM en cinco países que se encuentran en diferentes etapas de implementación de BIM. El informe muestra los resultados de una encuesta realizada a profesionales del sector de la construcción del Reino Unido, Canadá, Dinamarca, República Checa y Japón.

Los aspectos más resaltantes en el *International BIM Report 2016*, fueron los siguientes:

- Más del 80% de los encuestados son conscientes del uso de BIM, siendo República Checa (51%) el país que menos nivel de conciencia.
- Un poco más de la mitad (53%) utilizan actualmente BIM en sus trabajos. Siendo Dinamarca (78%) el país que más utiliza BIM o alguna herramienta relacionada con BIM.

Sin embargo, los resultados mostrados anteriormente, solo reflejan porcentajes del uso de BIM, de acuerdo a las diferentes definiciones BIM que pueden tener en cada país. Así mismo, los encuestados pueden tener diferentes puntos de vistas sobre la claridad de BIM.

- Es por eso que el 65% de los encuestados tienen la sensación de que la información respecto a BIM no es lo suficientemente clara para industria de la construcción. Japón, a pesar de mostrar grandes porcentajes sobre la conciencia del uso de BIM, es uno de los mayores países (78%), que, al mismo tiempo, creen que BIM no está totalmente claro.
- Otro aspecto fundamental que se observó en dicho informe, fue que de los países con mayor conciencia del uso BIM, el 90%, en promedio, indicaron que si usarían BIM para los próximos cinco años. Siendo Dinamarca el país de mayor tendencia en la adopción de BIM.

Los encuestados de los diferentes países, también reportaron los usos más frecuentes que le dan al BIM.

- El 91% produce visualizaciones 3D utilizando el modelo BIM.
- Mas de los tres cuartos de los encuestados realiza la detección de choques a través del uso del modelo BIM.
- Mas de la mitad de los países (57%) realiza el análisis del rendimiento del edificio (consumo de energía, estructural, acústico, etc.) en BIM. Siendo Dinamarca (67%) el país que más aplica este uso. Esto debido a su política de gobierno en reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (NBS International BIM Report, 2016).

En el mismo informe, también se revelo que el Reino Unido tiene los mayores compromisos de parte de su gobierno en las estrategias BIM, es decir, que requerirá BIM para el trabajo del sector público.

2.2.8.2. El valor comercial de BIM para proyectos de infraestructura vial

Para conocer los valores comerciales de BIM en infraestructura vial, la presente investigación muestra los resultados del estudio realizado por *Dodge Data & Analytics* en el 2017.

Dodge Data & Analytics, es la compañía sucesora de McGraw Hill Construction, luego de que *McGraw Hill Company* paso a llamarse *S&P Global Inc.* en el 2016. Esta empresa, publica cada año reportes de datos, análisis, noticias, casos de éxito, etc., sobre investigación comercial en la industria de la construcción en América del Norte. Estos estudios permiten a los fabricantes de productos de construcción, contratistas generales, subcontratistas, arquitectos e ingenieros, comprender mejor sus mercados, permitiéndoles identificar y priorizar oportunidades y relaciones claves en el desarrollo de los proyectos, para mejorar el rendimiento empresarial a nivel nacional e internacional.

DODGE Data & Analytics - SmartMarket Report 2017

El estudio publicado en el año 2017, llamado *The Business Value of BIM for Infrastructure*, mostro los resultados de una encuesta en línea a 368 profesionales que trabajan en empresas consultoras, empresas contratistas y representantes de entidades públicas de Francia, Alemania, Reino Unido y EE.UU. entre octubre del año 2016 y febrero del año 2017.

En dicha investigación los encuestados respondieron sobre los tipos de proyectos de infraestructura vial en lo que más habían trabajado o mayor experiencia tenían, y fueron en:

- Carreteras (66% de los encuestados)
- Puentes (52%)
- Ferrovías (46%)
- Aviación (33%)
- Túneles (33%)
- Otras infraestructuras viales (17%)

De aquí en adelante, para comprender mejor el valor comercial de BIM en infraestructura vial, se mostrará y analizará los resultados de los temas más importantes del SmartMarket Report 2017.

2.2.8.2.1. Uso de BIM

La Figura 74 muestra que el uso de BIM para proyectos de infraestructura vial es general y consistente entre las empresas en todos los países encuestados.

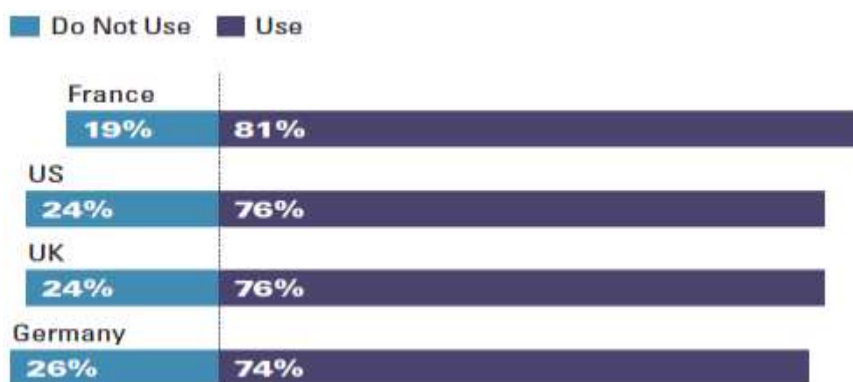


Figura 74. Uso de BIM para la infraestructura vial entre las empresas encuestadas (por países)
(Fuente: Dodge Data & Analytics, 2017).

En la Figura 74 se observa que las empresas encuestadas de todos los países tienen un alto nivel del uso de BIM. En este tema, fueron los túneles (86%) los proyectos en los que mayor uso le dan al BIM, seguidos por las carreteras (76%), puentes (79%) y proyectos ferroviarios (77%).

Así mismo, este estudio reveló que son las empresas grandes las que mayor uso tienen de BIM en comparación con las empresas más pequeñas (Dodge Data & Analytics, 2017)

A todos los encuestados que usaron BIM en todos los países, les pidieron que respondieran sobre el uso que tuvieron hace dos años, el uso actualmente y el uso que esperaban tener dentro de dos años. La Figura 75 muestra a aquellas empresas que implementaron BIM en un nivel muy alto, es decir, 50% o más en sus proyectos.

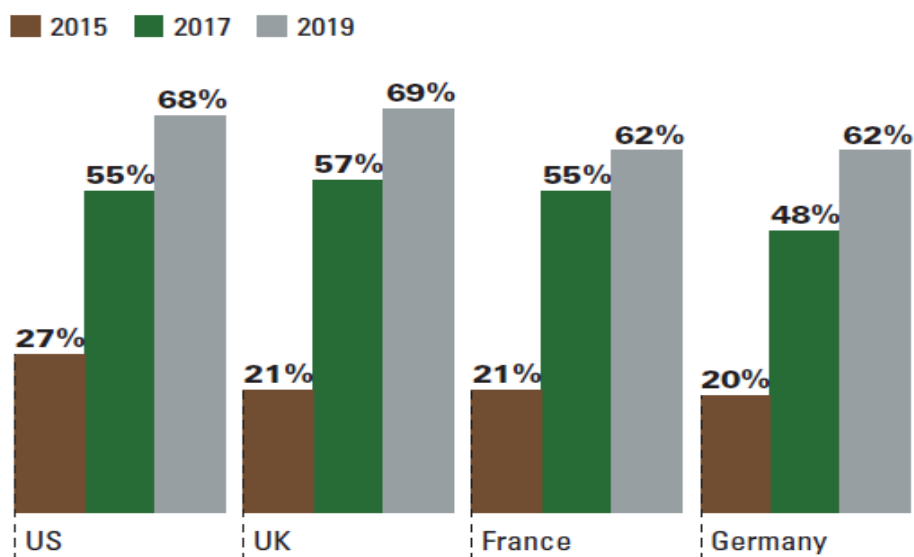


Figura 75. Uso de BIM en 50% o más en sus proyectos. (por países)

(Fuente: Dodge Data & Analytics, 2017).

Se puede observar en la Figura 75 que la implementación de BIM en el año 2017 se ha más que duplicado con respecto al año 2015. Al mismo tiempo, muestra que se mantendría el crecimiento de su uso para al año 2019 en los cuatro países.

Con respecto al nivel de implementación de los ingenieros y contratistas, el estudio informo que en el año 2015 ambos tuvieron los mismos niveles de implementación de sus proyectos. Pero en el año 2017, los contratistas (58%) reportaron niveles más altos que los ingenieros (45%).

Otro dato interesante fue que el 62% de los encuestados desarrollan actualmente proyectos de aviación, un porcentaje mayor respecto a los que desarrollan proyectos de carreteras (52%), puentes (51%), ferroviarios (51%) y túneles (49%).

Por otro lado, la forma en que la que Dodge Data & Analytics midió el nivel de experiencia con BIM de los cuatro países, fue analizando la cantidad de años que han estado utilizando BIM.

En la Figura 76 se muestra los porcentajes donde los encuestados expresaron sus niveles bajos o altos de experiencia de acuerdo a los años que usaron BIM

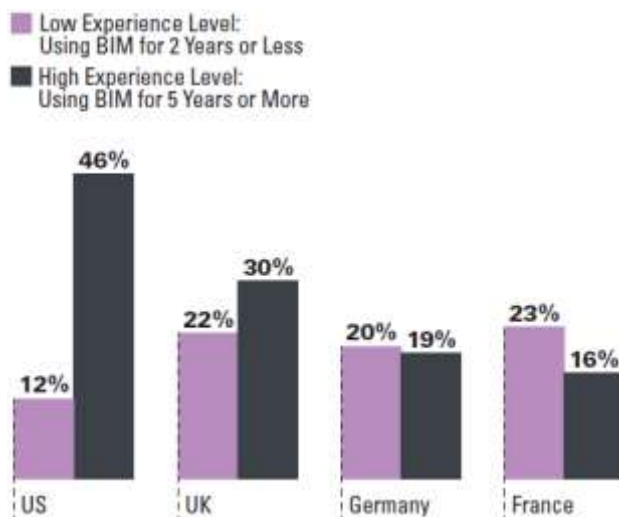


Figura 76. Años de experiencia en el uso de BIM para infraestructura de transporte. (Por países) (Fuente: Dodge Data & Analytics, 2017)

Se observa en la Figura 76 que EE.UU. es el país que tiene más experiencia con BIM en proyectos de infraestructura vial con 5 años o más usando BIM. Así mismo, fueron los profesionales de Alemania y Francia los que consideraron que sus empresas están en un nivel avanzado o experto en el uso de las herramientas BIM para infraestructura vial (Dodge Data & Analytics, 2017).

Otro resultado muy importante a tener en cuenta de la investigación realizada por Dodge Data & Analytics, fue la frecuencia en que las entidades de los gobiernos de los países encuestados, solicitan el uso de BIM en sus proyectos de infraestructura vial. La Figura 77 muestra que, en general, más del 40% de los encuestados informaron que les habían solicitado el uso de BIM en sus proyectos.

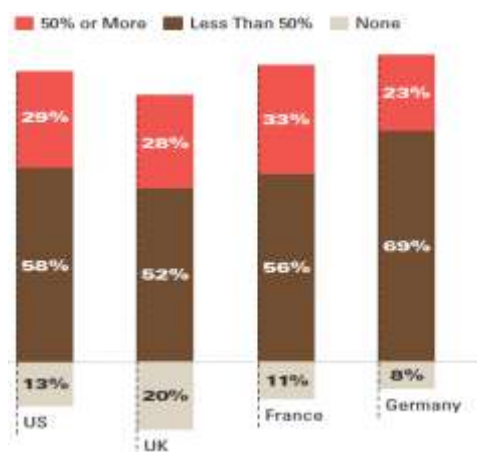


Figura 77. Propietarios que solicitan el uso de BIM en proyectos de infraestructura vial (Fuente: Dodge Data & Analytics, 2017).

Así mismo, fueron los profesionales que trabajan en grandes empresas, entre consultoras y constructoras, las que informaron que sus entidades de gobierno les solicitaron el uso de BIM en aproximadamente el 43% de sus proyectos, en comparación con el 27% de los proyectos por aquellos profesionales que trabajaban en empresas más pequeñas (Dodge Data & Analytics, 2017).

Es cierto decir entonces, que las entidades de los gobiernos juegan un rol muy importante para la implementación de BIM en los proyectos de infraestructura vial, ya que serán ellos también los que impulsen este nuevo proceso de desarrollo en los proyectos de construcción.

2.2.8.2.2. Beneficios de BIM

El uso de BIM, es solo uno de los elementos de la implementación BIM, que los usuarios de BIM experimentan a lo largo de las etapas del ciclo de vida del proyecto. Cuanto más tiempo se use BIM o cuantos más años de experiencia de uso BIM se tenga, es evidente, que se experimentaran mayores valores que mejorarían el desarrollo de los proyectos.

Desde sus primeras investigaciones, *Dodge Data & Analytics*, antes *McGraw Hill Construction*, ha estado preguntando a sus encuestados si estaban experimentando valor por el uso de BIM en el desarrollo de sus proyectos de infraestructura vial. Y las respuestas han sido claras y concluyentes, más del 85% informaron que han estado experimentando algún valor por el uso de BIM (Dodge Data & Analytics, 2017), así mismo, la gran mayoría informó que estuvieron experimentando beneficios empresariales reales directamente atribuibles a BIM (McGraw Hill Construction, 2009).

Estos valores que informaron los encuestados, pueden ser expresados a través de diversos beneficios que percibieron por el uso de BIM, desde mayor productividad, mejor calidad, hasta mejoras en los procesos y mejores resultados del proyecto.

Estos beneficios, también pueden ser experimentados desde un profesional que usa un software BIM hasta los grandes equipos de un proyecto que colaboran intensamente a través de los modelos BIM.

A lo largo de todas las investigaciones de Dodge Data & Analytics, se reportaron y analizaron muchos beneficios percibidos por los usuarios de BIM, y Dodge Data & Analytics, los clasifíco en 3 tipos beneficios BIM.

- Beneficios internos: beneficios comerciales o empresariales que se acumulan principalmente para la empresa (consultora o constructora) que utiliza BIM.

- Beneficios del proyecto: beneficios que mejoran principalmente el proyecto en el que se implementa BIM.
- Beneficios del proceso: beneficios que mejoran los flujos de trabajo del proyecto y los procesos entre las partes de un proyecto BIM

a) *Beneficios internos de BIM*

En el *SmartMarket Report 2017* de *Dodge Data & Analytics*, les pidieron a los encuestados que expresaran los beneficios comerciales relacionados con proyectos de infraestructura vial, que creen que están experimentando, y al mismo tiempo les pidieron que calificaran, en una escala de uno a cinco (ninguno, bajo, medio, alto y muy alto), el grado en que experimentan estos beneficios. La Figura 78 muestra los porcentajes que los usuarios BIM encuentran que experimentan estos beneficios en una grado medio, alto o muy alto.

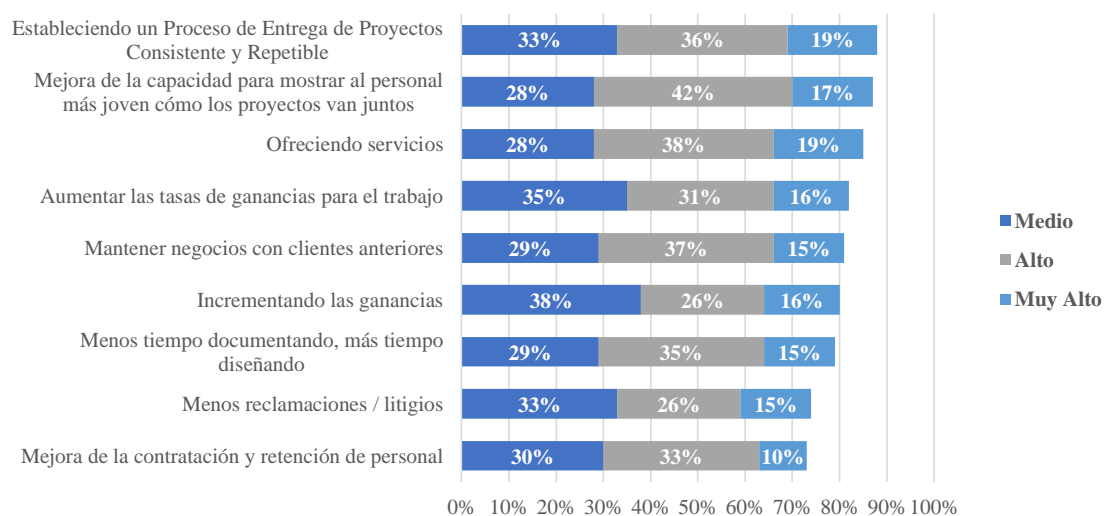


Figura 78. Beneficios comerciales de BIM (calificados alto / muy alto por los usuarios de BIM)

(Fuente: Dodge Data & Analytics, 2017)

Los resultados de la Figura 78, revelaron que las empresas que realizaron proyectos de infraestructura vial debido al uso de BIM, experimentaron una amplia gama de beneficios comerciales.

La Figura 78 revelo que muchos de los beneficios comerciales ayudan a las empresas a mejorar la eficacia de su personal.

- El impacto de BIM en la mejor de la capacidad de una empresa para mostrar a los empleados más jóvenes como se articulan los proyectos es el principal beneficio, calificado de alto/muy alto en un 59%, permitiendo a los jóvenes profesionales

adquirir conocimientos institucionales a medida que los profesionales mayores se jubilan.

- La mitad de los usuarios de BIM (50%) obtuvieron un beneficio alto/muy alto de la capacidad de BIM de permitir que su personal dedique menos tiempo a documentar y más tiempo a diseñar, agregando valor a sus contribuciones en el desarrollo de los proyectos.
- Un porcentaje notable (43%) también considera que BIM es altamente efectivo para ayudarlos a reclutar y retener personal. La competencia por los mejores talentos es un desafío global en la industria de la construcción, y este es un beneficio importante para las empresas comprometidas con BIM.

Por otro lado, las empresas deben poder ampliar sus oportunidades de ofertar nuevos y mejores servicios, así como mantener y fomentar las relaciones con los clientes anteriores. Y para esto BIM brinda una herramienta valiosa para todas esas actividades en el mercado de proyectos de infraestructura vial.

En la Figura 78, se observan los beneficios relacionados con la rentabilidad del negocio y la capacidad para crecer en el mercado laboral.

- Muchos ven una influencia alta/muy alta de BIM en su capacidad para ofrecer servicios (57%) y aumentar sus tasas de ganancias para nuevos trabajos (47%).
- También obtuvieron un alto/muy alto impacto de BIM en su capacidad para mantener negocios con clientes anteriores (52%), junto con la capacidad de establecer un proceso de entrega de proyectos consistente y repetible (55%) y al mismo tiempo, reducir reclamaciones y litigios (41%). Cada uno de estos beneficios puede tener un impacto positivo en los resultados de una empresa, y también pueden mejorar su reputación y posición dentro de la industria.
- El 42% también obtiene un alto/muy alto impacto de BIM en su capacidad para generar mayores ganancias, lo que, a su vez, es una razón convincente para expandir su implementación de BIM

b) Beneficios de los procesos y los resultados de un proyecto BIM

Dodge Data & Analytics ha venido demostrado, desde sus primeras investigaciones, que BIM tiene un impacto positivo en los procesos y resultados del proyecto (*Dodge Data & Analytics, 2017*).

Si bien BIM puede proporcionar beneficios a los miembros individuales de un equipo, la mayoría de los usuarios reconocen que su uso colectivo en proyectos puede generar mejores resultados (McGraw Hill Construction, 2009). Para aprovechar el mayor potencial de BIM, los equipos a menudo establecen un enfoque de diseño y construcción integrado. Y son bajo estos escenarios, que los miembros de los equipos están reconsiderando los roles y los flujos de trabajo tradicionales para encontrar formas mejores y más rápidas de comunicar ideas, reducir errores y mejorar la productividad.

Así mismo, los usuarios reconocen que tener a otros miembros del equipo, con conocimiento sobre BIM, en un proyecto y poder compartir datos de los modelos BIM con ellos puede beneficiar el trabajo en general.

Los principales beneficios del proceso y resultados del proyecto de BIM, se muestran en la figura 62. Para obtener los beneficios mostrados en la Figura 79, a los encuestados en ese estudio les pidieron que identificaran solo tres de una lista de 13 posibles beneficios.

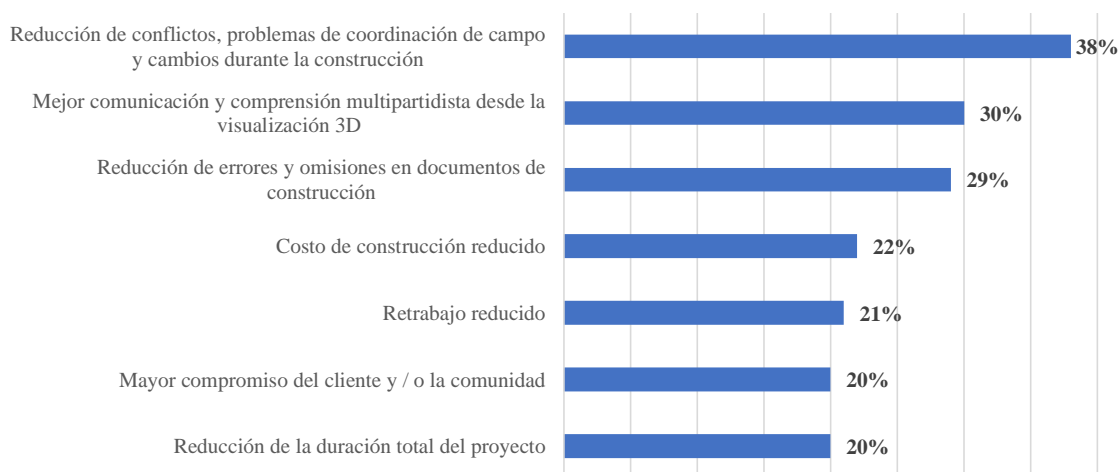


Figura 79. Principales beneficios del proceso y resultados del proyecto de BIM

(Fuente: Dodge Data & Analytics, 2017)

De la Figura 79, se puede observar que el beneficio reportado con mayor frecuencia es la reducción de conflictos, problemas de coordinación de campo y cambios durante la construcción. Esto debido a que un mayor porcentaje de contratistas (41%) lo clasifica entre sus principales beneficios de proceso y resultados que los ingenieros (29%).

Dos beneficios que se muestran en la Figura 79, se vinculan como el siguiente más importante para todos los usuarios de BIM: mejor comunicación y comprensión multidisciplinaria desde la visualización 3D y una reducción de errores y omisiones en los

documentos de construcción. Tanto los ingenieros como los contratistas estuvieron de acuerdo con su importancia, al igual que los encuestados de los cuatro países diferentes.

Entre los cuatro beneficios finales clasificados por los usuarios de BIM, mostrados en la Figura 79, tres implican mejoras en los indicadores que se siguen con frecuencia para evaluar el desempeño de los proyectos: reducción del costo de construcción, reducción del retrabajo y reducción de la duración general del proyecto.

El cuarto beneficio que se observa en la Figura 79, el mayor compromiso del cliente y/o la comunidad, es vital importancia para los proyectos de infraestructura vial, ya que particularmente en los proyectos grandes se necesitan obtener aprobaciones de múltiples partes interesadas.

Otro resultado importante del estudio realizado por *Dodge Data & Analytics* en el *SmartMarket Report 2017*, fue identificar la fase del proyecto en la que BIM proporciona el mayor valor.

El nivel de valor que los usuarios obtienen de BIM, varía a lo largo del ciclo de vida de un proyecto en función de su empleo y la forma en que lo aprovechan. En el estudio de Dodge Data & Analytics, se pidieron a los usuarios de BIM que seleccionaran la fase en la que percibieron el mayor valor de su uso de BIM. La Figura 80 muestra los resultados de los ingenieros y contratistas.

Cabe resaltar que las preguntas que se formularon a los encuestados de los EE.UU. y a los otros países fueron de manera distintas, esto debido a las diferentes nomenclaturas de las etapas en la industria de la construcción de EE.UU. en comparación con Europa

Etapas de proyecto en la que BIM proporciona el mayor valor	EE.UU.	Reino Unido	Francia	Alemania
Antes de que comience el diseño				
Programación (EE.UU.) / Resumido (U.K., Francia, Alemania)	7%	0%	4%	2%
Planificación (EE.UU.) / Conceptual (U.K., Francia, Alemania)	15%	22%	10%	19%
Durante el diseño				
Desarrollo de diseño (EE.UU.) / Diseño desarrollado (U.K., Francia, Alemania)	36%	49%	49%	44%
Documentación de la construcción (Solo EE.UU.)	11%			
Licitación / Construcción / Instalación				
Licitación (EE.UU.)	1%			
Producción (U.K., Francia, Alemania)		13%	20%	22%
Construcción (EE.UU.) / Instalación (U.K., Francia, Alemania)	28%	7%	3%	13%
Post-construcción				
Cierre de proyecto (EE.UU.) / As Built (U.K., Francia, Alemania)	0%	7%	12%	0%
Mantenimiento (EE.UU.) / Uso (U.K., Francia, Alemania)	0%	2%	1%	0%

Figura 80. Etapas de proyecto en la que BIM proporciona el mayor valor (Según ingenieros y contratistas)

(Fuente: Dodge Data & Analytics, 2017)

Se observa en la Figura 80, que, por mucho el mayor porcentaje de encuestados de los cuatro países considera que BIM es el que proporciona el mayor valor durante el desarrollo del diseño (EE.UU.) / Diseño desarrollado (U.K., Francia, Alemania).

2.2.8.3. Perfiles y roles en la metodología BIM

La implementación de BIM en la industria de la construcción obligara a transformar empleos y a crear nuevos perfiles profesionales (bimplicity, 2016). Los distintos recursos que utiliza la metodología BIM, requiere de personas capacitadas y con habilidades en las plataformas digitales, dispuestas a la innovación de los procesos para manejar de manera íntegra un proyecto BIM (Martínez, 2015).

La realidad es que no existe un consenso general ni sobre la denominación ni sobre las funciones a desempeñar por los perfiles y roles de la metodología BIM. Sin embargo, dentro de los proyectos de gran envergadura ya existen profesionales, cuya función primordial es gestionar el proyecto y todos los procesos a través de BIM:

Como resumen de todos los perfiles y roles de la metodología BIM, se describen los 3 perfiles más reconocidos a nivel mundial

- **BIM Manager.** Lidera el uso y la calidad de la metodología BIM dentro del proyecto. Entre sus principales funciones esta la definición del Plan de Ejecución BIM o BEP, facilita el trabajo colaborativo, coordina el equipo de diseño, desarrolla el trabajo dentro de los Entorno Colaborativos de Datos (CDE), gestiona la creación del modelo, su calidad y desarrollo (gestión de cambios), y garantiza la interoperabilidad entre las plataformas y herramientas BIM. El BIM Manager tiene la capacidad de dirigir y gestionar proyectos BIM multidisciplinarios.
- **Coordinador BIM.** Responsable de administrar y coordinar el trabajo de una o más especialidades dentro proyecto (por ejemplo, arquitectura, estructura, instalaciones, seguridad, entre otros), con el fin de cumplir con los requerimientos del BIM Manager. Realiza las auditorías de calidad del modelo de las especialidades y asegura su compatibilidad con los del resto de disciplinas. El Coordinador BIM tiene la capacidad de comprender, utilizar y actualizar los documentos técnicos y operativos del proyecto.
- **Modelador BIM.** El Modelador BIM tiene la capacidad de utilizar el software para la realización de un proyecto BIM, según las competencias disciplinarias (arquitectónica, estructural, instalaciones, etc.). comprende y utiliza la

documentación técnica y operativa de la empresa para la producción de diseños y modelos. Es el responsable del modelado siguiendo lo establecido en el BEP. Elabora las visualizaciones 3D y extrae los datos de los objetos de los modelos BIM.

2.2.8.4. La implementación de BIM en las políticas públicas en el mundo

A partir del año 2000, los países desarrollados del norte de Europa, como también Estados Unidos, Australia y Japón han ido usando BIM en la ejecución de sus proyectos, identificando sus ventajas y desventajas y el potencial para el desarrollo del mercado de la construcción en cada uno de esos países (Jurado y Alva, 2016). El sector privado es quien comenzó a apreciar como impactaba a la forma en la ejecución de los proyectos y los riesgos asociados a cada uno de las partes involucradas, debido a que se necesitaba de una mayor colaboración para tener éxito (McGraw Hill Construction, 2014).

Los países líderes de este cambio se fueron organizando para que sea ordenado, y a partir ahí, se han venido emitiendo normas nacionales para mejorar su uso y facilitar su adopción buscando mayor productividad y reducir los tiempos y los costos de construcción a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Los gobiernos de esos países, líderes en el uso de BIM, han modificado sus políticas públicas, emitiendo mandatos, requisitos, desarrollando guías y manuales para implementar BIM en el desarrollo de sus proyectos, y sus reglamentaciones en algunos países, ya se encuentran en vigencia desde hace varios años atrás.

La información citada en los párrafos siguientes, fueron tomados del *BICP Global BIM Study*, realizado por Barry McAuley y Alan Hore en el año 2017, para el Instituto Tecnológico de Dublín, en Irlanda (BICP Global BIM Study, 2017).

BIM en Europa:

En Europa, se fundó el *EU BIM Task Group* con el objetivo de ser una red europea común para alinear el uso del BIM en los proyectos públicos y ha sido reconocida la labor como de gran importancia por la Comisión Europea.

Reino Unido es el país con mayor grado de madurez calificado en nivel 2 de 3, en el uso del BIM, y desde el año 2016 el uso de BIM es obligatorio para los proyectos públicos. Y la propuesta de ese gobierno fue alinear esa iniciativa junto con la reducción de los costos, tiempos de entrega y otros beneficios.

Escocia, por su parte lanzo un programa de implementación de Nivel 2 en BIM en el año 2015 y su uso es obligatorio desde el año 2017 para proyectos mayores a 4 millones de libras esterlinas. Así mismo ha venido publicando guías que ayudan a entender como adoptar esos estándares y sirven de asesoría para desarrollar capacidades BIM.

El gobierno de Francia oficialmente desde el año 2017, previó la adopción de BIM en proyectos mayores a 20 millones de euros, gracias a una hoja ruta elaborado por el grupo *Plan Transition Numérique dans le Bâtiment*.

En Alemania, las empresas privadas son las que más demandan BIM en los proyectos de construcción, en comparación a lo que exige el gobierno alemán, lo que originó la creación de una compañía independiente, llamada *Planen Bauen 4.0*, que guiara la implementación del BIM a los proyectos públicos para el año 2020.

Italia, que ya utilizo esta tecnología para proyectos emblemáticos como la Ópera de Milán y la ampliación del aeropuerto de Roma, esta oficialmente implementado desde el año 2016 para obras públicas por en encima de los 5 millones de euros.

España, estableció el uso de BIM en el año 2018 para las edificaciones, mientras que para el año 2019 se implementaran para proyectos de infraestructuras. Al mismo tiempo, esperan que para el año 2020 se implementen para todas las fases, como la planificación, diseño, construcción y operación y mantenimiento.

Los países escandinavos han sido los más avanzados en la adopción del BIM. En Finlandia, las instituciones gubernamentales establecieron desde el año 2007 el uso de softwares BIM para el diseño y la construcción de sus proyectos. En el año 2012 la Confederación de la Construcción Finlandesa decidió que el BIM sería un elemento clave en todos los cambios a realizar en el sector. En el caso de Dinamarca en el año 2011 se promulgo el mandato de la adopción del BIM a todos los proyectos locales y regionales mayores a 2.7 millones de euros. Por otro lado, el gobierno de Noruega en el año 2016 estableció su propio mandato nacional para reducir errores, mejorar la coordinación, incrementar la eficiencia energética de todos sus edificios y aumentar la competitividad.

BIM en Asia:

Singapur creo una hoja de ruta para estandarizar sus procesos con metodología BIM desde el año 2015, la cual, indica el uso de BIM en proyectos de más 5000 m2.

En China, en el año 2014, el Ministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano-Rural, solicitó un Plan Nacional, como parte de una estrategia de implementación de BIM para sus próximos cinco años, en donde se espera, según el *SmartMarket Report* de *McGraw Hill Construction*, que el porcentaje de aquellos que utilizan BIM en al menos el 30% de sus proyectos crezca para el año 2019, un 90% en arquitectos y un 110% en contratistas. Así mismo, ha desarrollado un estándar nacional unificado para el BIM.

Hong Kong y Taiwán, también crearon una hoja de ruta para la implementación de BIM en sus proyectos públicos y privados desde el año 2014.

El gobierno de Corea del Sur lleva promoviendo desde el año 2010 el uso de tecnologías BIM en sus proyectos, y es desde el año 2016 que todos sus proyectos, de más 50 millones de dólares, sean de manera obligatoria.

Y en Japón, desde el año 2010 se viene promoviendo el desarrollo de sus proyectos, públicos y privados, con herramientas y flujos de trabajos BIM.

En cuanto a los países árabes, desde el año 2013 los proyectos de más de 40 pisos en Dubái son ejecutados con BIM en su fase de diseño y construcción de manera obligatoria por parte de la empresa privada. Es en el año 2015 donde empezaron a usar BIM para todos los edificios de más de 20 pisos en todos los proyectos públicos.

BIM en Oceanía:

Los países de Australia y Nueva Zelanda, pese a no tener regulación oficial gubernamental, tienen la tendencia de seguir creciendo con respecto al uso de la tecnología BIM, así lo reportó el estudio realizado por *McGraw Hill Construction* en el año 2014 en Oceanía.

En Australia, el Departamento de Planificación de Infraestructuras ha desarrollado guías BIM para sus entidades estatales y municipales, como también para consultores y contratistas, con una obligación del BIM en todos los proyectos de más de 30 millones de dólares. Así mismo, el Cuerpo Legal de Infraestructuras de Australia publicó en el año 2014 un plan de 15 años, dentro del cual, el BIM quedó subrayado como una recomendación para animar a una planificación estratégica integrada en sus proyectos de construcción.

Por otro lado, el Comité de Aceleración BIM realiza esfuerzos para desarrollar procesos de trabajos más eficientes, y han creado en el año 2015 el manual *The New Zealand BIM Handbook*, con el objetivo de promover el uso de BIM en los proyectos a lo largo de su ciclo de vida.

BIM en América del Norte:

Según *McGraw Hill Construction* (2014), los contratistas de América del Norte, entre ellos Estados Unidos y Canadá, son los más avanzados en el uso de BIM en comparación con los demás países del mundo. Siendo conscientes del potencial y los beneficios que han venido obteniendo por la implementación de BIM en sus proyectos, lograron mayor productividad y mejorar los resultados en sus proyectos.

Estados Unidos es considerado como pionero de esta metodología desde el año 2003 con su Programa Nacional 3D-4D BIM. A pesar de no tener un mandato oficial que aplique BIM a nivel nacional, llevan ya muchos años expandiendo el BIM en sus proyectos, a través de sus dos grandes agencias, la Administración General de Servicio (GSA) y el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE), que crearon políticas para requerir BIM en la mayoría de sus grandes proyectos.

Según *McGraw Hill Construction* (2012) la adopción de BIM en las diferentes regiones de Estados Unidos ha sido muy variada, reportándose una mayor adopción por los estados occidentales que están en 77% en comparación con los estados norestes que tienen un nivel de adopción del 66%, mientras que los estados del sur tienen un 45%. Esto se encuentra influenciado por la rápida recuperación económica de cada región y también por la gran cantidad de edificaciones de salud que estuvo desarrollando el gobierno estadounidense, que, debido a la gran complejidad de estos proyectos, se requirió de mayor colaboración, coordinación y visualización, lo que les permitió establecer mejores relaciones con los involucrados. Así mismo, son varios los estados o departamentos en Estados Unidos, que desarrollan sus propios protocolos y estándares BIM para la ejecución de sus proyectos.

Canadá por su parte, tampoco tiene políticas gubernamentales para implementar BIM en sus proyectos públicos. Sin embargo, algunas organizaciones públicas y privadas, incluyendo universidades, representantes de las empresas de construcción y de los profesionales técnicos están comenzando a organizarse para alcanzar una estrategia BIM nacional.

Por su parte, el Instituto BIM de Canadá (IBC), desde el año 2004 junto con *BuildingSMART* Canadá, comenzaron a promover el uso de BIM en diseño, construcción y gestión de sus infraestructuras del país. Desde el año 2010 *BuildingSMART* Canadá viene desarrollando estándares, protocolos y programas para orientar el uso de BIM.

BIM en América del Sur:

En el caso de los países de esta parte del continente, la integración del BIM se está dando con mucha aceptación en la ejecución de grandes proyectos de construcción y con un alto nivel de contratación de profesionales BIM (EDITECA, 2018). Países como Brasil, Chile, Colombia y Perú están empezando a tomar conciencia sobre la implementación de BIM en sus proyectos públicos, siendo Brasil y Chile los países considerados más avanzados con respecto al uso de BIM (BICP Global BIM Study, 2017).

En Brasil, el Departamento Nacional de Infraestructuras de Transportes está adoptando BIM con el objetivo de disminuir en 30% los costos, a lo largo del ciclo de vida, de los proyectos de infraestructura. A pesar de no tener un mandato oficial de gobierno, ya se están trazando rutas estratégicas con el objetivo de seguir aumentando el uso de BIM en sus grandes proyectos de construcción (CIOB, 2015).

Cabe mencionar que, en el estudio realizado por McGraw Hill Construcción (2014a) se reveló que el uso de BIM estaba en aumento entre los contratistas en Brasil a una tasa más alta que cualquiera de los otros países encuestados.

No muy lejos de allí está el gobierno chileno que, junto a los Ministerios de Finanzas, Economía, Obras Públicas, Vivienda y Desarrollo Urbano, y el Instituto de la Cámara Chilena de la Construcción, elaboraron en el año 2016, un plan BIM que durara 10 años y que pretende alcanzar los requisitos del BIM para proyectos públicos para el año 2020 y para los privados, en el año 2025 (BICP Global BIM Study, 2017).

Los principales objetivos de su plan BIM, son una reducción del 20% en los costos del proyecto y una reducción del 20% en el tiempo de diseño y construcción de los proyectos (BICP Global BIM Study, 2017).

El BIM Forum Chile, es la principal referencia técnica y punto de encuentro en Chile entorno a BIM, generando proyectos, actividades y estándares que agregan valor a las empresas y profesionales en el sector de la construcción (BICP Global BIM Study, 2017).

2.2.8.5. BIM en el Perú

En el caso del Perú, la experiencia con BIM empezó desde hace más de 10 años, aproximadamente en el año 2005 (Jurado, 2016 y Almeida, 2019) y se dieron por el uso de las herramientas BIM para el desarrollo de los grandes proyectos de construcción. Esos inicios con BIM, estuvieron a cargo de las grandes empresas constructoras peruanas, como

Graña y Montero, Aesa, Marcam y Cosapi (Espinoza, 2014). Según Castillo (2015), estas empresas solo se enfocaban, de manera aislada, en algunas de sus áreas de aplicación, como la visualización 3D, detección de interferencias y la generación de planos, sin conocer en aquellos tiempos, todo el potencial de esta metodología.

Desde ese entonces, es el sector privado quien viene impulsando y adquiriendo mayor experiencia con el uso de BIM en los proyectos. Solo son pocas las empresas, entre grandes y pequeñas, que vienen incorporando BIM dentro de sus procesos de diseño y construcción (Alcántara, 2013).

En el año 2011, la empresa Graña y Montero se adjudicó la construcción del Edificio de la Universidad del Pacífico, ubicado en distrito de Jesús María, en Lima. La obra, que tuvo un plazo de ejecución de 15 meses, contemplo la construcción del edificio sobre un terreno de 2000 m² y estuvo constituido por 5 pisos y 6 sótanos, los ambientes fueron destinados para el uso como los Auditorios, Aulas Magnas, Salas de Exposiciones, Cafeterías, Estacionamientos, entre otros.

Para la ejecución de esa obra, se utilizó la tecnología BIM, debido a los complejos sistemas de extracción de monóxido y para el control acústico de los ambientes, así como también para la compatibilización de la documentación, detección de interferencias, creación de planos coordinados en obra y para la mejor planificación desde el inicio de la obra. Todo esto mediante un modelo BIM 3D integrado, el cual se observa en la Figura 81. Así mismo, también se usó BIM para la simulación del proceso constructivo (Encalada, 2016).

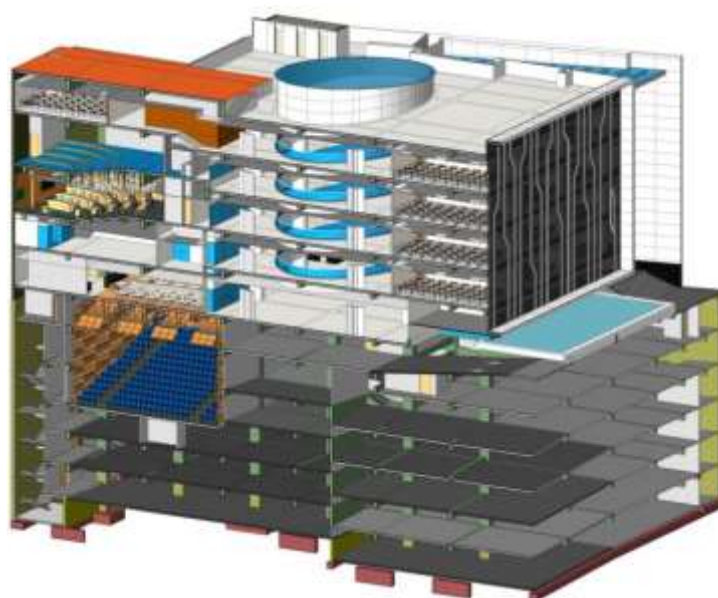


Figura 81. Modelo BIM 3D del edificio de la Universidad del Pacífico. (Fuente: Alcántara, 2013)

Para Alcántara (2013), estas experiencias con el uso de BIM en la construcción del edificio de la Universidad del Pacífico, permitieron evaluar el potencial y observar los beneficios de utilizar la “construcción virtual”, así como incorporar las herramientas BIM a los procesos tradicionales de construcción explorando otros usos adicionales.

Posteriormente, las empresas privadas motivadas por la necesidad de dar conocer esta metodología que venía revolucionando al sector de la construcción, es que se forma en el año 2010 el Comité BIM del Perú (Jurado, 2016), el cual está integrado por profesionales con experiencia aplicando BIM, tanto profesionales individuales como integrantes de las diferentes empresas de la industria de la construcción, involucrados en las diferentes etapas del ciclo de vida de un proyecto.

En el año 2012, el Comité BIM del Perú se integra al Instituto de la Construcción y Desarrollo (ICD) de la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO) (Salinas, 2013), con la misión de liderar el cambio de paradigma en la industria de la construcción en el Perú.

En los años posteriores a la creación del Comité BIM, se han venido organizando conferencias, y desarrollando congresos internacionales en el Perú. Tal es el caso del III Congreso Internacional BIM realizado en la ciudad del Cusco en el año 2017.

En ese mismo año, se realizó el primer estudio sobre la adopción de BIM en los proyectos de edificación en Lima Metropolitana y el Callao, y nos reveló que, de los proyectos de edificación urbana que se construyeron, el 22% de los proyectos utilizó algunas de las aplicaciones de BIM, como visualización 3D, modelado y compatibilización de algunas de las especialidades del proyecto, metrados y presupuestos a partir de modelos 3D, planificación 4D, control de obra con BIM y la generación de planos 2D a partir de modelos 3D. Confirmado que, casi 1 de cada 4 proyectos desarrollados en Lima Metropolitana y el Callao tienen algún uso de BIM (Tapia, 2017).

A nivel académico, según lo menciona Almeida (2019), la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad de Lima, estaría implementado la metodología BIM en su plan curricular.

Sumándose a esto, el Gobierno Regional de Cusco, aprobó mediante un Acuerdo de Consejo Regional en el año 2017, la incorporación de la metodología BIM para la gestión de proyectos de construcción en todas las dependencias del Gobierno Regional de Cusco.

Además, teniendo presente la necesidad de reglamentar el BIM en el Perú, en el año 2017 el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) aprobó la conformación del Comité Técnico de Normalización de Edificaciones y Obras de Ingeniería Civil. Por medio de este comité, se generaron las primeras normas técnicas peruanas sobre BIM, publicadas en el diario El

Peruano, con Resolución Directoral N°048-2018-INCAL/DN, de fecha 28 de diciembre de 2018.

- NTP-ISO/TS 12911:2018: Guía marco para el modelado de información de la edificación (BIM). 1ª Edición.
- NTP-ISO 29481-2:2018: Modelado de la información de los edificios. Manual de entrega de la información. Parte 2: Marco de trabajo para la interacción. 1ª Edición.

Posteriormente, en el año 2018, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MCVS), a través de la Dirección General de Políticas y Regulación en Construcción y Saneamiento, creó un equipo de trabajo, el cual está integrado por profesionales de los sectores de Vivienda, Interior, Transportes y Comunicaciones, Economía y Finanzas, y Educación, además, especialistas de la Contraloría General de la República, la Universidad Nacional de Ingeniería, la Universidad de Lima y representantes de la empresa privada (MVCS, 2019).

Este grupo de trabajo tiene como finalidad establecer los lineamientos técnicos que deben considerarse como mínimos para obtener un Modelo de Información para proyectos de obra civil y edificaciones, utilizando el BIM (MVCS, 2019).

Finalmente, en diciembre del mismo año, el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) publicó en su página web el Plan BIM Perú, con el propósito principal de contar con elementos técnicos necesarios para la toma de decisiones respecto del uso de metodologías colaborativas de modelamiento digital de la información, aplicables a las fases de formulación y evaluación, ejecución y funcionamiento de la inversión en infraestructura pública (MVCS, 2019).



Figura 82. Plan BIM Perú. (Fuente: Ministerio de Economía y Finanzas del Perú).

En esa misma línea, el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENSICO) implementara procesos de la tecnología BIM en su Plan de Estudios para las carreras técnicas y cursos informáticos que ofrece la institución (Sencico, 2017).

2.3. Hipótesis

La implementación de una metodología de gestión de proyectos con herramientas BIM aumenta la eficiencia, optimiza los flujos de trabajo, mejora la gestión de la información y protege la integridad de los datos, mejorando así, la fase de diseño en proyectos de infraestructura vial.

CAPÍTULO III

MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Sistemas de Variables

3.1.1. Variable Independiente

- Metodología de gestión de proyectos con herramientas BIM

3.1.2. Variable Dependiente

- Eficiencia
- Flujo de trabajo
- Gestión de la información
- Integridad de los datos

3.1.3. Matriz de variables

Variables	Según su función	Según su naturaleza	Según su nivel de medición
Metodología de gestión de proyectos con herramientas BIM	V. Independiente (V.I.)	Cualitativa	Propuesta y/o Guía de trabajo
Eficiencia	V. Dependiente (V.D.)	Cuantitativa (tamaño de los archivos, KB, MB, GB)	Reducir el tamaño de los objetos de diseño (superficies, alineaciones, etc.)
Flujo de trabajo	V. Dependiente (V.D.)	Cualitativa	Procesos más eficientes.
Gestión de la información	V. Dependiente (V.D.)	Cualitativa	Adecuada administración de las carpetas conteniendo la información de los objetos del diseño. Interoperabilidad de los archivos.
Integridad de los datos	V. Dependiente (V.D.)	Cualitativa	Protección de los datos

Fuente: Adaptado de Arístides Vara (2012)

3.2. Diseño de la Investigación

La presente investigación es del tipo **investigación aplicada**, porque implementa nuevas metodologías de gestión y también propone innovaciones tecnológicas con la finalidad resolver problemas para la profesión.

Así mismo, la presente investigación utiliza un **diseño exploratorio**, porque es el más adecuado para conocer el estado del arte sobre la gestión de la información en la fase de diseño en proyectos de infraestructura vial. Por otro lado, la investigación nos permite

conocer las principales variables para tratar los temas relacionados a la metodología BIM, puesto que son escasos los estudios realizados en proyectos de obras viales, lo que nos permite esclarecer y delimitar el problema de investigación.

Como la investigación exploratoria se sustenta en una profunda revisión bibliográfica, nos permite concentrarnos más en la comprensión que en la medición de las principales variables.

Por eso, la presente investigación se desarrolló bajo el enfoque de **investigación cualitativa**. Así mismo, el diseño específico para esta investigación fue la de investigación-acción.

También se considera que, de acuerdo a la forma de probar la hipótesis, la investigación es un **diseño no experimental**.

3.3. Población y Muestra

Para la presente investigación, la población está comprendido por todas las vías que conforman el Sistema Nacional de Carreteras (SINAC). Los criterios de inclusión y exclusión considerados para la delimitación poblacional son los siguientes:

- Interconectar al país longitudinalmente o transversalmente, permitiendo la vinculación con los países vecinos.
- Interconectar las capitales de departamento.
- Soportar regularmente el tránsito de larga distancia nacional o internacional de personas y/o mercancías, facilitando el intercambio comercial interno o del comercio exterior.
- Articular los puertos y/o aeropuertos de nivel nacional o internacional, así como las vías férreas nacionales.
- Interconectar los principales centros de producción con los principales centros de consumo.

Considerando estos criterios, la población estuvo conformado por las carreteras que son parte de la Red Vial Nacional.

Para la obtención de la muestra, se realizó el muestreo del tipo no probabilístico de selección intencional. El criterio de selección intencional se adecua a la naturaleza y los objetivos de esta investigación. De esta manera se podrá evaluar las variables.

Por lo tanto, la muestra de la presente investigación, fue la carretera que inicia en el Desvío al Tripartito sobre la Ruta Nacional PE-40 y termina en la Frontera con Bolivia, cercano al

poblado de Collpa. La ruta Dv. Tripartito - Frontera con Bolivia comprende a la Ruta PE-40A de la Red Vial Nacional. Con una longitud aproximada de 42 km.

La selección de la muestra, obedeció a un tramo de carretera del Proyecto de Integración Vial Tacna – La Paz. En la cual, Provias Nacional del MTC y Southem Perú Cooper Corporation, firmaron convenio con la empresa Consultora Barriga Dall’Orto S.A. Ingenieros Consultores, para la elaboración del expediente técnico del Proyecto: Integración Vial Tacna – La Paz, Tramo: Tacna – Collpa (Frontera con Bolivia), Sub Tramo 3: km 146+180 – km 187+404, y en donde la empresa constructora ICGGSA, ganadora de la buena pro, fue la encargada de la construcción de dicho tramo.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se utilizaron instrumentos cualitativos para explorar los problemas de la investigación. Los instrumentos para la recolección de datos fueron válidos y fiables para cumplir con los objetivos. Se utilizaron los siguientes instrumentos.

- La Revisión Documental
- La Observación no Estructurada o Participante

3.5. Procedimiento de Investigación

La presente investigación se realizó aplicando el siguiente procedimiento:

Se revisó exhaustivamente la bibliografía, tales como, tesis profesionales y tesis de maestrías relacionadas al tema a investigar. También se examinó revistas especializadas y se recolectaron datos de encuestas realizadas al sector de la AEC (Arquitectura, Ingeniería y Construcción) sobre la metodología BIM, tanto nacional como internacional, donde se pudo obtener información para comprender las variables de la investigación.

Para la aplicación de la metodología de gestión, se modeló el tramo de carretera de la muestra correspondiente para el desarrollo de la investigación, utilizando para ello, la base de datos del replanteo topográfico del mismo, y se procesó usando la herramienta BIM, Civil 3D 2019 (Metric), lo que permitió analizar y registrar el acontecimiento a investigar. Donde se tuvo en cuenta las siguientes unidades de observación:

- Tamaño de los archivos (KB, MG, etc.) y procesos del flujo trabajo.
- Administración de las carpetas con los archivos creados con los objetos del modelo de diseño y seguridad en los datos de los objetos del diseño.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.1. Resultados

En este capítulo se presentan las deficiencias de la gestión de la información en la fase de diseño de proyectos de infraestructura vial. Así mismo, se describen las características de las herramientas BIM, para el desarrollo de estos tipos de proyectos. Todo esto, con el propósito de implementar una metodología adecuada para la gestión de la información con el uso de las herramientas BIM en la fase de diseño de proyectos de infraestructura vial.

Además, se muestra la aplicación de flujos de trabajo avanzados con los softwares BIM en infraestructura vial, llevados a cabo por la metodología de gestión propuesta, y luego se determinaron los beneficios de estos procesos.

Para la presente investigación se usó el software Civil 3D 2019 (Metric) de Autodesk, como herramienta BIM.

4.1.1. Gestión de la información en la fase de diseño de proyectos de infraestructura vial

La industria de la construcción posee una serie de características propias que la hacen muy diferentes a otros sectores industriales, entre ellas destaca la cantidad de agentes que intervienen en el proceso constructivo y la gran cantidad de información que se genera y que se necesita comunicar a los involucrados a través de todo el ciclo de vida del proyecto. (Martínez, Marín y Vila, 2013).

Martínez, Marín y Vila (2013), mencionan que la complejidad de los proyectos de construcción conlleva que cada uno de ellos sea diferente, único y singular, lo que hace más difícil la toma de decisiones, lo que genera claramente la necesidad de disponer de sistemas que aporten la información necesaria a los involucrados en cada momento. En ese sentido, una adecuada gestión de la información, juega un rol muy importante en el sector de la construcción.

4.1.1.1. Deficiencias de la gestión de la información en la fase de diseño de proyectos de infraestructura vial

La información en los proyectos del sector de la AEC, es creada partir del comienzo de la planificación de los proyectos y se desarrolla continuamente durante el diseño, la ingeniería de detalle y la construcción (Berdillana, 2008). El intercambio de la información es entonces intensivo durante todo el proceso del ciclo de vida del proyecto. Berdillana (2008) menciona que la información y el intercambio de conocimientos entre los diseñadores y los contratistas se han basado principalmente en documentos en papel. Estos documentos vienen en forma de dibujos a través de planos, especificaciones técnicas, fichas técnicas de materiales, metrados, etc.

A continuación, se describen algunas de las deficiencias en la fase de diseño en proyectos de infraestructura vial. Cabe mencionar que, los procesos para la gestión de la información, tanto en la fase de diseño como la fase de ejecución o construcción son muchas veces similares.

4.1.1.1.1. Comunicación y Coordinación

Dada la complejidad y magnitud de los proyectos, la información generada en torno a ellos es cada vez más abundante. La información producida por muchas fuentes y por distintos niveles de detalle, contribuyen a la desintegración de la industria. Por tanto, la comunicación y coordinación entre estos, son clave para hacer posible una eficiente construcción.

Las organizaciones que emprenden múltiples proyectos de construcción o incluso solo un proyecto de alta complejidad, pueden enfrentar ineficiencias en la comunicación que crean innecesarios y costosos retrasos. Aunque algunas organizaciones racionalizan exitosamente la comunicación de la información del proyecto en forma interna, todavía luchan para comunicar la información eficazmente con el equipo externo del proyecto.

Flujos de información inadecuados, descentralizados y basados en el papel contribuyen a los múltiples desafíos que a menudo afligen a los proyectos de construcción.

Una encuesta realizada en el año 2007 por la FMI/CMAA concluyó que la pobre comunicación entre organizaciones es la principal causa de los múltiples problemas

ocurridos durante el ciclo de vida del proyecto y tiene el mayor impacto en el costo, la duración, el alcance del proyecto y la calidad de este.

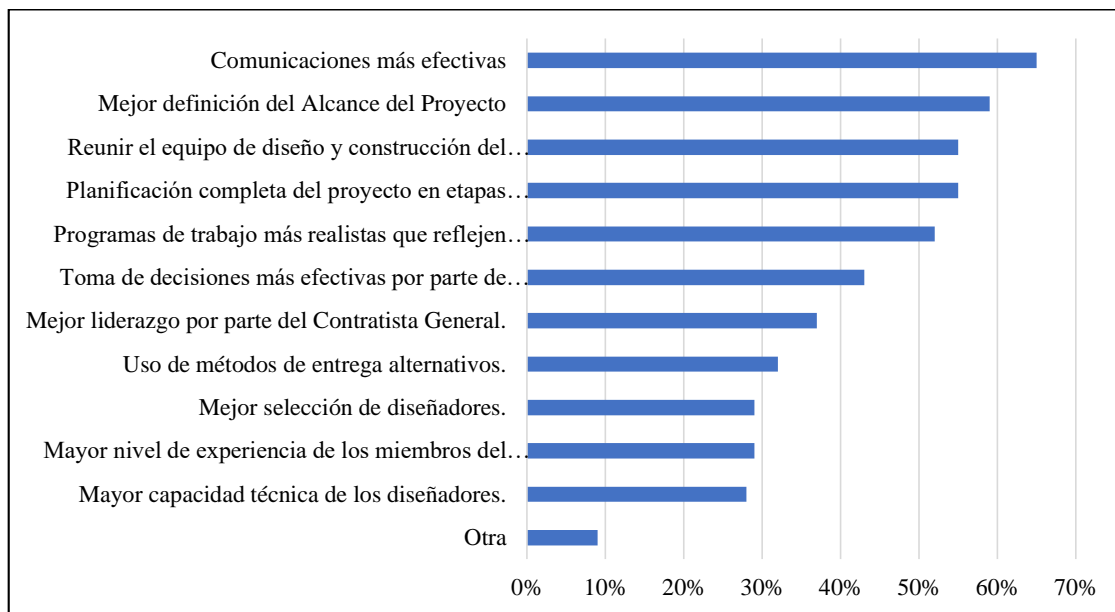


Gráfico 14. Causas de los problemas más frecuentes en un proyecto de construcción

(Fuente: Elaboración propia con base en la Revisión Documental, CMAA/FMI (2007) citado en Saldias (2010))

La complejidad del problema de la comunicación no solo reside en el tipo de proyecto, sino que en la misma naturaleza de estos. Incluso el proyecto de construcción más básico requiere que la información fluya dentro y entre las organizaciones. Internamente ejecutivos, gerentes de proyectos, financistas y el área legal crean, revisan, administran y aprueban documentos relacionados con el proyecto. Una vez que el proyecto está completado, estas organizaciones también deben administrar, operar y mantener las instalaciones, donde necesitan información que incluye planos as-built, plantas de espacios, especificaciones de equipos, garantías, etc. por otro lado gestionar la información del proyecto en forma interna es solo mitad de la batalla. Muchas organizaciones encuentran más difícil asegurar una comunicación efectiva entre las demás organizaciones involucradas en el proyecto.

Un proyecto demanda comunicaciones externas con clientes, entidades de gobierno, ingenieros, consultoras, constructores, subcontratistas, abogados, inversionistas, proveedores y muchos más.

- **Comunicación interna – problemas de interpretación**

En la Figura 83, el administrador de obra (1) está explicando a los integrantes de la oficina técnica, el programa de trabajo semanal y cada receptor interpreta la información en forma distinta, al estar cada uno preocupado de lo que debe hacer: del Control de Costos (2), de

Producción (3), del contrato de los subcontratistas (4) y el de la Logística e información geoespacial.



Figura 83. Coordinación tradicional entre especialistas. (Fuente: Con base en la Revisión Documental, Saldias, R. (2010)).

Cabe destacar en la Figura 83, la utilización del papel para comunicar y la presencia “física” de las personas, probablemente en muchos años esta reunión será distinta y en algunos proyectos actuales ya lo es: reuniones virtuales utilizando modelos 3D y 4D para comunicarse.

- **Comunicación externa – problemas de entendimiento entre los participantes del proyecto**

Los profesionales de la construcción utilizan planos, especificaciones en papel, diagramas Gantt, etc. para predecir, entender y comunicar al alcance y el desempeño de sus proyectos. Esta forma de trabajo no es la más eficaz para planificar, controlar y coordinar las actividades, en particular en proyectos de gran envergadura que contienen mucha información y proyectos complejos, donde existen muchas iteraciones y modificaciones en su diseño, cambios que se desarrollan incluso en la etapa de construcción causando costos cuantiosos para el cliente.

Con estas herramientas (planos, especificaciones en papel, etc.), existe un difícil entendimiento entre el Cliente con los demás actores, quien aprueba el diseño. Esto produce incertidumbre en todas las fases siguientes del proyecto.

4.1.1.1.2. Incertidumbre de los profesionales respecto al alcance y desempeño del proyecto durante su ejecución

La cantidad de información con la que cuenta un proyecto y la forma en la que se encuentra representada y organizada influye directamente en la incertidumbre existente en el proyecto. En la actualidad, el conocimiento del alcance del proyecto se basa en la interpretación de planos y especificaciones técnicas. Ambos tipos de documentos pueden presentar incongruencias entre sí y llevar a cometer errores, por ejemplo, en las cubicaciones. El arquitecto crea en su mente una imagen del proyecto que quiere desarrollar y de esa imagen extrae los planos y especificaciones. El constructor recibe estos documentos y construye en su mente una nueva imagen del proyecto que generalmente no coincide con la imagen pensada por el arquitecto.

Este es un riesgo que es preferible evitar para reducir el número de imprevistos que se generan durante la ejecución de la obra. Generalmente, la incertidumbre implica una variabilidad en los procesos de construcción, lo cual, según la filosofía “Lean Construction”, una aparición de pérdidas en el proyecto. Información de calidad (disponible, confiable, transparente, exacta, etc.) más el uso de herramientas predictivas de análisis son importantes para reducir estos riesgos.

4.1.1.1.3. Disponibilidad y confiabilidad de la información del proyecto

Gran parte de los proyectos no cuentan con un almacén central de datos donde se organice y ordene la información de tal forma que cualquier profesional pueda acceder en forma rápida e información confiable. La información no está concentrada en un solo lugar, sino que aparece en distintos sitios y generalmente con inconsistencias, causando, por ejemplo, retrasos para gestionar los pedidos: no saber que pedir, cuanto pedir, ni cuando hacerlo o hacer juicios apresurados y erróneos. Todo esto se refleja en demoras, baja calidad y costos extras.

La poca precisión de la información le resta confiabilidad a los procesos que ocurren en la construcción, principalmente en materias relativas a las distintas cantidades y costos reales de la obra.

4.1.1.1.4. Consistencia en la documentación

Como se ha comentado anteriormente, en un proyecto de construcción, particularmente en los complejos y de gran envergadura, se producen cambios constantes, que generan inconsistencias en la documentación. Actualmente se utiliza el papel como medio para capturar e intercambiar información entre los participantes del proyecto. Este proceso es engorroso y contribuye a que aumente la probabilidad de error en la transmisión de información. Ante cambios, la información del proyecto no se actualiza rápida y eficazmente en todos los documentos involucrados, además los profesionales involucrados pierden confianza en la información brindada.

Para mejorar la consistencia en la documentación es necesario estandarizar los procesos constructivos y administrativos. Según estudios relacionados con la filosofía “Lean Construction”, con procesos consistentes se tiene una menor variabilidad y con esto una mayor productividad en los trabajos y mejores planificaciones con lo que se controlarán mejor los riesgos y se reducirán los costos del proyecto.

4.1.1.1.5. Calidad del proceso de toma de decisiones

En la actualidad los profesionales de la construcción toman la mayoría de sus decisiones durante la etapa de construcción del proyecto. Existe poca cultura para desarrollar un trabajo multidisciplinario anterior a la ejecución del proyecto donde se converse de los posibles problemas, se hagan análisis de constructibilidad y donde se puedan desarrollar escenarios “que pasaría si”, previo a la construcción, necesario para tomar decisiones eficientes en el futuro.

Por otro lado, Alarcón y Pávez (2006), citado en Saldias (2010), mencionan que muchas veces los profesionales no cuentan con la cantidad y calidad de información necesaria para tomar decisiones correctas y rápidas, los administradores de proyectos tienen muchas interrupciones y a menudo deben atender requerimientos urgentes (tiempo dedicado a “apagar incendios”) que les impide terminar su propio trabajo (Saldias, 2010).

4.1.2. Características de las herramientas BIM para el desarrollo de proyectos de infraestructura vial

Las herramientas BIM para infraestructura vial, son las aplicaciones o softwares para el dibujo, diseño y documentación para ingeniería civil que admite flujos de trabajo de la metodología BIM.

La principal característica de estas herramientas es que, todos los componentes del diseño están relacionados y conectados. Los objetos de diseño al ser modificados, automáticamente regeneran el diseño y recalculan la información. Todo esto es importante, pues nos ayuda a la hora de hacer cambios en nuestra propuesta sin tener que rehacer todo el proyecto de nuevo.

A continuación, se describen las principales características de las herramientas BIM para infraestructura civil, reportados a través de la revisión documental:

4.1.2.1. Diseño Civil

El Diseño Civil de estas herramientas BIM, permiten analizar diferentes alternativas de diseño. Se pueden realizar iteraciones al diseño y simplificar tareas que demandan tiempo. Facilitan el modelado de distintos escenarios de diseño antes de llegar al diseño final y así, poder determinar un diseño más eficiente y rentable con el menor impacto al social, económico y ambiental.

4.1.2.2. Dibujo y Documentación

Gracias a que todos los elementos del modelo están conectados, permiten generar toda la documentación del proyecto, como planos, tablas, planillas, cantidad de materiales, etc., de manera automática, aumentando así la productividad, reduciendo los errores y las omisiones, y garantizando una mayor calidad en el proceso y producto del diseño.

4.1.2.3. Visualización y Análisis

Dado que se trabaja en todo momento en un modelo virtual 3D, es posible visualizar todos los elementos que conforman la carretera, permitiendo comprobar si hay algún problema de interferencia entre los diferentes elementos de una forma segura y rápida.

4.1.2.4. Colaboración

BIM permite el trabajo colaborativo a través de una sola plataforma en el que los diferentes agentes implicados en el proceso de diseño pueden trabajar en la misma herramienta, integrando y compartiendo en tiempo real. De esta forma se consigue mejorar la colaboración multidisciplinaria durante las fases de diseño y construcción.

4.1.3. Metodología de gestión de proyectos con las herramientas BIM en la fase de diseño de proyectos de infraestructura vial

4.1.3.1. Gestión de proyectos con el software Civil 3D 2019 (Metric)

En este apartado se muestra la administración de los proyectos, referenciando los datos y la organización de los dibujos de un proyecto. Así mismo, se muestra el uso compartidos de objetos de diseño, como superficies y alineaciones, entre dibujos, que, si se hace correctamente, producen un importante ahorro de tiempo.

La administración de proyectos es un asunto de carácter global que afecta a todos los miembros del equipo (Autodesk AutoCAD Civil 3D, 2013). Las decisiones que se tomen acerca de cuál será el sistema de administración del proyecto pueden tener consecuencias muy desfavorables a lo largo del desarrollo del mismo.

Por ejemplo, un sistema que funciona bien con un proyecto de un mes en el que se maneje un conjunto de 20 dibujos podría resultar inadecuado en un proyecto de varios meses con 400 dibujos. Lo que se pretende es, implementar un sistema de administración de un proyecto cuando esté completamente cargado de objetos de diseño y dibujos, y estos a su vez, de toda la información correspondiente a cada elemento de la carretera, como las superficies, el alineamiento, los perfiles, entre otros. De esta manera los flujos de trabajo serán más eficientes.

El software Civil 3D nos permite implementar desde un sistema sencillo hasta uno más complejo, la cual se podrá ampliar o reducir a medida que cambien los requisitos del proyecto

4.1.3.1.1. Proyectos de Autodesk Civil 3D

Dependiendo de la complejidad del proyecto, el sistema de administración de proyectos puede comprender desde unos pocos dibujos en una carpeta hasta una gran base de datos con objetos compartidos y con controles de seguridad (Autodesk AutoCAD Civil 3D, 2013).

Al decidir la estructura que se utilizara para la administración de proyectos, se deben tener en cuenta los siguientes tres factores.

- El número y complejidad de los dibujos.
- El tamaño del equipo del proyecto y el número de personal que requieren acceso a los archivos.

- La necesidad relativa de facilitar el uso en comparación con la seguridad de los datos

Existen múltiples formas de organizar los dibujos de proyectos de AutoCAD Civil 3D. Tres de los enfoques más comunes son los siguientes:

- **Proyectos de dibujo de diseño único**

Como las superficies, alineaciones y otros objetos AEC de AutoCAD Civil 3D pueden estar completamente basados en dibujos, puede hacer que un único archivo de dibujo actúe como el repositorio de todos los datos de diseño. De manera realista, esto solo podría ser factible con los proyectos más pequeños y / o aquellos en los que trabajó solo una persona. Los únicos datos externos serían las bases de datos de levantamientos y posiblemente los dibujos que contengan diseños de trazado que realicen un XREF del dibujo de diseño único.

- **Múltiples dibujos compartiendo datos usando accesos directos (*shortcuts*)**

Este enfoque permite múltiples dibujos de diseño que comparten datos. Por ejemplo, una superficie podría existir en un dibujo y una alineación en otro. Un tercero podría contener un perfil de superficie basado en la alineación y el modelo de terreno, y todos podrían mantenerse sincronizados entre sí mediante el uso de *Data Shortcuts* (Accesos directos de datos). Este enfoque suele ser preferible al enfoque de dibujo único, ya que permite que más de un usuario trabaje en el proyecto al mismo tiempo (en los diferentes dibujos de diseño) y mantiene los dibujos en un tamaño más manejable. El uso de este método es esencial en proyectos más grandes para garantizar que el tiempo de regeneración de los dibujos sea a una velocidad aceptable.

Una vez que un objeto ha sido referenciado en el dibujo y el dibujo ha sido guardado, el objeto se guarda en el dibujo. Por lo tanto, solo necesita acceso al dibujo de origen para fines de validación y sincronización si el objeto de origen cambia. Esto facilita compartir dibujos con otros, ya que garantiza que los objetos a los que se hace referencia se muestren incluso si los dibujos de origen no están disponibles.

- **Múltiples dibujos compartiendo datos con Autodesk Vault**

El software Autodesk® Vault es un sistema de gestión de datos y documentos (ADMS). Se utiliza junto con otras aplicaciones de Autodesk® en diferentes industrias. Cuando se trabaja con el software Autodesk Vault, todos los planos de proyecto, bases de datos de encuestas y referencias se administran y almacenan dentro de una base de datos administrada por SQL.

Autodesk Vault consta de permisos de acceso de nivel de usuario, registro de entrada / salida de planos, plantillas de proyectos, copias de seguridad automatizadas, control de versiones de datos, etc. Estos beneficios se compensan con el tiempo adicional requerido para administrar y administrar la base de datos, y en algunos casos, la compra adicional hardware y software. Si trabaja en grandes proyectos con múltiples dibujos de diseño o tiene muchos miembros del equipo (más de 10), puede encontrar que Autodesk® Vault es la mejor manera de mantener esos proyectos organizados.

4.1.3.1.2. Compartiendo datos de los objetos en Civil 3D

En el flujo de trabajo de AutoCAD Civil 3D, puede usar dos métodos de colaboración de proyectos para compartir datos de diseño de AutoCAD Civil 3D:

- *Data Shortcuts* (Accesos directos de datos) y,
- Referencia a objetos con el software Autodesk Vault

Autodesk Vault y los *Data Shortcuts* se pueden utilizar para compartir datos de diseño entre archivos de dibujo en el mismo proyecto, como definiciones de alineación, perfiles, corredores, superficies, redes de tuberías, redes de presión y grupos de marcos de vista (*View Frame Groups*). No permiten compartir vistas de perfil, ensamblajes, grupos de líneas de muestra u otros objetos de AutoCAD Civil 3D. Los conjuntos de dibujos que utilizan accesos directos normalmente utilizan XREF y hacen referencia a otros trabajos de línea y anotaciones entre dibujos. Ya sea que se utilicen accesos directos de Vault o *Data Shortcuts*, el proceso es similar.

El ejemplo de la Figura 84 muestra el intercambio de datos en un entorno de colaboración de proyectos. Los datos se dividen en tres niveles distintivos. Al usar *Data Shortcuts* o Autodesk Vault, se puede acceder y contribuir a estos niveles, en un servidor local o remoto o en una WAN

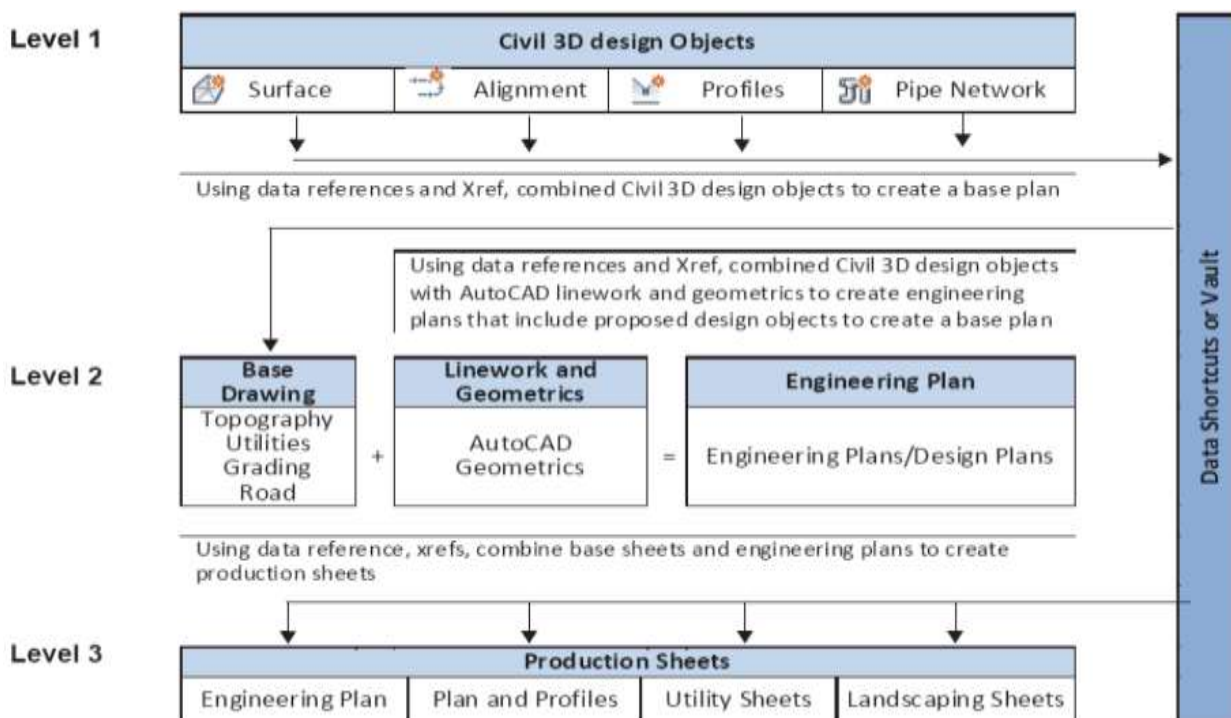


Figura 84. Uso compartido de objetos de diseño. (Fuente: Elaboración propia con base en la Revisión Documental, SDC Publications: AutoCAD Civil 3D Fundamentals (2019)).

4.1.3.1.3. Uso de los Data Shortcuts para la gestión de proyectos

Una forma de trabajar con grandes cantidades de datos a la hora de diseñar y gestionar proyectos de infraestructura vial, es mediante el uso de los *data shortcuts* o los accesos directos a datos.

Los Data Shortcuts se pueden utilizar para compartir datos de diseño entre archivos de dibujo mediante el uso de archivos de formato XML.

Un *data shortcut* es un enlace entre dibujos que permite compartir datos específicos de Civil 3D (Mastering Civil 3D 2016). El acceso directo en si no contiene datos, pero es un vínculo, que dirige Civil 3D para leer información de un conjunto común de datos. Se crea un acceso directo a datos en el dibujo de origen y una referencia de datos es la manifestación de los datos en un dibujo de destino (Mastering Civil 3D 2016).

Los accesos directos a datos o Data Shortcuts, no es más que el trabajo con archivos XML de forma automática y coordinada entre archivos de origen y el archivo “master”. En la Figura 85 se observa un esquema la cual se muestra la relación entre distintos archivos y el archivo “master”.

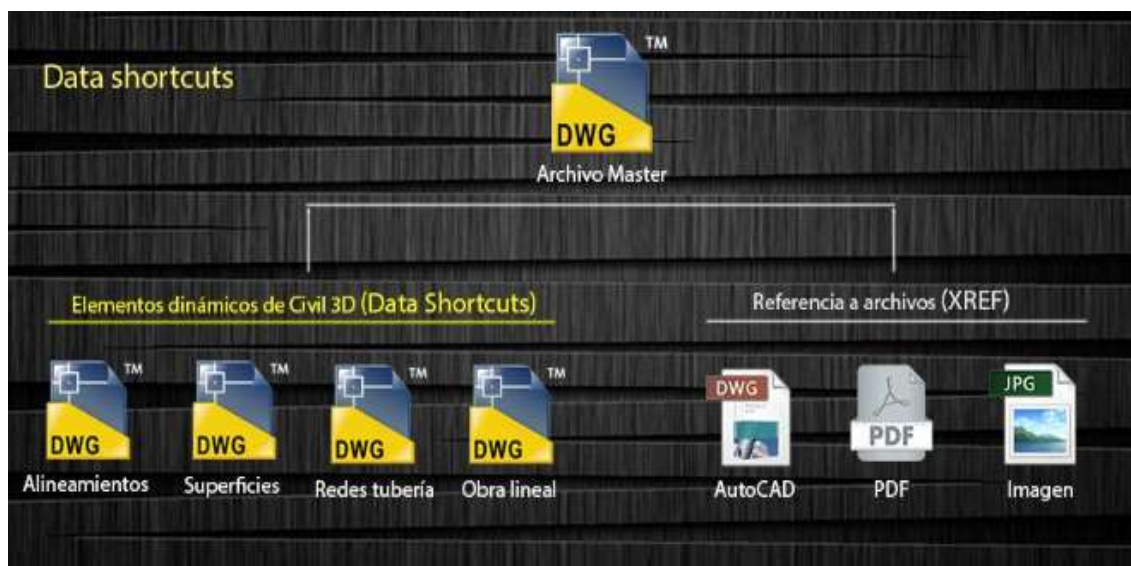


Figura 85. Esquema del uso de los Data Shortcuts en la gestión de proyectos. (Fuente: Elaboración propia con base en la Revisión Documental, CAPSFOT (2018)).

Como se observa en la Figura 85, la gran ventaja es que ya no se tiene en un solo archivo toda información, sino que esta se encuentra en los archivos de origen y es un único archivo el que hace lectura de estos, lo cual permite el trabajo con archivos livianos, haciendo eficiente el flujo de trabajo y protegiendo la integridad de los datos.

Otro esquema que define el flujo de trabajo con los data shortcuts, es el que se muestra en la Figura 86.



Figura 86. Flujo de trabajo con Data Shortcuts para la gestión de proyectos. (Fuente: Elaboración propia con base en la Revisión Documental, Autodesk University (2012)).

Su puede observar en la Figura 86, que cada acceso directo de cada objeto de diseño servirá para crear el siguiente objeto de diseño, referenciándolo en su mismo dibujo, y estos a su vez, a los objetos siguientes de nivel superior.

Al mismo tiempo que permite manejar grandes cantidades de datos y hacer más livianos los archivos, estos accesos directos nos garantizan la seguridad e integridad de los datos.

El uso de data shortcuts implica dos procesos principales:

- Crear los accesos directos a datos desde sus dibujos de origen, y
- Crear referencias a datos en los dibujos de destino a objetos de origen de los dibujos de origen.

Los accesos directos a datos se administran utilizando el espacio de herramientas, la pestaña Prospector, en la colección Accesos directos a datos o en la pestaña Administrar> Panel de accesos directos a datos, como se muestra en la Figura 87. Los accesos directos se almacenan en archivos XML en una o más carpetas de trabajo que se crea. Pueden usar la misma estructura de carpetas que el software Autodesk Vault. Este método simplifica la transición para usar el software Autodesk Vault en el futuro.

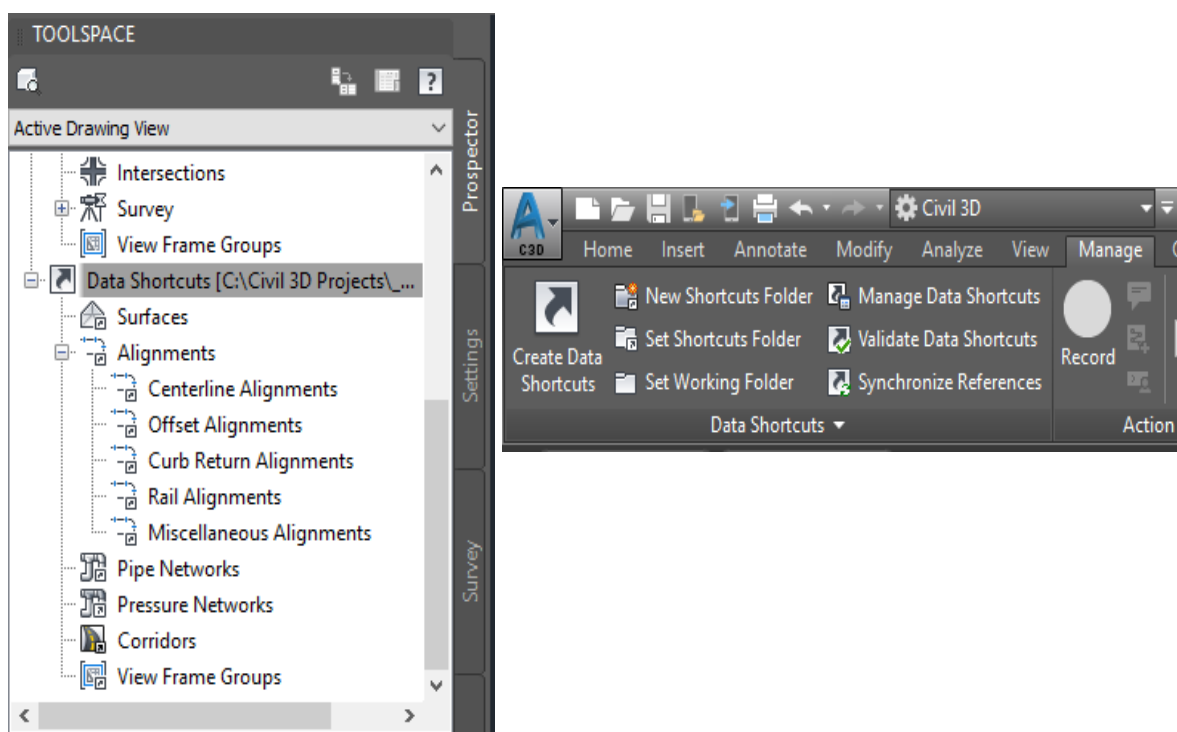


Figura 87. Uso de los Data Shortcuts. (Fuente: Elaboración propia con base en la Observación no Estructurada con el software Autodesk Civil 3D 2019 (Metric)).

Ya sea que utilice el software Autodesk Vault o los accesos directos de datos, los datos de diseño de objetos de AutoCAD Civil 3D inteligentes se pueden consumir y utilizar en diferentes niveles. Sin embargo, estos datos a los que se hace referencia solo se pueden editar

en el dibujo que contiene el objeto original. Como a los datos de referencia se les puede asignar un estilo diferente a los del dibujo de origen, puede separar la fase de diseño (donde la presentación del dibujo no es crítica) de la fase de dibujo (donde la presentación del dibujo es primordial). Por lo tanto, después de que los estilos se hayan aplicado en la fase de diseño, cualquier cambio en el diseño tendrá un impacto visual mínimo en los dibujos completados.

Cambiar el nombre de un archivo de dibujo que proporciona accesos directos a datos o el propio archivo XML de acceso directo invalida el acceso directo. Si bien el Editor de accesos directos de datos que se encuentra fuera del software AutoCAD Civil 3D permite la reorganización si se mueve un dibujo de origen, los accesos directos pueden no resolverse si la ubicación del dibujo de origen ha cambiado.

4.1.3.2. Flujo de trabajo avanzado con Civil 3D 2019 (Metric) para la gestión de proyectos

En este apartado se presenta el flujo de trabajo de la metodología de gestión de proyectos.

4.1.3.2.1. Crear una plantilla de proyecto

Cuando crea un proyecto con acceso directo de datos por primera vez, tiene la opción de utilizar una plantilla de proyecto. Una plantilla de proyecto es simplemente un conjunto de carpetas, subcarpetas y archivos creados para ayudar a mantener los archivos organizados

En el siguiente modelo, creará carpetas para usarlo al crear un proyecto de acceso directo de datos:

1. Abra el Explorador de Windows y navegue a C:\Civil 3D Project Templates. (Véase figura 88)

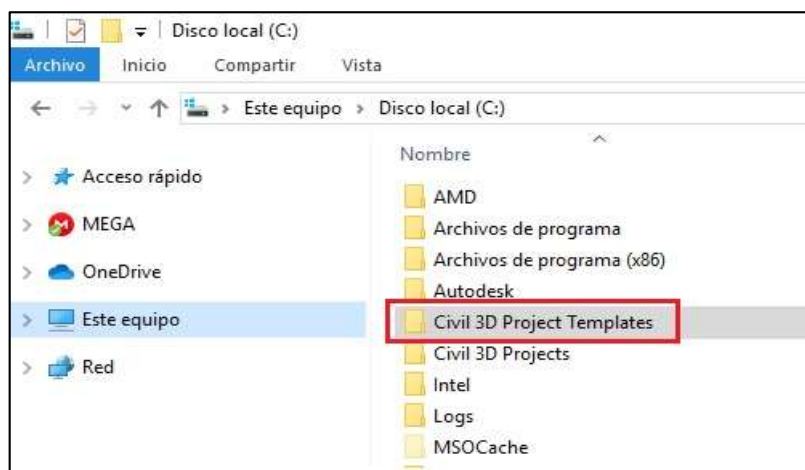


Figura 88. Ubicación de las Plantillas de Proyectos de Civil 3D. (Fuente: Elaboración propia con base en la Observación no Estructurada)

2. Dentro de la carpeta Civil 3D Project Templates, crea una nueva carpeta de nombre: _DATA SHORTCUTS. (Véase figura 89)

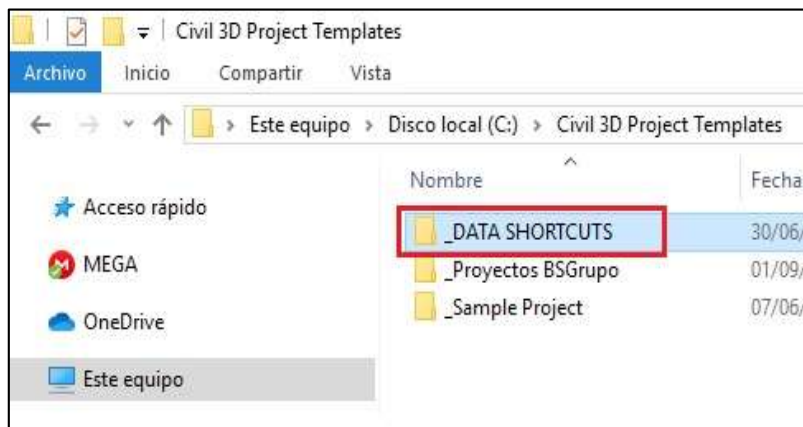


Figura 89. Plantilla para el modelo de gestión de proyectos. (Fuente: Elaboración propia con base en la Observación no Estructurada).

3. Dentro de la carpeta “_DATA SHORTCUTS”, crear las siguientes subcarpetas con los nombres:
01. DISEÑOS DEL PROYECTO
 02. DOCUMENTOS
 03. REPORTE DE LOS DISEÑOS
 04. REFERENCIAS EXTERNAS
 05. PLANOS DE PLOTTEO

La figura 90 muestra las subcarpetas.

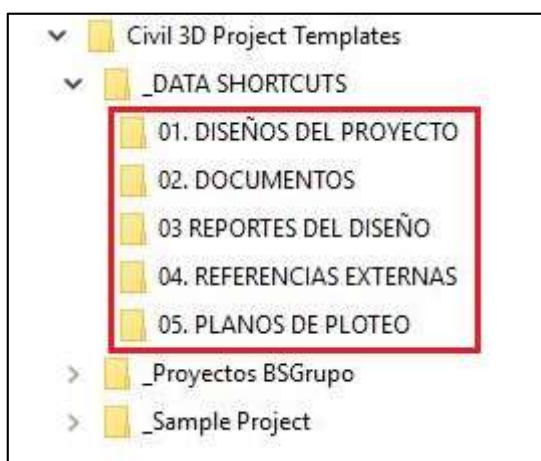


Figura 90. Estructura de carpetas del proyecto que deberán incluirse en la plantilla del proyecto. (Fuente: Elaboración propia con base en la Observación no Estructurada).

4. Dentro de la carpeta “01. DISEÑOS DEL PROYECTO”, crear las siguientes subcarpetas, tal como se muestra en la figura 91.



Figura 91. Subcarpetas de la plantilla del proyecto: Diseños del proyecto. (Fuente: Elaboración propia con base en la Observación no Estructurada).

5. De la misma manera crear las siguientes subcarpetas dentro de la carpeta “02. DOCUMENTOS”, tal como se muestra en la figura 92.

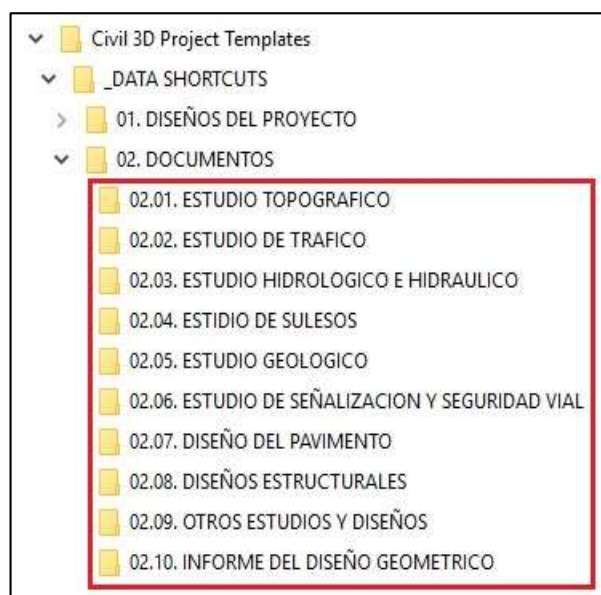


Figura 92. Subcarpetas de la plantilla del proyecto: Documentos. (Fuente: Elaboración propia con base en la Observación no Estructurada).

6. De la misma manera crear las siguientes subcarpetas dentro de la carpeta “04. REFERENCIAS EXTERNAS”, tal como se muestra en la figura 93.

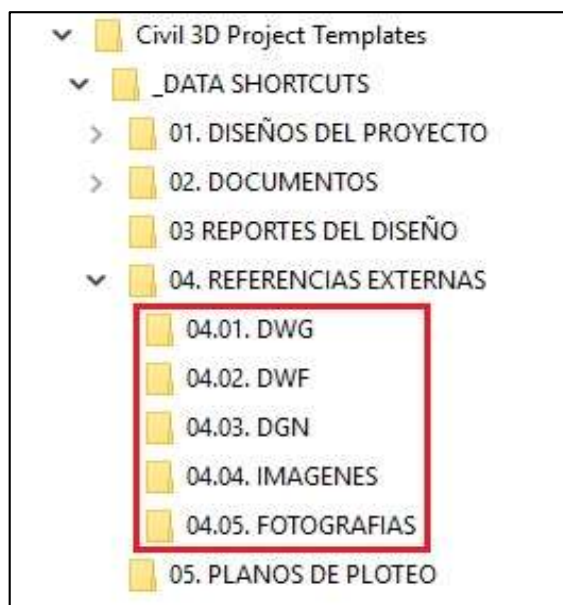


Figura 93. Subcarpetas de la plantilla del proyecto: Referencias externas. (Fuente: Elaboración propia con base en la Observación no Estructurada).

7. De la misma manera crear las siguientes subcarpetas dentro de la carpeta “05. PLANOS DE PLOTTEO”, tal como se muestra en la figura 94.

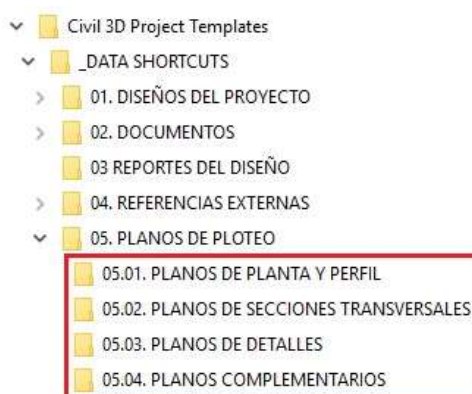


Figura 94. Subcarpetas de la plantilla del proyecto: Planos de ploteo. (Fuente: Elaboración propia con base en la Observación no Estructurada).

4.1.3.2.2. Configuración de la carpeta de trabajo y la carpeta de los data shortcuts (acceso directo de datos)

Puede pensar en la carpeta de trabajo como una unidad de proyecto. La carpeta de trabajo puede contener varios proyectos, cada uno con una carpeta de acceso directo de datos donde residen los archivos de acceso directo.

En este modelo, establecerá la carpeta de trabajo y creará un nuevo proyecto:

1. Abrimos el programa
2. Luego en la Pestaña *Manage* > en el panel *Data Shortcuts*, hacer clic en *Set Working Folder*, para establecer nuestra carpeta de trabajo. Nos mostrara un cuadro de dialogo y seleccionamos la carpeta *Civil 3D Projects* como nuestra carpeta de trabajo.

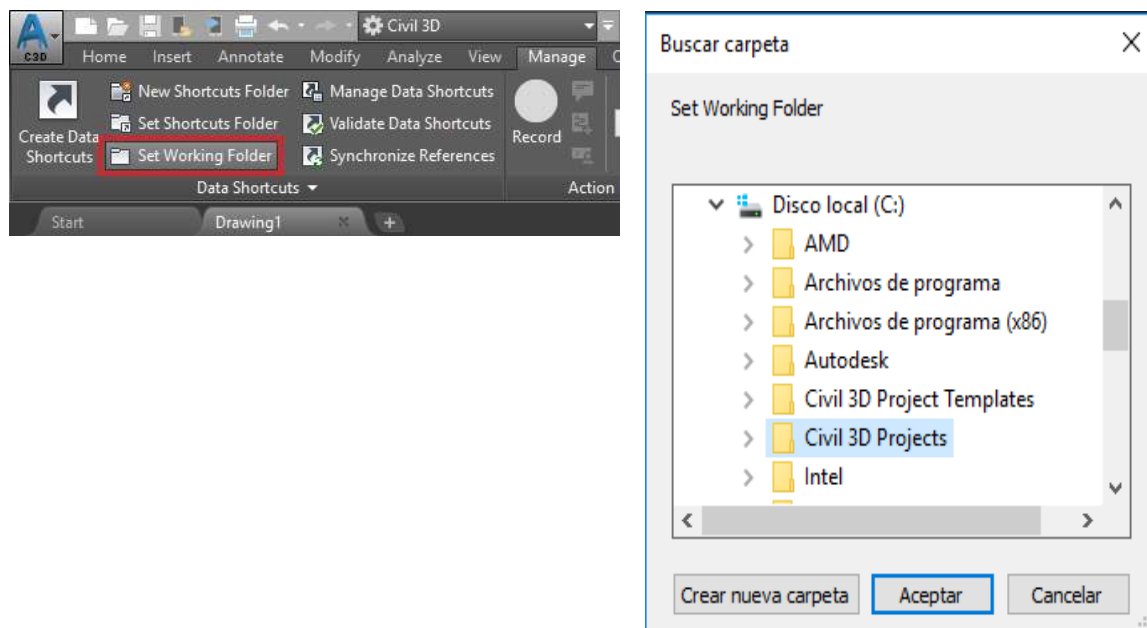
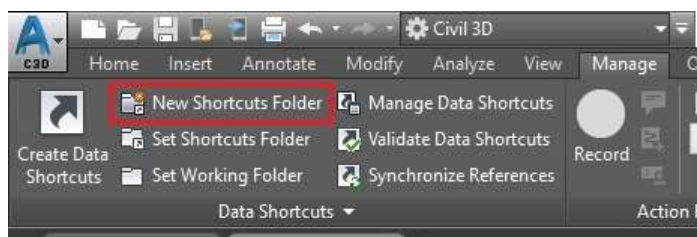


Figura 95. Seleccionando nuestra carpeta de Trabajo. (Fuente: Elaboración propia con base en la Observación no Estructurada con el software Autodesk Civil 3D 2019 (Metric)).

3. En el cuadro de diálogo *Buscar carpeta*, en *Disco local (C:)*, busque la carpeta *Civil 3D Projects*.
4. Con la carpeta de *Civil 3D Projects* resaltada (como se muestra en la Figura 95), haga clic en *Aceptar*.
5. Así mismo, en la Pestaña *Manage* > en el panel *Data Shortcuts*, hacer clic en *New Shortcuts Folder*, para establecer nuestra carpeta de accesos directos. Nos mostrara un cuadro de dialogo (Véase figura 96)



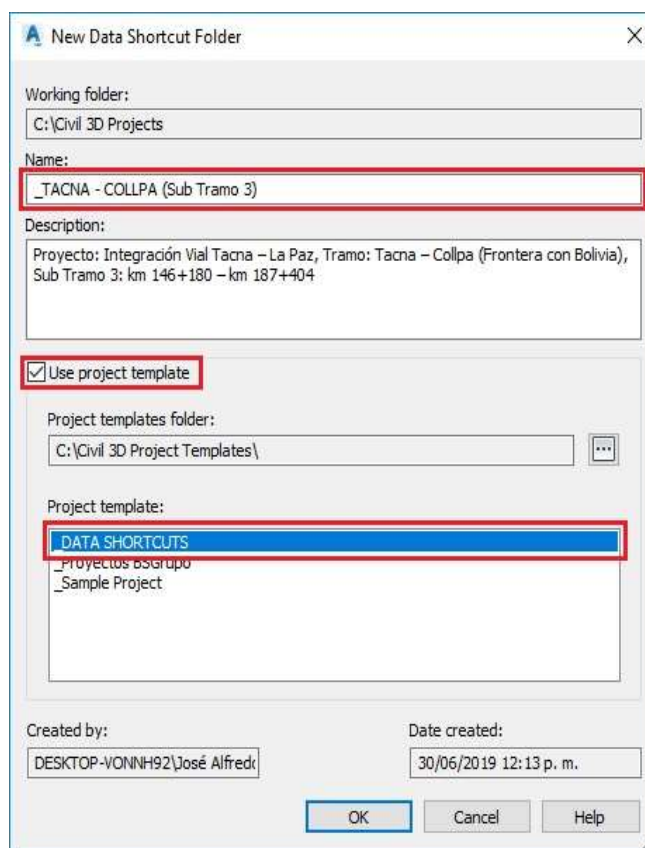


Figura 96. Creando una nueva carpeta de accesos directos. (Fuente: Elaboración propia con base en la Observación no Estructurada con el software Autodesk Civil 3D 2019 (Metric)).

6. En el cuadro de dialogo *New Data Shortcuts Folder* escribir en el campo *Name*: *_TACNA – COLLPA (Sub Tramo 3)*, como nombre para la carpeta del proyecto.
7. Luego seleccionamos la casilla *Use Project template*, y selecciona la carpeta *_DATA SHORTCUTS* de la lista de *Project templates* o plantillas del proyecto, tal como se muestra en la figura 96, y hacer clic en *OK*.

Observe que la ficha *Prospector*, del *Toolspace* o Espacio de herramientas, ahora se muestra la ruta del proyecto que se acaba de crear, como se muestra en la figura 97.

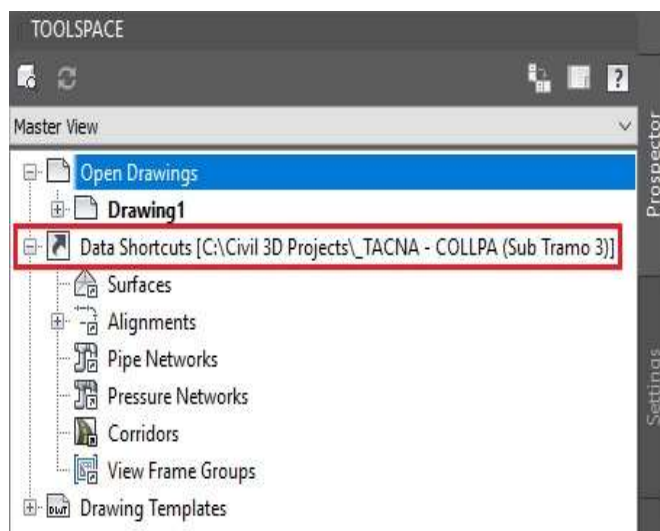


Figura 97. Los accesos directos se muestran en la ficha Prospector. (Fuente: Elaboración propia con base en la Observación no Estructurada con el software Autodesk Civil 3D 2019 (Metric))

Si se abre el Explorador de Windows y navegamos a C:\Civil 3D Projects_TACNA - COLLPA (Sub Tramo 3), veremos las carpetas de la plantilla del proyecto _DATA SHORTCUTS más una carpeta especial llamada _Shortcuts, como se muestra en la figura 98. Esta carpeta se crea para los archivos XML de accesos directos de datos. Cuando se define un acceso directo a los datos, se coloca en esta carpeta un archivo XML que contiene la ruta, el nombre del dibujo y el nombre del objeto de origen.

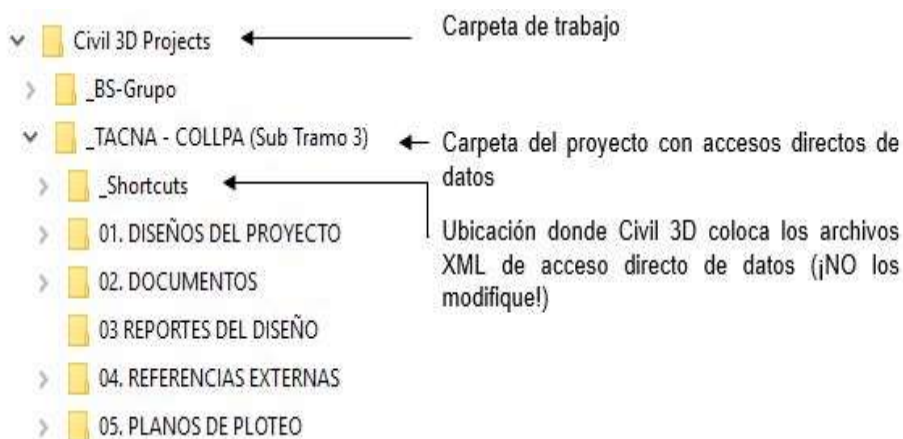


Figura 98. El nuevo proyecto en el Explorador de Windows. (Fuente: Elaboración propia con base en la Observación no Estructurada con el software Autodesk Civil 3D 2019 (Metric)).

8. Así mismo, en la Pestaña *Manage* > en el panel *Data Shortcuts*, haga clic en *Set Shortcuts Folder*, para establecer la carpeta de accesos directos. Nos mostrará un cuadro de diálogo (Véase figura 99).

- Guardamos este archivo en la ubicación siguiente: C:\Civil 3D Projects_TACNA - COLLPA (Sub Tramo 3)\01. DISEÑOS DEL PROYECTO\01.01. SUPERFICIES

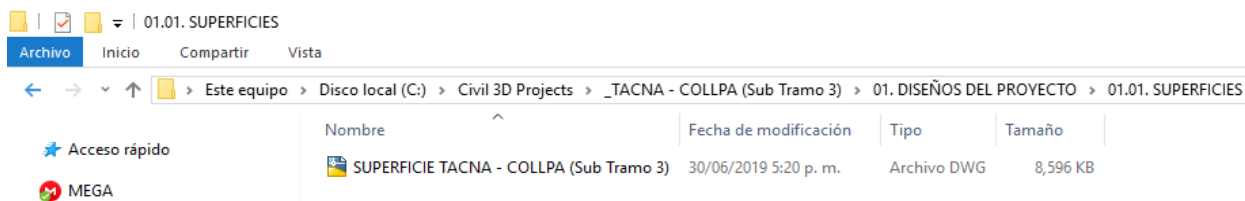


Figura 101. Ubicación del archivo de la superficie del proyecto. (Fuente: Elaboración propia con base en la Observación no Estructurada con el software Autodesk Civil 3D 2019 (Metric)).

- Luego haga clic derecho en la ruta *Data Shortcuts* de la ficha *Prospector* y hacer clic en *Associate Project to Current Drawing...*, para asociar nuestro dibujo actual al proyecto, tal como se muestra en la figura 102.

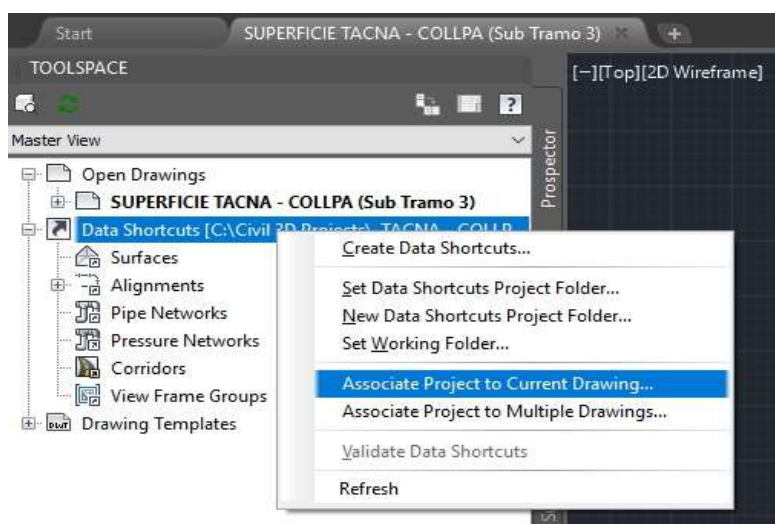


Figura 102. Asociación del dibujo actual, Superficie Tacna - Collpa (Sub Tramo 3), a la carpeta del proyecto (Fuente: Elaboración propia con base en la Observación no Estructurada con el software Autodesk Civil 3D 2019 (Metric))

- Nos mostrara el cuadro de dialogo *Associate Project To Current Drawing* y clic en OK.

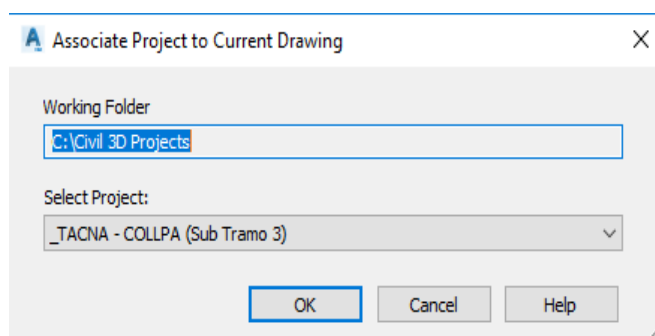


Figura 103. Cuadro de dialogo para asociar el dibujo actual. (Fuente: Elaboración propia con base en la Observación no Estructurada con el software Autodesk Civil 3D 2019 (Metric))

5. Nuevamente, desde la pestaña *Manage*, Panel de *Data Shortcuts*, haga clic en *Create Data Shortcuts*, para crear los accesos directos de datos. O también clic derecho en la ruta *Data Shortcuts* y clic en *Create Data Shortcuts...*, tal como se muestra en la figura 104.

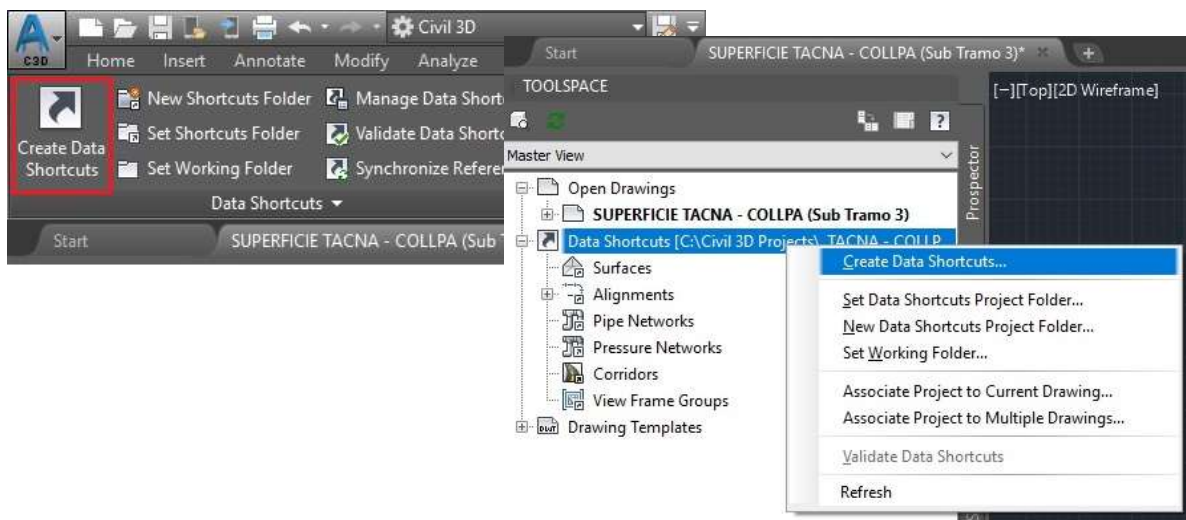


Figura 104. Crear el acceso directo de datos para la superficie del proyecto. (Fuente: Elaboración propia con base en la Observación no Estructurada con el software Autodesk Civil 3D 2019 (Metric)).

6. En el cuadro de dialogo *Create Data Shortcuts*, seleccionamos la superficie del proyecto y colocamos la marca de verificación, como se muestra en la figura 105, y clic en *OK*.

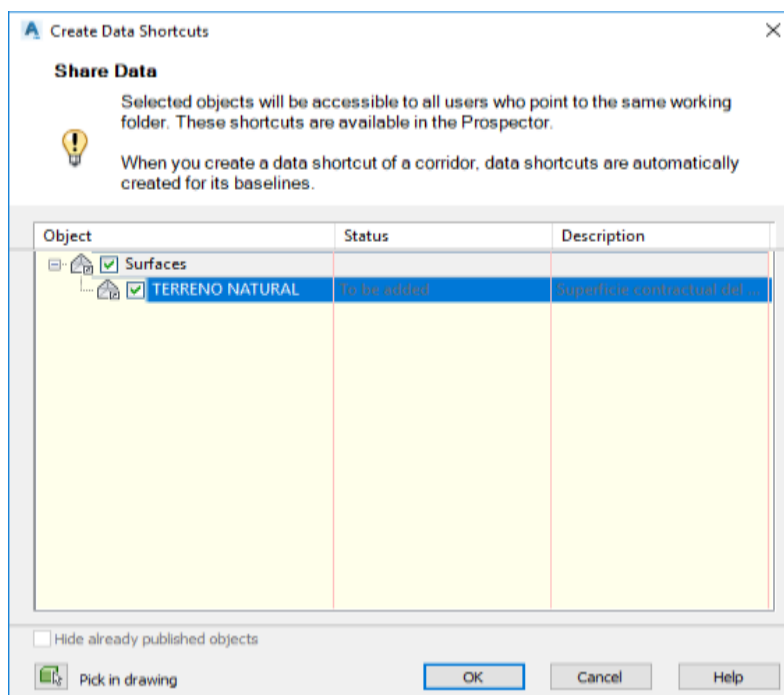


Figura 105. Agregar datos de la superficie a los accesos directos de datos (Fuente: Elaboración propia con base en la Observación no Estructurada con el software Autodesk Civil 3D 2019 (Metric)).

7. Ahora tenemos la superficie del terreno natural disponible para su uso en la lista de accesos directos de datos en la ficha Prospector, tal como se muestra en la figura 106.

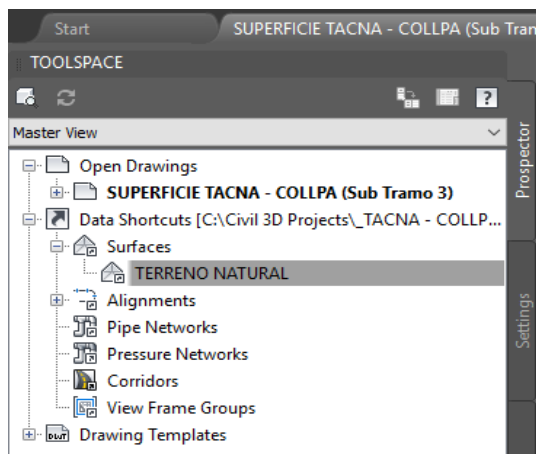


Figura 106. Lista de accesos directos de datos de Civil 3D disponibles para el proyecto actual. (Fuente: Elaboración propia con base en la Observación no Estructurada con el software Autodesk Civil 3D 2019 (Metric)).

8. Guardar y cerrar el archivo de dibujo actual.



Figura 107. Archivo de la superficie con el dibujo del objeto de diseño. (Fuente: Elaboración propia con base en la Observación no Estructurada con el software Autodesk Civil 3D 2019 (Metric)).

9. Luego navegamos a la siguiente ubicación: C:\Civil 3D Projects_TACNA - COLLPA (Sub Tramo 3)_Shortcuts\Surfaces, como en la figura 108.

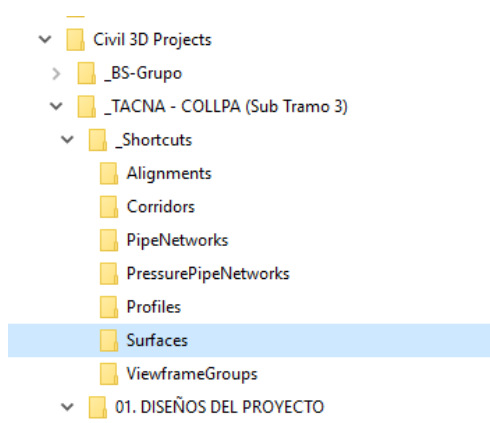


Figura 108. Ubicación del archivo de la superficie creada para los accesos directos. (Fuente: Elaboración propia con base en la Observación no Estructurada con el software Autodesk Civil 3D 2019 (Metric))

10. Se muestra el archivo de extensión XML



Figura 109. Archivo XML de la superficie del proyecto. (Fuente: Elaboración propia con base en la Observación no Estructurada con el software Autodesk Civil 3D 2019 (Metric)).

4.1.3.2.4. Creando una referencia de datos

Ahora que se ha creado los archivos de acceso directo para que actúen como punteros al dibujo original, los utilizará en otros dibujos. En esta sección, creará y utilizará referencias de datos.

Las referencias de datos se hacen utilizando la ruta de *Data Shortcuts* de datos dentro de *Prospector*. En este modelo, se crea una referencia a la superficie que compartió anteriormente en el proyecto

1. Abrimos un dibujo nuevo, en la cual utilizaremos la superficie con acceso directo a datos para pasar a trabajar con el siguiente objeto de diseño, es decir, con el Alineamiento del proyecto.
2. En el Espacio de herramientas o *Toolspace*, en la ficha *Prospector*, en la ruta *Data Shortcuts*, en la colección de superficies, haga clic con el botón derecho en TERRENO NATURAL y seleccione Create Reference..., para crear la referencia, como se muestra en la figura 110.

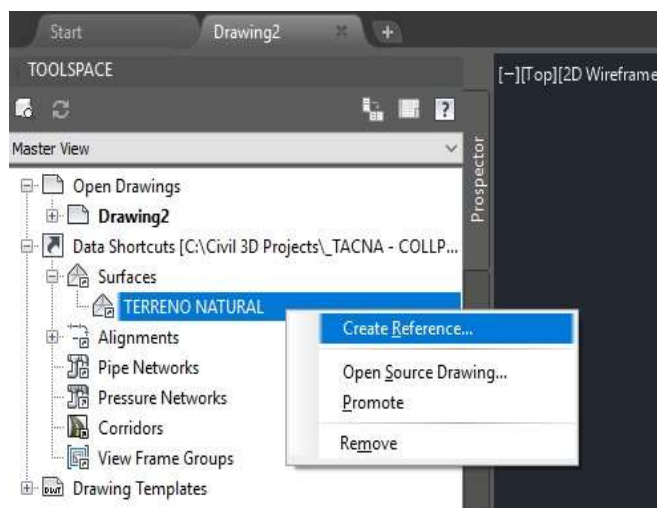


Figura 110. Creando la referencia de la superficie del proyecto. (Fuente: Elaboración propia con base en la Observación no Estructurada con el software Autodesk Civil 3D 2019 (Metric)).

3. En el cuadro de diálogo Create Surface Reference de la figura 111, deje todas las opciones de superficie en sus valores predeterminados y haga clic en OK. Luego escriba el Zoom, Extents para ver la superficie.

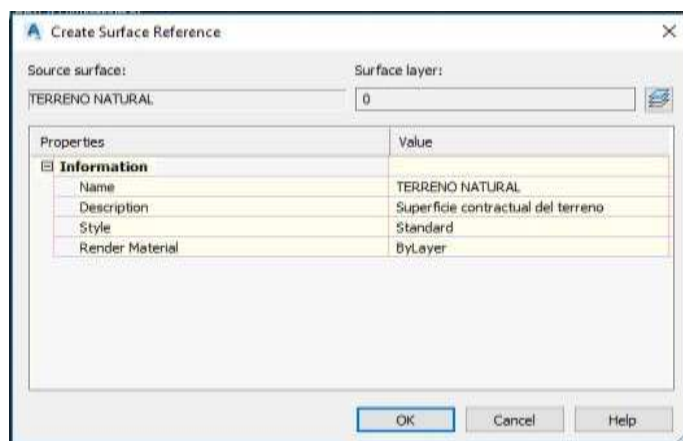


Figura 111. Cuadro de diálogo de Crear referencia de superficie.
(Fuente: Elaboración propia con base en la Observación no Estructurada con el software Autodesk Civil 3D 2019 (Metric)).

4. Guarde el dibujo actual con el nombre ALINEAMIENTO HORIZAONTAL TACNA – COLLPA (Sub Tramo 3) en la siguiente ubicación: C:\Civil 3D Projects_TACNA - COLLPA (Sub Tramo 3)\01. DISEÑOS DEL PROYECTO\01.02. ALINEAMIENTOS HORIZONTALES y mantener abierto el archivo para el próximo ejercicio.

Ahora deberías ver la superficie en el dibujo. A primera vista, no se ve diferente de otras superficies con las que se ha trabajado dentro de Civil 3D. Sin embargo, si examina la ruta de Superficies en la ficha *Prospector*, verá que no hay una colección de Definiciones, tal como se muestra en la Figura 112.



Figura 112. Superficie referenciada al dibujo actual. (Fuente: Elaboración propia con base en la Observación no Estructurada con el software Autodesk Civil 3D 2019 (Metric)).

Puede ver y usar la superficie, pero no puede agregar o editar la definición de la superficie.

Si observamos el tamaño del archivo referenciado (como se muestra en la figura 113), antes de empezar a diseñar el alineamiento del proyecto, se muestra una reducción del tamaño del archivo.

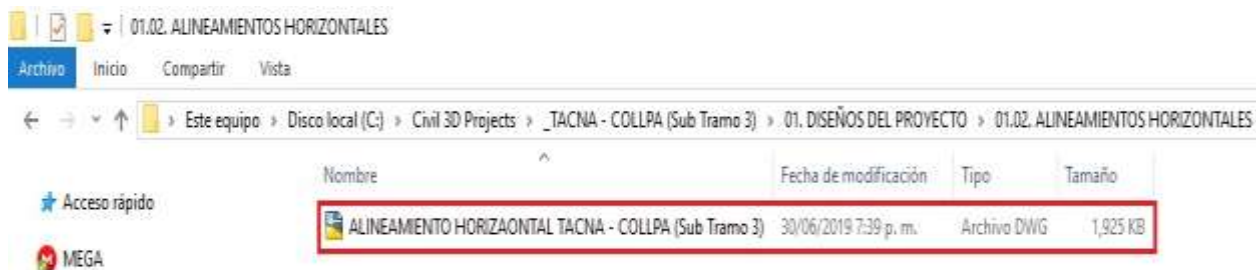


Figura 113. Archivo del alineamiento con la superficie referenciada. (Fuente: Elaboración propia con base en la Observación no Estructurada con el software Autodesk Civil 3D 2019 (Metric)).

5. Luego diseñamos el Eje del proyecto, lo llamaremos EJE TACNA – COLLPA, tal como se muestra en la figura 114.

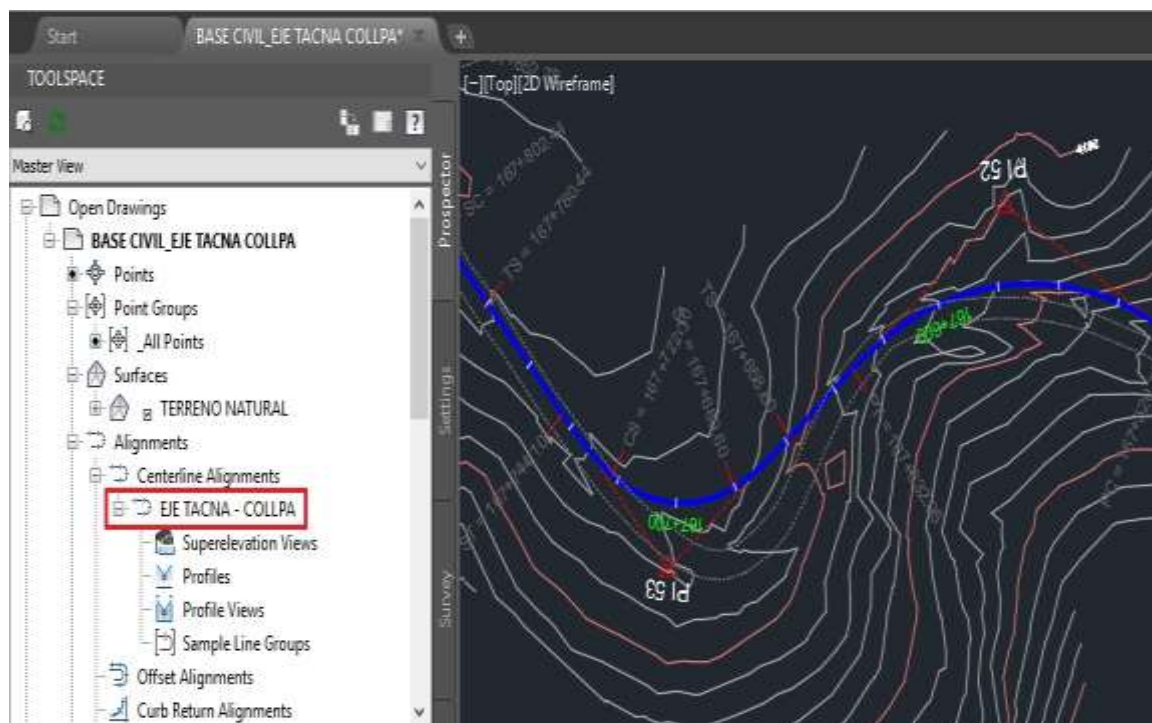


Figura 114. Objeto alineamiento para el Eje del proyecto. (Fuente: Elaboración propia con base en la Observación no Estructurada con el software Autodesk Civil 3D 2019 (Metric))

6. Ahora asociamos el dibujo actual al proyecto, tal como se muestra en la figura 115.

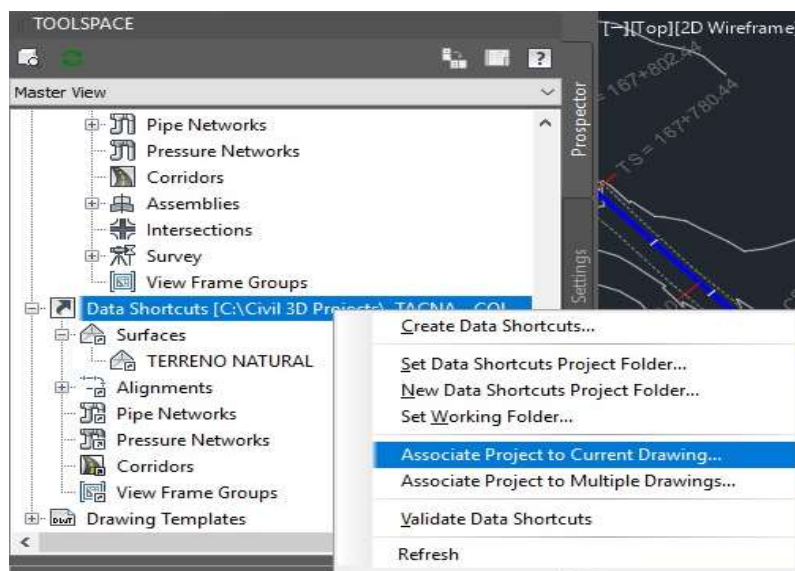


Figura 115. Asociación del alineamiento al proyecto. (Fuente: Elaboración propia con base en la Observación no Estructurada con el software Autodesk Civil 3D 2019 (Metric)).

7. Ahora volvemos a crear el *data shortcut* o acceso directo a datos para el eje del proyecto. Clic derecho en la ruta *Data Shortcuts* y clic en *Create Data Shortcuts...*, En el cuadro de dialogo *Create Data Shortcuts*, seleccionamos el alineamiento: EJE TACNA - COLLPA del proyecto y colocamos la marca de verificación, como se muestra en la figura 116, y clic en OK.

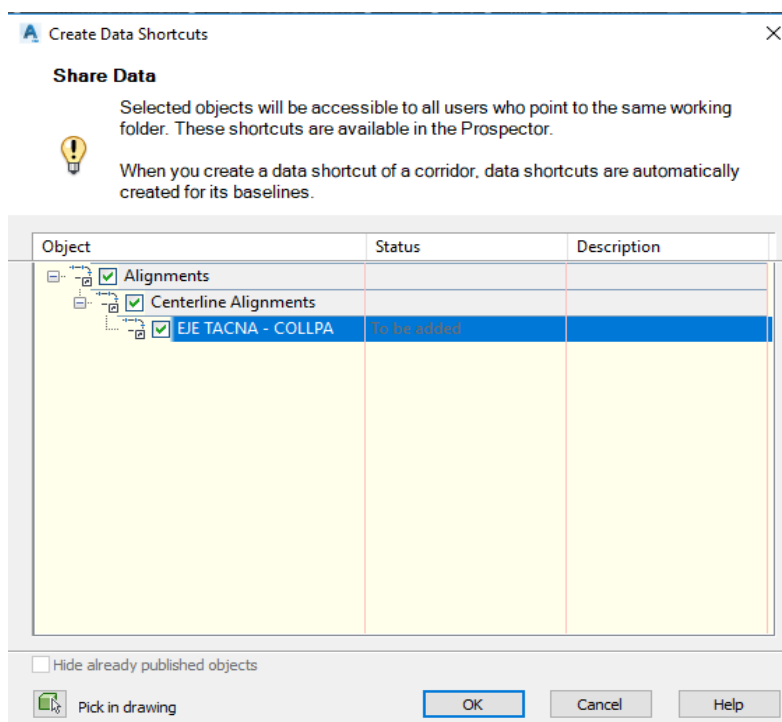


Figura 116. Agregar datos del alineamiento a los accesos directos de datos. (Fuente: Elaboración propia con base en la Observación no Estructurada con el software Autodesk Civil 3D 2019 (Metric)).

8. Ahora tenemos el alineamiento del proyecto disponible para su uso en la lista de accesos directos de datos en la ficha *Prospector*, tal como se muestra en la figura 117.

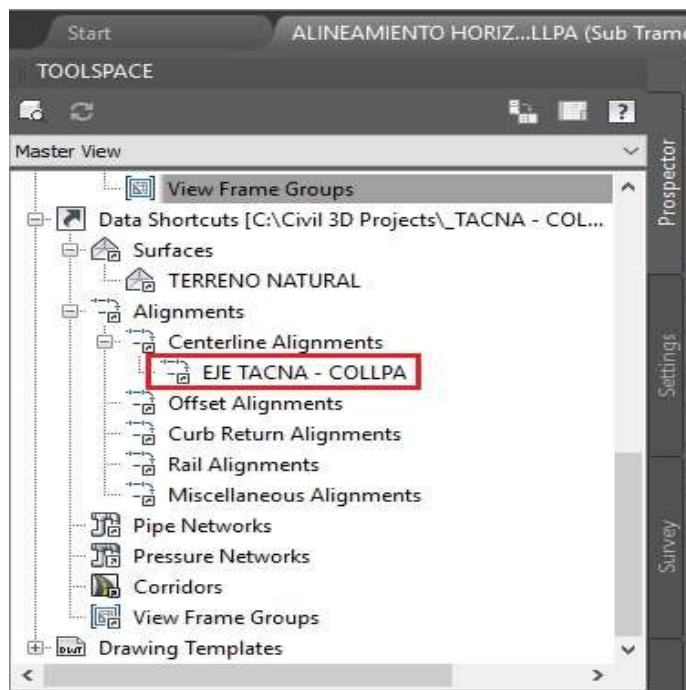


Figura 117. Alineamiento disponible para el proyecto actual. (Fuente: Elaboración propia con base en la Observación no Estructurada con el software Autodesk Civil 3D 2019 (Metric)).

9. Guardar y dejamos abierto el dibujo actual.

De la misma forma, se crearán los demás dibujos de diseño del proyecto, como son los perfiles longitudinales, el corredor y las secciones transversales. Referenciando cada dibujo necesario para cada objeto de diseño.

En la sección de los Anexos se adjuntan y se muestran, como complemento a estos procesos, los demás resultados de la metodología de gestión de proyectos.

4.1.3.2.5. Actualizando las Referencias

Cuando necesite hacer un cambio, puede usar las herramientas en el menú de *Data Shortcuts* para volver a ese archivo, hacer los cambios y actualizar la referencia.

1. En la ficha *Prospector*, expanda *Data Shortcuts*, luego en *Superficies*.
2. Haga clic con el botón derecho en *TERRENO NATURAL* y seleccione *Open Source Drawing*, para abrir el dibujo de origen, como se muestra en la Figura 118.

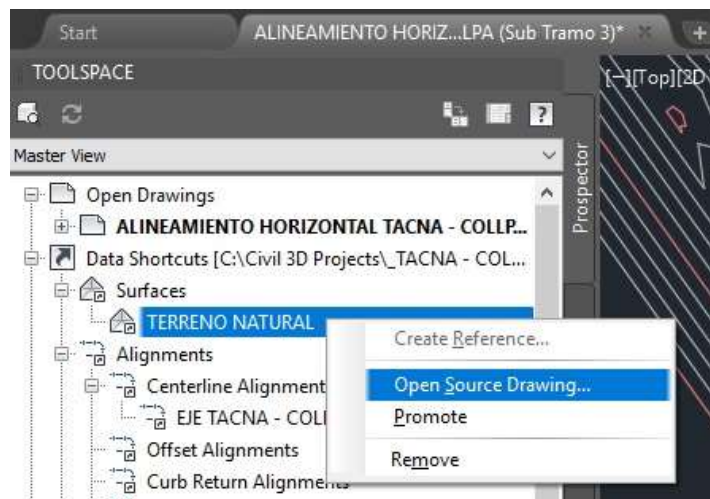


Figura 118. Open Source Drawing es una forma rápida de saltar al dibujo que quieras. (Fuente: Elaboración propia con base en la Observación no Estructurada con el software Autodesk Civil 3D 2019 (Metric)).

En este punto, debe tener dos dibujos abiertos (SUPERFICIE TACNA - COLLPA (Sub Tramo 3) y ALINEAMIENTO HORIZONTAL TACNA - COLLPA (Sub Tramo 3)). Puede usar las pestañas en la parte superior de la pantalla para cambiar los dibujos.

El archivo SUPERFICIE TACNA - COLLPA (Sub Tramo 3).dwg debe estar activo y listo para realizar actualizaciones. Recuerde que la superficie es de solo lectura en todos los demás archivos de proyecto; Este es el único dibujo en el que se pueden hacer cambios a la superficie.

En este dibujo, se modificará la triangulación de la superficie. El cambio en la superficie afectará a todos los dibujos donde la superficie se utiliza como referencia de datos. La comunicación dinámica entre dibujos muestra la potencia de la herramienta de acceso directo a datos.

3. Seleccione la superficie en la ventana de dibujo.
4. En la cinta contextual, panel *Modify*, en la herramienta *Edit Surface*, seleccionamos *Swap Edge*, tal como se muestra en la figura 119.
 - a. Modificamos la triangulación
 - b. Presionamos *Enter* cuando terminemos.

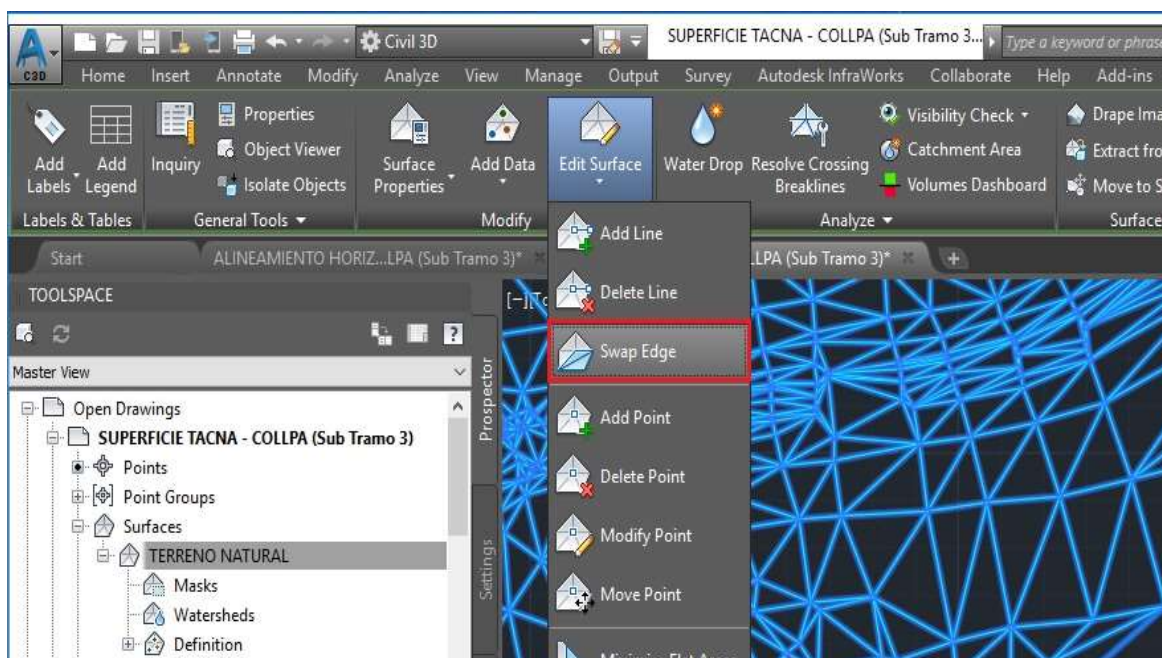


Figura 119. Modificando la superficie de origen. (Fuente: Elaboración propia con base en la Observación no Estructurada con el software Autodesk Civil 3D 2019 (Metric)).

5. Guarde y cierre SUPERFICIE TACNA - COLLPA (Sub Tramo 3).dwg

Luego con el dibujo del alineamiento activo, debería ver aparecer un mensaje con un símbolo de alerta en el icono de referencia externa en la barra de estado que indica que las definiciones de acceso directo de datos pueden haber cambiado, como se muestra en la Figura 120.

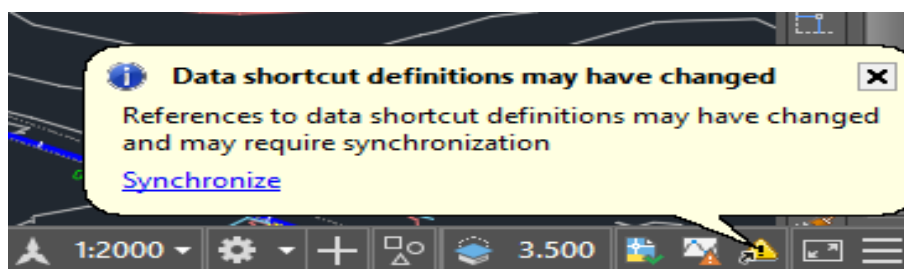


Figura 120. Civil 3D enviará un mensaje al usuario cuando un objeto referenciado de datos haya cambiado (Fuente: Elaboración propia con base en la Observación no Estructurada con el software Autodesk Civil 3D 2019 (Metric)).

6. Haga clic derecho y haga clic en Sincronizar

En algunas situaciones, ves un símbolo de advertencia en el Prospector. En ese caso, siempre puede sincronizar directamente desde el menú del botón derecho del objeto al que se hace referencia, como se muestra en la Figura 121.

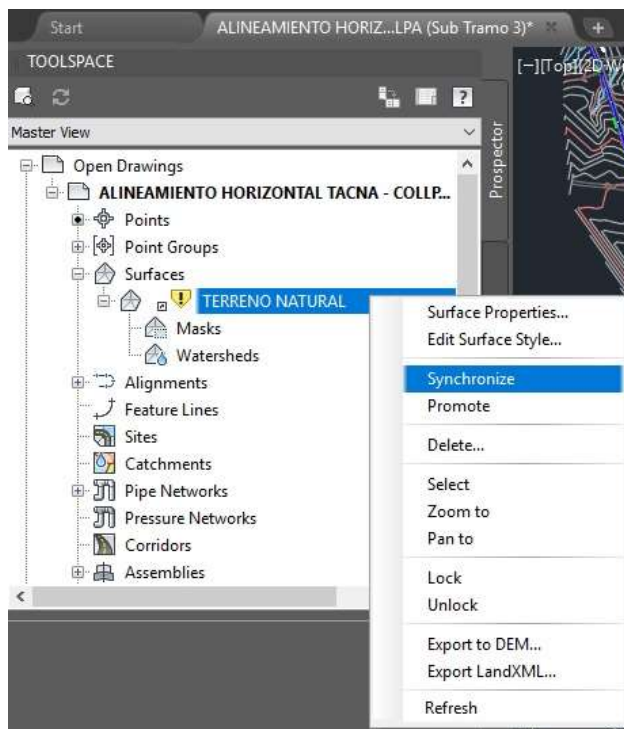


Figura 121. Sincronización desde el menú contextual del objeto
(Fuente: Elaboración propia con base en la Observación no Estructurada con el software Autodesk Civil 3D 2019 (Metric))

Puede recibir un mensaje en Panorama que indica que el elemento se sincronizó.

7. Descarte este mensaje haciendo clic en la casilla de verificación verde
8. Guarda y cierra todos los dibujos

4.1.4. Efectos de la aplicación de la metodología de gestión de proyectos con las herramientas BIM en la fase de diseño de proyectos de infraestructura vial

Los efectos descritos a continuación, son los beneficios experimentados durante el proceso y posterior, a la aplicación de la metodología de gestión usando las herramientas BIM para el desarrollo de proyectos de infraestructura vial en la fase de diseño. Así mismo, se describen los beneficios reportados a través de la revisión documental.

- Documentación con mayor calidad, al estar todos los objetos del diseño vinculados, los datos se actualizan de forma automática, haciendo más eficiente los cambios en el diseño.
- Garantizan la continuidad de los datos durante toda la fase de diseño, gracias a que el modelo se encuentra centralizado en un solo archivo, haciendo más productivo la gestión de la información.

- Mejor visualización de los objetos de diseño (superficies, alineamientos horizontales y verticales, etc.), lo que permite mayor análisis y comunicación con los especialistas del proyecto.
- Manejar y administrar grandes cantidades de datos, gracias al flujo de trabajo avanzado con el software Civil 3D 2019 (Metric).

En el gráfico 14 se muestran los principales beneficios en el proceso y resultados del proyecto en BIM, reportados en una investigación realizada por Dodge Data & Analytics (2017), en donde encuestaron a 368 profesionales que trabajan en empresas consultoras, empresas contratistas y representantes de entidades públicas de Francia, Alemania, Reino Unido y EE.UU. y los resultados fueron los siguientes:

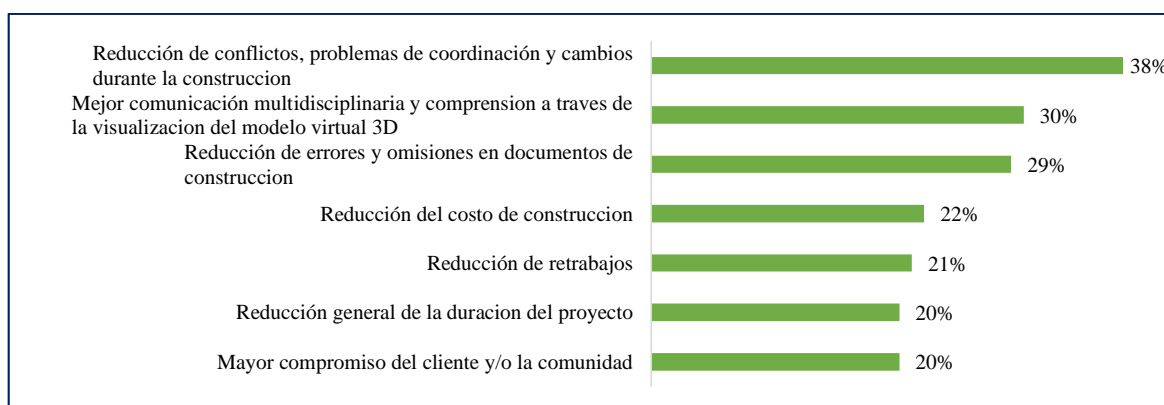


Gráfico 15. Principales beneficios del proceso desarrollando proyectos con BIM. (Fuente: Elaboración propia en base en la revisión documental en Dodge Data & Analytics (2017))

Así mismo, se pudo evidenciar que la fase en donde la metodología BIM proporciona mayores beneficios, se presenta durante el desarrollo de la fase de diseño en proyectos de infraestructura vial (Dodge Data & Analytics, 2017).

1.2. Análisis y Discusión de los Resultados

Los resultados de la presente investigación fueron obtenidos a través de la revisión documental y la observación no estructurada, quedando registro de todas las actividades mencionadas por medio de capturas de pantalla.

De la presentación de los resultados obtenidos se procede a analizar y discutir los resultados

4.2.1. Aumento de la eficiencia

Se pudo observar que, con la aplicación de la metodología de gestión de proyectos, utilizando las herramientas de los *data shortcuts*, se reducen los tamaños de los archivos, tal

como se muestra en la figura 107 y figura 113, evidenciando así, una eficiencia a la hora de trabajar con archivos más livianos.

Cuando se tenga colaborar con otros profesionales dedicados al diseño, se podrá compartir esta información contenida en los archivos de una manera más rápida.

4.2.2. Optimización de los flujos de trabajo

Con la creación y organización del conjunto de carpetas de trabajo para el proyecto, se vuelve más eficiente el flujo de trabajo, puesto que con la plantilla _DATA SHORTCUTS creada (mostrada en la sección 3.1.1.2.1.), ya no es necesario volver a crear para utilizarlo en otros proyectos.

Bastara con solo seleccionar nuestra plantilla creada para utilizarlo en los demás proyectos. Por lo tanto, se hace evidente la optimización en los flujos de trabajo para la gestión de los proyectos.

Así mismo, permitió estandarizar los procesos de trabajo.

4.2.3. Mejora de la gestión de la información

Implementado la metodología de gestión de proyectos con el software Civil 3D, se administra de una manera eficiente los datos del proyecto, los cuales están disponible, ya no solo para la única persona que diseña, sino también para todo un equipo de trabajo que se comunica y colabora con la información del diseño del proyecto.

4.2.4. Protección de la integridad de los datos

De la figura 112 presentada en los resultados, se evidencia, que, con la aplicación de la metodología de gestión, se protegen de cualquier tipo errores o accidentes a la hora de estar diseñando los objetos del diseño, para así garantizar la integridad de los datos.

1.3. Contrastación de la Hipótesis

Lugo de la presentación, análisis y discusión de los resultados, se confirma la hipótesis, es decir, “La implementación de una metodología de gestión con herramientas BIM aumenta la eficiencia, optimiza los flujos de trabajo, mejora la gestión de la información y protege la integridad de los datos, mejorando así, la fase de diseño en proyectos de infraestructura vial”.

CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos de la investigación, se puede afirmar que las deficiencias de la gestión de la información en la fase de diseño de proyectos de infraestructura vial son básicamente cuatro: a) Limitada visualización o representación de los objetos (dibujos) del diseño, b) Falta de automatización en los procesos con herramientas tecnológicas tradicionales, c) Deficiente coordinación entre los involucrados del proyecto y d) Poca seguridad con el almacenamiento de la información y/o datos del proyecto.
- La característica principal de los softwares o herramientas BIM para infraestructura vial, es que todos los elementos del diseño están relacionados y conectados. Es decir, que los objetos del diseño al ser modificados, automáticamente regeneran el diseño y recalculan la información. Todo esto es importante, pues nos ayuda a la hora de hacer cambios en nuestra propuesta sin tener que rehacer todo el proyecto de nuevo.
- Dado que se trabaja en todo momento en un modelo 3D, es posible visualizar todos los elementos que conforman la carretera, permitiendo comprobar si hay algún problema de interferencias entre los diferentes elementos del diseño, de una forma segura y rápida
- Así mismo, la ventaja de estas herramientas BIM, es que todos los elementos del modelo están conectados, permitiendo generar toda la documentación del proyecto, como planos, tablas, planillas, cantidad de materiales, etc., todo esto de manera automática, aumentando así la productividad, reduciendo los errores y las omisiones, y garantizando una mayor calidad en el proceso de la fase de diseño.
- La aplicación de la metodología de gestión de proyectos con las herramientas BIM para infraestructura vial en la fase de diseño, nos permite, de una manera sencilla, organizar de los dibujos de un proyecto. Así mismo, nos permite administrar la información y datos de grandes y complejos proyectos de infraestructura vial.
- Los efectos – beneficios encontrados luego de implementar el modelo de gestión de proyectos con el software BIM, AutoCAD Civil 3D 2019 (Metric) fueron, aumento de la eficiencia, optimización de los flujos de trabajo, mejora en la gestión de la información y protección de la integridad de los datos.

RECOMENDACIONES

- Debido a que el software Civil 3D es muy versátil, se recomienda aplicar el modelo de gestión a diferentes tipos de obras lineales, como pueden ser proyectos de Agua Potable y Saneamiento, Pistas y Veredas, Canales de irrigación, entre otros.
- Así mismo, se recomienda capacitarse en estas nuevas metodologías para mejorar la productividad y competitividad en la industria de la construcción.
- Se recomienda a las autoridades, docentes y demás participantes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Martín, incluir en los planes de estudio esta metodología de trabajo, que representa una alternativa ventajosa en el desarrollo de un proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, F. (2016). APLICACIÓN DE MODELO BIM PARA PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL. (Tesis Profesional). Pontificia Universidad Católica de Ecuador, Quito, Recuperado de: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/13466>
- Adams, J. (1978). Organizational life cycle implications for major projects: an overview. *Project Management Quarterly*. Recuperado de: <https://www.Pmi.org/learning/library/organizational-life-cycle-research-development-5714>
- Alcántara, P. (2013), METODOLOGÍA PARA MINIMIZAR LAS DEFICIENCIAS DE DISEÑO BASADA EN LA CONSTRUCCIÓN VIRTUAL USANDO TECNOLOGÍAS BIM, (Tesis Profesional), Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Recuperado de: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/3760>
- Aliaga, G. (2012). IMPLEMENTACIÓN Y METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE MODELOS BIM PARA SU APLICACIÓN EN PROYECTOS INDUSTRIALES MULTIDISCIPLINARIOS. (Tesis Profesional). Universidad de Chile. Santiago. Recuperado de: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/112356>
- Almonacid, K. & Navarro, J. & Rodas, Isabel. (2015). Propuesta de metodología para la implementación de la tecnología BIM en la empresa constructora e inmobiliaria “IJ Proyecta”. (Tesis de Maestría). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Recuperado de: https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/617477/Proyecto%20Tesis_MDC.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Alsina, G. (2018). Definición de Entorno Informático, DefiniciónABC. Recuperado de: <https://www.definicionabc.com/tecnologia/entorno-informatico.php>
- arquiPARADOS. Recuperado de: <https://www.arquiparados.com/t834-que-son-los-niveles-bim-bim-levels>
- Bentley Systems Latinoamérica (24 de noviembre de 2015). BIM para Infraestructuras de Transportes. [Archivo de video]. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=37YGB1pGJik>
- Berdillana, F. (2008). TECNOLOGÍAS INFORMÁTICAS PARA LA VISUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN Y SU USO EN LA CONSTRUCCIÓN - LOS SISTEMAS 3D INTELIGENTES, Universidad Nacional de Ingeniería. Recuperado de: http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/833/1/berdillana_rf.pdf

- BIM6D (2017). QUE ES UN ENTORNO COMUN DE COLABORACION BIM. BIM6D. Recuperado de: <http://bim6d.es/que-es-entorno-comun-colaboracion-bim/>
- Bouzas, M. (2017). ¿Qué es un CDE?. BuildingSMART Spain. Recuperado de: <https://www.buildingsmart.es/2017/04/01/qu%C3%A9-es-un-cde/>
- Cabrera, J. (2012). Construyendo productividad. Concesión Esan. Recuperado de: <https://www.esan.edu.pe/conexion/actualidad/2012/04/27/construyendo-productividad-inmobiliario/>
- Cámara Argentina de la Construcción, (2018). Gestión y Productividad en Obra. Recuperado de: www.camarco.org.ar/File/GetFile?id=6341
- CAPECO, 2018. Informe Económico de la Construcción N° 17 - Marzo 2018. Recuperado de: www.capeco.org/iec
- Carbonel, J. (2015), Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión, Lima: Editorial Macro.
- Chambilla, C. (2016). ANÁLISIS, DISEÑO ESTRUCTURAL E INSTALACIONES SANITARIAS DE UN EDIFICIO DE DEPARTAMENTOS DE 05 NIVELES Y 01 SEMISÓTANO, UTILIZANDO PLATAFORMA BIM, EN EL DISTRITO DE JOSÉ LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO. (Tesis Profesional), Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Recuperado de: <http://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/136?offset=5500>
- Choque, L. (2014). Análisis del mecanismo de comunicación entre supervisión y contratistas por medio de solicitudes de información mediante el uso de tecnologías de información. (Tesis Profesional). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Recuperado de: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/5972>
- Coloma, E. (2008). INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA BIM. Universidad Politécnica de Cataluña. Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/12226/Introducci%C3%B3n%20a%20la%20Tecnolog%C3%ADa%20BIM.pdf>
- Corporación de Desarrollo Tecnológico. Red Latinoamericana de Centros de Innovación Tecnológica (INCONET). Cámara Chilena de la Construcción. Recuperado de: <https://www.cdt.cl/inconet/>
- Eastman, C. & Teicholz, P. & Sacks, R. & Liston, K. (2008). BIM HANDBOOK: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and,

Contractors. 2da edición. New Jersey. Jhon Willey & Sons, Inc. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/302924419_BIM_Handbook_A_Guide_to_Building_Information_Modeling_For_Owners

Esarte, A. (7 diciembre 2018). PLAN DE EJECUCIÓN BIM - GUÍA DE ELABORACIÓN. EspacioBIM. Recuperado de: <https://www.espaciobim.com/plan-ejecucion-bim/>

Fanning, B. (2014). IMPACTOS Y BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE BIM EN PROYECTOS DE PUENTE E INFRAESTRUCTURA. [Traducido al español de IMPACTS AND BENEFITS OF IMPLEMENTING BIM ON BRIDGE AND INFRASTRUCTURE PROJECTS]. (Tesis de Maestría). Universidad Estatal de Colorado. Colorado. Recuperado de: http://utcdb.fiu.edu/Fanningcolostate_0053N12352.pdf

Felsing, E. & Runza, P. (2002). Productividad: Un Estudio de Caso en un Departamento de Siniestros. (Tesis de Maestría). Universidad del CEMA. Buenos Aires. Recuperado de: <https://ucema.edu.ar/posgrado-download/tesinas2002/FelsingMADE.pdf>

FR4 Construcciones, (2017). Etapa de diseño de proyectos de construcción. Recuperado de: <http://fr4.com.do/etapa-de-diseno-de-proyectos-de-construccion/>

Fuentes, D. (2013). Tecnología BIM en la industria de la construcción. Revista Civilízate. 8(2), 38-39. Recuperado de: <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/civilizate/issue/view/986>

Fustamante, M. (2014), Implementación del Sistema Integrado BIM - Lean- Green (BLG) en la Fase de Diseño de Proyectos de Construcción, (Tesis Profesional), Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Recuperado de: <http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/654/T%20690%20F995%202014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

García, M. (12 julio 2016). LOD NIVEL DE DESARROLLO. EDITECA. Recuperado de: <https://editeca.com/lod-nivel-de-desarrollo/>

Garriga, A. (2014). Metodología de gestión de proyectos. RECURSOS ENPROJECTMANAGEMENT. Recuperado de: <https://www.Recursosenprojectmanagement.com/metodologia-de-gestion-de-proyectos/>

Gestión de Proyectos Software. Introducción a la Gestión de Proyectos. Recuperado de: <https://sites.google.Com/site/gestiondeproyectossoftware/>

- Ghio, V. y Bascuñan, R. (2012). INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN LA CONSTRUCCIÓN AHORA ES CUANDO. Pontificia Universidad Católica de Chile. Recuperado de: <https://www.ricuc.cl/index.php/ric/article/download/GHIO/152>
- Gómez, A. & Morales, D. (2016). Análisis de la productividad en la construcción de vivienda basada en rendimientos de mano de obra. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5523780.pdf>
- Gómez, M. (2015). INTEGRACIÓN DE PROCESOS BIM EN LEVANTAMIENTO DE EDIFICIOS EXISTENTES. EDIFICIO DE LABORATORIOS DE LA E.T.S.I.E. CAMPUS UNIVERSITARIO REINA MERCEDES. (Tesis Profesional). Universidad de Sevilla. Sevilla. Recuperado de: <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/36449>
- Goyzueta, G y Puma, H. (2016). IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM Y EL SISTEMA LAST PLANNER 4D PARA LA MEJORA DE GESTION DE LA OBRA “RESIDENCIAL MONTESOL-DOLORES. (Tesis Profesional). UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN. Arequipa.
- Grupo PMC (2017). Las 4 metodologías de gestión de proyectos más utilizadas. Recuperado de: <https://www.pmclatam.com/las-4-metodologias-de-gestion-de-proyectos-mas-utilizadas/>
- Hildebrandt Gruppe (2016). PROFUNDIDAD DE LAS DIMENSIONES BIM EN PROYECTOS DE ALTA COMPLEJIDAD. Recuperado de: <http://www.hildebrandt.cl/dimensiones-bim-proyectos-de-alta-complejidad/>
- Hinostroza, J. (2016), EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN DE COSTOS Y TIEMPOS USADOS EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN EN LAS GRANDES CIUDADES DEL PERÚ, (Tesis Profesional), Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Recuperado de: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/5377>
- Hjalmarsson, E. y Höier, M. (2014). El uso de BIM en proyectos de infraestructura. [Traducido al español de Use of BIM in infrastructural projects]. (Tesis de Maestría). Universidad Tecnológica de Chalmers. Suecia. Recuperado de: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/214046/214046.pdf>
- Honarpisheh, A. (2014). Una encuesta sobre la aplicación de BIM en la construcción de carreteras. [Traducido al español de A Survey on Application of Building Information Modelling in Road Construction]. (Tesis de Maestría). Universidad del Mediterráneo Oriental. Norte de Chipre. Recuperado de: <http://i-rep.emu.edu.tr:8080/jspui/bitstream/11129/1716/1/Honarpisheh.pdf>

- INVIERTE.PE, (2017), Directiva N° 001-2017-EF/63.01, Aprobada por Resolución Directoral N° 001-2017-EF/63.01, publicada en el Diario Oficial “El Peruano”, el 8 de abril de 2017, modificada por la Resolución Directoral N° 004-2017-EF/63.01, publicada el 12 de setiembre de 2017.
- Jardí, A. (01 septiembre 2016). BIM OBRA CIVIL: POSIBILIDADES DE USO PARTE 1. Blog Apogea. Recuperado de: <http://www.apogeavirtualbuilding.com/bim-obra-civil-posibilidades-de-uso-i/>
- Márquez, A. (13 marzo 2017). BIM PARA INFRAESTRUCTURAS. Blog Apogea. Recuperado de: <http://www.apogeavirtualbuilding.com/bim-para-infraestructuras/>
- Martínez, A. (2015). BIM Y LAS REPERCUSIONES EN LA CALIDAD DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS. (Tesis de Maestría). Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/79888>
- Martinez, M. & Marin, N. & Vila, Amparo. (2013). Aplicación de las TICs en el Ámbito de la Construcción. Recuperado de: <https://revistaselectronicas.ujaen.es/index.php/ininv/article/download/1743/1520>
- Millasaky, C. (2018). CUANTIFICACIÓN DE LOS BENEFICIOS ECONÓMICOS DE SUBCONTRATAR SERVICIOS BIM (BUILDING INFORMATION MODELING) EN LA ETAPA DE DISEÑO PARA PROYECTOS DE EDIFICACIONES EN LIMA METROPOLITANA. (Tesis de Profesional). Pontifica Universidad Católica del Perú. Lima. Recuperado de: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/12112>
- Ministerio de Economía y Finanzas – MEF, (2018), Acerca de la Inversión privada. Recuperado de: <https://www.mef.gob.pe/es/acerca-de-las-asociaciones-publico-privadas-apps>
- Monfort, C. (2015). Impacto de BIM en la gestión de proyectos de arquitectura y la obra de arquitectura. (Tesis de Maestría). Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Montagud, A. (2018). Metodología BIM para Proyectos de Ingeniería Civil. (Tesis profesional). Universidad Politécnica de Valencia. España
- Montero, D. (2016), DISEÑO DE INDICADORES PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS, (Tesis Doctoral), Universidad de Valladolid, Valladolid, Recuperado de: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/22086/1/Tesis1183-170112.pdf>
- Neyra, L. (2008), Asegurando el Valor en Proyectos de Construcción: Un estudio de las técnicas y herramientas utilizadas en la etapa de diseño, (Tesis Profesional), Pontificia

Universidad Católica del Perú, Lima, Recuperado de: http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/157/NEYRA_LUIS_ASEGURANDO_VALOR_PROYECTOS_CONSTRUCCION.pdf?sequence=1

OBS Business School. Las 3 metodologías para la gestión de proyectos que más se utilizan. Recuperado de: <https://www.obs-edu.com/int/blog-project-management/administracion-de-proyectos/las-3-metodologias-para-la-gestion-de-proyectos-que-mas-se-utilizan>

Organización de las Naciones Unidas - ONU. (1958), Manual de Proyectos de Desarrollo Económico, México, D. F., 268 p.

Pila, Y. (2016). Integrated Project Delivery (IPD): Un marco integrador de ejecución de proyectos. Revista Civilízate, 8(8), 40-43. Recuperado de: <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/civilizate/article/view/18628>

Platt, R. (2017). El Impacto de la Tecnología en la Construcción. Arcus Global Recuperado de: <http://www.arcus-global.com/wp/el-impacto-de-la-tecnologia-en-la-construccion/>

Pons, J. (2014). Introducción a Lean Construction. Fundación Laboral para la Construcción, Madrid.

Porras, H. & Sánchez, O. & Galvis, J. (2014). Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual. Recuperado de: www.unilibre.edu.co/revistaavances/avances-11/art4.pdf

Prado, G. (2018). DETERMINACIÓN DE LOS USOS BIM QUE SATISFACEN LOS PRINCIPIOS VALORADOS EN PROYECTOS PÚBLICOS DE CONSTRUCCIÓN. (Tesis Profesional). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima.

Project Management Institute - PMI. (2013), Guía de los FUNDAMENTOS PARA LA DIRECCIÓN DE PROYECTOS (GUÍA DEL PMBOK®) - Quinta Edición, Pensilvania - EE.UU., 596 p.

Project Management Institute - PMI. (2017), A GUIDE TO THE PROJECT MANAGEMENT BODY OF KNOWLEDGE PMBOK® GUIDE - Sexta Edición, Pensilvania - EE.UU., 762 p.

Ramos, J. (2016). Obtención e implementación de datos 3D en un sistema de gestión BIM. (Tesis profesional). Universidad Politécnica de Valencia. España. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/handle/10251/76150>

- Rischmoller, L., Fischer, M. y Alarcón, L. (2011). IMPACTO DE LAS HERRAMIENTAS AVANZADAS DE VISUALIZACION EN LA INDUSTRIA AEC. Revista de Ingeniería de Construcción. 17(2). 64-73. DOI: 10.7764 /ricuc.17.2.174.
- Rodríguez, J. (2018). Caracterización de Pymes del Noroeste Argentino del sector de la Construcción en función de su desempeño en la Gestión de proyectos. Universidad Nacional de Tucumán. Argentina. Recuperado de: <http://www.cyta.com.ar/ta/article.php?id=170401>
- Rojas, M., Henao, M. y Valencia, M. (2016). Lean construction – LC bajo pensamiento Lean. Revista Ingenierías Universidad de Medellín. 16(30). 115-128. DOI: 10.22395/rium.v16n30a6.
- Saldias, R. (2010). ESTIMACION DE LOS BENEFICIOS DE REALIZAR UNA CORDINACION DIGITAL DE PROYECTOS CON TECNOLOGIA BIM. Universidad de Chile. Recuperado de: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103904>
- Sánchez, A. (25 octubre 2016). ¿QUÉ ES EL LOD?. ESPACIOBIM. Recuperado de: <https://www.espaciobim.com/que-es-el-lod-nivel-de-detalle/>
- Serer, M. (2010). Gestión Integrada de Proyectos. 3ra ed. Barcelona: Edicions UPC. Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36666/9788476539309.pdf>
- Sheriff, A. (2012). Information management in UK-based architecture and engineering organizations: drivers, constraining factors, and barriers. Recuperado de: [https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/bitstream/2134/14612/3/Full%20Paper %20-%20Information%20Management%20in%20Construction%20Organisations .pdf](https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/bitstream/2134/14612/3/Full%20Paper%20-%20Information%20Management%20in%20Construction%20Organisations.pdf)
- TDM STUDIO. (25 febrero 2017). TDM STUDIO LTD. Recuperado de: <https://medium.com/studiotmd/what-is-bim-and-why-do-you-need-it-c4445eed7941>
- Ticlla, J. (2015). MEJORAS DE LA PRODUCTIVIDAD EN LA CONSTRUCCION DE UN HOSPITAL PARA LAS ACTIVIDADES DE ALBAÑILERIA. (Tesis Profesional), Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Recuperado de: http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/5631/1/ticlla_rj.pdf
- Tilley, P., Wyatt, A. y Mohamed, S. (1997). INDICADORES DE DEFICIENCIA DE DISEÑO Y DOCUMENTACIÓN. IGLC 5 - Gold Coast. Australia. Recuperado de: <http://iglc.net/Papers/Conference/7>

- Tur, A. (2014). Desarrollo de un proyecto de construcción con la tecnología Building Information Modeling (BIM). Edificio La Venta (Llíria, Valencia). Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/44002/TFG_Tur_Carb%C3%B3_Anais.pdf?sequence=1
- Universidad ESAN, (2018). Diploma en Gestión de la Construcción. Recuperado de: <http://investigaciones.esan.edu.pe/programa/diploma-en-gestion-de-la-construccion>
- Vargas, S. (2012). Implementación de indicadores de gestión para el control de costos y de tiempo bajo la metodología del PMI en un proyecto de construcción. (Tesis Profesional). Universidad EAFIT. Medellín. Recuperado de: <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/5394>
- Velázquez, M. (2015). Administración de Proyectos de Construcción. Recuperado de: <http://administracionproyectosconstruccion.blogspot.com/2015/08/fases.html>
- Winch, G. (2002) Managing Construction Projects: An information Processing Approach. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/97539978/Managing-Construction-Projects-Winch-2002>
- ZIGURAT GLOBAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY. (18 octubre 2018). Ingenieros & Arquitectos. Recuperado de: <https://www.e-zigurat.com/blog/es/bim-en-reino-unido-exito-en-progreso/>

ANEXOS

Los anexos que se muestran a continuación, complementan la investigación y servirá de soporte teórico-práctico a la metodología de gestión de proyectos propuesta.

- **Anexo A.** Gestión de proyectos de AutoCAD Civil 3D 2019
- **Anexo B.** Flujos de trabajo avanzados con Civil 3D 2019 (Metric)

Tanto el anexo A y B, han sido traducidos al español.

El Anexo A, fue traducido al español de la guía de aprendizaje: *AutoCAD Civil 3D 2019: Fundamentals (Metric Units): Autodesk Authorized Publisher - 1st Edition*.

El Anexo B, fue traducido al español de libro: *Mastering AutoCAD Civil 3D 2016: Autodesk Official Press 1st Edition*

ANEXO A: Gestión de proyectos de AutoCAD Civil 3D 2019

Capítulo 2: Gestión de proyectos

En este capítulo, aprenderá acerca de las diversas estructuras de proyectos que se pueden usar dentro de un proyecto de AutoCAD® Civil 3D®. Luego creas un nuevo proyecto y aprendes a moverte entre diferentes proyectos. Con los accesos directos de datos, practica la creación de referencias a objetos AEC para compartir datos de diseño, lo que garantiza que siempre tenga los datos de diseño más actualizados en el modelo actual.

Objetivos de aprendizaje en este capítulo

- Enumere las tres formas diferentes en que se pueden organizar los dibujos de proyectos de AutoCAD Civil 3D.
- Enumere las formas en que los equipos pueden colaborar entre sí y compartir información de diseño en el software AutoCAD Civil 3D.
- Comparta información de diseño con otros miembros del equipo de diseño utilizando accesos directos de datos.

2.1. Proyectos de AutoCAD Civil 3D

Existen múltiples formas de organizar los dibujos de proyectos de AutoCAD Civil 3D. Tres de los enfoques más comunes son los siguientes:

Proyectos de dibujo de diseño único

Como las superficies, alineaciones y otros objetos AEC de AutoCAD Civil 3D pueden estar completamente basados en dibujos, puede hacer que un único archivo de dibujo actúe como el repositorio de todos los datos de diseño. De manera realista, esto solo podría ser factible con los proyectos más pequeños y / o aquellos en los que trabajó solo una persona. Los únicos datos externos serían las bases de datos de encuestas y posiblemente los dibujos que contengan diseños de trazado que realicen un XREF del dibujo de diseño único.

Múltiples dibujos compartiendo datos usando accesos directos (shortcuts)

Este enfoque permite múltiples encuestas y dibujos de diseño que comparten datos. Por ejemplo, una superficie podría existir en un dibujo y una alineación en otro. Un tercero podría contener un perfil de superficie basado en la alineación y el modelo de terreno, y todos podrían mantenerse sincronizados entre sí mediante el uso de *Data Shortcuts* (Accesos directos de datos). Este enfoque suele ser preferible al enfoque de dibujo único, ya que permite que más de un usuario trabaje en el proyecto al mismo tiempo (en los diferentes dibujos de diseño) y mantiene los dibujos en un tamaño más manejable. El uso de métodos

abreviados de datos es esencial en proyectos más grandes para garantizar que el tiempo de regeneración de los dibujos sea a una velocidad aceptable. Este enfoque no crea datos de proyectos externos que no sean las bases de datos de encuestas y los archivos de datos XML que se utilizan para compartir datos entre dibujos.

Una vez que un objeto ha sido referenciado en el dibujo y el dibujo ha sido guardado, el objeto se guarda en el dibujo. Por lo tanto, solo necesita acceso al dibujo de origen para fines de validación y sincronización si el objeto de origen cambia. Esto facilita compartir dibujos con otros, ya que garantiza que los objetos a los que se hace referencia se muestren incluso si los dibujos de origen no están disponibles.

Los accesos directos tienden a ser eficientes para proyectos con una pequeña cantidad de dibujos y miembros del equipo del proyecto. Dado que los archivos de datos XML que conectan los dibujos deben gestionarse manualmente, mantener una gran cantidad de dibujos y / o personas sincronizadas con los accesos directos puede ser engorroso. Se recomienda encarecidamente que establezca procedimientos para garantizar que los datos no se eliminen ni se modifiquen involuntariamente. También querrá documentar estos procedimientos con mucho cuidado.

Múltiples dibujos compartiendo datos con Autodesk Vault

El software Autodesk® Vault es un sistema de gestión de datos y documentos (ADMS). Se utiliza junto con otras aplicaciones de Autodesk® en diferentes industrias. Cuando se trabaja con el software Autodesk Vault, todos los planos de proyecto, bases de datos de encuestas y referencias se administran y almacenan dentro de una base de datos administrada por SQL. Autodesk Vault consta de permisos de acceso de nivel de usuario, registro de entrada / salida de planos, plantillas de proyectos, copias de seguridad automatizadas, control de versiones de datos, etc. Estos beneficios se compensan con el tiempo adicional requerido para administrar y administrar la base de datos, y en algunos casos, la compra adicional hardware y software. Si trabaja en grandes proyectos con múltiples dibujos de diseño o tiene muchos miembros del equipo (más de 10), puede encontrar que Autodesk® Vault es la mejor manera de mantener esos proyectos organizados.

2.2. Compartiendo datos

En el flujo de trabajo de AutoCAD Civil 3D, puede usar dos métodos de colaboración de proyectos para compartir datos de diseño de AutoCAD Civil 3D: Data Shortcuts (Accesos directos de datos) y referencias de Vault.

Autodesk Vault y los Data Shortcuts se pueden utilizar para compartir datos de diseño entre archivos de dibujo en el mismo proyecto, como definiciones de alineación, perfiles, corredores, superficies, redes de tuberías, redes de presión y grupos de marcos de vista (*View Frame Groups*). No permiten compartir vistas de perfil, ensamblajes, grupos de líneas de muestra u otros objetos de AutoCAD Civil 3D. Los conjuntos de dibujos que utilizan accesos directos normalmente utilizan XREF y hacen referencia a otros trabajos de línea y anotaciones entre dibujos. Ya sea que se utilicen accesos directos de Vault o Data Shortcuts, el proceso es similar.

El ejemplo de la Figura 2–1 muestra el intercambio de datos en un entorno de colaboración de proyectos. Los datos se dividen en tres niveles distintivos. Al usar Data Shortcuts o Autodesk Vault, se puede acceder y contribuir a estos niveles, en un servidor local o remoto o en una WAN.

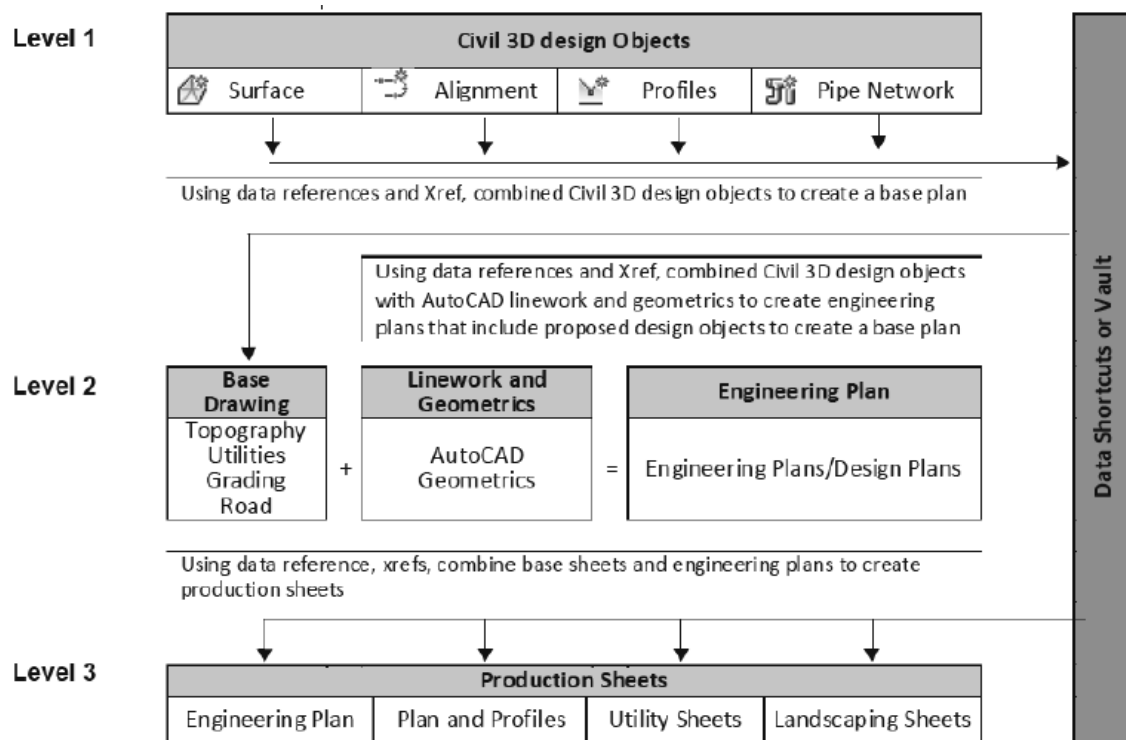


Figure 2–1

2.3. Uso de accesos directos de datos para la gestión de proyectos

Los accesos directos de datos se pueden utilizar para compartir datos de diseño entre archivos de dibujo mediante el uso de archivos XML. El uso de Accesos directos de datos es similar al uso del software Autodesk Vault, pero no proporciona la protección de sus datos o el seguimiento de las versiones de la forma en que lo hace el software Autodesk Vault.

Los accesos directos a datos se administran utilizando el espacio de herramientas, la pestaña Prospector, en la colección Accesos directos a datos o en la pestaña Administrar> Panel de accesos directos a datos, como se muestra en la Figura 2–2. Los accesos directos se almacenan en archivos XML en una o más carpetas de trabajo que usted crea. Pueden usar la misma estructura de carpetas que el software Autodesk Vault. Este método simplifica la transición para usar el software Autodesk Vault en el futuro.

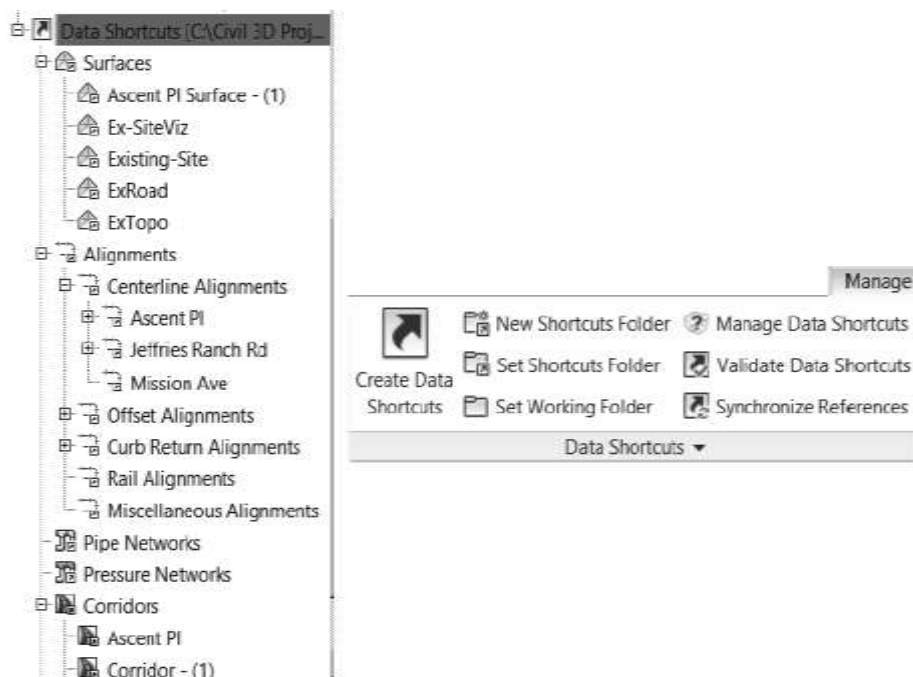


Figure 2–2

Ya sea que utilice el software Autodesk Vault o los accesos directos de datos, los datos de diseño de objetos de AutoCAD Civil 3D inteligentes se pueden consumir y utilizar en diferentes niveles. Sin embargo, estos datos a los que se hace referencia solo se pueden editar en el dibujo que contiene el objeto original. Como a los datos de referencia se les puede asignar un estilo diferente a los del dibujo de origen, puede separar la fase de diseño (donde la presentación del dibujo no es crítica) de la fase de dibujo (donde la presentación del dibujo es primordial). Por lo tanto, después de que los estilos se hayan aplicado en la fase de diseño, cualquier cambio en el diseño tendrá un impacto visual mínimo en los dibujos completados.

Cambiar el nombre de un archivo de dibujo que proporciona accesos directos a datos o el propio archivo XML de acceso directo invalida el acceso directo. Si bien el Editor de accesos directos de datos que se encuentra fuera del software AutoCAD Civil 3D permite la reorganización si se mueve un dibujo de origen, los accesos directos pueden no resolverse si la ubicación del dibujo de origen ha cambiado.

Notificación de actualización

Si se modifican los objetos de acceso directo y se guarda el dibujo de origen, todos los dibujos que hacen referencia a esos objetos se actualizan cuando se abren. Si los dibujos que consumían los datos a los que se hace referencia en los accesos directos estaban abiertos en el momento de la edición, aparecerá un mensaje para advertirle de los cambios, como se muestra en la Figura 2–3.

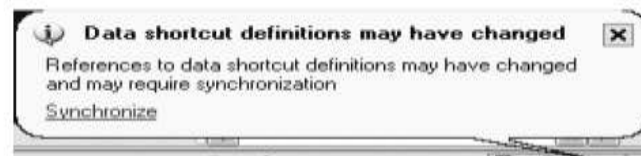







Figure 2–3

Los siguientes iconos modificadores lo ayudan a determinar el estado de muchos objetos de AutoCAD Civil 3D.

	The object is referenced by another object. In the Toolspace, Settings tab this also indicates that a style is in use in the current drawing.
	The object is being referenced from another drawing file (such as through a shortcut or Autodesk Vault reference).
	The object is out of date and needs to be rebuilt, or is violating specified design constraints.
	A Vault project object (such as a point or surface) has been modified since it was included in the current drawing.
	You have modified a Vault project object in your current drawing and those modifications have not yet been updated to the project.

La Figura 2–4 muestra cómo se usan los íconos modificadores con un objeto de AutoCAD Civil 3D como se muestra en el espacio de herramientas, pestaña Prospector.



Figure 2–4

Para actualizar los datos de acceso directo, seleccione Sincronizar en el mensaje de globo o haga clic con el botón derecho en el objeto en el Espacio de herramientas, pestaña Prospector y seleccione Sincronizar.

Eliminación y promoción de accesos directos

Los datos de acceso directo se pueden eliminar del árbol de accesos directos en el espacio de herramientas, pestaña Prospector haciendo clic derecho sobre él y seleccionando Eliminar, pero esto no elimina los datos del dibujo. Para hacerlo, haga clic con el botón

derecho en el objeto en el Espacio de herramientas, pestaña Prospector y seleccione Eliminar. Esto elimina los datos de acceso directo de la lista actual, por lo que el elemento no se incluye si un archivo XML de acceso directo de datos se exporta desde el dibujo actual.

También puede promover accesos directos, que convierten el acceso directo al que se hace referencia en una copia local sin ninguna otra conexión con el original. Puede promover objetos haciendo clic con el botón derecho sobre ellos en el espacio de herramientas, pestaña Prospector y seleccionando Promover.

Referencias de datos de transmisión electrónica

Los proyectos que utilizan accesos directos de datos se pueden empaquetar y enviar a revisores, clientes y otros consultores mediante el comando de AutoCAD eTransmit. Con el comando eTransmit, todos los archivos dependientes relacionados (como archivos XML, XREF y fuentes de texto) se incluyen automáticamente en el paquete. Esto reduce la posibilidad de errores y asegura que el destinatario pueda usar los archivos que usted los envía. Se puede incluir un archivo de informe en el paquete que explica qué se debe hacer con los archivos dependientes del dibujo (por ejemplo, XML, XREF) para que puedan usarse con los archivos incluidos. El cuadro de diálogo Crear transmisión se muestra en la Figura 2-5.

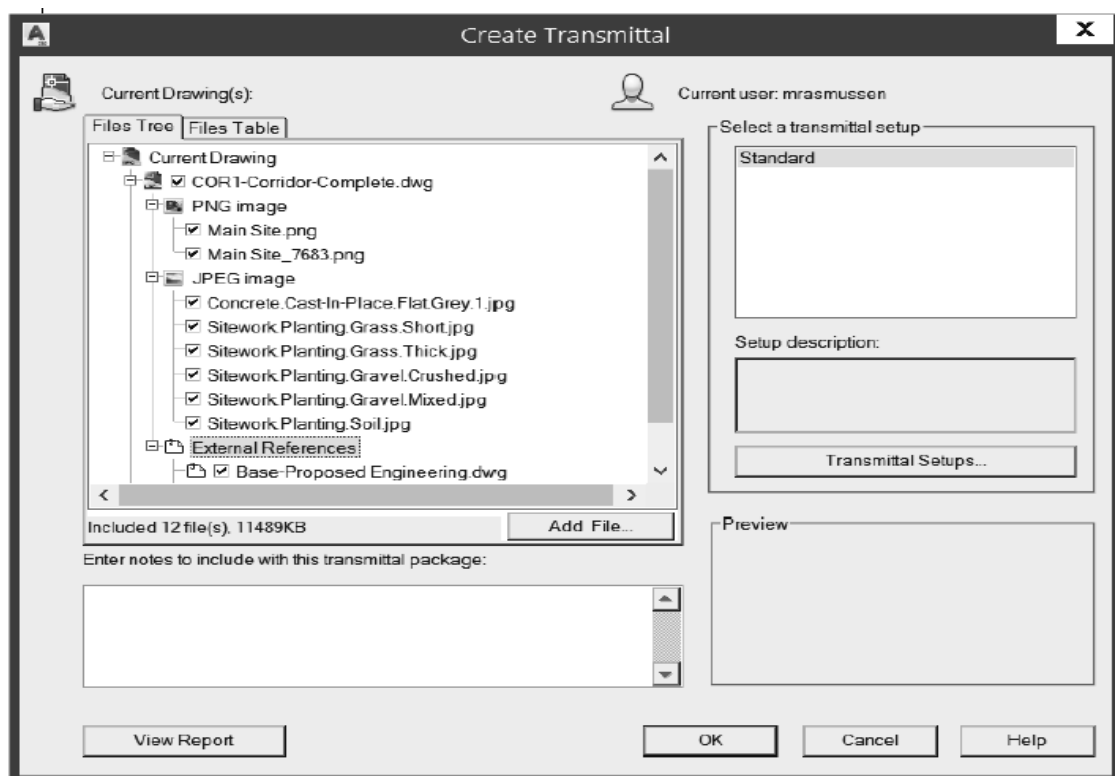


Figure 2-5

Flujo de trabajo de acceso directo de datos

1. En el espacio de herramientas (*Toolspace*), pestaña *Prospector*, haga clic con el botón derecho en Accesos directos de datos (*Data Shortcuts*) y seleccione **Set the Working Folder...**
2. En el Espacio de herramientas (*Toolspace*), pestaña *Prospector*, haga clic con el botón derecho en Accesos directos de datos (*Data Shortcuts*) y seleccione **New Data Shortcuts Folder...** para crear una nueva carpeta de proyecto para todos sus dibujos.
3. Cree o importe los datos que desea compartir en el dibujo de origen y guárdelos en la carpeta de trabajo actual en la carpeta de proyecto correcta.
4. En el espacio de herramientas (*Toolspace*), pestaña *Prospector*, haga clic con el botón derecho en Accesos directos de datos (*Data Shortcuts*) y seleccione **Associate Project to Current Drawing** (Asociar proyecto al dibujo actual).
5. En el espacio de herramientas (*Toolspace*), pestaña *Prospector*, haga clic con el botón derecho en Accesos directos de datos (*Data Shortcuts*) y seleccione **Create Data Shortcuts** (Crear accesos directos de datos).
6. Seleccione todos los elementos que desea compartir, como superficies, alineaciones o perfiles, y haga clic en **OK** (Aceptar).
7. Guarde el dibujo de origen (y cierre según sea necesario).
8. Abra, cree y guarde el dibujo para recibir los datos de acceso directo. Expanda la colección de Accesos directos de datos (*Data Shortcuts*) y los árboles de objetos relevantes (Superficies, Alineaciones, Redes de tuberías o Grupos de marcos de vista).
9. Resalte un elemento al que se va a hacer referencia, haga clic con el botón derecho y seleccione **Create Reference...** (Crear referencia ...) Repita para todos los objetos según sea necesario. Se le solicitarán los estilos y otras configuraciones que se requieren para mostrar el objeto en el dibujo actual.
10. También es posible que desee agregar un XREF al dibujo de origen si hay trabajo de línea de AutoCAD® adicional que desea mostrar en el dibujo descendente.
11. Las herramientas de AutoCAD Civil 3D para accesos directos de datos (*Data Shortcuts*) se encuentran en la pestaña *Manage* (Administrar) (como se muestra en la Figura 2–6) y en el espacio de herramientas (*Toolspace*), pestaña *Prospector*.

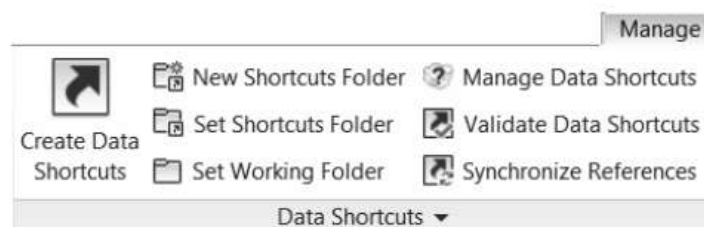


Figure 2–6

Detalles del flujo de trabajo

- **Set Working Folder** (Establecer carpeta de trabajo): establece una nueva carpeta de trabajo como la ubicación en la que se almacena el proyecto de Data Shortcut (acceso directo a datos). La carpeta de trabajo predeterminada para los proyectos de Data Shortcut (acceso directo a datos) es C:\Civil 3D Projects. La carpeta de trabajo

predeterminada también se usa para proyectos de Autodesk Vault y proyectos de encuestas locales (no de Vault). Si trabaja con el software Autodesk Vault, la encuesta local y los proyectos de Data Shortcut (acceso directo a datos), debe tener carpetas de trabajo separadas para cada tipo de proyecto para facilitar la administración.

- ***New Shortcuts Folder*** (Nueva carpeta de accesos directos): crea una nueva carpeta para almacenar un conjunto de dibujos de proyectos relacionados y accesos directos de datos.
- ***Create Data Shortcuts*** (Crear accesos directos de datos): crea accesos directos de datos a partir del dibujo activo.

Los accesos directos de datos se almacenan en la carpeta de *Shortcuts* (accesos directos) para el proyecto activo y se utilizan para crear referencias de datos a objetos de origen en otros dibujos. Cada acceso directo a los datos se almacena en un archivo XML separado.

Ventajas de los Data Shortcuts (accesos directos de datos)

- Los *Data Shortcuts* (accesos directos de datos) proporcionan un mecanismo simple para compartir datos de objetos, sin las necesidades adicionales de administración del sistema del software Autodesk Vault.
- Los *Data Shortcuts* (accesos directos de datos) ofrecen acceso a los datos inteligentes de un objeto al tiempo que garantizan que estos datos de referencia solo se puedan cambiar en el dibujo de origen.
- Los objetos referenciados pueden tener estilos y etiquetas que difieren del dibujo de origen.
- Cuando abre un dibujo que contiene datos de referencia revisados, los objetos referenciados se actualizan automáticamente.
- Durante una sesión de dibujo, si se han revisado los datos a los que se hace referencia, se le notificará en el Centro de comunicaciones y en la pestaña *Toolspace* (Espacio de herramientas), *Prospector*.

Limitaciones de los Data Shortcuts (accesos directos de datos)

- Los accesos directos de datos no pueden proporcionar versiones de datos.
- Los accesos directos de datos no proporcionan controles de seguridad o integridad de datos.
- A diferencia del software Autodesk Vault, los accesos directos de datos no proporcionan un mecanismo seguro para compartir datos de puntos o datos de encuestas.
- El mantenimiento de enlaces entre las referencias y sus objetos de origen requiere nombres bastante estables. Sin embargo, la mayoría de las referencias rotas pueden repararse fácilmente utilizando las herramientas del software AutoCAD Civil 3D.

Práctica 2a: Comenzando un proyecto

Objetivo de práctica

- Cree un nuevo proyecto de acceso directo de datos con la carpeta de trabajo correcta para el proyecto en el que se está trabajando.

En esta práctica, recorrerá los pasos para crear carpetas de Accesos directos de datos basados en proyectos.

Tarea 1 - Set the Working folder (Establecer la carpeta de trabajo)

En esta tarea, configurará una nueva carpeta de trabajo como la ubicación en la que se almacenarán los proyectos de Data Shortcut (acceso directo de datos). La carpeta de trabajo predeterminada para los proyectos de Data Shortcut (acceso directo de datos) es *C:\Civil 3D Projects*.


1. Abra **DS-A1-Shortcuts.dwg** desde la carpeta *C:\Civil 3D Projects\Civil3D-Training\Data Shortcuts*.
2. En la pestaña *Manage* (Administrar) > panel *Data Shortcuts*, haga clic en  (Set Working folder), como se muestra en la Figura 2–7.



Figure 2–7

En el cuadro de diálogo *Buscar carpeta*, seleccione la carpeta *Civil 3D Projects* y haga clic en **Make New Folder** (Crear nueva carpeta), como se muestra a la izquierda en la Figura 2–8. Escriba **Learning Data Shortcuts** (Atajos de datos de aprendizaje) como el nombre de la carpeta y haga clic en **OK** (Aceptar), como se muestra a la derecha en la Figura 2–8.

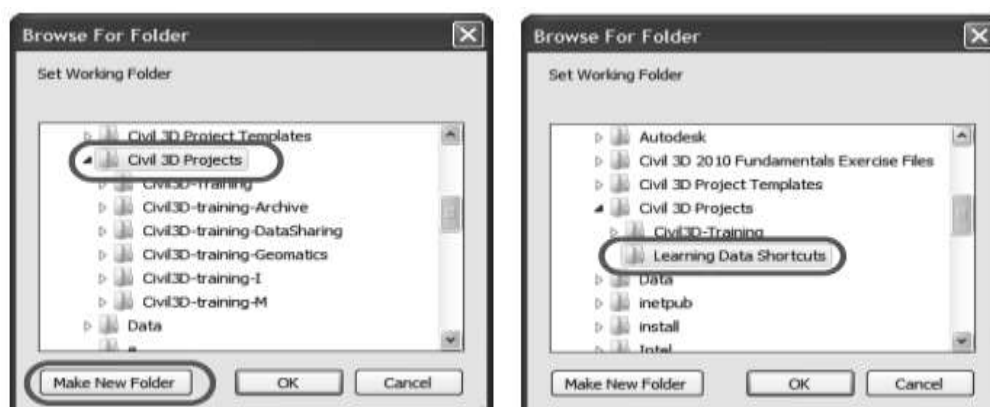



Figure 2–8

Tarea 2 - Create New Shortcuts Folders (Crear nuevas carpetas de accesos directos)

En esta tarea, creará una nueva carpeta para almacenar un conjunto de dibujos de proyecto y Data Shortcuts de datos relacionados. Se crea una segunda carpeta de proyecto para ayudarlo a comprender cómo cambiar el proyecto en el que está trabajando.

1. Continuar trabajando con el dibujo de la tarea anterior.
2. En la pestaña *Manage* > panel *Data Shortcuts*, haga clic en  (New Shortcuts Folders), como se muestra en la Figura 2–9.

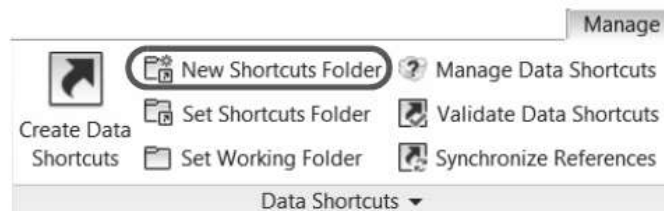


Figure 2–9

3. En el cuadro de diálogo *New Data Shortcut Folder*, escriba **Ascent Phase 1** para el nombre y seleccione la opción **Use project template**. La plantilla se encuentra en la carpeta predeterminada *C:\Civil 3D Templates*, como se muestra en la Figura 2–10. El software AutoCAD Civil 3D replicará esta estructura de carpetas de plantillas en la carpeta de proyectos Data Shortcuts. Haga clic en **OK**.

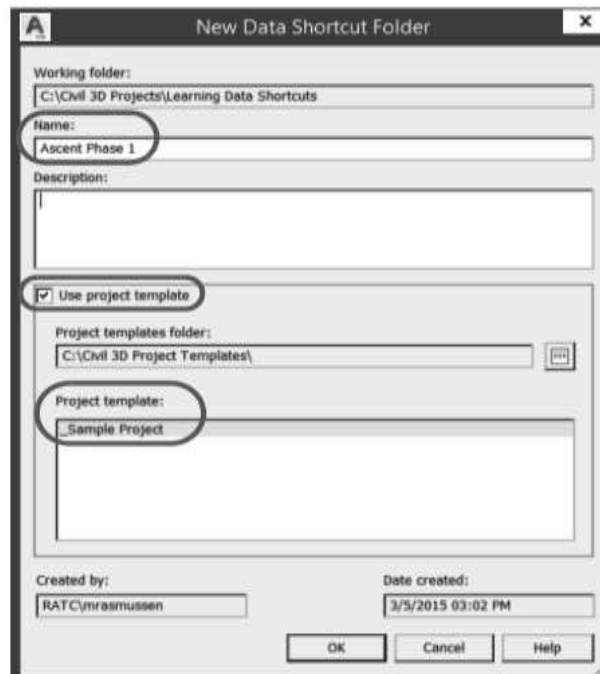


Figure 2–10

4. En el *Toolspace*, pestaña *Prospector*, una carpeta de *Data Shortcut* debe mostrarse en *C: \ Civil 3D Projects \ Learning Data Shortcuts \ Ascent Phase 1*. En el Explorador de Windows, verifique que la estructura de carpetas Civil 3D se creó para este proyecto, como se muestra en la derecha en la figura 2-11.

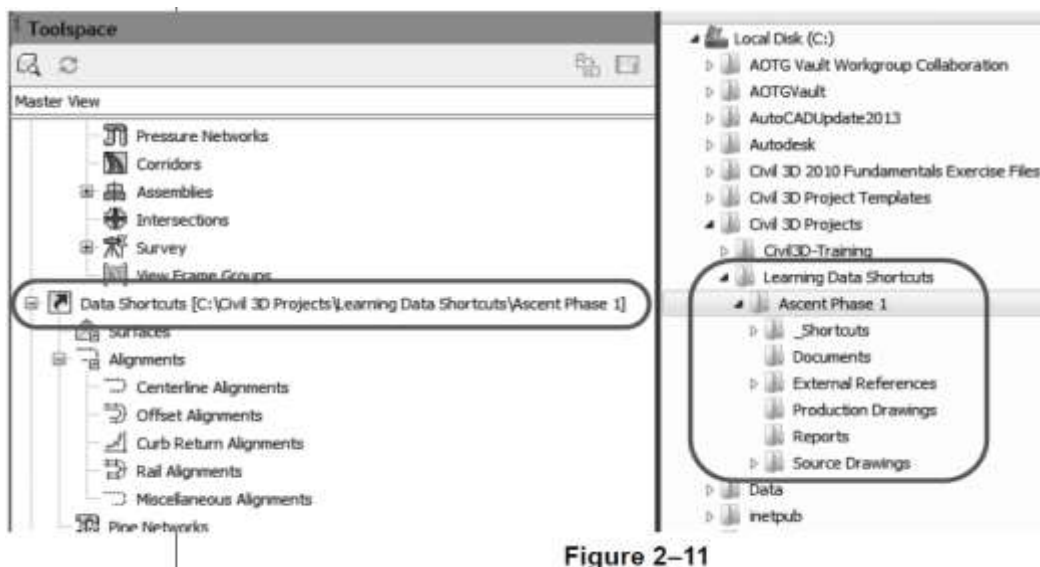



Figure 2–11

5. Crea otra nueva carpeta de accesos directos. En la pestaña *Manage*> panel *Data Shortcuts*, haga clic en  (*New Shortcuts Folder*).
6. En el cuadro de diálogo *New Data Shortcut Folder*, escriba **Ascent Phase 2** para el nombre y seleccione la opción **Use project template**. Haga clic en **OK** para cerrar el cuadro de diálogo.
Ahora tiene dos proyectos en la carpeta de trabajo: *Ascent Phase 1* y *Ascent Phase 2*, como se muestra en la Figura 2–12.

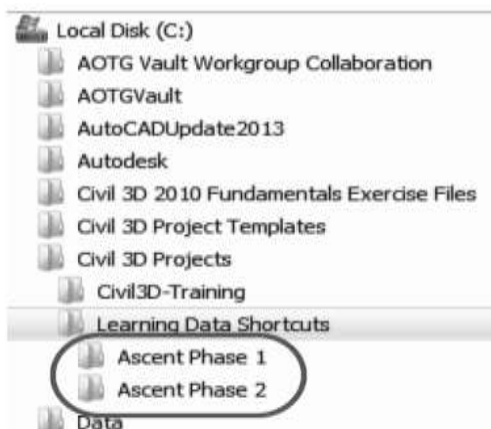



Figure 2–12

Tarea 3 - Set up Shortcuts folder (Configurar la carpeta de accesos directos).

La configuración de la carpeta de accesos directos especifica la ruta del proyecto para Accesos directos de datos. La ruta a la carpeta actual de Accesos directos de datos (también conocida como la carpeta del proyecto) se especifica en el Espacio de herramientas, pestaña *Prospector*, en la colección de Accesos directos de datos. La carpeta del proyecto normalmente contiene accesos directos de datos y objetos de origen para referencias de datos.

1. Continuar trabajando con el dibujo de la tarea anterior.
2. En la pestaña *Manage* > panel Data Shortcuts, haga clic en  (Set Shortcuts folder).
3. La carpeta de *Data Shortcut* actual se indica mediante un círculo verde con una marca de verificación. Seleccione **Ascent Phase 1** para actualizarse y haga clic en **OK**, como se muestra en la Figura 2–13.

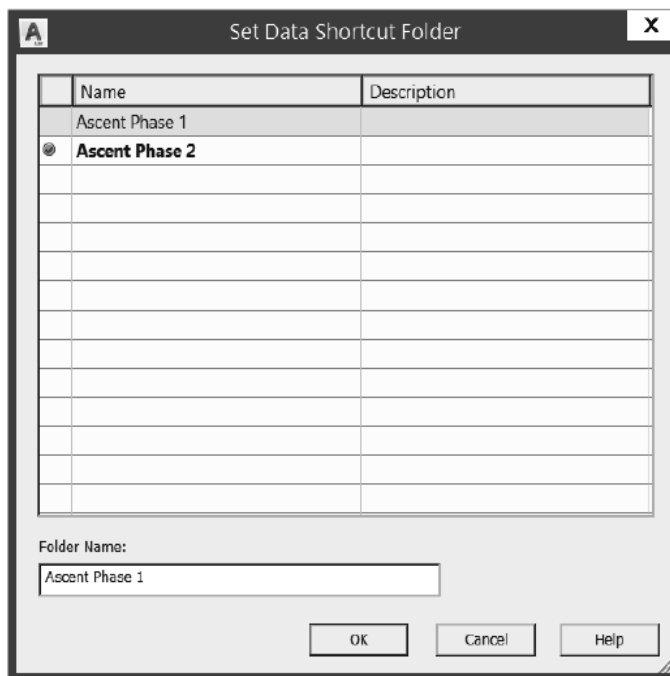


Figure 2–13

En el *Toolspace*, pestaña *Prospector*, haga clic con el botón derecho en Data Shortcuts y seleccione **Associate Project to Current Drawing** (Asociar proyecto al dibujo actual), como se muestra en la Figura 2–14.

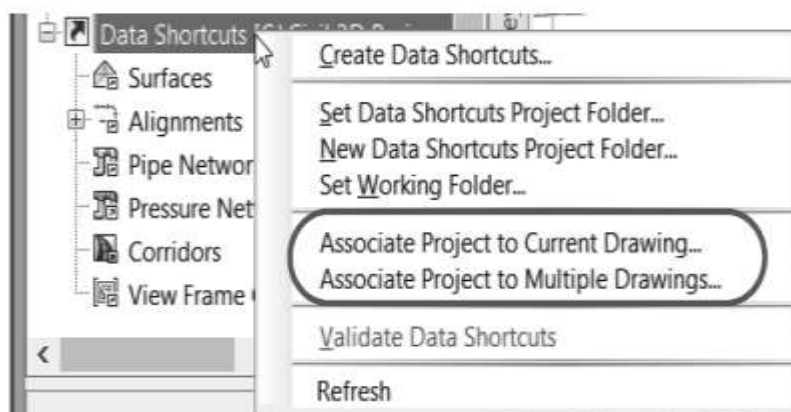


Figure 2–14

Verifique que **Ascent Phase 1** sea el proyecto seleccionado. Haga clic en **OK**.

Practica 2b: Administrar el tamaño de los archivos con Data Shortcuts.

Objetivo de práctica

- Cree accesos directos de datos a partir de objetos en un dibujo para compartir con otros miembros del equipo.

En esta práctica, recorrerá los pasos para crear carpetas de *Data Shortcuts* basados en proyectos. Simula una situación en la que se ha realizado algún trabajo de diseño y ahora necesita compartir elementos del diseño con los miembros del equipo.

Tarea 1 - Create Data Shortcuts (Crear accesos directos de datos)

1. Continúe trabajando con el dibujo de la práctica anterior o abra **DS-A1-Shortcuts.dwg**.
2. En el *Toolspace*, pestaña *Prospector*, verifique que los Data Shortcuts apunten a la carpeta correcta, como se muestra en la Figura 2–15.

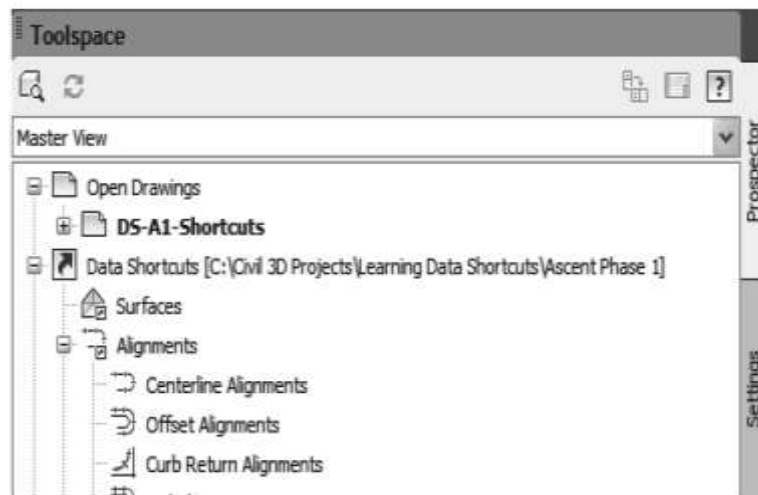


Figure 2–15

3. En la pestaña *Manage* > panel *Data Shortcuts*, haga clic en (*Create Data Shortcuts*).
4. Si recibe un mensaje que indica que el dibujo aún no se ha guardado, haga clic en **OK**. Guarde el dibujo e inicie de nuevo el comando **Create Data Shortcuts**.
5. En el cuadro de diálogo *Create Data Shortcuts*, se muestra una lista de todos los objetos disponibles para usar en accesos directos. Seleccione **Surfaces**, **Alignments**, and **Corridors** (como se muestra en la Figura 2–16), y luego haga clic en **OK**.

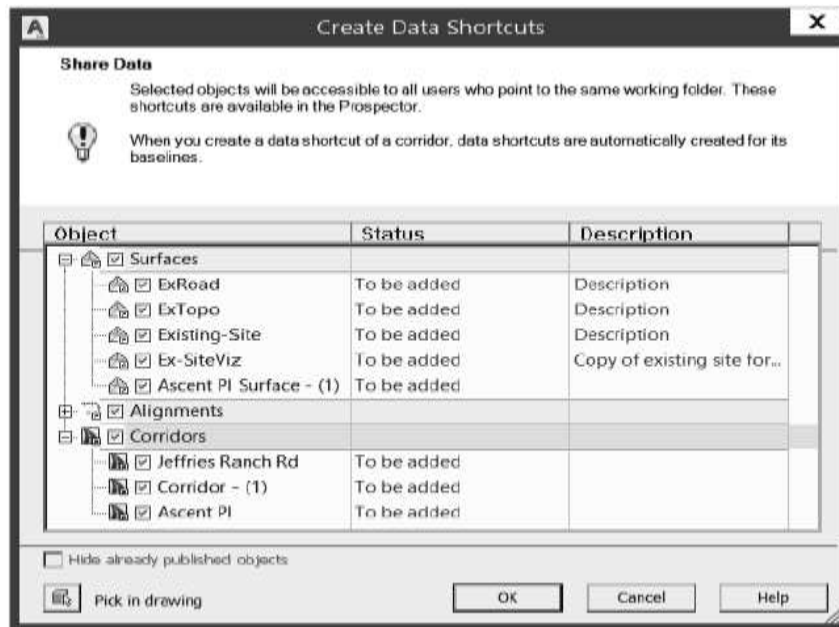


Figure 2–16

6. Ahora ha creado accesos directos para las superficies, alineaciones y corredores. Esto significa que, si los accesos directos y los dibujos están en una carpeta de red compartida, cualquier persona en la red tiene acceso a estos objetos de AutoCAD Civil 3D.

Tenga en cuenta que, en el Espacio de herramientas, pestaña Prospector, en las colecciones Accesos directos de datos y Superficies, ahora puede acceder a todas las superficies. En la vista de lista, se muestran el nombre de archivo de origen y la ruta de origen, como se muestra en la Figura 2–17.

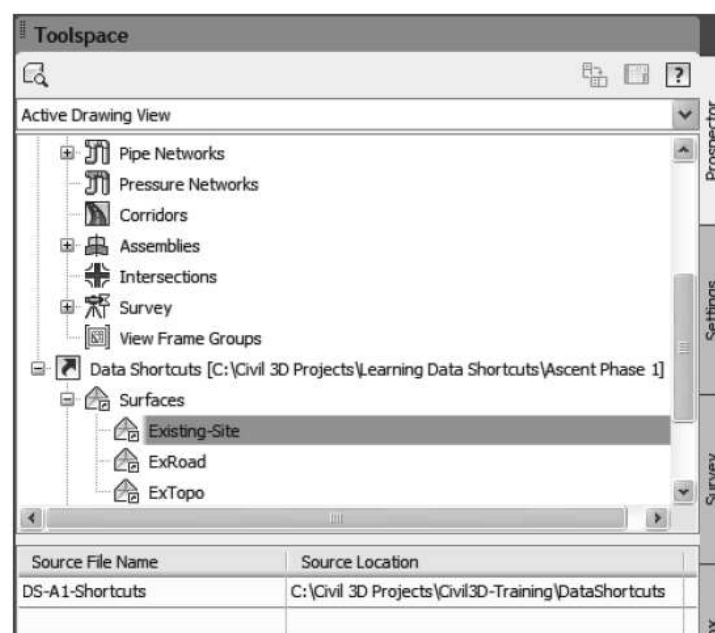


Figure 2–17

7. Guarda el dibujo, pero no lo cierres.

Tarea 2 - Data-reference Data Shortcuts (Accesos directos de datos de referencia de datos).

1. Comience un nuevo dibujo desde **_AutoCAD Civil 3D (Imperial) NCS.dwt**. Guarde el archivo como archivo de **Reference File.dwg**.
2. En el *Toolspace*, pestaña *Prospector*, asegúrese de que los *Data Shortcuts* apunten a la carpeta C: \ Civil 3D Projects \ Learning Data Shortcuts \ Ascent Phase 1.
3. En el *Toolspace*, pestaña *Prospector*, haga clic con el botón derecho en **Data Shortcuts** y seleccione **Associate Project to Current Drawing**, como se muestra en la Figura 2–18.

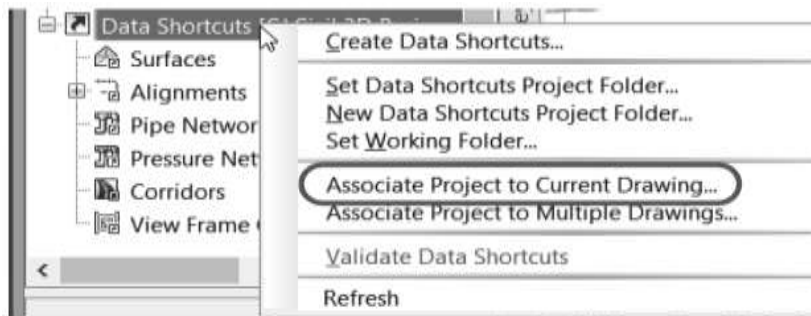


Figure 2–18

4. En el *Toolspace*, pestaña *Prospector*, en la colección *Data Shortcuts*, expanda la colección *Surfaces* (si aún no está expandida) y expanda la colección *Alignments*>*Centerline Alignments*, como se muestra en la Figura 2–19.

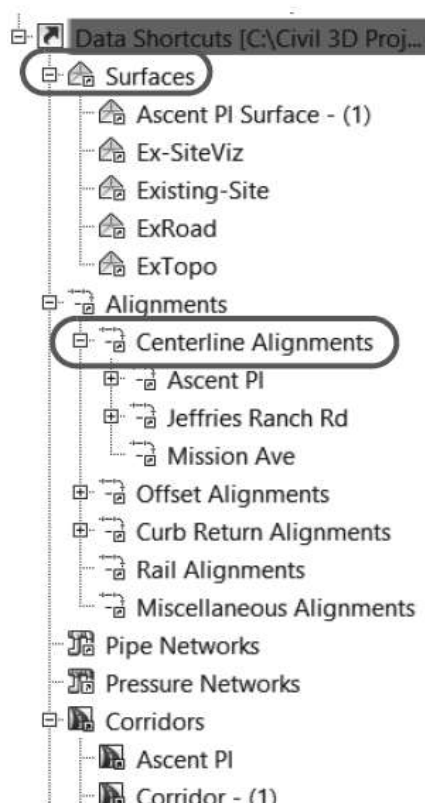


Figure 2–19

5. En la colección *Surfaces*, seleccione la superficie del **Existing-Site**, haga clic con el botón derecho y seleccione **Create Reference**, como se muestra en la Figura 2–20.

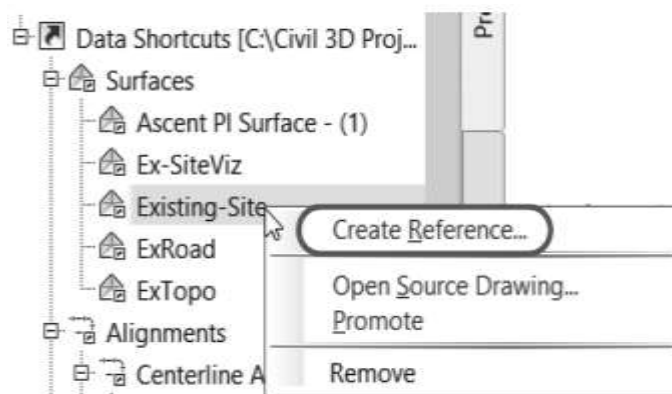


Figure 2–20

6. En el cuadro de diálogo Create Surface Reference (Crear referencia de superficie), haga lo siguiente:
- Escriba **ExSurface** para el nombre.
 - Escriba **Data referenced Surface** para la descripción
 - Seleccione **Contours 5' and 25' (Background)** para el estilo, como se muestra en la Figura 2-21.
 - Haga clic en **OK** para cerrar el cuadro de diálogo.
 - Escriba **ZE** y presione <Entrar> para mostrar la referencia de la superficie.

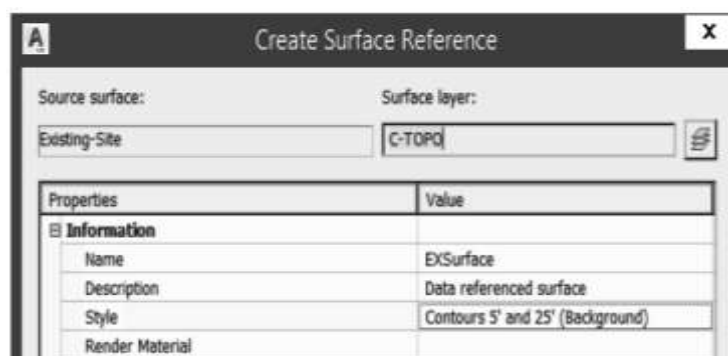


Figure 2–21

7. Ahora creará una referencia de datos a la alineación. En la colección Alineaciones, haga clic con el botón derecho en **Ascent PI** y seleccione **Create Reference** (Crear referencia).
8. En el cuadro de diálogo **Create Alignment Reference** (Crear referencia de alineación), acepte el valor predeterminado para el *Name*. Tipo de datos de alineación referenciada para la *Description*. Establezca el *Alignment style* (estilo de Alineación) en **Layout** (Diseño) y establezca la *Alignment label* (etiqueta de Alineación) establecida en **Major and Minor only**. Haga clic en **OK** cuando haya terminado, como se muestra en la Figura 2–22.

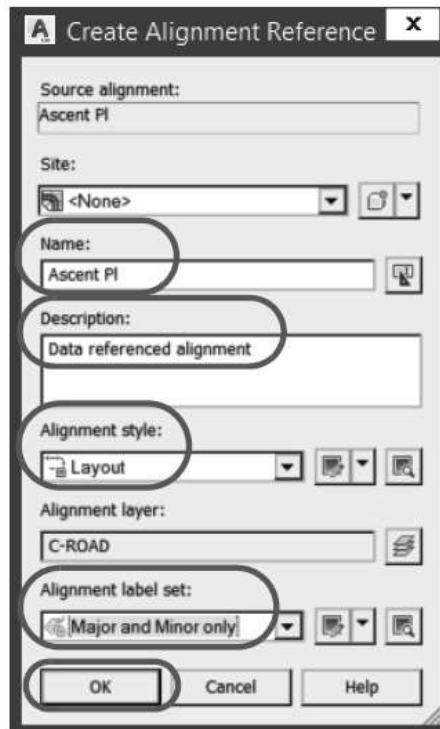


Figure 2–22

9. Amplíe hasta el final de *Ascent PI alignment*, como se muestra en la Figura 2-23.

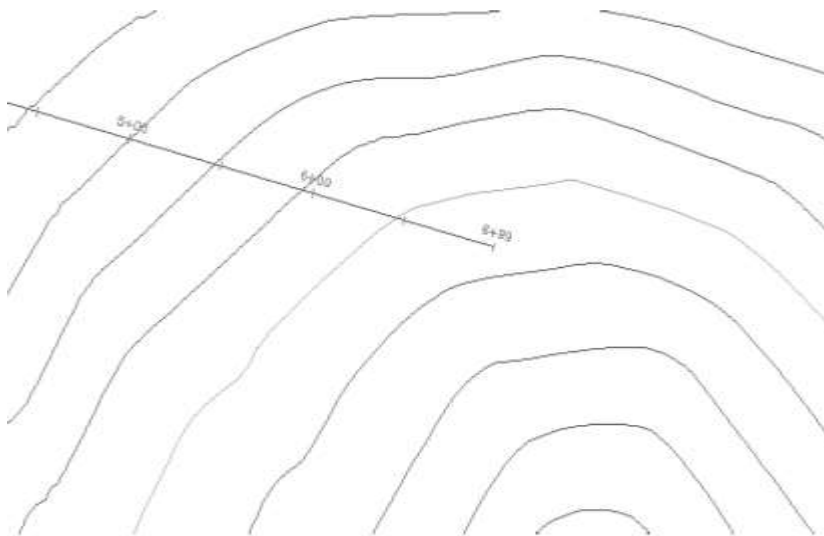


Figure 2–23

10. Cree una referencia de datos al corredor: en la colección *Corridors*, haga clic derecho en **Ascent PI** y seleccione **Create Reference**. Acepte todos los valores predeterminados y luego haga clic en **OK**.
11. En Espacio modelo, seleccione la alineación referenciada de **Ascent PI**.
12. En la pestaña contextual > panel *Labels & Tables* (Etiquetas y tablas), expanda *Add Labels* (Agregar etiquetas) y seleccione *Station/Offset - Fixed Point*, como se muestra en la Figura 2–24.

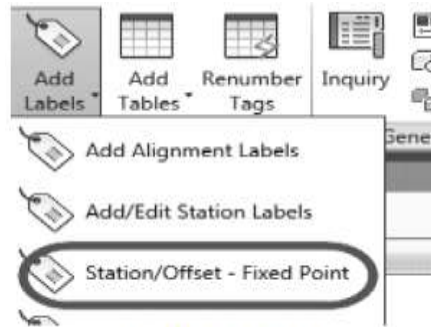


Figure 2-24

Tenga en cuenta que no hay ningún pinzamiento y que no puede redefinir gráficamente esta alineación. Sin embargo, puede agregar etiquetas usando la pestaña contextual.

13. Cuando se le solicite que seleccione un punto, seleccione el punto final de Ascent PI, como se muestra a la izquierda en la Figura 2-25. Seleccione la etiqueta y mueva su ubicación para que sea más fácil de leer, como se muestra a la derecha. Tenga en cuenta que la estación es 6 + 98.72.

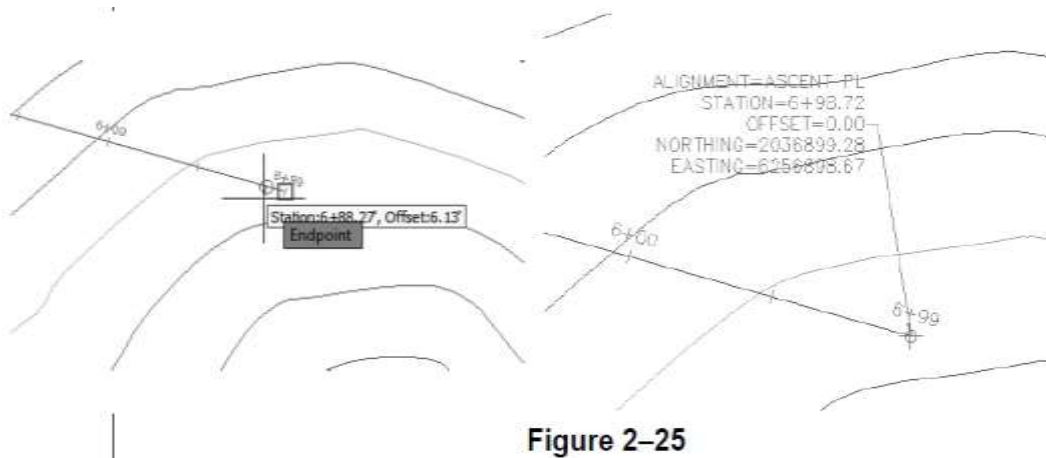


Figure 2-25

14. En el *Toolspace*, pestaña *Prospector*, expanda las colecciones *Surfaces* y *ExSurfaces*, como se muestra a la izquierda en la Figura 2-26. Tenga en cuenta que no contiene los elementos de definición que, de lo contrario, podrían visualizarse en una superficie que no tiene referencia a los datos, como se muestra a la derecha. Por lo tanto, no puede editar o realizar cambios de diseño en una superficie referenciada.

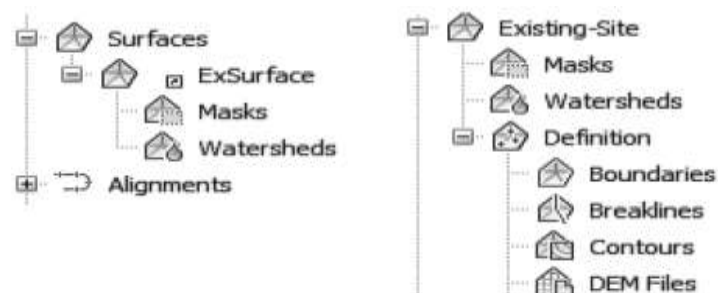


Figure 2-26

15. Guarda el dibujo, pero no lo cierres.

Tarea 3 - Revisar objeto referenciado original

1. En el *Toolspace*, pestaña *Prospector*, asegúrese de que los *Data Shortcuts* apunten a la carpeta *C: \ Civil 3D Projects \ Learning Data Shortcuts \ Ascent Phase 1*.
2. Asegúrese de que la **Master View** esté habilitada en el *Toolspace* para que se muestren todos los dibujos que están cargados. Seleccione **DS-A1-Shortcuts**, haga clic con el botón derecho y seleccione **Switch to** (Cambiar a), como se muestra en la Figura 2–27. **DS-A1-Shortcuts.dwg** es ahora el dibujo actual. Sin embargo, si ha cerrado el dibujo, debe abrir **DS-A1-Shortcuts.dwg**.

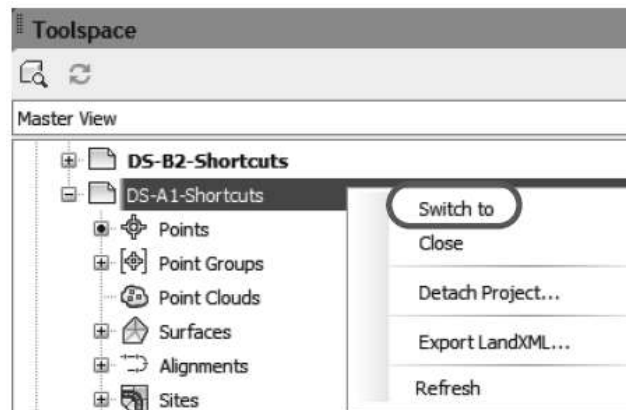


Figure 2–27

3. Acércate al final de **Ascent PI** para obtener una mejor vista del callejón sin salida.
4. Ahora va a cambiar la longitud de esta alineación. En Espacio modelo, seleccione la alineación, seleccione el agarre que significa el final de la alineación y muévalo a la intersección donde cruza el bulbo de calle sin salida, como se muestra en la Figura 2–28.

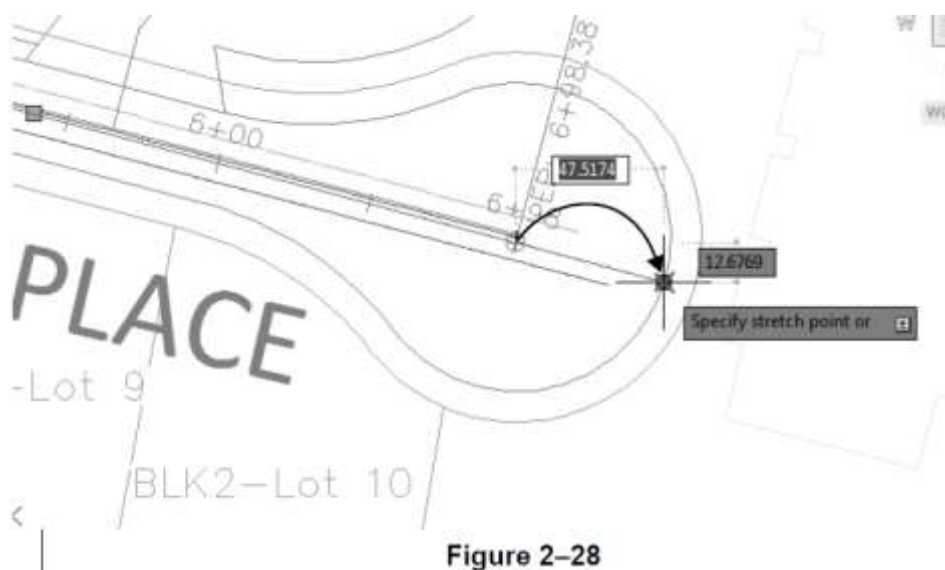


Figure 2–28

5. En la pestaña contextual > panel Modificar, seleccione **Alignment Properties** (Propiedades de alineación), como se muestra en la Figura 2–29.



Figure 2-29

6. En la pestaña *Station Control* (Control de estación) en el cuadro de diálogo *Alignment Properties – Ascent Pl*, establezca el punto de referencia Estación en **100**, como se muestra en la Figura 2-30. Aparece una advertencia que le indica que cambiar la estación afectará a los objetos y datos que ya se han creado. Haga clic en **OK** para descartar la advertencia. Haga clic en **OK** para cerrar el cuadro de diálogo Propiedades de alineación.

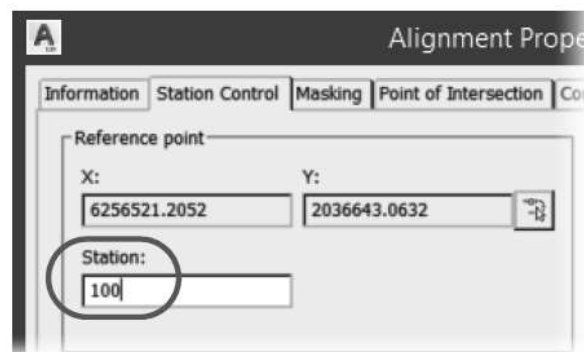




Figure 2-30

7. Guarda el dibujo. Esto actualiza el acceso directo de datos.
8. Si continúa con el dibujo de la tarea anterior, asegúrese de que la Vista maestra esté habilitada en el Espacio de herramientas para que pueda ver todos los dibujos que están cargados. Seleccione **Reference File** (Archivo de referencia), haga clic con el botón derecho y seleccione **Switch to. Reference File.dwg** es ahora el dibujo actual.
9. En la barra de estado, debería ver  (*Data Shortcut Reference*) (Referencia de acceso directo a datos), como se muestra a la izquierda en la Figura 2-31. Para sincronizar su dibujo actual, haga clic derecho en ver  (*Data Shortcut Reference*) (Referencia de acceso directo de datos) y seleccione **Synchronize** (Sincronizar), como se muestra a la derecha en la Figura 2-31.

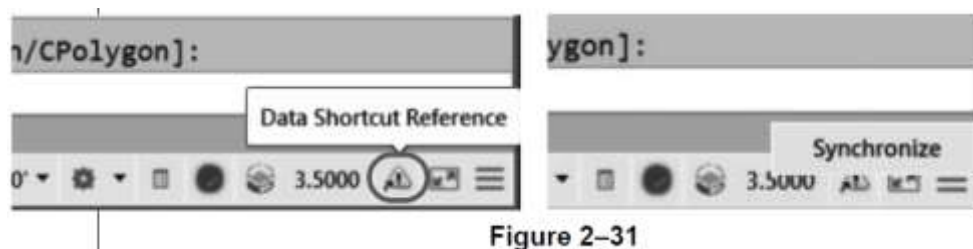


Figure 2-31

10. Alternativamente, en el *Toolspace*, pestaña *Prospector*, seleccione la alineación **Ascent Pl** en la colección *Alignments* (Alineaciones). Haga clic derecho y seleccione **Synchronize** (Sincronizar), como se muestra en la Figura 2-32.

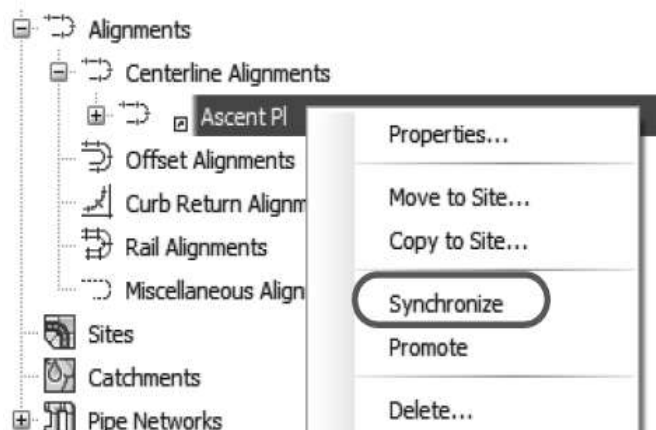


Figure 2–32

11. Tenga en cuenta que la alineación ha actualizado la información geográfica, como se muestra en la Figura 2–33. El final de la alineación se ha extendido para intersectar la bombilla de fondo de saco, y la etiqueta de la estación se actualiza para reflejar el cambio al diseño de alineación original.

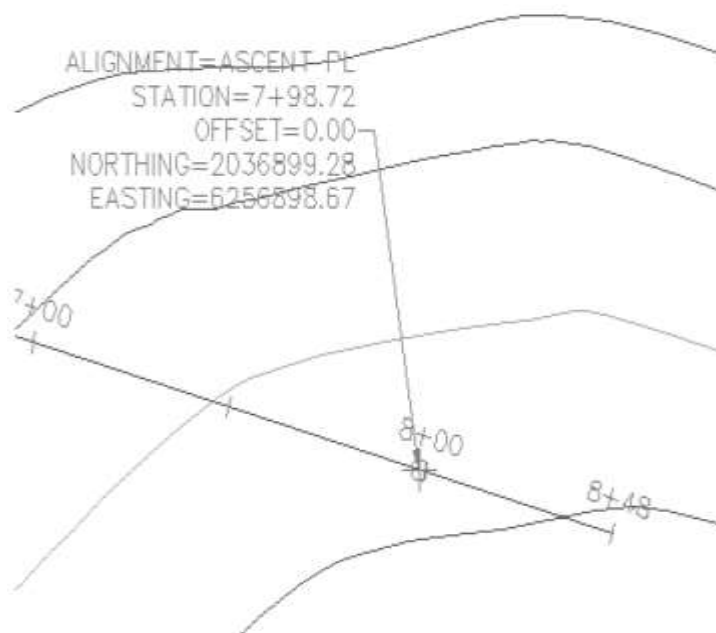


Figure 2–33

12. Guarda el dibujo.

Práctica 2c: Compartir proyectos con miembros del equipo fuera de la red de la oficina

Objetivo de práctica


- Cree un paquete de transmisión para enviar a otros profesionales del diseño en el equipo del proyecto, que incluye todos los dibujos de objetos a los que se hace referencia, los XREF y otros archivos necesarios.
1. Continúe trabajando con el dibujo **DS-B2-Shortcuts.dwg** previamente abierto.
 2. Expanda  (Menú de aplicaciones), expanda *Publish* (Publicar) y seleccione *eTransmit*, como se muestra en la Figura 2–34. Si se abre un cuadro de diálogo de advertencia que indica que el dibujo actual no está guardado, haga clic en **Yes** para guardarlo.



Figure 2–34

3. En el cuadro de diálogo *eTransmit*, haga clic en **Transmittal Setups** (Configuraciones de transmisión), como se muestra en la Figura 2–35.

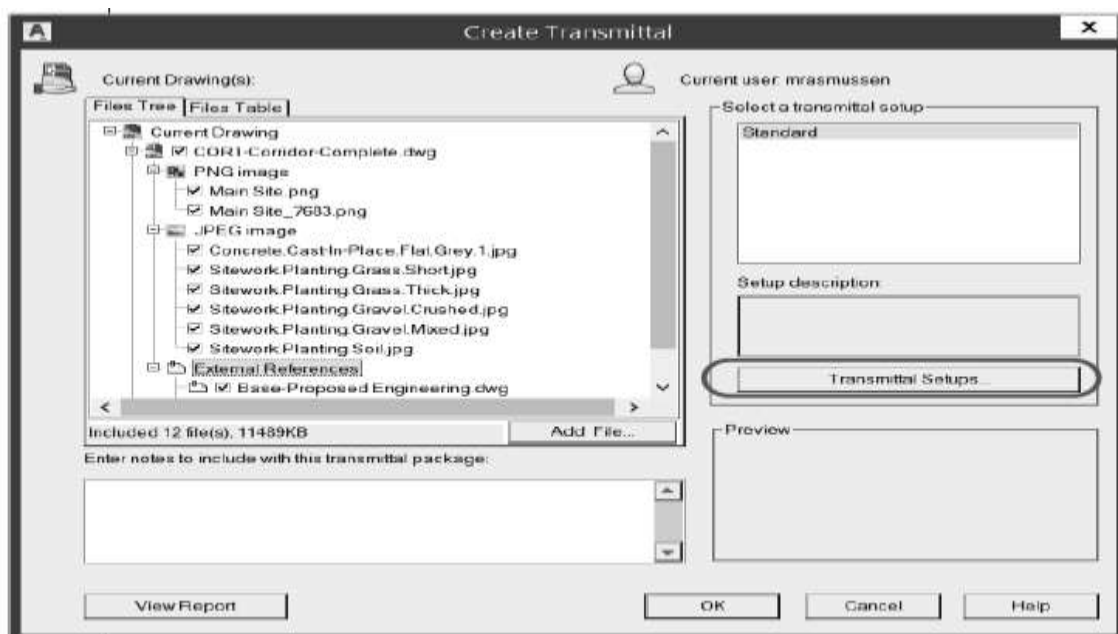


Figure 2–35

4. En el cuadro de diálogo *Transmittal Setups* (Configuraciones de transmisión), seleccione la configuración **Standard** y haga clic en **Modify**.
5. En el cuadro de diálogo *Modify Transmittal Setup* (Modificar configuración de transmisión), acepte el valor predeterminado para *Transmittal file folder*. Expanda la lista desplegable *Transmittal filename* y seleccione **Prompt for a filename**. Seleccione la opción **Keep files and folders as is** (Mantener archivos y carpetas como está). En el área *Include options* (Opciones de inclusión), seleccione todas las opciones, como se muestra en la Figura 2–36. Acepte los valores predeterminados restantes y haga clic en **OK** para cerrar el cuadro de diálogo.

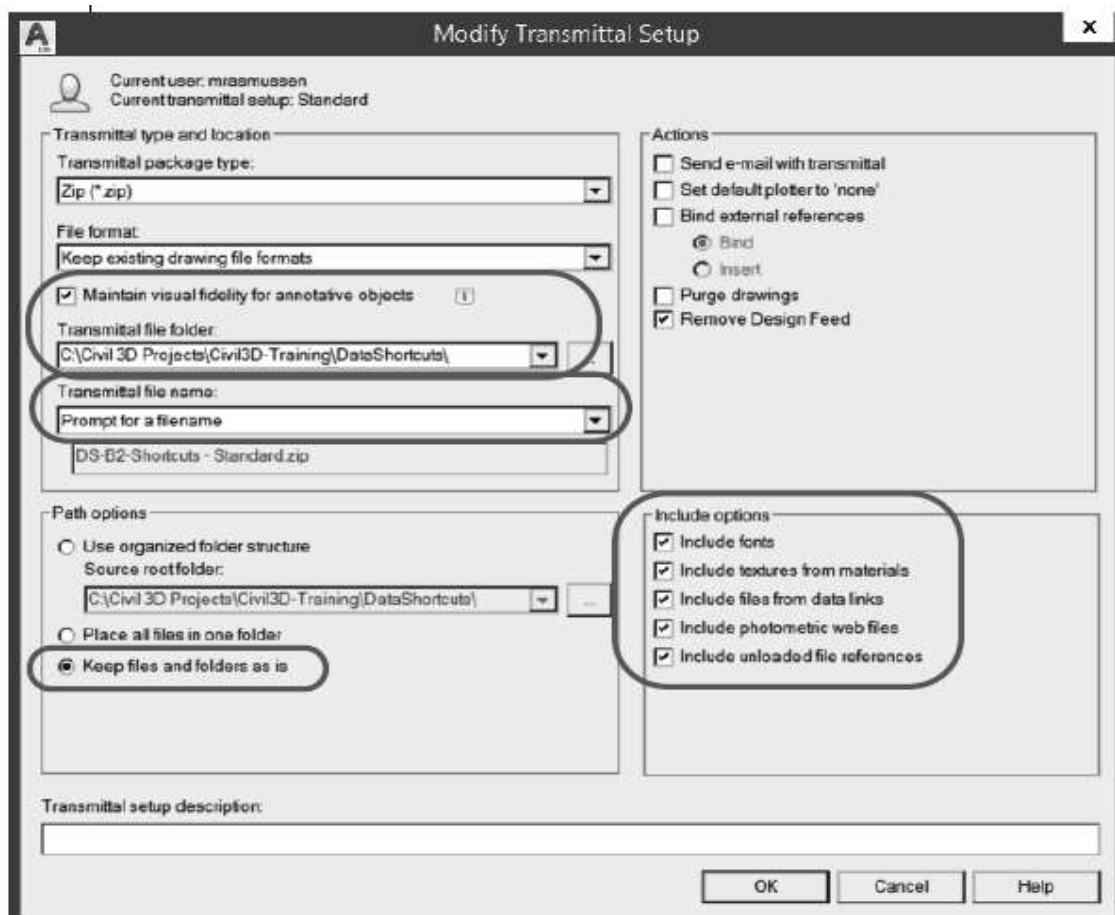






Figure 2–36

6. Cierre el cuadro de diálogo Configuraciones de transmisión.
7. Haga clic en **OK** para cerrar el cuadro de diálogo *Create Transmittal* (Crear transmisión) y crear la transmisión.
8. Cuando se le solicite el nombre del archivo de transmisión, acepte el valor predeterminado y guárdelo. El software AutoCAD Civil 3D creará un archivo comprimido de todos los datos relevantes.

Preguntas de repaso del capítulo

1. En el flujo de trabajo de AutoCAD Civil 3D, ¿cuáles son los dos métodos principales de colaboración de proyectos (o el intercambio de datos de diseño inteligente de AutoCAD Civil 3D)?
 - a. Windows Explorer y X-refs.
 - b. Accesos directos a datos y referencias de Vault.
 - c. X-refs y atajos de datos.
 - d. Referencias de bóveda y X-refs.
2. ¿Por qué querría usar las referencias de Vault sobre los accesos directos de datos?
 - a. Se agregó seguridad y control de versiones.
 - b. Permitir que más personas tengan acceso.
 - c. Funciona más como Land Desktop.
 - d. Funciona mejor con múltiples oficinas.
3. Al compartir datos en un entorno de colaboración de proyectos, ¿cuál es el número recomendado de niveles en los que se deben dividir los datos?
 - a. 1 nivel
 - b. 2 niveles
 - c. 3 niveles
 - d. 4 niveles
4. ¿Cómo se puede editar un objeto al que se hace referencia a través de Accesos directos de datos?
 - a. Abra el dibujo de origen.
 - b. Con puños.
 - c. Usando la vista panorámica.
 - d. No se puede.
5. ¿Cuál es el formato de archivo que utilizan los Accesos directos de datos para compartir datos de diseño entre archivos de dibujo?
 - a. .SHP
 - b. .DWT
 - c. .DWG
 - d. .XML

Resumen del comando

Botón	Comando	Ubicación
	Create Data Shortcuts	Ribbon: Manage tab>Data Shortcuts panel Command Prompt: CreateDataShortcuts
	New Shortcuts Folder	Ribbon: Manage tab>Data Shortcuts panel Command Prompt: NewShortcutsFolder
	Set Shortcuts Folder	Ribbon: Manage tab>Data Shortcuts panel Command Prompt: SetShortcutsFolder
	Set Working Folder	Ribbon: Manage tab>Data Shortcuts panel Command Prompt: SetWorkingFolder

ANEXO B: Flujos de trabajo avanzados con Civil 3D 2019 (Metric)

Capítulo 16: Flujos de trabajo avanzados

El programa Autodesk® AutoCAD® Civil 3D® es único en que, con algunas excepciones, los datos que usted crea se almacenan en el archivo DWG. El uso de métodos abreviados de datos le permitirá dividir el trabajo entre sus compañeros de trabajo y mantener el tamaño del dibujo hacia abajo. El uso de métodos abreviados de datos también le permitirá mantener su superficie existente en su archivo topográfico y hacer referencia a sus archivos de diseño.

En este capítulo también verá LandXML como una herramienta para compartir datos. Usando este formato de archivo, puede transferir datos "inteligentes" sin un archivo DWG.

En este capítulo, aprenderás a:

- Crear una carpeta de acceso directo de datos.
- Crear accesos directos de datos.
- Exportación a versiones anteriores de AutoCAD.
- Exportar a LandXML.

16.1. Data Shortcuts

Un *data shortcut* es un enlace entre dibujos que permite compartir tipos específicos de datos de Civil 3D. El acceso directo en sí no contiene datos, pero es un puntero que indica a Civil 3D que lea información de un conjunto común de datos. Se crea un acceso directo de datos en el dibujo de origen y una referencia de datos es la manifestación de los datos en un dibujo de destinatario.

Hay muchas situaciones en las que necesita datos o información para vincular entre dibujos. Las conexiones entre los dibujos pueden ser en forma de referencias externas (Xrefs), referencias de datos, o una combinación de los dos. Estas dos opciones son similares, pero no iguales. La tabla 16.1 los compara.

Tabla 16.1: XRef vs. referencia de datos

Referencia externa (XRef)

Para la mayoría de los objetos, una XRef es una representación solo gráfica de objetos creados en otro dibujo.

Cualquier objeto (base AutoCAD o Civil 3D) puede mostrarse en XRefs.

Referencia de datos

Una referencia de datos es un enlace de información / gráfico solo a los datos de Civil 3D creados en otro archivo DWG.

Solo se pueden utilizar tipos específicos de datos de Civil 3D como referencias de datos.

La visibilidad de los objetos se controla mediante capas y estilos de dibujo originales.

Con la excepción de los objetos Captura e Intersección, puede usar los comandos Agregar etiquetas de Civil 3D en los elementos de una XRef. Todos los demás objetos (por ejemplo, Superficies, Alineaciones, Canalizaciones, Vistas de perfil, etc.) se pueden etiquetar a través de una XRef.

Un dibujo que contiene un corredor Civil 3D se puede XRef'ed en un dibujo host. Las líneas de muestra pueden extraer datos del corredor de la XRef.

La visibilidad de los datos se controla mediante capas y estilos de dibujo del host.

Para usar los datos del objeto Civil 3D en diseño (es decir, usar una superficie para crear un perfil de terreno existente o usar una alineación como una línea de base del corredor), el objeto debe ser referenciado a los datos.

Una referencia de datos a una alineación junto con una XRef al corredor permite crear líneas de muestra en un dibujo separado.

Una característica introducida en Civil 3D 2014 trajo otra excepción importante a la regla general de que las referencias externas son "solo gráficos". Los usuarios ahora tienen la capacidad de usar figuras, líneas, polilíneas y líneas de características como objetivos del corredor a través de una referencia externa.

Como se señaló, solo los objetos de Civil 3D se pueden usar con accesos directos de datos. No todos los tipos de objetos están disponibles a través de accesos directos. Los siguientes objetos están disponibles para su uso a través de accesos directos de datos:

- Alineaciones
- Superficies
- Perfiles
- Redes de tuberías
- Redes de presión
- Grupos de cuadros de vista

Una nota sobre los ejercicios en este capítulo

Este capítulo trata sobre el flujo de trabajo; por lo tanto, es difícil saltar en parte a través del capítulo. Para aprovechar al máximo los ejercicios, debe trabajar de principio a fin porque todos los ejercicios se basan en los anteriores. Si omite algunos ejercicios (incluida la Creación de hojas de secciones transversales en su propio dibujo), los siguientes pasos no funcionarán.

Utilice los nombres recomendados para los objetos y dibujos que cree por su cuenta. Hacerlo hará las cosas mucho más fáciles para ti.

Recuerde que siempre puede obtener los archivos originales de la carpeta de capítulos que puede descargar desde www.sybex.com/go/masteringcivil3d2016.

16.1.1. Empezando

Cuando crea un proyecto de acceso directo de datos por primera vez, tiene la opción de utilizar una plantilla de proyecto. Una plantilla de proyecto es simplemente un conjunto de carpetas, subcarpetas y archivos creados para ayudarlo a mantener su almacén de archivos organizado.

En el siguiente ejercicio, creará carpetas para usar al crear un proyecto de acceso directo de datos:

1. Abra el Explorador de Windows y navegue a C: \ Civil 3D Project Templates.
2. Crea una nueva carpeta titulada MasteringCivil3D.
3. Dentro de MasteringCivil3D, cree subcarpetas llamadas Diseño, Documentos, Hojas y Encuesta, como se muestra en la Figura 16.1.

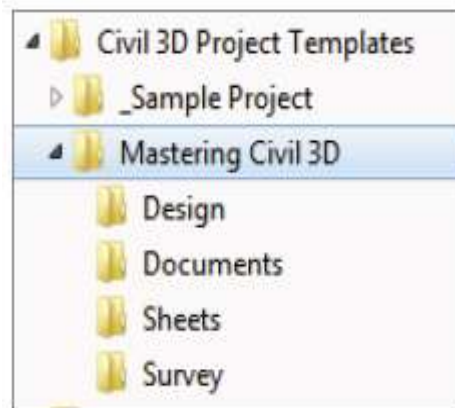


Figura 16.1. La estructura de carpetas y los archivos de proyecto estándar deben incluirse en la plantilla del proyecto.

4. Localice el archivo 1601_Project Wishlist.doc de los archivos de este capítulo que descargó de www.sybex.com/go/masteringcivil3d2016.
5. Coloque el archivo en la carpeta Documentos que creó en el paso 3.
6. Localice el archivo 1601_SheetSetTemplate.dst dentro de los archivos de este capítulo.
7. Coloque el archivo en la carpeta Hojas que creó en el paso 3.

Esta estructura de directorio aparecerá cuando se cree un proyecto de acceso directo de datos. Una carpeta de Documentos se incluye como un ejemplo de otras carpetas no relacionadas con Civil 3D que puede necesitar en su proyecto. Los archivos 1601_Project Checklist.docx y 1601_SheetSetTemplate.dst se copiarán automáticamente a cada proyecto que cree a partir de esta plantilla.

Una versión completa de este conjunto de carpetas se encuentra en el conjunto de datos para su referencia y se llama 1601_MasteringC3D_FINISHED.

16.1.2. Configuración de una carpeta de trabajo y una carpeta de data shortcuts (acceso directo de datos)

Puede pensar en la carpeta de trabajo como una unidad de proyecto. La carpeta de trabajo puede contener varios proyectos, cada uno con una carpeta de acceso directo de datos donde residen los archivos de acceso directo.

En este ejercicio, establecerá la carpeta de trabajo y creará un nuevo proyecto:

1. Crea un nuevo dibujo en blanco usando la plantilla de tu elección.

No guardará este archivo, pero necesita tener un archivo abierto para ver la pestaña Prospector del Espacio de herramientas. Debes completar el ejercicio anterior antes de comenzar este.

2. Desde la pestaña Administrar > Panel de accesos directos a datos, haga clic en Establecer carpeta de trabajo para mostrar el cuadro de diálogo Buscar carpeta, como se muestra en la Figura 16.2.

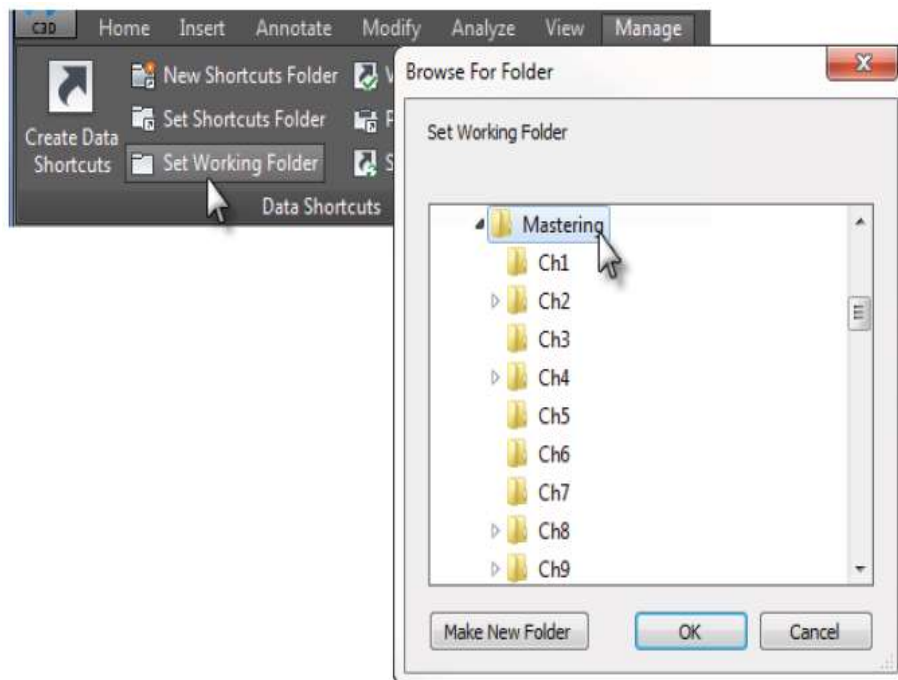


Figura 16.2. Creando una nueva carpeta de trabajo.

3. En el cuadro de diálogo Buscar carpeta, en Disco local (C :), busque la carpeta de creación de contenido que creó para los archivos de su curso.
4. Con la carpeta de masterización resaltada (como se muestra en la Figura 16.2), haga clic en Aceptar.

- Desde la pestaña Administrar > Panel de accesos directos de datos, haga clic en Nueva carpeta de accesos directos para mostrar el cuadro de diálogo Nueva carpeta de accesos directos de datos, que se muestra en la Figura 16.3.

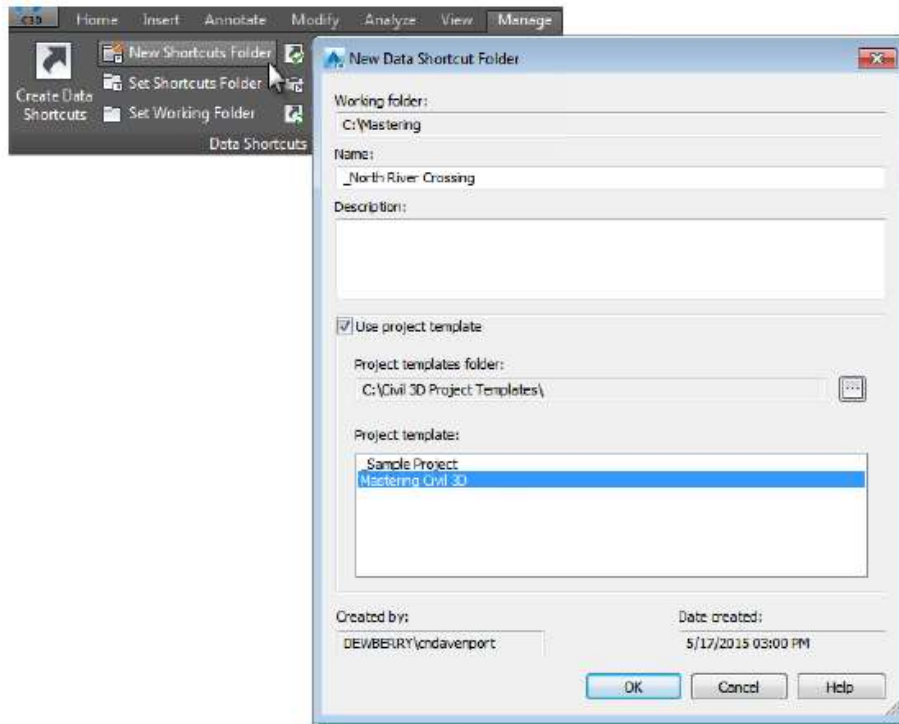


Figura 16.3. Creando una nueva carpeta de accesos directos.

- En el cuadro de diálogo Nueva carpeta de acceso directo a datos, escriba `_North River Crossing` para el campo Nombre y haga clic en la casilla de verificación Usar plantilla de proyecto.
- Seleccione la carpeta `MasteringCivil3D2016` de la lista, como se muestra en la Figura 16.3, y haga clic en Aceptar para cerrar el cuadro de diálogo.

Observe que la rama de Accesos directos de datos en Prospector ahora refleja la ruta del proyecto que acaba de crear, como se muestra en la Figura 16.4.

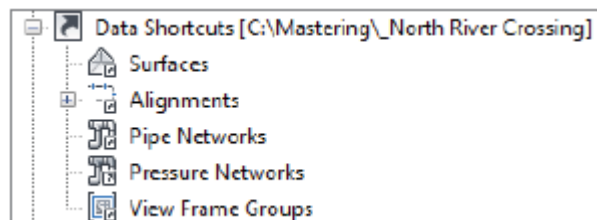


Figura 16.4. Los accesos directos de datos se enumeran en Prospector.

Si abre el Explorador de Windows y navega a `C:\Mastering_North River Crossing`, verá las carpetas de la plantilla del proyecto `MasteringCivil3D` más una carpeta especial llamada `_Shortcuts`, como se muestra en la Figura 16.5. Esta carpeta se crea para los archivos XML

de acceso directo de datos. Cuando se define un acceso directo a los datos, se coloca en esta carpeta un archivo XML que contiene la ruta, el nombre del dibujo y el nombre del objeto de origen.

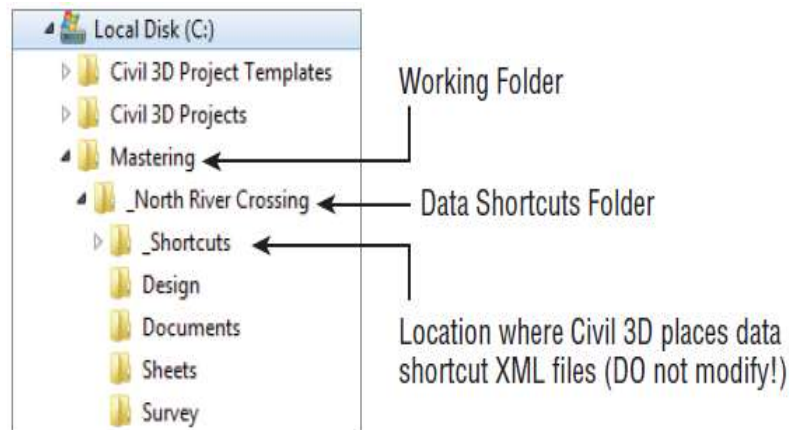


Figura 16.5. Su nuevo proyecto se muestra en el Explorador de Windows. La masterización es la carpeta de trabajo; `_North River Crossing` es la carpeta de acceso directo de datos.

En los negocios, la carpeta de trabajo y la carpeta de accesos directos de datos deben estar en una unidad de red. Si tiene un flujo de trabajo establecido para crear carpetas de proyectos y no necesita utilizar la plantilla de proyecto Civil 3D, puede hacer lo siguiente:

1. Cree manualmente una carpeta llamada `_Shortcuts` en su ubicación preferida en la estructura de carpetas de su proyecto.

Esta carpeta debe tener al menos dos niveles de profundidad en la estructura de su directorio.

2. En la pestaña Administrar > Panel de accesos directos de datos, haga clic en Establecer carpeta de trabajo y seleccione una carpeta dos niveles por encima de la carpeta `_Cortas de acceso`.
3. En la pestaña Administrar > Panel de accesos directos de datos, haga clic en Establecer carpeta de accesos directos y seleccione la carpeta que se muestra en el cuadro de diálogo Establecer carpeta de accesos directos de datos, como se muestra en la Figura 16.6.

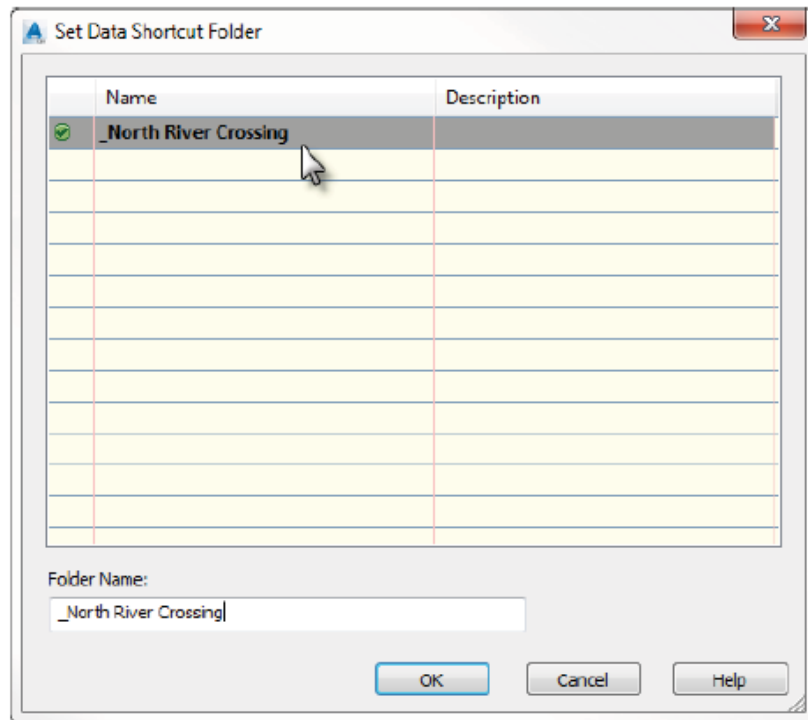


Figura 16.6. Seleccione la carpeta que contiene su carpeta `_Shortcuts` creada manualmente en el cuadro de diálogo Establecer carpeta de acceso directo de datos.

Este cuadro de diálogo mostrará solo las carpetas que contienen una subcarpeta `_Shortcuts`.

16.1.2. Creación de Data Shortcuts

Con una carpeta de accesos directos en su lugar, es hora de usarla. En este ejercicio, publicará accesos directos de datos para las alineaciones y los perfiles de diseño en su proyecto:

1. Abra el archivo `1602_ExistingSurface.dwg` (`1602_ExistingSurface_METRIC.dwg`), que puede descargar de la página web de este libro.

Este dibujo contiene puntos y una superficie de suelo existente. Debe haber completado el ejercicio anterior antes de continuar.

2. En el menú Aplicación, haga clic en Guardar como y guarde una copia de este dibujo en `C:\Mastering_North River Crossing\Survey`.

Localizando tus archivos de dibujo

Cuando trabaja con accesos directos de datos, la ubicación de los archivos de dibujo que contienen sus datos es importante. Si crea un acceso directo de datos a una superficie y luego mueve el archivo de dibujo que contiene la superficie, causará una referencia rota en cada archivo que contenga una referencia a la superficie. Además, el acceso directo de datos a la superficie en el Prospector ya no funcionará. Más adelante en este capítulo, la sección

"Arreglar las referencias rotas y dibujar asociaciones" explicará qué hacer si es inevitable reubicar o renombrar un proyecto.

- Desde la pestaña Administrar > Panel de accesos directos a datos, haga clic en Crear accesos directos a datos.

Debido a que el dibujo se asoció previamente a otro proyecto, aparece un cuadro de diálogo Crear atajos de datos: Proyecto actual que le informa de esto. Para continuar, debe asociar este dibujo al proyecto _North River Crossing.

- Haga clic en Cerrar para cerrar el diálogo.
- Haga clic con el botón derecho en la rama Accesos directos a datos del Prospector y haga clic en Asociar proyecto al dibujo actual.
- Haga clic en Aceptar para aceptar los valores predeterminados en el cuadro de diálogo Asociar proyecto a dibujo actual.
- Nuevamente, desde la pestaña Administrar > Panel de accesos directos de datos, haga clic en Crear accesos directos de datos.
- En el cuadro de diálogo Crear accesos directos de datos, coloque una marca de verificación junto a Superficie existente, como se muestra en la Figura 16.7, y haga clic en Aceptar.

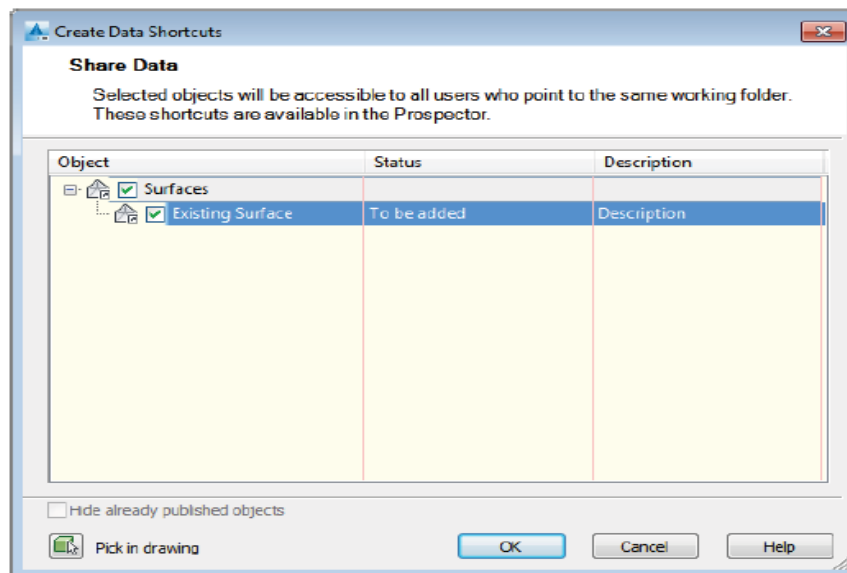


Figura 16.7. Agregar datos de superficie a los accesos directos de datos.

- Guarde y cierre el archivo de dibujo actual.
- Abra el archivo 1602_Alignments-Profiles.dwg (1602_Alignments-Profiles_METRIC.dwg) de sus datos de clase.

Este archivo contiene cinco alineaciones que agregará al proyecto de acceso directo de datos.

11. Desde el menú de la aplicación, haga clic en Guardar como y guarde una copia de este archivo en C:\Mastering_North River Crossing\Design.
12. Repita los pasos 5 y 6 para volver a asociar el dibujo al proyecto _North River Crossing.
13. Desde la pestaña Administrar > Panel de accesos directos a datos, haga clic en Crear accesos directos a datos.
14. En el cuadro de diálogo Crear accesos directos de datos, coloque una marca de verificación junto a la colección Alineaciones, que seleccionará todas las alineaciones y perfiles, si existen (como se muestra en la Figura 16.8), y haga clic en Aceptar.

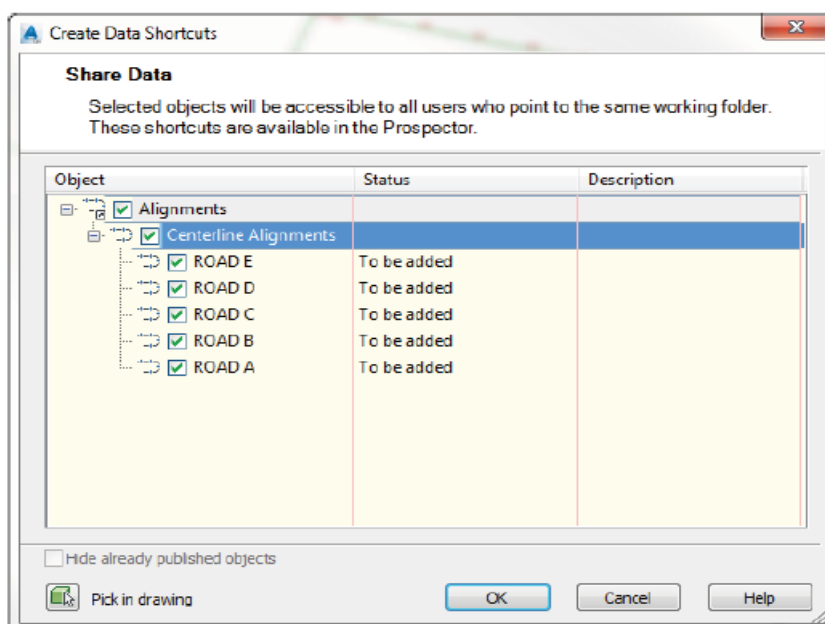


Figura 16.8. Agregar datos de alineación al conjunto de accesos directos de datos.

Ahora debería tener superficies y alineaciones disponibles para su uso en la lista de accesos directos de datos en Prospector, como se muestra en la Figura 16.9. Observe en la Figura 16.9 cómo resaltar el acceso directo a los datos en la lista revela la ubicación de origen en la parte inferior del Espacio de herramientas.

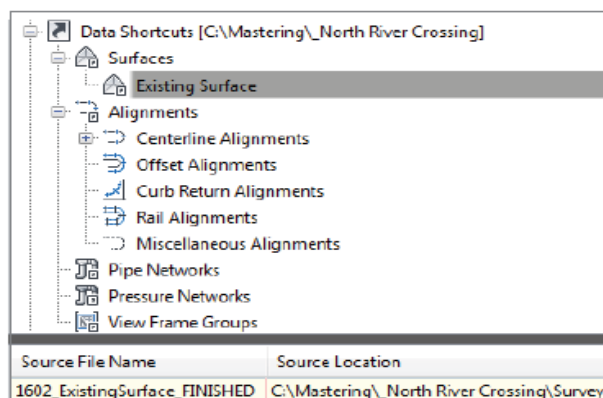


Figura 16.9. Lista de accesos directos de datos de Civil 3D disponibles para el proyecto actual.

Mantenga abierto 1602_Alignments-Profiles.dwg (1602_Alignments-Profiles_METRIC.dwg) para el próximo ejercicio.

16.1.4. Creando una referencia de datos

Ahora que ha creado los archivos de acceso directo para que actúen como punteros al dibujo original, los utilizará en otros dibujos. En esta sección, creará y utilizará referencias de datos.

Las referencias de datos se hacen utilizando la rama de Accesos directos de datos dentro de Prospector. En este ejercicio, creará una referencia a la superficie que compartió anteriormente en el proyecto.

Necesitas haber completado los ejercicios anteriores para continuar.

1. Sigue trabajando en 1602_Alignments-Profiles.dwg (1602_Alignments-Profiles_METRIC.dwg).
2. En el Espacio de herramientas, expanda Prospector > Accesos directos de datos > Colección de superficies, haga clic con el botón derecho en Superficie existente y seleccione Crear referencia, como se muestra en la Figura 16.10.

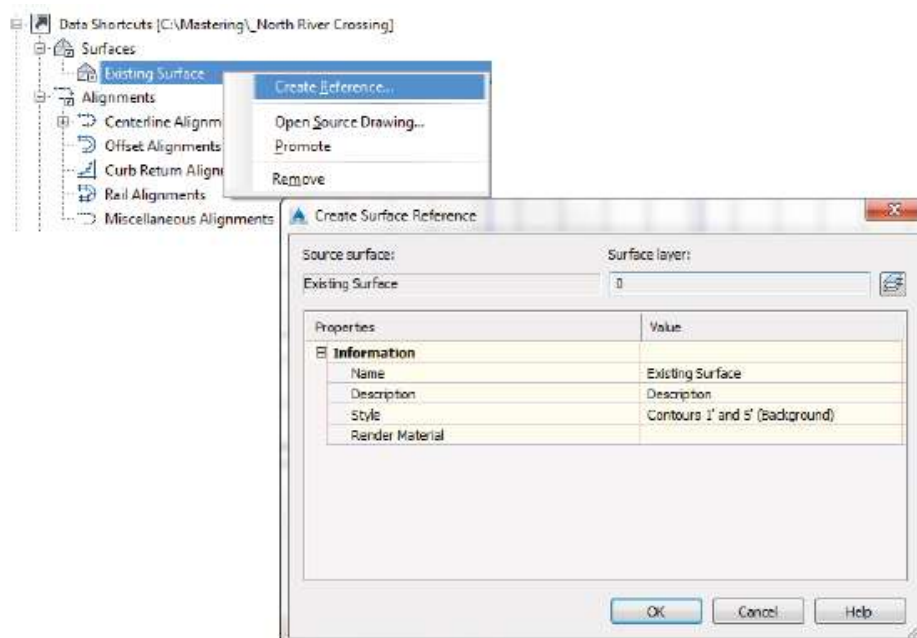


Figura 16.10. El diálogo Crear referencia de superficie.

3. En el cuadro de diálogo Crear referencia de superficie, deje todas las opciones de superficie en sus valores predeterminados y haga clic en Aceptar. Extensiones de zoom para ver la superficie.
4. Guarde el dibujo actual y manténgalo abierto para el próximo ejercicio.

Ahora deberías ver la superficie en el dibujo. A primera vista, no se ve diferente de otras superficies con las que ha trabajado dentro de Civil 3D. Sin embargo, si

examina la rama Superficies de Prospector, verá que no hay una colección de Definiciones (como se muestra en la Figura 16.11). No puede editar una superficie o cualquier otro objeto al que se haga referencia a los datos. Si es necesario realizar un cambio en la Superficie existente, deberá abrir el archivo de dibujo donde se creó originalmente.

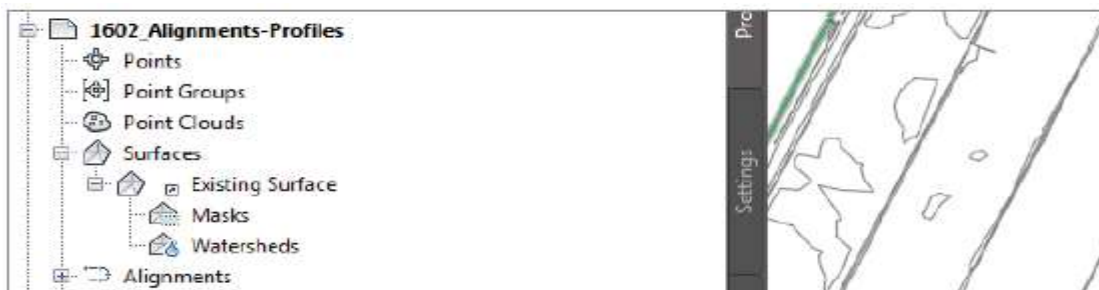
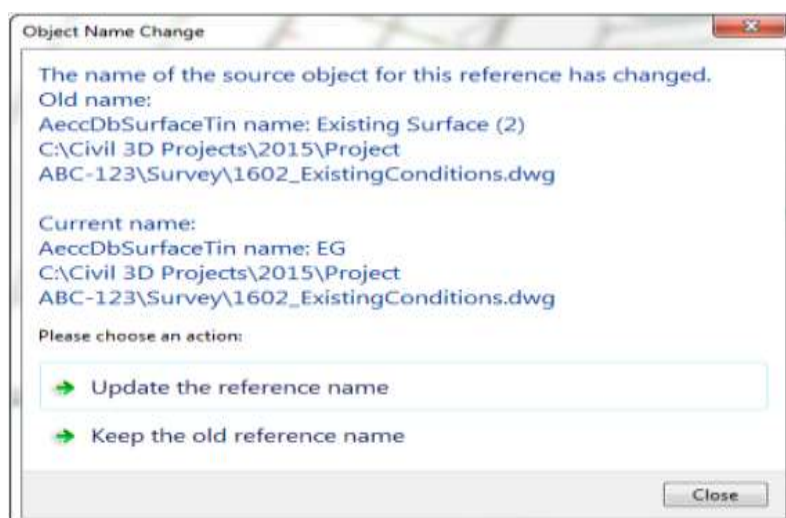


Figura 16.11. Puede ver y usar la superficie, pero no puede agregar o editar la definición de la superficie.

Cualquier cambio en la superficie se comunicará a través del acceso directo de datos a los dibujos donde se hace referencia. Si el dibujo está abierto cuando se ha cambiado un archivo fuente con referencia de datos, aparecerá un mensaje de burbuja para informar al usuario de que el elemento debe estar sincronizado para ver la información más actualizada. Si se cierra un dibujo del destinatario en el momento en que se produce el cambio, todas las referencias de datos se sincronizarán automáticamente a medida que se abra el archivo.

Renombrando objetos después de la creación de referencia

Si se cambia el nombre de los objetos en el dibujo de origen, el nuevo nombre se comunica a través del acceso directo de datos en la sincronización. Se abrirá el cuadro de diálogo Cambio de nombre de objeto para informarle el cambio y darle la opción de aceptar el nuevo nombre o mantener el antiguo.



En la siguiente parte del ejercicio, utilizará las habilidades que aprendió en el Capítulo 7, “Perfiles y vistas de perfiles”, para crear un perfil de suelo existente y un perfil de diseño. Una vez que tenga toda la información, utilizará las habilidades del Capítulo 9, "Corredores básicos", para reunir la información. Necesitas haber completado los ejercicios anteriores para continuar.

5. Sigue trabajando en 1602_Alignments-Profiles.dwg (1602_Alignments-Profiles_METRIC.dwg).
6. Seleccione la alineación de ROAD A.
7. En la pestaña contextual Alineación > Panel de Launch Pad, haga clic en Perfil de superficie.
8. En el cuadro de diálogo Crear perfil desde la superficie, haga lo siguiente:
 - a. Haga clic en Agregar.
 - b. Haga clic en Dibujar en la vista de perfil.
9. En el cuadro de diálogo Crear vista de perfil, haga clic en Crear vista de perfil y haga clic para colocar la vista de perfil en cualquier lugar del dibujo a la derecha de la superficie.
10. Seleccione la vista de perfil. Desde la pestaña contextual Vista de perfil > Panel de Launch Pad, haga clic en Herramientas de creación de perfil.
11. En el cuadro de diálogo Crear perfil - Dibujar nuevo, nombre el nuevo perfil FG-ROAD A.
12. Establezca el Estilo de perfil en Perfil de diseño y haga clic en Aceptar.
13. Desde las Herramientas de diseño de perfil, haga clic en Insertar PVI's tabular.
14. Ingrese los datos para el sistema de su unidad, como se muestra en la Figura 16.12; a continuación, haga clic en Aceptar.

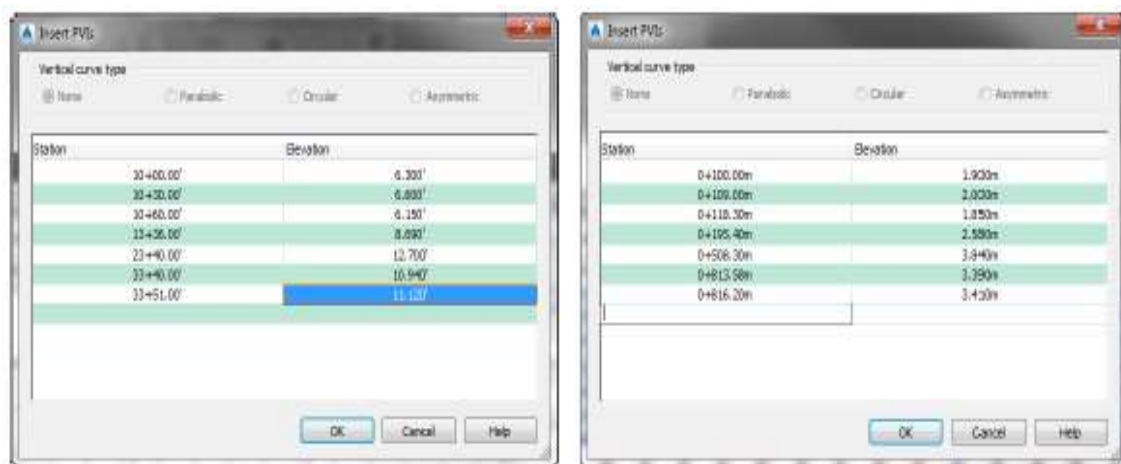


Figura 16.12. Datos de perfil Imperial (izquierda) y Métrica (derecha).

Puede cerrar la barra de herramientas Herramientas de diseño de perfil cuando haya terminado.

15. Guarda el dibujo.
16. Desde la pestaña Administrar > Panel de accesos directos a datos, haga clic en Crear accesos directos a datos.
17. Coloque una marca de verificación junto a Perfiles, como se muestra en la Figura 16.13, y haga clic en Aceptar.

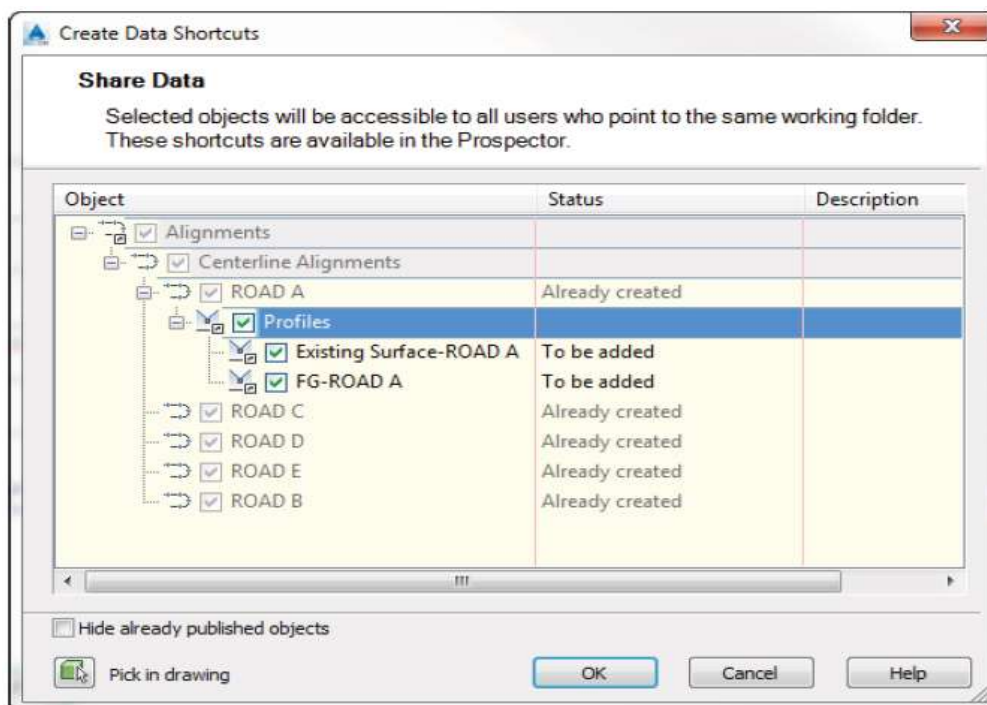


Figura 16.13. Adición de datos de dibujo adicionales al proyecto de acceso directo de datos.

Las alineaciones que agregé anteriormente aparecen en una lista, pero están en gris. Una vez que agregue un elemento a la lista de accesos directos de datos, no necesita volver a agregarlo. Solo se agregarán nuevos datos a la lista de accesos directos de datos. Aparecerá en gris la lista de elementos que ya se han publicado como accesos directos de datos. Si encuentra que la lista de elementos ya publicados distrae, puede ocultar todos los elementos publicados haciendo clic en la casilla de verificación Ocultar objetos ya publicados en la parte inferior del cuadro de diálogo.

18. Guarde y cierre 1602_Alignments-Profiles.dwg (1602_Alignments-Profiles_METRIC.dwg).
19. Desde sus archivos de clase, abra 1603_Corridor.dwg (1603_Corridor_Metric.dwg).
20. En el menú Aplicación, haga clic en Guardar como y guarde el dibujo en C: \ Mastering \ _North River Crossing \ Design.

21. Desde la pestaña Prospector del Espacio de herramientas, expanda la rama Accesos directos de datos y luego expanda Superficies.
22. Haga clic con el botón derecho en Superficie existente y haga clic en Crear referencia.
23. En el cuadro de diálogo Crear referencia de superficie, deje todas las configuraciones predeterminadas y haga clic en Aceptar.
24. Desde la pestaña Prospector de la barra de herramientas, expanda la rama Accesos directos de datos y luego expanda Alineaciones > Alineaciones de líneas centrales > CAMINO A > Perfiles.
25. Haga clic derecho en FG-ROAD A y seleccione Crear referencia, como se muestra en la Figura 16.14.

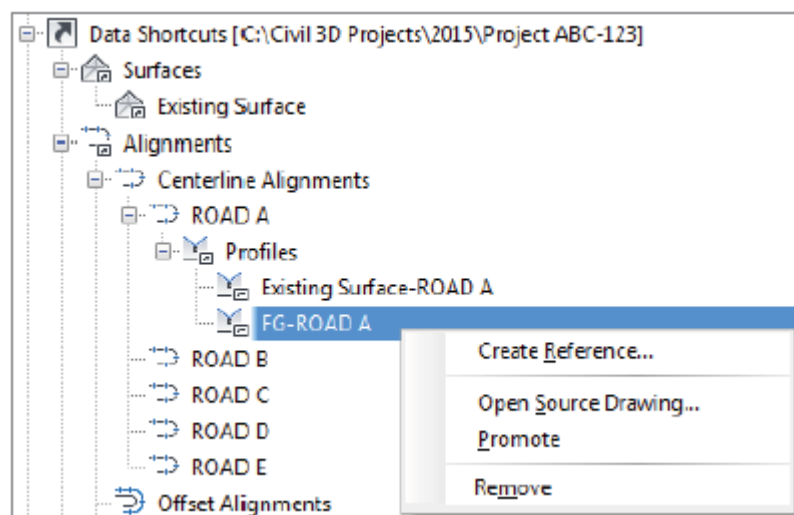


Figura 16.14. La creación de una referencia de datos a un perfil creará automáticamente una referencia de datos para su alineación.

26. En el cuadro de diálogo Crear referencia de perfil, cambie el Estilo del perfil a Perfil de diseño y haga clic en Aceptar.

Si amplía las extensiones en el dibujo, debería ver la alineación y la superficie existente.

Se hace referencia a los datos del perfil, pero actualmente no está visible. Si lo desea, puede crear una vista de perfil. Sin embargo, no necesita que el perfil sea visible para crear un corredor.

27. Desde la pestaña Inicio > Crear panel de diseño, haga clic en Corredor. En el cuadro de diálogo Crear corredor, haga lo siguiente:
 - a. Nombra el corredor CAMINO A
 - b. Verifique que la alineación esté establecida en ROAD A.
 - c. Verifique que el perfil esté configurado en FG-ROAD A.

- d. Establecer el conjunto a la Asamblea básica.
- e. Establecer la superficie de destino a la superficie existente.
- f. Desactive la casilla de verificación para Establecer parámetros de línea base y región.
- g. Haga clic en Aceptar.
- h. Cierre el panorama antes de continuar.

28. Después de que el corredor se construya con éxito, guarde y cierre el dibujo; Volverás a ello más tarde.

Escenario del mundo real

Creación de hojas de corte transversal en su propio dibujo

A diferencia de las hojas de planos y perfiles, las hojas de sección transversal no le ofrecen ninguna opción para crear diseños automáticamente en hojas nuevas.

Es una gran idea crear vistas de sección en su propio dibujo por los siguientes motivos:

- ❖ La escala utilizada para trazar las secciones suele ser diferente de la que se usa para otras partes del diseño. Puede configurar su escala de anotación para que coincida con la escala de su parcela en el dibujo de la vista en sección.
- ❖ Los dibujos del corredor ya contienen una gran cantidad de datos; cree vistas de sección en su propio dibujo para mantener el tamaño del archivo hacia abajo.

El siguiente ejercicio se basa en lo que ya ha creado en este capítulo. Pasará por el procedimiento de creación de hojas de secciones transversales utilizando una combinación de funciones de acceso directo de datos y referencias externas. Es posible que desee revisar el Capítulo 12, “Secciones transversales y transporte masivo”, si tiene problemas para completar los pasos de este ejercicio.

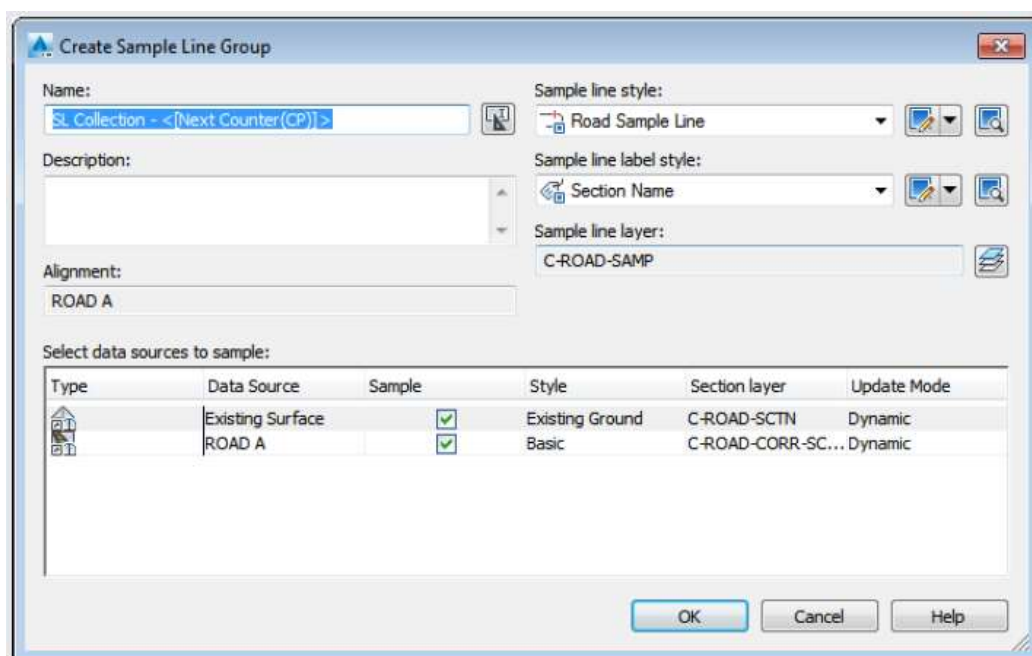
1. Comience un nuevo dibujo con la plantilla Civil 3D de su elección.
2. Verifique que esté seleccionada la carpeta de proyecto de acceso directo de datos correcta y luego guarde el dibujo en la carpeta C:\Mastering_North River Crossing \ Sheets como 1604_Sections.dwg o, si se trata de una métrica, 1604_Section_METRIC.dwg.
3. Desde la pestaña Prospector del Espacio de herramientas, expanda Accesos directos de datos > Alineaciones > Alineaciones de línea central, haga clic derecho en CAMINO A y haga clic en Crear referencia.
4. En el cuadro de diálogo Crear referencia de alineación, deje todos los valores predeterminados y haga clic en Aceptar.
5. Desde la pestaña Insertar > Panel de referencia, haga clic en Adjuntar.

6. En la parte inferior del cuadro de diálogo Seleccionar archivo de referencia, configure Archivos de tipo en Dibujo (*.dwg).
7. Vaya a C: \ Mastering \ _North River Crossing \ Design, seleccione 1603_Corridor.dwg (1603_Corridor_METRIC.dwg) y haga clic en Abrir. En el cuadro de diálogo Adjuntar referencia, haga lo siguiente:
 - a. Establezca Tipo de referencia en Superposición.
 - b. Establezca Tipo de ruta en Ruta relativa.
 - c. Desactive todas las casillas de verificación en Especificar en pantalla para el punto de inserción, rotación o escala.
 - d. Haga clic en Aceptar.

Puede recibir un mensaje de Nuevas capas no conciliadas, que puede descartar haciendo clic en la X. Además, deseche Panorama si está abierto.

Amplíe las extensiones para ver su dibujo hasta el momento. Ahora tiene todo lo que necesita para crear líneas de muestra en este nuevo dibujo, la alineación y el corredor con referencia externa.

8. Desde la pestaña Inicio > Panel de Vistas de perfil y sección, haga clic en Líneas de muestra.
9. Cuando le solicite Seleccione una alineación <o presione la tecla Intro para seleccionar de la lista>: presione Intro para seleccionar CAMINO A desde una lista en el cuadro de diálogo Seleccionar Alineación y haga clic en Aceptar.
10. En el cuadro de diálogo Crear grupo de líneas de muestra, mantenga todas las opciones y estilos predeterminados.



Haga una pausa aquí y tome nota de algunas cosas interesantes. La superficie existente aparece, aunque no se hace referencia a los datos. Además, debería ver el corredor en la lista. No puede hacer referencia de datos a un corredor, pero puede usar líneas de muestra para llegar a través de una referencia externa para muestrear su modelo de corredor. Si hubiera creado superficies de corredor, éstas también aparecerían en este diálogo.

11. Haga clic en Aceptar.
12. Desde la barra de herramientas Herramientas de línea de muestra ➤ Menú desplegable Métodos de creación de línea de muestra, haga clic en la herramienta Por rango de estaciones.
13. Establezca los anchos de franja a izquierda y derecha a 100 '(30 m).
14. Mantenga los incrementos de muestreo predeterminados y haga clic en Aceptar.
15. Presiona Esc para completar el comando.
16. Desde la pestaña Inicio ➤ Panel de perfiles y vistas de sección ➤ Vistas de sección, haga clic en Crear varias vistas.
17. En el cuadro de diálogo Crear vistas de sección múltiple, deje todos los valores predeterminados y haga clic en Crear vistas de sección.
18. Haga clic para colocar las hojas a la derecha de los objetos existentes en el dibujo.
19. Guarde el dibujo y manténgalo abierto para el próximo ejercicio.

Una vez que haya creado con éxito líneas de muestra, el procedimiento para crear hojas de sección es el mismo que aprendió en capítulos anteriores.

16.1.5. Actualizando Referencias

Cuando necesite hacer un cambio, puede usar las herramientas en el menú de acceso directo de datos para volver a ese archivo, hacer los cambios y actualizar la referencia.

1. Si no está abierto desde el ejercicio "Creación de hojas de secciones transversales en su propio dibujo", abra el archivo 1604_Sections.dwg.
Idealmente, lo guardó en C: \ Mastering \ _North River Crossing \ Sheets.
2. Mantenga este dibujo abierto y abra también el archivo 1603_Corridor.dwg.
3. En Prospector, expanda Accesos directos de datos ➤ Superficies.
4. Haga clic con el botón derecho en Superficie existente y seleccione Dibujo de código abierto, como se muestra en la Figura 16.15.

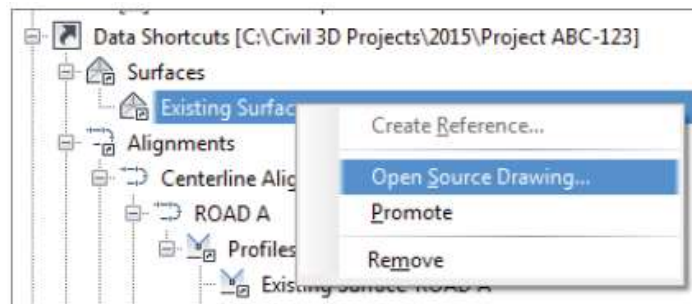


Figura 16.15. El dibujo de código abierto es una forma rápida de saltar al dibujo que desea.

En este punto, debe tener tres dibujos abiertos (1602_ExistingSurface, 1603_Corridor, y 1604_Sections; o, 1602_ExistingSurface_METRIC, 1603_Corridor_METRIC, y 1604_Sections_METRIC si métrico). Puede usar las pestañas en la parte superior de la pantalla para cambiar los dibujos. También puede usar el botón Dibujos de vista rápida en la parte inferior de la ventana de AutoCAD para cambiar entre dibujos abiertos.

El archivo 1602_ExistingSurface.dwg (1602_ExistingSurface_METRIC.dwg) debe estar activo y listo para realizar actualizaciones. Recuerde que la superficie es de solo lectura en todos los demás archivos de proyecto; Este es el único dibujo en el que se pueden hacer cambios a la superficie.

En este dibujo, agregará contornos de polilínea a la definición de superficie. El cambio en la superficie afectará a todos los dibujos donde la superficie se utiliza como referencia de datos. La comunicación dinámica entre dibujos muestra la potencia de la herramienta de acceso directo a datos.

5. Seleccione la superficie en la ventana de dibujo.
6. En la cinta contextual > Panel Modificar > Herramienta Agregar datos, seleccione Contornos.
 - a. En el cuadro de diálogo Agregar datos de contorno, en Descripción, ingrese Montículo y haga clic en Aceptar.
 - b. En la ventana de dibujo, seleccione los contornos de polilínea verde con un cuadro de selección de cruce.
 - c. Presione Enter cuando termine.
7. Guarde y cierre 1602_ExistingSurface.dwg (o 1602_ExistingSurface_METRIC.dwg).
8. Cambie los dibujos de modo que 1603_Corridor.dwg (1603_Corridor_METRIC.dwg) sea el dibujo activo.

Poco después de llevar este dibujo a la vanguardia, debería ver aparecer un símbolo de alerta en el icono de referencia externa en la barra de estado que indica que las definiciones de acceso directo de datos pueden haber cambiado, como se muestra en la Figura 16.16.



Figura 16.16. Civil 3D enviará un mensaje al usuario cuando un objeto referenciado de datos haya cambiado.

9. Haga clic derecho y haga clic en Sincronizar.

En algunas situaciones, ves un símbolo de advertencia en el Prospector. En ese caso, siempre puede sincronizar directamente desde el menú del botón derecho del objeto al que se hace referencia, como se muestra en la Figura 16.17.

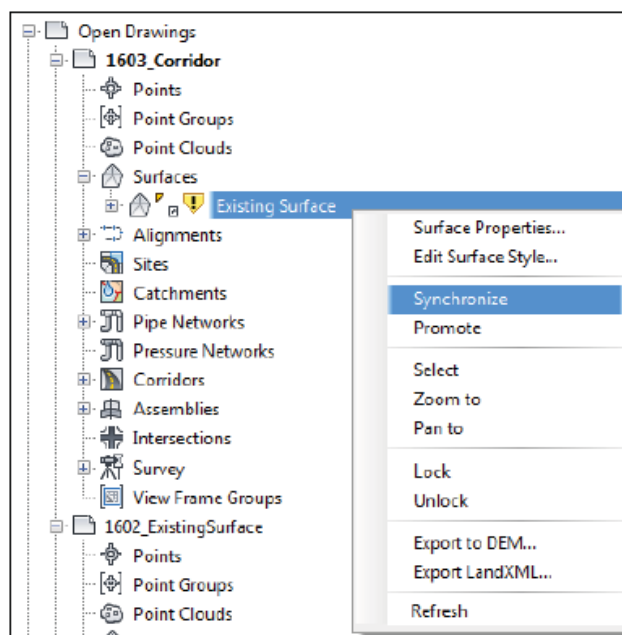


Figura 16.17. Sincronización desde el menú contextual del objeto.

Puede recibir un mensaje en Panorama que indica que el elemento se sincronizó.

10. Descarte este mensaje haciendo clic en la casilla de verificación verde.

La superficie que cambió se usa como un objetivo en el corredor; por lo tanto, el corredor necesita ser reconstruido.

11. Expanda Prospector > Corredores, haga clic con el botón derecho en el corredor ROAD A y seleccione Reconstruir.

12. Guarde y cierre 1603_Corridor.dwg (1603_Corridor_METRIC.dwg).

13. Cambie a 1604_Sections.dwg si aún no está actualizado.

Esta vez, recibirá un mensaje que indica que su archivo de referencia externa ha cambiado, como se muestra en la Figura 16.18. Si descartas accidentalmente este mensaje sin actualizar, un símbolo de advertencia permanecerá en el área de la bandeja en la parte inferior de tu pantalla. Siempre puede hacer clic con el botón derecho para volver a cargar la referencia desde este ícono.

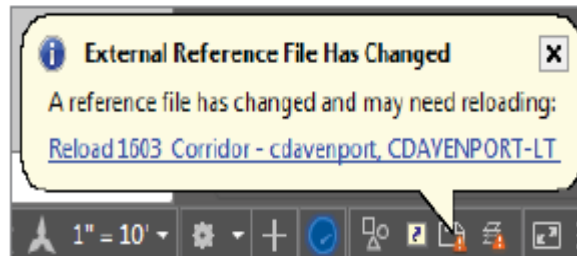


Figura 16.18. Vuelva a cargar la referencia externa para asegurarse de que sus secciones transversales reflejen la actualización del diseño.

14. Amplíe la vista de sección en la estación 16 + 00 (0 + 300 si es métrico) y observe la línea de sección que representa la superficie existente.

15. Haga clic en Recargar 1603_Corridor o 1603_Corridor_MÉTRICO si métricas en el cuadro de diálogo Referencias externas.

Sus secciones ahora deben reflejar todos los cambios de diseño. Si recibe un mensaje con respecto a las capas no reconciliadas, haga clic en la X para descartarla.

16. Guarda y cierra todos los dibujos.

Puede encontrar una versión completa de la carpeta del proyecto con actualizaciones con el conjunto de datos de este capítulo. La carpeta se llama _North River Crossing.

Mejores prácticas para emplear accesos directos de datos

Cuando las personas primero agregan accesos directos de datos a su flujo de trabajo, a menudo tienen las siguientes preguntas:

Trabajo solo en sitios pequeños solo. ¿Necesito usar atajos de datos? Incluso si trabaja en proyectos pequeños, debe usar accesos directos de datos para hojas de sección transversal.

¿Cómo debo romper mi proyecto? Cada proyecto es diferente, por supuesto, pero usa estas pautas:

Levantamiento y superficie existentes El primer dibujo que cree es generalmente las condiciones existentes. Mantenga los puntos de levantamiento, las figuras y la superficie existente juntos en el primer dibujo. Crear un acceso directo de datos a la

superficie existente. Los puntos no se pueden compartir mediante accesos directos de datos, pero siempre puede usar una consulta de puntos para obtener puntos específicos entre los dibujos si tiene acceso a la base de datos de la encuesta.

Alineaciones y perfiles Mientras se ajusta la superficie existente, puede comenzar a trabajar en el desarrollo de las alineaciones y los perfiles de inmediato. Las alineaciones y los perfiles son bastante ligeros en términos de la cantidad de datos que consumen. Por lo general, puede almacenar todos los datos de alineación y perfil de su proyecto en el mismo archivo DWG.

Corredores Si está trabajando con intersecciones, las alineaciones y los perfiles deben vivir en el dibujo del corredor, ya que la herramienta de intersección debe invalidar las elevaciones en los perfiles secundarios.

Utilice múltiples dibujos de corredores cuando se trate de una gran red de carreteras. De esta forma, varios diseñadores pueden trabajar en diferentes segmentos del proyecto al mismo tiempo. Tenga en cuenta que no debe colocar demasiados datos en un solo archivo; es posible que desee mantener los intercambios y las rotondas en sus propios dibujos. Al final del proceso, los accesos directos de datos le permitirán colocar la superficie propuesta.

Redes de tuberías y redes de presión Las redes de tuberías y redes de tuberías de presión se pueden utilizar con accesos directos de datos. Está bien colocar una red grande en un archivo, pero es posible que desee dividir el tipo de red de tuberías (por ejemplo, una tormenta contra una instalación sanitaria) si diferentes diseñadores trabajan en partes al mismo tiempo. Las comprobaciones de interferencias funcionan entre redes de tuberías por gravedad, incluso si son referencias de datos.

Clasificación del sitio Las superficies hechas de grupos de clasificación como estanques son buenas candidatas para los accesos directos de datos. Lo mismo ocurre con cualquier otro componente del sitio que pueda ser representado por una superficie como una plataforma de construcción, una berma o incluso un estacionamiento.

¿Dónde se almacenan los datos? Los datos para un acceso directo de datos se almacenan en el archivo DWG de origen. El archivo de acceso directo de datos en sí es simplemente un puntero que realiza un seguimiento de los nombres de archivo y las rutas. No se almacenan datos de objetos con el acceso directo de datos.

¿Puedo almacenar mi carpeta de trabajo y la carpeta de acceso directo de datos en una red? ¡Sí! Esta es una excelente manera de trabajar. Puede mantener su carpeta de trabajo, carpeta de acceso directo a datos y dibujos de proyecto en una unidad de red.

¿Qué sucede si necesito compartir los datos del proyecto con otra oficina? Esta pregunta es donde los accesos directos de datos se vuelven un poco difíciles. Cómo manejar múltiples oficinas depende del escenario:

Ejemplo 1 Su oficina de Houston está trabajando en el diseño de la carretera, mientras que la oficina de Chicago está trabajando en la clasificación. Desea un flujo de trabajo remoto y en vivo con sincronización frecuente entre las oficinas. Para este tipo de escenario, Autodesk® Vault Collaboration lo atendería mejor: www.autodesk.com/products/vault-family/overview.

Ejemplo 2 Su oficina de Houston ha completado esta etapa del diseño de la carretera, y la siguiente fase se realizará en la oficina de Chicago. En otras palabras, no es necesario realizar un intercambio de datos en vivo. Puede mover la totalidad de la carpeta de acceso directo de datos del proyecto a la nueva ubicación. También puede usar eTransmit (que se explica más adelante en este capítulo) para asegurarse de que se incluyan todos los dibujos e imágenes adjuntas.

Arreglando Referencias Rotas y Asociaciones de Dibujo

Una referencia rota es bastante fácil de arreglar, pero no podrá continuar trabajando en su diseño hasta que se resuelvan las referencias rotas.

Las acciones que causarán referencias rotas incluyen lo siguiente:

- ❖ Renombrando un archivo fuente
- ❖ Mover un archivo fuente
- ❖ Falta un archivo fuente
- ❖ Renombrando carpetas de proyectos

En el siguiente ejercicio, asociará dibujos que han sido renombrados a un proyecto al que se le ha cambiado el nombre y arreglará las referencias de datos rotos que encuentre. No es necesario haber completado los ejercicios anteriores para continuar.

1. Usando el Explorador de Windows, localice la carpeta llamada `_Broken Reference`. Esto es parte de la descarga de este capítulo en la página web del libro.

2. Copie esta carpeta y su contenido en C: \ Mastering.
3. Abra el archivo 1605_Corridors.dwg, ubicado en C: \ Mastering \ _Broken Reference \ Design.

Este archivo contiene varias referencias que apuntan a archivos que han sido renombrados. Panorama puede aparecer con los mensajes sobre los problemas que encontró.
4. Si está abierta, cierre la ventana de Panorama haciendo clic en la marca de verificación verde.
5. En la pestaña Administrar ➤ Panel de accesos directos de datos, haga clic en Establecer carpeta de trabajo:
 - a. Establezca la carpeta de trabajo en C: \ Mastering. Incluso si esta ya es la carpeta de trabajo actual, la lista de accesos directos de datos se actualizará seleccionando la carpeta nuevamente.
 - b. Haga clic en Aceptar para cerrar.
6. En la pestaña Administrar ➤ Panel de accesos directos de datos, haga clic en Establecer carpeta de accesos directos:
 - a. Seleccione _Broken Reference.
 - b. Haga clic en Aceptar para cerrar.
7. En Prospector, localice la rama Accesos directos a datos y expanda Superficies.

Debido a que se cambió el nombre de la carpeta del proyecto Accesos directos, es necesario reparar los accesos directos del proyecto.
8. Bajo la rama de Accesos directos de datos en el Prospector, haga clic con el botón derecho en Superficie existente y haga clic en Reparar acceso directo roto.
9. En el cuadro de diálogo Elegir el archivo que contiene el objeto al que se hace referencia, vaya a la carpeta 1605_ExistingSurface.dwg en la carpeta C: \ Mastering \ _Broken Reference \ Survey y haga clic en Abrir.
10. En Prospector, expanda la rama Accesos directos de datos ➤ Alineaciones ➤ Alineaciones de línea central.
11. Para ROAD A, haga clic derecho y haga clic en Reparar acceso directo roto.
12. En el cuadro de diálogo Elegir el archivo que contiene el objeto al que se hace referencia, busque el archivo 1605_Alignments-Profiles.dwg en la carpeta C: \ Mastering \ _Broken Reference \ Design y haga clic en Abrir.
13. En el cuadro de diálogo Accesos directos rotos adicionales, haga clic en Reparar todos los accesos directos rotos.

14. Realice una copia de seguridad en la colección de dibujos en Prospector, expanda Alineaciones > Alineaciones de línea central. Verás que al lado de la CARRETERA A hay un aviso chevron.
15. Haga clic derecho en ROAD A y seleccione Reparar referencias rotas, como se muestra en la Figura 16.19.

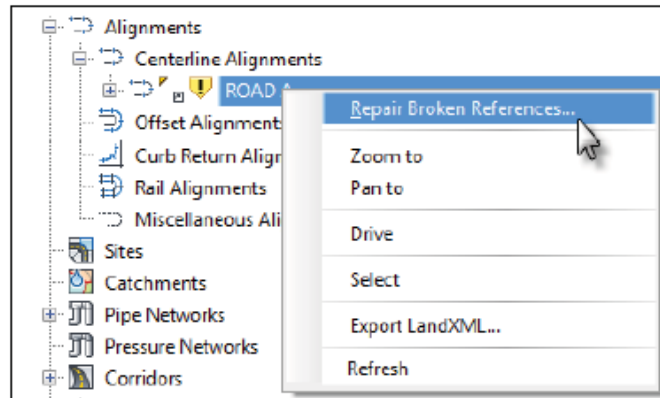


Figura 16.19. Elección de reparación de referencias rotas.

Después de arreglar la primera referencia rota, si existen más referencias rotas, se le pedirá que las arregle en el cuadro de diálogo Referencias rotas adicionales, que se muestra en la Figura 16.20.

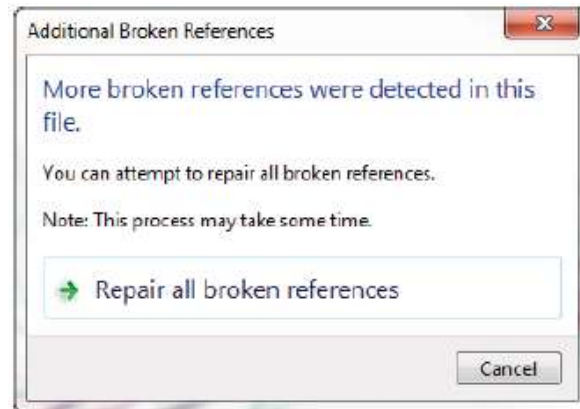


Figura 16.20. El mensaje de referencias rotas adicionales.

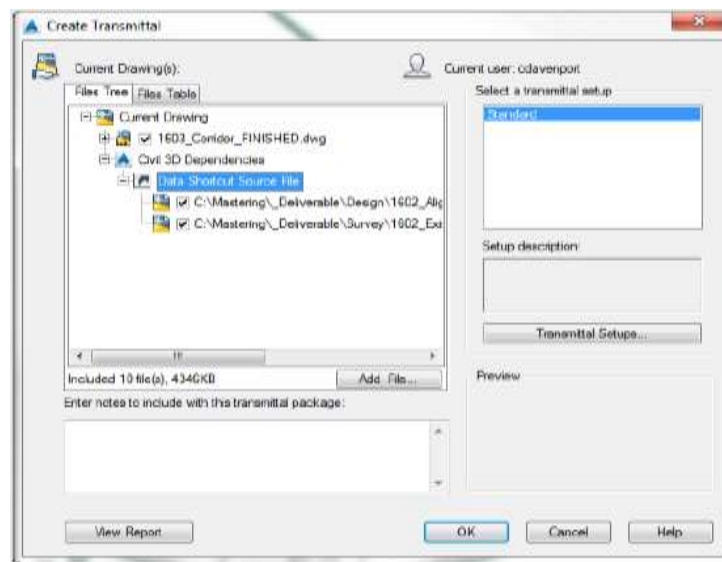
16. Haga clic en Reparar todas las referencias rotas.
17. Cierra el dibujo actual. Puede guardarlo, pero no lo necesitará para ejercicios adicionales.

La capacidad de reparar enlaces rotos ayuda a simplificar un poco la administración de archivos, pero habrá ocasiones en las que necesite cambiar completamente la ruta de acceso directo para apuntar al archivo correcto. Para ello, debe utilizar el Editor de accesos directos de datos.

eTransmit + Data Shortcuts

Si necesita pasar un proyecto a otro diseñador con toda la información que necesitan, use el comando eTransmit.

Para encontrar el comando eTransmit, seleccione el menú de la Aplicación > Publicar > eTransmit. Si un archivo contiene un acceso directo de datos, el comando eTransmit reconocerá el enlace e incluirá los dibujos necesarios. Incluso puede incluir archivos que no sean de AutoCAD, como documentos de Word o Excel, haciendo clic en el botón Agregar archivo.



AutoCAD generará un archivo zip que contiene todos los archivos de referencia externos (incluidas las referencias DWF, DGN, PDF o TIF), las configuraciones de trazado, las imágenes y las plantillas utilizadas en la creación de hojas. Cuando su destinatario descomprime el archivo, se mantienen las conexiones entre los dibujos.

Tenga en cuenta que los archivos de origen del acceso directo de datos no se pueden colocar en su ubicación original.

El editor de accesos directos de datos

Un dibujo de Civil 3D almacena enlaces a la información que utiliza en su base de datos. El Editor de accesos directos de datos se utiliza para actualizar o cambiar el archivo al que apunta un acceso directo. Es posible que desee hacer esto al preparar un entregable.

En el siguiente ejercicio, copiará el proyecto del capítulo actual a otra carpeta y actualizará las rutas de acceso directo de datos con el Editor de accesos directos de datos (el procedimiento es el mismo para las unidades métricas e imperiales):

1. Usando el Explorador de Windows, localice la carpeta llamada `_Deliverable`.
Esto es parte de la descarga de este capítulo en la página web del libro.
2. Copie esta carpeta y su contenido en `C:\Mastering`, como se muestra en la Figura 16.21.

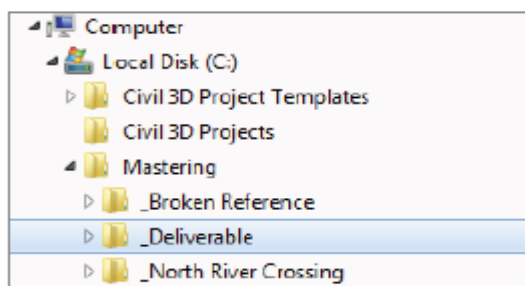


Figura 16.21. Simulando una nueva fase de proyecto copiando el proyecto de ejemplo en una nueva carpeta.

A continuación, abrirá el Editor de accesos directos de datos para corregir las rutas de archivo en la versión `_Deliverable`.

3. En Windows, seleccione Inicio > Todos los programas > Autodesk > Autodesk AutoCAD Civil 3D 2016 - inglés y haga clic en el Editor de accesos directos de datos para cargarlo.
4. Seleccione Archivo > Abrir carpeta de accesos directos de datos para mostrar el cuadro de diálogo Buscar carpeta.
5. Vaya a `C:\Mastering` y, con la carpeta `_Deliverable` resaltada, haga clic en Aceptar.

El Editor de accesos directos de datos debe parecerse a la Figura 16.22.

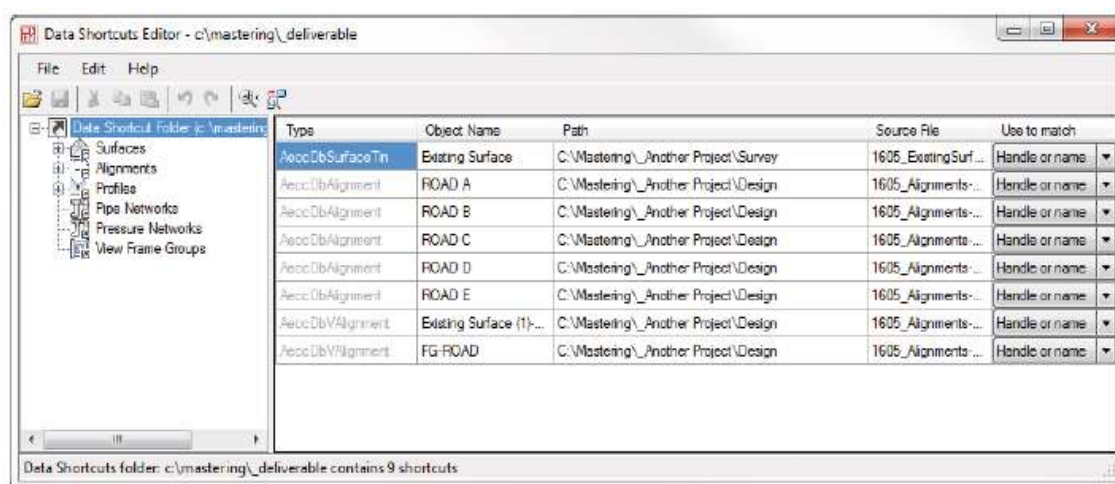


Figura 16.22. Dentro del Editor de accesos directos de datos.

Se deben cambiar varias cosas antes de que comience la nueva fase del proyecto. Algunas de las referencias de datos están buscando el archivo incorrecto.

Observe que la columna Ruta de la tabla aún se refiere a la ruta antigua. Para hacer una ruptura clara con el proyecto anterior para avanzar a la versión enviada, debe cambiar todo esto.

6. Haga clic para colocar el cursor en el campo Ruta de la superficie existente.

7. Elija Buscar y reemplazar.

Desafortunadamente, no hay ninguna opción de búsqueda aquí, pero puede usar las herramientas básicas de Copiar y Pegar de Windows para que esto sea un poco más fácil.

8. Elimine \ Survey del campo Buscar y luego copie la ruta al portapapeles.

9. Pegue la ruta en el campo Reemplazar con.

10. En el campo Reemplazar con, reemplace el texto _ Otro proyecto con _Deliverable, como se muestra en la Figura 16.23.

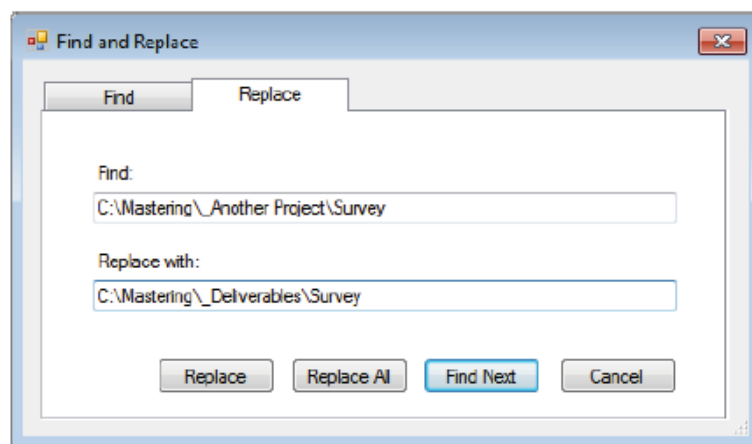


Figura 16.23. Actualizando las rutas al nuevo proyecto.

11. Haga clic en Reemplazar todo.

Sus rutas de acceso directo de datos ahora son correctas (como se muestra en la Figura 16.24) y están listas para más acciones. Haga clic en Cancelar para cerrar la herramienta Buscar y reemplazar.

Object Name	Path
Existing Surface	C:\Mastering_Deliverable\Survey
ROAD A	C:\Mastering_Deliverable\Design
ROAD B	C:\Mastering_Deliverable\Design
ROAD C	C:\Mastering_Deliverable\Design
ROAD D	C:\Mastering_Deliverable\Design
ROAD E	C:\Mastering_Deliverable\Design
Existing Surface (1)-ROAD A	C:\Mastering_Deliverable\Design
FG-ROAD	C:\Mastering_Deliverable\Design

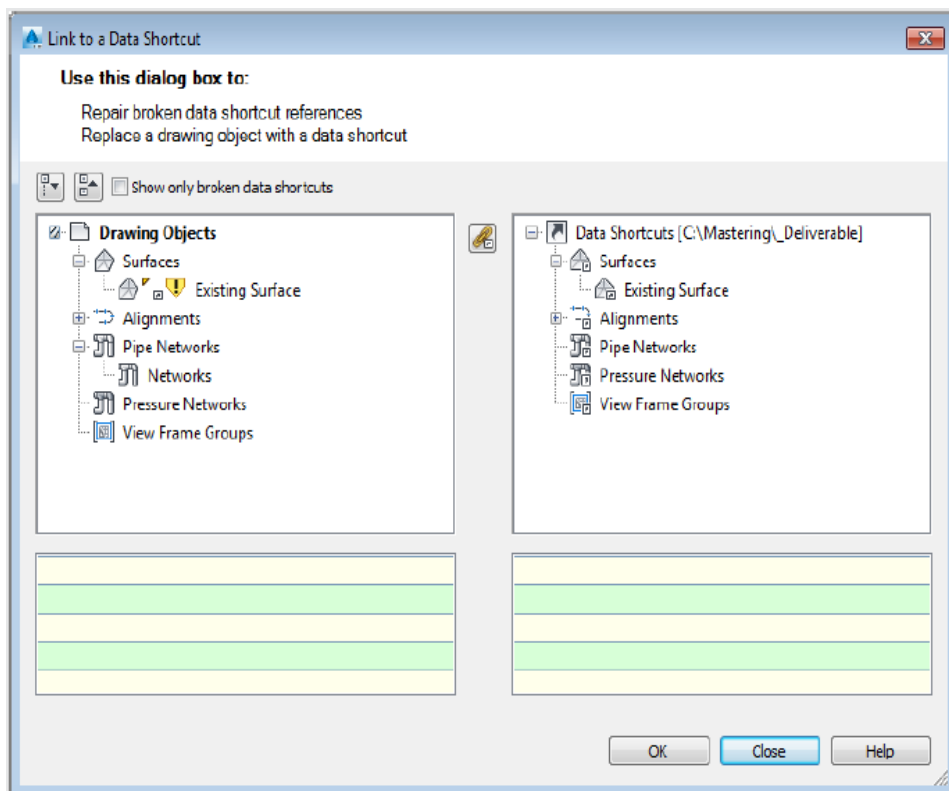
Figura 16.24. Actualizar rutas.

12. Haga clic en Cancelar para cerrar el cuadro de diálogo.
13. Haga clic en el icono Guardar para confirmar sus cambios.
14. Ahora puede cerrar el Editor de accesos directos a datos y volver a Civil 3D.

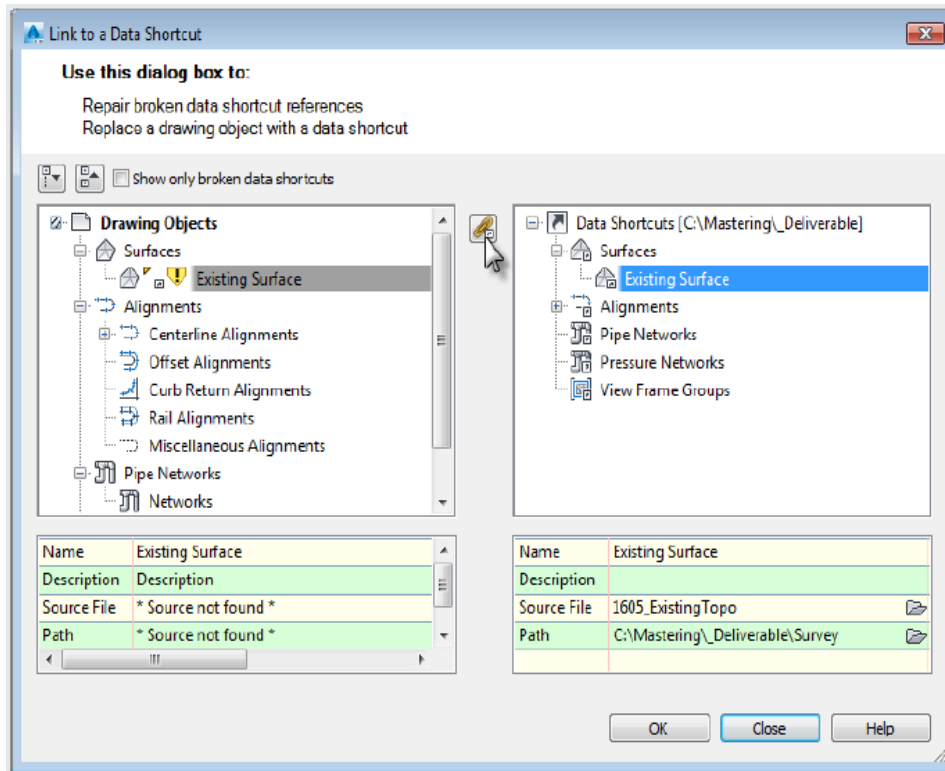
Presentamos la nueva herramienta Administrar accesos directos de datos

Una nueva característica de Civil 3D 2016 es la capacidad de asignar referencias de datos rotas o reasignar objetos de dibujo en un dibujo a accesos directos de datos dentro de una carpeta de proyecto de accesos directos.

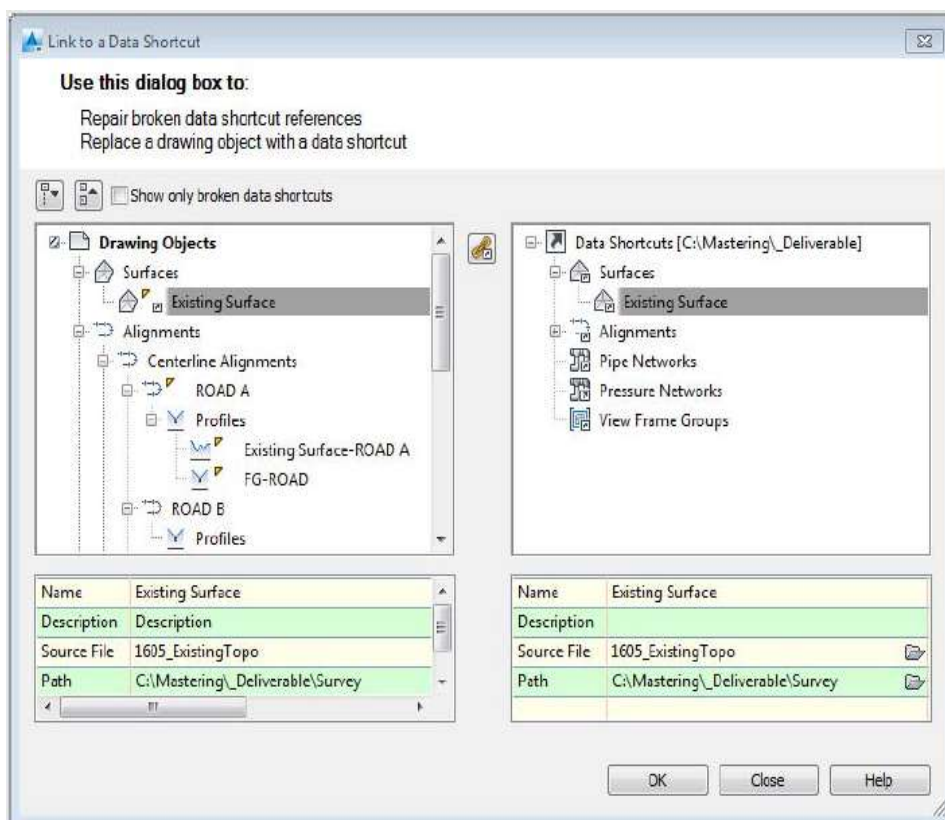
En la pestaña Administrar > Panel de accesos directos de datos, el icono Administrar accesos directos de datos abrirá el cuadro de diálogo Vincular a un acceso directo de datos cuando se haga clic.



Las referencias de datos en el dibujo se muestran en el panel en el lado izquierdo del diálogo. Los accesos directos de datos de la carpeta del proyecto actual se muestran en el panel en el lado derecho del cuadro de diálogo. Los objetos de dibujo se pueden asignar a los accesos directos del proyecto seleccionando el objeto en el panel izquierdo y el acceso directo en el panel derecho y luego haciendo clic en el icono Hacer clic para vincular el objeto seleccionado al acceso directo seleccionado.



Las referencias de datos resueltas o no resueltas se vuelven a correlacionar inmediatamente con el acceso directo seleccionado en el proyecto, como lo indica la información que aparece en la Vista de elementos debajo de cada panel.



16.2. Compartir datos con un mundo no civil 3D

No todo el mundo usa Civil 3D 2016, por lo que necesita saber cómo convertir sus archivos de dibujo y extraer sus datos de diseño para aquellas personas que están usando versiones anteriores de AutoCAD o un software de desarrollo de tierras diferente.

16.2.1. Entrega de formatos DWG

Los archivos creados en Civil 3D 2016 son compatibles con versiones anteriores de Civil 3D 2014. Actualmente, estas son las únicas dos versiones que funcionarán juntas sin perder grandes cantidades de datos. Si bien se dijo que Civil 3D 2014 era compatible con versiones anteriores de Civil 3D 2013, no es aconsejable utilizarlos juntos.

El comando Guardar como puede ser engañoso para los usuarios de Civil 3D. Tenga en cuenta que el comando Guardar como solo funciona en objetos de AutoCAD, como líneas, arcos y círculos, no en objetos de Civil 3D.

Para guardar en una versión de Civil 3D 2012 o anterior, deberá usar el menú de Aplicación > Exportar > Exportar Dibujo Civil 3D. Este es un nuevo comando en Civil 3D 2016. El resultado se exportarán objetos de Civil 3D.

En el siguiente ejercicio, exportará un modelo de corredor Civil 3D 2016 a un formato de archivo de AutoCAD 2010:

1. Abra C:\Mastering\North North Crossing\Design\1603_Corridor.DWG.
Para este ejercicio, debe haber completado el proyecto de método abreviado _Deliverable de datos anteriormente en el capítulo.
2. Desde el menú de la aplicación, haga clic en Exportar > Exportar dibujo civil 3D.
3. En el cuadro de diálogo Exportar dibujo de AutoCAD Civil 3D, haga clic en el botón Exportar configuración.
 - a. En Versión de archivo DWG, seleccione 2010 en el menú desplegable.
 - b. Haga clic en Aceptar para cerrar.

Tenga en cuenta la configuración para el tratamiento de referencias externas.

4. En Archivos para exportar, haga clic en Dibujos seleccionados en la carpeta de origen y seleccione la casilla de verificación junto a Incluir dibujos en subcarpetas.
5. En el lado derecho del cuadro de diálogo en Carpeta de origen, haga clic en el botón de puntos suspensivos junto al campo.
 - a. En el cuadro de diálogo Buscar carpeta, seleccione la carpeta _Deliverable.

- b. Haga clic en Aceptar para cerrar el cuadro de diálogo.
6. En Carpeta de destino, haga clic en el botón de puntos suspensivos junto al campo.
 - a. En el cuadro de diálogo Buscar carpeta, seleccione la carpeta _Deliverable.
 - b. Haga clic en el botón Crear nueva carpeta en la parte inferior del cuadro de diálogo.
 - c. Para el nuevo nombre de la carpeta, escriba 2010 Archivos DWG.
 - d. Haga clic en Aceptar para cerrar el cuadro de diálogo.
7. Desmarque la casilla de verificación junto a Incluir hojas. Dejándolo lleno exportará los diseños como archivos de dibujo separados.

El cuadro de diálogo Exportar dibujo de AutoCAD Civil 3D debe verse como en la figura 16.25.

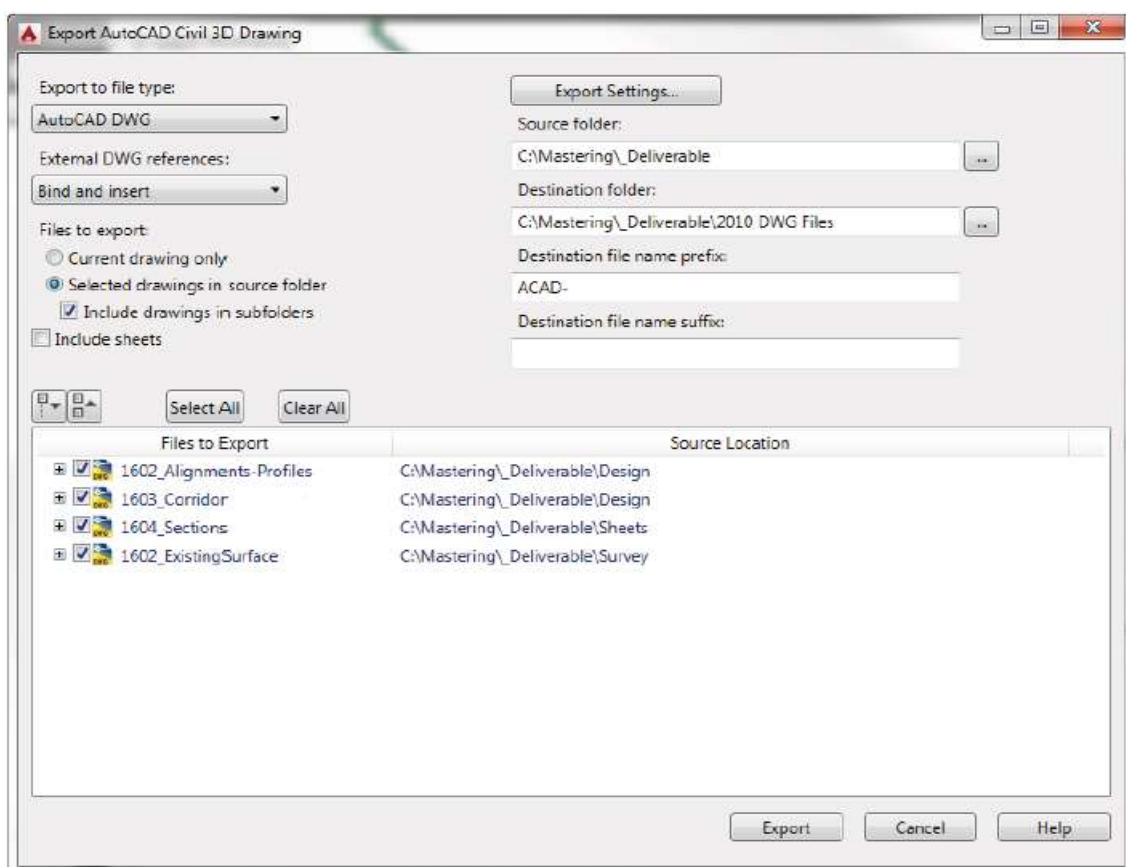


Figura 16.25. Cuadro de diálogo Exportar dibujo de AutoCAD Civil 3D, una nueva función en Civil 3D 2016.

8. Haga clic en Exportar.

La exportación puede tardar unos minutos.
9. Cuando el cuadro de diálogo Estado de exportación muestra 4 de 4 archivos exportados, haga clic en Aceptar para cerrar, aunque la barra de progreso verde aún esté animada.

10. Haga clic en Cancelar para cerrar el diálogo Exportar dibujo de AutoCAD Civil 3D.
11. Abra C: \ Mastering \ _Deliverable \ 2010 DWG Files \ survey \ ACAD-1602_ExistingSurface-Model.dwg (ACAD-602_ExistingSurface_METRIC.dwg si es métrico).
A medida que se abre el archivo, la línea de comando se hará eco Abriendo un archivo de formato de AutoCAD 2010 / LT 2010.
12. Haga clic en un contorno.
Este comando de exportación explotará todos los objetos a las entidades de AutoCAD. El contorno ahora es una polilínea y ha tomado la capa asignada a través del estilo una vez asignado. También fuerza el color, el estilo de línea, el grosor de línea y las propiedades que se anulan en los estilos a las entidades resultantes.
13. Presione Esc para deseleccionar el contorno.
14. Cierra el dibujo sin guardar. No desea actualizar el formato de archivo.
15. Cierra todos los dibujos.

Compare el contenido de su carpeta de Archivos DWG 2010 con el contenido de la carpeta Archivos_FINIADOS DWG 2010, que se puede descargar del sitio web del libro.

16.2.1. Usando LandXML

LandXML no es específico de Civil 3D. Es un formato de archivo que permite a los usuarios compartir datos en un formato no propietario. Puede usar LandXML para archivar proyectos y enviar información a usuarios que no sean de Civil 3D o usuarios de Civil 3D utilizando 2012 o antes.

Un menú desplegable en el cuadro de diálogo Importar LandXML le permite seleccionar la versión de LandXML. Este es el resultado de ese consorcio. El último, a partir de este escrito, es el esquema 1.2. La mayoría de los programas CAD tienen métodos para importar y exportar archivos LandXML, y esta es una forma de superar esa barrera.

Por desgracia, la necesidad de enviar datos a versiones anteriores de Civil 3D no siempre es evitable. En el siguiente ejercicio, verá un ejemplo de lo que debe suceder para forzar a Civil 3D a las versiones anteriores:

1. Abra 1606_LandXML-OUT.dwg (1606_LandXML-OUT_METRIC.dwg), que se puede encontrar en la página web de este libro.
2. Desde la pestaña Salida ➤ Panel de exportación, seleccione Exportar a LandXML.

Se abre el cuadro de diálogo Exportar a LandXML, que se muestra en la Figura 16.26.

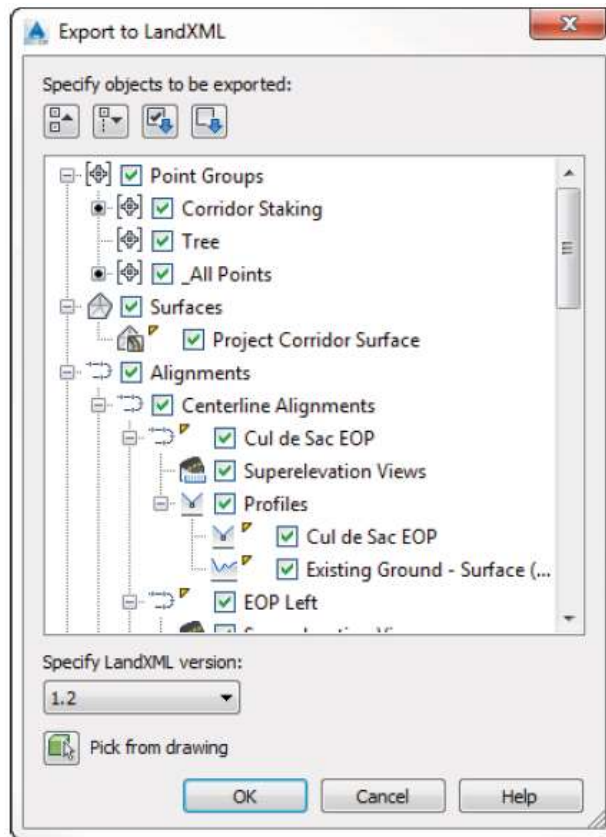


Figura 16.26. El diálogo Exportar a LandXML.

3. Haga clic en Aceptar.
4. En el cuadro de diálogo Exportar a LandXML, busque la misma carpeta que el dibujo de origen.
5. Mantenga el nombre predeterminado (el cuadro de diálogo recogerá el nombre del dibujo que está exportando) y haga clic en Guardar.

Ahora tiene tanto Civil 3D como sea posible empaquetado en el archivo LandXML.

Este archivo contiene lo siguiente:

- ❖ Alineaciones
- ❖ Grupos de puntos y puntos
- ❖ Superficies
- ❖ Perfiles
- ❖ Datos de tubería

Si alguna vez le envían un archivo LandXML, deberá importar el contenido a un archivo creado a partir de su plantilla de Civil 3D.

6. Crea un nuevo dibujo utilizando la plantilla de tu elección.
7. En la pestaña Insertar > Panel Importar, haga clic en LandXML.

8. En el cuadro de diálogo Importar LandXML, busque y seleccione el archivo XML que creó en los pasos 4 y 5; haga clic en Abrir.

La figura 16.27 muestra el diálogo Importar LandXML.

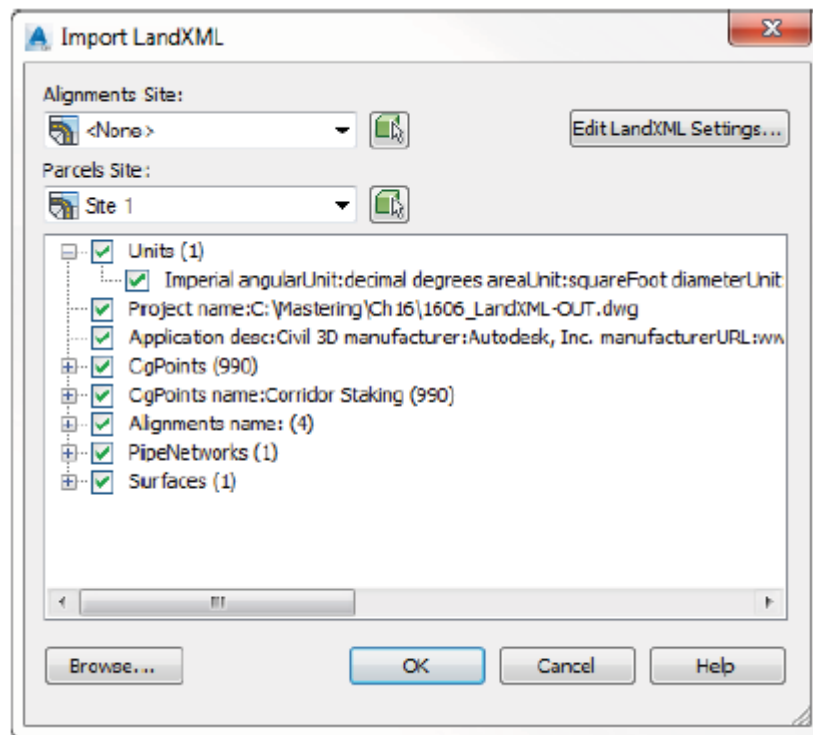


Figura 16.27. Importando datos de LandXML.

9. Haga clic en Aceptar.
10. Descartar Panorama si está abierto.
11. Busque Prospector para los datos que se importó.

En este punto, puede cambiar los estilos y aplicar estilos de etiqueta a ciertos objetos.

12. Guarda y cierra el dibujo.

Puede encontrar versiones completas del archivo resultante después de la importación de LandXML con el conjunto de datos de este libro. Compare su trabajo con `1606_LandXML-IN_FINISHED.dwg` o `1606_LandXML-IN_METRIC_FINISHED.dwg`.

16.3. La línea de fondo

Crear una carpeta de acceso directo de datos. La capacidad de cargar información de diseño en un entorno de proyecto es una parte importante para crear un equipo eficiente. Los principales elementos de diseño del proyecto están disponibles para el mecanismo de acceso directo de datos a través de la carpeta de trabajo y la carpeta de acceso directo de datos.

Dominarlo Utilizando el dibujo MasterIt1601.dwg (MasterIt1601_METRIC.dwg), cree una nueva carpeta de acceso directo de datos llamada MasterIt. Utilice la plantilla de proyecto _Sample Project.

Crear accesos directos de datos. Para permitir que se compartan los datos, se deben hacer accesos directos antes de que la información se pueda usar en otros dibujos.

Dominarlo Continuar trabajando en el dibujo del ejercicio anterior "Master It". Guarde el dibujo en la carpeta Dibujos de origen en el proyecto de Accesos directos de datos maestros que creó en el ejercicio anterior. Cree accesos directos de datos a todos los datos disponibles en el archivo MasterIt1601.dwg (MasterIt1601_METRIC.dwg).

Exportación a versiones anteriores de AutoCAD. Ser capaz de exportar a versiones anteriores de AutoCAD de base a veces es necesario.

Dominarlo Utilizando MasterIt1601.dwg (MasterIt1601_METRIC.dwg), exporte el archivo Civil 3D para que lo pueda usar un usuario que trabaje en AutoCAD 2010 base.

Exportar a LandXML. Ser capaz de trabajar con clientes externos o incluso con otros departamentos dentro de su empresa que no tienen Civil 3D es una parte importante de la colaboración.

Dominarlo Usando MasterIt1601.dwg (MasterIt1601_METRIC.dwg), cree un archivo LandXML con toda la información exportable.