



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA

FACULTAD DE ARQUITECTURA
Campo de Conocimiento Tecnologías

Tesis

**SISTEMAS DE GESTIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN Y MODELO
MATEMÁTICO PARA EL ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DEL PROYECTO.**

Que para optar por el grado de:
MAESTRO EN ARQUITECTURA

Presenta:
Arq. Francisco Everardo Dessens Moreno

Tutor:
Mtro. Francisco Reyna Gómez
Facultad de Arquitectura

Sinodales:
Dr. Fidel Sánchez Bautista
Facultad de arquitectura
Dr. Horacio Olmedo Canchola
Facultad de arquitectura
Dra. Gemma Luz S. Verduzco Chirino
Facultad de arquitectura
Dr. José Alfredo Delgado Guzmán
Facultad de Contaduría y Administración

Ciudad Universitaria, agosto de 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Facultad de Arquitectura



INSTITUTO
DE INVESTIGACIONES
HISTÓRICAS

Instituto de Investigaciones
Históricas



Facultad de Estudios
Superiores de Aragón

DIRECTOR DE TESIS

Mtro. Arq. Francisco Reyna Gómez

SINODALES

Dr. Fidel Sánchez Bautista

Dr. Horacio Olmedo Canchola

Dra. Gemma Luz S. Verduzco Chirino

Dr. José Alfredo Delgado Guzmán

DEDICATORIAS

A Sandra Moreno y Fausto Dessens, a quienes agradezco mi existencia. Son lo más importante en mi vida.

A Francisco, Aracely, Ana y Fausto, por el lugar que ocupan en mi corazón. Por todos los momentos que hemos pasado juntos, han sido los mejores.

A Jorge Orozco, gracias por tu apoyo constante, porque día con día me recordaste la importancia de esta investigación.

EN MEMORIA



Mtro. Antonio Coyoc Campos

Todo proyecto llega a su fin, usted cumplió con el suyo. Los tiempos de Dios son perfectos, le agradezco por confiar en mí. De no ser por su apoyo esto no hubiera sido posible.

Maestro Coyoc, su experiencia es un ejemplo de que el trabajo arduo provee de las herramientas necesarias para transformar al mundo. Su dedicación y pasión marcaron en mí el sentido de la calidad profesional del ser humano que soy. Aún recuerdo el primer día, recuerdo el día que lo conocí. Jamás olvidaré sus palabras: ¡Yo te voy a apoyar, siempre te voy a apoyar, cuenta conmigo, porque esa vitalidad que representas es lo que necesitamos! Esa frase retumba siempre en mi cabeza y me impulsa constantemente a ser mejor persona, mejor mexicano. Me enseñó la “visión general” no solo para aplicarla en la gerencia de proyectos sino para todo en la vida. Su ejemplo radica en mí y mi convicción hará de eso su legado.

Siempre tendré presente la fuerza y vitalidad que lo caracterizan, al que alguna vez, con respeto y admiración, llamé “Apá” no sin antes ser correspondido por un “Mijo” le digo que donde quiera que se encuentre, siempre tendrá aquí alguien que lo estima y lo aprecia. Gracias, maestro, gracias por todo.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por ser una institución que me llena de orgullo. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo que brinda a los investigadores.

Al Maestro Francisco Reyna Gómez por retomar la dirección de lo que alguna vez impulsó el maestro Coyoc.

A mis tutores por brindar parte de su tiempo a la culminación de esta investigación. Dr. Fidel, Dr. Horacio, Dra. Gemma y Dr. José Alfredo, gracias por nutrir esta investigación con sus experiencias y conocimientos.

Al Mtro. Arturo Valeriano Flores, sigue así, gracias por tu convicción y entrega al servicio de la academia. Eres un gran maestro. Gracias por tu apoyo.

A Martín Badillo y Gerardo Rodríguez, por encaminarme y apoyarme para luchar por mis ideales. El trabajo es la parte de nuestras vidas que nos permite ayudar a la sociedad.

RESUMEN

El Integrated Project Delivery (IPD) o Desarrollo de Proyectos Integrales (DPI) es un nuevo sistema para la gestión de proyectos en la industria de la construcción. Sus procesos se fundamentan en la creación de nuevos roles en el sistema de gestión. Es mediante la formación de las figuras conocidas como “Participantes Claves”, estos se involucran de forma temprana en la línea de tiempo del proyecto.

Este sistema de gestión promueve la creación de nuevos procesos que favorecen un ambiente de integración y colaboración optimizado por las nuevas herramientas como lo son los softwares del Building Information Modelling (BIM).

Conforme se demuestran los beneficios de este sistema, incrementa el número de empresas y organizaciones que lo utilizan. Desde el año 2007 el American Institute of Architects (AIA) ha realizado diversas prácticas y publicaciones que buscan dar a conocer y difundir los conceptos y principios relacionados con este nuevo sistema de gestión de proyectos en la industria de la construcción.

Debido a la reciente creación de este sistema, tanto aspectos filosóficos como metodológicos aun requieren ser estudiados y establecidos. En México no existen estudios que muestren de forma estadísticas aspectos del desempeño de los proyectos de construcción en relación con el sistema de gestión utilizado en ellos. Por ejemplo, proyectos gestionados de forma tradicional o a través de procesos integrales.

En la investigación se analiza comportamiento de 10 proyectos de construcción según 8 áreas de desempeño, establecidas en base a la revisión de la literatura. Las áreas de desempeño consideradas son: costo, tiempo, calidad, comunicación, seguridad, programación, gestión del cambio y ambiente laboral. Se realiza un contraste de resultados estadísticos de proyectos gestionados de forma integral en comparación con aquellos realizados de la forma tradicional.

Los proyectos tradicionales son aquellos ejecutados a través de sistemas segregados como lo son los que se realizan a través de procesos de diseño, posteriormente licitación y por último construcción (DLC). En cambio, los proyectos integrados se gestionan a través de procesos IPD o mediante sistemas con un alto grado de integración como lo son los que se desarrollan a través del diseño-construcción (DC).

Los datos estadísticos de la investigación se fundamentan y comprueban a través de análisis de múltiples variables en los cuales se relacionan elementos que intervienen en cada una de las áreas de rendimiento según el sistema de gestión. También se retoma y adapta la herramienta conocida como Passer Rating, desarrollada primeramente por la National Football League y posteriormente optimizado con la creación del modelo matemático para el análisis de proyectos IPD, por El Asmar, Mounir.

La creación del nuevo modelo matemático permite determinar con un solo número el nivel de desempeño del proyecto constructivo y realizar comparaciones más efectivas. Se utiliza el Análisis de Componentes Principales (ACP) para validar el modelo. Los resultados muestran la existencia de mejoras significativas en parámetros de productividad según el tipo de gestión de proyecto. Son el punto de partida para la creación de estrategias para la implementación del IPD en nuestro país.

Se establecen las características esenciales para la gestión de proyectos IPD como una medida para incrementar la productividad en la industria de la construcción.

Entre las mejoras a los procesos de gestión integral se encuentra la creación de incentivos, normada mediante contratos, la aplicación del BIM como parte de la gestión del cambio y el análisis de la comunicación como parte de los procesos en la estructura orgánica de las empresas constructivas.

El aspecto más importante es cambiar paradigmas con respecto a la integración de los participantes claves en la búsqueda de mayores beneficios y mitigación de riesgos, lo cual se traduce en el incremento del valor del proyecto para los desarrolladores.

ÍNDICE

Introducción	3
Objetivos	7
Hipótesis	9
Método	9
Organización de la tesis	23
1. MARCO TEÓRICO	29
Sistemas para la gestión de proyectos en la construcción	29
Definiciones y conceptos	36
Situación actual de la gestión de proyectos	46
Integrated Project Delivery (IPD)	56
Colaboración en el equipo principal de un IPD	61
Características de los sistemas de gestión integrales y tradicionales	62
Beneficios de la gestión de proyectos integrales	67
Principios de la gestión IPD	75
Estudios previos	77
Etapas y procesos según el sistema de gestión	78
2. ESTADO DEL ARTE	83
VARIABLES Y MÉTRICOS DE DESEMPEÑO	83
Variables independientes y de control	94
Combinación de variables	95
Métricos de rendimiento	101
Estructuración de variables	103
Codificación de variables	107
Conclusiones del apartado	112
3. ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO SEGÚN EL SISTEMA DE GESTIÓN DEL PROYECTO	115
Significancia estadística	115
Resultados de los análisis univariados según el sistema de gestión	116
Análisis en el desempeño del Costo	116
Análisis en el desempeño de la Calidad	122
Análisis en el desempeño de la Programación	128
Análisis en el desempeño de la Seguridad	132
Análisis en el desempeño de la Gestión del Cambio	136
Análisis en el desempeño de la Comunicación	141
Análisis en el desempeño del Retorno del Negocio	145
Síntesis de los resultados en los análisis univariados	148
Conclusiones del apartado	151

4. CREACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO “INDICADOR INTEGRAL DEL DESEMPEÑO”	155
Formulación matemática y estandarización de datos	155
Ecuación del Indicador Integral del Desempeño (IID)	159
IID parte 1/7; Retorno del Negocio	161
IID parte 2/7; Seguridad	162
IID parte 3/7; Programa	164
IID parte 4/7; Costo	165
IID parte 5/7; Calidad	166
IID parte 6/7; Beneficios	167
IID parte 7/7; Gestión del Cambio y Comunicación	168
Validación de la Ecuación IID a través del ACP	170
CONCLUSIONES	179
Métodos de Investigación	179
Resultados y Aportaciones	179
Limitaciones y Barreras para la implementación del IPD	180
Investigaciones Futuras	180
Consideraciones Finales	181
BIBLIOGRAFÍA	183
ANEXOS	189

LISTA DE DIAGRAMAS

Diagrama 1 Factores que determinan el éxito del proyecto	89
Diagrama 2 Pasos básicos para el proceso de análisis del desempeño.....	91
Diagrama 3 Esquema de las cinco transiciones de cambio de paradigma de desempeño.....	92
Diagrama 4 Análisis del desempeño productivo, basado en el "Triple Fondo".....	97
Diagrama 5 Estructura general para el análisis del sistema de gestión del proyecto.	103
Diagrama 6 Estructura para el análisis de la transparencia de procesos.	104
Diagrama 7 Análisis de la experiencia de los desarrolladores.	105
Diagrama 8 Experiencia de los desarrolladores con el tipo y tamaño del proyecto.....	105
Diagrama 9 Costo Unitario de Construcción según el sistema de gestión.....	118
Diagrama 10 Incremento del Costo de Construcción.....	119
Diagrama 11 Análisis de los Componentes Principales; Costo.....	119
Diagrama 12 Análisis de la Calidad General de los Sistemas Constructivos.	123
Diagrama 13 Análisis de las deficiencias en el proyecto.....	124
Diagrama 14 Cantidad de elementos en las listas de chequeo por millón de pesos.	125
Diagrama 15 Costo de las Garantías.....	125
Diagrama 16 Costo de los Defectos Latentes.	126
Diagrama 17 Velocidad de Construcción según el sistema de gestión del proyecto.	129
Diagrama 18 Velocidad de Entrega del Proyecto.	130
Diagrama 19 Incremento del Programa en los sistemas de gestión.	130
Diagrama 20 Cantidad de Incidencias ante el IMSS.....	132
Diagrama 21 Tiempo perdido por incapacidades.	133
Diagrama 22 Cantidad de Incidencias por Millón de pesos.....	134
Diagrama 23 Tiempo perdido por Incapacidades por Millón de pesos.	135
Diagrama 24 Porcentaje Global de Cambios.	136
Diagrama 25 Cambios por Diseño Deficiente.....	137
Diagrama 26 Cambios ocasionados por Programación inadecuada.	138
Diagrama 27 Tiempo de Procesamiento de Ordenes de Cambio.....	139
Diagrama 28 Solicitudes de Información por millón de pesos.	141
Diagrama 29 Tiempo de Procesamiento de Solicitudes de Información.	143
Diagrama 30 Porcentaje de retrabajos según el sistema de gestión.....	144
Diagrama 31 Comparación de Utilidad y Ganancias según el Sistema de Gestión.....	146
Diagrama 32 Retorno del Negocio según el sistema de gestión.	147
Diagrama 33 Organización del Indicador Integral del Desempeño.....	156

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1 PC1c, Componentes Principales del Costo.....	121
Ecuación 2 Formulación matemática del PQR.....	156
Ecuación 3 IID Preliminar.	160
Ecuación 4 Indicador Integral del Desempeño, factores de área simplificados.	160
Ecuación 5 IID; Retorno del Negocio.....	162
Ecuación 6 IID; Seguridad.	163

Ecuación 7 IID; Programa.....	164
Ecuación 8 IID; Costo.....	165
Ecuación 9 IID; Calidad.....	166
Ecuación 10 IID; Beneficios.....	168
Ecuación 11 IID; Gestión del Cambio y Comunicación.....	170

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Productividad en industrias fijas y en la industria de la construcción.....	47
Gráfica 2 Actividades de la jornada laboral en construcción.....	51
Gráfica 3 Validación IID.....	175

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Principios del Integrated Project Delivery.....	5
Ilustración 2 Modelos de gestión IPD basados en 5D.....	35
Ilustración 3 Comparación de procesos tradicionales y procesos IPD.....	37
Ilustración 4 Diseño requerido para el involucramiento de participantes.....	43
Ilustración 5 Niveles de colaboración necesarios en los sistemas de gestión.....	58
Ilustración 6 Modelo de evaluación en la Industria de la Construcción.....	86
Ilustración 7 Impacto del IPD en los procesos, tecnologías y personas.....	87

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Proceso general de la investigación.....	10
Tabla 2 Síntesis de las variables dependientes, independientes y de control.....	14
Tabla 3 Ejemplo de cálculo de variables cuantitativas.....	17
Tabla 4 Estructura general de la Herramienta de Recolección de Datos.....	19
Tabla 5 Diferencias generales entre los sistemas de gestión.....	63
Tabla 6 Características de los sistemas de gestión.....	65
Tabla 7 Características de los sistemas de gestión tradicionales.....	70
Tabla 8 Características de sistemas con determinado grado de integración.....	71
Tabla 9 Características de sistemas de gestión integral; IPD.....	72
Tabla 10 Características de los componentes de los sistemas de gestión.....	73
Tabla 11 Análisis de factores de rendimiento en proyectos integrales.....	84
Tabla 12 Métricos de rendimiento por autor.....	93
Tabla 13 Relación de variables independientes y de control.....	94
Tabla 14 Características de los sistemas de gestión; acuerdos.....	98
Tabla 15 Características de los sistemas de gestión; términos.....	98

GESTIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Modelo matemático para el análisis del desempeño del proyecto

Tabla 16 Características de los sistemas de gestión; herramientas.....	99
Tabla 17 Información general del proyecto.....	100
Tabla 18 Métricos de rendimiento según el área de desempeño.	101
Tabla 19 Hipótesis y significancia estadística en el análisis del costo.....	121
Tabla 20 Pruebas e Hipótesis para el análisis del desempeño de la Calidad.	127
Tabla 21 Hipótesis y pruebas para el análisis de la Programación.....	131
Tabla 22 Hipótesis y pruebas de la Seguridad.....	135
Tabla 23 Pruebas e Hipótesis para la Gestión del Cambio.	139
Tabla 24 Hipótesis y pruebas MWW para el análisis de la Comunicación.....	144
Tabla 25 Pruebas e hipótesis para el análisis del Retorno del Negocio.	147
Tabla 26 Comparación de los Resultados del Análisis de Factores Univariados.	148
Tabla 27 Síntesis de las pruebas univariadas de los sistemas de gestión.....	149
Tabla 28 Síntesis final de los métricos de rendimiento.....	151
Tabla 29 Porcentajes de ponderación de áreas de desempeño.....	159
Tabla 30 Análisis de los Componentes Principales.....	171
Tabla 31 Coeficientes de los Componentes Principales.	172
Tabla 32 Normal de los Datos del ACP Estandarizados.	173
Tabla 33 Puntajes IID escalados de los proyectos.	173
Tabla 34 Comparación de los puntajes IID y Normal del ACP escalados.	174

INTRODUCCIÓN

GESTIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Modelo matemático para el análisis del desempeño del proyecto

INTRODUCCIÓN

La Industria de la Construcción, durante décadas pasadas, ha estado en búsqueda de sistemas de gestión efectivos para los proyectos con el objetivo de incrementar el rendimiento y reducir los desperdicios.¹

El Integrated Project Delivery (IPD) o Desarrollo de Proyectos Integrales (DPI) es un nuevo sistema relacionado con la gestión de proyectos en la industria de la construcción.

Existen lineamientos y guías propuestos por el *American Institute of Architects* (AIA) donde se establece que el IPD es un sistema que integra personas, sistemas, estructuras y prácticas empresariales en un proceso que aprovecha de forma colaborativa los talentos y percepciones de los participantes. Lo anterior, con el objetivo de incrementar el valor del proyecto, reducir los desperdicios y en general maximizar la eficiencia de la productividad a lo largo de todas las etapas de un proyecto de construcción.²

La idea de realizar procesos y diseños integrales no es nueva, sin embargo, los esfuerzos por implementarla específicamente a la construcción fueron pocos y se vieron limitados por aspectos sociales y tecnológicos.

En 1962 un reporte inglés citado por Murray y Longford se estableció que “*en ninguna otra industria se encontraba tan segregado el concepto del diseño en relación con la responsabilidad de construcción*”.³

Lo anterior en gran medida por las características de la industria de la construcción específicas como lo es tener una industria móvil y un producto fijo. Se considera industria móvil porque los insumos, materiales y herramientas se mueven a donde se construirá el proyecto. El producto es fijo en relación con que la obra permanecerá en el lugar donde realiza.

¹ **Ibbs, W., Kwak, Y. H., & Odabasi, A. M.** (2003). Project Delivery Systems and Project Change: Quantitative Analysis. *Journal of Construction Engineering and Management*, 382-387, pp. 382.

² **American Institute of Architects,** (2007). *Integrated Project Delivery, A Guide*. California:AIA, pp. 02.

³ **Murray, M., & Langford, D.** (2003). Survey of Problems Before the Construction Industry: A Report Prepared by Sir Harold Emmerson (1962). *Construction Reports*, 39-54. doi:10.1002/9780470758526.ch4, pp. 41.

Los procesos IPD se desarrollan a partir de los principios LEAN que originalmente fueron utilizados por Toyota.

El sistema de producción de Toyota es el enfoque único de esa marca para la fabricación. “Es la base de gran parte del movimiento de producción en serie que ha dominado las tendencias de fabricación (junto con Six Sigma) durante los últimos 10 años”.⁴

Los procedimientos establecidos por Toyota en relación con la producción cambiaron los métodos de planeación, construcción y operación de los grandes proyectos de construcción.⁵

Los proyectos gestionados a través de procesos LEAN surgieron a partir de los noventa.⁶ Por tal motivo se considera que los proyectos IPD surgen posteriores a estos elementos. El primer registro oficial que existe sobre el concepto del IPD como tal es el desarrollado y propuesto por el American Institute of Architects en *Integrated Project Delivery, A Guide* en el año 2007.

Debido a la reciente creación de los métodos y procedimientos IPD, existe poca información en el país sobre el tema, la investigación representa el esfuerzo por difundir y establecer los aspectos generales de un IPD de acuerdo con las características de los métodos y procesos de gestión en México.

Según el AIA, un sistema integral para la gestión de proyectos está basado en la colaboración, la cual, con el avance de las etapas en el proyecto, se convierte en confianza. A su vez la confianza genera compromisos en donde los participantes del proyecto alinean sus objetivos con los del proyecto, favoreciendo un ambiente de integración y colaboración.⁷

⁴ **Liker, J.** (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill. Recuperado el 10 de 05 de 2018, pp. 16.

⁵ **Tradeline.** (2017). Lean Management is a Game-Chenger for Facility Design and Construction. *Tradeline*, 1, pp. 01.

⁶ **Mossmo, A., Ballard, G., & Pasquire, C.** (2010). Lean Project Delivery - Innovation in Integrated Design and Delivery. *Research Gate*, 25. Recuperado el 10 de 05 de 2018, de <https://www.dropbox.com/s/jp6cxbt6c2813al/Mossmo-Ballard-Pasquire-2010-LPD--innovation-in-integrated-design-and-delivery-draft110214.pdf>

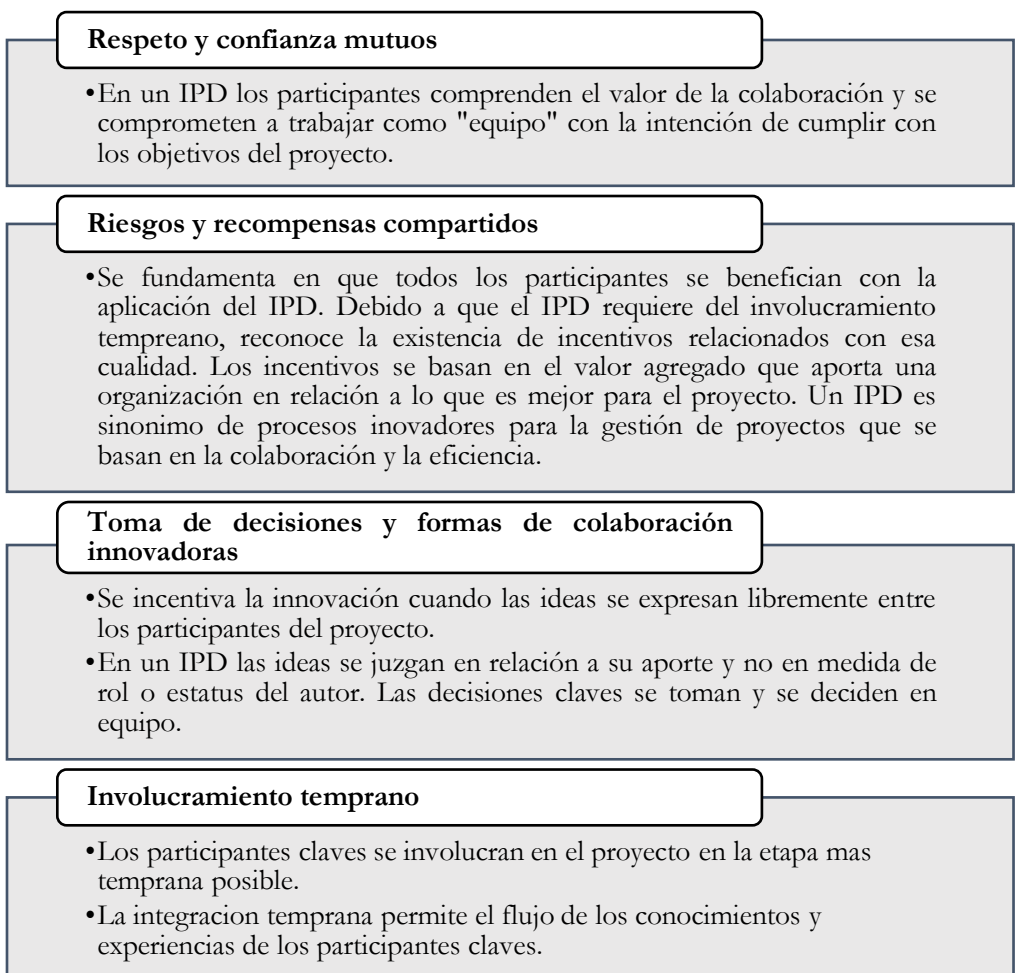
⁷ **American Institute of Architects,** (2007). *Integrated Project Delivery, A Guide*. California:AIA, pp. 05.

Si no se logra lo establecido en el párrafo anterior, seguirán existiendo en el proyecto los elementos que constantemente entorpecen los procesos en la gestión del proyecto.

Se crean elementos que actúan en detrimento de la calidad y valor del proyecto como lo son las relaciones adversas o antagónicas que son muy comunes en la Industria de la Construcción (IC).

Claro ejemplo es la “rivalidad” existente entre los ingenieros civiles y los arquitectos o la visión de Ganar-Perder, donde solo importa que el individuo en cuestión cumpla con sus objetivos sin importar los demás participantes o el éxito del proyecto.

Ilustración 1 Principios del Integrated Project Delivery según el American Institute of Architects.



Definición de metas y objetivos

- Las metas y objetivos son definidos en etapas tempranas, en acuerdo y aceptación por los participantes.

Planificación exhaustiva

- IPD reconoce que la planeación intensa incrementa la eficiencia y reduce desperdicios en etapas posteriores del proyecto. El involucramiento temprano no está enfocado a reducir el esfuerzo durante el diseño, sino a incrementar los resultados del mismo a través de la simplificación y acortando periodos del proyecto más costosos como lo es el de construcción.

Comunicación abierta

- La eficiencia y ahorros durante las etapas del proyecto, están basados en una comunicación abierta, directa y honesta entre los participantes del proyecto.
- Las responsabilidades están claramente definidas en una cultura enfocada a encontrar soluciones a los problemas y no culpables. Se reconoce la existencia de conflictos los cuales deben ser resueltos con celeridad.

Uso apropiado de la tecnología

- Las herramientas tecnológicas por utilizar en el proyecto se definen en etapas tempranas para maximizar sus funcionalidad e interoperabilidad. Intercambio de datos de forma abierta con la intención de transparentar procesos y estructuras. Procesos de comunicación abiertos, requieren tecnología abierta.

Para que se logren los objetivos de un IPD se requiere que los participantes se comprometan a cumplir diversos principios, según la **Ilustración 1**.

Para la investigación son de suma importancia las publicaciones relacionadas con la gestión de proyectos y del IPD, elaboradas por organizaciones e instituciones como lo es propiamente el American Institute of Architects y las de Journal of Construction Engineering and Management (JCEM) y el Lean Construction Management (LCM).

En general sirven como punto de partida para establecer definiciones, conceptos y otros aspectos relacionados con el desempeño y análisis de la productividad en proyectos de construcción.

Se realiza un análisis de los métricos de rendimiento como referencia para obtener estrategias y consideraciones para la aplicación e implementación de los métodos y procesos IPD.

Por lo tanto, se considera al IPD como un proceso integral, en el cual los participantes claves intervienen de forma temprana en la línea de tiempo del proyecto con el objetivo de reducir riesgos, incrementar recompensas para todos los participantes del proyecto para incrementar la productividad en los proyectos de construcción.

Con respecto a la estructuración del documento, de forma general se establece que para facilitar la comprensión y asimilación del tema se crea el apartado de definiciones y conceptos.

Se define de forma específica lo que es un proyecto IPD, su comparación con sistemas de gestión tradicionales. Se realiza un análisis de la problemática actual y se establece el método rector de la investigación.

OBJETIVOS

El objetivo general consiste en desarrollar un modelo matemático que permita analizar el desempeño de los proyectos en la industria de la construcción. Que sus resultados sirvan como referencia para establecer estrategias para la selección del sistema de gestión del proyecto.

Lo anterior mediante la adaptación, adopción y aplicación de la formulación matemática conocida como *Project Quarterback Rating (PQR)*, para tener un indicador que muestre como un solo número el nivel de desempeño en el proyecto y así obtener comparaciones entre los indicadores del nuevo Indicador Integral del Desempeño (IID, Doble I - D).

Permitirá obtener estrategias y conclusiones con respecto a cada uno de esos indicadores según el sistema de gestión aplicado en el proyecto ya ejecutado.

Los objetivos particulares consisten en determinar métricos de rendimiento para un análisis confiable de los datos. Elaborar una herramienta de recolección de datos, en base a las consideraciones que permitan analizar los niveles de rendimiento en la gestión de los proyectos constructivos.

Realizar un análisis comparativo de las múltiples variables existentes según el área de desempeño (análisis de factores).

Aspectos productivos y de rendimiento en el IPD se deben comparar con los resultados de proyectos más tradicionales, para obtener consideraciones y estrategias. Lo anterior, para aplicarse en actividades futuras en la gestión de proyectos con un enfoque integral.

Métricos de rendimiento

Entre los objetivos particulares se encuentra el determinar los métricos analizar para obtener datos indispensables y que reflejen la situación de la construcción en el país.

Los métricos de rendimiento funcionan como elemento de control para la elaboración de análisis multivariados según el sistema de gestión del proyecto.

Por ejemplo, el métrico del costo se analizará de acuerdo con el sistema de gestión del proyecto, ya sea integrado o tradicional. Entre los métricos por analizar se encuentran tiempo, costo, calidad, seguridad, cambio programación y trabajo.

Herramienta de Recolección de Datos y creación del IID

La Herramienta de Recolección de Datos (HRD) se relaciona ampliamente con la selección de los métricos de rendimiento. Estos últimos fueron la base para desarrollar las preguntas idóneas para recolectar datos.

El Indicador Integral de Desempeño, se crea como una herramienta para contrastar los resultados expuestos por los análisis univariados y lograr obtener conclusiones o estrategias con respecto al funcionamiento de los proyectos de construcción.

Se busca crear un marco de análisis a través de los métricos de rendimiento, comparaciones de análisis univariados y del nivel del desempeño.

El **objetivo principal** es desarrollar un modelo matemático que permita realizar un análisis del desempeño de proyectos en la industria de la construcción.

Los **objetivos particulares** consisten en determinar las áreas de rendimiento, elaborar la herramienta de recolección de datos, realizar entrevistas para obtener datos, realizar análisis univariados para contrastar los resultados según el sistema de gestión y correlacionar las diferentes variables de la investigación.

HIPÓTESIS

A través de la filosofía y la literatura del IPD en contraste con un análisis de métricos de rendimiento del proyecto como lo son el costo, la calidad, la comunicación, la programación, el trabajo, la seguridad y el negocio, se obtendrán resultados que permitan desarrollar un modelo matemático para el análisis del desempeño de los proyectos en la industria de la construcción.

MÉTODO

En este apartado se establecen los procesos y procedimientos a través de los cuales se llevó a cabo la investigación. Permite determinar de forma específica las características de la investigación, además en apartados posteriores se explican mayores detalles.

Estructura general de la investigación

En el mundo contemporáneo la integración a través de los medios digitales juega un papel fundamental en los resultados finales de los proyectos de construcción. La hipótesis parte de la premisa de demostrar que los proyectos gestionados utilizando IPD, es decir aquellos con un enfoque integral, tienen mejores niveles en los indicadores de productividad.

GESTIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Modelo matemático para el análisis del desempeño del proyecto

Se ha determinado que las áreas de rendimiento por analizar son el costo, el tiempo, la calidad, la comunicación, la programación, el trabajo, la seguridad y el retorno del negocio. Esos indicadores se analizan a través de los datos recolectados por el cuestionario desarrollado para dicho fin. Las entrevistas se realizan a líderes de proyecto, es decir, a los propietarios, a los gerentes y a los contratistas principales.

Para determinar el nivel de desempeño obtenido en el proyecto se utiliza el IID (Doble I D) (se analizan los resultados en el capítulo correspondiente).

El modelo permite obtener con un solo número el nivel de desempeño obtenido por un proyecto de construcción.

El IID permite realizar comparaciones en cada una de las áreas de rendimiento analizadas en la presente investigación. Establecer conclusiones en base a este análisis estadístico para obtener conclusiones útiles y con el grado de veracidad adecuado.

Tabla 1 Proceso general de la investigación.

BLOQUE A	Literatura del rendimiento de proyecto (A1)
	Literatura de DPI (A1)
	Literatura de los sistemas de gestión (A1)
BLOQUE B	Desarrollo de la Herramienta de Recolección de Datos (B1)
	Prueba piloto (B2)
	Recolección de Datos (B3)
BLOQUE C	Análisis univariado de los datos (C1)
	Análisis del PQR, creación del IID (C2)
	Conclusiones(C3)

Tal como se mencionó con anterioridad, el objetivo principal es determinar las estrategias que permitan aplicar el método del IPD en la gestión de proyectos en el país, que responda a un análisis real de la productividad y de las características que tienen las empresas de construcción y gestión del proyecto en el país.

Una investigación de tipo descriptiva se puede basar en tres etapas. Se estructura de acuerdo con tres grandes bloques; análisis de la literatura, planteamiento del método y análisis de los datos.

Tal como se muestra en la **Tabla 1** en el bloque A se engloban actividades preliminares a la experimentación como lo son el análisis de la literatura, el establecimiento de objetivos y de las variables a investigar. Consiste en la revisión de la literatura, la cual se divide en varios grupos; conceptos relacionados al IPD, desempeño productivo de los proyectos constructivos y los sistemas de gestión de proyectos.

El paso A1 tiene por objetivo mostrar el estado actual del conocimiento relacionado con el IPD, el paso A2 busca identificar las variables clave a ser analizadas para responder a las preguntas de investigación. El bloque B se compone de actividades como la elaboración de la herramienta de recolección de datos, la prueba piloto y la recolección de datos.

El tercer bloque (C) consiste en la correlación de las variables, la implementación del PQR y el análisis de los datos y resultados para establecer las estrategias para implementar el IPD en la gestión de proyectos en nuestro país.

La **Tabla 1** muestra de forma general el proceso de investigación aplicado en este proyecto, lo cual permite tener una revisión de la literatura con fundamento científico y permite la creación de un estado del arte objetivo, tal como se explica a continuación.

El bloque A consiste en establecer los fundamentos necesarios relacionados con la filosofía del IPD y la gestión de proyectos como una actividad administrativa en los proyectos de la Industria de la Construcción.

La revisión de la literatura permitió establecer los métricos de referencia para el desempeño de la productividad en los proyectos. El bloque B es un aspecto fundamental de la investigación puesto permite obtener datos en relación con el desempeño productivo.

Se divide en tres etapas, la primera fue el desarrollo de la Herramienta de Recolección de Datos (HRD), la cual en base a los métricos analizados permitió administrar los datos obtenidos.

Se hace uso de plataformas digitales para la difusión de la herramienta que permitan recolectar datos a distancia, por ejemplo, en la Ciudad de México, San Luis Potosí y Hermosillo.

La segunda fase del bloque B consiste en realizar una prueba piloto, se consideran como participantes a expertos en la materia. Por último, se realizó la recopilación de datos, la cual consistió en obtener información relacionada con los métricos de rendimiento y a través de la HRD se obtuvo dicha información.

Revisión de la literatura

El análisis de la literatura permite identificar estudios previos que se relacionan con el desempeño de los sistemas de gestión de proyectos. Se consideran como estudios ideales los que se relacionan directamente con el desempeño de los proyectos gestionados a través de los procesos IPD.

Debido a que no existen indicadores para el análisis del IPD en México, se consideraran como caso de estudio aquellos proyectos que se relacionen directamente con los procesos de gestión de proyectos de construcción.

Se analizaron artículos, estudios y libros elaborados principalmente por organizaciones gubernamentales o por instituciones como el Journal of Construction Engineering and Management (JCEM), el Journal of Management in Engineering (JME), estudios del Lean Construction Institute (LCI) y del American Institute of Architects (AIA).

Este análisis tiene por objetivo cumplir con los requisitos de saber que conocimiento disponible existe del tema, sirve como un marco de referencia para que los profesionales de la industria de la construcción conozcan definiciones, conceptos y conocimientos relacionados con el IPD. Proporciona una base sólida para establecer los métricos de rendimiento en relación con los estudios realizados.

Clasificación de variables

De acuerdo con el tipo de información que procesan, las variables se pueden considerar como datos de entrada o salida. En esta investigación, se consideran variables de entrada aquellos datos no pueden ser manipulados, en pocas palabras a las variables independientes.

Como una forma de estructurar la información se consideran como variables independientes el sistema de gestión del proyecto, es decir, si es integrado o tradicional. Esas variables se analizan para comprobar sus efectos en los métricos de rendimiento.

Las variables dependientes, que son consideradas como datos de salida, son específicamente las áreas de rendimiento⁸. Teniendo como ejemplo, que la variable dependiente sería el costo en relación con la variable independiente que consiste en el sistema de gestión integrado o tradicional. Así pues, se busca conocer las repercusiones que tienen los sistemas de gestión en cada uno de los métricos de rendimiento.

PARA LA ORGANIZACIÓN Y MANIPULACIÓN DE DATOS EN EL PROYECTO
DE INVESTIGACIÓN, SE APLICAN VARIABLES DE CONTROL,
DEPENDIENTES E INDEPENDIENTES.

Las variables independientes corresponden al proceso que determina el tipo de gestión del proyecto, no son resultado de algún métrico o indicador final. Básicamente, hay dos variables independientes, si el sistema de gestión fue integrado (IPD, DC) o tradicional (DLC). Se demuestran los efectos que tienen estas variables en el rendimiento del proyecto.

Una medida normativa es el establecimiento de variables de control, las cuales no se pueden manipular, pero no son independientes, por ejemplo, la complejidad de los sistemas constructivos, la tipología del inmueble a construir, el tamaño del proyecto. No son de particular interés en la investigación, pero se requieren para analizar la existencia de variaciones obtenidas de las variables independientes.

⁸ Las áreas de rendimiento en la investigación son costo, tiempo, calidad, comunicación, programación, trabajo, seguridad y negocio.

GESTIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Modelo matemático para el análisis del desempeño del proyecto

Las métricas cuantitativas y cualitativas del rendimiento se consideran como variables dependientes puesto que resultan de acuerdo con la forma en la que se desarrollen los procesos de gestión del proyecto.

Los métricos de rendimiento más importantes en la gestión de proyecto son costo, tiempo y calidad, en adición a otros considerados para el modelo del análisis del desempeño que se fundamentan en procesos establecidos por otras investigaciones.

En adición a los datos obtenidos por investigaciones anteriores, se busca obtener datos más certeros para comparar y medir el desempeño del proyecto en las áreas establecidas. Además de obtener el nivel de éxito logrado por cada uno de ellos.

Existen estudios interesantes que fundamentan los resultados en los métricos de rendimiento del costo unitario, la velocidad de construcción, el incremento del costo, la calendarización y la calidad del sistema de gestión del proyecto.⁹

Tabla 2 Síntesis de las variables dependientes, independientes y de control.

VARIABLE INDEPENDIENTE		VARIABLE DEPENDIENTE		VARIABLES DE CONTROL
Sistema de gestión del proyecto	Integrado	Comunicación	Uso de BIM Tiempo de procesamiento de solicitudes de información Tiempo de procesamiento de las ordenes de cambio.	Tipo de proyecto
	Tradicional	Tiempo	Velocidad de construcción	Tamaño del proyecto
		Calidad	Reuniones Calidad general de los sistemas	Complejidad del proyecto

⁹ Konchar, M., & Sanvido, V. (1999). A Comparison of US and UK Project Delivery Systems. *Department of Architectural Engineering*, p. 435.

			Listas de chequeo Costos de las garantías Costo de los defectos latentes	
		Negocio	Ganancias brutas Imagen de la empresa Retorno del negocio	
		Programación	Incremento de calendarización	
		Trabajo	Re trabajos Solicitudes de información Quejas Cambios y modificaciones Conflictos Alcances	
		Seguridad	Incidencias Pérdida de tiempo por incidencias Muertes	
		Costo	Costo unitario Incremento del costo Presupuestos	

Tal como se observa en la **Tabla 2**, las variables dependientes serán cada uno de los métricos de rendimiento y las variables independientes será el sistema de gestión del proyecto. La misma tiene tres columnas principales que son las variables independientes, las variables dependientes y las de control. Por ejemplo, la columna de la variable independiente

considera al sistema de gestión del proyecto, en este caso, solo puede ser integrado o tradicional.

La columna relacionada con las variables dependiente se estructura de acuerdo con cada una de las áreas de rendimiento y a su vez muestra el métrico que se pretende analizar. Por ejemplo, en el área de rendimiento de la comunicación se considera el uso de softwares para el Building Information Modelling, el tiempo de procesamiento de las solicitudes de información, el tiempo de procesamiento de las ordenes de cambio.

EL PRESENTE ESTUDIO NO CONSIDERA ASPECTOS RELACIONADOS CON
CERTIFICACIONES AMBIENTALES COMO LO SON AQUELLAS LEED Y
BREEAM.

Cada uno de los métricos de rendimiento se analiza en su apartado correspondiente. No se consideran estudios que analicen una relación directa entre que la certificación en programas como LEED¹⁰ y BREEAM¹¹ obtenida por los proyectos. Por lo tanto, la certificación del diseño sustentable y sostenible no se considera como métrica de rendimiento.

La organización de los datos obtenidos ha permitido calcular cada una de las variables de la investigación según el métrico de desempeño. Algunas variables cuantitativas son la velocidad de construcción, el incremento de los costos, el costo unitario, los cambios en la calendarización, el seguimiento de las órdenes de cambio y las garantías.

Las variables cualitativas fueron aspectos relacionados con la comunicación y con los niveles de integración de los participantes clave en la línea de tiempo del proyecto.

Para cuantificar las variables cualitativas, se convirtieron en datos cualitativos, por ejemplo, la velocidad de construcción se mide a través de los metros construidos por día, es decir, el total de metros de construcción entre el número de días que duro esa construcción.

¹⁰ La certificación LEED, considera aspectos como el Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental, es un sistema de certificación. Obtenido de <http://bioconstruccion.com.mx/certificacion-leed/>

¹¹ BREEAM es el método de evaluación y certificación de edificios sostenibles técnicamente más avanzado del mundo. Su primera versión se remonta a 1990. Obtenido de <http://www.breeam.es/conocenos/breeam-internacional>

Tabla 3 Ejemplo de cálculo de variables cuantitativas.

CÁLCULO DE VARIABLES CUALITATIVAS	
a.	$Velocidad\ de\ Construcción\ (m2/dia) = \frac{\text{Área}}{\text{Tiempo total de construcción}}$
b.	$Costo\ Unitario\ (\$/m2) = \frac{\text{Costo Total Actual}}{\text{Area}}$
c.	$Incremento\ del\ costo\ (\%) = \left(\frac{\text{Costo Actual total} - \text{Costo total del Contrato}}{\text{Costo total del Contrato}} \right) \times 100$
d.	$Incremento\ del\ tiempo\ de\ construccion\ (\%) = \left(\frac{\text{Tiempo total de construcción} - \text{Tiempo de construccion planeado}}{\text{Tiempo de construccion planeado}} \right) \times 100$
e.	$Cambios\ (\%) = \left(\frac{\text{Costo de ordenes de cambio}}{\text{Costo total}} \right) \times 100$
f.	<i>Numero de litigios o conflictos</i>

Tanto las variables cualitativas como las cuantitativas son parte fundamental del análisis de datos de la investigación y experimentación.

La **Tabla 3** hace referencia al cálculo para el análisis de las variables. Por ejemplo, para calcular la velocidad de construcción se retoman los metros cuadrados construidos por día, lo que es igual a el área construida entre el tiempo de construcción.

El inciso “b” establece el costo unitario, se consideran el costo por metro cuadrado de construcción, calculado a partir del costo total del proyecto entre el área.

El inciso “c” se relaciona con el incremento porcentual del costo, se obtiene a partir de la división de la sumatoria de costo final menos el costo del contrato entre el costo del contrato multiplicado por 100 para obtener un porcentaje de variación en el costo.

El inciso “d” hace referencia a incremento en el tiempo de construcción, se realiza a partir del cociente obtenido de la sumatoria del tiempo de construcción real total menos el tiempo de construcción planeado entre el tiempo de construcción planeado, el resultado

se multiplica por cien para una vez más obtener un porcentaje que determina el incremento del tiempo del proyecto.

Se cuantifica también el porcentaje de cambios en el proyecto basado entre el número de órdenes de cambio autorizadas divididas entre el costo total y el resultado ha de multiplicarse por 100.

Herramienta de Recolección de Datos

Posterior a la identificación de variables y métricos de rendimiento para el análisis de la productividad en los proyectos de construcción, se presenta la Herramienta de Recolección de Datos (HRD) (Ver anexos).

El objetivo principal de la HRD consiste en obtener datos certeros sobre los indicadores establecidos en apartados anteriores. La HRD es una guía que seguir para recolectar datos para la investigación.

Permite obtener datos cualitativos y cuantitativos para realizar los análisis correspondientes. Los datos cualitativos se remiten a cantidades expresadas en números y elementos directamente cuantificables. Para la recolección de datos Cualitativos se aplicaron diversas técnicas para su recolección entre las que se encuentran el análisis de factores.

La HRD fue distribuida a través de plataformas digitales a profesionales de la industria de la construcción. Fueron considerados Gerentes de Proyecto, desarrolladores, contratistas y propietarios de los proyectos. Esta herramienta funciona como una guía para las entrevistas a distancia y para tener un formato estandarizado para la recolección de datos a lo largo de este proyecto.

Permite obtener datos relacionados con el sistema de gestión del proyecto, según se establece en el estado del arte, de proyectos tradicionales como lo es el DLC y de proyectos integrados como lo son el IPD puro y el DC¹².

¹² DLC; Sistema de gestión de Proyecto realizado a través de las etapas de Diseño, Licitación y Construcción. DC; sistema de gestión de proyectos más integrado que el DLC a través de las etapas de Diseño y Construcción.

Tabla 4 Estructura general de la Herramienta de Recolección de Datos.

ESTRUCTURA DE LA HERRAMIENTA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	
Sección I	Características generales del proyecto y de los contratos
Sección II	Rendimientos del proyecto
Sección III	Complejidad del sistema y calidad general
Sección IV	Colaboración e integración del equipo principal
Sección V	Experiencia del contratista y logro del éxito

Para el desarrollo del cuestionario se ha tomado como referencia el análisis elaborado por El Asmar Mounir (2012), en el estudio titulado “Modelling and Benchmarking Performance for the Integrated Project Delivery (IPD) System”.

Las preguntas están organizadas en 5 secciones principales, la **Tabla 4** establece una relación de cuáles son esas 5 secciones.

La Sección I consiste en la recolección de datos relacionada con las Características Generales del Proyecto y del Contrato. La Sección II permite obtener datos del rendimiento de los proyectos, como lo son los costos, fechas, cambios y aspectos de seguridad. La tercera sección consiste en obtener aspectos de complejidad y calidad de los sistemas. La cuarta se relaciona con las características de los líderes del proyecto en relación con la integración y colaboración en el Proyecto.

Se consideran aspectos como experiencia, cantidad y tipo de reuniones relacionadas con el proyecto, el uso de BIM, así como técnicas y herramientas basadas en Lean Construction. La quinta parte recaba información relacionada con los factores que el entrevistado considera más importantes para lograr el éxito del proyecto.

La Herramienta de Recolección de Datos se envía con una carta introductoria que muestra información relacionada con la investigación y las intenciones de la misma. Sirve como antecedente para que los interesados sientan confianza con respecto al trato de información que pudiera considerarse de carácter delicado.

El plan piloto está conformado por aquellos pasos preliminares en la investigación para obtener datos con mayor certeza y detectar los posibles “errores” en los procesos. Consiste en realizar en una escala pequeña la recolección de datos para probar y mejorar tanto la HRD como las preguntas que intervienen en la misma.

La prueba se realiza antes de lanzar la recopilación completa de datos con los responsables de los proyectos a analizar. Una vez que la prueba piloto se ha realizado, se procedió a efectuar las modificaciones correspondientes para lograr los objetivos mencionados al principio del párrafo.

Después de que la etapa de desarrollo del cuestionario esté completa, el cuestionario final de recolección de datos estará listo para ser probado experimentalmente en proyectos con contratistas que expresaron su interés en el estudio. La prueba piloto cubre un número limitado de proyectos con el fin de refinar las preguntas y maximizar su eficiencia.

Para la prueba piloto se utilizaron revisiones individuales del cuestionario, donde expertos la Universidad Nacional Autónoma de México y coordinadores de la investigación, así como estudiantes del Posgrado en Arquitectura, analizaron las preguntas y se realizaron las adecuaciones y correcciones pertinentes. Una vez que el cuestionario fue analizado, aplicaron las entrevistas con los demás profesionales a través de la plataforma de cuestionarios en línea de Google Forms¹³.

¹³ Se utilizaron plataformas y medios digitales para recopilar y organizar la información. El cuestionario disponible en <https://goo.gl/forms/1Sb4RcyYM1sTVBcA2>

Análisis y recolección de los datos

Se realiza un análisis de las estadísticas obtenidas por la Herramienta de Recolección de Datos en cada uno de los métricos de rendimiento. Se realizaron pruebas T, para determinar el grado de significancia de los datos.

Se establecieron comparaciones para cada sistema de gestión de proyectos, ya sea integrado o tradicional, en donde se consideraron diferencias entre las medias y las desviaciones estándar.

A través de los valores de P se determina el grado de significancia y se acepta o refuta la hipótesis establecida para cada uno de los métricos de rendimiento, se considera como un margen de significancia aceptable el 0.10 en cada una de las muestras o métricos.

Para realizar un análisis certero, es necesario ajustar algunos datos recopilados del proyecto para comparar con precisión proyectos construidos en diferentes ciudades y diferentes años. Fue necesario adecuar los costos a Valor Presente Neto, lo cual permitió establecer parámetros más objetivos y comparables.

El primer paso para realizar el análisis de cada uno de los métricos de rendimientos será utilizar la información recolectada para determinar si el DPI es más exitoso que los proyectos tradicionales.

Cada uno de ellos parte de la hipótesis de que el “DPI es mejor según el métrico de rendimiento analizado que los proyectos tradicionales”. Hipótesis similares se aplican a cada uno de los métricos de rendimiento analizados. Para cada métrico se utilizarán Pruebas T¹⁴, de acuerdo con el procedimiento que propone El Asmar en su estudio sobre el rendimiento en los sistemas de gestión de proyectos.

Diversos estudios¹⁵ establecen las diferencias entre los sistemas de gestión para la ejecución de proyectos, por tal motivo se pretende que el análisis de los datos muestre

¹⁴ La *prueba T* es una prueba de hipótesis estadística en la que se sigue una distribución T de Student bajo la hipótesis nula de que el desempeño en los proyectos integrales es igual que el desempeño de los proyectos tradicionales.

¹⁵ **Asmar, M. E., Hanna, A. S., & Loh, W.-Y. (2013).** Quantifying Performance for the Integrated Project Delivery System as Compared to Establish Delivery Systems. *J. Constr. Eng. Manage.*, 1-14. doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000744

estadísticas comprensivas para la comparación de proyectos integrales vs. Proyectos tradicionales.

Creación del modelo Indicador Integral del Desempeño (IID)

El Project Quarterback Rating (PQR), se basa en la integración de las métricas clave del desempeño, tales como costo, programación, calidad y seguridad en un solo número, para poder comparar el nivel de desempeño de los proyectos de construcción analizados a través de las mismas variables.

La aplicación del PQR complementa a los análisis de las métricas de rendimiento individuales al mostrar con un solo número el nivel de éxito global del proyecto, lo cual permite la comparación de proyecto a proyecto utilizando un proceso integral que da como resultado un solo número.

A demás, el PQR utiliza una formulación matemática para probar el rendimiento de los proyectos integrados en comparación con los proyectos tradicionales. Sin embargo, es importante considerar que esta herramienta esta modelada en base a los rendimientos de los EE. UU. por lo tanto no funciona con las características del desempeño de construcción propias de este país.

El funcionamiento del PQR está basado en la estandarización de factores, por lo tanto, el Indicador Integral del Desempeño (IID) también. De forma general, se toma cada una de las áreas de desempeño y se realiza la división entre los objetivos reales obtenidos y la media de los objetivos reales, posteriormente se divide entre la desviación estándar de los datos del parámetro analizado.

Lo anterior permite estandarizar datos que pueden ser utilizados como parámetros para el análisis en determinada área de desempeño. Posteriormente se explicará a detalle el funcionamiento de estas operaciones.

ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

Este documento establece un marco de referencia para el análisis del desempeño productivo en comparación con sistemas de gestión integrados o tradicionales en la industria de la construcción.

La investigación se desarrolla a través de 4 apartados. El primero de ellos permite establecer antecedentes y planteamiento de la problemática, objetivos de la investigación y método desarrollado.

El segundo apartado hace referencia al estado actual de la literatura existente en relación con el desempeño productivo en la gestión de proyectos, sirve como fundamento para obtener los métricos de rendimiento en respuesta a los procesos inherentes a la administración de los proyectos según sea el caso. Analiza estudios previos, características de los sistemas de gestión.

El apartado tres establece muestra los beneficios obtenidos según el sistema de gestión, es un marco de referencia que permite ver cómo se desarrollan los proyectos.

El capítulo cuatro, muestra una adaptación del Project Quarterback Rating¹⁶ y la creación del IID, que permite demostrar el nivel de desempeño obtenido en el proyecto con un solo indicador, se basa en la ecuación matemática utilizada en la National Football League y por otras investigaciones.

Por último, el capítulo quinto, muestra las conclusiones de la investigación, entre las cuales se encuentran las estrategias, limitaciones, barreras y las líneas futuras de investigación relacionadas con la implementación de los sistemas de gestión de proyectos integrales basados en el método propuesto por el Integrated Project Delivery y en las características de la industria de la construcción mexicana.

¹⁶ El PQR, al igual que el IID combina métricos claves en el desempeño de los proyectos para determinar con un solo número el nivel de desempeño del proyecto en cuestión.

GESTIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Modelo matemático para el análisis del desempeño del proyecto

REFERENCIAS EN EL APARTADO

- 1 **Ibbs, W., Kwak, Y. H., & Odabasi, A. M.** (2003). Project Delivery Systems and Project Change: Quantitative Analysis. *Journal of Construction Engineering and Management*, 382-387, p. 382
- 2 **American Institute of Architects,** (2007). *Integrated Project Delivery, A Guide*. California:AIA, pp. 2.
- 3 **Murray, M., & Langford, D.** (2003). Survey of Problems Before the Construction Industry: A Report Prepared by Sir Harold Emmerson (1962). *Construction Reports*, 39-54. doi:10.1002/9780470758526.ch4, pp. 41
- 4 **Liker, J.** (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill. Recuperado el 10 de 05 de 2018, pp. 16
- 5 **Tradeline.** (2017). Lean Management is a Game-Chenger for Facility Design and Construction. *Tradeline*, 1, p. 1
- 6 **Mossmon, A., Ballard, G., & Pasquire, C.** (2010). Lean Project Delivery - Innovation in Integrated Design and Delivery. *Research Gate*, 25. Recuperado el 10 de 05 de 2018, de <https://www.dropbox.com/s/jp6cxbt6c2813al/Mossman-Ballard-Pasquire-2010-LPD--innovation-in-integrated-design-and-delivery-draft110214.pdf>
- 7 **American Institute of Architects,** (2007). *Integrated Project Delivery, A Guide*. California:AIA, p. 5.
- 9 **Konchar, M., & Sanvido, V. (1999).** A Comparison of US and UK Project Delivery Systems. *Department of Architectural Engineering*, p. 435.
- 15 **Asmar, M. E., Hanna, A. S., & Loh, W.-Y. (2013).** Quantifying Performance for the Integrated Poject Delivey System as Compared to Establish Delivery Systems. *J. Constr. Eng. Manage.*, 1-14. doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000744

GESTIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Modelo matemático para el análisis del desempeño del proyecto

PARTE I

MARCO TEÓRICO

Sistemas para la gestión de proyectos en la construcción	29
Definiciones y conceptos	36
Situación actual de la gestión de proyectos	46
Integrated Project Delivery (IPD)	56
Colaboración en el equipo principal de un IPD	61
Características de los sistemas de gestión integrales y tradicionales	62
Beneficios de la gestión de proyectos integrales	67
Principios de la gestión IPD	75
Estudios previos	77
Etapas y procesos según el sistema de gestión	78

1. MARCO TEÓRICO

Este apartado muestra el estado actual del conocimiento existente en relación con los sistemas de gestión de los proyectos en la industria de la construcción.

Su desarrollo se basa en la definición del Integrated Project Delivery, su comparativa con otros sistemas de gestión y con el análisis de las variables claves para el análisis del desempeño productivo en los proyectos de construcción.

SISTEMAS PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS EN LA CONSTRUCCIÓN

Debido a la reciente creación del método¹⁷, obtener una definición única sobre el Integrated Project Delivery o de los sistemas de gestión integrados no es una tarea fácil, se consideran artículos y reportes para establecer un marco de referencia.

La investigación establece su propia definición del IPD, fundamentada en el análisis de la literatura y la información obtenida de los proyectos analizados. En base a la definición existente en relación con el concepto de sistemas de gestión de proyectos.

El concepto de gestión de proyectos está enfocado a procesos que tienen un fin, un objetivo y metas establecidas. Se refiere a la administración de las actividades a lo largo de la línea del tiempo del proyecto, donde los participantes adquieren responsabilidades que una vez cumplidas determinan la finalización del proyecto.

¹⁷ Los primeros documentos relacionados con la Gestión de Proyectos Integrales se redactan por el AIA en el año 2007. Otras investigaciones los denominaban proyectos alternativos, (Pocock, The Relationship Between Alternative Project Approaches, Integration and Performance, 1996) pero no se hacía referencia la capacidad de integración y colaboración en como elemento principal del sistema de gestión.

Los proyectos en la industria de la construcción tienen diversas herramientas para lograr el éxito. Una de ellas es la mitigación del riesgo. Con el riesgo compartido, vienen las recompensas compartidas.¹⁸

A su vez, lo muestra un proceso para la resolución de problemas con la intención de mantener las relaciones cordiales entre las partes del proyecto. Considera que el IPD se basa en cinco conceptos; colaboración real, redes de compromisos, acción y teoría juntos, relaciones estrechas y optimización del proyecto.

Establece una serie de parámetros que apoyan el IPD en relación con un modelo contractual. Su estudio analiza estrategias comerciales, como lo son la selección de los equipos y el incremento del involucramiento temprano en el proyecto por parte de los contratistas, así como el diseño colaborativo.

Como punto de partida, se considera al IPD como “una relación contractual colaborativa que alinea los objetivos del proyecto con los intereses de los participantes clave del proyecto”.¹⁹

El desempeño de un proyecto ejecutado mediante gestión integral (IPD) obtiene aproximadamente un 10% de ahorro en el proyecto, de acuerdo con el costo mínimo o presupuesto base establecido para dicho proyecto.²⁰

La gestión de proyectos en la industria de la construcción es comparable con la administración general puesto que existen procesos similares. Sin embargo, no se deben confundir términos puesto que tienen supuestos diferentes.

Como se menciona con anterioridad los principios Lean en los cuales se basa el IPD fueron originalmente propuestos por Toyota.

Esa nueva visión de los procesos transformó los métodos tradicionales de planeación construcción y funcionamiento de la gestión proyectos arquitectónicos. Algunas herramientas de Lean (Benchmarking, equipos principales, propuestas de riesgo compartidas) representan una mejora en relación con los beneficios de los propietarios. Sin

¹⁸ **Lichtig, W. A. (2005).** Sutter Health: Developing a Contracting Model to Support Lean Project. *Lean Construction Journal*, 2, 105-112. Retrieved 01 15, 2018.

¹⁹ **Matthews, O., & Howell, G. A. (2005).** Integrated Project Delivery: An Example of Relational Contracting. *Lean Construction Journal*, 46-61, pp. 53

²⁰ **Ídem**

embargo, los modelos Lean establecen estrategias y dinámicas para cumplir con las metas del proyecto, lo cual incrementa la probabilidad de éxito.²¹

Entre las herramientas más importantes de Lean para el establecimiento y la adaptación de los objetivos en el proyecto se encuentran:

- Establecer objetivos medibles y comprobables al inicio del proyecto.
- Pull Planning²² o Sistemas Pull, es la forma de trabajar donde se analiza desde la opción deseada a la situación actual.
- Benchmarking, como punto de referencia para el análisis de la competencia y obtener propuestas de mejora.

El concepto de gestión de proyectos está enfocado a procesos que tienen un fin, un objetivo y metas establecidas. Se refiere a la administración de las actividades a lo largo de la línea del tiempo del proyecto, donde los participantes adquieren responsabilidades que una vez cumplidas determinan la finalización del proyecto.

Junto con el riesgo compartido, vienen las recompensas compartidas. El IPD establece procesos para la resolución de conflictos que permiten mantener un ambiente laboral de cordialidad y respeto.

El IPD tiene características esenciales como lo es la colaboración real, redes de compromisos relaciones estrechas y optimización de los procesos en el proyecto.

A través de herramientas como los contratos, se crean parámetros que apoyan a este sistema de gestión de proyectos para cumplir con las responsabilidades y obligaciones. En el mundo existen gran variedad de sistemas para la entrega de proyectos, sin embargo, se pueden identificar como los más utilizados al Diseño-Licitación-Construcción, Construcción basada en el Riesgo y el Diseño-Construcción.

En el IPD los participantes principales, se integran al proyecto con la intención de incrementar la colaboración para obtener el mayor valor para el propietario. Por lo regular

²¹ **Tradeline. (2017).** Lean Management is a Game-Chenger for Facility Design and Construction. *Tradeline*, pp. 1.

²² Pull Planning, se utiliza Cuando la producción se basa en la demanda del producto (enfoque *Pull*), cuando la producción es pequeña, tiene bajos costos de inventarios y poco riesgo por obsolescencia del producto. “Este enfoque es conveniente cuando se compite por innovación y flexibilidad, y su implantación requiere de información rápida desde los puntos de venta, así como de un sistema de producción rápido y flexible”. (Administración, 2001)

en los proyectos tradicionales cuando surge un problema, los involucrados buscan como transferir la responsabilidad o deslindar culpas, en un proyecto integrado, los involucrados atienden la problemática como uno solo.

De acuerdo con otro estudio²³, que compara el desempeño de los proyectos de construcción tradicionales con enfoques alternativos. Se muestran ventajas significativas para los proyectos de asociación, diseño-construcción y aquellos en los que se combinaron los procesos.

En la disertación se desarrolla un método para medir el "Grado de Interacción" (DOI, por sus siglas en ingles) para establecer y medir la integración del proyecto. Se muestra que el DOI tiene un impacto directo en el rendimiento del proyecto y puede usarse para predecir el desempeño futuro del proyecto.²⁴

Existen dos roles cruciales en el desarrollo de la gestión de un proyecto integrado; unos son los participantes principales y otros los participantes de apoyo claves. Los primeros hacen referencia a los individuos que están en el proyecto de principio a fin, puede ser, por ejemplo, el propietario, el arquitecto y el constructor principal.

Los participantes de apoyo son aquellos que tienen un rol vital en el proceso de construcción del proyecto, por ejemplo, el especialista en estructuras, o el especialista en terracerías. Según el tipo de proyecto, varía la importancia de los participantes de apoyo, no es lo mismo construir una autopista que un puente.

La toma de decisiones corresponde particularmente a los participantes clave puesto que ellos tienen el liderazgo del proyecto, sin embargo, se requiere información específica que los participantes de apoyo brindan en el proyecto para llevar a cabo la toma de decisiones.

Con respecto a la clasificación de los sistemas de gestión, de acuerdo con Ibbs et al. (2003, p. 382) se considera el DLC como un sistema tradicional.

²³ **Pocock** (1996), realiza una investigación donde demuestra que los proyectos alternativos (integrados) tienen una puntuación promedio mayor en los Grados de Interacción (DOI, siglas en ingles). Los DOI tienen un alto grado de correlación con el desempeño del proyecto. Se puede decir que es una manera alternativa al PQR.

²⁴ **Pocock, J. B. (1996).** *The Relationship Between Alternative Project Approaches, Integration and Performance.* Urbana-Champaign: University of Illinois, pp. 66

Ese sistema de gestión es la forma más utilizada y aceptada en los proyectos actuales, particularmente aquellos de relacionados con los proyectos paraestatales y/o públicos.

En el DLC se crean una serie de etapas, la cuales generar procesos segregados, que se pueden englobar en tres grandes rubros; la etapa de diseño, la de licitación y la etapa de construcción.

Una vez que se ha definido por completo la etapa de diseño, las especificaciones técnicas y arquitectónicas concluidas, es decir el proyecto ejecutivo, será la base para el proceso de licitación.

Los procesos de licitación generalmente utilizan sistemas de construcción de obras a precio alzado con el objetivo de proporcionar mayor seguridad para el propietario. El contrato de obra a precio alzado es un servicio profesional, las características que contiene están normadas por los códigos civiles, tanto federal como de la Ciudad de México. Sirve como contrato análogo para cualquier obra, por lo tanto, es de suma importancia para la adaptación a los procesos IPD.²⁵

El Diseño - Construcción (DC) es un enfoque antiguo que ha tenido modificaciones y actualizaciones basadas en los avances tecnológicos y la evolución del proceso mismo.²⁶

Es un método donde el responsable de la creación del proyecto ejecutivo será el responsable de ejecutar la obra en cuestión. Fue el método de gestión más utilizado hasta finales del siglo XIX²⁷ cuando los avances tecnológicos permitieron a la arquitectura e ingeniería convertirse en dos profesiones diferentes.

²⁵ **Sánchez Bautista, F. (2012).** Contratos Privados en la Industria de la Construcción. Ciudad de México: Editorial Universitaria. pp. 203.

²⁶ **Ibbs, W., Kwak, Y. H., & Odabasi, A. M. (2003).** Project Delivery Systems and Project Change: Quantitative Analysis. *Journal of Construction Engineering and Management*, 382-387. pp. 382.

²⁷ El DC es un Sistema de gestión antiguo, su aplicación puede ser rastreada a la antigua Mesopotamia donde en el Código de Hammurabi (1800 a. C) existieron aspectos relacionados con la contabilidad del diseño y la construcción.

En ese sistema de gestión el arquitecto o proyectista generalmente tiene la capacidad de organizar a grupos de contratistas para realizar los trabajos.²⁸ El DC ha experimentado un crecimiento extraordinario en años recientes. Desde 1986 ha crecido constantemente en relación con el volumen y porcentaje de construcción total.

Es un indicador de que la facilidad de uso, aplicación y control puede ser explotada aún más para obtener nuevos sistemas de gestión. Es necesario considerar más elementos del contexto próximo a la gestión de proyectos cosa que la visión “centralizada” del DC no considera del todo.²⁹

Durante mucho tiempo se ha considerado a los arquitectos e ingenieros como los “maestros constructores” que se encargan de cada aspecto del proyecto hasta que este ha sido construido.

El sistema de gestión esta intrínsecamente ligado a los procedimientos de construcción. Con el paso del tiempo los sistemas de gestión de proyectos se han convertido en sistemas más fragmentados. Las fases del diseño y construcción han sido divididas por la falta de innovación en los contratos, por la estructura organizacional, por la especialización y por la falta de compromisos e irresponsabilidad de aspectos legales.³⁰

El DC mantiene métodos que permiten la interacción entre los diseñadores y constructores lo cual es una característica que posibilita la evolución a los sistemas IPD.

Los arquitectos e ingenieros que se encargan del proyecto pueden verse beneficiados por las consideraciones y sugerencias de los contratistas, sin embargo, es los procesos segregados estos no se involucran en el proyecto hasta etapas posteriores a la licitación.

Ellos solo tienen los planos y especificaciones técnicas para realizar su trabajo, sería importante considerar otros medios para que los contratistas tengan mejores condiciones para una correcta retroalimentación, lo cual se traduce en costos más objetivos y certeros.

²⁸ **Songer, A. D., & Molenaar, K. R. (1996).** Selecting Design-Build: Public and Private Sector Owner Attitudes. *Journal of Management in Engineering*, 47-53. pp. 47.

²⁹ **Songer, A. D., & Molenaar, K. R. (1996).** *Selecting Design-Build: Public and Private Sector Owner Attitudes.* *Journal of Management in Engineering*, 47-53. pp. 47

³⁰ **Pocock, J. B. (1996).** *Teb Relationship Between Alternative Project Aproaches, Integration and Performance.* Urbana-Champaign: University of Illinois. PP. 165.

La gestión integral de proyectos considera desde etapas tempranas del proyecto aspectos clave como lo son los criterios, restricciones y características para solucionar problemas en etapas posteriores del proyecto.

Los sistemas IPD están liderados por el Equipo de Gestión que es el responsable de establecer soluciones a los retos que se presentan a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Ilustración 2 Modelos de gestión IPD basados en 5D.



Esas soluciones están enfocadas a lograr el máximo aprovechamiento posible. Las etapas tempranas (conceptualización y anteproyecto) y etapas posteriores, previas a la construcción (Diseño ejecutivo y programación).

Esas etapas son responsabilidad no solo de los arquitectos o proyectistas sino de todos los representantes de área como la gerencia del proyecto, los responsables de las instalaciones, los sistemas energéticos, obra civil, acabados, entre otras dependiendo del tipo de proyecto.

El concepto “Big Room”³¹, el cual puede ser utilizado durante todas las etapas del proceso, permite que todos los participantes involucrados, incluso el propietario trabaje de forma colaborativa en un mismo espacio para definir medidas y metas por cumplir en el proyecto. Esto logra que la integración sea un elemento esencial del IPD.

La integración permite que los involucrados alineen sus intereses con los del proyecto en cuestión.

Con la aplicación del “Big Room” los participantes evalúan el grado de cumplimiento de los objetivos. Del mismo modo la colaboración entre los equipos reduce costos y tiempos de construcción, basado en las consideraciones de los diversos materiales, diseños, análisis de los componentes, etc. Es decir, debido a que se toman en cuenta los comentarios y percepciones de los participantes.

Se puede analizar aspectos de Sostenibilidad³² como lo es el eliminar, reducir o cambiar materiales y componentes que causan daños al medio ambiente.

DEFINICIONES Y CONCEPTOS

Constantemente suceden existen cambios en la sociedad y, por lo tanto, la arquitectura y sus procesos requieren de técnicas innovadoras que responda directamente a los proyectos que a su vez dependen de las necesidades de las personas.

En el México contemporáneo la evolución de los sistemas y tecnologías de la investigación, permiten y exigen la aplicación de nuevas técnicas y procesos. Tal es el caso de la implementación de los softwares BIM, donde es comúnmente conocido que aún no se han aprovechado dichos sistemas debido a las características sociales de los procesos en la gestión de proyectos.

³¹ *Big Room*, es una herramienta en la gestión del Proyecto. Todos los involucrados principales en un proyecto tienen reuniones periódicas donde se dialoga sobre el curso del proyecto y las medidas de solución por implementar como equipo. Es muy utilizado en sistemas de gestión integral para regular las participaciones de todos los involucrados durante las reuniones.

³² Considerando que la Industria de la Construcción es una de las industrias más contaminantes en el planeta.

Aspectos básicos para el análisis de los proyectos ejecutados a través de sistemas IPD y tradicionales, son aquellos relacionados con las estructuras organizacionales, los sistemas operativos y los acuerdos comerciales o contractuales.

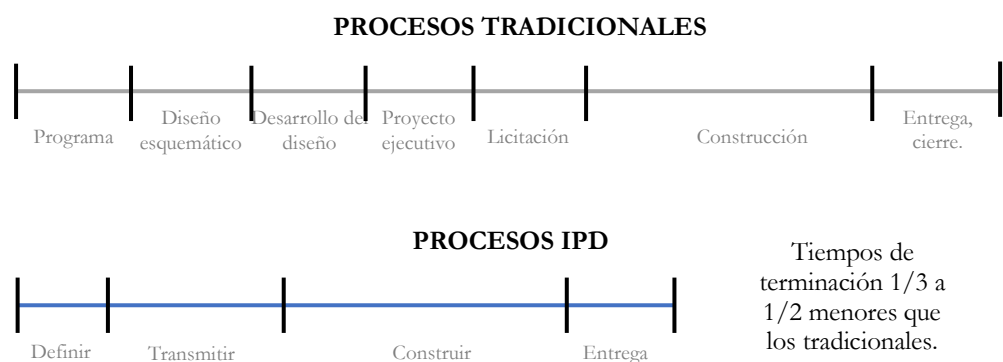
Esos tres elementos básicos son considerados igual de importantes para lograr el éxito del proyecto. Es necesario lograr el balance adecuado para obtener los resultados óptimos en el proyecto, si solo se enfocan esfuerzos en uno o dos de los pilares, no se obtendrán los mejores resultados esperados para el proyecto.³³

A finales de los noventa Elkinton estableció un principio denominado “Análisis de Triple Fondo” basado en su famoso triángulo “Personas, Recursos, Ganancias”.

Esa forma de estructurar la información es considerada por muchos modelos de negocios en varias industrias, considera básicamente a las personas como elementos que modifican los procesos, al planeta como una forma de obtener recursos basada en procesos y métodos y la parte de los beneficios y cómo se comportan los diversos flujos de ganancias en relación con los productos ofrecidos.³⁴

Ilustración 3 Comparación de procesos tradicionales y procesos IPD

ELIMINAR DESPERDICIOS = ELIMINAR PROCESOS INNECESARIOS



³³ **Thomsen, C.** (2010). *Managing Integrated Project Delivery*. Mc Lean: CMAA, pp. 11

³⁴ **Berkovics, D.** (2010). *Fiche de lecture, Cannibals with Forks, The Triple Bottom Line of 21st Century Bussines*. Paris: Majeure Alternative Management, p. 5

Los esfuerzos que históricamente se han enfocado a la adecuación de los procesos, lo hacen con la intención de reducir costos y optimizar la productividad, debido a que en la construcción uno de los principales problemas es el desperdicio y las ineficiencias en las técnicas y procedimientos.

La **Ilustración 3** muestra las diferencias existentes entre las etapas de los procesos tradicionales en comparación con los procesos IPD basados en LEAN, los cuales aplicados en la construcción pueden tener beneficios que se traducen en una reducción del tiempo desde una tercera parte hasta la mitad del considerado para el mismo proyecto.³⁵

La ejecución de obras arquitectónicas requiere de gran cantidad de procesos, la estandarización surge como elemento regulador para cumplir con los objetivos y metas del proyecto. Los procesos en la gestión de proyectos se pueden englobar en tres rubros principales; aspectos sociales, técnicos y organizacionales. En capítulos posteriores se analizarán detalladamente.

EL IPD ES UN SISTEMA DE GESTIÓN DE PROYECTOS, CON VISIÓN GENERALISTA, BASADO EN LA INTEGRACIÓN DE LOS PARTICIPANTES, ESTÁ DISEÑADO PARA QUE EXISTA COLABORACIÓN DESDE ETAPAS TEMPRANAS DEL PROYECTO.

En un proyecto IPD es importante considerar que la participación de contratistas y consultores externos potencian las capacidades del proyecto. Los principios y fundamentos de este sistema se basan en la máxima eficiencia y entrega del proyecto con éxito y beneficios para todas las partes involucradas. Utiliza la mitigación de riesgos a través de recompensas y beneficios compartidos.

Para establecer la definición de gestión de proyectos, primeramente, se establece que un proyecto es, ni más ni menos, la búsqueda de una solución inteligente al planteamiento de un problema por resolver. Cualquiera que sea la idea por implementar, la inversión, el método o la tecnología, se realiza necesariamente una búsqueda de

³⁵ **Tradeline.** (2017). Lean Management is a Game-Chenger for Facility Design and Construction. *Tradeline*, 1, p. 5

proposiciones coherentes destinadas a resolver las necesidades de los seres humanos.³⁶

En consideración a la búsqueda de respuestas inteligentes, a los cambios sociales y a las nuevas herramientas tecnológicas se propone la aplicación del IPD como un método que permita optimizar las ganancias, reducir los desperdicios e incrementar el valor para el propietario en los proyectos de construcción.

También, *“el proyecto es una totalidad, un sistema cuyos elementos interaccionan en su conjunto y con su entorno para alcanzar el resultado esperado”*.³⁷

Es primordial considerar esos factores externos que generan cambios en los procesos del proyecto. El IPD lo considera en la mitigación de los riesgos a través de las responsabilidades y recompensas compartidas, con una visión donde los participantes clave alinean sus intereses con los del proyecto.

El Dr. William Wallace (2002) de la Edinburg Bussines School ³⁸, considera al IPD como un elemento integrador y que *“la gestión del proyecto debe ser internacional y multidisciplinaria, se ocupa de todo el ciclo de vida del proyecto”*.

Parte esencial de los gerentes de proyecto es su intervención desde el inicio de las actividades del proyecto hasta la culminación de este. El Integrated Project Delivery propone que los participantes clave se involucren de forma temprana en la línea de tiempo del proyecto, independientemente del rol que les corresponda.

EL IPD ESTABLECE MECANISMOS PARA QUE EL EQUIPO DE
COORDINACIÓN ESTABLEZCA ACTIVIDADES PARA CUMPLIR CON LAS
METAS Y OBJETIVOS.

³⁶ **Sapag Chain, N., & Sapag Chain, R.** (2000). *Preparación y Evaluación de Proyectos*. Mexico: Mc Graw-Hill Interamericana. Retrieved 05 10, 2018, from <http://biblio.upmx.mx/indices/203075.pdf>, p. 6

³⁷ **Olmedo Canchola, H.** (2009). “Administración de proyectos, una especialización en el ejercicio de la arquitectura”. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, p. 147

³⁸ **Wallace, W.** (2002). *Gestión de Proyectos*. Gran Bretaña: Edinburgh Business School.

También Wallace³⁹, (2002) menciona que el proceso se ejecuta a través del apoyo de un especialista que tiene como función principal organizar las actividades para que se cumplan con los objetivos de tiempo, costo y calidad del proyecto.

Proyecto es también “La gestión integrada de proyectos de carácter integrado consiste en la planificación, organización, dirección y el control de los recursos de una organización para conseguir un/os objetivo/s, que deben resolver un conflicto”^{.40}

En adición a las definiciones anteriores y en la búsqueda de soluciones inteligentes para cumplir objetivos, un proyecto IPD empodera a los participantes clave para que establezcan actividades de planeación, coordinación e integración, para que se cumplan las metas y objetivos del proyecto en relación con los parámetros de tiempo, costo y calidad.

Para realizar el análisis y control oportuno de proyectos de construcción, es necesario incrementar las áreas de referencia, por lo tanto, también se considera la seguridad, aspectos laborales, comunicación, gestión del cambio y retorno del negocio.

El termino Integrated Project Delivery puede tener significados diferentes según la organización o el área de aplicación. La Associated General Contractors of America (AGCA) establece que los procesos IPD consisten en asignar responsabilidades a través de contratos de diseño y construcción para un proyecto determinado.

Esta definición se enfoca en los aspectos contractuales donde se establece el rol del propietario, las responsabilidades de los constructores participantes en el proyecto, criterios de selección de contratistas, entre otros.

Los procesos IPD están compuestos por procedimientos integrales, se busca optimizar la colaboración y la comunicación entre los participantes clave que subsecuentemente será transmitida a los integrantes de la estructura organizacional.

De acuerdo a Konchar y Sanvido⁴¹ (1999) un IPD es el proyecto de construcción en el cual se establecen las relaciones, funciones y responsabilidades de las partes involucradas en el proyecto, así como la secuencia de actividades necesaria para llevar a cabo

³⁹ **Wallace, W. (2002).** Gestión de Proyectos. Gran Bretaña: Edinburgh Business School.

⁴⁰ **Serer, M. (2001).** *Gestión Integrada de Proyectos*. Barcelona: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya.

⁴¹ **Konchar, M., & Sanvido, V. (1999).** A Comparison of US and UK Project Delivery Systems. *Department of Architectural Engineering*.

el proyecto, se organizan a través de un calendario de participación donde los actividades de los involucrados comienzan a partir del proceso de diseño.

El IPD es una secuencia de actividades relacionadas con los objetivos del proyecto donde se establecen funciones, responsabilidades y alcances de las partes involucradas.

Es un sistema para la gestión de proyectos que se caracteriza por establecer las relaciones entre los participantes, las condiciones de pago según la participación de los contratistas y los criterios de selección en la contratación de los servicios relacionados al diseño y la construcción.

La gestión de proyectos describe los roles de los participantes, las relaciones entre ellos, el tiempo asignado a las actividades en apoyo de prácticas y técnicas administrativas. La mayoría de estas definiciones se enfocan en los roles y las relaciones del proyecto, sin embargo, es importante considerar que la gestión de proyectos se realiza en base a diferentes métodos según las etapas que componen el tiempo de vida del proyecto.

UN IPD ES UN SISTEMA DE GESTIÓN DE PROYECTOS QUE
DETERMINA LAS RELACIONES ENTRE LOS INVOLUCRADOS, CON EL
OBJETIVO DE OPTIMIZAR LA PRODUCTIVIDAD Y REDUCIR LAS
DEFICIENCIAS.

Las definiciones anteriores establecen que los proyectos tienen un elemento que organiza y norma la forma en la que se estructura la participación de los individuos y un componente de gestión que se encarga de administrar el proceso.

En esta investigación, se considera al Integrated Project Delivery como un sistema de gestión de proyectos que determina las relaciones entre los involucrados en el proyecto, así como sus tiempos de participación y compromisos para incrementar el valor del proyecto, cumplir con los objetivos, mejorar la calidad y reducir costos y desperdicios.

Existen diversos sistemas de gestión de proyectos, de acuerdo con sus características se consideran integrados o tradicionales.

Un sistema de gestión de proyectos tradicional es el que basa sus procesos en tres grandes etapas del proyecto. Es el más utilizado en la IC, en este, el propietario contrata de forma separada los servicios de diseño y construcción.

El propietario normalmente contrata a un despacho de arquitectos para realizar el proyecto ejecutivo, lo cual proporciona y establece las características específicas e idóneamente finales por ejecutarse. Posteriormente el propietario realiza un proceso de licitación donde los licitantes ofertan los costos de acuerdo con sus estándares y procedimientos.

Por último, el propietario selecciona a los contratistas que ejecutaran la obra y realiza contratos para la construcción del proyecto de acuerdo con lo provisto por el despacho de arquitectos.⁴²

Los métodos de gestión de proyectos realizados a través del Diseño-Construcción y los IPD puros, se consideran proyectos integrales. Según las características del sistema de gestión, se requieren diferentes niveles de integración en relación con los tiempos de vida del proyecto.

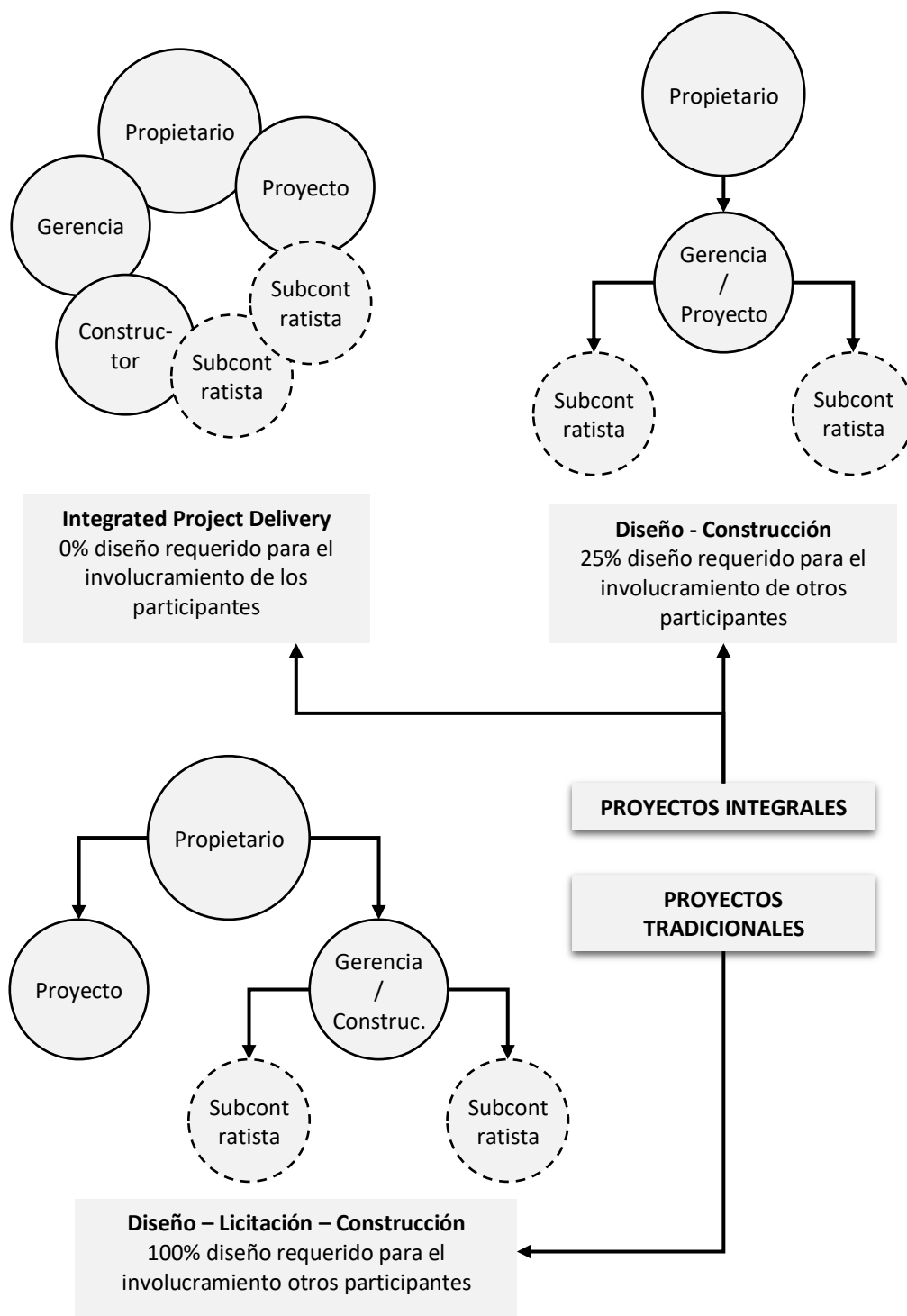
El involucramiento de los participantes se realizada en diferentes etapas del proyecto, en los proyectos tradicionales los constructores se involucran en etapas posteriores en la línea de tiempo del proyecto, en cambio los sistemas integrados favorecen ese involucramiento temprano.

El DLC es el sistema más segregado puesto que requiere que los propietarios o desarrolladores requieran conocimientos sobre la gestión y aspectos administrativos, además una desventaja es que requiere que el diseño del proyecto esté completo al cien por ciento.

Es una desventaja puesto que de existir alguna modificación los procesos de diseño realizan nuevamente actividades que se consideran como retrabajos y los cuales producen pérdida de tiempo, que se traduce en desperdicio.

⁴² **Konchar, M., & Sanvido, V.** (1999). A Comparison of US and UK Project Delivery Systems. *Department of Architectural Engineering*, pp. 435.

Ilustración 4 Diseño requerido para el involucramiento de participantes, según el sistema de gestión.



El Diseño-Construcción y el IPD puro se consideran sistemas integrados, donde los expertos del tema ejecutan actividades según el rol que les corresponde. Tanto el IPD como el DC requieren que los participantes clave se involucren de forma temprana en el proyecto.

Los proyectos gestionados mediante Diseño – Construcción, requieren que el constructor se involucre en el proyecto cuando ya se han sentado las bases de diseño, alrededor del 25%.

Un aspecto esencial del IPD puro es que se firma un contrato de participación múltiple, antes de que el diseño empiece. Tal como lo expone la **Ilustración 4** se requiere del 0% del diseño del proyecto para que este comience.⁴³

A partir de los noventa la implementación del DC en proyectos tanto públicos como privados ha incrementado su aplicación debido en gran medida a la simplicidad de sus procesos y facilidad de comunicación.

La principal razón por la que los propietarios eligen este sistema de gestión es porque existen ventajas en la reducción de los tiempos del proyecto que inherentemente acompañan a este sistema.

EXISTE GRAN VARIEDAD DE ACUERDOS CONTRACTUALES, SIN EMBARGO, AÚN ES NECESARIO ADAPTARLOS A LAS NORMAS Y LEYES MEXICANAS. ESTE ES UN PUNTO DE PARTIDA INTERESANTE PARA OTRA INVESTIGACIÓN

Otras razones para la elección de este sistema de gestión son la definición de las metas y objetivos en etapas tempranas y la reducción del costo, innovación en los procedimientos constructivos y en general, planeación y programación intensas y reducción de quejas.⁴⁴

⁴³ **El Asmar, M.** (2012). *Modeling and Benchmarking Performance for the Integrated Project Delivery (IPD) System (Tesis)*. Madison: University of Wisconsin, pp. 4.

⁴⁴ **Songer, A. D., & Molenaar, K. R.** (1996). Selecting Design-Build: Public and Private Sector Owner Attitudes. *Journal of Management in Engineering*, 47-53.

Como medidas para la mitigación del riesgo y en base al principio de responsabilidad, se utilizan contratos de participación múltiple o contratos multipares. Este tipo de contratos se basan en la cantidad de participantes clave, pueden ser cuantos se requieran en el proyecto.

Existen contratos “Tipo” creados por el AIA, entre ellos se encuentran los A195-200845, que es la forma contractual estandarizada entre propietarios y constructores para IPD; el A295-200846, que establece las Condiciones Generales para un IPD; el B195-200847 que consiste en regular los acuerdos entre el propietario y el arquitecto para ejecutar un IPD; el C191-200948 es la forma estandarizada de contrato multipartidista para un IPD; el C195-200849 consiste en un contrato para partidas específicas para un IPD.

Los Participantes Clave “típicos” son el propietario, el diseñador o proyectista y el constructor, sin embargo, se pueden involucrar en el proyecto tantos participantes se requieran tal es el caso de los contratistas, supervisores, asesores externos o la gerencia de proyecto.

El IPD es un sistema para la gestión de proyectos en el cual se desarrolla un contrato de participación múltiple, con una temprana integración de los Participantes Clave en la línea de tiempo del proyecto.

Los proyectos gestionados a través del DC son considerados similares al IPD puesto que tienen un grado de integración similar y la existencia de proyectos realizados a través de este método en el país nos sirve como punto de análisis y referencia de un sistema integrado.

⁴⁵ Disponible en la página oficial del American Institute of Architects con la liga electrónica: <https://www.aiacontracts.org/contract-documents/22071-owner-contractor-agreement>

⁴⁶ Disponible en la página oficial del American Institute of Architects con la liga electrónica: <https://www.aiacontracts.org/contract-documents/18141-general-conditions-of-the-contract-for-integrated-project-delivery>

⁴⁷ Disponible en la página oficial del American Institute of Architects con la liga electrónica: <https://www.aiacontracts.org/contract-documents/19386-owner-architect-agreement>

⁴⁸ Disponible en la página oficial del American Institute of Architects con la liga electrónica: <https://www.aiacontracts.org/contract-documents/18471-multi-party-agreement---ipd>

⁴⁹ Disponible en la página oficial del American Institute of Architects con la liga electrónica: <https://www.aiacontracts.org/contract-documents/22111-single-purpose-entity-agreement>

SITUACION ACTUAL DE LA GESTIÓN DE PROYECTOS

En los últimos 20 años ha padecido grandes retrocesos y problemas incluso de carácter político. La industria de la construcción mundial enfrenta cambios constantes.⁵⁰

Se pueden considerar aquellos como la disminución de la productividad, los excesivos incrementos de los costos de construcción, incrementos de las disputas y litigios legales, fallas mayores en la aplicación de las técnicas, corrupción social y política.⁵¹

Algunos de esos aspectos contribuyeron a la pérdida de vidas humanas. De forma general esos son los grandes problemas que reducen la calidad de los proyectos de la industria en la actualidad.

LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN ES UNA DE LAS ACTIVIDADES QUE MÁS APORTA AL PIB NACIONAL, SON EVIDENTES LAS DEFICIENCIAS EN ESTE RAMO DE LA INDUSTRIA.

La Industria de la Construcción (IC) en México es una de las actividades que más aporta al Producto Interno Bruto.⁵² (INEGI, 2017, p. 4) De acuerdo con cifras del Instituto Nacional de Geografía y Estadística, el PIB en el año 2016 fue de \$152,460,000,000.00. La IC aporta el 7% del PIB nacional.

En esas cantidades monetarias se observa la importancia de las actividades en el ramo. Según la Auditoría Superior de la Federación los proyectos de construcción incrementan su costo en promedio un 35%, de ese porcentaje, el 71% corresponde a la

⁵⁰ **Mossmon, A., Ballard, G., & Pasquire, C. (2010).** Lean Project Delivery - Innovation in Integrated Design and Delivery. *Research Gate*, 25. Retrieved 05 10, 2018, from <https://www.dropbox.com/s/jp6cxbt6c2813al/Mossman-Ballard-Pasquire-2010-LPD--innovation-in-integrated-design-and-delivery-draft110214.pdf>, pp. 2

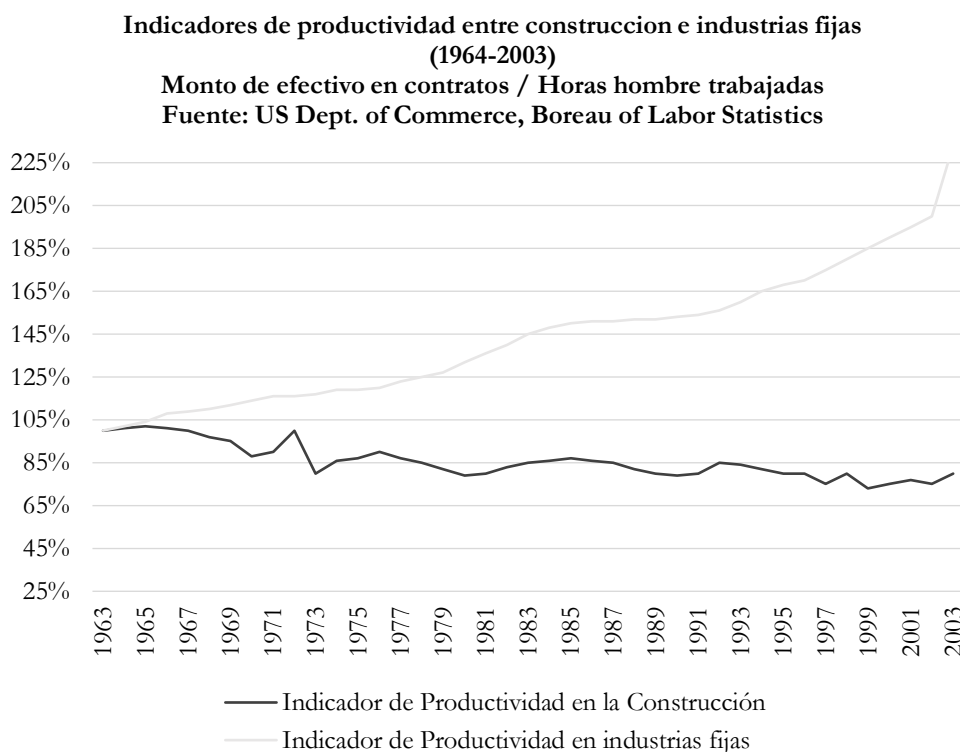
⁵¹ **Pocock, J. B. (1996).** *The Relationship Between Alternative Project Approaches, Integration and Performance*. Urbana-Champaign: University of Illinois, pp. 1

⁵² **INEGI. (2017, 05 22).** PRODUCTO INTERNO BRUTO DE MÉXICO. (INEGI, Ed.) *Comunicado de Prensa*, 1-9. Retrieved 01 15, 2018, from http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/boletines/2017/pib_pconst/pib_pconst2017_05.pdf, pp. 4

aplicación de malas técnicas y retrabajos. Con una mejor optimización e integración de los procesos se ahorrarían alrededor de 37 mil millones de pesos al año.

El Integrated Project Delivery propone la integración de los líderes del proyecto en etapas tempranas para minimizar el impacto de la aplicación de técnicas erróneas. Es importante mencionar que a pesar de que la IC es una parte significativa de la economía nacional, las ineficiencias en el sector son evidentes.

Gráfica 1 Comportamiento de la productividad en industrias fijas y en la industria de la construcción.



La tecnología y los procesos constructivos presentan avances a través del tiempo. A pesar de esto, desde 1965 los índices de la productividad en la industria de la construcción han descendido aproximadamente un diez por ciento, (ver **Gráfica 1**) en cambio las industrias fijas han duplicado su productividad en el mismo periodo de tiempo.

Los factores analizados en la **Gráfica 1**, están relacionados con aspectos operacionales, por lo cual no se consideran aspectos de etapas previas como lo es el diseño del proyecto.

Si esa etapa no está correctamente desarrollada genera deficiencias y por lo tanto disminuye la productividad. Otra parte importante que no se considera es la toma de decisiones en la gestión del proyecto, la cual está relacionada con la estructura organizacional y también afecta de manera considerable en el funcionamiento de los procesos en el proyecto.⁵³

Como respuesta al detrimento productivo, nuestra industria requiere procesos innovadores y creativos que permitan optimizar el funcionamiento y los resultados de las actividades para mejorar los índices de producción.

El Building Information Modelling, juega un papel fundamental en la gestión de los proyectos IPD, puesto que permite practicas integradores de comunicación y colaboración en tiempo real. Lo anterior, muestra la necesidad de establecer una relación de aquellos conceptos que permitan obtener indicadores pertinentes para la evaluación del desempeño en determinadas áreas y métricos de rendimiento.

Según James Pocock,⁵⁴ para determinar el origen de los problemas en la construcción y mejorar la calidad general del proyecto, es necesario considerarlo en etapas previas a la construcción. Otros estudios establecen los riesgos de la gestión de proyectos donde consideran que el estudio del proyecto y las actividades de gestión por parte del equipo principal representó más de la mitad del tiempo total desperdiciado en etapas de construcción.

Debido a los riesgos existentes en la pérdida de tiempo por ocasionada por los participantes claves existen principios a los que los mismos se deben de comprometer por el bien de todos los involucrados.⁵⁵

Una de las principales causas de las deficiencias en la productividad es el desperdicio generado en las etapas del proyecto. El desperdicio son todas aquellas

⁵³ **El Asmar, M. (2012).** *Modeling and Benchmarking Performance for the Integrated Project Delivery (IPD) System (Tesis)*. Madison: University of Wisconsin.

⁵⁴ **Pocock, J. B. (1996).** *The Relationship Between Alternative Project Approaches, Integration and Performance*. Urbana-Champaign: University of Illinois, pp. 2

⁵⁵ **Blough, R. M. (1983).** *More Construction for the Money*. The Bussiness Roundtable, pp. 29

actividades que no agregan valor al proyecto, el cual se analiza en base a las necesidades establecidas por el usuario. Ejemplos claros del desperdicio son los retrasos, las pérdidas de tiempo, movimientos y transportes innecesarios de materiales, así como los retrabajos.

Los principales tipos de desperdicios en la industria de la construcción son los relacionados con los defectos, las garantías, la sobre producción, la falta de creatividad y la proactividad de los colaboradores.⁵⁶

Prácticas ineficientes que disminuyen la Productividad Laboral⁵⁷

1. Tiempo de Trabajo no productivo
 - a. Comienzos tardíos
 - b. Salidas anticipadas
 - c. Tiempo excesivo para limpiar y ordenar herramientas
 - d. Descansos no autorizados
 - e. Abuso de las visitas medicas
 - f. Excusas por mal tráfico, clima, entre otros.
2. Pagos por horas extras
 - a. Horas extras a artesanos especializados
 - b. Horas extras para el total si pocos son los que trabajan
 - c. Horas extras más allá del rendimiento adecuado del trabajador
3. Lujos, viajes pagados, incentivos y viáticos
 - a. Pagos salariales superiores al salario mínimo al personal operativo.
 - b. Pagos a aprendices por encima de su clasificación.
 - c. Almuerzos de horas extras y comer en horario de la empresa o jornada laboral.
 - d. Paga de viáticos y viajes excesivos.
4. Restricciones laborales
5. Restricciones a reparaciones por especialistas.
6. Desaceleración deliberada del trabajo.
7. Restricciones de uso, montaje y desmontaje de andamios.
8. Uso de más equipo del necesario.
9. Disputas y problemas
10. Equipos compuestos por más personal del necesario.
11. Pago por trabajo no realizado.
12. No continuar con el trabajo mientras se espera una resolución.
13. Cuadrillas y tiempos de espera
14. Comprobación y recepción de material no esencial

⁵⁶ **Liker, J. (2004).** *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Gratest Manufacturer.* McGraw-Hill. Retrieved 05 10, 2018, pp. 43

⁵⁷ **Blough, R. M. (1983).** *More Construction for the Money.* The Bussiness Roundtable, pp. 39

15. Niveles excesivos de supervisión
16. Uso de equipo de carga cuando el trabajo no lo justifica.
17. Personal no requerido para limpieza, prueba y puesta en marcha del inmueble.
18. Falta de aprendices.
19. Iluminación temporal.
20. Tamaño de cuadrillas.
21. Número excesivo de supervisores.

Estudios demuestran que solo el 42% de las actividades que realizan los colaboradores durante un día laborar agregan valor al proyecto. El cincuenta y nueve por ciento restantes, de acuerdo con la **Gráfica 2**, se relacionan con actividades que no presentan valor añadido y por esa razón son consideradas como desperdicios.⁵⁸

Por lo tanto, es necesario considerar aspectos que ayuden a reducir las actividades que no agregan valor, una forma de hacerlo es a través de incentivos. Esos aspectos los considera el IPD como elemento en las cláusulas de los contratos de participación múltiple.

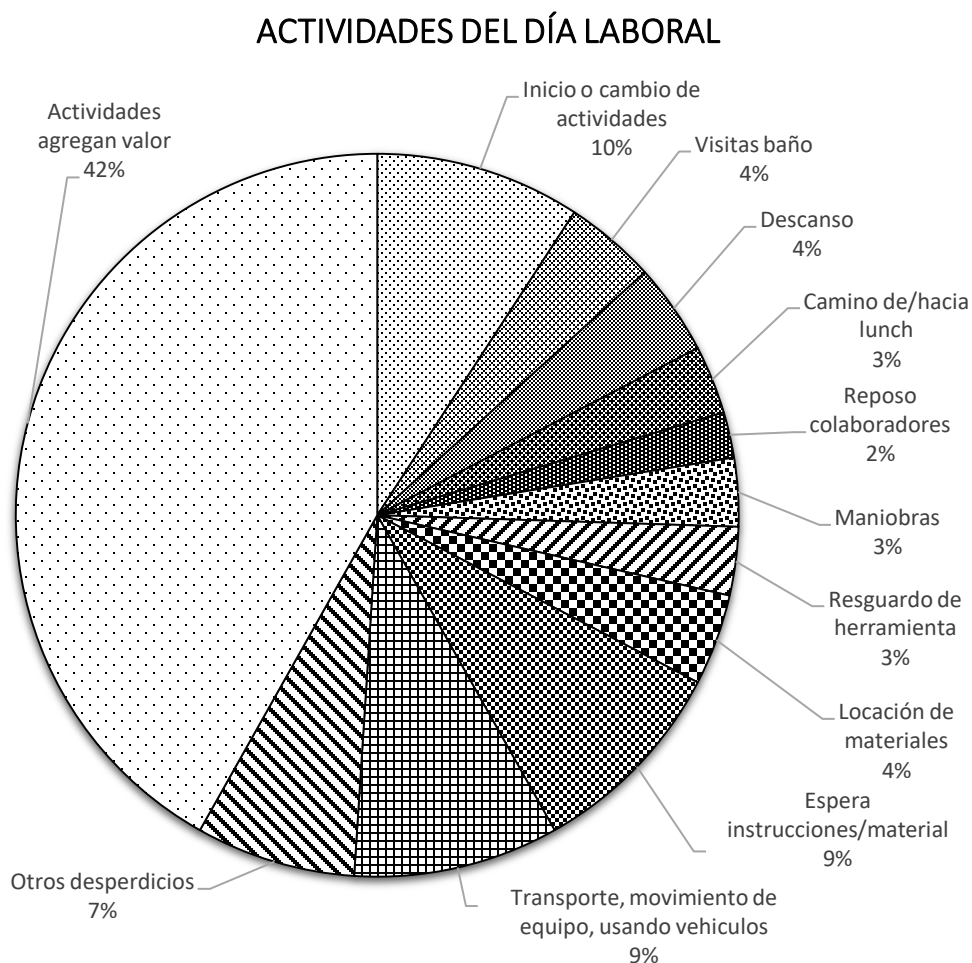
Considerando las cifras anteriores se puede inferir que los desperdicios son un gran problema en la industria de la construcción. Si se considera que el 59% de las actividades no agregan valor al proyecto, es interesante la cifra económica que representa del PIB nacional. Por lo tanto, los desperdicios son “el cáncer” que se desarrolla a través de las prácticas de esta industria.

Una razón más para establecer e implementar filosofías y procesos integradores, en los cuales los gerentes de proyecto consideren que la evolución tecnología es parte inherente de ellos y de sus procesos, en la aplicación de las técnicas de mejora continua.

En secciones anteriores, se estable que los sistemas de gestión de proyectos tradicionales se desarrollan de forma segregada.

⁵⁸ **El Asmar, M. (2012).** *Modeling and Benchmarking Performance for the Integrated Project Delivery (IPD) System (Tesis)*. Madison: University of Wisconsin.

Gráfica 2 Distribución de actividades a lo largo de la jornada laboral en construcción.



En el caso del DLC, el desperdicio se presenta en grandes cantidades, debido a las características del sistema como lo es su forma secuencial y lineal de ejecutar las actividades.

Otro aspecto importante es que, por la naturaleza de este sistema, las deficiencias en la colaboración y la búsqueda de satisfacción de intereses propios sin importar los objetivos del proyecto resultan en procesos ineficientes, los cuales se pueden transformar en otro tipo de prácticas aún más derrochadoras como lo son los rediseños y los retrabajos.

El tiempo desperdiciado, los retrabajos, la mala programación y las deficiencias en los presupuestos son problemas latentes en la industria de la construcción. Cerca del 52% del incremento de los costos del proyecto se deben a las actividades relacionadas con los retrabajos y rediseños.⁵⁹

También existen problemas relacionados con los tiempos de entrega y las especificaciones del proyecto. El Construction Management Association of America establece que entre un cuarenta y cincuenta por ciento de los proyectos no se entregan en tiempo y forma de acuerdo con las cláusulas establecidas en los contratos.

CON UN CORRECTO GRADO DE INTEGRACIÓN SE MINIMIZAN PROBLEMAS
COMO LOS TIEMPOS DE ENTREGA Y LAS ESPECIFICACIONES DEL
PROYECTO.

Entonces, indicadores esenciales que analizar serán los relacionados con la calendarización, programación y tiempos de entrega.

En la industria existen problemas adicionales como lo son aquellos relacionados con la seguridad, errores técnicos, calidad del diseño, así como aspectos ideológicos erróneos establecidos en la cultura de los contratos tradicionales. Lo anterior ocasiona que los propietarios y desarrolladores pierdan recursos de capital y los constructores manejen riesgos adicionales.

Uno de los problemas encontrados es que, para atender las contingencias generadas por la mala planeación y la administración del riesgo, se utilizan recursos que impactan en el costo del proyecto. Lo anterior puede ser similar a los porcentajes de utilidad manejada en los proyectos tradicionales.⁶⁰

Continuando con el análisis de la problemática, es importante considerar a la falta de coordinación y poca actualización en los acuerdos contractuales, la baja calidad en las especificaciones de diseño y de construcción. Esos factores se multiplican debido a la

⁵⁹ **Love, P. E. (2002).** Influence Of Project Type and Procurement Method on REwork Cost in Building Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 18-29. doi:10.1061/~ASCE10733-9364~2002128:1~18!, p. 27

⁶⁰ **Hanna, A. S., & Swanson, J. (2007, 01).** Risk Allocation by Law - Cumulative Impact of Change Orders. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 60-66. Retrieved 09 15, 2017, p. 63

competencia desleal y a la falta de integración de los objetivos de los participantes con los del proyecto.

En la industria existen pocos estudios efectivos y de eficiencia sistemática en la planeación y el seguimiento de las actividades a lo largo del proceso productivo. Es necesario considerar aspecto como los cambios tecnológicos que repercuten de manera directa en la industria de la construcción, los cuales aportan nuevas técnicas y herramientas que favorecen al cumplimiento de las metas de los colaboradores.

El Building Information Modelling (BIM), que en la actualidad presenta grandes retos para su implementación, es una de las alternativas tecnológicas que potencian los cambios en los procesos de gestión en esta industria.

EN MÉXICO NO EXISTEN ESTUDIOS RELACIONADOS CON LA
PRODUCTIVIDAD EN LA GESTIÓN DE PROYECTOS IPD. SON POCOS LAS
ORGANIZACIONES QUE APROVECHAN LOS BENEFICIOS DE ESTE SISTEMA.

Con la aplicación de este tipo de paquetes informáticos se presentan cambios en el involucramiento de los participantes clave del proyecto. Se requiere de una colaboración constante entre contratistas, diseñadores que desafían las practicas establecidas por los roles tradicionales.

Esta es una visión a los problemas y factores de cambio que afectan a la industria de la construcción y que pueden subsanarse con la implementación de los métodos, técnicas y la filosofía que presenta el Integrated Project Delivery.

Gran cantidad de problemas se pueden resolver con la implementación del IPD en la industria de la construcción. En la revisión de la literatura se establecen criterios para la selección de los métricos de rendimiento, así como lo que relacionan, comparan y cuantifican los beneficios que aporta este sistema de gestión de proyectos en comparación a los sistemas de gestión tradicionales.

El IPD cada vez es más popular en diversas partes del mundo, esto en respuesta a los beneficios que reporta. En Reino Unido, la oficina de comercio gubernamental realizó estudios donde demuestran que en “proyectos integrados” se reportan beneficios y ahorros desde el dos al diez por ciento en proyectos donde los participantes clave colaboran por única vez.

Se menciona que cuando los participantes han trabajado juntos en más de un proyecto (es decir, se crean roles de asociaciones estratégicas) se logran ahorros de hasta el treinta por ciento con respecto a proyectos gestionados de forma tradicional.⁶¹

En el país no existe información relevante sobre la aplicación de este sistema de gestión de proyecto. La información disponible se relaciona con aspectos como la gestión general de proyectos o cuestiones administrativas y gerenciales, pero no consideran el aspecto filosófico de la integración y colaboración entre participantes clave. Es por eso por lo que se recurre a literatura existente en países como los EE. UU.

NO ES FÁCIL IDENTIFICAR Y CUANTIFICAR MÉTRICOS DE DESEMPEÑO, SIN EMBARGO, EL IPD DA FLEXIBILIDAD A LOS PROCESOS, LO QUE PERMITE QUE ESTOS PUEDAN SER MESURABLES. “ALGO QUE NO PUEDE SER MEDIDO, NO PUEDE SER CONTROLADO”

DRA. GEMMA VERDUZCO C.

Por lo tanto, otras investigaciones basan sus resultados en que el IPD incrementa el desempeño productivo del proyecto. También en respuesta a la nula existencia de datos estadísticos, se recurre a recolectar información a empresas que gestionen proyectos desde la perspectiva integradora y tradicional.

En la bibliografía existen estudios que muestran las diferencias existentes entre los sistemas de gestión, sin embargo, se requieren estrategias y alternativas para el manejo y toma de decisiones relacionadas con las actividades productivas como lo son las relacionadas con el costo, la calidad y el tiempo.

Aspectos que se relacionan directamente con actividades en la administración del costo, por ejemplo, la creación de cláusulas donde los clientes puedan reinvertir los ahorros y así obtener mayor valor en sus proyectos.

En la gestión de proyectos no es fácil identificar y cuantificar métricos de rendimiento, sin embargo, con la aplicación de técnicas de análisis de puntos de referencia (técnicas de benchmarking), se pretende establecer aquellos indicadores que nos permitan recolectar información útil para la presente investigación.

⁶¹ El Asmar, M. (2012). *Modeling and Benchmarking Performance for the Integrated Project Delivery (IPD) System (Tesis)*. Madison: University of Wisconsin, p. 9

Debido a que este tipo de gestión de proyecto es de reciente aplicación en el país, existen muy pocos proyectos que puedan ser analizados. Los sistemas de gestión donde el arquitecto es el que diseña y construye pueden servir en determinados parámetros para analizar la productividad en el proyecto.

El American Institute of Architects (AIA) también ha realizado diversas publicaciones relacionadas con el tema. Diversos artículos han sido redactados con el objetivo de analizar las características y principios del IPD. Ha creado una guía para el IPD que muestra los principios, conductas, roles y filosofía detrás de este sistema de gestión de proyectos.

La recolección de datos de la presente investigación enfoca sus objetivos en el análisis de líderes de proyecto, que pueden ser gerentes de construcción, propietarios y contratistas generales.

Debido a lo anterior no se recolectan datos desde puestos inferiores en la cadena de mando. Es una investigación para la implementación de nuevas técnicas y procesos en las actividades gerenciales de la gestión del proyecto.

La recolección de datos es un factor delicado puesto que el manejo de información delicada y la protección de datos personales es un elemento que las empresas toman ampliamente en consideración.

Es importante garantizar que la información recolectada por la herramienta sea útil y que los métricos de rendimiento muestren datos necesarios para establecer análisis certeros. La medición requiere compromiso por parte de las personas entrevistadas, por tal motivo, se realizaron reuniones previas donde se les explicó cómo funcionaba el proceso de recolección de datos, así como las intenciones de la investigación.

A pesar de las deficiencias de rendimiento establecidas en otros estudios del Integrated Project Delivery ⁶² ⁶³ ⁶⁴, en el país existe la necesidad de evaluar e implementar técnicas que nos permitan comprender el desempeño real basado en fundamentos tangibles

⁶²Hanna, A. S., & Swanson, J. (2007, 01). Risk Allocation by Law - Cumulative Impact of Change Orders. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 60-66. Retrieved 09 15, 2017

⁶³ Ibbs, W., Kwak, Y. H., & Odabasi, A. M. (2003). Project Delivery Systems and Project Change: Quantitative Analysis. *Journal of Construction Engineering and Management*, 382-387.

⁶⁴ Pocock, J. B. (1996). *The Relationship Between Alternative Project Approaches, Integration and Performance*. Urbana-Champaign: University of Illinois.

y mesurables y en métricos de rendimiento exclusivamente diseñados para la industria de la construcción.

Se aplican esfuerzos para obtener datos certeros los cuales sirven como elemento de partida para el establecimiento de resultados y conclusiones certeras, que sean útiles para cambiar los paradigmas en la gestión de los proyectos en la industria de la construcción.

Los resultados de esta investigación muestran como los proyectos gestionados de forma integral tienen mejores rendimientos en determinadas áreas del proceso productivo.

Es una guía para que los propietarios y demás interesados en el proyecto tengan herramientas gerenciales para gestionar y administrar sus proyectos.

Para ellos, cumplir con los objetivos y las metas será más fácil, puesto que podrán realizar análisis basados métricos de rendimiento y estándares eficientes.

INTEGRATED PROJECT DELIVERY (IPD)

El concepto de gestión de proyectos está enfocado a procesos que tienen un fin, un objetivo y metas establecidas. Se refiere a la administración de las actividades a lo largo de la línea del tiempo del proyecto, donde los participantes adquieren responsabilidades que una vez cumplidas determinan la finalización del proyecto.

Junto con el riesgo compartido, vienen las recompensas compartidas. A su vez, lo muestra un proceso para la resolución de problemas con la intención de mantener las relaciones cordiales entre las partes del proyecto.⁶⁵

Considera que el IPD se basa en cinco conceptos; colaboración real, redes de compromisos, acción y teoría juntos, relaciones estrechas y optimización del proyecto. Establece una serie de parámetros que apoyan el IPD en relación con un modelo contractual.

⁶⁶ Su estudio analiza estrategias comerciales, como lo son la selección de los equipos y el

⁶⁵ **Lichtig, W. A. (2005).** Sutter Health: Developing a Contracting Model to Support Lean Project. *Lean Construction Journal*, 2, 105-112. Retrieved 01 15, 2018. PP. 109

⁶⁶ **Ídem**

incremento del involucramiento temprano en el proyecto por parte de los contratistas, así como el diseño colaborativo.⁶⁷

Se consideran al IPD como “una relación contractual colaborativa que alinea los objetivos del proyecto con los intereses de los participantes clave del proyecto”. Realiza un análisis del desempeño de un proyecto DPI donde obtiene por resultado que existe aproximadamente un 10% de ahorro en el proyecto, de acuerdo con el costo mínimo establecido en dicho proyecto.⁶⁸

El Instituto Americano de Arquitectos (AIA, por sus siglas en inglés) definió al IPD como “un sistema de gestión de proyectos que integra personas, sistemas, estructuras de negocio y prácticas en un proceso que aprovecha talentos e ideas de todos los participantes para optimizar los resultados del proyecto, aumentar el valor para el propietario, reduce los residuos y maximiza la eficiencia a través de todas las fases de diseño, fabricación y construcción”.⁶⁹

El termino Integrated Project Delivery o Desarrollo de Proyectos Integrales ha evolucionado conforme se establecen las características de este sistema de gestión y su relación con aspectos tecnológicos contemporáneos con la implantación de procesos integrados basados en el Building Information Modelling.

El AIA establece varios principios, donde se puede demuestra que el IPD hace uso de gran variedad de acuerdos, por lo tanto, su aplicación no se restringe al uso de contratos multipartidistas. Se establecen conceptos como la conformación de los equipos clave para la gestión integrada del proyecto. Considera que los participantes clave pueden estar basados más allá del típico equipo conformado por el arquitecto, cliente y constructor.

Uno los esfuerzos que hace el IPD y que se diferencia de los proyectos tradicionales es la participación temprana de los participantes clave en la línea de tiempo del proyecto. La intención del involucramiento temprano es establecer de forma clara los ideales, objetivos y metas del proyecto para alinearlos a los intereses de todos los participantes en el proyecto.

⁶⁷ **Lichtig, W. A. (2005).** Sutter Health: Developing a Contracting Model to Support Lean Project. *Lean Construction Journal*, 2, 105-112. Retrieved 01 15, 2018. PP. 109.

⁶⁸ **Matthews, O., & Howell, G. A. (2005).** Integrated Project Delivery: An Example of Relational Contracting. *Lean Construction Journal*, 46-61. PP. 47.

⁶⁹ De acuerdo al American Institute of Architects en Integrated Project Delivery: A Guide, disponible en https://info.aia.org/SiteObjects/files/IPD_Guide_2007.pdf

Uno de los principales detrimentos de los proyectos más tradicionales es que dejan de lado la integración de las actividades del proyecto y ejecutan procesos aislados. Analizándolo desde el punto de vista sistémico, no podríamos considerar a la construcción o al proyecto como un ente con procesos aislados puesto que unos se relacionan con otros.

Desde el principio del proyecto hasta el final del mismo existe una interrelación de procesos que, de no considerarse, repercute en la mala implementación de las técnicas, lo cual puede generar desperdicios evitando que los proyectos cumplan con su metas y objetivos.

Los procesos IPD surgen alrededor del año 2000 cuando un grupo de personas en el Reino Unido patentó los derechos del Desarrollo de Proyectos Integrales. Como aspecto filosófico, los proyectos integrales se han llevado a cabo desde años atrás con profesionales de la industria de la construcción que han implementado el IPD en una manera colaborativa o integrada de trabajar y gestionar los proyectos.

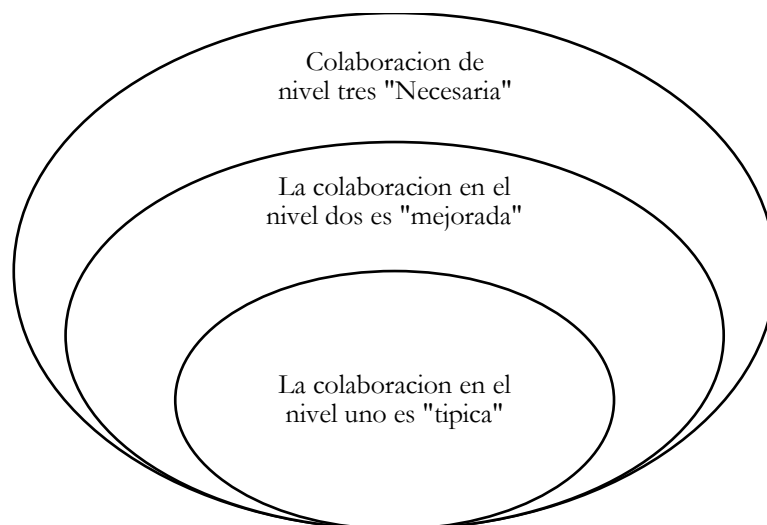
Por lo tanto, filosóficamente hablando, el IPD es un enfoque colaborativo para implementar en un contrato de proyecto de construcción y que no necesariamente tiene que estar especificado en el mismo.

El IPD enaltece la colaboración, pero esta solo puede ser obtenida si las partes que intervienen en el proyecto están dispuestas a trabajar a través de una manera no contractual para colaborar en el proyecto. Esta colaboración requiere altos niveles de confianza y quizás, que exista experiencia entre los colaboradores para lograr cumplir objetivos.

Los procesos presentes en los proyectos, sin discriminar índole, están conformados por los mismos elementos y factores esenciales como lo son: equipos de trabajo, procesos, riegos, recompensas, sistemas de comunicación y toma de decisiones o acuerdos, entre otros, sin embargo, dependiendo si se trata de un proyecto tradicional o integral, adoptan características específicas.

En el desarrollo de una organización tradicional, lo equipos de trabajo realizan actividades aisladas, en parámetros de «hacer solo lo necesario» y están basados en una estructura organizacional jerárquica estrictamente controlada. Por otra parte, los equipos en los proyectos integrales los individuos claves del proyecto que propiciaron el desarrollo de este y generan un ambiente de apertura y colaboración con los miembros subalternos.

Ilustración 5 Niveles de colaboración necesarios en los sistemas de gestión.



El Desarrollo de Proyectos Integrales para propietarios públicos y privados ofrece la mejora del aprovechamiento alcanzando la colaboración basada en tres niveles, ver. Los tres niveles de integración son:

- **Colaboración de nivel uno** – Típica; no se requiere una colaboración establecida a través de contratos.
- **Colaboración nivel dos** – Mejorada; podrían existir relaciones de colaboración establecidas en contratos.
- **Colaboración nivel tres** - Requerida, se necesita establecer una relación contractual entre los múltiples actores que intervienen en el proyecto.

Los procesos tradicionales su funcionamiento principal es lineal y segregado, se procura solo la información que se necesita al momento, la cual es difícil de obtener debido a que los miembros crean «silos» de información, la cual solo esta guardada sin generar utilidad para el resto de los miembros de la organización.

En cambio, en el equipo integral se establecen procesos a través de los múltiples niveles jerárquicos, el conocimiento se comparte desde las fases tempranas de la planeación del proyecto y aquí la información se comparte abiertamente en un marco de respeto y confianza.

La administración de riesgo en un proyecto tradicional se maneja de forma individual y se busca transferirlo a un tercero, en el DPI, se maneja colectivamente, se distribuye de forma apropiada y con responsabilidad.

En los proyectos tradicionales, la comunicación se realiza en canales bidireccionales, en cambio en el proceso integral la comunicación se basa en medios digitales y es virtual a través de plataformas tecnológicas como el “*Building Information Modelling*” (BIM).

Con respecto a los acuerdos, el Desarrollo de Proyectos Integrales permite alentar, fomentar y promover prácticas de colaboración abiertas, lo cual propicia la disminución del riesgo por omisión o desconocimiento de información.

Entre IPD y los sistemas basados en Lean Construcción existen características similares, sin embargo, algunos investigadores establecen límites y diferencias entre las diferencias de estos sistemas.

Lean Construcción (LC) se basan en tres principios esenciales:

- Un sistema operativo, es decir herramientas específicas para la ejecución del proyecto.
- Acuerdos comerciales, para el suministro de materiales en tiempo y forma.
- Organización del proyecto en forma colaborativa.

Por otro lado, IPD no requiere de herramientas específicas, las cuales serían necesarias para determinado sistema operativo.

Una característica particular del DPI es que se realiza la firma de un contrato multipartidista donde se establece el involucramiento temprano de los participantes claves, sin importar que sistema operativo a utilizar en el proyecto.

Existen reportes que describen que LC es un sistema donde representantes de las etapas del ciclo de vida de la obra están involucrados desde el inicio del proyecto, con la intención de elaborar procesos de diseño cíclicos donde existe retroinformación a lo largo de la ejecución de proyecto.

Existen investigaciones que consideran que los Sistemas de Gestión de Proyectos basados en Lean Construction aún están en desarrollo. Por ejemplo, Ballard establece que su hipótesis se basa en que “A través del Sistema de Gestión de Proyectos Lean, uno puede proporcionar instalaciones más aptas para el propósito del cliente a un costo menor”.⁷⁰

Aspectos similares se consideran en el IPD, donde lo primordial es establecer un contrato multipartidista con el involucramiento temprano de los participantes clave. Ballard, expone en su investigación que con la aplicación de sistemas de entrega basados en LC, se puede terminar el proyecto en tiempo menor al planeado inicialmente y con una reducción de aproximadamente el 15% del costo del proyecto.

También hace mención a establecer la importancia de establecer las etapas del proyecto para determinar lo que funciona lo que no en los sistemas de entrega basados en Lean.

Esta investigación determina cuáles son los factores que favorecen o disminuyen el desempeño en el proyecto ejecutados a través del DPI, mostrará los resultados de los factores de desempeño que muestran un incremento en la productividad del proyecto.

Algo que no considera DC y que el DPI si hace, es tomar en cuenta al desempeño de factores de productividad en el proyecto, como lo son la comunicación, calidad, trabajo, seguridad, retorno del negocio, gestión del cambio, entre otros.

Colaboración en el equipo principal de un IPD

En apartados anteriores se mencionaron los principios sobre los cuales el IPD se fundamenta y desarrolla en relación con los participantes clave. Los Participantes Clave del Proyecto son los responsables de formar el Equipo Principal para la gestión del proyecto.

Para crear un método enfocado en colaboración real y procesos de construcción transparentes e integrados, el IPD hace uso de modelos BIM. En aprovechamiento de los sistemas BIM, toda la comunicación se centra en los servidores principales de la nube. El modelo se comparte con todos los involucrados en el proyecto y sirve como punto común de datos donde toda la información es administrada, organizada y concentrada.

⁷⁰ **Ballard, G. (2008).** The Lean Project Delivery System: An Update. *Lean Construction Journal*, 1-19. Retrieved from www.leanconstructionjournal.org, PP. 04.

Debido a que la información se encuentra concentrada en un solo punto, la cantidad de datos redundantes se reduce para que los datos “importantes” sean utilizados por todos los participantes en el proyecto.⁷¹

El uso de BIM es una excelente herramienta para la conformación de equipos, permite que un modelo visual (en tres, cuatro o cinco dimensiones) compartido sirva de punto de referencia para analizar y resolver problemas. Es un aspecto de gran valor para el trabajo en equipo en la gestión IPD.

El modelo BIM será entonces la herramienta que permitirá a los equipos principales desarrollar sus responsabilidades. Da a la gerencia del proyecto un marco de actuación para operar y asegurar el rendimiento económico del proyecto y de la edificación.

Características de los sistemas de gestión integrales y tradicionales

El DC y el IPD son enfoques para la gestión de proyectos basados en procesos colaborativos e integrados que abarcan etapas tanto de diseño como construcción. Utilizan modelos BIM 3D en combinación con datos de programación (modelo 4D) y estimación de costos (5D).

La integración en etapas tempranas permite que los modelos virtuales sean creados antes de que la construcción comience. El modelo virtual sirve como fuente de información para la construcción del proyecto.

El modelo, la programación y el seguimiento del costo, deben gestionarse y coordinarse desde el inicio proyecto.⁷²

Para obtener mejores resultados en el éxito del proyecto, es necesario que los modelos BIM y la gestión IPD se apliquen desde el principio del proyecto.

⁷¹ Jones, B. (2014). Integrated Project Delivery (IPD) for Maximizing Design and Construction Consideration Regarding Sustainability. *Procedia Engineerings*, 528-538.

⁷² GSA. (2009). *BIM Guide for 4D Pushing*. Washinton: General Services Administration. PP. 09.

Es importante establecer aspectos básicos del proyecto para tener información suficiente al inicio de este. Así pues, los criterios de construcción, las limitaciones de los participantes, las metas y los objetivos deben establecerse desde el inicio. Algunas especificaciones se modificarán a lo largo del ciclo de vida del proyecto de construcción.

Para que el enfoque IPD funcione, es esencial involucrar la experiencia de los gerentes de construcción para maximizar los beneficios del proyecto, considerando la experiencia de construcción que estos pueden aportar.

El propietario, entonces podrá tener la seguridad y certeza en términos de costo y calendarización de que su proyecto se ejecutará de acuerdo con lo planeado.

En etapas tempranas del proyecto, con la integración y colaboración de participantes a través de “Big Rooms” se crean modelos 3D, 4D y 5D con el nivel de detalle apropiado para su construcción.

Entre los sistemas de gestión de proyectos más utilizados en la industria de la construcción se encuentran el DLC y el DC, ambos con características de procesos diferentes, pero enfocados con a un solo objetivo; realizar proyectos de construcción.

Existen muchas referencias y literatura que compara el desempeño de estos sistemas de gestión. Las diferencias entre esos estudios son el tipo de proyecto analizado y los métricos de desempeño considerados en dicho proceso.

El IPD es una red de métodos que distribuyen el riesgo, busca beneficios y reestablece las relaciones de trabajo y establece como las partes que intervienen en los proyectos interactúan entre sí.

Tabla 5 Diferencias generales entre los sistemas de gestión

PROYECTOS INTEGRALES	FACTOR ANALIZADO	PROYECTOS TRADICIONALES
Participantes clave Participación temprana Procesos abiertos y colaborativos.	EQUIPOS	Fragmentados “cómo se necesiten”, “al mínimo necesario” Jerarquía rígida, muy controlados.

Multinivel, Conocimiento tempranas Información compartida Respeto y confianza	PROCESOS	Lineales, Segregados “Solo lo que se necesita” Silos de información
Digital y virtual BIM (3, 4 y 5 dimensiones)		COMUNICACIÓN TECNOLÓGICA

Pocock (1996)⁷³ comparó los sistemas de gestión de proyectos utilizados por la milicia estadounidense estableciendo dos grandes grupos, los sistemas tradicionales y los sistemas alternativos (actualmente denominado IPD).

Su investigación compara métricos de desempeño como lo son el incremento de la calendarización, el incremento del costo, las deficiencias por diseño y las modificaciones en el proyecto.

Estableció que los sistemas tradicionales (DLC) fueron los que peor desempeño tienen basados en los métricos mencionados con anterioridad. También establece que el Grado de Interacción (DOI) impacta directamente en el desempeño del proyecto.

Molenaar realizó varios estudios ^{74 75 76 77} sobre el DC y otros sistemas de gestión en el sector público, entre las variables que él considera se encuentran la experiencia del propietario, el porcentaje de diseño completo, la selección de los diseñadores y constructores, el tipo de contrato y los métodos de recompensas.

⁷³ Pocock, J. B. (1996). *The Relationship Between Alternative Project Approaches, Integration and Performance*. Urbana-Champaign: University of Illinois.

⁷⁴ Songer, A. D., & Molenaar, K. R. (1996). Selecting Design-Build: Public and Private Sector Owner Attitudes. *Journal of Management in Engineering*, 47-53.

⁷⁵ Molenaar, K. R., Songer, A. D., & Barash, M. (1999). Public Sector Design and Build Evolution and Performance. *Journal of Management in Engineering*, 54-62. Retrieved 03 28, 2018

⁷⁶ Songer, A. D., & Molenaar, K. R. (1997, 03). Project Characteristics for Successful Public Sector. *Journal of Construction Engineering and Management*, 34-40. Retrieved 02 14, 2018

⁷⁷ Mesa, H. A., Molenaar, K. R., & Alarcón, L. F. (2016, 07 02). Exploring Performance of the Integrated Project Delivery Process on Complex Building Projects. *International Journal of Project Management*, 34, 1089-1101. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.05.007

Utiliza métricas de desempeño cualitativas y cuantitativas. Cuantitativas como el incremento del costo y la programación. Cualitativas como la medición de la calidad y la satisfacción del propietario a lo largo del proyecto.

De acuerdo con Mossman⁷⁸ los proyectos tradicionales e integrados tienen características que los diferencian completamente.

En la **Tabla 5** se observan las diferencias que Mossman establece en su comparación sobre los sistemas de gestión.

Se analizan aspectos como la teoría en la que se basan los sistemas, los términos comerciales, formas de control, aprendizaje, aspectos económicos, organizacionales, características de las personas involucradas, planeación, producción y calidad, así como el riesgo, la seguridad, el tiempo y los desperdicios.

Cada uno de estos conceptos da un marco de referencia del comportamiento de los procesos según el sistema de gestión.

Por consiguiente, de acuerdo con las necesidades del proyecto se requiere seleccionar adecuadamente el sistema de gestión a través del cual se construirá el inmueble. Es necesario aclarar que algunas veces es conveniente el uso de los sistemas tradicionales puesto que, según las características culturales, de la región y tecnológicas uno u otro sistema pueden resultar con mayores beneficios para el propietario.

Tabla 6 Características de los sistemas de gestión.

SISTEMAS DE GESTIÓN TRADICIONALES	SISTEMAS DE GESTIÓN INTEGRALES
--------------------------------------	-----------------------------------

⁷⁸ **Mossman, A. (2015).** Traditional Construction and Lean Project Delivery - A Comparison. *Research Gate*, 1-4. doi:10.13140/RG.2.1.4495.9448

GESTIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Modelo matemático para el análisis del desempeño del proyecto

<p>Los participantes solo ven sus intereses</p> 	<p>Los problemas a los que típicamente se enfrentan todos los proyectos son, falta de colaboración, integración y flujo de información.</p>	<p>Enfocado a resolver necesidades humanas</p> 
<p>Estructuras centralizadas y planeación corporativa – Año 1960</p>	<p>Carácter distintivo</p>	<p>Estructuras multinivel, tecnologías emergentes – Año 2000</p>
<p>Poca confianza entre los involucrados, bilateral, trabajo a la defensiva, cooperación e innovación limitadas.</p>	<p>Términos comerciales</p>	<p>Valor agregado, basado en confianza,</p>
<p>Se recupera después de que el problema ocurre.</p>	<p>Control</p>	<p>Sistema diseñado para “hacer que las cosas sucedan”.</p>
<p>Generalmente insatisfechos. Proyectos con retardos, con sobre costos y poca calidad. Pierden control sustancial del proyecto en cuanto se firma el contrato.</p>	<p>Clientes</p>	<p>Reciben más valor agregado. Mas satisfechos. Involucrados en todas las etapas del proyecto.</p>
<p>La IC es el único sector que separa diseño de producción. Estimaciones de costos por lo regular 30% más bajas que el costo real. BIM está; cambiando los procesos y la forma tradicional ya no es viable.</p>	<p>Diseño</p>	<p>Objetivos de sostenibilidad y sustentabilidad cada vez más desafiantes. Estimación de costos +/- 10% con 95% de confianza. Colaborativo y simultaneo con contratistas y asesores.</p>
<p>Aprendizaje limitado a errores. Las lecciones aprendidas en etapas posteriores no son útiles para el proyecto y no se analizan con retrospectiva.</p>	<p>Aprendizaje</p>	<p>Integrado en todo lo que se hace en el proyecto. Es la base para la mejora continua. Todo se puede mejorar, incluso si lo acabamos de realizar.</p>
<p>Reducción de márgenes en la cadena de suministros por procesos actualizados. Involucrados enfocados en maximizar su beneficio, sin importar el éxito del proyecto. Presupuestos inflados y con elementos faltantes. Quienes ganan por porcentaje no les interesa optimizar su uso.</p>	<p>Dinero</p>	<p>Integrado al presupuesto. + Mayores márgenes de beneficios. Hasta 50% menor que el mercado promedio.</p>
<p>Silos organizacionales. Jerárquica, basada en órdenes y control. Poca colaboración y falta de confianza. A la defensiva. Todos intentan minimizar su contribución.</p>	<p>Organización</p>	<p>Colaborativa. Basada en el aprendizaje. Optimización de todo. General, plana y multi-nivel</p>

El trabajo en equipo carece de confianza. Poco respeto.	Personas	Enfocados a cumplir las metas del proyecto. Menos trabajo en sitio. Menos estrés, mejor trabajo en equipo.
Basada en Ruta Crítica. Métodos Push. Basada en desconfianza.	Planeación	A corto plazo, colaborativa, hacer que las cosas sucedan. Basada en compromisos, Métodos Pull.
Trabajo enfocado a la producción, planeación anticipada poco efectiva. CPM utilizada para administrar la producción. Proyectos en gran medida sin compromiso. Baja productividad y no ha mejorado en medio siglo.	Producción	Procesos establecidos durante la etapa de diseño. Gestión basada en metas y objetivos a corto plazo. Trabajo sistemático.
Existencia de gran cantidad de retrabajos. Las cosas quedan bien a la segunda.	Calidad	Enfocada a lo que se necesita entregar. Basada en las necesidades del usuario.
Por lo regular, enfocado en un tercero que no tiene conocimientos para gestionarlo. Conflicto de intereses entre los miembros del equipo. Aspectos culturales incompatibles entre los involucrados.	Riesgos	Gestionados y reducidos por el Equipo Principal. Responsabilidad compartida.
Muchos lesionados o muertos. La ergonomía es innecesaria.	Seguridad	50% menos accidentes. Incidencias por “enfermedad” reducidas.
Estructuras rígidas con actividades secuenciales estrictamente controladas.	Estructuras	Se adecua a las circunstancias, tiene autonomía, interdependencia y secuencial.
Hay tiempo para los retrabajos, pero no para la planeación.	Tiempo	Proyectos terminados en tiempo y forma.
La práctica de este tipo de gestión conlleva comportamientos derrochadores.	Desperdicio	A menos desperdicio, menos trabajo. Todos trabajan para reducirlos.

En apartados posteriores se menciona la importancia de la selección del sistema de gestión, sin embargo, con la ayuda de herramientas tecnológicas actuales, la sociedad emerge hacia una gestión integral que englobe todos los conocimientos posibles para optimizar el producto final.

BENEFICIOS DE LA GESTIÓN DE PROYECTOS INTEGRALES

La correcta selección del Sistema de Gestión del Proyecto (PDS)⁷⁹ ayuda a reducir y cumplir con muchos de los retos presentes en el proyecto. Un PDS es simplemente la

⁷⁹ PDS son las siglas de “Project Delivery System” es decir, el Sistema de Gestión del Proyecto. Esta investigación los divide en integrales y tradicionales de acuerdo con las características que se establecen en el apartado correspondiente.

estructura contractual en la que se establecen roles y funciones para que el proyecto de construcción sea entregado al propietario.

Entre los sistemas de gestión de proyectos más importantes por su uso, encontramos los siguientes:⁸⁰

- Diseño-Licitación-Construcción (DLC).
- Diseño-Construcción (DC).
- IPD, Integrated Project Delivery.

Uno de los principales beneficios de la adopción de Sistemas de Gestión Integral como lo es el IPD, es la aplicación de nuevas tecnologías como lo es el uso de BIM. Con el uso de herramientas BIM se busca lograr un ambiente de trabajo colaborativo en las etapas de diseño y construcción. Por ejemplo, existen proyectos en los cuales se lograron ahorros del alrededor del 40% y ese porcentaje se distribuyó en 40% para el propietario, 20% para el equipo de diseño y 40% para los constructores.⁸¹

La ejecución de los proyectos se realiza a través de procesos potenciados por información contenida en modelos digitales. La colaboración continua permite que la experiencia y el conocimiento de los involucrados en el proyecto se apliquen al proyecto durante todas las etapas de este a su vez permite compartir riesgos entre los participantes para que se produzcan procesos más rentables.

Aun se requiere realizar mayor investigación respecto a los contratos y modelos de control para la gestión de proyectos a través de BIM, sin embargo, eso no impide que su uso crezca día a día.

Los propietarios de los proyectos generalmente mencionan que necesitan la construcción al costo más bajo, con la mejor calidad disponible y en el periodo de tiempo más corto posible.

Según el tipo de proyecto a ejecutar, algunas de esas características pueden ser más importantes que las otras. Por ejemplo, el tiempo de construcción puede ser más importante

⁸⁰ **Masucci, M. R. (2008).** Project Delivery Systems: Pro vs. Con - Design-Bid-Build vs. CM @ Risk vs. Design-Build. CMAA, Southern California Chapter. pp. 1.

⁸¹ **American Institute of Architects. (2010).** Integrated Project Delivery; Case Studies. American Institute of Architects, 30. PP. 26.

que el costo, según las necesidades del proyecto. Para otros, mantener costos bajos a lo largo del proyecto puede ser más importante que un alto costo inicial.

Entre las especificaciones y objetivos más importantes a definir en el proyecto según los sistemas de gestión se encuentran⁸²:

- Obtener el costo más bajo en relación con los objetivos de calidad y rendimiento.
- Establecer costo inicial y costos durante el ciclo de vida del proyecto.
- Establecer el programa más corto para la construcción del proyecto.
- Especificar los estándares de calidad.
- Cumplir con las especificaciones técnicas.
- Promover la innovación y reconocer la importancia de las ingenierías en etapas tempranas.
- Limitar el costo ocasionado por los cambios de diseño.
- Limitar costos e incremento de programa.
- Controlar las decisiones de diseño.
- Controlar la calidad de construcción.
- Limitar solicitudes a los recursos del propietario.
- Establecer responsabilidades a través de contratos.
- Limitar los costos adicionales.

Además de las especificaciones anteriores, en la actualidad los proyectos integrales requieren de procesos interconectados a través de aplicaciones y software que permiten el acceso al conjunto de datos del proyecto. Los procesos integrados en el proyecto a través de software BIM son aquellos relacionados con el diseño, la coordinación, la gestión y la gobernabilidad del proyecto, entre otros.⁸³

Las principales características, consideraciones, fortalezas y ventajas de los sistemas de gestión de proyectos de acuerdo con Masucci (2008)⁸⁴ son:

⁸² **Masucci, M. R. (2008).** Project Delivery Systems: Pro vs. Con - Design-Bid-Build vs. CM @ Risk vs. Design-Build. CMAA, Southern California Chapter. pp. 1.

⁸³ **Lobo, S., & Whyte, J. (2017).** Aligning and Reconciling: Building Project Capabilities for Digital Delivery. *Elsevier*, 93-107. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2016.10.005>. pp. 93.

⁸⁴ **Masucci, M. R. (2008).** Project Delivery Systems: Pro vs. Con - Design-Bid-Build vs. CM @ Risk vs. Design-Build. CMAA, Southern California Chapter. PP. 2-3.

Tabla 7 Características de los sistemas de gestión tradicionales.

1. Diseño-Licitación-Construcción

VENTAJAS	CONSIDERACIONES
El propietario controla las etapas de diseño y construcción.	Requiere experiencia por parte del propietario y recursos económicos significantes.
Los cambios en el diseño se realizan fácilmente antes de que la etapa de construcción de inicio.	Responsabilidades compartidas para la gestión del proyecto.
Diseño 100% completo previo a la etapa de construcción.	El propietario asume el riesgo ante el contratista por errores y deficiencias de diseño.
El costo de la construcción se establece en la firma del contrato.	El diseño y la construcción son secuenciales, generalmente esto resulta en programas de calendarización más largos.
Facilidad de licitar, máxima competencia disponible.	Costo de construcción desconocido hasta la adjudicación del contrato.
Facilidad de implementación.	No hay involucramiento de contratistas en etapas previas a la construcción, por ejemplo, durante el diseño, la planeación o las ingenierías.
El propietario define y controla etapas del diseño y construcción.	Se requiere una visión general de los procesos para lograr cumplir con las metas y los objetivos.

La tabla anterior muestra las ventajas y las consideraciones a tomar en cuenta cuando se elige un sistema segregado como lo es el DLC.

Entre las ventajas es principales se considera que el propietario controla todas las etapas de diseño y construcción, es fácil la implementación de este sistema de gestión y el costo se beneficia con la máxima capacidad de licitación y con el diseño 100% completo.

Tabla 8 Características de sistemas con determinado grado de integración; diseño-construcción.

2. Diseño-Construcción

VENTAJAS	CONSIDERACIONES
Un solo responsable para el diseño y la construcción.	Menos necesidad de control y gestión por parte del propietario en etapas de diseño y construcción.
La construcción puede comenzar antes de que el diseño este 100% completo, lo que reduce el tiempo del programa del proyecto.	Requiere una especificación de rendimiento completa y cuidadosamente preparada.
Costo de construcción conocido y fijo durante el diseño, certeza del precio.	Los cambios durante la etapa de construcción son costosos.
Transferencia de los riesgos de Construcción y Diseño del propietario al despacho de arquitectos o entidad responsable del DC.	Potencial conflicto de interés como diseñador y contratista o constructor.
Énfasis en el control del costo.	No existen partes responsables de representar los intereses del propietario.
Requiere menos experiencia y recursos por parte del propietario.	Su aplicación puede estar restringido por leyes estatales como lo es la Ley de Obras Publicas y Servicios Relacionados con las Mismas.
	Altos costos de oferta debido a la existencia de menos postores.

Es importante mencionar que los proyectos gestionados a través del diseño construcción, tienen un grado de integración mucho mayor que los sistemas tradicionales y que la literatura los considera como integrales.⁸⁵ No llegan a ser un IPD puro, pero comparten características similares.⁸⁶

⁸⁵ **Rojas, E. M., & Kell, I. (2008, Junio).** Comparative An alysis of Project Delivery Systems Cost Performance in Pacific Northwest Public Schools. *Journal of Construction Engineering and Management*, 387-397. Retrieved 03 15, 2018, PP. 388.

⁸⁶ **Mossman, A., Ballard, G., & Pasquire, C. (2010).** Lean Project Delivery; Innovation in Integrated Design Delivery. 25. doi:10.13140/2.1.2713.2804, PP. 3

Tabla 9 Características de sistemas de gestión integral; IPD.

3. Integrated Project Delivery

VENTAJAS	CONSIDERACIONES
Facilidad de comunicación e integración entre los participantes.	Necesidad de plataformas digitales y aspectos técnicos para lograr la correcta integración de los involucrados.
Riesgos y beneficios compartidos.	Los involucrados alienan sus intereses con los del proyecto.
Ahorros fundamentados en la colaboración.	La creación de asociaciones estratégicas requiere de trabajos previos con las personas involucradas.
Comunicación en tiempo real.	Toda la información del proyecto sustentada de forma virtual en un solo punto.
Colaboración real	Necesidad de que los involucrados alineen sus intereses con los del proyecto.
Procesamiento de cambios	Procesamiento de cambios en cualquier etapa de forma rápida y efectiva.
Acuerdos contractuales.	Las responsabilidades de los involucrados se fundamentan en un contrato que para facilitar la transparencia de la información puede ser multipartidista.

Las diferencias entre los sistemas de gestión tradicionales e integrados son evidentes. Es importante hacer énfasis en que cada uno puede resultar ser el mejor de acuerdo con las características del proyecto.

con la evolución y aplicación de nuevas tecnologías podemos obtener mejores resultados en la productividad de los proyectos potenciado por los lineamientos y procesos integrales establecidos por un IPD.

Otra de las comparaciones de los sistemas de entrega es la propuesta por Mossman (2010)⁸⁷ donde establece las diferencias históricas de los dos tipos de gestión: integral y tradicional.

En la columna de la izquierda en la **Tabla 10** se muestran las características históricas de los sistemas de gestión tradicionales, la mayoría de los conceptos se han vuelto obsoletos en base a las nuevas especificaciones y aspectos sociales como lo es el reconocimiento del capital humano y el enfoque o visión de algunos conceptos como los riesgos, procesos, recompensas y mediciones.

En general se establece que las características de un sistema tradicional tienen deficiencias en diversos aspectos con respecto a las de los integrados.

Tabla 10 Características esenciales de los componentes de los sistemas de gestión.

SISTEMAS DE GESTIÓN TRADICIONALES		SISTEMAS DE GESTIÓN INTEGRALES
Culpar, señalar, maximizar la recompensa individual, repulsión al riesgo.	Aspectos Culturales	Aprendizaje, confianza, mejora continua, metas y objetivos realistas.
Órdenes y control, encaminadas al esfuerzo unilateral, beneficio propio sin importar el del proyecto.	Formas de pensar	Pensamiento sistémico, optimizar siempre, fomentar y apoyar el intercambio abierto y la colaboración multilateral.
De arriba hacia abajo, administrar presupuestos, programas y personas	Aspectos esenciales de la gestión	Adaptar el sistema y mejorarlo en base a las necesidades de los clientes.
Unilaterales y separadas del trabajo en equipo.	Toma de decisiones	Colaborativas tomando en cuenta a los participantes, basadas en información objetiva.
Basadas en el presupuesto y las actividades realizadas.	Mediciones	Relacionadas con los objetivos y la capacidad de los colaboradores.
Fragmentada, creación de silos, Jerárquica, integración de los constructores en etapas posteriores al inicio del proyecto.	Estructura organizacional	Abierta, colaborativa, Involucramiento temprano de participantes clave.

⁸⁷ Mossman, A. (2010). *What is Integrated Project Delivery?* The Change Business UK. PP. 02

GESTIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Modelo matemático para el análisis del desempeño del proyecto

Lineales, segregados.	Procesos	Basados en la confianza y el respeto, multi nivel y simultáneos.
Se crean solo “Cuando son necesarios”, silos de información.	Conocimientos y experiencia	Abierto desde etapas tempranas.
Gestionados individualmente, trasferidos a un tercero en la medida que sea posible.	Riesgos	Gestionados colectivamente, apropiadamente compartidos.
Mínimo esfuerzo para máximo beneficio.	Recompensas y compensaciones	El éxito de los involucrados corresponde con el éxito del proyecto, basados en el valor agregado al proyecto.
Basada en papel, en 2 dimensiones y análoga.	Comunicación y tecnología	Basada en medios digitales, BIM en 3D, 4D y 5D.
Contratos típicos y no personalizados.	Comportamiento par con los clientes	Basados en lo que ellos necesitan, comprender sus necesidades humanas y de aspectos técnicos.

En **Tabla 10**, con respecto a los aspectos culturales un sistema integrado se basa en respeto y confianza entre los colaboradores. La mejora continua es una de las formas de crear procesos que está presente en un sistema integral.⁸⁸

Los objetivos y las metas son claras y realistas, establecidos desde etapas tempranas del proyecto. El pensamiento de los participantes en un proyecto tradicional por lo regular está enfocado a dar y recibir órdenes, por otro lado, los sistemas integrales consideran fomentar el intercambio multilateral de la información.

Las mediciones deben de basarse en relación con los objetivos cumplidos y la capacidad de los involucrados, no es importante hacer más solo “por hacer” sino es necesario ver que esas actividades se alineen a los intereses y al cumplimiento de las metas y los objetivos.

Los riesgos en un sistema tradicional buscan transferirse a un tercero, no existe el compromiso necesario para resolver los problemas como equipo. Un sistema integrado gestiona los riesgos en base al trabajo colaborativo.

⁸⁸ Propuestas por el **AIA (2007)** en *Integrated Project Delivery: A Guide* y por **Vanguard (1999)** *The Vanguard Guide to Understanding your organization as a system.*

Los avances tecnológicos permiten desarrollar procesos que antes se encontraban limitados. La integración a herramientas BIM permite al IPD administrar la información digital en un punto virtual, la cual tiene las características de ser certera y oportuna.⁸⁹

Los procesos BIM permiten dar celeridad a un Sistema IPD. La comunicación basada en papel o en 2 dimensiones es una de las características que no permiten a los sistemas tradicionales avanzar, el pensamiento social requiere modificarse en medida de adaptarse a nuevos enfoques y actividades.

PRINCIPIOS DE LA GESTION IPD

Uno de los principales documentos existentes en la literatura es la Guía para el IPD publicada por el American Institute of Architects.

Los Principios que establecen se dividen en 8 áreas; el respeto y la confianza mutuos, beneficios y recompensas mutuos, innovación en los sistemas de colaboración y toma de decisiones, involucramiento de los participantes clave y definiciones de metas y objetivos en etapas tempranas, planificación intensa, comunicación abierta, apropiación de la tecnología y organización del liderazgo.⁹⁰

El principio relacionado con el respeto y confianza mutuos hace referencia a que todos los participantes en el proyecto, por ejemplo, el propietario, el diseñador, constructores, consultores y demás, deben de tener la firme convicción de que están trabajando como un equipo para lograr cumplir con las metas y objetivos del proyecto.

El respeto y la confianza mutuos crean alianzas que están regidas por acuerdos contractuales. Se requiere que todos los participantes trabajen juntos y de buena fe, actuando con integridad y tomando las mejores decisiones para el proyecto.⁹¹

⁸⁹ **Wright, J. (2012).** The Integration of Building Information Modeling and Integrated Project Delivery into the Construction Management Curriculum. *American Society for Engineering Education*.

⁹⁰ **AIA. (2007).** *Integrated Project Delivery, A Guide*. California: AIA. PP 5-6

⁹¹ **Australian Government, Department of Infrastructure and Regional Development. (2015).** *National Alliance Contracting Guidelines*. Queensland: Australian Government. Obtenido de ISBN 978-1-925216-66-0. PP. 09.

Al trabajar como un equipo integrado y colaborativo, se toman decisiones unánimes sobre los problemas claves durante la gestión del proyecto.

Una vez que los intereses de cada uno de los participantes se alinean con los intereses del proyecto, surge el concepto de beneficios y recompensas. En un proyecto integrado debe existir la premisa de que las relaciones son a través del método Ganar-Ganar⁹², todos los participantes deben de tener los beneficios y recompensas adecuados basados en el valor agregado al proyecto.⁹³

Los proyectos integrados buscan modelos de negocios innovadores que permiten la colaboración y eficiencia en los procesos.

La toma de decisiones es un factor clave en la gestión de proyectos, en el IPD, cada uno de los participantes tiene la libertad de expresar sus ideas y pensamientos por el bien del proyecto.

Está regida por los integrantes del equipo principal y se basa en un marco de colaboración, respeto y confianza, además de que son tomadas de forma colaborativa. Para evitar problemas en las deficiencias del diseño o la falta de especificaciones técnicas, una de las principales actividades es el involucramiento de los participantes clave en etapas tempranas en la línea de tiempo del proyecto.

El involucramiento temprano combina el conocimiento y la experiencia de los participantes para incrementar la eficiencia en la productividad del proyecto. Está comprobado que la toma de decisiones en etapas tempranas repercute en acciones con mayor efecto en etapas posteriores del proyecto.

La definición temprana de las metas y los objetivos del proyecto permite que todos los participantes lleguen a acuerdos según sus intereses y los del proyecto.

El IPD tiene la visión de que con una planificación intensiva se incrementa la eficiencia y se logran ahorros en las diferentes etapas del proyecto. Establece que no busca reducir los tiempos de diseño, pero que si maximizar los resultados de este, así como reducir el tiempo de construcción, la cual es la etapa más costosa del proceso.

⁹² Es la estrategia que tiene por objetivo que todas las partes involucradas en el proyecto se vean beneficiadas en relación con el cumplimiento de sus metas, objetivos y por el bien de sus intereses.

⁹³ **Wright, J. (2012).** The Integration of Building Information Modeling and Integrated Project Delivery into the Construction Management Curriculum. *American Society for Engineering Education*. PP. 04.

La apropiación tecnológica y la comunicación abierta son dos principios IPD que se relacionan directamente con la implementación de herramientas BIM para la gestión de proyectos. Los líderes de proyecto deben tener la fuerza para delinear las directrices de la gestión a la implementación de herramientas tecnológicas.

BIM requiere de técnicas que a través de la filosofía del IPD, serán más fácil implementarlo, BIM no ha funcionado en México debido a la poca integración y nula existencia de estrecha colaboración entre los participantes clave del proyecto.

Las relaciones entre la gestión del proyecto y la estructura del liderazgo es el principio en el cual se establece que los involucrados en el proyecto están comprometidos con los intereses del proyecto. Es necesario que se definan adecuadamente los roles de los involucrados, pero sin crear barreras que dificulten la colaboración y la comunicación.

ESTUDIOS PREVIOS

Konchar y Sanvido fueron los primeros en realizar un estudio nacional en el cual se realizaban comparaciones del sistema de gestión de proyectos en los Estados Unidos.

Los sistemas que compararon fueron el Diseño – Licitación – Construcción, Diseño – Construcción y por administración basada en el riesgo. Para su estudio, aplicaron un total de 7600 encuestas, sin embargo, solo consideraron analizar 351 proyectos.

Analizaron a su vez, diferentes tipologías de construcciones, como fueron edificios industriales, oficinas y manufactura.

El estudio fue publicado por el Journal of Construction Engineering and Management⁹⁴. Se basaron en otras investigaciones⁹⁵ donde se comparaban alrededor de 332 proyectos ejecutados por DC y DLC en Reino Unido.

⁹⁴ **Konchar, M., & Sanvido, V. (1998).** Comparison of US Project Delivery Systems. *Journal of Construction Engineering and Management*, 435-444.

⁹⁵ **Bennett, J., Potheary, E., & Robinson, G. (1996).** *Designing and Building a World-Class Industry*. Gran Bretaña: Reading : University of Reading, Centre for Strategic Studies in Construction.

El objetivo de la investigación de Konchar y Sanvido fue medir las diferencias relacionadas con el tiempo, el costo y la calidad en la mayoría de los sistemas de entrega utilizados en Reino Unido. A demás realizaron un estudio similar para comparar los sistemas de entrega de los Estados Unidos en relación con los que se ejecutan en el Reino Unido.

Utilizaron un total de siete métricos, midieron el incremento en el costo y la calendarización a través de comparaciones entre lo planeado y lo que finalmente se construyó. En relación con la programación analizaron la velocidad de construcción.

Cada uno de los métricos fueron analizado de forma individual a través de modelos de regresión lineal, con la intención de medir el impacto de cada uno de los sistemas de gestión en cada uno de los métricos de rendimiento.

Los resultados obtenidos por su investigación establecieron que los proyectos DC, tienen menos costo promedio que los ejecutados a través de DLC. Considerando la velocidad de construcción, los proyectos DC fueron ejecutados con mayor rapidez que los de DLC.

ETAPAS Y PROCESOS SEGÚN EL SISTEMA DE GESTIÓN

La construcción es la única industria que separa de forma tan segregada la planeación de la producción. Considerando que el diseño es una etapa previa a la construcción donde se establecer las características técnicas que tendrá la edificación.

Es necesario que los colaboradores compartan puntos de referencia y experiencias para que el éxito en el proyecto se logre de la mejor manera.

La secuencia de las actividades determina la participación de cada uno de los involucrados. En los sistemas tradicionales se utilizan procesos segregados donde primero se establece el ¿Qué? Es decir, cuál será la tipología del proyecto de construcción, si será una escuela, hospital, casa, etc.

Los procesos tradicionales engloban en este apartado aspectos de como la conceptualización, el diseño esquemático y el anteproyecto. El problema existente aquí es que no se han realizado consultas como especialistas en determinados aspectos como instalaciones, estructuras y otros, pudiendo resultar en un proceso que genere retrabajos.

Una deficiencia es que los aspectos técnicos ejecutivos se realizan en etapas posteriores a la conceptualización y los especialistas se involucran en un proyecto donde tiene que conocer de forma abrupta sus características y necesidades. Este proceso no resulta ser del todo eficiente.

El típico problema en la industria es que los ingenieros estructurales y calculistas utilizan la frase de “Eso no se puede construir”, y otra serie de problemas comienzan.

Soportado por la ideología de “los intereses propios sobre los intereses del proyecto” porque lo que importa es “hacer lo menos posible”. En cambio, un sistema integral involucra a los participantes de forma temprana en la línea de tiempo del proyecto.

Por ejemplo, la etapa de diseño se conforma se subetapas como lo son la conceptualización, los criterios constructivos (de todos los involucrados) y el diseño a detalle. Se condensan los procesos para lograr reducir el tiempo de planeación sin perder la calidad.

En un IPD el ¿Qué se va a construir? ¿Quién lo va a construir? Y ¿Cómo se va a construir? Se establecen al inicio del proyecto, específicamente en la etapa de conceptualización.

Un IPD integra al inicio del proyecto el ¿Qué? ¿Quién? Y ¿Cómo? Esto permite que el trabajo se coordine desde el inicio del proyecto. En cambio, en un proceso tradicional se tiene un punto de riesgo muy alto porque la mayor carga de trabajo se traslada al momento previo de la construcción.

PARTE II

ESTADO DEL ARTE

Variables y métricos de desempeño	83
Variables independientes y de control	94
Combinación de variables	95
Métricos de rendimiento	101
Estructuración de variables	103
Codificación de variables	107
Conclusiones del apartado	112

2. ESTADO DEL ARTE

En el presente apartado se establece el estado actual del conocimiento relacionado con el análisis del desempeño de los proyectos en la industria de la construcción.

Se establecen métricos de rendimiento para determinar las cualidades de los datos útiles para esta investigación.

VARIABLES Y MÉTRICOS DE DESEMPEÑO

De la revisión de la literatura se establecieron los 3 tipos de variables; variables dependientes, variables independientes y de control.

Se considera como una variable dependiente todos aquellos métricos de rendimiento, de acuerdo con la explicación en el apartado del **Método**, los resultados de estos métricos dependerán directamente del sistema de gestión del proyecto. El tipo de sistema de gestión del proyecto, integrado o tradicional, será la variable independiente.

Para efectos de la investigación, se considera a las variables de control al tipo de construcción y al tamaño, que si bien influyen en el rendimiento del proyecto no pueden ser manipulables, la intención de utilizar este tipo de variables consiste en lograr “estandarizar” para mantener un análisis consistente según el tipo de inmuebles construidos, en otras palabras, se busca homologar las características de los proyectos a analizar según el tipo de sistema de gestión.

Las variables dependientes son elementos que cambian cuando los valores independientes son alterados. Los métricos de rendimiento adquieren la cualidad de variable independiente.

Los estudios analizados en apartados anteriores muestran los diversos tipos de variables independientes que analiza la presente investigación. Entre las variables dependientes se encuentran el nivel de éxito, los indicadores de rendimientos y otros factores de éxito del proyecto.

Songer y Molenaar⁹⁶ proponen criterios para la calificación y análisis de proyectos constructivos en el sector público y la iniciativa privada.

Algunos criterios para lograr analizar el nivel de éxito obtenido a través del análisis de factores en los proyectos de construcción se encuentra el análisis de cambios en los costos, la recepción de costos, el comportamiento de la programación, la reducción de tiempos y quejas, el grado de complejidad, el tamaño de proyecto y la innovación.

Tabla 11 Análisis de factores de rendimiento en proyectos integrales (Songer & Molenaar, *Selecting Design-Build: Public and Private Sector Owner Attitudes*, 1996, p. 48)

FACTOR (1)	DEFINICIÓN (2)
Parámetros de costos	Asegurar el costo del proyecto antes de comenzar la etapa del proyecto ejecutivo.
Reducción de costos	Reducción del costo global del proyecto en relación con otros métodos de gestión.
parámetros de calendarización	Asegurar el calendario del proyecto antes de iniciar la etapa del proyecto ejecutivo
Reducción de tiempos	Reducción del tiempo total del proyecto en relación con otros sistemas de gestión (DLC).
Reducción de quejas	Disminuir los litigios debido a entidades de diseño y construcción separadas
Complejidad del proyecto (En relación con el tamaño)	La magnitud del proyecto es demasiado compleja para realizarlo a través de varios contratos
Innovación en procesos constructivos	Involucrar el conocimiento de los procesos de construcción en el diseño durante etapas tempranas del proyecto.

⁹⁶ Songer, A. D., & Molenaar, K. R. (1996). *Selecting Design-Build: Public and Private Sector Owner Attitudes. Journal of Management in Engineering*, 47-53. PP 49-49.

La investigación M. Konchar y V. Sanvido⁹⁷ realizan el análisis del rendimiento en donde considera que son tres los principales sistemas de gestión de proyectos utilizados en los Estados Unidos:

- Construcción basada en el riesgo (M@R)
- Diseño – Construcción (DC)
- Diseño – Licitación – Construcción (DLC)

Compara empíricamente el costo, la programación y la calidad de los sistemas de gestión mencionados previamente. Los métricos que considera para el análisis son:

- Los costos unitarios (\$/m²),
- Incremento global del costo del proyecto (%),
- Velocidad de construcción (m² construidos/día),
- Velocidad de entrega⁹⁸ (tiempo total del proyecto, incluyendo etapa de diseño y construcción) (m²/día),
- El incremento del programa (%) y
- La intensidad de construcción del proyecto (\$/día).

Konchar y Sanvido utilizan esos indicadores para determinar el comportamiento productivo en el desempeño del proyecto y determinar el nivel de éxito obtenido.

Para analizar indicadores de productividad es necesario establecer una evaluación basada en factores.

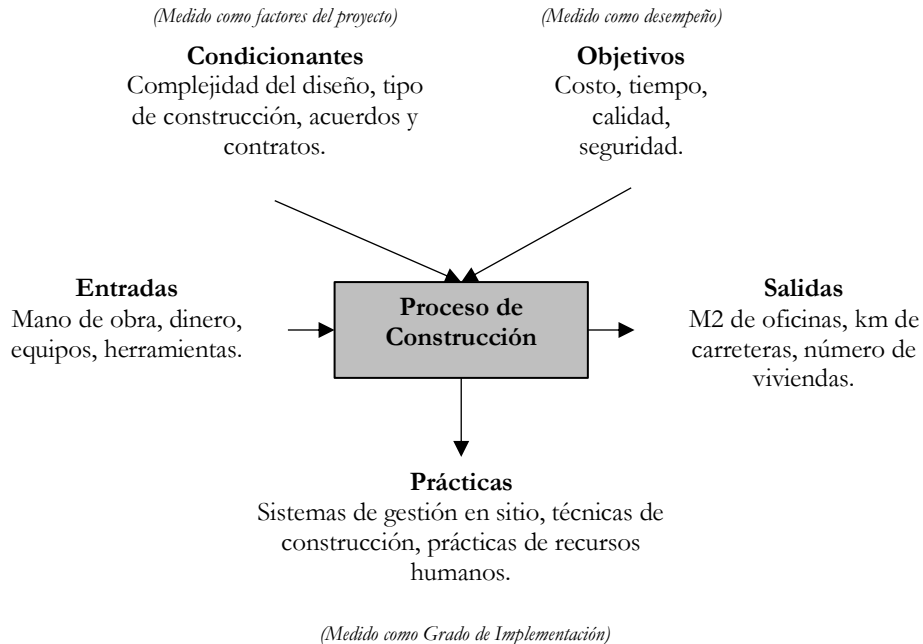
La Ilustración 6, muestra los factores a generales a través de los cuales se puede realizar dicha actividad.⁹⁹

⁹⁷ **Konchar, M., & Sanvido, V. (1998).** Comparison of US Project Delivery Systems. *Journal of Construction Engineering and Management*, 435-444. PP. 435.

⁹⁸ En análisis de la Velocidad de Construcción y la Velocidad de Entrega analiza aspectos diferentes, el primero hace referencia a los metros cuadrados construido por periodo de tiempo durante la etapa de construcción y el segundo a los metros cuadrados construidos considerando el tiempo de diseño.

⁹⁹ **Nasir, H., Hass, C. T., Rankin, J. H., Fayek, A. R., Forgues, D., & Ruwanpura, J. (2012).** Development and Implementation of a Benchmarking and Metrics Program for Construction Performance and Productivity Improvement. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 957-967. doi:<https://doi.org/10.1139/12012-030>

Ilustración 6 Modelo de evaluación en la Industria de la Construcción.



En el artículo “*Factors Affecting the Success of a Construction Project*”¹⁰⁰, es decir, “*Factores que Afectan el Éxito de un Proyecto de Construcción*”, se establece que existen gran cantidad de variables por analizar y que no hay un acuerdo general sobre cuáles deben ser las bases para analizar el éxito y el nivel del desempeño productivo del proyecto.¹⁰¹

Los Critical Success Factor’s (CSF’s) establecidos por Chan et al. (2004) se consideran como indicadores que pueden predecir el nivel de éxito en los proyectos de construcción.

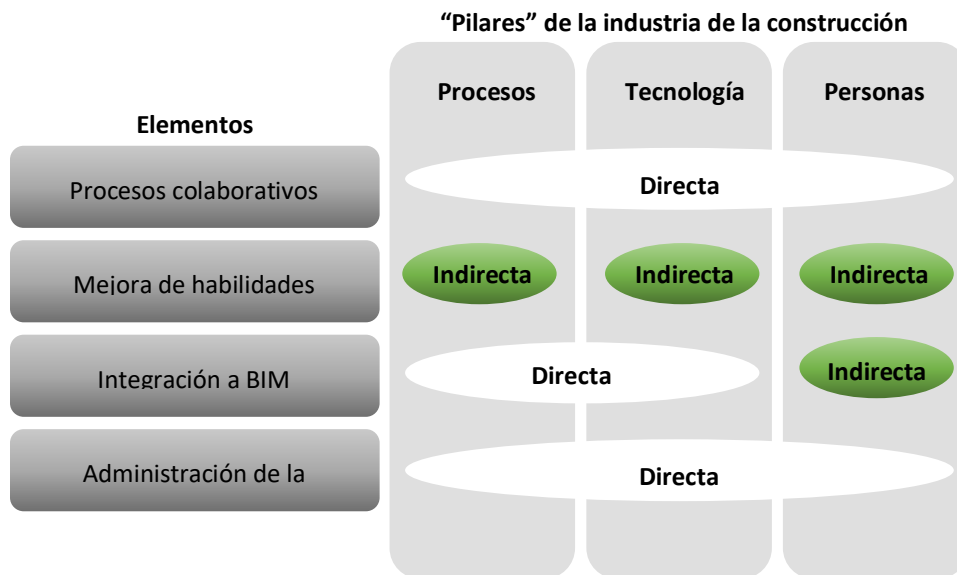
¹⁰⁰ Critical Success Factors (CSF’s) son indicadores en el contexto de la administración que determinan el nivel de desempeño del proyecto.

¹⁰¹ Chan, A. P., Scott, D., & Chan, A. P. (Febrero de 2004). Factors Afecting the Success of a Construction Project. *Journal of Construction Engineering and Management*(130), 153-155. doi:10.1061/~ASCE!0733-9364~2004!130:1~153!, PP. 153.

Analizan un grupo de cinco variables independientes; factores relacionados con el proyecto, procedimientos en el proyecto, gestión de las acciones, factores humanos y ambiente externo. Son factores que considera cruciales para lograr el éxito.

Menciona que para determinar el éxito en un proyecto es necesario establecer y conocer las relaciones entre los Factores Críticos para el Éxito y los Indicadores Clave de Rendimiento.¹⁰²

Ilustración 7 Impacto de elementos clave del IPD en los procesos, tecnologías y personas.



Entre los elementos de IPD que generan un impacto en las personas y sus estructuras organizacionales, el uso de la tecnología y los procesos se encuentran los procesos colaborativos, la mejora de habilidades basada en el aprendizaje continuo, la integración a sistemas digitales como lo es BIM y los cambios en la gestión de la información a procesos más abiertos y transparentes.

La **Ilustración 7** muestra el impacto directo o indirecto que tienen estos elementos esenciales del IPD en los pilares de la industria. Para realizar mejoras y establecer estrategias

¹⁰² Chan, A. P., Scott, D., & Chan, A. P. (Febrero de 2004). Factors Affecting the Success of a Construction Project. *Journal of Construction Engineering and Management*(130), 153-155. doi:10.1061/~ASCE!0733-9364~2004!130:1~153!, PP. 153.

es necesario determinar el impacto que tendrán determinadas acciones en los procesos establecidos. Es necesario recordar que aquello que no puede ser medible no puede ser controlable.

En la industria de la construcción canadiense, se realizó un análisis basado en métricos que consideran costo, tiempos, alcances, calidad, seguridad, innovación y sustentabilidad. Los resultados del estudio se basaron en el análisis de edificios gubernamentales.

El **Diagrama 1** muestra los factores que según Nassir et. al (2004) determinan el éxito en el proyecto. Los factores principales, se engloban en cuatro rubros; se tiene a los factores humanos, a los relacionados con el proyecto, a los de los procesos, a los de la gestión del proyecto y a los del contexto.

El estudio partió de la intención de crear estándares en la industria de la construcción para obtener indicadores que demostraran el nivel de éxito del proyecto. Menciona que información relacionadas con tiempo, costo y calidad están disponibles y son de fácil categorización, sin embargo, aspectos como la innovación y sustentabilidad requieren obtención de información de manera más detallada.¹⁰³

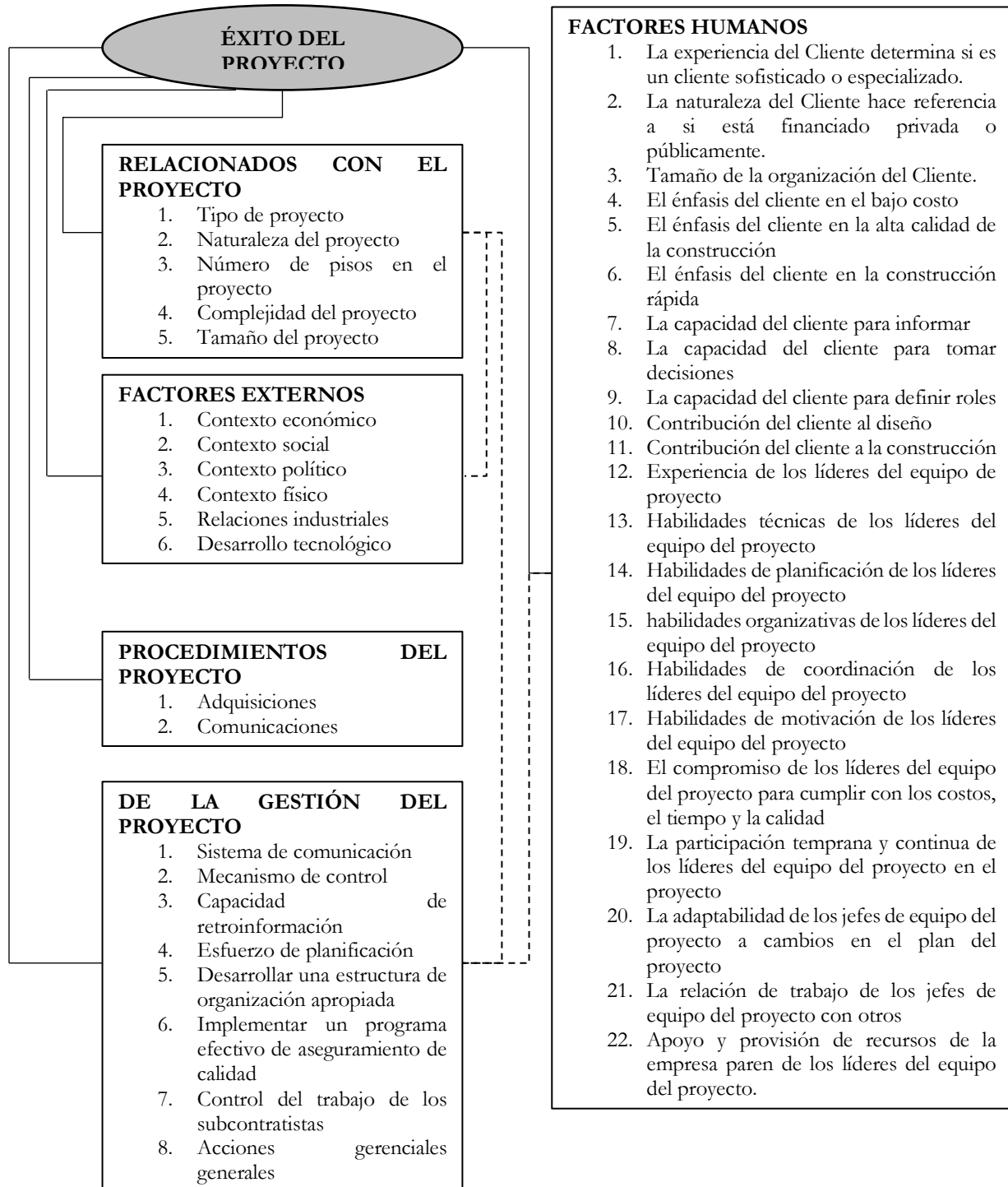
La baja productividad en la construcción en combinación con la incapacidad a la innovación lleva a que los propietarios afronten mayor número de problemas y que no responde a la demanda de tener costos constructivos efectivos, que nos lleven a construir edificios de alto rendimiento.

Los factores de cambio para la transición a la ejecución de proyectos más integrados analizan aspectos como tecnologías, contratos, innovación, estándares y logros, así como la optimización de los procesos de integración.¹⁰⁴

¹⁰³ **Nasir, H., Hass, C. T., Rankin, J. H., Fayek, A. R., Forgues, D., & Ruwanpura, J. (2010).** Development and Implementation of a Benchmarking and Metrics Program for Construction Performance and Productivity Improvement. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 957-967. doi:https://doi.org/10.1139/l2012-030

¹⁰⁴ **Owen, R., Amor, R., Palmer, M., Dickinson, J., Tatum, C. B., Kazi, A. S., . . . East, B. (2010).** Challenges for Integrated Design and Delivery Solutions. *Architectural Engineering and Design Management*, 6, 232-240. doi:doi:10.3763/aedm-2010.IDDS1, PP. 239

Diagrama 1 Factores que determinan el éxito del proyecto ¹⁰⁵



Para continuar con el análisis del desempeño, es necesario considerar que “*El proceso de construcción carece de estándares más allá de la medida de mercancía; es decir, a nivel de punto de producción o de comercio. Los estándares basados en los productos básicos y las prácticas de adquisición prohíben necesariamente la innovación, lo que genera un alto costo y un bajo rendimiento. Entonces, los estándares basados en productos básicos deben ser reemplazados por basados en el desempeño de estándares y prácticas, dondequiera que se necesiten mejoras de rendimiento.*”¹⁰⁶

Por lo tanto, “*La implicación de cambiar esta base en la contratación y la contratación será transformadora. Décadas de disminución de la productividad reprimida darán paso a un proceso que equipa, potencia y recompensa los principios básicos desde la planificación temprana hasta la finalización de los proyectos de construcción.*”¹⁰⁷

En resumen, el fenómeno fluye de esta manera: cuando el valor se basa en una mercancía, no función (o rendimiento), toda la energía va hacia la producción de un producto en base al menor costo, en lugar de producir una función o rendimiento basado al menor costo. Así que, si un documento especifica un producto, cualquier proveedor puede proporcionar el costo más bajo del producto dentro de esa especificación y obtendrá el contrato, se producen dos consecuencias problemáticas:

Primero, con el tiempo, el enfoque exclusivo en la reducción de costos, en lugar de la mejora de la calidad, conduce a una disminución de esta última. Lo cual se traduce a más defectos y retrabajos, lo que disminuye la productividad y en última instancia, aumenta los costos.

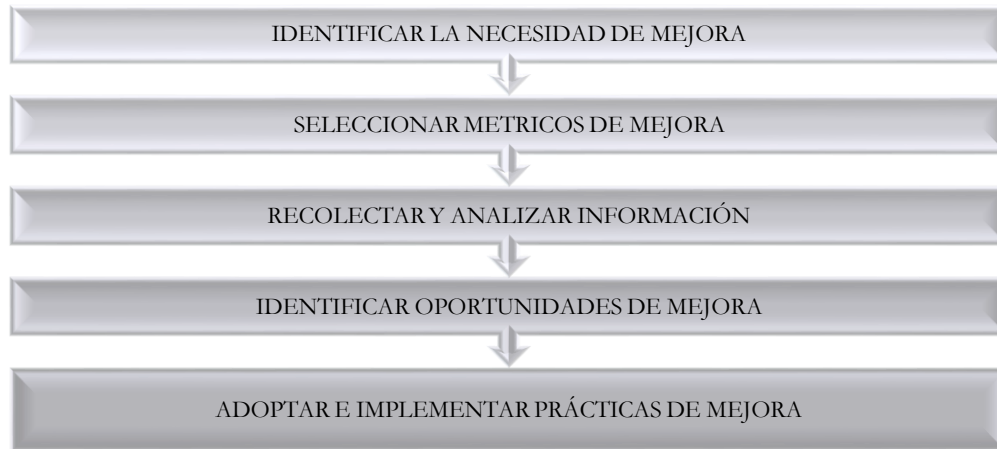
Segundo, trabajar dentro de una especificación basada en productos básicos significa que las alternativas innovadoras fuera de la especificación no se obtienen ni se producen.

¹⁰⁵ Chan et. al. (2004)

¹⁰⁶ Sands, M. S. (2010). Standards and Measures, Whole-building Metrics Driving Innovation and High Performance. *Lean Construction Journal*, 01-16. Obtenido de www.leanconstructionjournal.org PP. 01.

¹⁰⁷ Ítem

Diagrama 2 Pasos básicos para el proceso de análisis del desempeño.



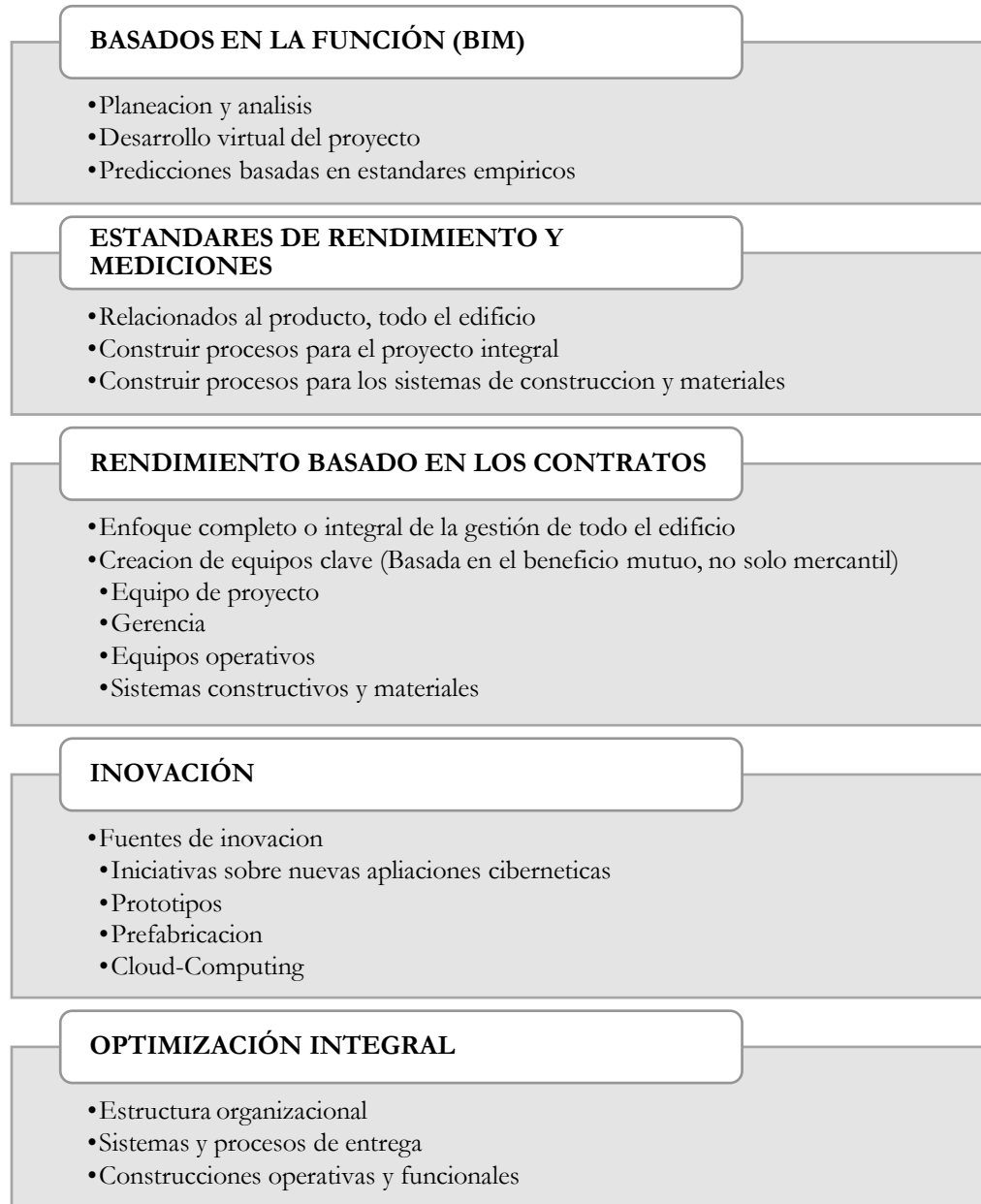
Estamos en tiempos donde la pos-tecnología nos lleva a tener procesos más interrelacionados y de gran envergadura. Esto crea redes y sistemas los cuales a través del enfoque integral pueden brindar mejores resultados.¹⁰⁸

Molenaar y Navarro (2011) realizaron un estudio donde consideran seis áreas de desempeño diferentes (algunas se utilizarán en esta investigación); costo y programación, calidad, seguridad, administración ambiental, información pública y fiabilidad.¹⁰⁹

¹⁰⁸ **American Institute of Architects. (2010).** Integrated Project Delivery; Case Studies. *American Institute of Architects*, 30. PP. 26.

¹⁰⁹ **Molenaar, K. R., & Navarro, D. (2011).** Key Performance Indicators in Highway Design and Construction. *Journal of the Transportation Research Board*(2228), 51-58. doi:DOI: 10.3141/2228-07, PP. 51

Diagrama 3 Esquema de las cinco transiciones de cambio de paradigma de desempeño.



La **Tabla 12** establece una matriz de los diversos estudios realizados para el análisis de rendimiento en los proyectos, con lo cual se puede observar cuales son los métricos de rendimiento que se han analizado de diferentes enfoques.

Tabla 12 Métricos de rendimiento por autor

ÁREA DE RENDIMIENTO	MÉTRICO DE RENDIMIENTO	POCOCK	SANVIDO	ROJAS	BALLARD	SONGER	CHAN	MOLENAR	SANDS
COSTO	Costo Unitario		*	*		*	*	*	
	Incremento del Costo	*	*	*	*	*	*	*	
	Factor Presupuestal			*		*	*	*	
PROGRAMA	Velocidad de construcción		*			*	*	*	
	Velocidad de entrega		*			*		*	
	Incremento del programa	*	*		*	*	*	*	
SEGURIDAD	Seguridad						*	*	
PRODUCTIVIDAD	Factor Productividad						*		
	Planes completados								
NEGOCIO	Beneficios						*		
CALIDAD	Sistemas constructivos		*				*	*	
	Defectos						*	*	
	Alianzas						*	*	
USUARIOS	Satisfacción						*		*
VALOR AGREGADO	Funcionalidad						*		*
	Sustentabilidad					*	*		
	Durabilidad								*
MANTENIMIENTO	Costo de los servicios		*						*
	Consumo de energía		*						*
	Mantenimiento		*						
VARIOS	Quejas					*	*		
	Cambios / Modificaciones	*							
	Desperdicios						*		

La **Tabla 12** está creada para representar las áreas de desempeño que esta investigación aborda. Estas áreas están compuestas por los 23 métricos que se consideran variables dependientes según determinado sistema de entrega (tradicional o integral). De estos 20 son consideradas variables cuantitativas y 3 cualitativas.

Variables independientes y de control

Las variables independientes son un grupo de indicadores que se relacionan directamente con los métricos de rendimiento.

A demás del Sistema de Gestión del Proyecto, se consideran como variables independientes las características de los equipos, el involucramiento y la colaboración, las cláusulas contractuales.

Para el análisis de correlación se consideran únicamente al sistema de gestión y como este afecta cada uno de los métricos de rendimiento.

Las variables de control son aquellas que no se pueden manipular como son el tipo y tamaño del proyecto, acceso al sitio y condiciones externas. La intención de estas variables es tratar de normar el proceso de análisis y comparación entre los diversos tipos de proyectos que abarca esta investigación.

Tabla 13 Relación de variables independientes y de control según Konchar y Korman.

KONCHAR	KORKMANZ
Tamaño del Proyecto	Tamaño del Proyecto
Porcentaje de diseño completado antes de la construcción.	Nivel de especificación del documento de construcción
Experiencia previa de los contratistas	Experiencia previa del equipo clave del proyecto
Comunicación del Equipo	Tiempos de involucramiento
Tipo de construcción	Tipo de propietario

Costo unitario de construcción	Presentaciones del proyecto
Sistema de entrega del proyecto	Cuantificación de actividades laborales en los diferentes sistemas constructivos
Existencia de cláusulas onerosas	
Complejidad del proyecto	

En la **Tabla 13** Konchar y Sanvido establecen algunas características que afectan el rendimiento de los proyectos y a su vez Kormanz muestra siete variables de independientes y de control para la construcción de edificios de alto rendimiento.

Combinación de variables

En análisis de la literatura previa identifica tres aspectos esenciales que se relacionan con la definición de los sistemas de gestión de proyectos en la industria de la construcción; aspectos económicos, operativos y organizacionales del Proyecto.

Los mismos autores establecen que un sistema de gestión de proyectos en la industria de la construcción se conforma de *“los procesos que establecen las relaciones entre las partes involucradas en la construcción y diseño de un proyecto, además, establece el alcance, la distribución de las responsabilidades y el riesgo. Establece la forma en como el proyecto se entrega al propietario y define quien es el responsable de cada una de las fases del mismo”*.¹¹⁰

La definición anterior determina el comportamiento de los individuos en base a determinado sistema de gestión del proyecto (Integrado o Tradicional).

Un factor esencial que considerar para el desarrollo de proyectos integrales y que esta definición no toma en cuenta es el comportamiento humano, entre los que se encuentran aspectos culturales y ambiente laboral en los equipos que se crearon para ejecutar los proyectos.

¹¹⁰ Cho, S., Ballard, G., Azari, R., & Kim, Y. W. (2010). *Structuring Ideal Project Delivery System*. PP. 02.

En respuesta a la inclusión del análisis del comportamiento humano al desarrollo de esta investigación se considera el proceso denominado “Triple Bottom Line” o Análisis de Triple Fondo, considera el comportamiento social (basado en las opiniones de los constructores mismos) el factor económico, así como los factores relacionados con los el contexto físico.¹¹¹

Entonces la forma apropiada e integral para categorizar los tres campos generales a analizar serian el modelo de “Triple Fondo” de Elkinton el cual considera que los aspectos sociales, económicos y físicos se pueden extrapolar y categorizarlos enfocándolos en la industria de la construcción de la siguiente manera:¹¹²

- **Aspectos Sociales,**
 - Es el marco cultural donde los equipos operan, se incluyen experiencias previas, vocabulario, tiempos y grado de involucramiento de los participantes clave. Es básicamente son los “acuerdos” relacionados con el funcionamiento de los equipos y como estos resuelven problemas y se adaptan a los cambios.

- **Aspectos Económicos,**
 - son los términos legales y financieros en los cuales se ejecuta el proyecto. Por ejemplo, tipo de contrato, pagos, compensaciones, incentivos, administración del riesgo. Esencialmente son los “Términos” en los cuales se ejecuta el proyecto.

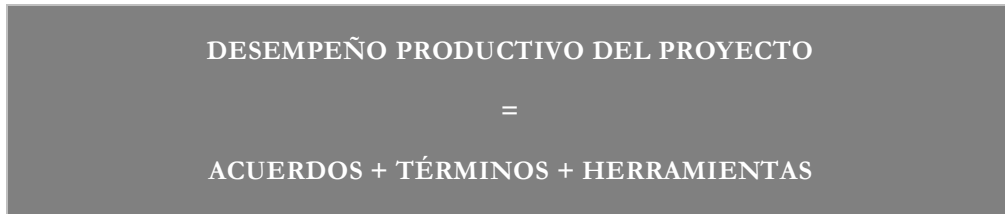
- **Aspectos Físicos,**
 - se relacionan con los sistemas operativos, por ejemplo, la aplicación de BIM y o técnicas y herramientas de Lean Construction. Son las “Herramientas” para entregar el proyecto.

¹¹¹ Nelson, J. S., Hanna, A. S., Russel, J. S., & Hendrickson, M. L. (2008). *Leadership in the Global Construction Industry: The Challenge of the Brutal Facts*. Madison: Wisconsin University. PP. 06

¹¹² Ídem

Basados en los tres aspectos anteriores podemos considerar que el desempeño del proyecto se puede analizar de la siguiente manera:

Diagrama 4 Análisis del desempeño productivo, basado en el "Triple Fondo" de Elkinton.



La formulación anterior sirve como base para el desarrollo de los modelos de desempeño que se abordaran posteriormente como los son el desarrollo de los análisis univariados de cada uno de los métricos de rendimiento y del Project Quarterback Rating.

El análisis de “Triple Fondo (TF)” enfocado al IPD, permite categorizar la información a ser recolectada para comprender las características de estos sistemas.

La información se usa en los análisis multivariados que contrastaran a cada uno de los métricos de rendimiento en relación con el sistema de gestión del proyecto.

Cada uno de los factores del TF se diversifica en los aspectos necesarios a analizar y en diferentes niveles, con la intención de lograr una mejor comprensión de la información a obtener, así como la optimización de la interpretación de las variables dependientes (métricos de rendimiento), teniendo como referencia la Tabla 14, 15, 16 y 17.

Por ejemplo, considerando al Sistema de gestión, en relación con los incentivos en el contrato; se les preguntara ¿Qué tipo de incentivos fueron utilizados?, ¿En que se basaron?, ¿Quién los financió? Así partimos de lo general a lo particular, en los 3 factores, el métrico de rendimiento y la pregunta específica para obtener determinado dato.

Tabla 14 Características de los sistemas de gestión; acuerdos.

NIVEL GENERAL	NIVEL MEDIO	NIVEL ESPECIFICO (CUESTIONARIO)
ACUERDOS	Sistema de Gestión del Proyecto	¿Integrado o Tradicional?
		¿Tipo de contrato?
		¿Contrato multipartidista?
		¿Partes involucradas?
		¿Exenciones de responsabilidad?
	Compensaciones	¿Gerente?
		¿Subcontratistas?
		¿Constructora?
		¿Acuerdos varios?
	Incentivos	Incentivos
		¿En que se fundamentaron?
		Porcentajes
		¿Ahorros en el proyecto?
		Distribución de los incentivos
	Distribución del Riesgo	Contingencias
		Revisiones formales de los riesgos
		¿Distribución del riesgo?
		Clausulas onerosas (\$\$\$)
		Problemas
		Reglamentos locales
Transparencia de Procesos	Ordenes de Cambio	
	Licitaciones y pagos	
	Contingencias	
	Costos del proyecto	
Selección del equipo principal	Selección del contratista General	
	Selección de subcontratistas	

Tabla 15 Características de los sistemas de gestión; términos.

NIVEL GENERAL	NIVEL MEDIO	NIVEL ESPECIFICO (CUESTIONARIO)
TÉRMINOS	Tipo de construcción (experiencia)	Gerencia, Contratistas, Propietario, Proyecto Ejecutivo, constructora

	Tamaño de construcción (experiencia)	Gerencia, Contratistas, Propietario, Proyecto Ejecutivo, constructora	
	Sistema de desarrollo (experiencia)	Gerencia, Contratistas, Propietario, Proyecto Ejecutivo, constructora	
	BIM (Experiencia)	Gerencia, Contratistas, Propietario, Proyecto Ejecutivo, constructora	
	Estructura Organizacional: Equipo Líder	Equipo líder del Proyecto	
		Representantes	
		Partes representadas	
		Autoridad	
		Toma de decisiones colaborativa	
		Revisiones	
		Reuniones de planeación, de construcción y de cierre	
	Estructura Organizacional: Equipos creativos	Retroalimentación	
		Porcentajes del proyecto	
	Estructura Organizacional: Equipos ejecutivos	Reuniones de planeación, de construcción y de cierre	
		Resolución de conflictos (autoridad)	
	Involucramiento de los desarrolladores	Reuniones de planeación, de construcción y de cierre	
		Porcentaje de diseño	
		Familiarización de los contratistas	
		Participación del propietario	
Apoyo de proyecto			
	Constructores en diseño		
	Localización		

Tabla 16 Características de los sistemas de gestión; herramientas.

NIVEL GENERAL	NIVEL MEDIO	NIVEL ESPECIFICO (ENTREVISTA)
HERRAMIENTAS	Planificación	Frecuencia
		Efectividad
	BIM	Manual BIM en el proyecto
	Uso de BIM	Visualización, validación espacial, análisis del sitio, análisis ambiental, coordinación de instalaciones, diseño colaborativo, detección de cruces, estimaciones, solicitudes, simulaciones, construcción 4d
	Sistemas en BIM	Cimentación
		Estructura

GESTIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Modelo matemático para el análisis del desempeño del proyecto

		Acabados
		Fachadas
		Losas
		Instalaciones hidrosanitarias
		Instalaciones Eléctricas
		Instalaciones Especiales
		Equipos

A demás de los factores de Triple Fondo, y en respuesta a las variables de control, se requiere conocer información general del proyecto basada en el tipo de proyecto, tamaño, complejidad y calidad.

Tabla 17 Información general del proyecto.

NIVEL GENERAL	NIVEL MEDIO	NIVEL ESPECIFICO
INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO	Desarrolladores	Nombre del proyecto
		Ubicación
		Propietario
		Obra Pública o Privada
		Contacto
	Información general	Programa
		Metros planeados
		Metros construidos
		Tamaño del predio
		Niveles
	Aspectos laborales	Horas hombre laboradas totales
		Porcentaje horas hombre en supervisión
		Porcentaje horas hombre operativos
		Porcentaje horas hombre en diseño
	Tipo de construcción	Nueva
		Ampliación
		Renovación
	Condiciones especiales	LEED
		Accesos al sitio
		Zona sísmica

Las variables mencionadas en las **Tablas 14, 15, 16 y 17** son consideradas como información de entrada en relación con el desempeño del proyecto, posteriormente, las

salidas (métricos de rendimiento) serán analizadas para determinar el desempeño en cada una de las áreas de rendimiento, lo cual se aborda en el apartado de análisis univariados.

MÉTRICOS DE RENDIMIENTO

En análisis de la literatura previa permitió determinar los métricos de rendimiento para realizar el análisis de las áreas de desempeño.

Los métricos se organizan para obtener información relacionada con el proyecto a través de la Herramienta de recolección de datos. Las áreas por analizar son costo, calidad, programa, seguridad, comunicación, trabajo y retorno del negocio.

Tabla 18 Métricos de rendimiento según el área de desempeño.

ÁREA DE DESEMPEÑO	MÉTRICO DE RENDIMIENTO
COSTO	01 Costo Unitario
	\$/M2 Construido
	02 Incremento del Costo
	Costo Construcción Total - Inicial
	Costo Construcción Total - Ganancia
	Costo Proyecto Final - Inicial
CALIDAD	03 calidad General de los Sistemas
	Numero de deficiencias
	Deficiencias por millón (\$)
	04 CheckLists
	% del costo del proyecto
	05 Costos de las Garantías
PROGRAMA	06 Defectos latentes
	07 Velocidad de Construcción
	08 Velocidad de Entrega
	09 Incremento del Programa
	10 Intensidad de Construcción
	Tiempo de Ejecución del Proyecto (Planeado)

GESTIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Modelo matemático para el análisis del desempeño del proyecto

TRABAJO	Tiempo de Ejecución del Proyecto (Real)
	Fecha de Inicio de Diseño (Planeada)
	Fecha de Inicio de Diseño (Real)
	Fecha de Término de Diseño (Planeada)
	Fecha de Término de Diseño (Real)
	Inicio de Construcción (Planeado)
	Inicio de Construcción (Real)
	Fecha de Ocupación (Planeada)
	Fecha de Ocupación (Real)
	11 Trabajos Extras
	Número de Trabajadores (Promedio)
RETORNO DEL NEGOCIO	Tiempo Extras (Horas)
	Cantidad de Turnos Extras (Horas)
	12 Retorno del Negocio
	13 Solicitudes de Información
COMUNICACIÓN	Número de solicitudes
	Tiempo de Procesamiento de Ordenes de Cambio
	% de Solicitudes en etapas tempranas
	% de Solicitudes en Etapas de Construcción
	Quejas
	Porcentaje de Retrabajos
SEGURIDAD	Costo de las Quejas
	14 Incidencias ante el Seguro Social
	15 Muertes
	16 Cambios totales o modificaciones
CAMBIO	17 Cambios en el programa
	18 Cambios por deficiencias en el diseño
	19 Cambios por Normatividad Municipal
	20 Procesamiento de Órdenes de Cambio
	21 Uso de BIM

Los métricos de rendimiento son una subetapa de las áreas de desempeño los cuales sirven para el análisis univariados realizado en el Capítulo 4 de esta investigación. En la **Tabla 18** se establecen las características por analizar.

Por ejemplo, para el análisis del área de desempeño del costo, se consideran como métricos de rendimiento el costo unitario y el incremento del costo.

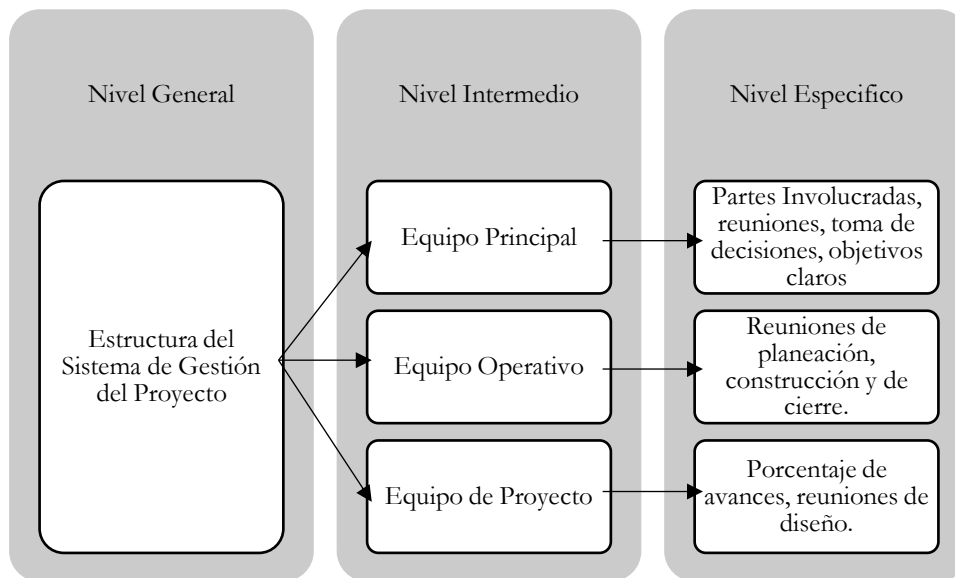
ESTRUCTURACIÓN DE VARIABLES

En consideración a las características general del proyecto (Variables de Control), el tipo de sistema de gestión (Variable Independiente) y los métricos de rendimiento, en la investigación existen un total de 52 variables.

Algunas variables originales se combinan con variables más específicas para determinar aspectos relacionados con el desempeño de la construcción.

Una forma de ilustrar lo anterior es a través del **Diagrama 5**, en él se establece que para analizar la Estructura del Sistema de Gestión de Proyectos (Nivel General), se utiliza el análisis de Factores, donde en el Nivel Intermedio se requiere analizar al Equipo Principal, a los Equipo Operativos y al responsable del diseño del proyecto.

Diagrama 5 Estructura general para el análisis del sistema de gestión del proyecto.



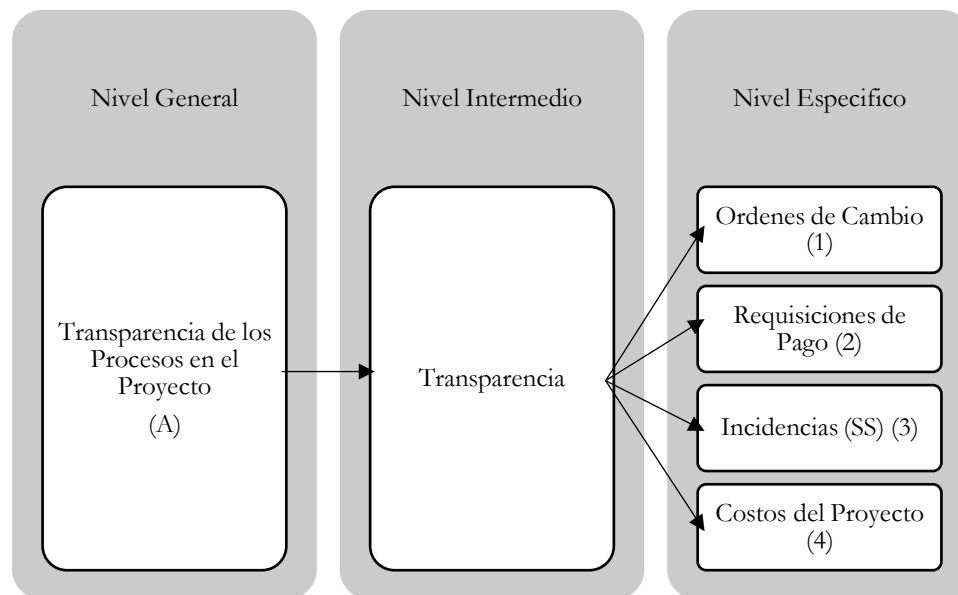
En el proceso de comparación y contraste de variables según el sistema de gestión y de acuerdo con el proceso de “Scoring” que sirve como base para determinar las respuestas con relación a si son positivas o negativas de acuerdo con el parámetro analizado.

El objetivo del uso de este proceso es normalizar las respuestas para determinar los efectos de las mismas, cumplir con un protocolo de investigación y ordenar muchas variables de manera rápida y clara.

En este proceso se considera que la creación de una variable se conforma de la unión de otras variables, en el caso de la Transparencia de Procesos (A) (**Diagrama 6**). Se consideran cuatro variables, se tienen en el nivel específico analizado a las órdenes de cambio (1), requisiciones de pago (2), incidencias ante el seguro social (3), y los costos del proyecto (4).

Los cuatro factores mencionados se combinan en una sola variable que se denomina Transparencia del Proyecto.

Diagrama 6 Estructura para el análisis de la transparencia de procesos.



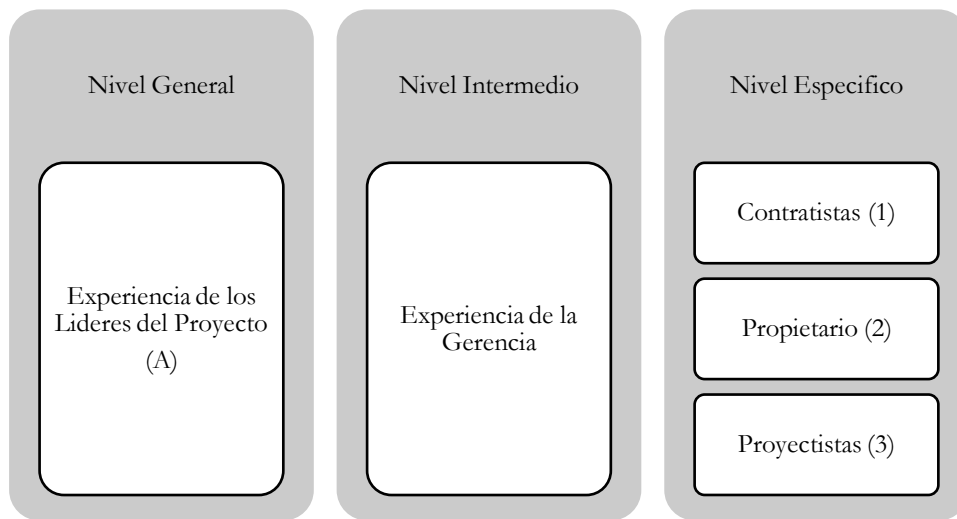
A través del análisis de factores se pretende componer un solo elemento que permita analizar valores cualitativos según el área de desempeño.

Una variable similar al ejemplo anterior es la relacionada como los Líderes del Proyecto con relación a la experiencia previa que poseen. Por ejemplo, la experiencia de la Gerencia del Proyecto con los contratistas, los propietarios y los diseñadores.

Se recopila información de elementos particulares y después se mide la “Experiencia” establecida por este grupo de variables como una sola unidad.

La intención es combinar todas las variables y lograr que un solo elemento muestre de la mejor manera como se desempeña la experiencia de los desarrolladores, lo cual permite establecer observaciones y estrategias para cambiar o mantener dicha variable.

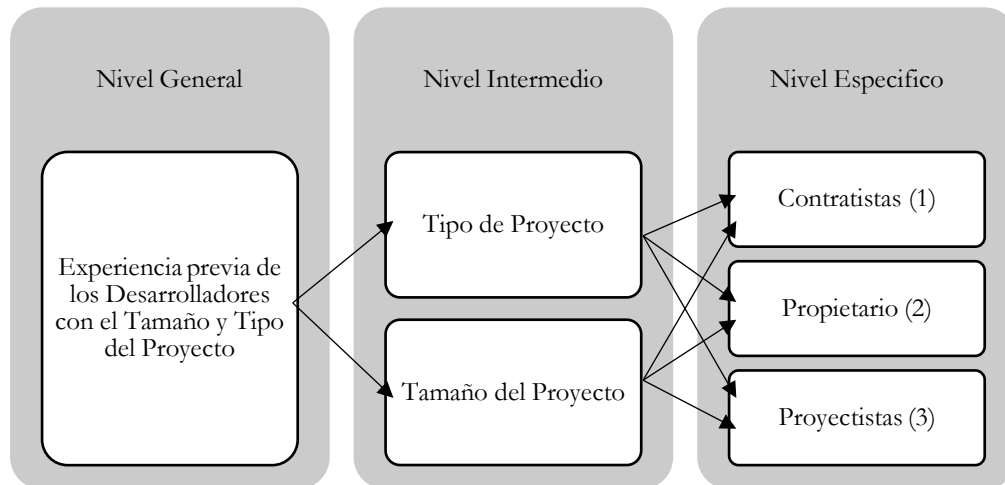
Diagrama 7 Análisis de la experiencia de los desarrolladores.



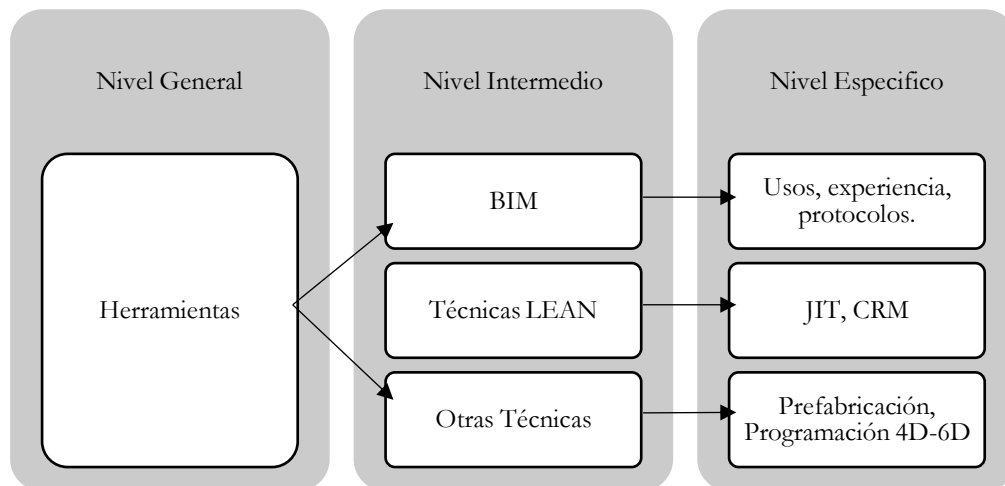
Se aplica un proceso similar al análisis de otras variables como lo es el uso de BIM, técnicas, procesos y herramientas.

Se consideran otras variables como la experiencia previa de los desarrolladores en relación con las características generales del proyecto como lo son el tipo, tamaño y la complejidad. Ver **Diagrama 8**.

Diagrama 8 Variables según la experiencia de los desarrolladores con el tipo y tamaño del proyecto.



El proceso de síntesis y organización de la información se da desde los particulares a lo general y así es como se obtiene la evaluación del proceso completo.



Básicamente la estructuración de variables se realiza de lo particular a lo general, tendiendo siempre a un análisis del funcionamiento general de los procesos. Los diagramas anteriores muestran algunas de las diferentes combinaciones de variables para obtener un solo indicador según se el área de desempeño a través del análisis de factores.

CODIFICACIÓN DE VARIABLES

Debido a la gran cantidad de variables, se recolecta información de diferente índole, por lo tanto, las unidades de medida varían considerablemente.

En algunos datos fueron binarios, teniendo como respuesta Si o No, lo cual para efectos de cálculos posteriores se convierte en valores de cero (0) y uno (1). Otros datos fueron numéricos, por ejemplo, el número de involucrados en el proyecto o la cantidad de partes involucradas en el contrato. Existen datos que relacionan diferentes unidades, por ejemplo, el costo unitario, que se estableció en pesos por metro cuadrado construido.

Hay datos categóricos, por ejemplo, el sistema de gestión del proyecto (integral o no integrado), es decir se seleccionó un dato de una lista para establecer, en su mayoría, las variables de control. Se utilizó una escala ordinal para representar las respuestas cuya escala fue desde pobre a excelente, retomando valores de "1" a "5" o de "-2" a "+2" según corresponda el tipo de variable.

Por último, se consideró información basada en porcentajes, por ejemplo, el incremento del costo de construcción (de la relación del costo inicial y el costo final del proyecto). Para efectuar una relación entre diferentes unidades de medida se requiere convertir todos los valores a elementos numéricos, para que estos puedan ser analizados estadísticamente.

A continuación, se muestra una explicación de algunas variables clave con aspectos cualitativos que son utilizadas en la investigación. Respecto a la Calidad y Complejidad de los sistemas constructivos fueron promediados según el sistema de gestión y ordenados en una escala de 0 a 2 para la complejidad y de 1 a 5 para la calidad.

Los valores absolutos no representan alguna explicación especial, sin embargo, las diferencias relativas a esos valores permiten establecer un análisis comparativo de los diferentes sistemas de gestión.

Las respuestas para el sistema de entrega son categóricas (DC, DLC, IPD). El uso de un contrato multipartidista, cláusulas de responsabilidad, el uso de incentivos, fueron también binarios, así como la existencia de seguros y fianzas por parte de los desarrolladores; propietario y constructor.

El número de participantes en el proyecto es un número natural así que no necesita codificación. En relación con los contratistas y subcontratistas con respecto a la selección y las requisiciones o pagos, la codificación establece: cero (0) para la licitación abierta, uno (1) para la licitación por invitación y dos (2) para la asignación directa.

Los valores serán promediados para el análisis de Gerencia y Contratistas. Considerando la Competencia, la cual es binaria, también se promedia en el análisis de la Gerencia y los Contratistas, según el tipo de sistema de gestión. Tomando en cuenta las variables relacionadas con las compensaciones, existen diferentes mecanismos de compensación, basados en porcentajes, en el precio máximo garantizado y en una compensación negociada.

Existen compensaciones a lo largo del proyecto y en diferentes niveles, por ejemplo, a los contratistas o a la Gerencia. Cada método de compensación utilizado por los desarrolladores está codificado en un sistema binario, con respuestas de "Si" y "No" que serán convertidos a valores de uno (1) y cero (0), respectivamente.

Después la suma de esas variables define un valor para cada método de compensación. Por ejemplo, la compensación de suma global de cada uno de los participantes clave es considerada variable binaria, con respuestas de "Si" o "No" convertidas a uno (1) y cero (0).

Se suman los valores de los participantes clave para obtener un número de cero (0) a (3). Cuando se utilicen más de un método para las compensaciones del proyecto, el número se obtendrá, dividiendo la suma de las selecciones entre el número de métodos.

Si algunos contratistas son compensados con una suma global y otros con porcentaje relacionado al costo, entonces el número obtenido en la compensación para los contratistas será de 0.5 en lugar de 1.

Para considerar el análisis de la experiencia de los desarrolladores se requieren datos de varios campos, como los con, la experiencia con el tipo de proyecto, con el tamaño del proyecto, con el sistema de entrega y la experiencia con otros participantes clave del proyecto.

La información es recolectada en se convierte en una escala de 0,1,3,9. Posteriormente las respuestas de los desarrolladores fueron consideradas para establecer un promedio en cada uno de los niveles de experiencia previa. El tipo de

esta escala está considerado para establecer los altos niveles de experiencia. Los cuatro diferentes tipos de experiencia previa fueron promediados para establecer una ponderación para la experiencia del equipo integral en una escala de 0 a 9.

La experiencia de la Gerencia con el equipo principal del proyecto y sus relaciones con otros participantes está basada en una escala de muy poco (1), poco (2), bueno (3), muy bueno (4) y excelente (5).

En ese indicador se considera el promedio de dos indicadores, primero la experiencia obtenida con los contratistas y después la experiencia con el propietario y el equipo de diseño.

Como se menciona con anterioridad, la estructura de la gestión del proyecto se analiza en tres diferentes niveles, el equipo principal, el equipo ejecutivo y el equipo de diseño. Para los proyectos que tienen un equipo principal, el número de representantes y partes involucradas es cuantificado, se considera la frecuencia con la que asisten a reuniones de planeación, lo cual es convertido a una escala de 0 a 4, desde ninguna reunión hasta reuniones diarias.

El equipo principal es el responsable para la toma de decisiones, así como el desarrollo de las metas y objetivos de forma colaborativa según la filosofía del IPD, entonces se analiza la periodicidad con la que se realizan análisis del estado del proyecto y se discuten las lecciones aprendida a lo largo del proceso.

Esas variables se codifican en escala de 0 a 3, en combinación con la variable de frecuencia de las reuniones, se crea una variable para el equipo principal. Un resultado de cero (0) significa que no existe equipo principal, mientras que a mayor sea el resultado, se trabajará en un equipo más inclusivo en el proyecto. Los equipos de diseño fueron evaluados en relación con los porcentajes del proyecto que se habían alcanzado, multiplicado por la frecuencia de las reuniones según la etapa del proyecto, planeación, construcción o cierre.

El análisis de los equipos ejecutivos se basa en variables binarias en relación con si utilizan o no determinadas características, multiplicados una vez más por la frecuencia de las reuniones.

Para la resolución de conflictos, se pregunta si estos se resolvían de forma consensuada o de acuerdo con la decisión del propietario, las respuestas a esto también son binarias.

Esas variables fueron ordenadas para crear una sola variable para analizar la estructura de la gestión del proyecto. Se consideran valores como el porcentaje de diseño completo cuando el equipo de construcción se unió al proyecto, así como el porcentaje de diseño completo cuando la Gerencia del proyecto se estableció para administrar el proyecto.

El involucramiento de los diferentes desarrolladores esta medido de acuerdo con los diferentes aspectos de participación a lo largo de la línea de tiempo del proyecto. Es importante analizar la participación del equipo del propietario del proyecto durante la etapa de diseño del proyecto, así como durante la etapa de construcción.

Los aspectos anteriores fueron analizados en escales de 0 a 3 y después fueron analizados bajo la variable que mide el grado de involucramiento de los diferentes participantes del proyecto. También se analiza el involucramiento de los contratistas en el proceso de reducción de riesgos.

En otro subproceso se analiza la transparencia de los procesos del proyecto, basado en la ordenes de cambio, las requisiciones de pago y los procesos de licitación, análisis de las incidencias, y en todos los costos del proyecto.

Para cada área, se puede optar por las respuestas de Nada (0), Poco (1), Suficiente (3) y Mucho (9). Los resultados de esos aspectos fueron promediados para establecer un indicador de la transparencia en los procesos del proyecto.

Los indicadores para BIM se miden de forma diferente, debido al tipo de información a obtener. Existen dos tipos de organización de la información, primero los relacionados con el uso de BIM y segundo los relacionados con su potencial y efectividad.

- El primer parámetro considera el uso de BIM, el cual incluye los sistemas y las funciones de esta herramienta, por ejemplo, los sistemas constructivos que fueron modelados utilizando BIM, se miden individualmente en una escala de 0 a 3 para obtener un promedio de la aplicación a través de todos los sistemas, actividades para las que BIM fue utilizado se miden en escala de 0 a 9, posteriormente son promediados para obtener un indicador del alcance de las funciones de BIM en el proyecto. Las dos variables, Sistemas de BIM y Funciones de BIM son multiplicadas para obtener un indicador del uso de BIM en el proyecto.

- El segundo parámetro mide la efectividad de BIM a través de la experiencia de los desarrolladores en la infraestructura del proyecto. Mide la experiencia de los desarrolladores en una escala de 0 a 9 y después es promediado para obtener una puntuación de la experiencia en BIM. De forma binaria se mide la existencia de protocolos o manuales para el uso de BIM. El resultado es promediado con la experiencia de los desarrolladores para obtener un potencial de efectividad del uso de BIM. Por ejemplo, entre más experiencia tenga el equipo y más infraestructura tenga para su uso, mayor será el desempeño de la aplicación de BIM.

El primer y segundo parámetros son multiplicados para tener un solo número que represente las características de BIM en el proyecto. Este método es aplicado de forma similar al cálculo del riesgo, a través de la multiplicación de su probabilidad y su impacto en el proyecto.

El uso de técnicas y herramientas basada en Lean Construction, también fue procesado en escala del cero (0) para "no se usa" al nueve (9) para "se usa mucho".

La codificación de variables permite englobar todos los indicadores con escalas numéricas y convertir los valores cualitativos a dichos números. Los valores cuantitativos no requirieron de alguna conversión especial, salvo en los casos donde se utilizan escalas categóricas para organizar la información y evaluar el desempeño del proyecto.

CONCLUSIONES DEL APARTADO

El presente apartado hace referencia a los conceptos principales relacionados con la gestión de proyectos en la industria de la construcción. Lo anterior permitió establecer un marco teórico para el análisis de los conceptos utilizados en la investigación.

Expone las principales diferencias entre los sistemas de gestión integrados y tradicionales. Hace una revisión de la bibliografía y de los principales exponentes en el tema. Muestra de esto es el análisis de los estudios realizados y que conforman el estado del arte de la Gestión de Proyectos en la Industria de la Construcción.

Se mencionan los pasos a través de los cuales se llevó a cabo esta investigación, se explica la estructura del método ejecutado.

En el apartado siguiente se realiza un análisis univariados de los métricos de rendimiento según su área y sistema de gestión a través del cual se ejecutó el proyecto de construcción.

PARTE III

ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO
SEGÚN EL SISTEMA DE
GESTIÓN

Significancia estadística	115
Resultados de los análisis univariados según el sistema de gestión	116
Análisis en el desempeño del Costo	116
Análisis en el desempeño de la Calidad	122
Análisis en el desempeño de la Programación	128
Análisis en el desempeño de la Seguridad	132
Análisis en el desempeño de la Gestión del Cambio	136
Análisis en el desempeño de la Comunicación	141
Análisis en el desempeño del Retorno del Negocio	145
Síntesis de los resultados en los análisis univariados	148
Conclusiones del apartado	151

3. ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO SEGÚN EL SISTEMA DE GESTIÓN DEL PROYECTO

En los apartados anteriores se menciona las características de los sistemas de gestión de proyectos, así como los métricos de rendimiento a utilizar en esta investigación. Este apartado se enfoca en relacionar cada una de las variables por analizar en el proyecto según el sistema de gestión.

Se pretende comparar cada uno de los métricos de rendimiento en contraste a determinada cualidad del sistema de gestión, es decir, si es proyecto integral o tradicional, lo cual permitirá una comprensión clara de la comparativa entre los diferentes sistemas.

En el presente apartado se analizan cada una de las áreas de desempeño. Por ejemplo, para analizar al desempeño del costo se consideran los aspectos como el incremento del costo y el costo unitario.

SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA

En el análisis univariados de los datos, se utilizan pruebas de significancia estadística. Las pruebas utilizadas son conocidas como T-Test o Pruebas T. Lo anterior nos permite determinar la significancia estadística entre dos muestras.

En términos generales se puede establecer que una prueba T puede ser utilizada cuando la población de la muestra esta normalmente distribuida.

También las pruebas Mann-Whitney-Wilcoxon (MWW) nos permiten obtener la significancia o error de la muestra cuando se asume que la población no está normalmente distribuida. Lo más prudente es analizar los datos con las pruebas MWW considerando que no será necesario determinar si los datos se encuentran normalmente distribuidos, y, por lo tanto, se reduce la incertidumbre por presentar observaciones equivocadas.

Pruebas T y MWW son presentadas en el siguiente apartado para establecer comparaciones con mejores interpretaciones.

En adición a las pruebas anteriores que se enfocan en comparar métrico por métrico en cada área de desempeño, se crea una métrica que representa el análisis de cada área.

Por ejemplo, si se están analizando los métricos del Costo: incremento del costo y costo unitario, a través del Análisis de los Componentes Principales (ACP) se puede establecer un solo métrico que represente a esta área de desempeño, es decir se crea una nueva variable que permite determinar con un número el desempeño en el costo, englobando incremento del costo y costo unitario.

El objetivo principal del ACP es condensar la información de todas las variables en números más representativos para cada área de desempeño, reducir la cantidad de datos presentes de todos los métricos de rendimiento.

RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS UNIVARIADOS SEGÚN EL SISTEMA DE GESTIÓN

Esta sección muestra los resultados de los métricos de rendimiento en cada área de desempeño según el sistema de gestión a través del cual se ejecutó el proyecto. Se realiza una comparación entre los sistemas integrales y los sistemas tradicionales.

El primer análisis es el del costo que considera costo de construcción e incremento de este a lo largo del proyecto.

Análisis en el desempeño del Costo

La Herramienta de Recolección de Datos considera dos parámetros relacionados con el costo; (1) el costo unitario y el (2) incremento del costo. El costo unitario es la relación entre el metro cuadrado y su costo en pesos.

El incremento del costo se basa en el porcentaje obtenido de la relación entre el precio final de construcción y el costo original estimado.

Una vez que se analizan los métricos de forma separada, se procede al Análisis de los Componentes Principales, para obtener parámetros relacionados a la posterior aplicación del PQR.

La fecha de todos los proyectos analizados es en años recientes, sin embargo, se llevó a cabo el análisis de los montos para traerlos a valor presente neto.

En concreto se analizaron proyectos del año 2014 al 2016, es decir de reciente ejecución. La variación de costos en materiales y mano de obra es casi imperceptible.

Para la comparación de cada uno de los métricos de rendimiento según el tipo de proyecto se utilizan diagramas de caja, lo que permite que los resultados estadísticos se presenten en un formato grafico que resume la información y la muestra de forma clara y rápida.

Un diagrama de caja es un resumen grafico de la información que muestra valores como valores mínimos y máximos, cuartiles, mediana y valores máximos.

En esta forma de representación, la mediana es una línea horizontal que divide a todos los datos justo por la mitad, la caja representa el 50% de los datos alrededor de la media, mientras que el 50% restante son los datos que se distribuyen de forma equitativa hasta los valores mínimos y máximos.

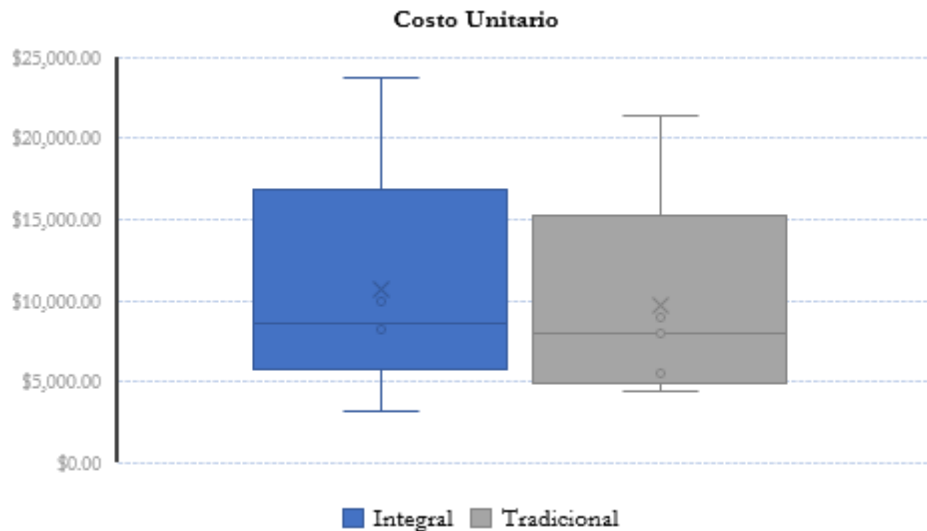
La utilidad principal de los diagramas de caja es que nos permiten tener una representación visual de la forma en la que los datos están distribuidos, así como factores esenciales para analizar la información.

El Diagrama 9 muestra el Diagrama de Caja del comportamiento del desempeño relacionado con el rendimiento del costo unitario. El costo unitario de construcción se analiza a partir del costo en pesos por metro cuadrado construido.

En el eje horizontal se establece la variable independiente, en nuestro caso es el sistema de gestión.

Los recuadros azules representan el comportamiento de los proyectos gestionados a través de sistemas integrales y los recuadros grises representan los realizados a través de sistemas tradicionales.

Diagrama 9 Costo Unitario de Construcción según el sistema de gestión.



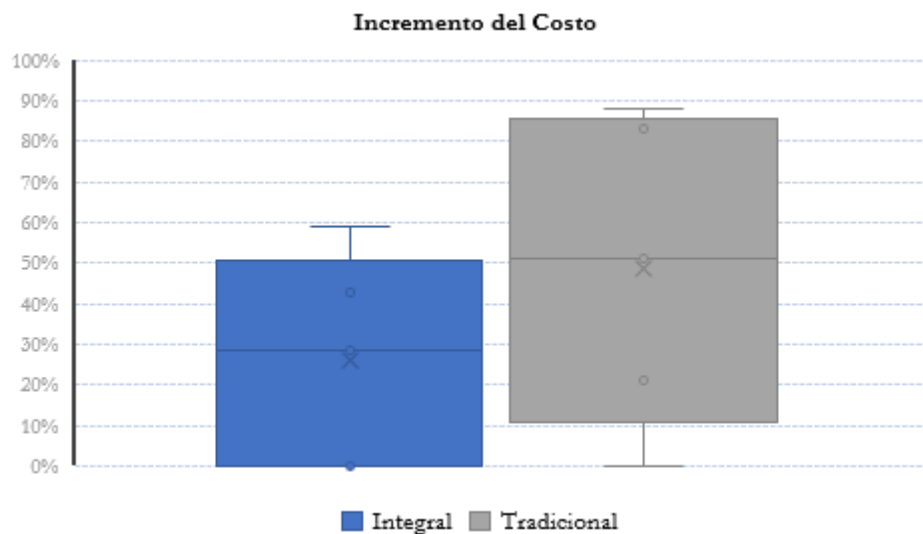
El eje vertical (Y) muestra el Costo Unitario de Construcción, de acuerdo con la representación gráfica presentada, se considera que la media del costo cuadrado en proyectos tradicionales e integrales es similar. No existen grandes diferencias en el comportamiento de estas variables.

Esta información se basa en un análisis “crudo” de los datos, sin embargo, en apartados posteriores se determinan las diferencias entre las significancias existentes en las muestras.

Los porcentajes relacionados con el incremento del costo de construcción calculad de costos iniciales estimados del proyecto se muestran en el Diagrama 10.

La diferencia principal es que los proyectos integrados tienen un menos incremento global del costo del proyecto que los proyectos tradicionales. En estos últimos, existieron mayores incrementos en el costo final del proyecto, es decir, los proyectos tradicionales tienen mayor incertidumbre inicial debido a las cifras de costo estimadas.

Diagrama 10 Incremento del Costo de Construcción.



A continuación, se presentan los resultados del análisis de los Componentes Principales del Costo. En la Tabla siguiente se establecen los valores de ponderación que tendrían el costo unitario y el incremento del costo.

Diagrama 11 Análisis de los Componentes Principales; Costo

ANÁLISIS DE LOS VALORES Y VECTORES		
Valor propio	1.4556	0.5444
Proporción	0.728	0.272
Acumulada	0.728	1
VARIABLES PROPIAS DEL COSTO		
Variable	PC1	PC2
Costo Unitario	0.707	-0.707
Incremento del Costo	0.707	0.707

El objetivo más importante del Análisis de los Componentes Principales (CPA, por sus siglas en inglés) es que permite reducir el número de variables para hacer que los datos sean más fáciles de analizar.

Es importante conocer el comportamiento de los componentes para abarcar y explicar determinado porcentaje de variación de datos.

En cada una de las muestras en los métricos de rendimiento, a menor valor de P, mayor será la significancia de las diferencias entre los sistemas de gestión integrales y tradicionales. A menor valor de P, mayor diferencia en los resultados.

El valor de P aceptable, por lo regular es menor a 0.05, se dice entonces que dos muestras tienen significancia estadística.

La hipótesis nula para estas pruebas es que cada métrico de rendimiento es igual en ambos sistemas de gestión. La hipótesis alternativa, en las pruebas MWW (dos colas), sería que la muestra de los proyectos gestionados de forma integral se desempeña de manera diferente que los gestionados de forma tradicional.

La hipótesis alternativa para las pruebas T es que los proyectos gestionados de forma integral se desempeñan mejor que aquellos realizados de forma tradicional.

En el caso de costo unitario, mejor desempeño, significa costo menor, cuando las pruebas no rechazan la hipótesis nula, se puede determinar que no hay diferencias significantes en el desempeño de los sistemas de gestión.

Cuando las pruebas rechazan la hipótesis nula, se puede afirmar que la hipótesis alternativa es verdadera y que el IPD tiene diferente o superior desempeño según determinado métrico de rendimiento.

En las pruebas realizadas se observa que los valores de P para las Pruebas MWW (dos colas) fueron variados, ver **Tabla 19**. En cambio, la Hipótesis 01 de la misma tabla es rechazada puesto que no hay significancia estadística, se tiene un valor de P igual a 0.283.

Para confirmar diferencias en el desempeño del costo de los proyectos integrales y tradicionales una prueba más es combinar los dos métricos de rendimiento en uno solo, lo cual se puede realizar a través del ACP.

Anteriormente se menciona que el ACP combina de forma lineal variables que no están relacionadas una con la otra, algunas de esas nuevas variables explicaran la mayoría de la variación de los datos.

Las nuevas variables se llaman componentes principales y se comparan contrastando sistemas de gestión integral y tradicional. El PC1c, combina los dos métricos originales (costo unitario e incremento del costo) en una nueva variable y explica el 72.8% de las variaciones totales. El PC1c, se puede establecer como un nuevo métrico que engloba el desempeño en el costo, de acuerdo con lo siguiente:

Ecuación 1 PC1c, Componentes Principales del Costo.

$PC1c = 0.707(Costo\ Unitario) + 0.707(Incremento\ del\ Costo)$

La tabla siguiente muestra las dos posibles hipótesis formuladas para el análisis del costo.

Tabla 19 Hipótesis y significancia estadística en el análisis del costo.

Hipótesis #	Hipótesis	Valor P	Confianza 95%
01	El desempeño en el costo unitario de construcción es diferente en proyectos integrales y tradicionales.	0.283	Rechazada
02	El desempeño en el incremento del costo de construcción es diferente en proyectos integrales y tradicionales	0.049	Aceptada

La Hipótesis No. 01 establece que el desempeño en el costo unitario de construcción es diferente según el sistema de gestión. La Hipótesis No. 02 establece que el desempeño en el incremento del costo unitario es diferente según el sistema de gestión.

Las consideraciones finales de este subapartado es que los proyectos tienen un desempeño similar en el costo unitario, pero los datos carecen de significancia estadística.

Un aspecto interesante es considerar que la hipótesis de que los proyectos integrales tienen un desempeño diferente con relación a los tradicionales en el incremento del costo puede ser aceptada.

El apartado posterior hace referencia al análisis de la Calidad, lo cual permite tener mayores datos de referencia en la investigación. El análisis de estos datos se realizó a través de 5 métricos de rendimiento.

Análisis en el desempeño de la Calidad

El apartado anterior establece que no hay diferencias significativas respecto al comportamiento de las variaciones en el costo. El costo requiere complementarse a través del análisis de la calidad.

Los métricos de rendimiento que se analizan en esta área son (1) la calidad general de los sistemas constructivos, (2) el número de deficiencias, (3) el costo y cantidad de elementos en las CheckLists y (4) el costo de las garantías y los defectos latentes.

Como se menciona en el apartado de la Codificación de Variables, con la ayuda de la Herramienta de recolección de datos, se analiza la calidad de los sistemas estructurales, las instalaciones y los acabados en el proyecto de construcción.

La ponderación para este análisis se realiza en una escala de 1 a 5. Los valores representan calidad económica, estándar, alta calidad, premium y alta eficiencia.

Los elementos de las CheckLists (Listas de Chequeo) tienen la particularidad de que son elementos que no cumplen con las normas de calidad, lo cual requiere que se realice algún tipo de retrabajo o reemplazo.

Los costos de las garantías están analizados durante el primer año de ocupación. Los defectos latentes se relacionan con costos producidos por garantías después del primer año de entregado el proyecto. Las deficiencias son problemas que surgen durante la construcción del proyecto y que están relacionados con fallas en la supervisión.

Debido a las diferencias entre los tipos de proyectos es necesario establecer una estandarización de datos. Por lo tanto, los indicadores mencionados con anterioridad se miden en su mayoría a través del monto económico.

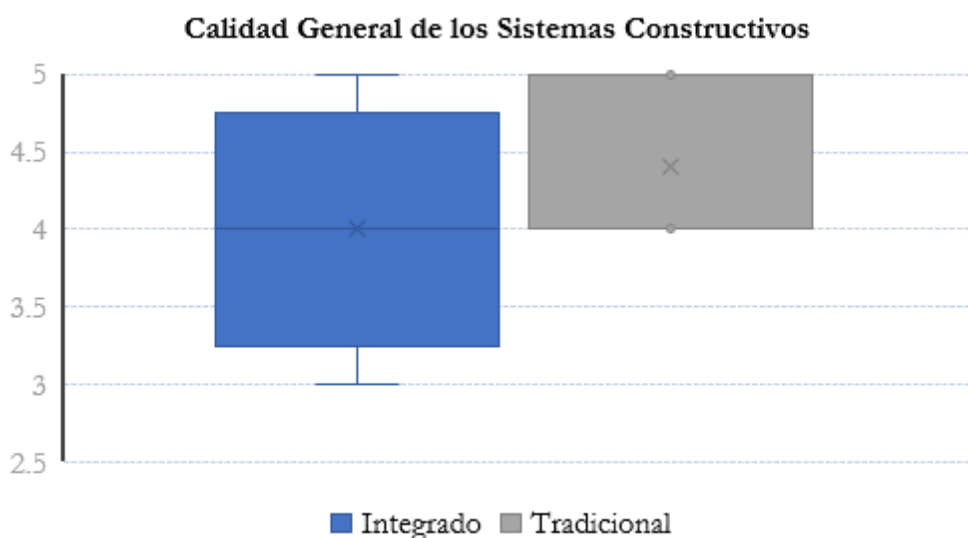
El número de deficiencias se analiza por cada millón de pesos, es decir, su valor se obtiene de dividir la cantidad total de deficiencias entre el costo final de construcción.

La cantidad de elementos en las listas de chequeo (CheckLists) se mide dividiendo el total de estos elementos entre el costo de la construcción. El costo relacionado con las garantías y defectos latentes se analiza en base al porcentaje que representa su costo en relación con el costo total de la construcción.

El **Diagrama 12** muestra el comportamiento de la calidad general de los sistemas constructivos. Se observa que existe un desempeño diferente en el comportamiento de este parámetro, se denota una ligera superioridad en la calidad de los sistemas tradicionales.

Teniendo una media de 4 (Premium) para los proyectos integrales y 4.4 (Premium) para los proyectos tradicionales.

Diagrama 12 Análisis de la Calidad General de los Sistemas Constructivos.



El **Diagrama 13**, en la parte inferior, muestra el comportamiento del costo de las deficiencias. A pesar de que aún no se considera el análisis estadístico¹¹³ se observa que el costo de esas deficiencias es mayor en proyectos gestionados de forma tradicional¹¹⁴.

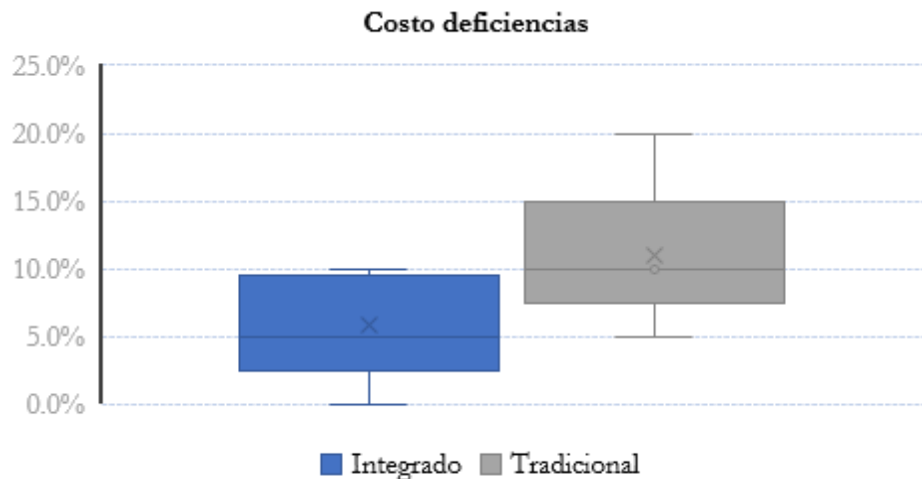
¹¹³ Pruebas T, MW y CPA.

¹¹⁴ Específicamente aquellos ejecutados a través de procesos segregados como lo es el DLC. Primero el propietario contrata a un despacho para que realice el 100% del diseño. Posteriormente

El promedio del costo de las deficiencias ronda aproximadamente el 11.5% en los proyectos tradicionales, en cambio en los proyectos integrados es alrededor del 6%. Lo anterior puede ser resultado de la temprana integración de los involucrados en el proyecto y al compromiso de estos.

Con respecto a la cantidad de elementos en las listas de chequeo (CheckLists) se observa que los proyectos tradicionales presentan mayor número de elementos por millón de pesos.

Diagrama 13 Análisis de las deficiencias en el proyecto.



Los proyectos integrados tienen menor número de elementos, por cada millón de pesos existen en promedio cuatro elementos, en cambio, en los proyectos DLC puede haber hasta 6.5 elementos.

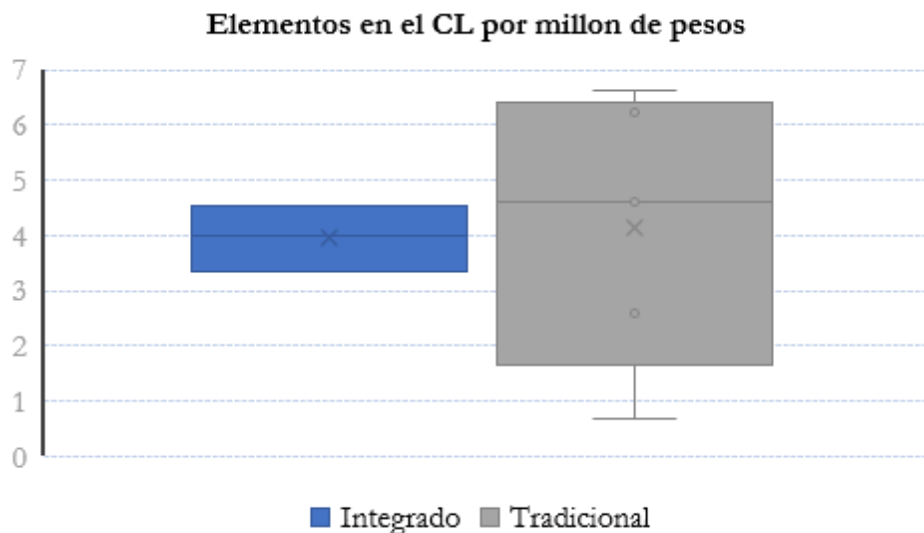
Uno de los problemas analizados en la investigación es el Costo de las Deficiencias, que según la se muestra en el **Diagrama 13**, los proyectos integrales tienen menor costo según el análisis de este métrico.¹¹⁵

Por lo tanto, esto se traduce en costos que afectan el desempeño general del proyecto.

se realizan licitaciones. Por último, se asigna a un constructor que tiene que involucrarse al proyecto cuando este ya va avanzado.

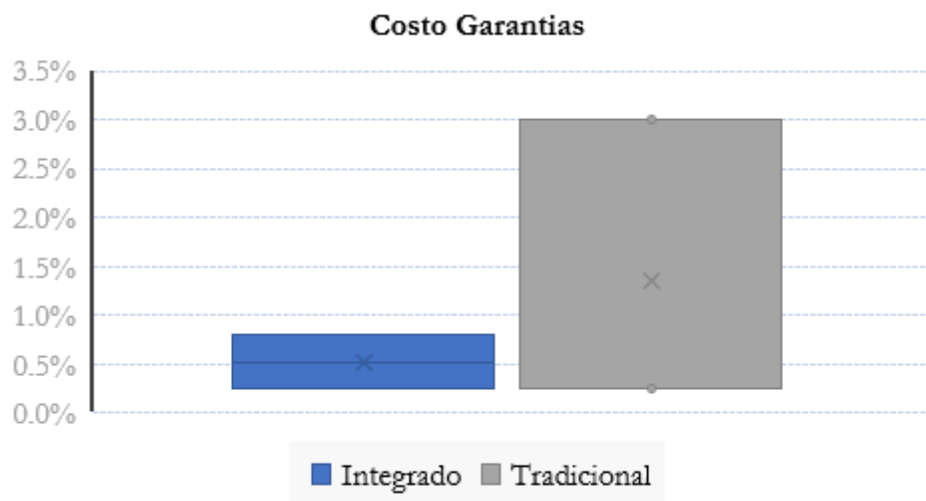
¹¹⁵ Consideradas como resultado de aquellas actividades que se debieron mejorar en base a una supervisión adecuada.

Diagrama 14 Cantidad de elementos en las listas de chequeo por millón de pesos.



La interpretación de los resultados de los costos en las garantías y los defectos latentes muestra que los retrabajos ocasionados en los proyectos tradicionales representan un mayor porcentaje en relación con el costo de construcción que en los proyectos integrados.

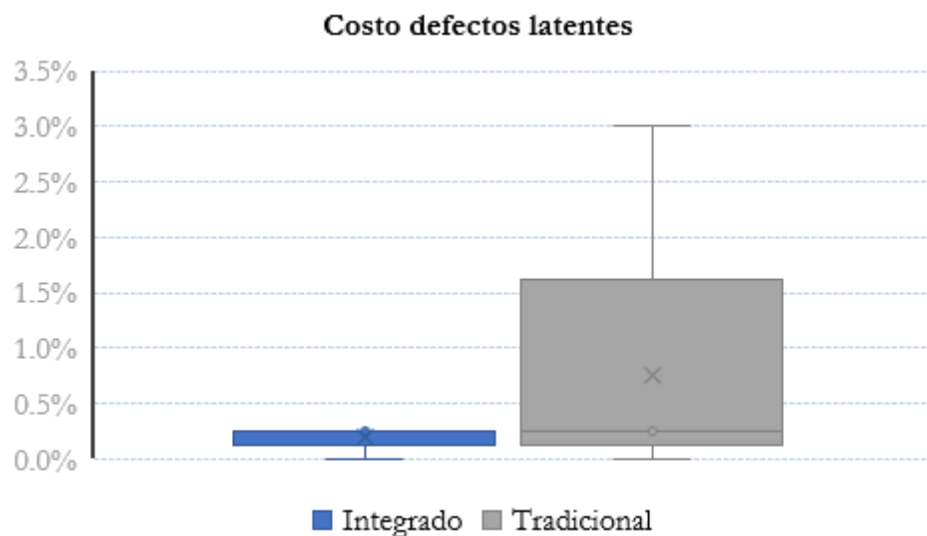
Diagrama 15 Costo de las Garantías.



Aun se requiere el análisis estadístico, pero a simple vista se observa que el costo de las garantías en los proyectos tradicionales alcanza el 3% del costo de construcción, en cambio, en los proyectos integrados el monto llega al 0.5%, ver **Diagrama 15**.

Con respecto a los defectos latentes, el **Diagrama 16** muestra que los proyectos tradicionales tienen un gasto medio del 0.75% del costo de construcción para sufragar costos de defectos latentes, sin embargo, este asciende en al 1.5% - 3%. En cambio, en los proyectos integrales, es significativamente menor este porcentaje, alcanzando el 0.025% es decir, prácticamente nada.

Diagrama 16 Costo de los Defectos Latentes.



Los elementos analizados con anterioridad solo se basan en el comportamiento de los diagramas de caja, cualquiera de esas diferencias aun requiere analizarse de forma estadística. Como se establece a continuación.

Las pruebas de Wilcoxon demostraron que, si hay significancia estadística en el análisis de la calidad general de los sistemas constructivos, se obtuvo un valor P del 0.048, por lo tanto, se puede aceptar la hipótesis de que los proyectos gestionados a través del IPD tiene diferente desempeño que los realizados a través de la forma tradicional.

Tabla 20 Pruebas e Hipótesis para el análisis del desempeño de la Calidad.

Hipótesis %	Hipótesis	Valor P	Confianza 95%	Confianza 90%
01	Los proyectos integrales tienen mejor desempeño en la calidad de los sistemas constructivos que los proyectos tradicionales.	0.048	Aceptada	Aceptada
02	Los proyectos IPD tienen menos costo en las deficiencias que los proyectos tradicionales.	0.001	Aceptada	Aceptada
03	Los proyectos IPD tienen diferente cantidad de elementos en las listas de chequeo que los proyectos tradicionales.	0.673	Rechazada	Rechazada
05	Los proyectos integrales tienen costo diferente en las garantías que los proyectos tradicionales.	0.839	Rechazada	Rechazada
06	Los proyectos integrados tienen costo diferente ocasionado por los defectos latentes que un proyecto tradicional.	0.29	Rechazada	Rechazada

En el análisis del costo de las deficiencias, las pruebas Wilcoxon establecieron un valor P de 0.001 lo que demuestra que hay significancia estadística.

Lo anterior considera que la hipótesis de que los proyectos integrales tienen menor costo en las deficiencias que los proyectos tradicionales puede ser aceptado. La cantidad de elementos en las listas de chequeo tiene un valor P de 0.673, lo cual no permite aceptar la hipótesis en cuestión.

Sin embargo, el costo de las garantías tiene un valor P de 0.839, lo cual no acepta la hipótesis de que el desempeño de en este apartado es diferente según el sistema de gestión.

Con un valor de significancia del 0.290, se rechaza la hipótesis de que el costo ocasionado por los defectos latentes es diferente en ambos sistemas de gestión.

Se realizaron pruebas Man-Whitney para verificar la significancia estadística observada durante la comparación de los métricos de calidad entre los sistemas de gestión.

Algunas pruebas muestran diferencias significativas, las pruebas Wilcoxon determinaron que la calidad general de los sistemas constructivos tiene un valor P de 0.048 estableciendo que la hipótesis 1 puede ser aceptada. Este resultado considera una significancia del 0.05. Por lo tanto, puede ser tomada como referencia entre la calidad de los sistemas de gestión.

En conjugación con el análisis de los resultados de la sección anterior, estos resultados muestran el comportamiento para obtener un punto de referencia para el análisis de los sistemas de gestión.

Se demuestra que los sistemas integrales para la gestión de proyectos tienen mejor desempeño en algunos rubros de la calidad y el costo. El siguiente apartado hace referencia al análisis de los tiempos en relación con las actividades realizadas, es decir a la programación.

Análisis en el desempeño de la Programación

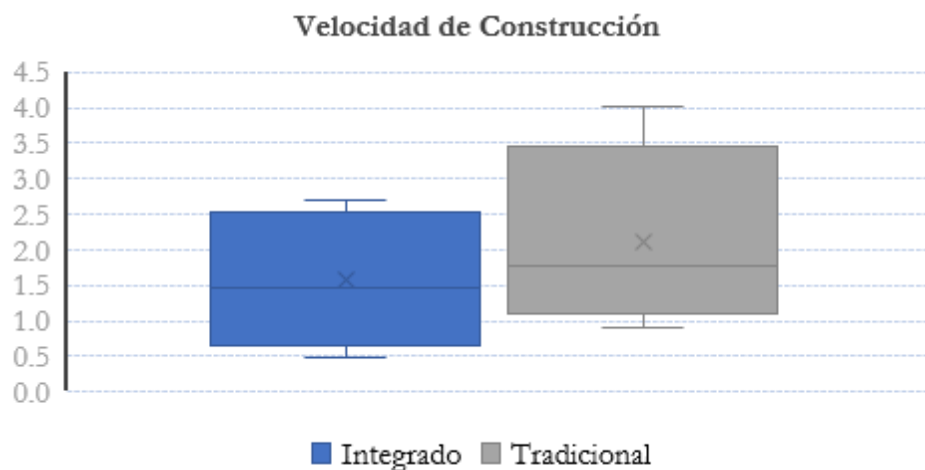
Los datos analizados en el área de programación son la velocidad de construcción, la velocidad de entrega y el incremento de la programación.

La velocidad de construcción esta medida en metros cuadrados construidos por día, considerando el inicio de construcción hasta la fecha de cierre o entrega.

La velocidad de entrega se mide también en metros cuadrados construidos por día, pero considera desde la fecha de inicio del diseño hasta la fecha de ocupación.

Por último, el incremento del programa se mide en porcentajes, resultado de la comparación entre la fecha planeada de término de la obra con la fecha de término real ejecutada.

Diagrama 17 Velocidad de Construcción según el sistema de gestión del proyecto.



Como se menciona en párrafos anteriores, la velocidad de construcción se mide en metros cuadrados construidos por día, desde el inicio de la construcción, hasta el cierre de esta.

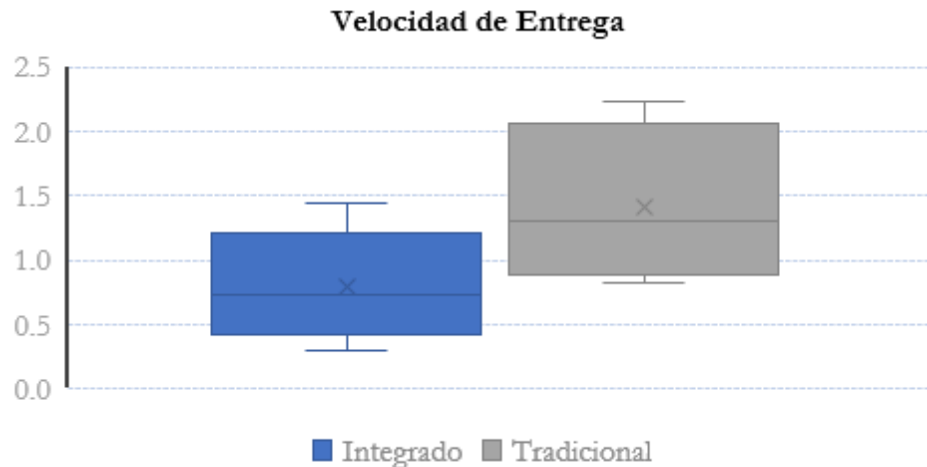
El **Diagrama 17** muestra los datos relacionados con la velocidad de construcción. Se observa que la mediana en los proyectos integrados es menor que los proyectos tradicionales. El diagrama anterior muestra que los proyectos tradicionales tienen una ligera mayor velocidad que los proyectos integrados.

Como se observa en el **Diagrama 18** la velocidad de entrega también es ligeramente mayor en los proyectos tradicionales. La mediana de los proyectos integrales es de 0.75 m2 por día, sin embargo, en los proyectos tradicionales es de 1.25 m2 por día.

Otro parámetro analizado es el incremento en el programa lo cual se puede deber a cambios en las especificaciones del propietario, diseño deficiente y otros aspectos que no se consideraron en la programación del proyecto.

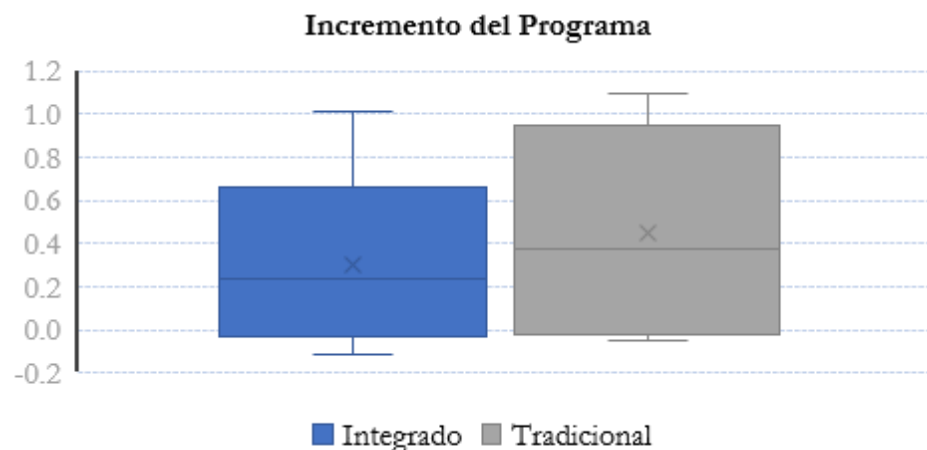
El **Diagrama 19** muestra que los proyectos tradicionales tienen mayor incremento en el tiempo del programa. Este porcentaje es alrededor del 20% en proyectos integrados y del 40% en proyectos tradicionales.

Diagrama 18 Velocidad de Entrega del Proyecto.



Este parámetro en conjugación con los anteriores determina que a pesar de que los proyectos tradicionales tienen velocidades mayores, también representan cambios mayores. Aun es necesario realizar las pruebas estadísticas para determinar si el comportamiento de estos parámetros es aceptable o rechazado.

Diagrama 19 Incremento del Programa en los sistemas de gestión.



Se realizaron pruebas similares a las aplicadas en los parámetros de costo y calidad, Pruebas MWW de una y dos colas. Los resultados de las pruebas Wilcoxon muestran aspectos interesantes por considerar.

Las pruebas Wilcoxon para una cola establecen que la velocidad de construcción tiene un valor P de 0.017 con una significancia del 0.05, lo cual determina que los proyectos integrales tienen diferentes velocidades de construcción en comparación con los proyectos tradicionales.

Tabla 21 Hipótesis y pruebas para el análisis de la Programación.

Hipótesis %	Hipótesis	Valor P	Confianza 95%	Confianza 90%
01	Los proyectos integrales tienen diferentes velocidades de construcción que los proyectos tradicionales.	0.017	Aceptada	Aceptada
02	Los proyectos integrales tienen diferentes velocidades de entrega que proyectos tradicionales.	0.001	Aceptada	Aceptada
03	Los proyectos integrales tienen menor incremento del programa que los proyectos tradicionales.	0.283	Rechazada	Rechazada

Las pruebas para la comparación de las velocidades de entrega establecen que hay un valor de P del 0.001 lo cual determina que con una significancia del 0.05 la hipótesis puede ser aceptada.

Para el incremento del programa se tienen valores diferentes con un valor de P igual a 0.280 lo supone el rechazo de la hipótesis de los proyectos integrales tienen menor incremento del programa que los proyectos tradicionales con una significancia estadística del 0.10.

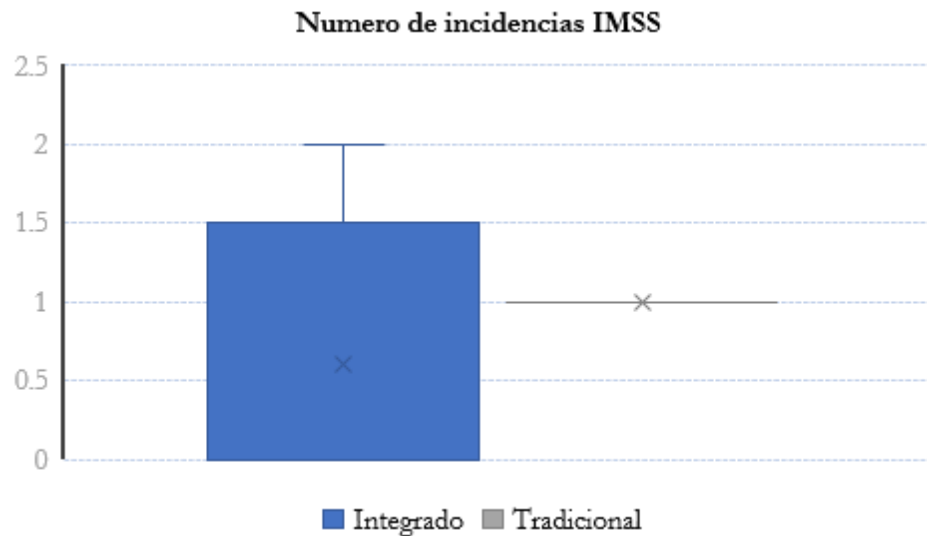
Análisis en el desempeño de la Seguridad

Para el análisis de la seguridad se consideran dos indicadores de desempeño, primero el número de incidencias ante el seguro social y el tiempo perdido por esas incapacidades.

Se relacionó también con el costo que representan esos parámetros. Es decir, cuanto fue el número de incidencias por millón de pesos y cuanto representó el tiempo por millón de pesos.

En ninguno de los proyectos analizado existieron muertes de colaboradores por lo tanto no se considera en el análisis del desempeño de la seguridad.

Diagrama 20 Cantidad de Incidencias ante el IMSS.



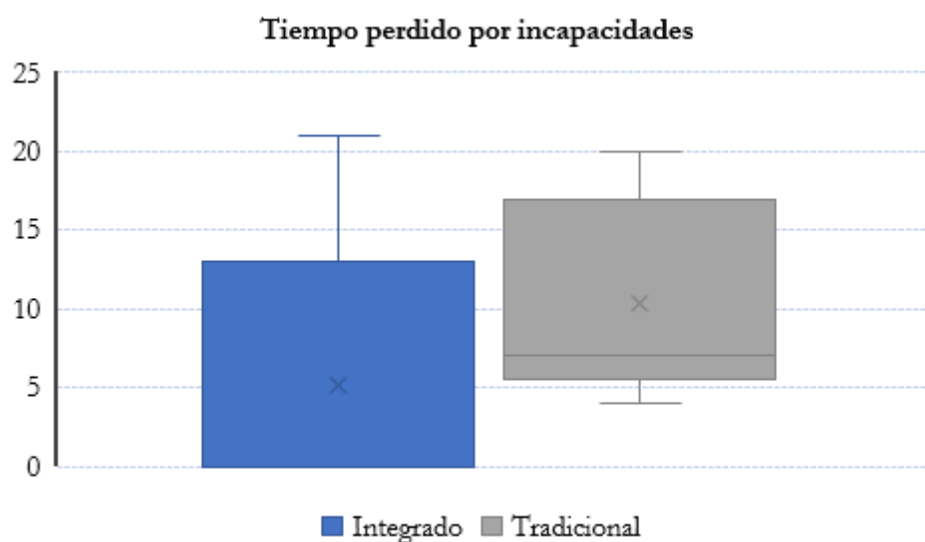
El **Diagrama 20**, superior establece el comportamiento del desempeño en relación con el número de incidencias reportadas al seguro social.

Se observa que la media en los proyectos integrales es menor que en los proyectos tradicionales sin embargo fueron más los proyectos integrales con cero incidencias.

Es importante hacer mención que en todos los proyectos tradicionales existieron 1 incidencia ante el Instituto Mexicano del Seguro Social.

Tal cual se aplicó en apartados anteriores se realizaron pruebas de datos no paramétricos, específicamente pruebas Wilcoxon determinando que no existe significancia estadística importante en el análisis de los 4 indicadores, se obtienen valores P de 0.14 a 0.23, ver **Tabla 22**.

Diagrama 21 Tiempo perdido por incapacidades.



El **Diagrama 21** muestra los diagramas de caja relacionados con el análisis del tiempo perdido por incapacidades, analiza los valores absolutos en días perdidos por esta prestación social.

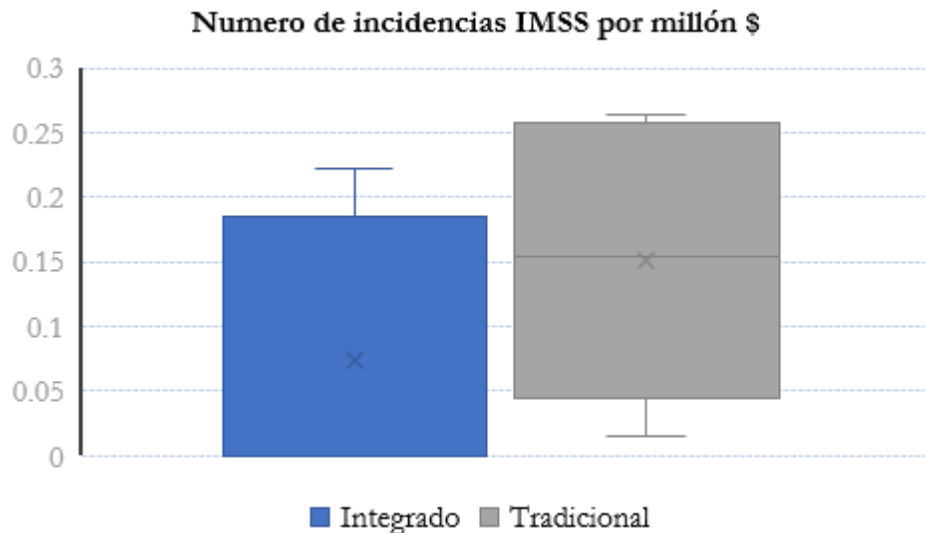
Se observa que la media es inferior en los proyectos integrales y en los tradicionales hay ligeramente una media mayor.

Lo anterior es que en un proyecto integral se tienen una pérdida de 5 días por incapacidades mientras que en los proyectos tradicionales llega a 10 días, es decir el doble que el anterior.

Para estandarizar los valores de la seguridad en relación con las características del proyecto se procedió a realizar la cuantificación de incidencias por millón de pesos invertidos en la construcción.

El **Diagrama 22** muestra las variaciones en el número de incidencias por millón de pesos, se tiene que en los proyectos integrados este número es mayor y que en los proyectos tradicionales hay una media de 0.15 incapacidades por millón de pesos, mientras que la media en los proyectos integrados es de 0.075.

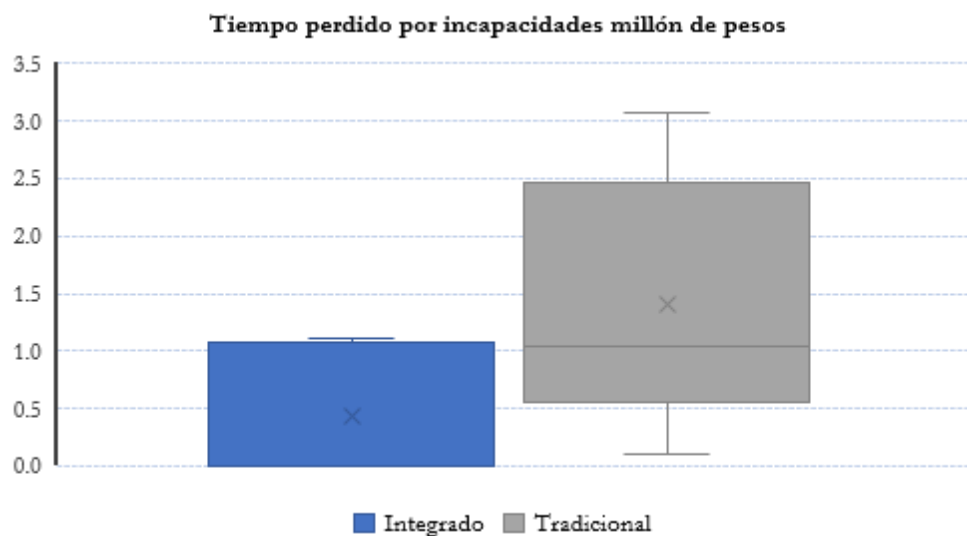
Diagrama 22 Cantidad de Incidencias por Millón de pesos.



El tiempo perdido por incapacidades por cada millón de pesos también sirve como indicador para estandarizar este parámetro según las características del proyecto el **Diagrama 23** muestra como los proyectos integrales tienen mejor desempeño que los proyectos tradicionales.

Se toma como referencia mostrar los resultados por millón de pesos puesto que así se organiza la información sin el efecto del costo total del proyecto y se tiene en cuenta un solo dato con las mismas condicionantes para todos los proyectos.

Diagrama 23 Tiempo perdido por Incapacidades por Millón de pesos.



Por ejemplo, un proyecto integral tiene una media de 0.5 semanas perdidas por millón de pesos, mientras que los proyectos tradicionales tienen 1.5 semanas, es decir, tres veces más que los primeros.

Tabla 22 Hipótesis y pruebas de la Seguridad.

Hipótesis %	Hipótesis	Valor P	Confianza 95%	Confianza 90%
01	Los proyectos integrados tienen menor número de incapacidades que los proyectos tradicionales	0.011	Aceptada	Aceptada
02	Los proyectos integrales tienen menor tiempo perdido por incapacidades que los proyectos tradicionales	0.004	Aceptada	Aceptada
03	Los proyectos integrales tienen menor costo por el tiempo perdido por incapacidades que los proyectos tradicionales.	0.001	Aceptada	Aceptada

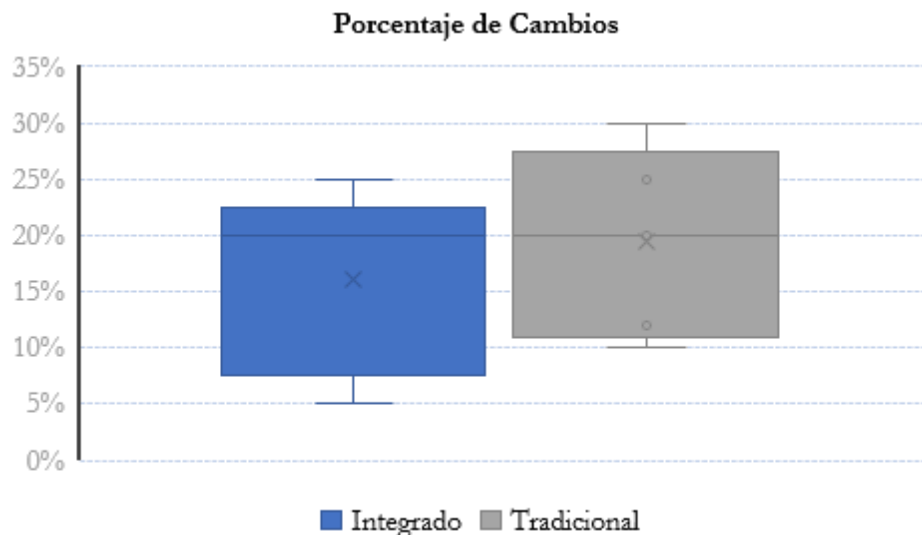
Los diagramas mostraron diferencias importantes en el análisis de la seguridad y las pruebas MWW permiten aceptar las hipótesis en cuestión debido a que todos los indicadores del valor de P fueron menores al 0.05 establecidas en la **Tabla 22**.

Análisis en el desempeño de la Gestión del Cambio

Los métricos analizados con anterioridad fueron el costo, la calidad, el programa y la seguridad. La gestión del cambio complementa a esos indicadores para obtener mejores puntos de referencias.

Para el análisis de esta área de desempeño se consideran 4 métricos entre los que están (1) el porcentaje total de los cambios, (2) los cambios por deficiencias en el diseño, (3) los cambios por deficiencias en la programación y por último el (4) tiempo de procesamiento de las ordenes de cambio.

Diagrama 24 Porcentaje Global de Cambios.



El porcentaje de cambios, los cambios por diseño deficiente y los de programación se miden en porcentajes, mientras que el tiempo de procesamiento de las ordenes de cambio se cuantifica en días. Se hace en múltiplos de 7 por efecto de conjugar los días con las semanas, por ende, será 7, 14... 35 días.

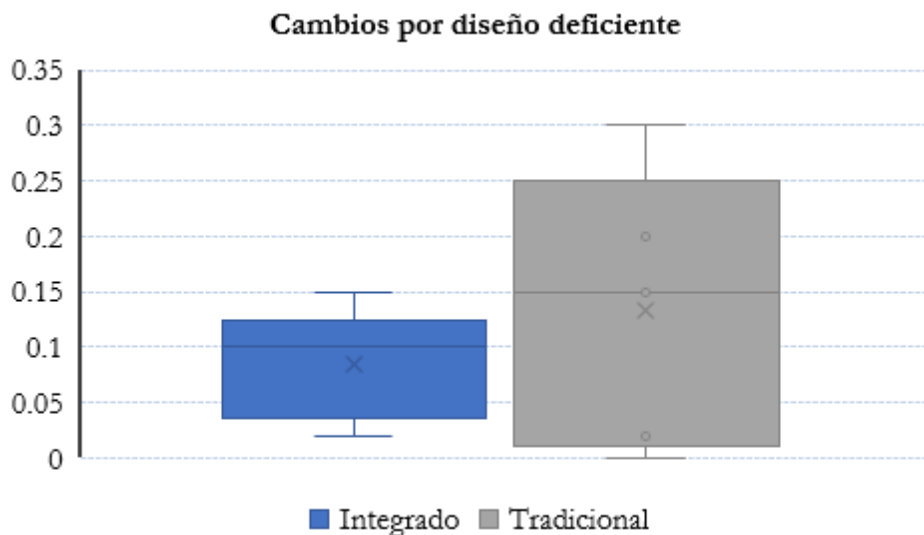
El **Diagrama 24** muestra el porcentaje de cambios totales, se observa que los valores de la media y mínimos y máximos son menores en los sistemas integrales, en cambio en los proyectos tradicionales se tiene un mayor porcentaje de cambios totales.

Es un análisis estadístico crudo, pero aún se establecerán las operaciones para determinar la significancia estadística, tal como se hizo en ejemplos anteriores.

Un aspecto analizado son los cambios ocasionados por diseño deficiente, es decir aquellos relacionados con la falta de especificaciones o claridad del proyecto ejecutivo.

El comportamiento en el desempeño de los cambios por diseño es menor en los proyectos integrales en donde se tiene una media menor que en los proyectos tradicionales.

Diagrama 25 Cambios por Diseño Deficiente.

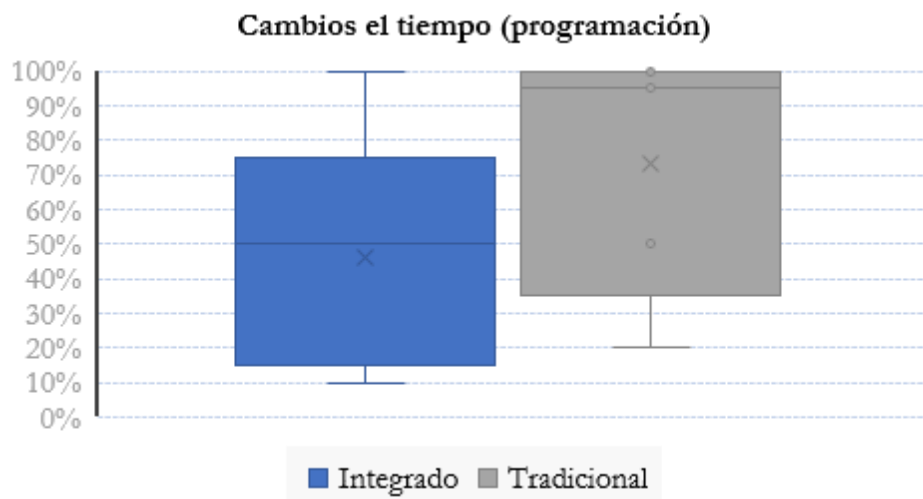


En términos de porcentajes la mediana de cambios ocasionados por diseño deficiente en los proyectos integrales fue del 1% mientras que en los proyectos tradicionales fue del 1.5% llegando al 3% del total de cambios, ver **Diagrama 25**.

Los cambios en el tiempo ocasionados por las adiciones y modificaciones en los proyectos integrales resultan tener una mediana menor que en los proyectos tradicionales.

El **Diagrama 26** muestra el comportamiento del desempeño en este indicador. Se observa que los cambios en la programación son mayores en los proyectos tradicionales que en los ejecutados a través de sistemas integrales.

Diagrama 26 Cambios ocasionados por Programación inadecuada.



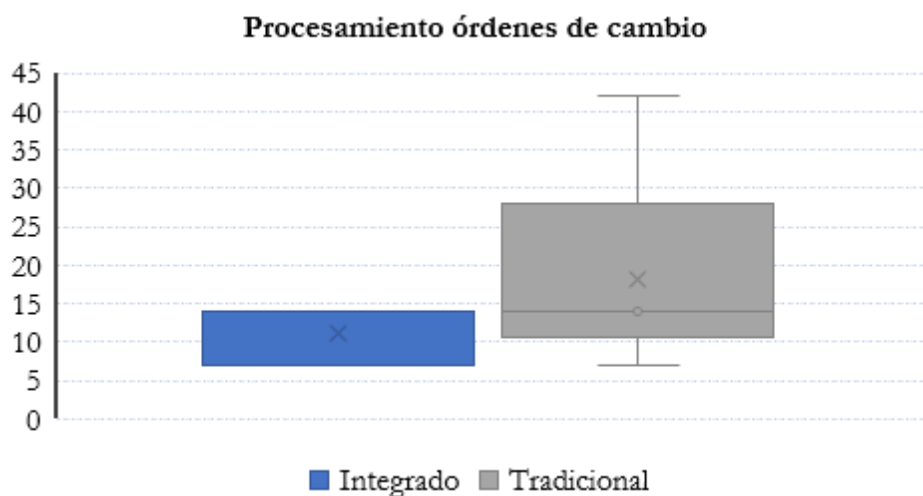
El tiempo de procesamiento de las ordenes de cambio se muestra en el Diagrama 27. Las unidades en el eje “Y” son días.

Las diferencias entre el procesamiento de las ordenes de cambio es evidente en los dos sistemas de gestión, mientras que los proyectos integrales tienen una duración de 1 a 2 semanas en los proyectos tradicionales pueden llegar a las 6 semanas con una media de 3 semanas aproximadamente.

Se realizaron pruebas T y MWW de una y dos colas para realizar una comparación estadística de los indicadores de la gestión del cambio en el proyecto. Todos los métricos anteriores fueron comparados.

Las diferencias propuestas por la Hipótesis #01 no fueron aceptadas, se obtuvo un valor P igual a 0.133 con una significancia del 0.05, ver **Tabla 23**.

Diagrama 27 Tiempo de Procesamiento de Órdenes de Cambio.



Los cambios ocasionados por el diseño deficiente tampoco tienen significancia estadística.

Sin embargo, el desempeño por los cambios en el programa y el procesamiento de las órdenes de cambio si pueden ser aceptados debido a que tienen un valor de P igual a 0.032 y 0.086, respectivamente. La observación anterior se considera con un nivel de significancia del 0.10.

Tabla 23 Pruebas e Hipótesis para la Gestión del Cambio.

Hipótesis %	Hipótesis	Valor P	Confianza 95%	Confianza 90%
01	Los proyectos integrados tienen diferente desempeño en los cambios globales que los proyectos tradicionales	0.133	Rechazada	Rechazada
02	Los proyectos integrales diferente cantidad de cambios	0.285	Rechazada	Rechazada

GESTIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Modelo matemático para el análisis del desempeño del proyecto

	por diseño deficiente que los proyectos tradicionales			
03	Los proyectos integrales tienen diferente desempeño en el cambio del programa que los proyectos tradicionales.	0.032	Aceptada	Aceptada
04	Los proyectos integrales tienen desempeño diferente en el procesamiento de las ordenes de cambio que los proyectos tradicionales.	0.086	Rechazada	Aceptada

Entonces, las diferencias entre los cambios por adición y reducción de actividades al programa tienen una significancia del 0.032. La mediana para medir este parámetro en los procesos integrales fue del 50% mientras que los proyectos tradicionales tienen una mediana de 95%.

También el procesamiento de las ordenes de cambio tienen valores importantes por considerar. Con una significancia del 0.10, se tiene que el valor de P es igual a 0.086 por lo tanto también se puede aceptar la hipótesis debido a la existencia de esa significancia estadística.

La media del procesamiento de las ordenes de cambio es de 14 días en los proyectos integrados y en los proyectos tradicionales es de 17 días o 2.5 semanas. La rápida gestión de los cambios en los proyectos integrados puede deberse a la integración de los participantes involucrados en el proyecto.

El procesamiento de las ordenes de cambio también se puede ver influenciado por las participaciones de forma colaborativa y al involucramiento temprano. Los datos anteriores muestran superioridad en el desempeño de la gestión del cambio en los proyectos integrales en comparación con los tradicionales.

El apartado siguiente analiza otra área de desempeño importante para el desarrollo del proyecto, se abordan procesos relacionados con los métricos del análisis de la comunicación.

Análisis en el desempeño de la Comunicación

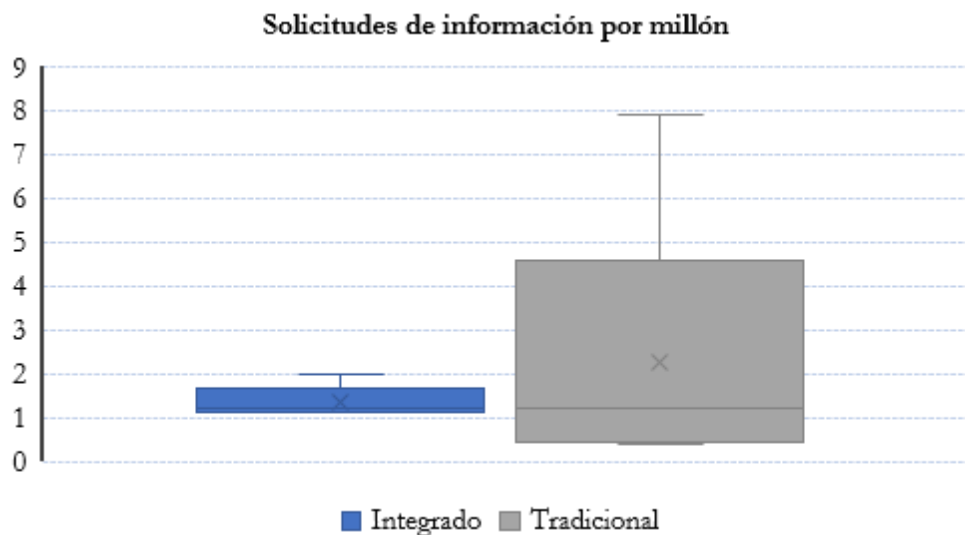
Esta investigación realiza un análisis amplio del desempeño de los proyectos en la industria de la construcción mexicana.

Mas allá de los típicos valores de costo, tiempo y calidad, aborda temas como la seguridad y la gestión del cambio.

Para analizar el desempeño de la comunicación se hace referencia a los procesos de comunicación como tal, así como el resultado de estos, los cuales repercuten en ineficiencias y retrabajos.

Entonces se analizan las Solicitudes de Información (SI), el tiempo de procesamiento de una SI, y los retrabajos ocasionados por las ineficiencias en los procesos de comunicación.

Diagrama 28 Solicitudes de Información por millón de pesos.



Las SI son consideradas un métrico de análisis para el desempeño de la comunicación porque pueden ser de cierta forma una fuente de desperdicios o retrabajos en los proyectos.

Se utilizan para rectificar o realizar trabajos que se pretenden realizar o ya se ejecutaron. La premisa bajo este análisis es sencilla, las cuadrillas operativas pierden productividad en espera de la información.

En adición a lo anterior, se encuentra el tiempo que toma ejecutar al 100% esa solicitud, lo cual pueden ser varias semanas de acuerdo con como se muestra en el **Diagrama 28**.

A demás la falta de información clara puede provocar retrabajos, por ejemplo, en actividades de demolición y rehabilitación.

Para el análisis de las solicitudes de la información se consideran dos métricos de rendimiento (1) el número de SI y (2) el tiempo de procesamiento de dichas solicitudes. Para estandarizar los valores se toma en cuenta el costo total de construcción, así se tendrá un dato más preciso que responda a las características del proyecto en sí.

El Diagrama 28 muestra la cantidad de SI por millón de pesos según el sistema de gestión del proyecto.

Es evidente el comportamiento del desempeño a favor de los proyectos integrales, se observa que tienen una media de 1.5 solicitudes por millón de pesos, en cambio los proyectos tradicionales alcanzan una media de 2.5 con valores de hasta 8 solicitudes por millón.

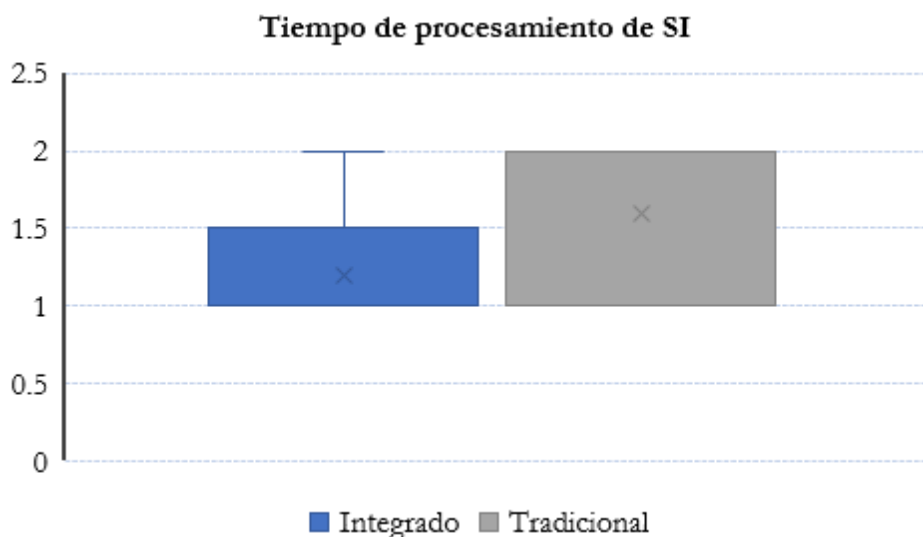
A pesar de que estos datos son crudos revelan el comportamiento de los parámetros, sin embargo, posteriormente se analizan los datos estadísticamente. La mediana para ambos tipos de sistemas de gestión fue de 1.2 SI por millón de pesos.

Una vez que se realizaron las pruebas MWW se estableció que los proyectos integrales tienen un desempeño diferente que los tradicionales en relación con la cantidad de solicitudes de información donde se tiene que con una significancia del 0.05 el valor de P es igual a 0.005, lo cual lo coloca por debajo del margen de error del 1%.

Por tal motivo se acepta la hipótesis donde se establecen las diferencias entre los sistemas. El desempeño de la cantidad de solicitudes de información en ambos sistemas de

gestión tiene una mediana de 1.2, sin embargo, la media en los proyectos tradicionales es de 2.5 llegando a valores de 8 SI por millón de pesos.

Diagrama 29 Tiempo de Procesamiento de Solicitudes de Información.



El tiempo de procesamiento de las solicitudes de información repercute directamente en las actividades de las cuadrillas operativas, debido a que se necesitan especificaciones de la información faltante.

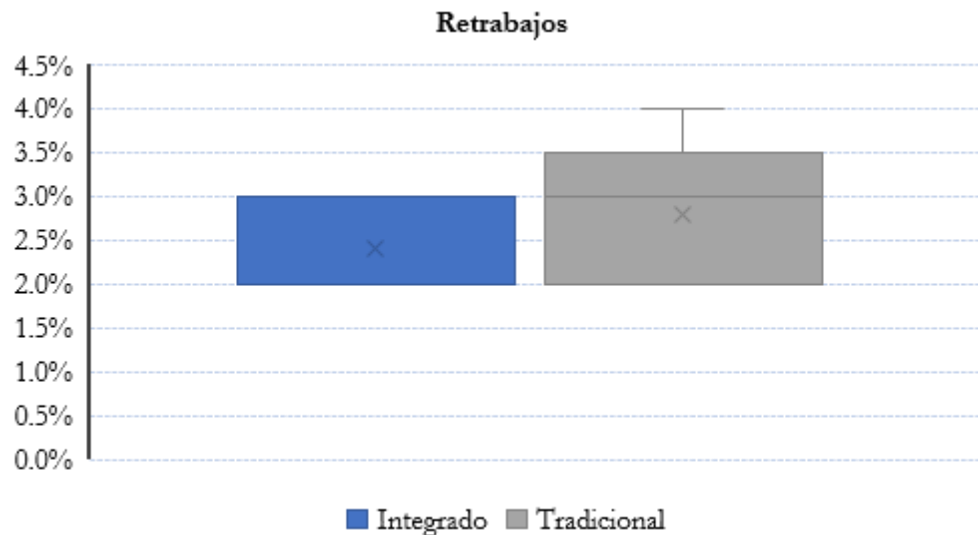
El **Diagrama 29** muestra las diferencias en el comportamiento del tiempo en dicho proceso. En los proyectos integrados se tiene una media de 1.25 semanas mientras que en los tradicionales la media asciende a 1.6 semanas.

Con respecto a las medianas, los proyectos integrales tienen una mediana de 1.5 mientras que los tradicionales tienen una media de 2 semanas.

Las pruebas de significancia estadística se realizan con la intención de aceptar o rechazar la hipótesis de que el desempeño en el tiempo de procesamiento de las SI es diferente según el sistema de gestión.

En la **Tabla 24** se establece que la hipótesis #2 es aceptada debido a que se tiene un valor de P igual a 0.032 con una significancia estadística del 0.50, por lo tanto, se hacen evidentes las diferencias entre los tipos de gestión en relación con el tiempo que toma realizar aclaraciones de dudas por falta de especificaciones técnicas.

Diagrama 30 Porcentaje de retrabajos según el sistema de gestión.



Los retrabajos se analizaron en porcentajes en relación al costo total del proyecto, las pruebas MWW se realizaron para comparar el desempeño entre los sistemas de gestión integrales y tradicionales.

La hipótesis #3 se acepta con una significancia estadística del 0.10 con un valor P igual a 0.095. Por lo tanto, los retrabajos son menores en los sistemas integrales que en los tradicionales.

Tabla 24 Hipótesis y pruebas MWW para el análisis de la Comunicación.

Hipótesis #	Hipótesis	Valor P	Confianza 95%	Confianza 90%
01	Los proyectos integrados tienen diferente cantidad de solicitudes	0.005	Aceptada	Aceptada

	de información que los proyectos tradicionales			
02	Los proyectos integrales tienen diferente tiempo para la solicitud de información que los proyectos tradicionales	0.032	Aceptada	Aceptada
03	Los proyectos integrales tienen diferente desempeño en relación al retrabajo que los proyectos tradicionales.	0.095	Rechazada	Aceptada

El presente apartado analiza la comunicación como parte esencial del desempeño productivo del sistema de gestión. Se establecieron consideraciones evidentes con respecto al funcionamiento de los procesos demostrando que de forma general los proyectos integrales tienen mejor desempeño que los tradicionales en este apartado.

Otro de los elementos a considerar en la presente investigación es el análisis de las actividades relacionadas con mano de obra y aspectos operativos de la misma, englobados en el análisis del Trabajo.

Análisis en el desempeño del Retorno del Negocio

La industria de la construcción siempre busca maximizar las ganancias a través de la ejecución de sus proyectos, ese es una característica esencial de cualquier empresa o negocio.

Las empresas se mantienen en la industria mientras generen beneficios y ganancias, de lo contrario será imposible continuar con su funcionamiento. Por esa razón es necesario analizar las utilidades y ganancias de los proyectos, así como el retorno del negocio.

Para evitar entrar en asuntos sensibles como lo es el beneficio específico de las ganancias de los constructores, la Herramienta de Recolección de Datos estableció datos categóricos que permiten determinar y englobar el nivel de ganancias a través de porcentajes y números.

El Retorno del negocio se analiza a través del efecto que tiene el proyecto en la imagen de la compañía y su potencial de retorno de negocio.

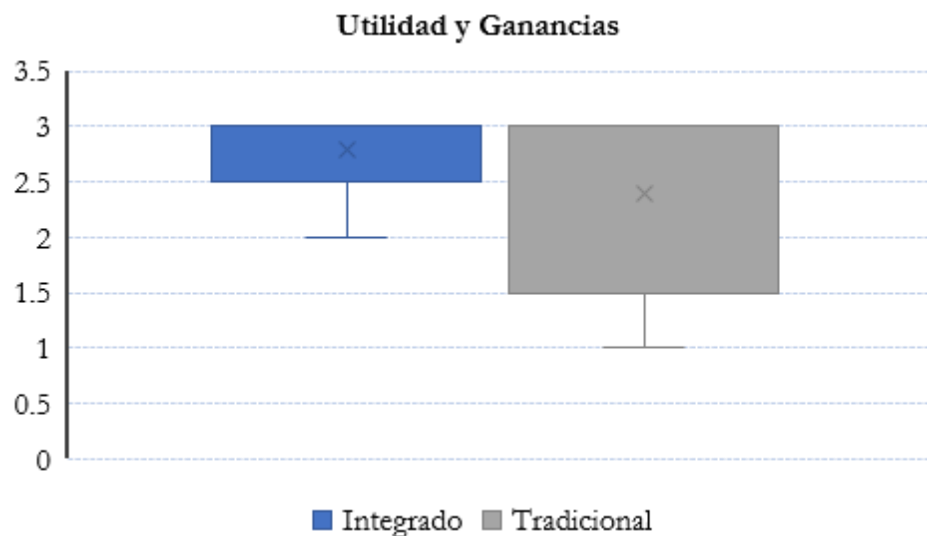
A pesar de ser un parámetro cualitativo este métrico determina que proyectos tienen un retorno del negocio inmediato y aquellos que se convirtieron en malas relaciones con los clientes.

El **Diagrama 31** muestra los diagramas de caja para el análisis de la utilidad y las ganancias. Los valores en el eje Y muestran la ponderación en la cual se engloba el margen de ganancias y beneficios.

Por ejemplo; 0 si las ganancias fueron negativas; 1 para menos del 5%, 2 para 5-10%; 3 para 11-15%. La mediana para los proyectos integrales fue 3 es decir del 11-15% de utilidad y ganancias finales; para los proyectos tradicionales la media fue de 2 es decir del 5-10%.

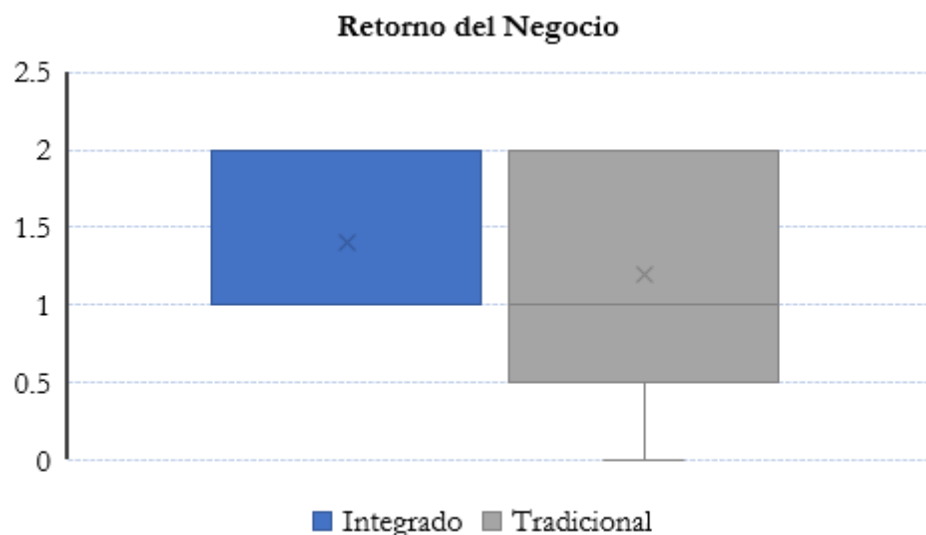
En la **Tabla 25**, específicamente en la hipótesis #01 sobre que los proyectos integrales tienen diferente desempeño que los tradicionales en relación con la utilidad y ganancias se tiene un valor de P igual a 0.110 con una significación estadística del 0.05, lo cual no nos permite aceptar la hipótesis, a pesar de que las diferencias en las estadísticas establecida por el **Diagrama 31**, son muy claras.

Diagrama 31 Comparación de Utilidad y Ganancias según el Sistema de Gestión.



El diagrama inferior muestra el comportamiento del Retorno del Negocio según el sistema de gestión. En este indicador el eje vertical representa valores desde el -2 para muy negativo a +2 para muy positivo¹¹⁶.

Diagrama 32 Retorno del Negocio según el sistema de gestión.



En el diagrama anterior, se observa claramente que la mayoría de los proyectos integrales se ubicaron en parámetros de positivos para el retorno del negocio, en cambio para los proyectos tradicionales hubo indicadores neutrales, lo cual no beneficia al retorno del negocio.

Tabla 25 Pruebas e hipótesis para el análisis del Retorno del Negocio.

Hipótesis #	Hipótesis	Valor P	Confianza 95%	Confianza 90%
01	Los proyectos integrados tienen diferente desempeño en relación con las	0.111	Rechazada	Rechazada

¹¹⁶ Los indicadores se organizaron de -2 a +2, determinando muy negativo, negativo, neutral, positivo, muy positivo, según las respuestas de la Herramienta de Recolección de Datos.

	ganancias y utilidades que los proyectos tradicionales.			
02	Los proyectos integrados tienen diferente desempeño en relación con el Retorno del Negocio que los proyectos tradicionales.	0.480	Rechazada	Rechazada

El presente apartado demuestra que existen diferencias estadísticas en el desempeño de aspectos relacionados con el Retorno del Negocio. A continuación, se presenta la síntesis de los resultados de los datos analizados en el presente capítulo.

SÍNTESIS DE LOS RESULTADOS EN LOS ANÁLISIS UNIVARIADOS

Este apartado se enfoca en organizar los datos resultantes de las pruebas MWW y Pruebas T. Compara los resultados previos a esta sección para lograr una mejor comprensión de las diferencias en el desempeño establecidas por los métricos de rendimiento.

En la **Tabla 26** se muestran todos los valores obtenidos del análisis de los métricos de rendimiento anteriores, la **Tabla 27** muestra esos mismos valores ordenados en cuanto al valor de P obtenido según la significancia estadística.

Tabla 26 Comparación de los Resultados del Análisis de Factores Univariados.

Métrico de desempeño		Pruebas MWW		Pruebas T	
		W estadística	Valor P	T Estadística	Valor P
1	Costo Unitario	450	0.283	0.51	0.612
2	Incremento del Costo	338	0.049	-2.39	0.023
3	Calidad General de los Sistemas C.	346	0.048	-2.18	0.036
4	Deficiencias	282	0.001	-3.75	0.001
5	Elementos en CheckLists	426	0.673	2.09	0.05
6	Costo de la Garantías	402	0.839	-2.44	0.024
7	Defectos Latentes	378	0.29	-2.11	0.048
8	Velocidad de Construcción	322	0.017	-2.28	0.034

9	Velocidad de Entrega	258	0	2.61	0.017
10	Incremento del Programa	370	0.283	-1.1	0.277
11	Incidencias	326	0.011	-2.37	0.028
12	Tiempo perdido por incidencias	306	0.004	-2.27	0.03
13	Cantidad de Incidencias por Millón de Pesos	290	0.001	-2.51	0.017
14	Tiempo Perdido por Incidencias por Millón	258	0	-4.09	0
15	Porcentaje Global de Cambios	354	0.133	-1.4	0.169
16	Cambios por Diseño Deficiente	370	0.285	-1.8	0.084
17	Cambios por Adición o Eliminación de Actividades al Programa	330	0.032	-2.61	0.013
18	Tiempo de Procesamiento de las OC	346	0.086	-2.41	0.025
19	Solicitudes de Información	514	0.005	2.29	0.028
20	Tiempo de Procesamiento de SI	330	0.032	-2.76	0.009
21	Retrabajos	354	0.095	-1.95	0.06
22	Trabajo Adicional	338	0.053	-3.08	0.004
23	Utilidad y Ganancias	458	0.111	1.95	0.062
24	Retorno del Negocio	434	0.48	0.97	0.337

En la **Tabla 27** se muestran los resultados comparativos para los 24 métricos analizado en este apartado. Se muestran primero los resultados de las Pruebas MWW y después las Pruebas T.

A diferencia de la tabla anterior que organizaron los métricos de rendimiento por área de desempeño, esta organiza a los métricos de forma ascendente en relación con el Valor P de las pruebas MWW.

Como se menciona en apartados anteriores a menor valor de P mayores serán las diferencias en el desempeño de los sistemas de gestión.

Todos los valores se calculan a razón de una significancia del 0.05, también se muestran los resultados de las Pruebas T.

Tabla 27 Síntesis de las pruebas univariados de los sistemas de gestión ordenados por el valor de P (MWW).

Métrico de desempeño	Pruebas MWW		Pruebas T	
	W estadística	Valor P	T Estadística	Valor P

GESTIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Modelo matemático para el análisis del desempeño del proyecto

1	Velocidad de Entrega	258	0	2.61	0.017
2	Tiempo Perdido por Incidencias por Millón de Pesos	258	0	-4.09	0
3	Deficiencias	282	0.001	-3.75	0.001
4	Cantidad de Incidencias por Millón de Pesos	290	0.001	-2.51	0.017
5	Tiempo perdido por incidencias	306	0.004	-2.27	0.03
6	Solicitudes de Información	514	0.005	2.29	0.028
(Arriba) Resultados con una Significancia Estadística superior al 0.01					
7	Incidencias	326	0.011	-2.37	0.028
8	Velocidad de Construcción	322	0.017	-2.28	0.034
9	Cambios por Adición o Eliminación de Actividades al Programa	330	0.032	-2.61	0.013
10	Tiempo de Procesamiento de Solicitudes de Información	330	0.032	-2.76	0.009
11	Calidad General de los Sistemas C.	346	0.048	-2.18	0.036
12	Incremento del Costo	338	0.049	-2.39	0.023
(Arriba) Resultados con una Significancia Estadística superior al 0.05					
13	Trabajo Adicional	338	0.053	-3.08	0.004
14	Tiempo de Procesamiento de las Ordenes de Cambio	346	0.086	-2.41	0.025
15	Retrabajos	354	0.095	-1.95	0.06
16	Utilidad y Ganancias	458	0.111	1.95	0.062
17	Porcentaje Global de Cambios	354	0.133	-1.4	0.169
(Arriba) Resultados con una Significancia Estadística superior al 0.10					
18	Costo Unitario	450	0.283	0.51	0.612
19	Incremento del Programa	370	0.283	-1.1	0.277
20	Cambios por Diseño Deficiente	370	0.285	-1.8	0.084
21	Defectos Latentes	378	0.29	-2.11	0.048
22	Retorno del Negocio	434	0.48	0.97	0.337
23	Elementos en CheckLists	426	0.673	2.09	0.05
24	Costo de la Garantías	402	0.839	-2.44	0.024

La tabla anterior establece valores muy significativos en relación con las diferencias entre los sistemas tradicionales e integrales.

Los primeros 6 métricos de rendimiento se distribuyen a través de 3 áreas de desempeño: Programa, Seguridad y Comunicación.

Dependiendo del nivel de significancia elegido, se pueden incluir 7 métricos más con un nivel de significancia estadística del 0.05 o en su defecto haya 17 métricos en total con una significancia estadística del 0.10, lo cual aún es un buen parámetro como referencia para estos resultados.

La **Tabla 28** establece el resumen de los 17 métricos que repercuten directamente en el desempeño de las áreas de los sistemas de gestión. Son áreas donde los proyectos integrales benefician más que los proyectos tradicionales a los procesos del proyecto y sirven como guía para elegir el sistema de gestión.

Tabla 28 Síntesis final de los métrico de rendimiento.

Métrico de desempeño		Pruebas MWW
		Valor P
1	Velocidad de Entrega	0.000
2	Tiempo Perdido por Incidencias por Millón de Pesos	0.000
3	Deficiencias	0.001
4	Cantidad de Incidencias por Millón de Pesos	0.001
5	Tiempo perdido por incidencias	0.004
6	Solicitudes de información	0.005
7	Incidencias	0.011
(Arriba) Resultados con una Significancia Estadística del superior al 0.01		
8	Velocidad de Construcción	0.017
9	Cambios por Adición o Eliminación de Actividades al Programa	0.032
10	Tiempo de Procesamiento de Solicitudes de información	0.032
11	Calidad General de los Sistemas C.	0.048
12	Incremento del Costo	0.049
(Arriba) Resultados con una Significancia Estadística del superior al 0.05		
13	Trabajo Adicional	0.053
14	Tiempo de Procesamiento de las Ordenes de Cambio	0.086
15	Retrabajos	0.095
16	Utilidad y Ganancias	0.111
17	Porcentaje Global de Cambios	0.133
(Arriba) Resultados con una Significancia Estadística del superior al 0.10		

CONCLUSIONES DEL APARTADO

En conclusión, en este apartado se determinaron los datos que mayor certeza tienen para el análisis de las diferencias primordiales de los sistemas de gestión integral y tradicional.

Se establece que tienen diferencias sustanciales en la velocidad de entrega, en el tiempo perdido por incidencias, en las deficiencias, en las incidencias por millón de pesos, en las solicitudes de información.

También, en otros parámetros como la velocidad de construcción, los cambios en el programa, el tiempo de procesamiento de solicitudes de información y el incremento del costo.

En la **Tabla 28** se establece un resumen de las diferencias entre los sistemas de gestión y en conjugación con los análisis univariados se obtienen las cualidades y diferencias de los procesos en los sistemas de gestión integrales y tradicionales.

Aspectos como la Velocidad de Entrega, el tiempo perdido por incapacidades, el tiempo de procesamiento de solicitudes de información, cantidad de incidencias y cambios en el programa, resultan tener mejor desempeño en los proyectos integrales que en los tradicionales.

PARTE IV

MODELO MATEMÁTICO
“INDICADOR INTEGRAL DEL
DESEMPEÑO”

Formulación matemática y estandarización de datos	155
Ecuación del Indicador Integral del Desempeño (IID)	159
IID parte 1/7; Retorno del Negocio	161
IID parte 2/7; Seguridad	162
IID parte 3/7; Programa	164
IID parte 4/7; Costo	165
IID parte 5/7; Calidad	166
IID parte 6/7; Beneficios	167
IID parte 7/7; Gestión del Cambio y Comunicación	168
Validación de la Ecuación IID a través del ACP	170

4. CREACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO “INDICADOR INTEGRAL DEL DESEMPEÑO” (IID)

El presente apartado analiza y aplica la formulación del modelo matemático conocido como “Project Quarterback Rating” (PQR) y su adaptación para la creación del Indicador Integral del Desempeño (IID).

El objetivo principal del modelo IID es determinar el nivel de desempeño en determinado proyecto de construcción.

Se analizan cada una de las áreas de desempeño para realizar comparaciones con respecto al comportamiento. En base a la literatura existente y con relación al comportamiento de los procesos en los proyectos IPD determinar estrategias para su difusión y aplicación en el país. La premisa anterior se analiza con mayor énfasis en la parte final de esta investigación, en las conclusiones y resultados.

FORMULACIÓN MATEMÁTICA Y ESTANDARIZACIÓN DE DATOS

Para evitar enfocar el estudio hacia una sola área de desempeño o a las típicas 3 que son Tiempo, Costo y Calidad, el modelo matemático combina siete áreas de desempeño. Esas áreas son (1) Retorno del Negocio, (2) Seguridad, (3) Programa, (4) Costo, (5) Calidad, (6) Ganancias y Beneficios y (7) Comunicación.

En la **Ecuación 2** para el análisis de cada proyecto el subíndice de la letra “x” establece el número del proyecto, por ejemplo, PQR_x.

Como se menciona con anterioridad el PQR analiza 7 áreas de desempeño, cada una con diferentes factores de importancia.

El modelo matemático para determinar el nivel de desempeño se establece de la siguiente manera:

Ecuación 2 Formulación matemática del PQR.

$$PQR_x = \sum_i^I w_i S_{ix}$$

Donde:

- El subíndice x establece el número del proyecto, como identificación;
 $1 \leq x \leq X; X=10$
- El indicador w_i es el factor del área de desempeño;
 $1 \leq i \leq I; I=7$
- El indicador S_{ij} muestra el puntaje obtenido en cada área de desempeño

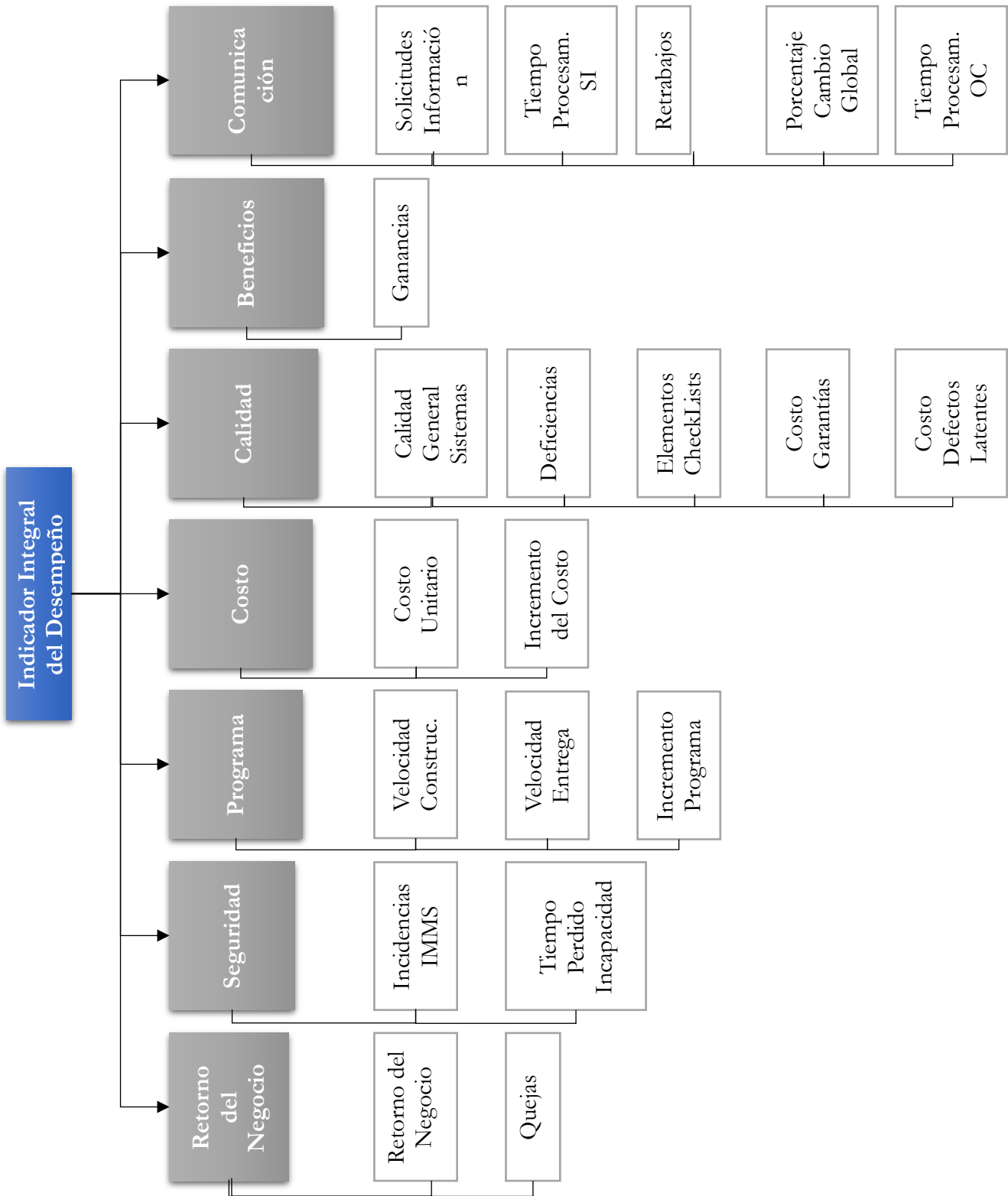
La simplicidad de utilizar una ecuación lineal permite agregar y disminuir métricos de rendimiento es cada una de las áreas de desempeño.

El análisis del desempeño se fundamenta y dependen de las áreas de desempeño en el modelo. Los métricos en las áreas de desempeño se estandarizaron para obtener resultados certeros. El **Diagrama 33** es el indicador general del indicador, después las siete áreas de desempeño y por último cada uno de los métricos de rendimiento analizados.

Para combinar métricos con diferentes unidades de medidas es necesarios realizar procedimientos de estandarización. La Estandarización es la respuesta a ese problema. Puede transformar cualquier conjunto de números a sus valores equivalentes en la distribución normal estándar.

La aplicación de la formulación matemática se realiza en los siguientes apartados, El Asmar (2012) establece el procedimiento para realizar el análisis del desempeño a través del PQR en cualquier proyecto de la Industria de la Construcción, sin embargo, sus aportaciones no pueden ser aplicadas a la industria nacional.

Diagrama 33 Organización del Indicador Integral del Desempeño.



Por tal motivo, se requiere la nueva creación del modelo, pero fundamentado en los principios del autor previamente mencionado.

Al observar los métricos del **Diagrama 33**, se determina claramente que no se pueden sumar métricos con diferentes unidades, por ejemplo, tiempo y costo.

Incluso en las mismas áreas de desempeño algunos métricos de rendimiento son diferentes por ejemplo pueden ser porcentajes o costo de metros cuadrados de construcción.

La respuesta a los problemas anteriores es la estandarización, la cual es un procedimiento fundamental tanto en el PQR como en el IID. Lo anterior nos permite transformar cualquier conjunto de números a su distribución normal equivalente.

Para lograr estandarizar cualquier medida, es necesario restar la media de la muestra al valor y después dividirlo entre la desviación estándar.

Entre los beneficios de estandarizar se consideran que los valores positivos determinan que el desempeño está por arriba de la media y en los valores negativos que se encuentra por debajo de la media de desempeño.

La interpretación anterior también funciona con cada una de las áreas de desempeño generales¹¹⁷.

Otro beneficio de estandarizar es que los valores de calificación combinados se pueden estandarizar e interpretar de manera similar en términos del número de desviaciones estándar por debajo o por encima del promedio.

Las unidades de medida de los valores estandarizados son el número de desviaciones estándar por encima o por debajo del promedio.

¹¹⁷ Costo, Calidad, Programa, Trabajo, Seguridad, Gestión del Cambio, Utilidades y Ganancias.

LA ECUACIÓN DEL INDICADOR INTEGRAL DEL DESEMPEÑO (IID)

Antes de desarrollar la fórmula para cada una de las áreas de desempeño, es necesario determinar los factores de importancia de cada uno de ellos.

Para tal efecto retomaremos los resultados de las preguntas de la última sección de la Herramienta de Recolección de Datos en relación con los factores que determinan el nivel del éxito del proyecto.

Se les preguntó a los participantes que mencionaran cuales son los 5 métricos más importantes para obtener proyectos exitosos. Cada una de las respuestas se agruparon en las áreas de desempeño los cual no permitió obtener las frecuencias y posteriormente convertirlo en porcentajes. En total los valores suman 100% de acuerdo con la **Tabla 29**.

Tabla 29 Porcentajes de ponderación de áreas de desempeño.

ÁREA DE DESEMPEÑO	PONDERACIÓN
Retorno del Negocio	0.23
Seguridad	0.17
Programa	0.16
Costo	0.13
Calidad	0.12
Ganancias	0.11
Comunicación	0.09
Total	1.00

La **Tabla 29** explica el porcentaje y ponderación de cada una de las 7 áreas de rendimiento. En ella se observa como el Retorno del Negocio es el aspecto que los líderes del proyecto consideran más importante para el éxito del mismo. Posteriormente la Seguridad y muy cerca el cumplimiento del Programa. En cuarta posición encontramos al cumplimiento de los objetivos del costo.

Ecuación 3 IID Preliminar.

$$\text{IID} = \frac{(0.23 * \text{Retorno del Negocio}) + (0.17 * \text{Seguridad}) + (0.16 * \text{Programa}) + (0.13 * \text{Costo}) + (0.12 * \text{Calidad}) + (0.11 * \text{Ganancias}) + (0.09 * \text{Comunicacion})}{0.51}$$

La calidad en el proyecto fue el quinto elemento más mencionado para lograr terminar exitosamente el proyecto y, por último, tenemos a las ganancias y a la comunicación. Por lo tanto, cada uno de esos porcentajes se convertirían en un factor que afecta directamente al indicador final.

Los porcentajes de la Tabla 29 anteriores se aplican a la Ecuación 3. En ella se observa la primera adaptación del IID basado en el PQR.

El 0.51 en el denominador es la desviación estándar de las calificaciones de los proyectos, aplicando el método de estandarización que se menciona en el apartado anterior.

Para facilitar la estandarización previa donde la media es 0, y puesto que el denominador afecta a los factores de cada área de desempeño, la Ecuación 3 se simplifica para obtener la siguiente:

Ecuación 4 Indicador Integral del Desempeño, factores de área simplificados.

$$\text{IID} = (0.45 * \text{Ret. Neg.}) + (0.34 * \text{Seguridad}) + (0.31 * \text{Programa}) + (0.25 * \text{Costo}) + (0.23 * \text{Calidad}) + (0.22 * \text{Util y Gan.}) + (0.17 * \text{Comunicación})$$

Para facilitar la comprensión de la educación en el apartado e anexos, se muestra la formula completa desarrollada en este apartado. A demas se incluye un ejemplo del análisis de un proyecto a través del IID.

Cada una de las áreas de desempeño también se ha estandarizado individualmente. Como se menciona con anterioridad las áreas incluyen más de un métrico por analizar. A pesar de que se utilizan unidades diferentes es necesario considerarlas en este análisis.

Cada área de desempeño se compone de métricos que permiten estandarizar y obtener un solo indicador por área. Posteriormente se explica el actuar de cada uno de estos métricos y como se crea la ecuación específica del Indicador Integral del Desempeño.

A continuación, se explica detalladamente como se analizan cada una de las áreas de desempeño y como se logra obtener el indicador de estas, para agregarlo posteriormente a la **Ecuación 4** y obtener con un solo número el nivel de desempeño del proyecto de construcción.

IID parte 1 / 7; Retorno del Negocio

El indicador más importante según los líderes del proyecto fue el análisis del Retorno del Negocio y las Relaciones con el Cliente. Para el desarrollo del IID se toman en cuenta dos métricos que analizan las relaciones con el cliente y el retorno del negocio en un proyecto de construcción.

El primer métrico es la medición del potencial del Retorno del Negocio, lo anterior puesto que si el propietario no está satisfecho con el proyecto no volverá a contratar los servicios de la compañía en cuestión.

El segundo métrico es la medición de las quejas o disputas legales, las cuales consumen recursos y tiempo de los líderes del proyecto y no agregan valor al propietario.

Debido a la importancia del retorno del negocio se le asigna una ponderación de 0.75 a este indicador y de 0.25 para el análisis de las quejas o las disputas legales.

La medición del potencial del Retorno del Negocio se realiza a través de una escala de 5 puntos. Como se establece en la Herramienta de Recolección de Datos, los indicadores del retorno potencial del negocio se evalúan de (-2) a (+2), teniendo valores como Muy Negativo (-2), Negativo (-1), Neutral (0), Positivo (+1), Muy Positivo (+2).

La medición de las quejas obtiene valores de 0 y 1, es decir fueron valores binarios. Uno para la no existencia de quejas y cero para la existencia de una o más disputas legales entre los involucrados.

Con respecto a los resultados la media para el Retorno del Negocio es de 1.2 y la desviación estándar es de 0.91, como se menciona con anterioridad los valores que se podían obtener en esta ponderación son de -2 a +2.

La media para las Disputas Legales es de 0.60 mientras que la desviación estándar es de 0.51.

Cada uno de los métricos se estandariza para obtener los valores “z”, después de esta estandarización inicial, se realizó un promedio ponderado de estos nuevos valores “z”, el resultado fue estandarizado de nuevo para obtener el denominador del análisis de esta área de desempeño, es decir: 0.54, por lo tanto, la fórmula para el análisis del Retorno del Negocio es la siguiente:

Ecuación 5 IID; Retorno del Negocio

$$\begin{aligned} & \text{Retorno del Negocio} \\ &= \frac{\left(0.75 * \frac{\text{Retorno del Negocio} - 1.20}{0.9189}\right) + \left(0.25 * \frac{\text{Disputas} - 0.60}{0.5163}\right)}{0.5441} \end{aligned}$$

La ecuación anterior puede ser utilizada para calcular el indicador para el Retorno del Negocio en los proyectos de construcción. Esta es la primera parte de la **Ecuación 4**. Ecuaciones similares se desarrollan en los apartados siguientes.

I I D parte 2 / 7 ; Seguridad

El presente apartado establece como se analizan los métricos de la seguridad. Para cuantificar el desempeño en esta área, se consideran dos métricos; (1) Incidencias por incapacidad por millón de pesos y (2) el tiempo perdido por incapacidades, por millón de pesos.

Ambos parámetros se estandarizan mediante el uso de factores monetarios, para analizarse lo más posible apegado a las características de cada proyecto.

La media de incapacidades por millón de pesos fue de 0.1777, mientras que su desviación estándar fue de 0.1405. El rango de los valores fue de 0 a 0.44.

Para el análisis del tiempo perdido por incapacidades se tiene una media de 1.5777 semanas y con una desviación de 1.5304, con valores desde 0 hasta 3.1111.

Cada uno de los dos métricos se estandarizó individualmente, lo cual resulta en dos valores “z” para cada proyecto. Para el tiempo perdido por incapacidades se le asigna una ponderación de 0.75 mientras que para la cantidad de incidencias se le asigna un valor de 0.25. Posteriormente se realiza un promedio ponderado de los nuevos valores de “z” y el resultado se estandariza nuevamente para obtener la fórmula siguiente:

Ecuación 6 IID; Seguridad.

Seguridad

$$= \frac{-\left(0.25 * \frac{\text{Incapacidades} - 0.1777}{0.1405}\right) - \left(0.75 * \frac{\text{Tiempo perdido} - 1.5777}{1.5304}\right)}{0.5441}$$

La intención de agregar signos negativos previo a cada métrico es porque estos factores afectan al desempeño de forma negativa, en contraparte del retorno del negocio, el cual debe ser maximizado

La ecuación superior sirve para analizar el desempeño de los proyectos en la industria de la construcción en el ámbito de la seguridad. El resultado de esta área de desempeño se utiliza como complemento de la **Ecuación 3**.

La siguiente sección hace referencia al análisis de la programación en el proyecto y establece la ecuación a través de la cual se analiza esa área de desempeño.

IID parte 3 / 7 ; Programa

Para el análisis del tiempo a través del proyecto se consideran cuatro métricos de rendimiento; (1) la velocidad de construcción en m2 construidos por día, (2) Velocidad de construcción en m2 por día y la (3) incremento del programa en términos de porcentaje, así como la (4) intensidad de construcción.

La media de la velocidad de construcción fue de 3.9903 y su desviación estándar de 6.9664; los rangos iniciales fueron de 0.8563 y los finales de 4.0136.

La media para la velocidad de entrega fue de 3.3145 y la desviación estándar de 7.0319 con valores mínimos de 0.3138 y máximos de 2.2912.

Con respecto al incremento del programa, se tiene una media de 0.6235 con una desviación estándar de 1.0419 y valores mínimos y máximos de -0.1131 y 1.0958, respectivamente.

Con respecto a la intensidad de construcción se tiene una media de 27347.276 y una desviación de 30587.2408 con valores mínimos de 2762.43 y máximos de 19285.7143.

Cada uno de los métricos fueron estandarizado individualmente y se les asigno una ponderación de 25% respectivamente.

Un promedio ponderado de los cuatro nuevos valores “z” y los resultados fueron estandarizados de nuevo. El valor de 3.8430 en el denominador corresponde a 4 veces la desviación estándar 0.9607, debido a que cada uno de los métricos representa un cuarto de la calificación del programa. La fórmula del desempeño del Programa es la siguiente:

Ecuación 7 IID; Programa.

$$\begin{aligned} & \text{Programa} \\ & \frac{\text{Vel. Const. } -3.9903}{6.9664} + \frac{\text{Vel. Entr. } -3.3145}{7.0319} + \frac{\text{Inst. Const. } -27347.276}{30587.2408} + \frac{\text{Inc. Prog } -0.6235}{1.0419} \\ & = \underline{\underline{3.8430}} \end{aligned}$$

La ecuación puede ser utilizada para calcular el nivel de desempeño en relación con el comportamiento del programa en un proyecto de la industria de la construcción.

La sección siguiente analiza el comportamiento del costo de los proyectos de construcción. La **Ecuación 7** sirve como funciona como complemento de la **Ecuación 3**, que de forma general analiza el desempeño del proyecto.

IID parte 4 / 7; Costo

El análisis del costo es un indicador que puede calcularse de forma relativamente fácil debido a que los líderes del proyecto mantienen un registro de todos los movimientos monetarios en el proyecto.

Dos métricos fueron analizados y combinados para determinar el desempeño en esta área (1) Costo Unitario de construcción en pesos por metro cuadrado y (2) Incremento del Costo de Construcción en base a costos estimados iniciales y costos finales.

La media para el Costo Unitario de Construcción fue de 10208.4819 y su desviación estándar de 6870.6227. La media para el Incremento del Costo fue de 0.2031 mientras que su desviación estándar de 0.2085.

Cada uno de los dos métricos recibe una ponderación de 0.50 puesto que se encuentran en similares condiciones de importancia.

Se realiza un promedio ponderado de los valores de Z y el resultado se estandarizó nuevamente para obtener la formula siguiente:

Ecuación 8 IID; Costo.

$$\text{Costo} = \frac{0.50 * \frac{\text{Cost. Unit.} - 10208.4819}{6870.6227} - 0.50 * \frac{\text{Incr. Costo} - 0.2031}{0.2085}}{0.4866}$$

La **Ecuación 8** puede ser utilizada para determinar la ponderación del nivel de desempeño en el área del Costo de un proyecto de la Industria de la construcción. La sección siguiente hace referencia a la formulación matemática para el análisis de la Calidad.

IID parte 5 / 7; Calidad

El área siguiente del costo es la calidad. Se analizan cinco métricos de rendimiento que son combinados en un indicador de la calidad que fueron medidos utilizando escalas ordinales.

Los métricos analizados en la calidad son (1) la calidad general de los sistemas en una escala de 1 a 5, (2) el número de deficiencias por millón de pesos, (3) la cantidad de elementos en las Listas de Chequeo (CheckLists) por millón de pesos, (4) el costo de las garantías y por último (5) el Costo de los Defectos Latentes.

Los Defectos Latentes y los Costos de Garantías están medidos en porcentajes en relación con los costos totales de construcción. Por ejemplo, si los costos de garantías fueron 0% su codificación es 0 pareo si los costos estuvieron entre 0 y 0.5% se codifica a 1, si fueron del 0.6 al 1% se codifica a 2 y así sucesivamente. Es igual tanto para costo de Garantías como para Defectos Latentes.

La media para la Calidad General de los Sistemas es de 4.2 con una desviación estándar de 0.6324. La media para las Deficiencias fue de 0.6579 su desviación estándar de 1.2401. La media de los Elementos en las Listas de Chequeo fue de 8.5235 y su desviación estándar de 14.6791, mientras que para los costos de las garantías se tiene una media de 2.1 y una desviación estándar de 1.5951. Por último, la media de los Defectos Latentes fue de 1.2 y la desviación estándar de 1.3984.

Cada uno de los métricos fue estandarizado individualmente. Un promedio ponderado de los nuevos valores de Z fue realizado y estandarizado nuevamente. La ecuación para el análisis del desempeño de la Calidad es la siguiente:

Ecuación 9 IID; Calidad.

$$\begin{array}{r}
 \text{Calidad} \\
 \text{Sist. } -4.2 \quad \text{Defic. } -0.6579 \quad \text{\#ElemChecklist } -8.5235 \quad \text{Garant. } -2.1 \quad \text{DefLat } -1.2 \\
 = \frac{1.054}{12.401} \quad \frac{146.791}{15.951} \quad \frac{13.984}{0.2710}
 \end{array}$$

En la **Ecuación 9**, la Calidad General de los Sistemas tuvo una ponderación de 0.60, y el resto de los indicadores de 0.10 cada uno. Cada uno de esos valores está simplificado en el denominador de cada métrico.

El resultado puede ser utilizado para analizar el desempeño de la Calidad y ser complemento de la ecuación presentada al principio de este apartado. (**Ecuación 3**).

Con respecto a los valores de las Deficiencias y el número de elementos en las Listas de Chequeo no hay un límite o restricción alguna, sin embargo, para los indicadores de la Calidad General de los Sistemas, los porcentajes de los costos de las garantías y los defectos latentes, si es necesario se tome en cuenta la escala ordinal mostrada con anterioridad.

IID parte 6 / 7; Beneficios

Como se menciona con anterioridad, la industria de la construcción es una serie de procesos donde a fin de cuentas los constructores necesitan obtener beneficios de esta rama económica.

Es un área un poco difícil de analizar puesto que la mayoría de las empresas reservan estos datos para tener mejores campos y herramientas de competitividad. Guardan esta información con recelo e incluso algunos lo consideran como “secreto profesional”.

La mayoría de las compañías no revelan lo anterior, por lo tanto, para el análisis de esta área de desempeño solo se considera el análisis de un métrico llamado Porcentaje de Beneficios, analizando las utilidades y ganancias.

Esta medido en una escala ordinal de 5 puntos. Si hubo perdidas se evalúa con “0”, si las ganancias fueron menos de 5% del costo del proyecto será “1”, si fueron del 5-10% representado por “2”, en caso de ser del 10-15% se obtendrá un “3”, en caso de ser mayor al 15% será representado por el valor de “4”.

Es necesario considerar la escala anterior para obtener resultados medidos adecuadamente y fáciles de comprender.

La media en este métrico fue de 2.6 con una desviación estándar de 0.6992. Los valores fueron estandarizados de acuerdo con cómo se menciona con anterioridad. No fue

necesario realizar nuevas estandarizaciones puesto que se analiza un único métrico de rendimiento.

Por lo tanto, la ecuación para su análisis es la siguiente:

Ecuación 10 IID; Beneficios.

$$\text{Beneficios} = \frac{\text{Util. Gan.} - 2.6}{0.6992}$$

La ecuación anterior sirve como referencia para calcular el desempeño de aspectos financiero en los proyectos de la industria de la construcción. Es un complemento de la formulación general establecida en la **Ecuación 3**.

IID parte 7/7; Gestión del Cambio y Comunicación

Para el análisis de esta área de desempeño se considera la medición de 7 métricos que permiten obtener el nivel de desempeño en la Gestión del Cambio y la Comunicación de un proyecto de construcción.

Los siete métricos de rendimiento fueron (1) el número de Solicitudes de Información por millón de pesos, (2) el tiempo de procesamiento de solicitudes de información en semanas, (3) la duración de los retrabajos, (4) la cantidad de solicitudes de Fichas Técnicas, durante la etapa de construcción, (5) el porcentaje absoluto del total de cambios, (6) el tiempo de procesamiento de una Orden de Cambio y (7) el Porcentaje de los Planes Completados (PPC)¹¹⁸.

Algunos de los datos fueron difíciles de recolectar, fueron convertidos a escalas ordinales para facilitar su manejo y comprensión. Por ejemplo, para el porcentaje de los retrabajos, si este fue 0% se codificó a “0”, si fue de 0-1% obtenemos “1”; si el valor estuvo entre 1-2% se codifica a “2”; si fue entre 2-3% se transforma a “3” y mayor de 3% se obtiene una ponderación de “4”.

¹¹⁸ El PPC el funcionamiento de las actividades de obra, lo hace mediante la división de la cantidad de actividades realizadas entre el número de actividades planeadas.

El Valor Absoluto del Porcentaje de los Cambios Globales, no requiere ser transformado, puesto que es un valor numérico. El PPC tiene solo tres codificaciones posibles: -1 para un PPC negativo, 0 para un PPC neutral y 1 para un PPC mayor a cero.

Los valores del resto de los métricos se toman tal cual fueron presentados puesto que no requieren codificación o transformación alguna. El número de Solicitudes de Información, el Tiempo de procesamiento de Solicitudes de Información el número de solicitudes de Fichas Técnicas y el Tiempo de Procesamiento de las Ordenes de Cambio (medido en semanas).

La media para la Cantidad de Solicitudes de Información fue de 1.9103 y su desviación estándar de 2.1618; La media el Tiempo de Procesamiento de las Ordenes de Cambio fue de 1.4 semanas y la desviación estándar de 0.5163, para el análisis de las solicitudes de Fichas Técnicas por millón de pesos se tiene una media de 0.6170 y una desviación de 0.6695.

Para el análisis de la cantidad de retrabajos se tiene una media de 2.7 y una desviación de 0.9486. La media para el PPC es de 0.70 y la desviación estándar de 0.4830. La media del Porcentaje de Cambios Globales es de 0.177 y su desviación de 0.0806.

La media para el tiempo de Procesamiento de las Ordenes de Cambio es de 2.1 semanas con una desviación estándar de 1.4491.

Los métricos se estandarizaron individualmente y posteriormente multiplicados por el respectivo valor de cada una de las ponderaciones asignadas. El Tiempo de Procesamiento de las Ordenes de Cambio y del de las Solicitudes de Información tiene una ponderación de 0.25 cada uno, obteniendo la mitad del resultado de esta área de desempeño. Lo anterior debido a que estos son los mejores indicadores que demuestran el desempeño de esta área.

Los 5 métricos de rendimiento restante tienen una ponderación de 0.10 cada uno, obteniendo el 50 por ciento restante.

Después de que los valores de “z” fueron calculados con su respectiva ponderación, los valores se estandarizaron nuevamente para obtener la siguiente ecuación:

Ecuación 11 IID; Gestión del Cambio y Comunicación.

GCyC	PPC - 0.70	SI - 19103	TSI - 2.1	F. Tec. - 0.6170	RT - 2.70	CG - 0.177	TPOC - 2.1
=	0.4830	2.1618	1.4491	0.6695	0.9486	0.0806	1.4491
	0.2870						

En la ecuación anterior, la PPC representa el porcentaje de Planes Completados. SI para la Cantidad de Solicitudes de Información por Millón de Pesos, el TSI es el Tiempo de Procesamiento de dichas Solicitudes de Información.

F. Tec, es la abreviación que representa la cantidad de Solicitudes de Fichas Técnicas durante la construcción. RT es la cantidad de Retrabajos realizada y las siglas CG, representan el valor absoluto de los Cambios Globales. Por último, TPOC representa el Tiempo de Procesamiento Promedio de las Órdenes de Cambio.

La ecuación anterior permite obtener con un solo numero el nivel de desempeño de un proyecto de construcción en relación con la Gestión del Cambio y la Comunicación. Es además un complemento de la Ecuación 3.

Las ecuaciones de los apartados anteriores determinan la forma de cuantificar los indicadores de desempeño según los métricos de rendimiento determinados. Son una parte del modelo general para el análisis del desempeño del proyecto de construcción.

En el Anexo 1 se encuentra el modelo general para determinar con un solo numero el nivel de desempeño del proyecto. Cada uno de estos apartados se condensan para lograr un modelo general denominado IID (Indicador Integral del Desempeño).

VALIDACIÓN DE LA ECUACIÓN IID A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)

Como cualquier otro modelo, el IID necesita validarse antes de realizar las ponderaciones a los proyectos. Para hacer lo anterior se recurre al análisis de factores, específicamente al Análisis de los Componentes Principales.

La técnica anterior compara sus resultados con el IID para demostrar que se tiene un comportamiento similar.

El análisis de factores es una técnica que nos permite medir u cuantificar variables que no pueden ser medidas directamente, por ejemplo, la inteligencia. Sin embargo, se pueden realizar mediciones a diversos indicadores como lo puede ser el pensamiento lógico, las habilidades matemáticas, la habilidad lingüística, entre otros para determinar un nivel de inteligencia en determinado organismo. Al igual que la inteligencia, el desempeño de los proyectos en la industria de la construcción pueden ser medidos de esa manera.

Como se menciona con anterioridad el Análisis de los Componentes Principales (ACP) es un método que establece los factores más importantes de varias muestras de datos para que las variables resultantes sean las que más influyen en el comportamiento de los datos.

El análisis factorial hace que algunos valores aumenten sus coeficientes, mientras que hace que otros sean insignificantes, lo cual permite una mejor interpretación de datos. El análisis de factores permite calidad el IID a través del análisis del desempeño, pero desde otra perspectiva.

Mediante el uso del programa Minitab se procedió a identificar los factores de los componentes principales de todos los datos disponibles de los proyectos analizados.

Tabla 30 Análisis de los Componentes Principales.

	PC1	PC2	PC3
Quejas / Disputas Legales	-0.2198	0.0828	0.2735
Retorno del Negocio	0.1262	-0.2673	-0.1153
Cantidad de Incidencias por Mil	0.0419	0.3489	-0.0002
Tiempo Perdido por Millón de Pe	0.0670	0.3379	-0.2090
Velocidad de Construcción	0.3338	0.0368	0.1719
Velocidad de Entrega	0.3319	0.0297	0.1926
Intensidad de Construcción	0.2729	0.2016	0.2025
Porcentaje Incremento del Programa	0.3092	-0.0989	0.2458
Costo Unitario de Construcción	-0.1350	0.3332	0.0564
Incremento del Costo de Construc	-0.1596	0.2777	0.1622
Calidad General de los Sistemas	0.2395	0.0122	-0.2646

GESTIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Modelo matemático para el análisis del desempeño del proyecto

Cantidad de Deficiencias por Mi	-0.0408	-0.3271	0.0437
Cantidad de Elementos en CL por	-0.0659	-0.2976	0.1131
Ponderación Costo de las Garantías	0.3027	0.0502	-0.1544
Ponderación en Defectos Latente	0.0965	0.0870	-0.3526
Ponderación Utilidad y Ganancia	0.1433	-0.1942	-0.2291
Solicitudes de Información por	-0.0615	-0.1310	-0.0423
Tiempo de Procesamiento de SI	-0.1596	0.1358	0.1873
Retrabajos	0.3036	0.0850	0.1592
Submittals por Millón de Peso	-0.1213	-0.3830	0.1049
Porcentaje Global del Cambio	0.1325	-0.0966	0.3812
Tiempo de Procesamiento de OC	0.2906	-0.0339	0.2704
Porcentaje de los Planes Completos	-0.2669	0.0380	0.3059

La **Tabla 30** establece los factores que se toman de referencia para cada uno de los datos totales de la base de proyectos analizados. Cada elemento de la columna PC1 se multiplica por cada elemento de los métricos de cada proyecto y se obtienen nuevos indicadores.

Los valores de la columna PC1 deben de convertirse en valores positivos para posteriormente estandarizar los datos y determinar su normal.

Para estandarizar los datos es necesario restar el resultado de mínimo de esa multiplicación y posteriormente dividirlo entre el máximo y así obtener nuevos factores estandarizados realizados a través del análisis de los componentes principales.

Tabla 31 Coeficientes de los Componentes Principales.

Proyecto	vPC1	Menos el mínimo	Entre el máximo
1	2275.6839	2261.6803	0.0814
2	318.3277	304.3242	0.0110
3	5295.4849	5281.4813	0.1900
4	2848.3045	2834.3010	0.1020
5	14.0036	0.0000	0.0000
6	4977.8802	4963.8766	0.1786
7	27804.9548	27790.9513	1.0000
8	3014.5735	3000.5700	0.1080

9	8138.3967	8124.3931	0.2923
10	11964.6632	11950.6596	0.4300

Posteriormente se calcula la normal de los datos estandarizados, se obtienen los siguientes resultados que se comparan con los del IID:

Tabla 32 Normal de los Datos del ACP Estandarizados.

Proyecto	Normal de los Datos del ACP Estandarizados
01	1.16582973
02	0.99930175
03	1.32444194
04	1.20671107
05	0.97072648
06	1.31504376
07	0.05064682
08	1.21775019
09	1.3215888
10	1.09283364

Los datos anteriores se comparan directamente con los resultados del IID para cada proyecto, sin embargo, también es necesario estandarizar los valores resultantes de nuestro modelo.

Eso se logra de forma similar a lo anterior, se requiere restarles a los datos el valor mínimo y dividirlo entre el valor máximo para obtener valores de 0 a 1. La tabla siguiente muestra los resultados de los puntajes IID escalados.

Tabla 33 Puntajes IID escalados de los proyectos.

PROYECTO	PUNTAJES IID ESCALADOS
01	0.65461113
02	0.666361906
03	0.870651539

GESTIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Modelo matemático para el análisis del desempeño del proyecto

04	0.645693131
05	0.986240801
06	1
07	0
08	0.452854509
09	0.264452405
10	0.811762766

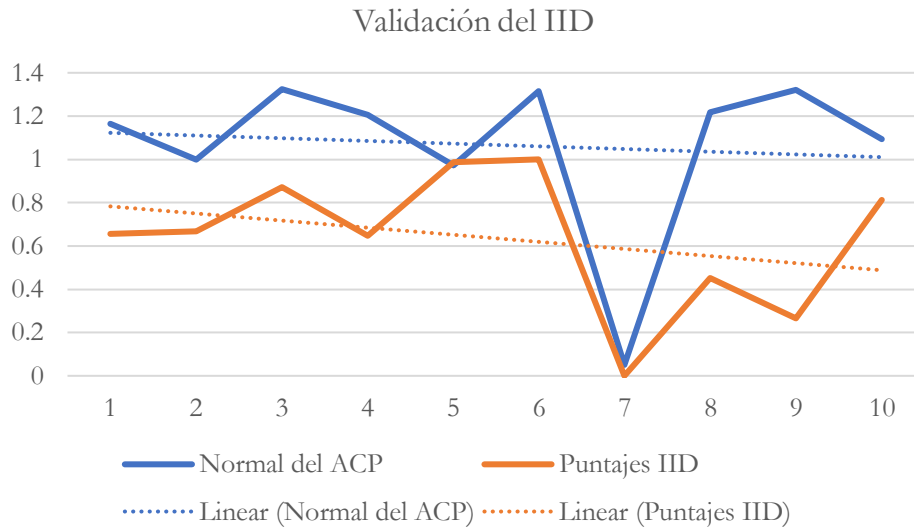
Ahora, lo necesario es comparar los dos indicadores y ver el comportamiento de los modelos en cuestión. La **Tabla 34**, muestra los resultados de los dos indicadores por contrastar.

Tabla 34 Comparación de los puntajes IID y Normal del ACP escalados.

PROYECTO	PUNTAJES IID ESCALADOS	Normal de los Datos del ACP Estandarizados
01	0.65461113	1.16582973
02	0.666361906	0.99930175
03	0.870651539	1.32444194
04	0.645693131	1.20671107
05	0.986240801	0.97072648
06	1	1.31504376
07	0	0.05064682
08	0.452854509	1.21775019
09	0.264452405	1.3215888
10	0.811762766	1.09283364

Lo anterior permite obtener el grafico siguiente que compara el comportamiento de los datos y las posibles similitudes entre los modelos.

Gráfica 3 Validación IID.



La **Gráfica 3** muestra el comportamiento de la comparación de los datos analizados. Se observa una tendencia similar en el comportamiento. Las líneas de tendencia tienen un comportamiento similar.

Con lo anterior se demuestra que el modelo IID es un modelo sólido y funciona de acuerdo con lo esperado y es un indicador para el análisis del desempeño del proyecto.

CONCLUSIONES

Métodos de Investigación	179
Resultados y Aportaciones	179
Limitaciones y Barreras para la implementación del IPD	180
Investigaciones Futuras	180
Consideraciones Finales	181

CONCLUSIONES

El presente capítulo establece las consideraciones finales establecidas en la investigación funciona como una síntesis del contenido de los capítulos anteriores.

Métodos de Investigación

En la presente investigación se realizaron comparaciones y análisis estadísticos univariados que determinaron las cualidades de diversas áreas en los proyectos de construcción.

Se desarrolló el modelo matemático denominado Indicador Integral del Desempeño (IID). Lo cual permite determinar con un solo número el nivel de desempeño del proyecto y tener aún mejor marco de referencia para el análisis de los procesos de este. Es una herramienta que incrementa el potencial para la integración de los procesos a través de sistemas BIM. La industria de la construcción evoluciona constantemente con este indicador se obtiene a detalle la ponderación del nivel de desempeño del proyecto.

Los resultados de esta investigación incrementan el conocimiento existente en relación con la productividad de los proyectos de construcción en la industria del país.

Las siguientes secciones establecen diversos apartados para la implementación del IPD y así como futuras líneas de investigación.

Resultados y Aportaciones

Desarrollo del Modelo Indicador Integral del Desempeño. A través de la exposición de la filosofía y el contraste de los resultados de los métricos de rendimiento se crea un marco de actuación para que los líderes del proyecto puedan realizar procesos integrales para la implementación de sistemas IPD. En cada uno de los parámetros analizados se muestra el comportamiento de las diversas áreas de rendimiento lo cual es un marco de referencia para analizar los proyectos que han realizado los constructores.

Desempeño Superior de los sistemas Integrales. Cada uno de los métricos analizados muestran beneficios para la gestión de proyectos integrales que a largo plazo se traducen en beneficios para los propietarios, lo cual genera mayores ingresos a la industria en general.

Herramienta de Recolección de Datos. Se creó una herramienta que permite analizar métricas de rendimiento para los proyectos de construcción. Provee datos precisos y certeros para realizar los estudios correspondientes. Sirve también como guía para que los desarrolladores de los proyectos tengan referencia de las actividades que mayor impacto tienen en los proyectos de construcción.

Identificación de métricas claves para la gestión del proyecto. Mediante los análisis univariados se muestra la importancia que reflejan cada uno de los indicadores analizase en el proyecto. Es una guía para determinar las actividades a realizar en la gestión de los proyectos.

Recomendaciones. Los modelos explicados en esta investigación pueden funcionar en cualquier otro análisis del desempeño de proyecto, en especial de aquellos que son optimizados con el uso de softwares BIM. Los desarrolladores pueden analizar sus propios proyectos para determinar las estrategias de mejora incluso para la gestión interna de la empresa. Estos análisis permiten crear directrices para el funcionamiento de las empresas encaminados con el cumplimiento de sus objetivos, metas y visión.

Limitaciones y Barreras para la implementación del IPD

Esta investigación demuestra que los proyectos con determinado grado de integración tienen mejor desempeño que los proyectos ejecutados de forma tradicional.

El IPD no es la clave para el éxito del proyecto, sin embargo, sus procesos minimizan los riesgos y crean un ambiente de trabajo ameno mediante la aplicación de tecnología, comunicación y colaboración continua.

Aún hay mucho camino por recorrer en la implementación de proyectos IPD en la industria de la construcción del país, especialmente en la parte contractual, fiscal y legal.

Investigaciones Futuras

Con el paso del tiempo mayores serán los proyectos ejecutados a través del IPD por lo tanto habrá más información disponible y este modelo se puede mejorar. La mejora continua es parte integral de esta investigación.

Las instituciones gubernamentales requieren de procesos para el uso de este sistema de gestión integral. Es necesario crear estrategias que permitan adoptar los sistemas integrales y mostrar sus beneficios no solo en el sector privado sino también en el público.

Los contratos IPD en México también son aspectos que carecen de información disponible.

Como respuesta a las nuevas tecnologías este modelo sirve como base para el desarrollo de aplicaciones móviles que permitan y faciliten el análisis del desempeño de los proyectos de construcción.

Consideraciones Finales

Una gestión de proyectos integral ofrece mayores beneficios que los sistemas segregados. Esta investigación muestra un pequeño análisis de la bibliografía existente en relación con la gestión integral.

A través de análisis estadísticos se establece que los proyectos integrales tienen mejor desempeño en diversas áreas de desempeño.

La aplicación y desarrollo del IID permitió definir que el desempeño general en los proyectos integrales es mejor que los proyectos tradicionales.

Las contribuciones anteriores funcionan como sistemas para determinar el nivel de desempeño de los métricos de rendimiento con la intención de incrementar los beneficios para los involucrados, poder reducir desperdicios y optimizar el uso de los recursos.

Los desarrolladores de proyectos pueden tener mayores beneficios realizando una gestión integral, creo que el IPD es un sistema de gestión que permite incrementar la integración del proceso en la industria de la construcción para lograr mejores beneficios.

La industria necesita cambiar y ser cada día mejor, el IPD es una forma de lograr esa intención.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

- 1 AIA. (2007). *Integrated Project Delivery, A Guide*. California: AIA.
- 2 AIA. (2007). *Integrated Project Delivery; A Working Definition*. California: Mc. Graw-Hill.
- 3 AIA. (2009). *Experiences in Collaboration: On the Path to IPD*. California: California Council. Retrieved 01 15, 2018
- 4 AIA. (2010). *Integrated Project Delivery for Public and Private Owners*. California: AIA.
- 5 Australian Government, Department of Infrastructure and Regional Development. (2015). *National Alliance Contracting Guidelines*. Queensland: Australian Government. Retrieved from ISBN 978-1-925216-66-0
- 6 Bartholomew, D., Knott, M., & Moustaki, I. (2011). *Latent Variable Models and Factor Analysis*. Reino Unido: John Wiley & Sons Ltd.
- 7 Berkovics, D. (2010). *Fiche de lecture, Cannibals with Forks, The Triple Bottom Line of 21st Century Business*. Paris: Majeure Alternative Management.
- 8 Blough, R. M. (1983). *More Construction for the Money*. The Business Roundtable.
- 9 Cox, M. A., & Cox, T. M. (2001). *Multidimensional Scaling*. Florida: Chapman & Hall. Retrieved 02 05, 2018
- 10 GSA. (2009). *BIM Guide for 4D Pushing*. Washinfon: General Services Administration.
- 11 Hanna, A. S., & Gunduz, M. (2004, Septiembre-October). Impact of Change Orders on Small Labor-Intensive Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 726-733. Retrieved 12 05, 2017
- 12 Hanna, A. S., & Swanson, J. (2007, 01). Risk Allocation by Law - Cumulative Impact of Change Orders. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 60-66. Retrieved 09 15, 2017
- 13 Hanna, A. S., Richard, C., Peterson, P. A., & Lee, M.-J. (2004). Cumulative Effect of Project Changes in Electrical and Mechanical Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 762-771. Retrieved 03 01, 2018
- 14 Hauck, A. J., Walker, D. H., Hampson, K. D., & Peters, R. J. (2004). Project Alliancin at National Museum of Australia. *Journal of Construction and Engineering Management*, 143-152. doi:10.1061/~ASCE!0733-9364~2004!130:1~143!
- 15 Hoetker, G., & Mellewigt, T. (2009). Choice and Performance of Governance Mechanisms: Matching Alliance Governance to Asset Type. *Strategic Management Journal*, 1025-1044. doi:DOI: 10.1002/smj.775
- 16 Horman, M. J., & Kenley, R. (2005). Quantifying Levels of Wasted Time in Construction with Meta-Analysis. *Journal of Construction Engineering and Management*, 52-61. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:1(52)
- 17 Ibbs, W., Kwak, Y. H., & Odabasi, A. M. (2003). Project Delivery Systems and Project Change: Quantitative Analysis. *Journal of Construction Engineering and Management*, 382-387.
- 18 Jolliffe, T. I. (2002). *Principal Component Analysis*. New York: Springer. Retrieved 02 01, 2018
- 19 Liker, J. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Gratest Manufacturer*. McGraw-Hill. Retrieved 05 10, 2018

- 20 Mossman, A. (2010). *What is Integrated Project Delivery?* The Change Business UK.
- 21 ND. (2013). *Construction Project Administration Manual*.
- 22 Oficina de Comercio Gubernamental. (2007). *The Integrated Project Team; Teamworking and Partnering*. Crown.
- 23 Olmedo Canchola, H. (2009). *Administración de proyectos, una especialización en el ejercicio de la arquitectura*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- 24 Sanchez Bautista, F. (2012). *Contratos Privados en la Industria de la Construcción*. Ciudad de Mexico: Editorial Universitaria.
- 25 Wallace, W. (2002). *Gestión de Proyectos*. Gran Bretaña: Edinburgh Business School.

ARTÍCULOS

- 1 Air Force Institute of Technolgy (AFIT). (1996). *The Relationship Between Alternative Project Approaches, Integration and Performance*. Urbana-Champaign: University of Illinois. Retrieved 02 03, 2018
- 2 Allen, J. (2007). *One Big Idea for Construction Delivery: Risk Realignment*. Maddison: Tradeline. Retrieved 02 25, 2018
- 3 Allmon, E., Haas, C. T., Borcharding, J. D., & Paul, M. G. (2000). U.S. Construction Labor Productivity Trends, 1970-1998. *Journal of Construction Engineering and Management*, 97-104. Retrieved 04 03, 2018
- 4 Al-Sudairi, A. A. (2007). Evaluating the effect of construction process characteristics to the applicability of Lean Pinciples. *Emerald Group Publishing Limited, Vol. 7*(No.1), 99-121. doi:<https://doi.org/10.1108/14714170710721322>
- 5 American Institute of Architects. (2010). Integrated Project Delivery; Case Studies. *American Institute of Architects*, 30.
- 6 Ashcraft, H. W. (2010). *Negotiation an Integrated Project Delivery Agreement*. San Francisco: Hanson Bridgett.
- 7 Asmar, M. E., Hanna, A. S., & Loh, W.-Y. (2013). Quantifying Performance for the Integrated Poject Delivey System as Compared to Establish Delivery Systems. *J. Constr. Eng. Manage.*, 1-14. doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000744
- 8 Asmar, M. E., Lotfallah, W., Whited, G., & Hanna, A. S. (2010). Quantitative Methods for Design-Build Team Selection. *Journal of construction Engineering and Management*, 904-912.
- 9 Bartlett, J. E., Kotrlík, J. W., & Higgins, C. C. (2001). Organizational Research: Determining Appropriate Sample Size in Survey Research. *Information Technology, Learning, and Performance Journal*, 43-50. Retrieved 02 01, 2018
- 10 Bennett, J., Potheary, E., & Robinson, G. (1996). *Designing and Building a World-Class Industry*. Gran Bretaña: Reading : University of Reading, Centre for Strategic Studies in Construction.
- 11 Bresnen, M. (2009). Living the dream? Understanding Partenering as Emergent Practive. *Construction Management and Economics*, 923-933. doi:DOI: 10.1080/01446190902974145
- 12 Chan, A. P., Scott, D., & Chan, A. P. (2004, Febrero). Factors Afeccting the Success of a Construction Project. *Journal of Construction Engineering and Management*(130), 153-155. doi:10.1061/~ASCE10733-9364~2004!130:1~153!

-
- 13 Cho, S., & Ballard, G. (2011). Last Planner and Integrated Project Delivery. *Lean Construction Journal*, 67-78.
- 14 Cho, S., Ballard, G., Azari, R., & Kim, Y. W. (2010). *Structuring Ideal Project Delivery System*.
- 15 Col, D. M. (2004). *Construction DELivery Systems; A comparative Analysis of the Performance of Systems within School Districts*. University of Pittsburgh.
- 16 Crossett, J., & Hines, L. (2007). *Comparing State DOTs' Construction Project Cost and Schedule Performance*.
- 17 CURT. (2004). *Colaboration, Integrated Information, and the Project Lifecycle in Building Design, Construction and Operation*. Cincinnati: CURT. Retrieved 03 15, 2018
- 18 Davis, P., & Love, P. (2011). Alliance Contracting: Adding Value through Relationship Development. *Emerald*, 444-461. doi:DOI 10.1108/09699981111165167
- 19 Davis, P., & Walker, D. H. (2009). Building Capabilities in Construction Projects: A Relationship-based Approach. *Emerald*, 475-489. doi:DOI 10.1108/09699980910988375
- 20 Department of Treasury and Finance. (2009). *In Pursuit of Additional Value; A Benchmarking Study into Alliancing in the Australian Public Sector*. Victoria: The University of Melbourne.
- 21 Diekmann, J. E., Krewedl, M., Balonick, J., Stewart, T., & Won, S. (2004). *Application of Lean Manufacturing Principles to Construction*. Austin, Texas. Retrieved 02 03, 2018
- 22 El Asmar, M. (2012). *Modeling and Benchmarking Performance for the Integrated Project Delivery (IPD) System (Tesis)*. Madison: University of Wisconsin.
- 23 Eriksson, E., & Westerberg, M. (2011). Effects of cooperative procurement procedures on construction project performance: A conceptual framework. *International Journal of Project Management*, 197-197. doi:doi:10.1016/j.ijproman.2010.01.003
- 24 Johnson, R. A., & Wichern, D. W. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. New Jersey: Pearson Prentice Hall. Retrieved 03 16, 2018
- 25 Jones, B. (2014). Integrated Project Delivery (IPD) for Maximizing Design and Construction Consideration Regarding Sustainability. *Procedia Engineering*, 528-538.
- 26 Kim, Y.-W., & Dossick, C. S. (2011). What makes the delivery of a project integrated? A case study of Childre's Hospital, Bellevue, WA. *Lean Construction Journal*, 53-66.
- 27 Konchar, M., & Sanvido, V. (1998). Comparison of US Project Delivery Systems. *Journal of Construction Engineering and Management*, 435-444.
- 28 Konchar, M., & Sanvido, V. (1999). A Comparison of US and UK Project Delivery Systems. *Department of Architectural Engineering*.
- 29 Korkmaz, S., Riley, D., & Horman, M. (2010). Piloting Evaluation Metrics for Sustainable High-Performance Building Project Delivery. *Journal of Construction Engineering and Management*, 877-885. doi:DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000195
- 30 Lichtig, W. A. (2005). Sutter Health: Developing a Contracting Model to Support Lean Project. *Lean Construction Journal*, 2, 105-112. Retrieved 01 15, 2018
- 31 Lobo, S., & Whyte, J. (2017). Aligning and Reconciling: Building Project Capabilities for Digital Delivery. *Elsevier*, 93-107. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2016.10.005

-
- 32 Love, P. E. (2002). Influence Of Project Type and Procurement Method on Rework Cost in Building Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 18-29. doi:10.1061/~ASCE!0733-9364~2002!128:1~18!
- 33 Masucci, M. R. (2008). Project Delivery Systems: Pro vs. Con - Design-Bid-Build vs. CM @ Risk vs. Design-Build. *CMAA, Southern California Chapter*.
- 34 Masucci, M. R. (2008). Project Delivery Systems: Pro vs. Con; Design-Bid-Build vs. CM@Risk vs. Design-Build. *Southern California Chapter*. Retrieved 03 19, 2018
- 35 Matthews, O., & Howell, G. A. (2005). Integrated Project Delivery: An Example of Relational Contracting. *Lean Construction Journal*, 46-61.
- 36 Menassa, C., Mangasarian, S., Asmar, M. E., & Kirar, C. (2012). Energy Consumption Evaluation of U.S. Navy LEED-Certified Buildings. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 46-53. doi:DOI: 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000218.
- 37 Menches, C. L., & Hanna, A. S. (2006). Quantitative Measurement of Successful Performance from the Project Manager's Perspective. *Journal of Construction Engineering and Management*, 1284-1293. Retrieved 03 12, 2018
- 38 Mesa, H. A., Molenaar, K. R., & Alarcón, L. F. (2016, 07 02). Exploring Performance of the Integrated Project Delivery Process on Complex Building Projects. *International Journal of Project Management*, 34, 1089-1101. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.05.007
- 39 Molenaar, K. R., & Navarro, D. (2011). Key PErformance Indicators in Highway Design and Construction. *Journal of the Transportation Research Board(2228)*, 51-58. doi:DOI: 10.3141/2228-07
- 40 Molenaar, K. R., Songer, A. D., & Barash, M. (1999). Public Sector Design/Build Evolution and Performance. *Journal of Management and Engineering*, 54-62.
- 41 Mossman, A. (2015). Traditional Construction and Lean Project Delivery - A Comparison. *Research Gate*, 1-4. doi:10.13140/RG.2.1.4495.9448
- 42 Mossman, A., Ballard, G., & Pasquire, C. (2010). Lean Project Delivery; Innovation in Integrated Design Delivery. 25. doi:10.13140/2.1.2713.2804
- Muller, R., & Turner, J. R. (2005). The impact of principal-agent relationship and contract type on communication between project owner and manager. *International Journal of Project Management*, 398-403. Retrieved 03 16, 2018
- 43 Murray, M., & Langford, D. (2003). Survey of Problems Before the Construction Industry: A Report Prepared by Sir Harold Emmerson (1962). *Construction Reports*, 39-54. doi:10.1002/9780470758526.ch4
- 44 Nasir, H., Hass, C. T., Rankin, J. H., Fayek, A. R., Forgues, D., & Ruwanpura, J. (2010). Development and Implementation of a Benchmarking and Metrics Program for Construction Performance and Productivity Improvement. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 957-967. doi:https://doi.org/10.1139/l2012-030
- 45 Nelson, J. S., Hanna, A. S., Russel, J. S., & Hendrickson, M. L. (2008). *Leadership in the Global Construction Industry: The Challenge of the Brutal Facts*. Madison: Wisconsin University.
- 46 Owen, R., Amor, R., Palmer, M., Dickinson, J., Tatum, C. B., Kazi, A. S., . . . East, B. (2010). Challenges for Integrated Design and Delivery Solutions. *Architectural Engineering and Design Management*, 6, 232-240. doi:doi:10.3763/aedm-2010.IDDS1

-
- 47 Oyenyuji, A. A., & Anderson, S. D. (2006). Relative Effectiveness of Project Delivery and Contract Strategies. *Journal of Construction Engineering and Management*, 3-13. Retrieved 05 12, 2018
- 48 Pocock, J. B. (1996). *The Relationship Between Alternative Project Approaches, Integration and Performance*. Urbana-Champaign: University of Illinois.
- 49 Pocock, J. B., Liu, L. Y., & Kim, M. K. (1996, junio). Relationship Between Project Interaction and Performance Indicators. *Journal of Construction Engineering and Management*, 165-176. Retrieved 03 12, 2018
- 50 Rahmani, F., Khalfan, M. M., & Maqsood, T. (2009). *The Application of Early contractor Involvement in Different Delivery Systems in Australia*. Australia.
- 51 Rankin, J., Fayek, A. R., Meade, G., Haas, C., & Manseau, A. (2008). Initial Metrics and Pilot Program Results for Measuring the Performance of the Canadian Construction Industry. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 894-907. Retrieved 01 20, 2018
- 52 Rojas, E. M., & Kell, I. (2008, Junio). Comparative An alysis of Project Delivery Systems Cost Performance in Pacific Northwest Public Schools. *Journal of Construction Engineering and Management*, 387-397. Retrieved 03 15, 2018
- 53 Ronald, J. F., Paulin, M., & Bergeron, J. (2005). Contractual Governance, Relational Governance, and the Performance of Interfirm Service Exchanges. *Journal of Academy of Marketing Science*, 217-234. Retrieved 02 15, 2018
- 54 Serer, M. (2001). *Gestión Integrada de Proyectos*. Barcelona: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya.
- 55 Songer, A. D., & Molenaar, K. R. (1996). Selecting Design-Build: Public and Private Sector Owner Attitudes. *Journal of Management in Engineering*, 47-53.
- 56 Songer, A. D., & Molenaar, K. R. (1997, 03). Project Characteristics for Successful Public Sector. *Journal of Construction Engineering and Management*, 34-40. Retrieved 02 14, 2018
- 57 Thomas, S. R., Macken, C. L., Chung, T. H., & Kim, I. (2002). *Measuring the Impacts of the Delivery System on Project Performance-Design-Build and Design-Build*. Galthersburg: U.S. Department of Commerce. Retrieved 06 01, 2018
- 58 Thomsen, C. (2010). *Managing Integrated Project Delivery*. Mc Lean: CMAA.
- 59 Tradeline. (2017). Lean Management is a Game-Chenger for Facility Design and Construction. *Tradeline*, 1.
- 60 Wright, J. (2012). The Integration of Building Information Modeling and Integrated Project Delivery into the Construction Management Curriculum. *American Society for Engineering Education*.

PÁGINAS WEB

- 1 Bagozzi, R. P., & Edwards, J. R. (1998). A General Approach for Representing Constructs in Organizational Research. *Organizational Research Methods*, 45-87. Retrieved 05 12, 2018, from <http://orm.sagepub.com/cgi/content/abstract/1/1/45>
- 2 Ballard, G. (2008). The Lean Project Delivery System: An Update. *Lean Construction Journal*, 1-19. Retrieved from www.leanconstructionjournal.org
- 3 Guiu, D. (2018, 03 05). *SOCIALETIC*. Retrieved 06 01, 2018, from Estrategias de Marketing; Estrategia Win-Win: <https://www.socialetic.com/estrategias-de-marketing-estrategia-win-win.html>

- 4 INEGI. (2017, 05 22). PRODUCTO INTERNO BRUTO DE MÉXICO. (INEGI, Ed.) *Comunicado de Prensa*, 1-9. Retrieved 01 15, 2018, from http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/boletines/2017/pib_pconst/pib_pconst2017_05.pdf
- 5 Mossmon, A., Ballard, G., & Pasquire, C. (2010). Lean Project Delivery - Innovation in Integrated Design and Delivery. *Research Gate*, 25. Retrieved 05 10, 2018, from <https://www.dropbox.com/s/jp6cxbt6c2813al/Mossman-Ballard-Pasquire-2010-LPD--innovation-in-integrated-design-and-delivery-draft110214.pdf>
- 6 Sands, M. S. (2010). Standards and Mesures - Whole-building Metrics Driving Innovation and High Performance. *Lean Construction Journal*, 01-16. Retrieved from www.leanconstructionjournal.org
- 7 Sapag Chain, N., & Sapag Chain, R. (2000). *Preparación y Evaluación de Proyectos*. Mexico: Mc Graw-Hill Interamericana. Retrieved 05 10, 2018, from <http://biblio.upmx.mx/indices/203075.pdf>

ANEXOS

GESTIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Modelo matemático para el análisis del desempeño del proyecto

ANEXO 1

HERRAMIENTA DE RECOLECCIÓN DE
DATOS

GESTIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Modelo matemático para el análisis del desempeño del proyecto

CUESTIONARIO PARA EL DESEMPEÑO DEL DESARROLLO DE PROYECTOS

SECCIÓN I: CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO Y TIPOS DE CONTRATO

Nombre del Proyecto:

Ubicación del Proyecto:

Nombre de la Empresa:

Para este proyecto, su empresa tuvo el rol de:

Contratista Gerencia de Proyecto Diseño y Construcción Otro: _____

1. Tipo de proyecto:

- Comercial (bancos, oficinas, tiendas, etc.)
- Institucional (hospitales, prisiones, escuelas, etc.)
- Industria o manufactura
- Residencial
- Infraestructura Civil (carreteras, puentes, presas, etc.)
- Otra (especificar) _____

2. Superficie de construcción bruta (áreas techadas) planeada al inicio del proyecto. _____ m²

Construcción final, metros cuadrados brutos. _____ m²

Superficie del sitio _____ m²

3. Programa del proyecto: _____

Ejemplo: número de camas, para hospitales. Número de estudiantes, para escuelas.

4. ¿Qué tipo de construcción fue el proyecto?

- Nueva construcción _____ %
- Adición o expansión _____ %
- Remodelación _____ %

*Sumatoria = 100 %

Condiciones especiales para la ejecución del proyecto

1. ¿Existieron circunstancias especiales que impactaron significativamente el desarrollo del proyecto?

- Si
- No

Por ejemplo, condiciones climáticas anormales, escasez de mano de obra o materiales, etc.

¿Cuáles fueron? _____

2. Certificación LEED

- Ninguna
- Certificado
- Plata
- Oro
- Platino

3. ¿El proyecto se ejecutó en una zona sísmica?

- Si
- No

4. Acceso al sitio

- Ilimitado
- Limitado
- Restringido
- Extremadamente restringido

Desarrollo del Proyecto y contrato

1. ¿Cuál fue el sistema de gestión para el desarrollo del proyecto?

- Diseño, licitación y construcción
- Diseño y construcción
- Desarrollo de Proyecto Integral – si es DPI contesta lo siguiente:

2. ¿Existió un contrato multipartidista?
 - No
 - Si
3. ¿Cuántas partes participaron en el contrato? _____
4. ¿Existieron renunciaciones de responsabilidad entre los participantes para protegerse de litigios?
 - No
 - Si
 - Otro sistema (especificar) _____

5. ¿Cuál fue el tipo de compensación (pago) para este proyecto? (seleccionar los que apliquen)

Contratista Principal	Sub-Contratistas	Arquitecto/diseñador	Diseño-Construcción (Si aplica)
<input type="checkbox"/> Pago Global	<input type="checkbox"/> Pago Global	<input type="checkbox"/> Pago Global	<input type="checkbox"/> Pago Global
<input type="checkbox"/> Costo + porcentaje (___ %) o (___ fijo)	<input type="checkbox"/> Costo + porcentaje (___ %) o (___ fijo)	<input type="checkbox"/> Costo + porcentaje (___ %) o (___ fijo)	<input type="checkbox"/> Costo + porcentaje (___ %) o (___ fijo)
<input type="checkbox"/> Precios Unitarios	<input type="checkbox"/> Precios Unitarios	<input type="checkbox"/> Precios Unitarios	<input type="checkbox"/> Precios Unitarios
<input type="checkbox"/> Otro: _____	<input type="checkbox"/> Otro: _____	<input type="checkbox"/> Otro: _____	<input type="checkbox"/> Otro: _____

6. ¿Qué porcentaje del tiempo total de diseño se completó cuando se estableció el precio máximo del proyecto?
 - No hubo monto del precio máximo
 - _____ % del tiempo de diseño
7. ¿Cuáles de las partes siguientes estuvieron involucradas en la etapa de diseño?
 - Gerente de Proyecto
 - Contratista Principal
 - Subcontratistas (de mayor importancia), especificar quienes _____
 - Ninguno (Continuar hacia el apartado de Incentivos)
 - Otros: _____

8. ¿Cómo fueron compensadas las partes durante las etapas de anteproyecto o pre construcción?

Gerente o Contratista	<input type="checkbox"/> Pago único	<input type="checkbox"/> Costo + %	<input type="checkbox"/> Costo+Tarifa	<input type="checkbox"/> Otro
Subcontratistas	<input type="checkbox"/> Pago único	<input type="checkbox"/> Costo + %	<input type="checkbox"/> Costo+Tarifa	<input type="checkbox"/> Otro
Otros	<input type="checkbox"/> Pago único	<input type="checkbox"/> Costo + %	<input type="checkbox"/> Costo+Tarifa	<input type="checkbox"/> Otro

Incentivos

1. ¿El contrato incluye una cláusula de incentivo para motivar la colaboración compartiendo riesgo y recompensa?
 - Si (Continúa en esta sección)
 - No (Continúa a Distribución de Riesgos)
2. Los incentivos estuvieron basados en:
 - a. Valor, ofreciendo un bono vinculado a la adición de valor al proyecto
 - Si
 - No
 - b. Participación de los beneficios, en la que se determinan colectivamente los beneficios de cada parte.
 - Si
 - No
 - c. Rendimiento del proyecto

- Si
- No

d. Métricos para determinar el rendimiento

- Costo
- Programa
- Calidad
- Seguridad
- Otro

e. Un "fondo de incentivos" que reserva una parte de los honorarios del trabajo en equipo en un monto que puede aumentar o disminuir según varios criterios

- Si
- No

3. ¿Fueron los incentivos financiados con ahorros del proyecto?

- Si
- No

4. ¿Cuál fue el valor de los incentivos?

_____ % o \$ _____

5. ¿Cómo fueron distribuidos?

Propietario	_____ %	Gerencia	_____ %	Subcontratistas	_____ %
Proyecto	_____ %	Constructor	_____ %	Otro	_____ %

Distribución del Riesgo

1. ¿El equipo del proyecto tuvo un proceso formal de revisión de riesgos para identificar y aceptar los riesgos del proyecto antes de iniciar la construcción?

- Si
- No

2. ¿Participaron los subcontratistas en el proceso de evaluación de riesgos?

- Si
- No

3. ¿Cómo se distribuyeron los riesgos?

- Traslado a otras partes
- Compartido equitativamente
- Asumido por el propietario
- Otro: _____

4. Califique la existencia de cláusulas contractuales onerosas

¿Qué tan problemáticas fueron, en promedio?

- Mucho
- Regulares
- Poco
- Nada

5. Califique la existencia de limitaciones regulatorias o legales

- Mucho
- Regulares
- Poco
- Nada

SECCIÓN II: RENDIMIENTO DEL PROYECTO

Rendimiento de la Seguridad

1. Número de incidencias ante el IMSS: _____
2. Cantidad de tiempo perdido por lesiones de trabajadores: _____
3. Cantidad de muertes: _____

Rendimiento del Costo

1. Especifique los siguientes costos del proyecto. *Para los costos de diseño y construcción, asegúrese de deducir todos los costos que no sean el costo del edificio base, por ejemplo: costos del terreno, costos de propiedad, costo de equipos instalados, mobiliario, entre otros.

- Ninguna 0-5% 6-10% 11-15% > 15%

3. Piense en el área promedio de trabajo disponible por trabajador. ¿Fue el sitio de trabajo para este proyecto en particular más o menos abarrotado que el promedio de los proyectos que ha realizado?

* ¿Cuál era el promedio de todos los trabajadores en el sitio? _____

Solicitudes de información

- ¿Cuál fue la cantidad total de Solicitudes de Información del Proyecto? _____
Clasificarlas: _____ % en Proyecto _____ % Durante construcción
- El tiempo de procesamiento de la Solicitud de Información (el periodo comprendido desde que usted realizó la solicitud y la respuesta por la parte responsable), en promedio fue de:
 - 1-7 días
 - 8-14 días
 - 15-21 días
 - 22-28 días
 - 29-35 días
 - Más de 35 días
- ¿Existió algún método o sistema para evitar las Solicitudes de Información (celular, e-mail, etc.)?
 - No
 - Algunas veces
 - Muchas veces

Otros métricos de rendimiento

- ¿Cuál es el número total de fichas técnicas (Submittals) en el proyecto? _____
- ¿Cuál fue el número de problemas o deficiencias en el proyecto? _____
(inspecciones de campo/reportes, diseño, aspectos legales, etc., durante la etapa de construcción)
- Cantidad de elementos en las listas de chequeo: _____
- ¿Cuál es el valor o costo de los elementos en las listas de chequeo en relación con el costo total de construcción?
 - 0-0.25% 0.25-.5% .5-1% 1-2% >2%
- ¿Cuál es el porcentaje del costo de los retrabajos en relación con el costo total del proyecto, incluyendo los trabajos subcontratados?
 - 0% 0-1% 1-2% 2-3% 3-4% >4%
- ¿Cuántas reclamaciones-aclaraciones se presentaron en el proyecto? (si es que hubo) _____ casos de reclamo
- ¿Cuál fue el costo total de las reclamaciones-aclaraciones (de contratistas y otros)? \$ _____
 - Para este tipo y tamaño de proyecto, considera ese valor como
 - Debajo del promedio En el promedio Sobre el promedio
- ¿Cuál fue el porcentaje del costo de las garantías en relación con el costo del proyecto (Considera 1 año desde la ocupación de la construcción)?
 - 0% 0-.5% .6-1% 1-2% 2-3% >3%
- ¿Cuáles fueron los costos de los defectos latentes? (Considera 1 año desde la ocupación de la construcción)
 - 0% 0-.5% .6-1% 1-2% 2-3% >3%
- Los beneficios y la utilidad del proyecto fueron:
 - negativos <5% 5-10% 11-15% >15%
- En general, ¿cómo calificaría el efecto de este proyecto sobre la imagen de su empresa y/o el retorno potencial del negocio?
 - Muy negativa Negativa Neutral Positiva Muy positiva

SECCIÓN III: DESARROLLO DEL PROYECTO – FACTORES DE CALIDAD Y COMPLEJIDAD

- Para cada partida del proyecto, por favor califique lo siguiente:

- (1) La complejidad del sistema
- (2) La calidad de la construcción
- (3) El uso de BIM en el proyecto

Partidas	(1) Complejidad			(2) Calidad					(3) BIM		
	Baja	Media	Alta	Económica	Estándar	Alta	Premium	Alta eficiencia	No usado	Uso moderado	Uso extensivo
	Seleccione una			Seleccione una					Seleccione una		
Cimentación											
Estructura											
Acabados interiores											
Fachadas											
Instalaciones hidrosanitarias											
Instalaciones eléctricas											
Instalaciones especiales											

2. Califique la complejidad general del proyecto como un solo conjunto

- Baja Media Alta

3. Califique la calidad constructiva del proyecto como un solo conjunto

- Económica Estándar Alta Premium Alta eficiencia

SECCIÓN IV: COLABORACIÓN Y EQUIPO DEL PROYECTO

Experiencia

1. Por favor cuéntenos sobre la experiencia previa de los interesados antes del inicio de este proyecto.

	Mucha	Suficiente	Poca	Ninguna
Experiencia con este tipo de construcción				
<input type="checkbox"/> Gerente del proyecto				
<input type="checkbox"/> Contratistas				
<input type="checkbox"/> Propietario				
<input type="checkbox"/> Diseño/proyecto				
<input type="checkbox"/> Constructora (sí aplica)				
Experiencia con este tamaño de construcción				
<input type="checkbox"/> Gerente del proyecto				
<input type="checkbox"/> Contratistas				
<input type="checkbox"/> Propietario				
<input type="checkbox"/> Diseño/proyecto				
<input type="checkbox"/> Constructora (sí aplica)				
Experiencia con el Sistema de Gestion del Proyecto				
<input type="checkbox"/> Gerente del proyecto				
<input type="checkbox"/> Contratistas				
<input type="checkbox"/> Propietario				
<input type="checkbox"/> Diseño/proyecto				
<input type="checkbox"/> Constructora (sí aplica)				
Experiencia con BIM				
<input type="checkbox"/> Gerente del proyecto				
<input type="checkbox"/> Contratistas				
<input type="checkbox"/> Propietario				
<input type="checkbox"/> Diseño/proyecto				
<input type="checkbox"/> Constructora (sí aplica)				
Tu experiencia con otros miembros participantes en el proyecto				
<input type="checkbox"/> Subcontratistas				
<input type="checkbox"/> Propietario				
<input type="checkbox"/> Diseño y Proyecto				

Experiencia considerando al “Equipo como una unidad”

2. Ahora mirando hacia atrás, ¿cuál es su satisfacción general trabajando con este equipo de proyecto? En otras palabras, califique su experiencia actual trabajando como un equipo para este proyecto:
- a. Equipo de proyecto con arquitecto y propietario:
 Excelente Muy buena Buena Suficiente Pobre
- b. Equipo de construcción con subcontratistas:
 Excelente Muy buena Buena Suficiente Pobre

Selección del Equipo del Proyecto

1. El propietario del proyecto es:
 Público (Gubernamental) Privado
2. El propietario es una organización:
 Con fines de lucro Sin fines de lucro
3. Selección de la Gerencia del Proyecto o Contratista General
 Licitación abierta
 Licitación por invitación
 Asignación directa
 Otro: _____
4. ¿Había competencia de otros contratistas generales calificados?
 Si
 No
5. Selección de subcontratistas
 Licitación abierta
 Licitación por invitación
 Asignación directa
 Otro: _____
6. ¿Había competencia de otros subcontratistas calificados?
 Si
 No

Estructura de la Gestión/Administración del Proyecto

En esta sección, estamos tratando de entender su estructura de gestión de proyectos. Las preguntas están específicamente orientadas a probar cuántos niveles de gestión de proyectos se establecieron y cómo funcionan juntos.

Aunque existen diferentes modelos, comúnmente vemos hasta tres niveles principales, desde el nivel de detalle, hasta el equipo de liderazgo del proyecto y finalmente el nivel operativo.

1. Equipo de liderazgo en el proyecto
- a. ¿Había un equipo de liderazgo o gerencia dedicado para este proyecto?
 Si
 No (saltar a paso 2)
- b. ¿Qué tan frecuente eran las reuniones del equipo de liderazgo durante las etapas las siguientes etapas?

PROYECTO	<input type="checkbox"/> Diario	<input type="checkbox"/> Semanalmente	<input type="checkbox"/> Cada dos semanas	<input type="checkbox"/> Mensualmente	<input type="checkbox"/> Otro: _____
CONSTRUCCIÓN	<input type="checkbox"/> Diario	<input type="checkbox"/> Semanalmente	<input type="checkbox"/> Cada dos semanas	<input type="checkbox"/> Mensualmente	<input type="checkbox"/> Otro: _____
CIERRE	<input type="checkbox"/> Diario	<input type="checkbox"/> Semanalmente	<input type="checkbox"/> Cada dos semanas	<input type="checkbox"/> Mensualmente	<input type="checkbox"/> Otro: _____

c. ¿Cuántos representantes existieron en el equipo de liderazgo?

Propietario	_____	Representantes	
Proyecto	_____	Representantes	
Contratistas	_____	Representantes	Total: _____
Instalaciones	_____	Representantes	
Proveedores	_____	Representantes	
Otros:	_____	Representantes	

d. ¿Este equipo de liderazgo tenía toda la autoridad necesaria para tomar las decisiones necesarias para dirigir el proyecto a diario?

- Absolutamente Algunas veces No

e. ¿El equipo de liderazgo del proyecto desarrolló conjuntamente los objetivos y metas del proyecto?

- Absolutamente Algunas veces No

f. ¿El equipo de liderazgo del proyecto tomó decisiones en forma colaborativa?

- Absolutamente Algunas veces No

g. ¿El equipo de liderazgo del proyecto realizó revisiones periódicas del proyecto?

- Si No

h. ¿Se reunió el equipo para discutir y captar las "lecciones aprendidas"? (Selecciona todas las que apliquen)

- Al final del proyecto Durante el proyecto Nunca

2. Equipos que participaron en la planeación del proyecto (puestos medios)

a. ¿Había grupos de equipos de trabajo multidisciplinarios responsables de partes o aspectos específicos del proyecto (por ejemplo, acabados, fachada, estructura)?

- Para la mayoría de las actividades Para algunas partes del proyecto (especifica ____ %) No (Continua en el punto 3)

b. ¿Qué tan frecuente los equipos de planeación tuvieron reuniones según las siguientes etapas?

PROYECTO	<input type="checkbox"/> Diario	<input type="checkbox"/> Semanalmente	<input type="checkbox"/> Cada dos semanas	<input type="checkbox"/> Mensualmente	<input type="checkbox"/> Otro: _____
CONSTRUCCIÓN	<input type="checkbox"/> Diario	<input type="checkbox"/> Semanalmente	<input type="checkbox"/> Cada dos semanas	<input type="checkbox"/> Mensualmente	<input type="checkbox"/> Otro: _____
CIERRE	<input type="checkbox"/> Diario	<input type="checkbox"/> Semanalmente	<input type="checkbox"/> Cada dos semanas	<input type="checkbox"/> Mensualmente	<input type="checkbox"/> Otro: _____

3. Equipo de nivel ejecutivo

a. ¿Había un equipo ejecutivo de dirección (al cual el equipo de liderazgo informa) que también actúa como una junta de resolución de disputas cuando es necesario?

- Si No

b. ¿Con qué frecuencia se reunió el equipo directivo ejecutivo durante cada una de las siguientes etapas?

PROYECTO	<input type="checkbox"/> Semanalmente	<input type="checkbox"/> Mensualmente	<input type="checkbox"/> Trimestralmente	<input type="checkbox"/> Otro: _____
CONSTRUCCIÓN	<input type="checkbox"/> Semanalmente	<input type="checkbox"/> Mensualmente	<input type="checkbox"/> Trimestralmente	<input type="checkbox"/> Otro: _____
CIERRE	<input type="checkbox"/> Semanalmente	<input type="checkbox"/> Mensualmente	<input type="checkbox"/> Trimestralmente	<input type="checkbox"/> Otro: _____

4. En caso de conflicto, ¿qué parte tiene la autoridad decisoria final?

- Propietario Proyecto Gerencia del proyecto Voto/consenso de los líderes de proyecto Otro: _____

Sincronización y Colaboración

- ¿Qué porcentaje del diseño estaba completo antes de la adjudicación del contrato de construcción? _____ %
- ¿Qué tanto se familiarizaba el contratista con los objetivos y expectativas del propietario?

Mucho Regular Poco Nada
- ¿El propietario o su personal participó activamente en el proceso de construcción?

- Mucha participación Regular Poca participación Nada de participación
4. ¿El arquitecto/ingeniero dio el apoyo adecuado durante la construcción?
- Muy involucrado Regular Poco involucrado Nada de participación
5. ¿Qué tan involucrado estuvo el contratista general en la etapa de diseño/anteproyecto?
- Muy involucrado Regular Poco involucrado Nada de participación
6. ¿Qué tanto se involucraron los contratistas principales en la etapa de diseño/anteproyecto?
- Muy involucrado Regular Poco involucrado Nada de participación

Herramientas tecnológicas

1. Se utilizaron algunas de las siguientes Herramientas/Técnicas en el proyecto?

	Mucho	Regular	Poco	Nada
¿Rastreó los compromisos semanales de los equipos de proyectos?				
5S - Una política que requiere limpieza, organización y ordenamiento de los planes de almacenamiento y movimiento. Las cajas de herramientas y los consumibles deben almacenarse y organizarse de modo que no se pierda tiempo buscando o recuperando herramientas o materiales comunes				
Cofres Diarios, reunirse diariamente con los equipos de campo para revisar el horario y planificar el trabajo.				
JIT, Justo a Tiempo, los materiales a granel se entregan justo antes de la instalación, uso, colocación.				

2. Entrega JIT (justo a tiempo) (sí fue utilizada): en promedio, ¿que describe mejor al JIT en su proyecto?
- Materiales entregados cuando se van a utilizar
 Almacenamiento menor (pequeños lotes por un corto período)
 Almacén en sitio de los materiales por largos periodos de tiempo
3. ¿Utilizó un proceso de gestión de órdenes de cambio integral?
- Si
 No
4. ¿Ha rastreado el porcentaje del de avance de proyecto completado?
- a. ¿Cómo lo hizo?
- Por valor acumulado (porcentajes) Cantidades reales instaladas
 Horas de trabajo hombre Otro: _____

Building Information Modelling (BIM)

1. ¿Fue BIM utilizado en el proyecto?
- Si
 No (Continua en Relaciones del Equipo del Proyecto)
2. ¿Fue utilizado o desarrollado algún manual basado en BIM?
- Si
 No
3. ¿El contrato permitió el derecho a depender de los modelos 3D?
- Si
 No

Califique el uso del modelo BIM para las siguientes tareas. Marque la casilla correspondiente:

	Mucho	Regular	Poco	Nada
Visualización				
Validación de la sensación espacial				
Logística del sitio				

Análisis Ambiental

- Coordinación de diseño en etapas tempranas
- Coordinación de proyecto ejecutivo para instalaciones
- Procesos de colaboración de diseño
- Detección de “cruces” o traslapes de instalaciones, etc.
- Especificaciones de equipos y materiales
- Estimación - cuantificación de insumos
- Calendarización 4D
- Fabricación digital – Diseño de prefabricados
- Simulación de construcción, animaciones del proyecto a través del tiempo
- Cierre del proyecto y manejo de volúmenes monetarios
- Otro:
- Otro:

Información de Contacto del Equipo del Proyecto

Propietario:	_____	Contacto:	_____
E-mail:	_____	Teléfono”	_____
Arquitecto:	_____	Contacto:	_____
Email:	_____	Teléfono	_____
Contratista principal:	_____	Contacto:	_____
Email:	_____	Teléfono:	_____

SECCIÓN V: EXPERIENCIA DEL CONTRATISTA Y MEDIDAS DE ÉXITO

Medidas de éxito: calcule los criterios que su organización utiliza para medir el éxito del proyecto, comenzando con el criterio más importante y, a continuación, utilice estos criterios para calificar si se logró en este proyecto.

1. _____

Excelente Muy bien Bien Poco Insuficiente

2. _____

Excelente Muy bien Bien Poco Insuficiente

3. _____

Excelente Muy bien Bien Poco Insuficiente

4. _____

Excelente Muy bien Bien Poco Insuficiente

5. _____

Excelente Muy bien Bien Poco Insuficiente

Persona que completó la entrevista

Nombre _____

Dirección _____

Teléfono _____ Email _____

¿Qué puesto ocupa en su compañía o empresa?

Propietario Residente Director

Gerente de proyecto Subdirector Otro: _____

¿Cuál es el porcentaje de cada tipo de gestión de proyecto que su empresa ha utilizado en los últimos 5 años?

Diseño – Licitación – Construcción _____ %

Diseño - Construcción _____ %

- | | | | |
|--------------------------|---------------------------------|-------|---|
| <input type="checkbox"/> | Desarrollo de Proyecto Integral | _____ | % |
| <input type="checkbox"/> | Otro: _____ | _____ | % |

¿Su compañía asigna a personal más talentoso / experimentado a proyectos más colaborativos, en comparación con proyectos que usan sistemas de entrega tradicionales tales como Diseño – Licitación – Construcción?

- SI
 No

Has completado el cuestionario. Gracias

Realmente apreciamos todo su tiempo y esfuerzo. Sus respuestas se mantendrán confidenciales, promoverán el proceso de investigación y permitirán el desarrollo de hallazgos que serán útiles para el éxito de sus proyectos futuros.

ANEXO 2
ESTADÍSTICAS

GESTIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Modelo matemático para el análisis del desempeño del proyecto

1 Costo Unitario

Mann-Whitney: Costo Unitario (I), Costo Unitario (T)

Método

η_1 : mediana de Costo Unitario (I)

η_2 : mediana de Costo Unitario (T)

Diferencia: $\eta_1 - \eta_2$

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Costo Unitario (I)	5	8571.43
Costo Unitario (T)	5	8000

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
1000	(-1180.97, 3852.77)	95.01%

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Método	Valor W	Valor p
No ajustado para empates	450	0.285
Ajustado para empates	450	0.283

Prueba T e IC de dos muestras: Costo Unitario (I), Costo Unitario (T)

Método

μ_1 : media de Costo Unitario (I)

μ_2 : media de Costo Unitario (T)

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	media
Costo Unitario (I)	5	10748	7040	1574
Costo Unitario (T)	5	9669	6266	1401

Estimación de la diferencia

Muestra	N	Media	Desv.Est.	media
Costo Unitario (I)	5	10748	7040	1574
Costo Unitario (T)	5	9669	6266	1401

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
1079	(-3191, 5350)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	Valor p
0.51	0.612

2 Incremento del Costo

Mann-Whitney: Incremento del Costo (I), Incremento del Costo (T)

Método

η_1 : mediana de Incremento del Costo (I)

η_2 : mediana de Incremento del Costo (T)

Diferencia: $\eta_1 - \eta_2$

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Incremento del Costo (I)	5	0.285714
Incremento del Costo (T)	5	0.512

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
-0.226286	(-0.512, -0.0000000)	95.01%

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Método	Valor W	Valor p
No ajustado para empates	338	0.053
Ajustado para empates	338	0.049

Prueba T e IC de dos muestras: Incremento del Costo (I), ... 1 Costo (T)

Método

μ_1 : media de Incremento del Costo (I)

μ_2 : media de Incremento del Costo (T)

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	media
Incremento del Costo (I)	5	0.261	0.239	0.054
Incremento del Costo (T)	5	0.487	0.352	0.079

Estimación de la diferencia

Muestra	N	Media	Desv.Est.	media
Incremento del Costo (I)	5	0.261	0.239	0.054
Incremento del Costo (T)	5	0.487	0.352	0.079

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-0.227	(-0.4205, -0.0334)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna	H ₁ : $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$	
	Valor T	Valor p
	-2.39	0.023

3 Calidad General de los Sistemas Constructivos

Mann-Whitney: Calidad General (I), Calidad General (T)

Método

η_1 : mediana de Calidad General (I)

η_2 : mediana de Calidad General (T)

Diferencia: $\eta_1 - \eta_2$

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Calidad General (I)	5	4
Calidad General (T)	5	4

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
0	(-1, 0.000000)	95.01%

Prueba

Hipótesis nula H₀: $\eta_1 - \eta_2 = 0$

Hipótesis alterna H₁: $\eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Método

	Valor W	Valor p
No ajustado para empates	346	0.086
Ajustado para empates	346	0.048

Prueba T e IC de dos muestras: Calidad General (I), Calidad General (T)

Método

μ_1 : media de Calidad General (I)

μ_2 : media de Calidad General (T)

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	media
Calidad General (I)	5	4	0.649	0.15
Calidad General (T)	5	4.4	0.503	0.11

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-0.4	(-0.773, -0.027)

Prueba

Hipótesis nula H₀: $\mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna H₁: $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$

	Valor T	Valor p
	-2.18	0.036

4 Deficiencias

Mann-Whitney: Deficiencias (I), Deficiencias (T)

Método

η_1 : mediana de Deficiencias (I)

η_2 : mediana de Deficiencias (T)

Diferencia: $\eta_1 - \eta_2$

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Deficiencias (I)	5	0.05
Deficiencias (T)	5	0.1

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
-0.05	(-0.100000, -0.0100000)	95.01%

Prueba

Hipótesis nula H₀: $\eta_1 - \eta_2 = 0$

Hipótesis alterna H₁: $\eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Método

	Valor W	Valor p
--	---------	---------

Prueba T e IC de dos muestras: Deficiencias (I), Deficiencias (T)

Método

μ_1 : media de Deficiencias (I)

μ_2 : media de Deficiencias (T)

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	media
Deficiencias (I)	5	0.058	0.0364	0.0081
Deficiencias (T)	5	0.11	0.0503	0.011

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-0.052	(-0.0802, -0.0238)

No ajustado para empates	282	0.001	Prueba	
Ajustado para empates	282	0	Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
			Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$
			Valor T	Valor p
			-3.75	0.001

5 Cantidad de elementos en las CheckLists

Mann-Whitney: Elementos CL (I), Elementos CL (T)

Prueba T e IC de dos muestras: Elementos CL (I), Elementos CL (T)

Método

η_1 : mediana de Elementos CL (I)

η_2 : mediana de Elementos CL (T)

Diferencia: $\eta_1 - \eta_2$

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Elementos CL (I)	5	0.0111111
Elementos CL (T)	5	0.0125

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
0.0037037	(-0.0050926, 0.0235000)	95.01%

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Método	Valor W	Valor p
No ajustado para empates	426	0.675
Ajustado para empates	426	0.673

Método

μ_1 : media de Elementos CL (I)

μ_2 : media de Elementos CL (T)

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	media
Elementos CL (I)	5	0.0309	0.0376	0.0084
Elementos CL (T)	5	0.013	0.00817	0.0018

Estimación de la diferencia

IC de 95% para

Diferencia	la diferencia
0.01794	(0.00001, 0.03586)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	Valor p
2.09	0.05

6 Costo de Garantías

Mann-Whitney: Costo Garantías (I), Costo Garantías (T)

Prueba T e IC de dos muestras: Costo Garantías (I), Costo Garantías (T)

Método

η_1 : mediana de Costo Garantías (I)

η_2 : mediana de Costo Garantías (T)

Diferencia: $\eta_1 - \eta_2$

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Costo Garantías (I)	5	0.008
Costo Garantías (T)	5	0.0025

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
0	(-0.0220000, 0.0055000)	95.01%

Método

μ_1 : media de Costo Garantías (I)

μ_2 : media de Costo Garantías (T)

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	la media
Costo Garantías (I)	5	0.0058	0.00276	0.00062
Costo Garantías (T)	5	0.0135	0.0138	0.0031

Estimación de la diferencia

Error estándar de

Prueba		IC de 95% para la	
Hipótesis nula	$H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$	Diferencia	diferencia
Hipótesis alterna	$H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$	-0.0077	(-0.01427, -0.00113)
Método	Valor W	Valor p	
No ajustado para empates	402	0.839	
Ajustado para empates	402	0.825	
Prueba		Valor T	Valor p
Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$	-2.44	0.024
Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$		

7 Defectos Latentes

Mann-Whitney: Defectos Latentes(I), Defectos Latentes (T)

Prueba T e IC de dos muestras: Defectos Latentes(I), ... tos Latentes (T)

Método

η_1 : mediana de Defectos Latentes(I)

Método

μ_1 : media de Defectos Latentes(I)

η_2 : mediana de Defectos Latentes (T)

μ_2 : media de Defectos Latentes (T)

Diferencia: $\eta_1 - \eta_2$

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Estadísticas descriptivas

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Muestra	N	Mediana
Defectos Latentes(I)	5	0.0025
Defectos Latentes (T)	5	0.0025

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	la media
Defectos Latentes(I)	5	0.002	0.00103	0.00023
Defectos Latentes (T)	5	0.0075	0.0116	0.0026

Estimación de la diferencia

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
0	(-0.0025000, -0.0000000)	95.01%

IC de 95% para la	
Diferencia	diferencia
-0.0055	(-0.01094, -0.00006)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Método	Valor W	Valor p
No ajustado para empates	378	0.394
Ajustado para empates	378	0.29

Valor T	Valor p
-2.11	0.048

8 Velocidad de Construcción

Mann-Whitney: Velocidad de Construcción (I), Velocidad de construcción (T)

Prueba T e IC de dos muestras: Velocidad de ... ad de Construcción (T)

Método

η_1 : mediana de Velocidad de Construcción (I)

Método

μ_1 : media de Velocidad de Construcción (I)

η_2 : mediana de Velocidad de Construcción (T)

μ_2 : media de Velocidad de Construcción (T)

Diferencia: $\eta_1 - \eta_2$

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Estadísticas descriptivas

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Muestra	N	Mediana
Velocidad de Construcción (I)	5	1.46648
Velocidad de Construcción (T)	5	1.79856

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	media

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la	Confianza

Error estándar de la

	diferencia	lograda	Velocidad de Construcción (I)	5	1.568	0.873	0.2
	-0.942208	(-2.54712, -0.0436464)	95.01%	Velocidad de Construcción (T)	5	13	22.4
Prueba			Estimación de la diferencia				
Hipótesis nula	H ₀ : $\eta_1 - \eta_2 = 0$		IC de 95%				
Hipótesis alterna	H ₁ : $\eta_1 - \eta_2 \neq 0$		para la				
Método	Valor W	Valor p	Diferencia	diferencia			
No ajustado para empates	322	0.018	-11.47	(-21.98, -0.95)			
Ajustado para empates	322	0.017	Prueba				
			Hipótesis nula	H ₀ : $\mu_1 - \mu_2 = 0$			
			Hipótesis alterna	H ₁ : $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$			
			Valor T	Valor p			
			-2.28	0.034			

9 Velocidad de entrega

Mann-Whitney: Velocidad de Entrega (I), Velocidad de Entrega (T)

Prueba T e IC de dos muestras: Velocidad de Entrega (T), ... Programa (I)

Método

Método

η_1 : mediana de Velocidad de Entrega (I)

μ_1 : media de Velocidad de Entrega (T)

η_2 : mediana de Velocidad de Entrega (T)

μ_2 : media de Incremento del Programa (I)

Diferencia: $\eta_1 - \eta_2$

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Estadísticas descriptivas

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Muestra	N	Mediana
Velocidad de Entrega (I)	5	0.73113
Velocidad de Entrega (T)	5	1.53285

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	media
Velocidad de Entrega (T)	5	7.1	11.6	2.6
Incremento del Programa (I)	5	0.3	0.395	0.088

Estimación de la diferencia

Estimación de la diferencia

	IC para la	Confianza
Diferencia	diferencia	lograda
-0.787586	(-1.49949, -0.351119)	95.01%

IC de 95%
para la

Prueba

Hipótesis nula H₀: $\eta_1 - \eta_2 = 0$

Hipótesis alterna H₁: $\eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Método	Valor W	Valor p
No ajustado para empates	258	0
Ajustado para empates	258	0

Diferencia diferencia
6.78 (1.34, 12.23)

Prueba

Hipótesis nula H₀: $\mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna H₁: $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T **Valor p**
2.61 0.017

10 Incremento del Programa

Mann-Whitney: Incremento del Programa (I), ... ento del Programa (T)

Prueba T e IC de dos muestras: Incremento del Programa ... grama (T)

Método

Método

η_1 : mediana de Incremento del Programa (I)

μ_1 : media de Incremento del Programa (I)

η_2 : mediana de Incremento del Programa (T)

μ_2 : media de Incremento del Programa (T)

Diferencia: $\eta_1 - \eta_2$

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Estadísticas descriptivas

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Muestra	N	Mediana
---------	---	---------

Estadísticas descriptivas

Incremento del Programa (I)	5	0.236842							Error
Incremento del Programa (T)	5	0.378531							estándar

Estimación de la diferencia

	Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda	Muestra	N	Media	Desv.Est.	media
	-0.0846973	(-0.498986, 0.205556)	95.01%	Incremento del Programa (I)	5	0.3	0.395	0.088
				Incremento del Programa (T)	5	0.448	0.457	0.1

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$
Hipótesis alterna	$H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Estimación de la diferencia

		IC de 95% para la
	Diferencia	diferencia
	-0.149	(-0.422, 0.125)

Método	Valor W	Valor p
No ajustado para empates	370	0.285
Ajustado para empates	370	0.283

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

	Valor T	Valor p
	-1.1	0.277

11 Cantidad de Incidencias

Mann-Whitney: Número de Incidencias (I), Numero de Incidencias (T)

Prueba T e IC de dos muestras: Número de Incidencias ... cidencias (T)

Método

η_1 : mediana de Numero de Incidencias (I)
 η_2 : mediana de Numero de Incidencias (T)
 Diferencia: $\eta_1 - \eta_2$

Método

μ_1 : media de Numero de Incidencias (I)
 μ_2 : media de Numero de Incidencias (T)
 Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Numero de Incidencias (I)	5	0
Número de Incidencias (T)	5	1

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Estimación de la diferencia

	Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
	-1	(-1, 0.0000000)	95.01%

Muestra	N	Media	Desv.Est.	media
Número de Incidencias (I)	5	0.6	0.821	0.18
Número de Incidencias (T)	5	1.05	0.224	0.05

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$
Hipótesis alterna	$H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Estimación de la diferencia

		IC de 95% para
	Diferencia	la diferencia
	-0.45	(-0.846, -0.054)

Método	Valor W	Valor p
No ajustado para empates	326	0.024
Ajustado para empates	326	0.011

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

	Valor T	Valor p
	-2.37	0.028

12 Tiempo Perdido por Incidencias

Mann-Whitney: Tiempo Perdido (I), Tiempo Perdido (T)

Prueba T e IC de dos muestras: Tiempo Perdido (I), Tiempo Perdido (T)

Método

η_1 : mediana de Tiempo Perdido (I)

Método

μ_1 : media de Tiempo Perdido (I)

η_2 : mediana de Tiempo Perdido (T)

Diferencia: $\eta_1 - \eta_2$

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Tiempo Perdido (I)	5	0
Tiempo Perdido (T)	5	7

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
-7	(-9, -2)	95.01%

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Método	Valor W	Valor p
No ajustado para empates	306	0.005
Ajustado para empates	306	0.004

μ_2 : media de Tiempo Perdido (T)

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	media
Tiempo Perdido (I)	5	5.2	8.35	1.9
Tiempo Perdido (T)	5	10.4	5.97	1.3

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-5.2	(-9.86, -0.54)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	Valor p
-2.27	0.03

13 Cantidad de Incidencias por Millón de Pesos

Mann-Whitney: Incidencias por Millón (I), Incidencias por Millón (T)

Método

η_1 : mediana de Incidencias por Millón (I)

η_2 : mediana de Incidencias por Millón (T)

Diferencia: $\eta_1 - \eta_2$

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Incidencias por Millón (I)	5	0
Incidencias por Millón (T)	5	0.153846

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
-0.0740741	(-0.153846, -0.0153846)	95.01%

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Método	Valor W	Valor p
No ajustado para empates	290	0.001
Ajustado para empates	290	0.001

Prueba T e IC de dos muestras: Incidencias por Millón (I), ... Millón (T)

Método

μ_1 : media de Incidencias por Millón (I)

μ_2 : media de Incidencias por Millón (T)

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	media
Incidencias por Millón (I)	5	0.0741	0.0961	0.021
Incidencias por Millón (T)	5	0.1516	0.0995	0.022

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-0.0775	(-0.1402, -0.0148)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	Valor p
-2.51	0.017

14 Tiempo Perdido por Incidencias por Millón de Pesos

Mann-Whitney: Tiempo Perdido por Millón (I), Tiempo ... or Millón (T)

Método

η_1 : mediana de Tiempo Perdido por Millón (I)
 η_2 : mediana de Tiempo Perdido por Millón (T)
 Diferencia: $\eta_1 - \eta_2$

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Tiempo Perdido por Millón (I)	5	0
Tiempo Perdido por Millón (T)	5	1.03704

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
-1.03704	(-1.85185, -0.296296)	95.01%

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$
 Hipótesis alterna $H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Método	Valor W	Valor p
No ajustado para empates	258	0
Ajustado para empates	258	0

Prueba T e IC de dos muestras: Tiempo Perdido por ... o por Millón (T)

Método

μ_1 : media de Tiempo Perdido por Millón (I)
 μ_2 : media de Tiempo Perdido por Millón (T)
 Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	media
Tiempo Perdido por Millón (I)	5	0.311	0.638	0.14
Tiempo Perdido por Millón (T)	5	1.41	1.02	0.23

Error estándar de la

Muestra	N	Media	Desv.Est.	media
Tiempo Perdido por Millón (I)	5	0.311	0.638	0.14
Tiempo Perdido por Millón (T)	5	1.41	1.02	0.23

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-1.104	(-1.654, -0.553)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
 Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	Valor p
-4.09	0

15 Porcentaje Global de Cambios

Mann-Whitney: Porcentaje de Cambios (I), Porcentaje de Cambios (T)

Método

η_1 : mediana de Porcentaje de Cambios (I)
 η_2 : mediana de Porcentaje de Cambios (T)
 Diferencia: $\eta_1 - \eta_2$

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Porcentaje de Cambios (I)	5	0.2
Porcentaje de Cambios (T)	5	0.2

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
-0.05	(-0.100000, 0.0000000)	95.01%

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$
 Hipótesis alterna $H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Método	Valor W	Valor p
--------	---------	---------

Prueba T e IC de dos muestras: Porcentaje de Cambios ... Cambios (T)

Método

μ_1 : media de Porcentaje de Cambios (I)
 μ_2 : media de Porcentaje de Cambios (T)
 Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Error estándar de la

Muestra	N	Media	Desv.Est.	media
Porcentaje de Cambios (I)	5	0.16	0.0754	0.017
Porcentaje de Cambios (T)	5	0.194	0.0778	0.017

Muestra	N	Media	Desv.Est.	media
Porcentaje de Cambios (I)	5	0.16	0.0754	0.017
Porcentaje de Cambios (T)	5	0.194	0.0778	0.017

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-0.034	(-0.0831, 0.0151)

No ajustado para empates	354	0.133	Prueba	
Ajustado para empates	354	0.124	Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
			Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$
			Valor T	Valor p
			-1.4	0.169

16 Cambios por Diseño Deficiente

Mann-Whitney: Cambios Diseño Deficiente (I), Cambios ... eficiente (T)

Método

η_1 : mediana de Cambios Diseño Deficiente (I)

η_2 : mediana de Cambios Diseño Deficiente (T)

Diferencia: $\eta_1 - \eta_2$

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Cambios Diseño Deficiente (I)	5	0.1
Cambios Diseño Deficiente (T)	5	0.15

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
-0.05	(-0.13, 0.0300000)	95.01%

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Método	Valor W	Valor p
No ajustado para empates	370	0.285
Ajustado para empates	370	0.279

Prueba T e IC de dos muestras: Cambios Diseño, Diseño Deficiente (T)

Método

μ_1 : media de Cambios Diseño Deficiente (I)

μ_2 : media de Cambios Diseño Deficiente (T)

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	media
Cambios Diseño Deficiente (I)	5	0.084	0.0462	0.01
Cambios Diseño Deficiente (T)	5	0.134	0.115	0.026

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-0.05	(-0.1073, 0.0073)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	Valor p
-1.8	0.084

17 Cambios por Adición o Eliminación de Actividades al Programa

Mann-Whitney: Cambios Programa (I), Cambios Programa (T)

Método

η_1 : mediana de Cambios Programa (I)

η_2 : mediana de Cambios Programa (T)

Diferencia: $\eta_1 - \eta_2$

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Cambios Programa (I)	5	0.5
Cambios Programa (T)	5	0.95

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
-0.4	(-0.5, -0.0000000)	95.01%

Prueba T e IC de dos muestras: Cambios Programa (I), ... Programa (T)

Método

μ_1 : media de Cambios Programa (I)

μ_2 : media de Cambios Programa (T)

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	media
Cambios Programa (I)	5	0.46	0.322	0.072
Cambios Programa (T)	5	0.73	0.333	0.075

Prueba		
Hipótesis nula	$H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$	
Hipótesis alterna	$H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$	
Método	Valor W	Valor p
No ajustado para empates	330	0.032
Ajustado para empates	330	0.026

Estimación de la diferencia		5
IC de 95% para		
Diferencia la diferencia		
		-0.27 (-0.480, -0.060)
Prueba		
Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$	
Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$	
	Valor T	Valor p
	-2.61	0.013

18 Tiempo de Procesamiento de las Ordenes de Cambio

Mann-Whitney: Tiempo Procesamiento OC (I), Tiempo ... do OC (T)

Prueba T e IC de dos muestras: Tiempo ... po procesamiento OC (T)

Método
 η_1 : mediana de Tiempo procesamiento OC (I)
 η_2 : mediana de Tiempo procesamiento do OC (T)
Diferencia: $\eta_1 - \eta_2$

Método
 μ_1 : media de Tiempo procesamiento OC (I)
 μ_2 : media de Tiempo procesamiento OC (T)
Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Tiempo Procesamiento OC (I)	5	14
Tiempo Procesamiento OC (T)	5	14

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	media
Tiempo Procesamiento OC (I)	5	11.2	3.52	0.79
Tiempo Procesamiento OC (T)	5	18.2	12.5	2.8

Error estándar de la

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
0	(-7, 0.0000000)	95.01%

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-7	(-13.05, -0.95)

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$	
Hipótesis alterna	$H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$	
Método	Valor W	Valor p
No ajustado para empates	346	0.086
Ajustado para empates	346	0.048

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$	
Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$	
	Valor T	Valor p
	-2.41	0.025

19 Solicitudes de Información

Mann-Whitney: Solicitudes de Información (I), ... es de Información (T)

Prueba T e IC de dos muestras: Solicitudes de ... es de Información (T)

Método
 η_1 : mediana de Solicitudes de Información (I)
 η_2 : mediana de Solicitudes de Información (T)
Diferencia: $\eta_1 - \eta_2$

Método
 μ_1 : media de Solicitudes de Información (I)
 μ_2 : media de Solicitudes de Información (T)
Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Solicitudes de Información (I)	5	3.18182
Solicitudes de Información (T)	5	1.23077

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	estándar
Solicitudes de Información (I)	5	3.18182	1.11111	0.33333
Solicitudes de Información (T)	5	1.23077	0.76604	0.27778

Estimación de la diferencia

de la

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
1.93182	(0.726496, 4.75)	95.01%

Solicitudes de Información (I)	5	4.5	3.27	0.73
Solicitudes de información (T)	5	2.25	2.94	0.66

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$
Hipótesis alterna	$H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
2.254	(0.260, 4.248)

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	Valor p
2.29	0.028

Método	Valor W	Valor p
No ajustado para empates	514	0.005
Ajustado para empates	514	0.005

20 Tiempo de Procesamiento de Solicitudes de Información

Mann-Whitney: Tiempo Procesamiento SI (I), Tiempo ... amiento SI (T)

Prueba T e IC de dos muestras: Tiempo Procesamiento SI ... ento SI (T)

Método

η_1 : mediana de Tiempo Procesamiento SI (I)
 η_2 : mediana de Tiempo Procesamiento SI (T)
 Diferencia: $\eta_1 - \eta_2$

Método

μ_1 : media de Tiempo Procesamiento SI (I)
 μ_2 : media de Tiempo Procesamiento SI (T)
 Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Tiempo Procesamiento SI (I)	5	1
Tiempo Procesamiento SI (T)	5	2

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	media
Tiempo Procesamiento SI (I)	5	1.2	0.41	0.092
Tiempo Procesamiento SI (T)	5	1.6	0.503	0.11

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
0	(-1, -0.0000000)	95.01%

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-0.4	(-0.694, -0.106)

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	Valor p
-2.76	0.009

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$
Hipótesis alterna	$H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Método	Valor W	Valor p
No ajustado para empates	330	0.032
Ajustado para empates	330	0.011

21 Retrabajos

Mann-Whitney: Retrabajos (I), Retrabajos (T)

Prueba T e IC de dos muestras: Retrabajos (I), Retrabajos (T)

Método

η_1 : mediana de Retrabajos (I)
 η_2 : mediana de Retrabajos (T)
 Diferencia: $\eta_1 - \eta_2$

Método

μ_1 : media de Retrabajos (I)
 μ_2 : media de Retrabajos (T)
 Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Estadísticas descriptivas

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
---------	---	---------

Retrabajos (I)	5	0.02
Retrabajos (T)	5	0.03

Error estándar de la

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
0	(-0.0100000, 0.0000000)	95.01%

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Método	Valor W	Valor p
No ajustado para empates	354	0.133
Ajustado para empates	354	0.095

Estimación de la diferencia

IC de 95% para la

Diferencia	diferencia
-0.004	(-0.00818, 0.00018)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	Valor p
-1.95	0.06

22 Trabajo Adicional

Mann-Whitney: Trabajo Adicional (I), Trabajo Adicional (T)

Prueba T e IC de dos muestras: Trabajo Adicional (I), ... jo Adicional (T)

Método

η_1 : mediana de Trabajo Adicional (I)

η_2 : mediana de Trabajo Adicional (T)

Diferencia: $\eta_1 - \eta_2$

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Trabajo Adicional (I)	5	0.05
Trabajo Adicional (T)	5	0.05

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
0	(-0.0500000, 0.0000000)	95.01%

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Método	Valor W	Valor p
No ajustado para empates	338	0.053
Ajustado para empates	338	0.006

Método

μ_1 : media de Trabajo Adicional (I)

μ_2 : media de Trabajo Adicional (T)

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	media
Trabajo Adicional (I)	5	0.04	0.0205	0.0046
Trabajo Adicional (T)	5	0.06	0.0205	0.0046

Estimación de la diferencia

IC de 95% para la

Diferencia	diferencia
-0.02	(-0.03314, -0.00686)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	Valor p
-3.08	0.004

23 Utilidad y Ganancias

Mann-Whitney: Utilidad Ganancias (I), Utilidad Ganancias (T)

Prueba T e IC de dos muestras: Utilidad Ganancias (I), ... Ganancias (T)

Método

Método

η_1 : mediana de Utilidad Ganancias (I)

η_2 : mediana de Utilidad Ganancias (T)

Diferencia: $\eta_1 - \eta_2$

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Utilidad Ganancias (I)	5	3
Utilidad Ganancias (T)	5	3

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
0	(0.0000000, 1)	95.01%

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Método	Valor W	Valor p
No ajustado para empates	458	0.199
Ajustado para empates	458	0.111

μ_1 : media de Utilidad Ganancias (I)

μ_2 : media de Utilidad Ganancias (T)

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Utilidad Ganancias (I)	5	2.8	0.41	0.092
Utilidad Ganancias (T)	5	2.4	0.821	0.18

Estimación de la diferencia

IC de 95%

para la

Diferencia	diferencia
0.4	(-0.021, 0.821)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	Valor p
1.95	0.062

24 Retorno del Negocio

Mann-Whitney: Retorno Negocio (I), Retorno Negocio (T)

Método

η_1 : mediana de Retorno Negocio (I)

η_2 : mediana de Retorno Negocio (T)

Diferencia: $\eta_1 - \eta_2$

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Retorno Negocio (I)	5	1
Retorno Negocio (T)	5	1

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
0	(0.0000000, 1)	95.01%

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Método	Valor W	Valor p
No ajustado para empates	434	0.525
Ajustado para empates	434	0.48

Prueba T e IC de dos muestras: Retorno Negocio (I), ... rno Negocio (T)

Método

μ_1 : media de Retorno Negocio (I)

μ_2 : media de Retorno Negocio (T)

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Retorno Negocio (I)	5	1.4	0.503	0.11
Retorno Negocio (T)	5	1.2	0.768	0.17

Estimación de la diferencia

IC de 95%

para la

Diferencia	diferencia
0.2	(-0.218, 0.618)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	Valor p
0.97	0.337

ANEXO 3

MODELO MATEMÁTICO DEL INDICADOR
INTEGRAL DE DESEMPEÑO

GESTIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Modelo matemático para el análisis del desempeño del proyecto

Modelo matemático para el análisis del desempeño del proyecto

$$= \frac{(0.75 * \frac{\text{Retorno del Negocio} - 1.20}{0.9189}) + (0.25 * \frac{\text{Disputas} - 0.60}{0.5163})}{0.5441}$$

$$= \frac{-\left(0.25 * \frac{\text{Incapacidades} - 0.1777}{0.1405}\right) - \left(0.75 * \frac{\text{Tiempo perdido} - 1.5777}{1.5304}\right)}{0.5441}$$

$$= \frac{0.50 * \frac{\text{Cost. Unit.} - 10208.4819}{6870.6227} - 0.50 * \frac{\text{Incr. Costo} - 0.2031}{0.2085}}{0.4866}$$

$$= \frac{\text{Sist.} - 4.2}{1.054} - \frac{\text{Defic.} - 0.6579}{12.401} - \frac{\text{\#ElemChecklist} - 8.5235}{146.791} - \frac{\text{Garant.} - 2.1}{15.951} - \frac{\text{DefLat} - 1.2}{13.984} - 0.2710$$

$$\text{IID} = (0.45 * \text{Ret. Neg.}) + (0.34 * \text{Seguridad}) + (0.31 * \text{Programa}) + (0.25 * \text{Costo}) + (0.23 * \text{Calidad}) + (0.22 * \text{Util y Gan.}) + (0.17 * \text{Comunicación})$$

$$= \frac{\text{Vel. Const.} - 3.9903}{6.9664} + \frac{\text{Vel. Entr.} - 3.3145}{7.0319} + \frac{\text{Inst. Const.} - 27347.276}{30587.2408} + \frac{\text{Inc. Prog} - 0.}{1.0419} + 3.8430$$

$$\rightarrow = \frac{\text{Util. Gan.} - 2.6}{0.6992}$$

$$\rightarrow = \frac{\text{PPC} - 0.70}{0.4830} - \frac{\text{SI} - 19103}{2.1618} - \frac{\text{TISI} - 2.1}{1.4491} - \frac{\text{F. Tec.} - 0.6170}{0.6695} - \frac{\text{RT} - 2.70}{0.9486} - \frac{\text{CG} - 0.177}{0.0806} - \frac{\text{TPOC} - 2.1}{1.4491} - 0.2870$$