



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL – CONSTRUCCIÓN

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN JUST IN TIME E
INCENTIVAR LA ADOPCIÓN DE BIM EN LA ADMINISTRACIÓN DE
MATERIALES EN OBRA RESIDENCIAL.

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA.

PRESENTA:
GIOVANNA VARELA SOLIS.

TUTOR PRINCIPAL
M.I. MARCO TULIO MENDOZA ROSAS.
FACULTAD DE INGENIERÍA.

Ciudad Universitaria, CD.MX, Diciembre 2023.



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Agradecimientos.

A Dios por todo en la vida.

A mis amados padres que tanto admiro, el Ing. Julio Varela y Lucrecia Solis, gracias por su infinito amor y apoyo incondicional.

A mis increíbles hermanos ingenieros, Bryan, Julio y Cynthia.

A mi asesor, el M.I. Marco Tulio Mendoza Rosas, por todo el conocimiento compartido y todo el apoyo brindando en este proceso.

Al Ing. Raymundo por sus conocimientos y el acceso a la información del proyecto.

¡Gracias!

ÍNDICE

Resumen.....	10
Introducción.....	13
Capítulo 1. Generalidades.	
1.1 Antecedentes de la administración en la construcción.....	20
1.2 Materiales de obra.....	21
1.3 Administración de materiales en obra.....	23
1.4 Deficiencias en la práctica habitual de la administración de obra en México.....	25
Capítulo 2. Herramientas gerenciales para el control de obra.	
2.1 El enfoque de sistemas y la gerencia de proyectos de obras de infraestructura.....	28
2.2 Gerencia de proyectos.....	31
2.2.1 Fases de la gerencia de proyectos.....	32
2.2.2 Técnicas generales de programación de obra.....	39
2.2.2.1 Método de la Ruta crítica (Critical Path Method).....	40
2.2.2.2 Diagrama de Gantt.....	41
2.2.2.3 PERT (Program Evaluation and Review Technique).....	42
2.2.3 ERP.....	43
2.2.3.1 Antecedentes.....	43
2.2.3.2 Definición.....	43
2.2.3.3 Implementación.....	44
2.2.3.4 Ventajas.....	45
2.2.3.5 Tipos de ERP.....	46
Capítulo 3. Metodología BIM para la cuantificación de materiales en obra.	
3.1 Definición.....	48
3.2 Antecedentes.....	48
3.3 Objetivos.....	51
3.4 BIM en México y América Latina.....	53
3.5 Dimensiones BIM.....	54
3.6 Software BIM.....	56
3.7 Niveles de desarrollo (LOD).....	58
3.8 Nivel de madurez.....	59

3.9 Ventajas y desventajas.	60
3.10 Fases de la implementación.....	62
3.11 Cuantificación de materiales.	63
3.11.1 Importancia de la cuantificación de materiales.	63
3.11.2 Errores comunes en la cuantificación de materiales.	64

Capítulo 4. Metodología JIT en la administración de materiales.

4.1 Origen y definición.	67
4.2 Objetivos.....	67
4.3 Ventajas y desventajas.	68
4.4 Fundamentos JIT.	68
4.5 JIT en la construcción.	72

Capítulo 5. Caso de estudio CUMBRES HERRADURA.

5.1 Edificación residencial.....	76
5.1.1 Descripción general del proyecto.....	76
5.2 Estructura de concreto.	77
5.2.1 Acero y concreto convencionales empleados en la construcción.....	79
5.3 Proceso constructivo.	80

Capítulo 6. Benchmarking para la adopción de BIM.

6.1 Benchmarking para el análisis de la adopción BIM.	85
6.2 Fases del Benchmarking.....	86
6.2.1 Planeación.	87
6.2.1.1 Definir los socios o colaboradores del Benchmarking.	87
6.2.1.2 Definir el método de recopilación de información.	88
6.2.1.2.1 Análisis interno:	88
6.2.1.2.2 Análisis externo:	94
6.2.1.3 Recopilación de datos.....	95
6.2.2 Análisis.....	102
6.2.2.1 Determinar la brecha competitiva.....	102
6.2.2.2 Proyectar los resultados futuros.	104
6.2.3 Integración.	106

6.2.3.1 Comunicación de los resultados.	106
6.2.3.2 Establecer metas funcionales.	108
Capítulo 7. Propuesta metodológica para la implementación de JIT.	
7.1 CUMBRES HERRADURA.	110
7.2 Fases de la implementación de Just In Time.	111
7.2.1 Fase 1. Selección y organización del grupo de trabajo.....	111
7.2.2 Fase 2. Capacitación del personal.....	114
7.2.3 Fase 3. Planeación y programación del plan de ejecución.	125
7.2.4 Fase 4. Ejecución del plan.....	130
7.2.5 Fase 5. Evaluación del plan de ejecución.....	136
Capítulo 8. Conclusiones y recomendaciones.	
8.1 Conclusiones y recomendaciones.....	146
8.2 Referencias bibliográficas.....	149

Índice tablas.

Tabla 1. Tipos de ERP según su clasificación. / Ilustración propia.....	46
Tabla 2. Metodología de las 5S / Elaboración propia.	71
Tabla 3. Resistencias del concreto / Elaboración propia.	79
Tabla 4. Tabla fases del Benchmarking / Elaboración propia.....	86
Tabla 5. Ficha técnica encuesta 1 “Conocimiento BIM” / Elaboración propia.	88
Tabla 6. Encuesta “Conocimiento BIM” / Elaboración propia.	89
Tabla 7. Ficha técnica encuesta 2 “Cuantificación de materiales” / Elaboración propia....	93
Tabla 8. “Cuantificación de materiales” / Elaboración propia. Datos: CUMBRES HERRADURA.	93
Tabla 9. “Cuantificación de materiales” / Elaboración propia. Datos: Empresa 1.	96
Tabla 10. “Cuantificación de materiales” / Elaboración propia. Datos: Empresa 1.	98
Tabla 11. “Cuantificación de materiales” / Elaboración propia. Datos: Empresa 2.	100
Tabla 12. “Cuantificación de materiales” / Elaboración propia. Datos: Empresa 2.	101
Tabla 13. “Tabla comparativa empresas BIM” / Elaboración propia.	102
Tabla 14. “Tabla comparativa propuestas BIM” / Elaboración propia.	103

Tabla 15. “Tabla comparativa ejecutado vs BIM y cuantificación tradicional” E1/ Elaboración propia.....	103
Tabla 16. “Tabla comparativa ejecutado vs BIM y cuantificación tradicional” E2/ Elaboración propia.....	104
Tabla 17. “Tabla comparativa ejecutado vs BIM y cuantificación tradicional” CH/ Elaboración propia.....	104
Tabla 18. “Tabla comparativa ejecutado vs BIM y cuantificación tradicional %” E1/ Elaboración propia.....	104
Tabla 19. “Tabla comparativa ejecutado vs BIM y cuantificación tradicional %” E2/ Elaboración propia.....	105
Tabla 20. “Tabla comparativa ejecutado vs cuantificación tradicional %” CH/ Elaboración propia.	105
Tabla 21. Estrategias FODA/ Elaboración propia.....	108
Tabla 22. Fases de ejecución JIT / Elaboración propia.	111
Tabla 23. Ficha técnica encuesta 1-fase 1 / Elaboración propia.	112
Tabla 24. Comité plan de ejecución JIT. / Elaboración propia.....	113
Tabla 25. Ficha técnica encuesta 1-fase 2 / Elaboración propia.	114
Tabla 26. Encuesta “Conocimiento JIT” / Elaboración propia.....	115
Tabla 27. Programación final / Elaboración propia.....	125
Tabla 28. Actividades presupuestación / Elaboración propia.	127
Tabla 29. Actividades administración de materiales. / Elaboración propia.	128
Tabla 30. Ejecución de obra. / Elaboración propia.	128
Tabla 31. Ficha técnica encuesta 1-fase 5 / Elaboración propia.	136
Tabla 32. Encuesta 1-fase 5 / Elaboración propia.....	136
Tabla 33. Evaluación 1-fase 5 / Elaboración propia.	139
Tabla 34. Evaluación 1-fase 5 / Elaboración propia.	139
Tabla 35. Ficha técnica encuesta 2-fase 5 / Elaboración propia.	140
Tabla 36. Encuesta 2-fase 5 / Elaboración propia.....	140
Tabla 37. % Administración de materiales / Elaboración propia.....	143
Tabla 38. Tabla comparativa antes y después de JIT-fase 5 / Elaboración propia.....	144

Índice ilustraciones.

Ilustración 1. Diagrama de Ishikawa / Ilustración propia.....	15
Ilustración 2. Clasificación de materiales de construcción / Ilustración propia.	22
Ilustración 3. Etapas de la administración tradicional de los proyectos / Ilustración propia.	24
Ilustración 4. Etapas del enfoque de sistemas/ Ilustración propia.	29
Ilustración 5. Fases de la gerencia de proyectos/ Ilustración propia.....	32
Ilustración 6. Principios de Lean Construction / Ilustración propia.....	35
Ilustración 7. Círculo Deming / Ilustración propia.	37
Ilustración 8. Ciclo Six Sigma / Ilustración propia.....	38
Ilustración 9. Ruta crítica / Ilustración propia.....	40
Ilustración 10. Diagrama de Gantt / Ilustración propia.....	41
Ilustración 11. Partes de Diagrama PERT / Ilustración: asana.com	42
Ilustración 12. Mapa mental ventajas / Ilustración propia.	45
Ilustración 13. Línea del tiempo BIM / Ilustración propia.	51
Ilustración 14. “THE 3 C’S BIM” / Ilustración propia.	52
Ilustración 15. “Dimensiones BIM” / Ilustración propia.....	55
Ilustración 16. Softwares BIM / Ilustración propia.....	56
Ilustración 16.1. Softwares BIM / Ilustración propia.....	57
Ilustración 17. Niveles de desarrollo BIM (LOD) / Ilustración propia.....	59
Ilustración 18. Niveles de madurez BIM / Ilustración propia.	60
Ilustración 19. Esquema “Ventajas y desventajas BIM” / Ilustración propia.	61
Ilustración 20. Fases de implementación / Ilustración propia.	62
Ilustración 21. Diagrama de Ishikawa “Errores en la cuantificación de materiales” / Ilustración propia.	65
Ilustración 22. Fundamentos JIT / Ilustración propia.	69
Ilustración 22.1 Fundamentos JIT / Ilustración propia.	70
Ilustración 23. Teoría de los 5ceros / Ilustración propia.	71
Ilustración 24. Fundamentos JIT / Ilustración propia.	72
Ilustración 25. Proyecto CUMBRES HERRADURA / Ilustración internet Copyright © 2022 Cumbres Herradura.	76
Ilustración 26. Tabla de varilla corrugada / Ilustración internet Gerdadu Corsa.....	80
Ilustración 27. Armado de dados. / Ilustración propia: tomada en obra.	82
Ilustración 28 y 29. Armado de columnas. / Ilustración propia: tomada en obra.	82

Ilustración 30. Armado de muros. / Ilustración propia: tomada en obra.....	82
Ilustración 31. Cimbra en muros. / Ilustración propia: tomada en obra.....	83
Ilustración 32. Tendido de malla electrosoldada. / Ilustración propia: tomada en obra....	83
Ilustración 33. Colado y vibrado en losa. / Ilustración propia: tomada en obra.....	83
Ilustración 34. Detalles LOD 400. / Ilustración: Empresa 1.....	96
Ilustración 35. “De BIM a la realidad”. / Ilustración: Empresa 1.....	99
Ilustración 36. “Variación materiales de construcción”. / Ilustración: INEGI.....	106
Ilustración 37. “FODA Cumbres Herradura”. / Ilustración propia.....	107
Ilustración 38. “Temario capacitación”. / Elaboración propia.....	123
Ilustración 38. “Capacitación Cumbres Herradura”. / Ilustración propia.....	125
Ilustración 39. “Roles”. / Elaboración propia.....	130
Ilustración 40. “Diagrama de flujo - Presupuestación”. / Elaboración propia.....	131
Ilustración 41. “Diagrama de flujo - Administración de materiales”. / Elaboración propia.....	132
Ilustración 42. “Diagrama de flujo – Ejecución de obra”. / Elaboración propia.....	133
Ilustración 43. “Seguimiento de actividades”. / Fuente: CUMBRES HERRADURA.....	134
Ilustración 44. “Layout acomodo de materiales”. / Fuente: CUMBRES HERRADURA..	134
Ilustración 45. “Almacén de materiales”. / Fuente: CUMBRES HERRADURA.....	135
Ilustración 46. “Almacén de materiales-ANTES”. / Fuente: CUMBRES HERRADURA..	135

Índice gráficas.

Gráfica 1. Conocimiento BIM / Elaboración propia.....	90
Gráfica 2. Sabe de BIM que... / Elaboración propia.....	90
Gráfica 3. Uso de softwares. / Elaboración propia.....	91
Gráfica 4. Manejo de software. / Elaboración propia.....	92
Gráfica 5. Rango de edad. / Elaboración propia.....	116
Gráfica 6. Grado académico. / Elaboración propia.....	117
Gráfica 7. Profesión u oficio. / Elaboración propia.....	117
Gráfica 8. Experiencia laboral. / Elaboración propia.....	118
Gráfica 9. Manejo de software. / Elaboración propia.....	118
Gráfica 10. Existencia de metodologías en el proyecto. / Elaboración propia.....	119
Gráfica 11. Herramientas aplicadas en proyectos. / Elaboración propia.....	119
Gráfica 12. Implementación de herramientas. / Elaboración propia.....	120
Gráfica 13. Actividades que agregan valor. / Elaboración propia.....	120

Gráfica 14. Manejo de software. / Elaboración propia.	121
Gráfica15. Manejo de software. / Elaboración propia.	121
Gráfica 16. Manejo de software. / Elaboración propia.	122
Gráfica 17. Manejo de software. / Elaboración propia.	122
Gráfica 18. Reuniones semanales. / Elaboración propia.	137
Gráfica 19. Roles de obra. / Elaboración propia.	137
Gráfica 20. Evaluación comunicación. / Elaboración propia.	138
Gráfica 21. Mapeo de procesos. / Elaboración propia.	138
Gráfica 22. Eficiencia de los procesos. / Elaboración propia.	139
Gráfica 23. Actualización inventario. / Elaboración propia.	141
Gráfica 24. Abasto de material. / Elaboración propia.	142
Gráfica 25. Uso de layout. / Elaboración propia.	142

Resumen.

Un artículo publicado en la Revista Mexicana de la Construcción¹, sobre el estado actual de la Planeación y Control de Proyectos en las PYMES de Construcción, señala que, regularmente estos enfrentan problemas ocasionados por una administración deficiente, principalmente relacionados con el cumplimiento del tiempo de ejecución y con el suministro en tiempo de los materiales.

Así mismo, en la Revista de Ingeniería Civil², en un artículo publicado por el M.I. Esteban Figueroa³ menciona que, indudablemente las desviaciones de los proyectos en tiempo y costo se pueden atribuir a la falta de previsión, que se traduce a una planeación ineficiente.

Pero ¿Por qué prestar especial atención en el control de materiales?, como sabemos el costo de los materiales ha experimentado un crecimiento consecutivo durante los últimos meses y los altos precios continúan presionando al sector, según cifras del INEGI, la variación de los materiales a enero de 2023 en cemento y concreto fue del 16.70% y en varilla corrugada y alambazón de hasta el 7.9%, por lo tanto, de enero de 2022 - enero de 2023, la inflación de la industria de la construcción fue del 8.2%.

Incluso el Centro Nacional de Ingeniería de Costos ((CEICO), 2023)⁴ de la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC) analizó diversos prototipos de obra donde se encuentra la obra residencial con una inflación de hasta el 9.7% de enero de 2022 a enero de 2023.

Del mismo modo se buscó incentivar la adopción de BIM, ya que el 20 de septiembre de 2018, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público presentó la “Estrategia para la implementación del Modelado de Información de la Construcción (MIC)”, en México, para las obras de infraestructura federal, en otros países y que incluso se ha hecho obligatorio en proyectos públicos su uso desde el año 2016, en Reino Unido y Corea del Sur, en 2018

¹ González, J. S. Diagnóstico sobre la Planeación y Control de Proyectos en las PYMES de Construcción. Revista de la Construcción, 25.

² Figueroa, M.I Esteban. (Marzo de 2020). Colegio de Ingenieros Civiles de México, A.C. Obtenido de issuu.com/cicm_oficial/docs/ic606_final-m

³ Ingeniero civil de la Universidad Nacional Autónoma de México y tiene el grado de Master of Science con especialidad en Planeación y Administración de Infraestructura de la Universidad de Stanford.

⁴ (CEICO), C. N. (9 de febrero de 2023). CMIC. Obtenido de cmic.org.mx, 4.

para España y en países de América latina como Chile, Colombia y Argentina es obligatorio desde el 2020.

Por ello, actualmente las constructoras se ven desafiadas por mercados cada día más competitivos, lo que genera la necesidad de adquirir y actualizar los conocimientos sobre el desarrollo de nuevas metodologías que les permitan adaptarse a los cambios tecnológicos.

Una vez que se realizó el estudio del sistema, se definió el problema y con base en ello se le dio cuerpo a la investigación, por lo que el presente trabajo se estructuró de la siguiente forma:

Capítulo 1. Se encuentran las generalidades de la gerencia de proyectos.

Capítulo 2. Se estudiaron las diferentes técnicas y metodologías que en conjunto denominamos herramientas gerenciales para el control de obra, que nos permite identificar como ha ido evolucionando.

Capítulo 3. Ya con todas las aportaciones de la industria 4.0 nos adentramos a la metodología BIM, identificando sus ventajas y desventajas.

Capítulo 4. Se describe los aspectos de la filosofía Just In time para su aplicación.

Capítulo 5. Se presenta en términos generales, el caso de aplicación: CUMBRES HERRADURA.

Capítulo 6. Se realiza un Benchmarking donde se exponen los resultados para incentivar la adopción de BIM.

Capítulo 7. Se lleva a cabo la propuesta metodológica para la implementación de JIT.

Capítulo 8. Conclusiones y recomendaciones.



INTRODUCCIÓN

- Definición del problema.
- Objetivos.
- Alcance.
- Hipótesis.
- Justificación.
- Viabilidad.
- Metodología.
- Utilidad.

Introducción.

Definición del problema.

El presente estudio de caso tiene como objetivo principal incentivar la adopción de BIM e implementar la metodología Just In Time para la administración de materiales de obra civil en edificación vertical de estructura de concreto, a partir del análisis de los sistemas generales establecidos en la administración de materiales en la obra CUMBRES HERRADURA , la cual se encuentra en la etapa de cimentación superficial a un avance del 75%, el proyecto consta de 15 niveles, 5 sótanos y la estructura está conformada por elementos de concreto armado.

Uno de los principales problemas de la gestión de materiales en la construcción es la falta de organización, planeación, dirección y control, lo que afecta desde la calidad de los materiales, retrasos en la ejecución de obra, y la utilidad del costo total de la misma.

El no tener presentes y controlados estos problemas desde etapas tempranas, puede entorpecer la toma de decisiones sobre la dirección del proyecto incidiendo en deficiencias en la práctica habitual.

De acuerdo con (González, 2010)⁵ acerca del estado actual sobre la planeación y el control de los proyectos en la industria de la construcción, mencionan que regularmente estos, enfrentan problemas ocasionados por una administración deficiente, principalmente relacionados con el cumplimiento del tiempo de ejecución y con el suministro en tiempo de los materiales.

El estudio que realizaron se aplicó: 53% a microempresas, el 25% a pequeñas empresas y el 22% a medianas empresas.

En las empresas que no cuentan con un equipo especializado en planeación de proyectos, las actividades correspondientes las realiza el gerente general (58%) o por el personal que dirige la ejecución (42%); mientras que en las empresas que no cuentan con un equipo de control, las realiza el personal que dirige la ejecución (71 %) o por el gerente general (29%).

⁵ González, J. S. (2010). Diagnóstico sobre la Planeación y Control de Proyectos en las PYMES de Construcción. Revista de la Construcción, 25.

El 89% de las empresas que realizan la planeación manifestó estar satisfecha con el resultado de la planeación de proyectos que han llevado a cabo y el 87%, estar satisfecha con el control que han llevado a cabo.

Respecto a administración de los materiales de construcción, las empresas mostraron que el 59% de ellas, adjudican las responsabilidades de la gestión y elaboración de los programas de suministros al personal que dirige la ejecución, el 18% a un equipo especializado en planeación y el 14% a gerente general; mientras que el 37% del control del suministro de los materiales dice que es responsabilidad del personal que dirige la ejecución, el 22% de ellas se lo atribuye a un equipo especializado en control y solo el 15% al gerente general.

Finalmente, presentan el principal aspecto que las empresas consideran para planear el suministro de los materiales de construcción fue el tiempo que los diferentes proveedores tardan en suministrarlos y el riesgo de incumplimiento de los plazos de entrega.

Y el 67% manifestó que realiza la planeación del suministro de los materiales antes de iniciar la ejecución del proyecto.

Respecto a los resultados obtenidos de la planeación de la administración de los materiales; el 11% de las empresas manifestó que es frecuente que los materiales no estén listos para su uso, el 78% que solo algunas veces le ha sucedido y el 11% que pocas veces le ha ocurrido.

Podemos observar que la administración habitual de los recursos es realizada por un poco más de la mitad de las empresas, y el propósito principal de llevarlo a cabo es el cumplir con los requerimientos que los clientes imponen cuando el objetivo principal debería ser: maximizar la eficiencia en la administración de recursos.

En su mayoría las empresas aplican algunas herramientas administrativas y las que no también muestran satisfacción con los resultados que obtienen en la ejecución de sus obras, sin embargo, se puede observar que presentan problemas significativos por el desconocimiento de la implementación de sistemas metodológicos.

A continuación, se enlistan las causas más comunes de las deficiencias en la administración de recursos materiales, con base a la Ilustración 1:

1. Coordinación ineficiente.
2. Incompatibilidad de información administrativa y operativa.
3. Adjudicación de actividades mal definidas.
4. Desconocimiento de los procedimientos constructivos por parte del personal.
5. Informalidad de la administración contractual.
6. Inexistencia de un plan maestro para la planeación de proyectos.
7. Personal no capacitado o con desconocimiento de las funciones a realizar y objetivos a cumplir.
8. Mal manejo de materiales.
9. Implementación de metodologías con total desconocimiento de estas.
10. Falta de disposición del personal.
11. Rotación de personal.

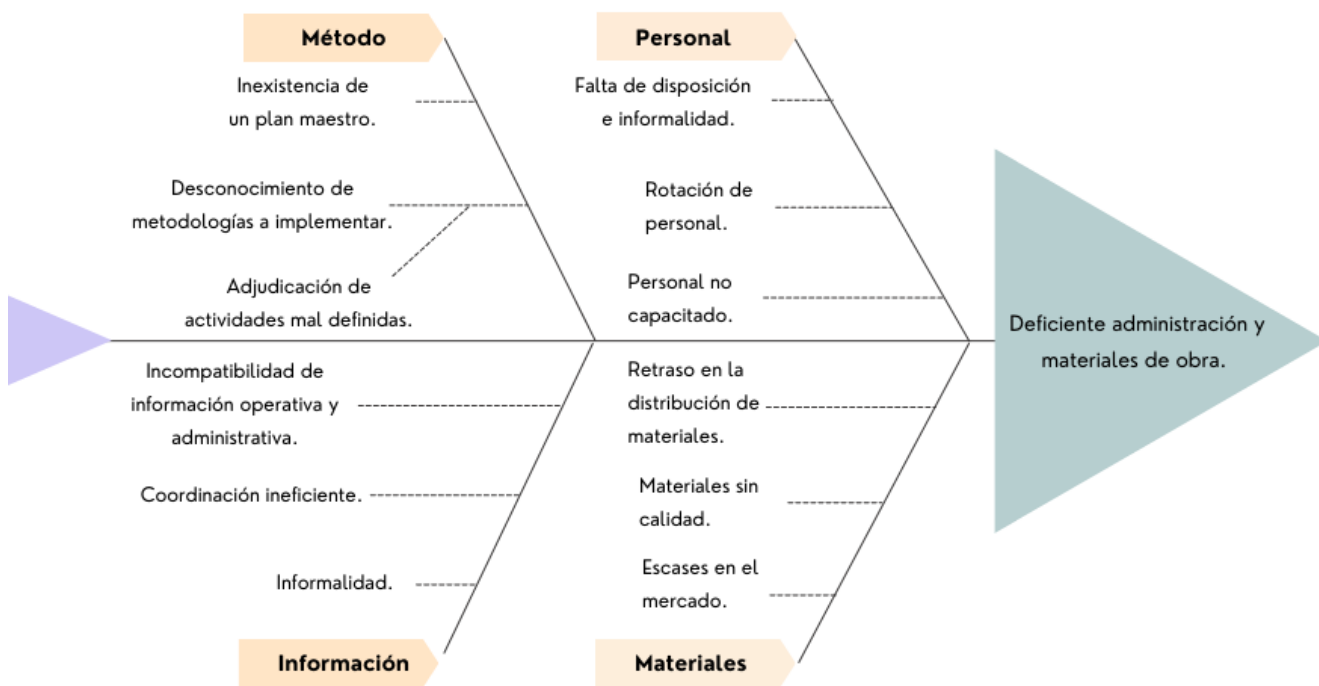


Ilustración 1. Diagrama de Ishikawa / Ilustración propia.

Objetivos.

Objetivo principal:

Proponer una metodología para implementar Just In time e incentivar la adopción de BIM para fortalecer las actuales prácticas de gerencia de proyecto para la administración de materiales en obra residencial: Caso CUMBRES HERRADURA.

Objetivos específicos:

- Generar los datos de la obra de la subestructura de concreto armado para la gestión de recursos materiales aplicando la metodología JIT.
- Reconocer los aspectos básicos relacionados con la administración de materiales al ejecutar la obra.
- Identificar los aspectos críticos desde la cuantificación del proyecto a la administración de materiales, que arrojan variaciones de lo planeado contra lo ejecutado. Impulsar la aplicación de la metodología BIM e implementando JIT en edificación residencial.

Alcance:

Describir los procesos de implementación de JIT y evaluar los beneficios de BIM, para lograr un control eficiente del manejo de materiales en obra residencial y analizar el impacto en el presupuesto programado para la estructura de concreto.

Hipótesis:

La implementación de JIT, reflejará un aumento considerable en la utilidad del desarrollo del proyecto.

Justificación:

En su libro *Planificación y Control de proyectos* de Alfredo Serpell B. y Luis Fernando Alarcón C.⁶ mencionan que, la transformación e integración de materias primas para crear bienes tangibles en la construcción se realiza por medio de una serie de operaciones relativamente complejas, por lo cual la actividad constituye una industria. Una de las principales fuentes de complejidad de la actividad de construir proviene del hecho de que se utilizan muchos tipos de recursos, y además éstos son usados en cantidades grandes (según sea la dimensión de la obra) aunado a que lo que va del 2023, el material para construcción como el acero y el cemento han ido en aumento, siendo una problema serio para el manejo de los recursos económicos, de tal manera que se buscan alternativas y aquí surge la necesidad de que las empresas constructoras cuenten con sistemas cuyo objetivo sea administrar adecuadamente los recursos económicos y materiales utilizados.

Según la Cámara Mexicana de Industria de la Construcción (CMIC)⁷ “Los materiales utilizados en la construcción han presentado un incremento en su precio, afectando los presupuestos que se tienen proyectados en el presente año (2023), así como a las obras que están en proceso de ejecución”.

La metodología que se propone logrará profundizar en las carencias que existen al no hacer una cuantificación adecuada de los materiales y la creación de un procedimiento ordenado con formatos para el fácil control de estos, demostrando así un aumento en las ganancias en tiempo y dinero para la empresa constructora.

Viabilidad:

La aplicación de la metodología a desarrollar es posible gracias al apoyo otorgado del Arq. Mario de León, que facilitará el acceso a la información de la obra en construcción CUMBRES HERRADURA, para llevar a cabo el análisis y la mejora de materiales. Se planea recabar los datos de proyecto con el jefe del área de proyectos (Arquitecto), como los planos estructurales para revisar y realizar las cuantificaciones de los materiales antes

⁶ Serpell B., A., & Alarcón C., L. F. (2003). *Planificación y control de proyectos*. (266 ed.). Santiago de Chile.: Universidad Católica de Chile. P.17.

⁷ La Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción es una institución de interés público, autónoma, con personalidad jurídica y patrimonio propio, que tiene como objeto, entre otros, representar, defender y fomentar los intereses generales de los industriales de la construcción.

mencionados, haciendo las comparativas con los datos que el residente de obra a cargo (Ing. Civil), proporcionará, así mismo la creación de formatos aplicables a las obras del mismo tipo; edificación de obra vertical residencial. Será un desafío que el residente de la obra a cargo, de resultados verídicos de sus números en obra, así como que tenga el tiempo necesario para atender los requerimientos de la información que se le solicite.

Metodología:

La metodología de la presente tesis consistió en la ubicación de una obra residencial vertical donde se evidenciarán los problemas en el control de materiales, posteriormente se realizó la investigación documental de las herramientas gerenciales para el control de la misma, por lo que inicialmente fue necesario llevar a cabo una evaluación de las condiciones específicas de la obra seleccionada, la cual es CUMBRES HERRADURA y se determinó la implementación de JIT en el proyecto.

En el capítulo 7, se busca tener un acercamiento con la gerencia del proyecto para la recopilación de datos y solicitar información específica del proyecto, así como la aplicación de encuestas al personal involucrado para comprender las deficiencias que se presentan en el control de materiales.

Posteriormente se presentará la propuesta metodológica para la implementación de Just In Time y finalmente en el capítulo 8, se desarrollará la evaluación de la cuantificación tradicional del caso de aplicación, a la par de las empresas que implementan BIM, con el fin de obtener los parámetros que ayuden a impulsar la adopción de dicha metodología.

Utilidad de la tesis:

Esta tesis pretende establecer la importancia y las ventajas que tiene el realizar el control de materiales en la estructura de concreto de obra vertical. La metodología propuesta se basa en el control del flujo de los materiales dentro de la obra, desde el momento de su cuantificación hasta su uso y manejo dentro del proceso constructivo, brindando una serie de pasos que permitan analizar los puntos críticos y errores comunes, a fin de conocer la cantidad de material cuantificado, lo requisitado, las unidades en existencia y evitar malos manejos y con ello pérdidas económicas.



CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

- 1.1 Antecedentes de la administración en la construcción.
- 1.2 Materiales de obra.
- 1.3 Administración de materiales en obra.
- 1.4 Deficiencias en la práctica habitual de la administración de obra en México.

1.1 Antecedentes de la administración en la construcción.

Para entender la administración se debe conocer la historia de esta disciplina, relacionarla con conocimientos actuales, así como comprender su significado. Por ello se define como:

“La **administración** es el proceso de planear, organizar, dirigir y controlar el empleo de los recursos organizacionales para conseguir determinados objetivos con eficiencia y eficacia”.⁸

Pensar en la administración de proyectos como una ciencia moderna es un error, pues sus inicios datan a finales del siglo XIX, con los proyectos de dependencias de gobierno de gran escala que fueron el impulso para tomar decisiones importantes y que se convirtieron en la base del proceso administrativo de los proyectos. Un ejemplo, es el primer ferrocarril transcontinental de Estados Unidos, su construcción comenzó en 1860. Los líderes del proyecto se encontraron con la tarea de organizar el trabajo de miles de trabajadores, el procesamiento y el montaje de cada elemento estructural.

Posteriormente, en los inicios de la década de 1960, las empresas constructoras y otras organizaciones comenzaron a observar las ventajas de organizar el trabajo en torno a proyectos de gran extensión. Este enfoque evolucionó a medida que las organizaciones comprendían la necesidad de que los equipos de trabajo se comunicaran y colaboraran entre sí, cada una de las áreas involucradas entre sí, para hacer posible su construcción.

La ejecución de un proyecto de construcción implica un gran número actividades, para transformar los recursos mediante el trabajo conjunto de diversas áreas; es por ello que los proyectos de construcción suelen ser tan complejos de administrar. Lo que hace a la administración tan indispensable, pues impacta directamente en la eficiencia de una empresa, pues su objetivo principal es planear, organizar, controlar y coordinar los recursos de la misma, con el fin de cumplir objetivos en tiempo y forma haciendo posible prever problemas y anticipar los riesgos que estarán presentes durante la ejecución de obra.

⁸ Chiavenato, I. (2001). Administración: teoría, proceso y práctica. McGraw Hill Interamericana. P. 3.

Sin embargo, podemos concluir que, actualmente se carece de cultura administrativa, en pequeñas y medianas empresas constructoras, de acuerdo con el diagnóstico sobre la Planeación y Control de Proyectos en las PYMES de Construcción⁹, que, aunque se lleva a cabo dentro de lo posible, como ingenieros civiles, arquitectos y especialistas en el área, debemos prestar especial atención en atender esta problemática.

1.2 Materiales de obra.

El uso de materiales en obra surge de la necesidad del ser humano de protegerse de sucesos meteorológicos, alrededor de 10, 000 a.C. se registró el uso de materiales naturales como la arcilla, madera, ladrillos de adobe para la construcción de casas.

Posteriormente se hace uso de los megalitos¹⁰ en tumbas y templos.

Con el paso del tiempo los asentamientos humanos alrededor del mundo fueron creciendo, dando origen a nuevas necesidades de construcción, por lo tanto, las construcciones evolucionaron en cuanto a forma, materiales y sistemas constructivos.

Pudiendo citar así, un sin fin de obras antiguas, que trascendieron en la historia por sus magníficos diseños y construcción, como lo son:

- La cultura egipcia con las pirámides de Guiza. (2560 a.C.).
- La cultura olmeca con las primeras ciudades de Mesoamérica. (1200 a.C.).
- La cultura griega con la ciudad de Acrópolis (776 a.C.).
- La cultura Romana con el coliseo Romano (750 a.C.).

Existe pues, amplia evidencia de la necesidad de construir de las diferentes culturas alrededor del mundo y que, hasta la fecha, esta permanece intacta; pero cada día innovando en el uso de nuevos materiales, para hacerlos, económicos, resistentes, estéticos y amigables con el ambiente.

⁹ González, J. S. (2010). Diagnóstico sobre la Planeación y Control de Proyectos en las PYMES de Construcción. *Revista de la Construcción*, 25.

¹⁰ Refugio prehistórico realizado con uno o varios bloques de piedra, de gran tamaño y sin labrar.

Pero ¿Qué son los materiales de obra?

Los **materiales de obra** son aquellos productos y/o materias primas que en conjunto hacen posible la construcción de obras de infraestructura.

El uso de materiales en proyectos de construcción son de suma importancia pues definen el procedimiento constructivo, así como todos sus requerimientos a lo largo de su ejecución.

La diversidad de materiales y materia prima empleados en la construcción es demasiado extensa. A continuación, clasificaré los materiales de acuerdo sus propiedades:



Ilustración 2. Clasificación de materiales de construcción / Ilustración propia.

1.3 Administración de materiales en obra.

El gran problema que enfrentan las constructoras en la actualidad es el manejo de sus recursos económicos, humanos y materiales, dando origen a la necesidad de implementar y desarrollar herramientas administrativas que las ayuden a asegurar el manejo de estos recursos y que proporcione a los integrantes del equipo de trabajo la estructura, la flexibilidad y el control necesarios para alcanzar resultados óptimos a tiempo y dentro del presupuesto, González, J. y Tirado, I.¹¹ mencionan que “el 54.51% del total de los costos directos en obras de edificación de tamaño medio y pequeño, corresponden a los materiales”, de aquí que la utilidad de una empresa constructora está determinada en gran medida por la efectividad con la que se administran estos recursos.

La administración de materiales en obra desempeña un papel importantísimo para la ejecución de un proyecto pues establece la ruta a seguir durante un determinado período para poder alcanzar los objetivos propuestos, de esta forma, siguiendo los pasos nos permitirá disponer de un plan a futuro, contar con acciones a tomar en cada uno de los escenarios previstos de acuerdo con la actividad, tener objetivos más claros a corto, largo y mediano plazo y optimizar los recursos al máximo.

En un estudio realizado en el sureste de México por Alcudia C.¹², se reportó que el 67% de las empresas manifestaron que elaboraban sus programas de materiales antes del inicio de la ejecución de la obra; sin embargo, en el mismo estudio se pudo deducir que el 71 % de las empresas no analizaban a detalle los procesos constructivos para obtener dichos programas, por lo que se podría suponer que en la mayoría de los casos la administración de los materiales fue deficiente.

La administración de materiales en obra es un sistema basado el proceso administrativo, lo que lo hace una forma tradicional de coordinar y organizar diferentes proyectos, esto implica una serie de pasos que se ejecutan progresivamente a la par para que avance el proyecto.

El análisis de este sistema tiene como propósito identificar las etapas que se efectúan para disponer de los materiales, las actividades que realizan y el tiempo en el que se realizan, a

¹¹ González, J. y Tirado, I. (1998). Diagnóstico sobre la administración de materiales de empresas constructoras de viviendas de interés social. Ingeniería, Revista Académica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán. Vol. 2, Núm. 3. Mérida, México, pp. 21-32.

¹² Alcudia, C. (2002). Propuesta de un Sistema Integral de Planeación y Control de Proyectos de Construcción en Yucatán, Tesis inédita de Maestría, UADY, Mérida, México.

fin de configurar un sistema de relaciones que evidencie las actividades principales que se requieren para la conclusión del proyecto.

A continuación, se muestra las etapas de la administración tradicional de los proyectos:

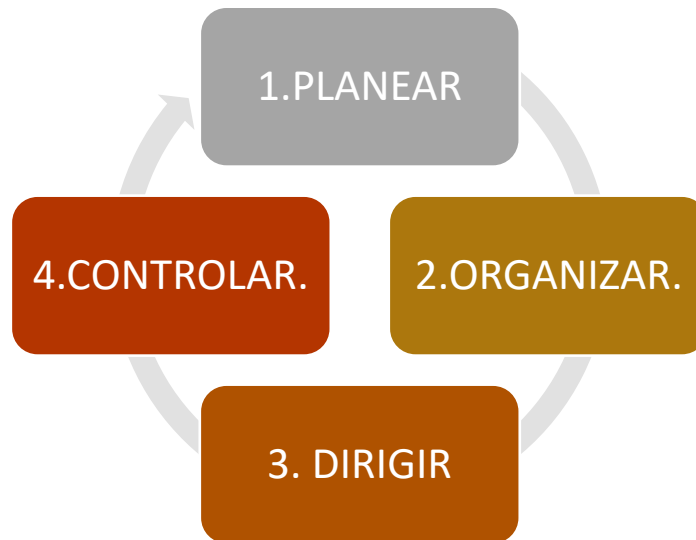


Ilustración 3. Etapas de la administración tradicional de los proyectos / Ilustración propia.

La función de la administración se precisa mediante el proceso administrativo, es decir, son actividades imprescindibles que no deben omitirse, pero si pueden mejorar y adaptarse para completar las necesidades de cualquier tipo de proyecto al que queramos aplicarlo; siempre y cuando se cuente con los recursos necesarios para lograr nuestros objetivos propuestos. Esto permitirá a la empresa:

- 1) Identificar y administrar riesgos y oportunidades.
- 2) Definir los objetivos y el alcance del proyecto.
- 3) Desarrollar e implementar herramientas gerenciales.
- 4) Administrar los recursos eficientemente.
- 5) Monitorear y evaluar los avances de proyecto.
- 6) Evidenciar problemas del sistema para la mejora continua.
- 7) Promover el aprendizaje en todas las etapas.

De igual forma se puede lograr la integración y coordinación del personal que lo está llevando a cabo y reducirá el número de decisiones improvisadas y precipitadas que puedan perjudicar a la empresa.

1.4 Deficiencias en la práctica habitual de la administración de obra en México.

Como se mencionó anteriormente las obras de infraestructura en México se vuelven complejas de administrar debido a la cantidad de recursos que se manejan y al flujo de información; lo que vuelve el aseguramiento de su término una gran preocupación, pues el concluir la obra cumpliendo con las especificaciones del proyecto en calidad y lograr que los costos sean los previstos, así como que el plazo de ejecución esté dentro del programa establecido, afecta directamente la productividad del proyecto.

Entendiendo **productividad** de acuerdo con Economipedia¹³:

“Medida económica que calcula cuántos bienes y servicios se han producido por cada factor utilizado (trabajador, capital, tiempo, tierra, etc.) durante un período de tiempo determinado”.

El principal objetivo de medir la productividad en una obra es conocer la eficiencia de las actividades administrativas y operativas, así como el uso de recursos.

Definiendo la **eficiencia** como la obtención del máximo rendimiento utilizando el mínimo de recursos posibles.

Es decir, cuanto más se optimicen los recursos cumpliendo con las características del proyecto, mayor será la productividad y, por tanto, mayor será la eficiencia.

Existen diversos factores que afectan la productividad en la construcción, pero lo importante es identificar cuáles son los que más impacto tendrán en esta, para poder mitigar su efecto.

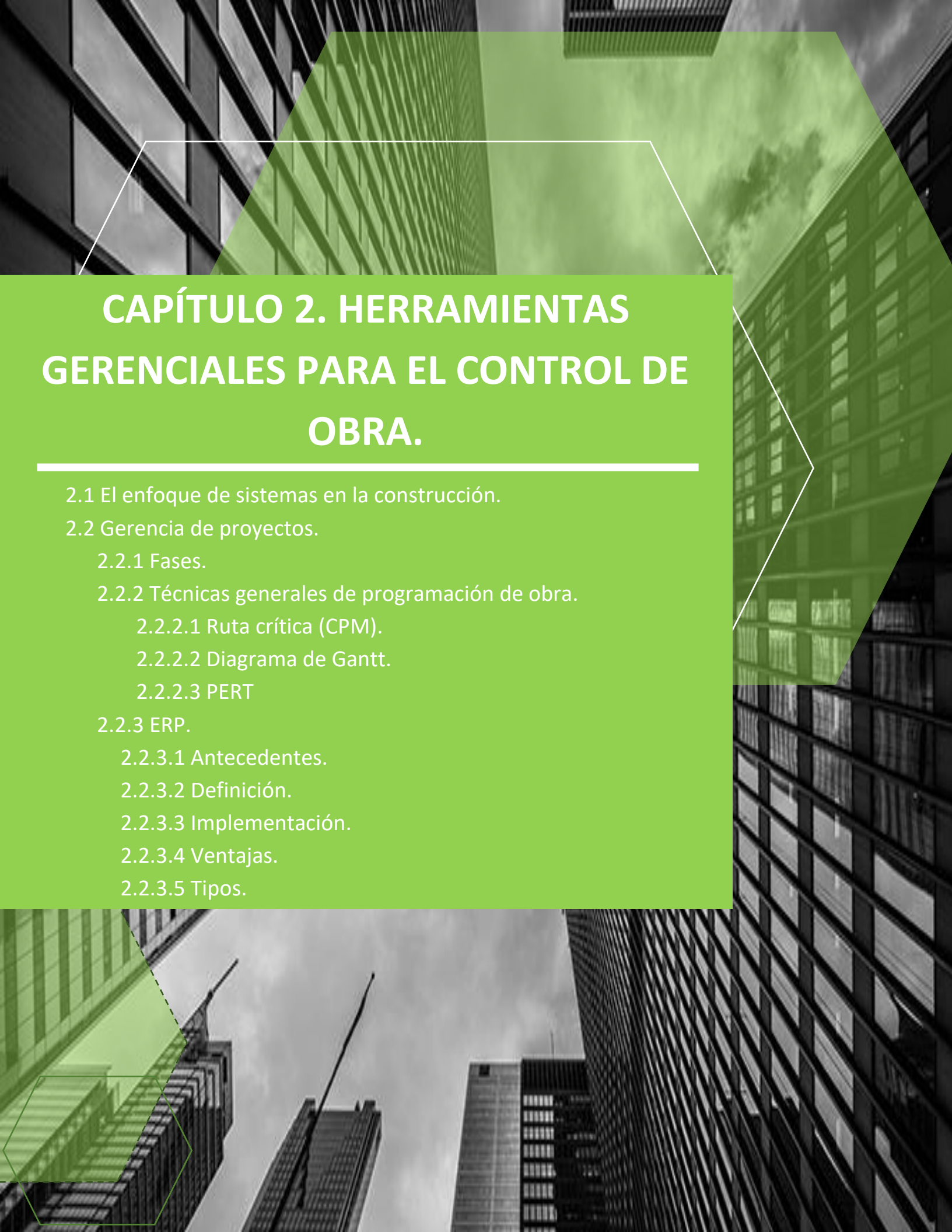
¹³ Portal web de economía en Internet, dedicado a la educación económica y financiera. <https://economipedia.com/>

De acuerdo con “*The Economist*”¹⁴, alrededor del 90% de los proyectos de infraestructura en todo el mundo cuestan más de lo previsto inicialmente o se entregan con algún tipo de retraso.

Estos datos, sumados a otros estudios expuestos en la definición del problema, prueban cómo la falta de comunicación y definición de actividades afectan el trabajo, evidencian el gran reto para el sector: buscar más productividad y reducir el desperdicio, que llega al 57% en algunos casos.

Actualmente existen diversas herramientas gerenciales para poder identificar los problemas que afectan la administración actual, así como para proponer estrategias para mejorar los procesos de las diferentes etapas de los proyectos, las cuales serán desarrolladas en la presente tesis.

¹⁴ Periódico inglés especializado en economía, finanzas y negocios.



CAPÍTULO 2. HERRAMIENTAS GERENCIALES PARA EL CONTROL DE OBRA.

2.1 El enfoque de sistemas en la construcción.

2.2 Gerencia de proyectos.

2.2.1 Fases.

2.2.2 Técnicas generales de programación de obra.

2.2.2.1 Ruta crítica (CPM).

2.2.2.2 Diagrama de Gantt.

2.2.2.3 PERT

2.2.3 ERP.

2.2.3.1 Antecedentes.

2.2.3.2 Definición.

2.2.3.3 Implementación.

2.2.3.4 Ventajas.

2.2.3.5 Tipos.

2.1 El enfoque de sistemas y la gerencia de proyectos de obras de infraestructura.

El enfoque de sistemas nos muestra un camino sintético y ordenado para la solución de problemas en las diferentes áreas de la ciencia y tecnología, en este caso para el área de la construcción, pero;

¿Qué es un **sistema**? Un sistema es un conjunto de elementos que están relacionados entre sí y tienen un objetivo en común.

Cada proyecto particularmente tendrá su propio esquema de procesos, pero las actividades de gerencia de proyecto son estándar y aplicables a cualquier tipo de proyecto, estas actividades son las etapas de inicio, planificación, ejecución, control y cierre del proyecto.

Al iniciar un proyecto, existe el planteamiento de un objetivo que se quiere cumplir, este debe ser resuelto de manera eficaz para satisfacer las necesidades requeridas, pero no puede llevarse a cabo por sí solo, necesita el apoyo de otros sistemas, es decir nuestro sistema tendrá que descomponerse en otros elementos (subsistemas) y estos a su vez realizarán las actividades de acuerdo a la ideología del enfoque de sistemas, aplicándose de manera organizada, identificando el problema, planteando objetivos, analizando, diseñando soluciones, controlando los resultados del modelo final, proponiendo mejoras y finalmente dejar que el proyecto opere y cumpla el objetivo principal.

Si comenzamos a desarrollar los proyectos de construcción como sistemas, los cuales cuentan con componentes que deben funcionar correctamente y realizar la función para la que fueron diseñados y así cumplir los objetivos establecidos del sistema (proyecto); nos brindaría las pautas generales para pensar con claridad y de forma organizada para la implementación de cualquier metodología para el control de materiales, que, de acuerdo con la RAE¹⁵, una **metodología** es:

“Conjunto de métodos que se siguen en una investigación científica o en una exposición doctrinal”.

¹⁵ La Real Academia Española (RAE) es una institución cultural dedicada a la regularización lingüística entre el mundo hispanohablante. www.rae.es

A continuación, se muestra un esquema de las etapas en la aplicación de la Ingeniería de sistemas:



Ilustración 4. Etapas del enfoque de sistemas/ Ilustración propia.

De acuerdo con Jenkins¹⁶ describiré brevemente las 4 etapas:

Análisis: se hace un análisis del problema preguntándose ¿Qué está pasando?, ¿Por qué está pasando? ¿Podría haber una mejora?; implica las siguientes etapas:

1. Reconocimiento y formulación del problema.
2. Organización del proyecto de Sistemas.
3. Definición del sistema.
4. Definición del sistema más amplio del que forma parte el sistema objeto de estudio.
5. Definición de los objetivos del sistema más amplio.
6. Definición de los objetivos del sistema objeto de estudio.
7. Definición del criterio económico global.
8. Recopilación de información y datos.

¹⁶ Jenkins, G. A. (s.f.). The Systems Approach. P. 34.

Diseño: el entorno del sistema futuro tiene que ser pronosticado, se debe construir un modelo cuantitativo y usarlo para simular o explorar diferentes formas de operar el sistema, finalmente elegir el sistema o sistemas que de algún modo cumplen con las necesidades del proyecto y pueden considerarse como “los mejores” y con ello optimizar el sistema.

1. Previsión.
2. Modelismo y simulación.
3. Mejoramiento.
4. Control.
5. Fiabilidad.

Implementación: Se deben presentar los resultados del estudio del sistema y solicitar la aprobación para su implementación, posterior a construir el sistema será necesario comprobar la fiabilidad del rendimiento del sistema:

Operación: Se llegará a un punto donde será necesario entregar el sistema creado a las personas asignadas para operarlo y así mismo evaluar la eficiencia del sistema operativo y de no resultar satisfactorio deberá ser re-optimizado.

1. Operación inicial. ¿Se han hecho planes adecuados para la puesta en marcha? ¿Se han solucionado todos los inconvenientes operativos?
2. Evaluación retrospectiva. ¿El rendimiento real es el previsto en la etapa de diseño?
3. Funcionamiento mejorado. ¿Es necesario volver a optimizar el sistema, ya sea reentrenándolo o rediseñándolo? ¿Cómo se logra mejorarlo?

2.2 Gerencia de proyectos.

Para comenzar a desarrollar este tema, es importante definir ¿Qué es un proyecto? De acuerdo con el PMI¹⁷ (Project Management Institute), la Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (PMBOK)¹⁸.

“Un **proyecto** es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único”.

Todo proyecto tiene un resultado deseado, se desarrolla como un principio y una determinación definidas y para ello es necesario desarrollar una investigación, puede ser algo tangible como una obra o algo intangible como la reorganización de una obra.

Así mismo podemos definir la **Gerencia de proyectos** (también conocido como **Project Management** por sus siglas en inglés) como: conjunto de actividades articuladas para alcanzar los objetivos establecidos con ciertas características (calidad) en un plazo y a un costo determinado.

Es decir, se basa en definir, ejecutar y vigilar el cumplimiento de los objetivos que deben ser, medibles, alcanzables y realistas.

Hoy en día, en la mayoría de las empresas (sin importar su tamaño ni el sector donde se desarrollan) realizan gerencia de proyectos, ya que como se mencionó anteriormente un proyecto puede ser desde un trabajo específico (algo tangible como una obra) hasta optimizar un proceso dentro de la misma; pues básicamente busca administrar todos los recursos disponibles que intervienen para el cumplimiento de los objetivos, lo cual implica la interacción de recursos humanos, económicos y materiales.

¹⁷ Project Management Institute es una organización sin fines de lucro que asocia a empresas e instituciones relacionadas con la gestión de proyectos.

¹⁸ Project Management Body of Knowledge; o Cuerpo de Conocimiento de Gestión de Proyectos, en español, es un documento creado por el PMI que contiene procesos, prácticas recomendadas, terminologías y directrices para una gestión de proyectos exitosa.

2.2.1 Fases de la gerencia de proyectos.

Los proyectos se dividen en fases con la finalidad de hacer más eficiente la administración, cada una se considera completa cuando finaliza la producción de entregables, entendiendo como entregables los bienes o servicios definidos y verificables que se dan durante el proyecto (un estudio de factibilidad, diseño, construcción, operación y mantenimiento y desmantelamiento).

De acuerdo con el (PMBOK)¹⁹, la gerencia de proyectos se divide en 5 fases:

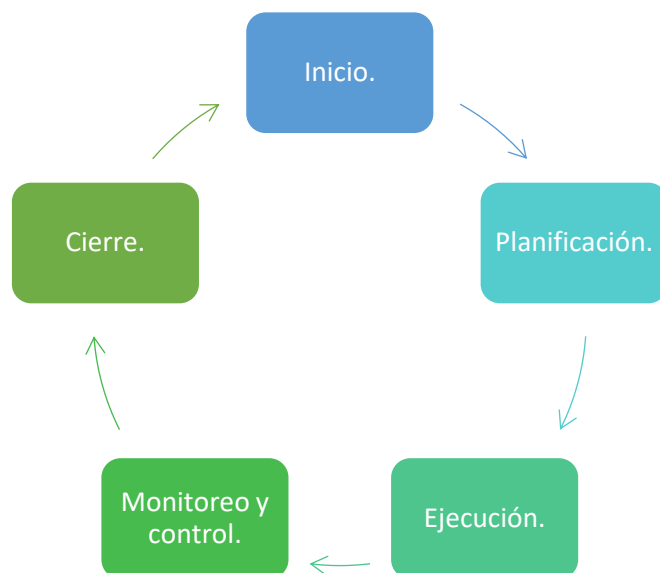


Ilustración 5. Fases de la gerencia de proyectos/ Ilustración propia.

Inicio: Definir los alcances, es decir la determinación clara, sencilla y concreta de los objetivos que se intentarán alcanzar, a lo largo del desarrollo del proyecto en cuestión, cuyo cumplimiento generará la culminación exitosa del mismo.

Planificación: Definir las actividades a realizar, establecer indicadores claves de desempeño (KPI's)²⁰ y establecer los recursos necesarios para hacer posible su ejecución,

¹⁹ Project Management Body of Knowledge; o Cuerpo de Conocimiento de Gestión de Proyectos, en español, es un documento creado por el PMI que contiene procesos, prácticas recomendadas, terminologías y directrices para una gestión de proyectos exitosa.

²⁰ Key Performance Indicator (Indicador clave de actuación).

es decir programar actividades, con la ayuda de diagramas de Gantt, PERT, ruta crítica, etc.

Ejecución: Es la realización de todas las actividades previstas en la fase de planeación.

Control: La supervisión frecuente y sistemática del proyecto es fundamental para garantizar el éxito del proyecto, es decir, dar seguimiento al proyecto para identificar desviaciones y corregirlas eficientemente. Es un proceso continuo y permite prever escenarios que impacten positiva o negativamente.

Cierre: Al finalizar el proyecto se debe evaluar y verificar que los objetivos hayan sido cumplidos satisfactoriamente.

Como sabemos, el hecho de llevar a cabo la planeación de un proyecto no da por hecho que este concluirá satisfactoriamente o que no habrá desviaciones durante su ejecución, pues no sirve de nada tener un plan si no se gestionan los recursos de manera eficiente, por ello la importancia de revisar continuamente los avances del proyecto, reevaluando y reajustando, dando oportunidad a la mejora continua.

Hablar de la gerencia de proyectos es hablar de filosofías que orientan la gestión, tecnologías y métodos que apoyan la implementación de sus principios, así como la creación de una cultura que agiliza y simplifica los procesos de calidad, asegurando la creación de valor a los proyectos.

Teniendo las siguientes:

- Just In Time.
- Lean Construction.
- Six Sigma.
- Mejora continua.
- BIM (Building Information Modeling).

Just In time: Es una metodología originalmente creada para la organización de la producción cuyo objetivo es el de contar únicamente con la cantidad necesaria de producto, en el momento y lugar justo, eliminar cualquier desperdicio o elemento que no aporte valor.

Se trata de un sistema de sencilla definición, pero de compleja aplicación ya que requiere de una gran coordinación y organización entre todos los elementos que interactúan el sistema; por lo que en el Capítulo 4 se abundará sobre el tema basado en la administración de los materiales.

Lean Construction:

Lean construction tiene su origen en la metodología Lean Manufacturing²¹, que nació en Japón, gracias a Toyota. En 1950 la empresa vio que Japón requeriría construir coches pequeños y de bajo costo, por lo tanto, estableció las bases del nuevo sistema de gestión Just in Time, que formulaba un principio muy simple: “producir solo que se requiere y cuando el cliente lo solicite”.

Aunque la metodología se desarrolló inicialmente para la industria automotriz, Lean se aplica en diferentes sectores industriales, pues como sabemos el mercado es cada vez más competitivo y las empresas necesitan optimizar sus recursos y cumplir sus objetivos, por tanto, Lean Construction busca una mayor organización en la construcción, con procesos bien definidos y reduciendo costos.

Pero ¿Qué es **Lean construction**?, de acuerdo con Lean Construction Institute (LCI)²²:

“Es un enfoque basado en la gestión de la producción para la entrega de un proyecto
- una nueva manera de diseñar y construir edificios e infraestructuras”.

Entendiendo entonces que es una filosofía que está basada en la gerencia de proyectos de construcción, siguiendo los principios de la mejora continua y el Lean Manufacturing (como

²¹ Lean Manufacturing o Lean Production es una metodología de gestión de trabajo.

²² LCI es una creada en 1997 con el propósito es transformar el entorno de diseño y construcción. leanconstruction.org

se mencionó anteriormente) y tiene como **objetivo principal** la mejora continua; minimizar las pérdidas y maximizar el valor del producto final, a partir de la aplicación de técnicas que incrementan la productividad de los procesos de construcción, y eliminar los desperdicios (todo aquello que no agrega valor al producto final).

Principios:

Esta filosofía implementa una serie de métodos y herramientas para el funcionamiento del sistema, donde busca:

- Eliminar pérdidas por retrasos e ineficiencias en los procesos.
- Prevenir y eliminar fallas, interrupciones y pérdidas de producción.
- Buscar siempre la perfección y la calidad.

Además de estas herramientas, considera 5 principios para el correcto control y desarrollo del sistema los cuales fueron definidos por James P. Womack²³ y Daniel T. Jones²⁴:



Ilustración 6. Principios de Lean Construction / Ilustración propia.

²³ Licenciado en Ciencias Políticas (Universidad de Chicago), M. en Sistemas de Transporte (Harvard) y Dr. en Ciencias Políticas por el MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts).

²⁴ Fundador y presidente de la Lean Enterprise Academy y máxima referencia mundial en la aplicación del sistema lean en la gestión empresarial.

Mejora continua:

El inicio de la filosofía Kaizen o mejora continua, data en los 50's cuando el sistema de producción de Toyota cambió para enfocarse en un sistema de gestión de mejora continua que optimizara procesos productivos a partir del trabajo en equipo. Con ello lograron una mejora de los estándares productivos al eliminar actividades que añadían costo, pero no valor al producto, a los trabajadores y al cliente.

¿Qué es la **mejora continua**?

Según Masaaki Imai²⁵:

“La mejora continua es un proceso basado en el trabajo en equipo y orientado a la acción, que promulga que el camino de mejora hacia la perfección es propiedad y debe ser conducido por todos los individuos de la organización”.

Así mismo Deming²⁶ (1989) refiere que la administración de la calidad total requiere de un proceso constante que será llamado mejoramiento continuo, donde la perfección nunca se logra, pero siempre se busca.

W. Edwards Deming es uno de los creadores del concepto de mejora continua y del **círculo de Deming** (también conocido como espiral de mejora continua o PDCA, por sus siglas en inglés, Plan, Do, Check y Act) que es un sistema donde busca la optimización constante de sus procesos y su característica principal es que es cíclico, de manera que cada uno de los pasos sustenta al siguiente, y así sucesivamente.

La aplicación de las siguientes 4 etapas permite la reevaluación de los procesos asegurando la mejora continua:

²⁵ Teórico de la organización japonesa y consultor de gestión, conocido por “Kaizen: La clave del éxito competitivo de Japón” (McGraw Hill), 1986.

²⁶ Fue un estadístico estadounidense, profesor universitario, autor de textos, consultor y difusor del concepto de calidad total.

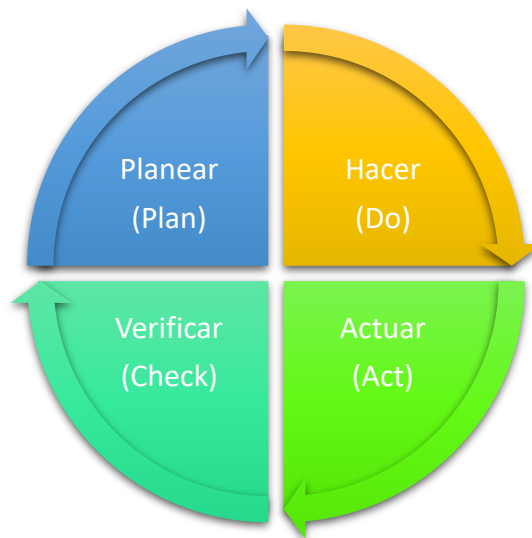


Ilustración 7. Círculo Deming / Ilustración propia.

- **Planificar** una meta con objetivos realistas, dependiendo de lo que queramos alcanzar.
- **Hacer** todos los días pequeñas actividades que nos acerquen cada vez más a la meta.
- **Verificar** nuestro desempeño y verificar si estamos cumpliendo con los objetivos.
- **Actuar** dependiendo de los cambios alcanzados, dirigiendo nuestros esfuerzos hacia el ciclo de mejora continua.

Six Sigma.

Six Sigma es un término adoptado por Bill Smith²⁷ de Motorola en 1979, así fue como la compañía nombró su propuesta de reducción radical de defectos en los productos.

Comprende todo un sistema donde se da importancia a establecer metas conforme a los requisitos del cliente, la medición estadística de los resultados, la reingeniería, el trabajo en equipo y la mejora continua.

²⁷ Padre de Six Sigma, vicepresidente y administrador senior de control de calidad en el Land Mobile Products Sector en Motorola en 1987.

Entonces podemos definir **Six Sigma** como:

Una metodología que busca la reducción de la variabilidad a través de la desviación estándar para alcanzar un nivel de defectos menor o igual a 3.4 defectos por millón de oportunidades.

Es decir, si un proceso no puede ajustarse a este criterio, se vuelve a analizar, se hacen las modificaciones correspondientes y se prueba para observar si existen mejoras. Si no se encuentra ninguna, el proceso se reanaliza, se modifica el sistema, y se prueba otra vez. Se repite este ciclo hasta que se observa una mejora en las estadísticas.

Una vez que se encuentra una mejora, se documenta y las mejoras aplicadas se difunden para que se pongan en práctica en el nuevo proceso de ejecución y reduzcan sus defectos a menos de 3.4 unidades por millón de oportunidades.

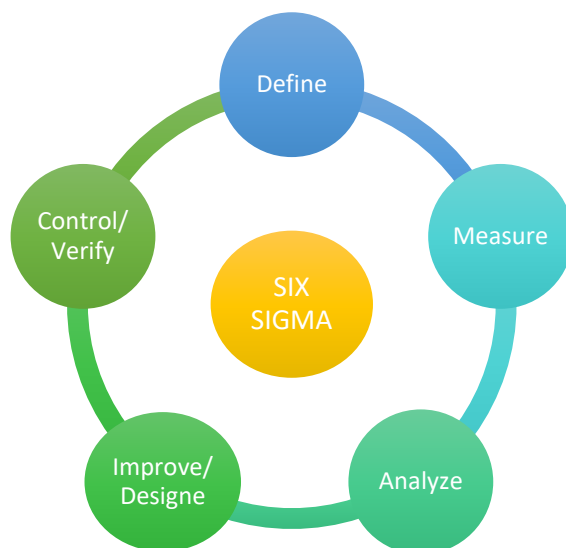


Ilustración 8. Ciclo Six Sigma / Ilustración propia.

La metodología conforma un modelo de gestión de calidad que también se conoce como DMAIC, siglas de las palabras en inglés: define, measure, analyze, improve y control (definir, medir, analizar, mejorar y controlar). Para el six sigma de diseño, solo intercambiamos la mejora por el diseño y el control por la verificación.

A continuación, se describe brevemente la fase a aplicar en cada proceso:

- 1. Define (Definir):** Identificar y documentar el proceso a mejorar, así como el problema; posteriormente se determinan los objetivos y el alcance del proyecto.
- 2. Measure (Medir):** cada cualidad que sea relevante para el resultado del proceso se examina para evaluar su rendimiento actual.
- 3. Analyze (Analizar):** analizar e interpretar los resultados obtenidos, se identifican los motivos y la cadena causal del problema.
- 4. Improve (Mejorar):** Implementar mejoras al proceso de acuerdo con los resultados, obtenidos en la fase anterior.
- 5. Control (Controlar):** el proceso modificado se supervisa mediante una evaluación estadística para garantizar una mejora sostenible.

2.2.2 Técnicas generales de programación de obra.

Las herramientas para planear una obra se encargan de estructurar y organizar las actividades que se tiene que realizar en el proyecto, determinando su duración y el orden de ejecución de las mismas, a su vez las herramientas o técnicas para programar una obra, dan orden a estas actividades, de manera que se puedan identificar las relaciones lógicas entre ellas, determinando los períodos tiempo para su ejecución de inicio a fin, permitiéndonos identificar las actividades críticas así como sus holguras.

La programación debe ser coherente con los objetivos definidos en la etapa de planeación y respetar las restricciones existentes (recursos disponibles, costos, tiempos). Esta a su vez, nos permite realizar actividades extraordinarias, que son comunes en el día a día de las construcciones, tradicionalmente el programa del proyecto ha servido para describir en detalle el alcance, procedimiento y secuencia de las actividades requeridas para ejecutarlo; ofrece también el plan contra el que se comparan los avances y asegurar el cumplimiento de las metas intermedias del proyecto.

Actualmente, este también proporciona la base legal con la que se evalúan los potenciales impactos en tiempo y costo de cambios o retrasos del proyecto. Para la administración de estos recursos se hace uso de diversas técnicas de programación que a continuación se explican.

2.2.2.1 Método de la Ruta crítica (Critical Path Method).

El método de la ruta crítica fue creado en 1950 por James E. Kelley y Morgan R. Walker, quienes buscaban formas de reducir los costos asociados con los cierres y reinicios de plantas, causados por programaciones ineficientes. Se trata de una técnica que nos permite analizar, planificar y programar proyectos complejos o no; identificando las tareas necesarias para concluir un proyecto y determinar cuánta holgura o flexibilidad existe en el cronograma.

Requiere enumerar todas las actividades que deben terminarse para concluir un proyecto satisfactoriamente, el tiempo que tomará realizar cada actividad y las dependencias entre éstas, ya que la ruta crítica determina la duración del proyecto y cualquier actividad que afecta directamente a la fecha de término planeada.

De acuerdo con el (Project Management Institute Inc., 2017)²⁸, la **ruta crítica** es:

“La secuencia de actividades que representa el camino más largo a través de un proyecto, lo cual determina la menor duración posible del mismo”.

Esto nos permite saber cuál es la mejor manera de estructurar la programación del proyecto para garantizar el control, la entrega en tiempo, optimizar costos y recursos mediante la planeación y programación de los diferentes componentes de una obra.

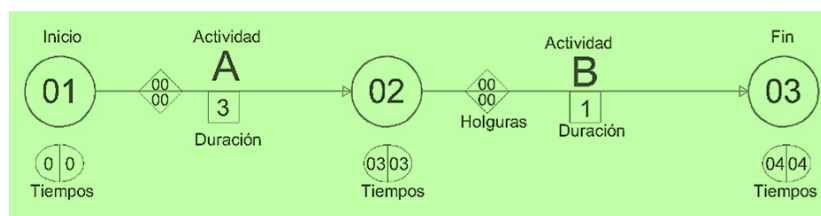


Ilustración 9. Ruta crítica / Ilustración propia.

²⁸ Project Management Institute es una organización sin fines de lucro que asocia a empresas e instituciones relacionadas con la gestión de proyectos.

2.2.2.2 Diagrama de Gantt.

El diagrama de Gantt fue creado en el año 1910 por el ingeniero Henry L. Gantt, quien buscaba una técnica gráfica que le ayudará a proyectar la programación para la planificación de la construcción de barcos en los tiempos de la Primera Guerra Mundial.

El **diagrama de barras o de Gantt** es:

Un gráfico de barras horizontales que se usa para visualizar el cronograma de un proyecto.

Este gráfico cuenta con un eje horizontal donde irá el calendario o la escala de tiempo definido en horas, días, semanas, meses, años (de acuerdo con los requerimientos del proyecto). En el eje vertical van enlistadas las actividades a ejecutar, a cada actividad corresponde una línea horizontal, donde su longitud es proporcional a su duración.

Este diagrama es muy usado para realizar la programación habitual de las obras en México pues nos permite tener un panorama del programa inicial del proyecto de manera práctica y precisa, así como asignar recursos, realizar ajustes, monitorear e informar el progreso visualizándolo en forma de “calendario”; pues todo se describe visualmente y se puede observar inmediatamente lo que debe ejecutarse.



Ilustración 10. Diagrama de Gantt / Ilustración propia.

2.2.2.3 PERT (Program Evaluation and Review Technique).

El método Program Evaluation and Review Technique (PERT), comenzó a desarrollarse en 1957 (años después del CPM). Esta técnica se desarrolló en la Oficina de Proyectos Especiales de la Armada de Estados Unidos, para llevar a cabo una planeación integral y un sistema de control confiables para el programa de misiles balísticos Polaris.

El **Diagrama PERT** es:

Es una representación gráfica de las relaciones que se establecen entre las actividades y dependencias de las mismas.

Por tanto, es una herramienta estadística que nos permite analizar e identificar las actividades e hitos (acción que marca un cambio o una etapa significativa en un proyecto), para tomar decisiones de acuerdo con la secuencia de las actividades y sus fechas límite.

Este método puede confundirse con el CPM, pero la principal diferencia, es que el diagrama PERT es usado cuando se quiere determinar el tiempo necesario para finalizar un proyecto, es decir es determinístico (hacen uso de fórmulas matemáticas para determinar la duración de sus proyectos) y el CPM es aleatorio.

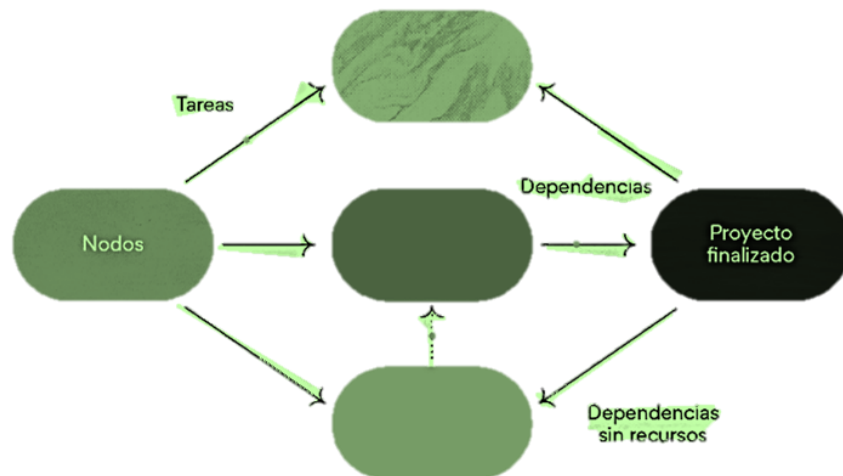


Ilustración 11. Partes de Diagrama PERT / Ilustración: asana.com

2.2.3 ERP.

2.2.3.1 Antecedentes.

A finales de la década de los años 40 y 50, en el ejército de Estados Unidos surge la necesidad de gestionar sus actividades para organización y provisión, por lo que desarrolló programas informáticos, pero no disponían de la tecnología necesaria para la aplicación en la industria manufacturera, sin embargo, este sentó las bases de los ERP.

Posteriormente entre 1970 y 1980, se desarrollan sistemas para gestionar la producción y los procesos de las empresas, “Planificación de requisitos materiales” o MRP, y consecutivamente llega el sistema de planificación de recursos manufactureros o la segunda parte del MRP.

En 1990, el MRP o ERP ya es funcional para controlar inventarios, producciones y gestiones administrativas.

En el 2000, Gartner²⁹, define ERP como un producto terminado.

2.2.3.2 Definición.

Actualmente muchas empresas buscan la planificación de recursos empresariales haciendo uso de un sistema ERP (Enterprise Resource Planning o Planificación de Recursos Empresariales), pero ¿qué es?

De acuerdo con Microsoft (2022)³⁰:

“Es un sistema que ayuda a automatizar y administrar los procesos empresariales de distintas áreas: finanzas, fabricación, venta al por menor, cadena de suministro, recursos humanos y operaciones”.

²⁹ Empresa consultora y de investigación de las tecnologías de la información con sede en Stamford, Connecticut, Estados Unidos.

³⁰ Microsoft Corporation, empresa tecnológica multinacional estadounidense. www.microsoft.com

Es decir, es un conjunto de aplicaciones de software, que nos permiten automatizar la mayoría de las actividades relacionadas con los aspectos operativos o productivos de una empresa, facilitando y concentrando la información de todas las áreas que la componen; por ejemplo: compras, ventas, producción, inventario, logística, finanzas, facturación, contabilidad, recursos humanos, marketing, proyectos y atención al cliente.

Entonces podemos decir que, el objetivo principal de los sistemas ERP es integrar los departamentos, módulos o áreas, pues regularmente se tiene un programa especializado para cada uno, pero hoy en día, gracias a los ERP podemos asegurar la aplicación de una base de datos central donde se gestione la información en tiempo real y con eficiencia.

2.2.3.3 Implementación.

El problema más común para comenzar la aplicación del software es el costo. Esto se debe normalmente al nivel de personalización (adaptarlo a las necesidades de la empresa) que necesita un sistema ERP para cubrir las necesidades de la empresa: a mayor nivel de personalización, mayor precio. Así como saber que no solo es el costo de la compra del ERP, sino costos posteriores a su adquisición e instalación, por ejemplo:

- Mantenimiento y soporte.
- Personalización.
- Actualizaciones.

De acuerdo con la Guía 2021 Costo CRM de INFINITEC MÉXICO³¹, para las pequeñas empresas con hasta 75 empleados y un volumen de negocios de hasta 80 millones de dólares, las soluciones ERP de gama baja suelen ser suficientes para cubrir todos los procesos. Los precios de estas herramientas pueden variar de \$15,000 dólares a \$100,000 dólares, dependiendo de factores como personalizaciones, requerimientos de la industria y número de usuarios.

Como podemos observar, estos sistemas implican una gran inversión para las empresas, pero si consideramos el valor agregado que un ERP puede ofrecerles, podríamos evaluarlo,

³¹ Implementadores de ERP. infinitecmexico.com

pues es un factor determinante para la elección del software que se adecue a las necesidades organizacionales.

Es evidente que el costo es alto, pero de la misma forma, expondremos sus ventajas.

2.2.3.4 Ventajas.

Con el acceso a estas nuevas tecnologías, las organizaciones pueden mejorar eficazmente sus prácticas, entre los principales beneficios y ventajas, se encuentran las siguientes:

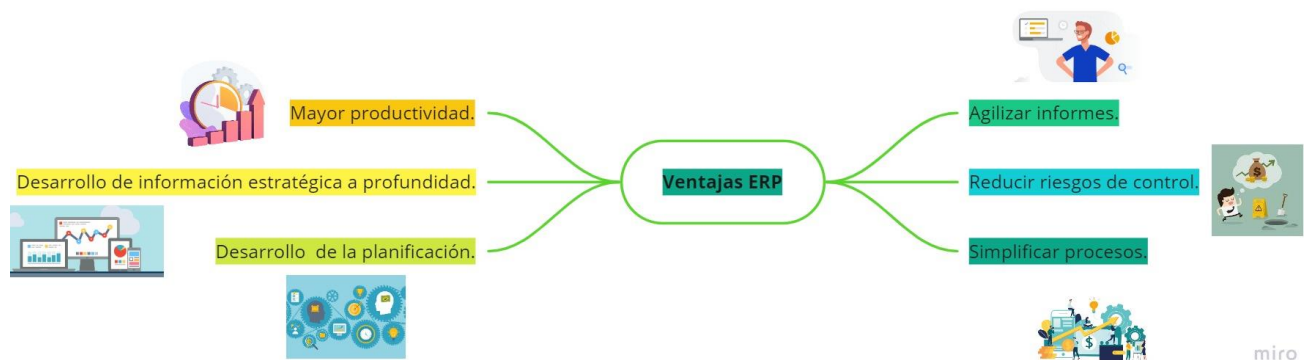


Ilustración 12. Mapa mental ventajas / Ilustración propia.

Un buen ERP permite que las operaciones y registros de la empresa se puedan visualizar en tiempo real para todas las áreas involucradas, esto ayuda a trabajar todo el tiempo con información veraz, lo que permite el aumento de la productividad, planear, simplificar procesos y reducir los riesgos en el control empresarial de cualquier modulo.

Según una encuesta de Panorama Consulting³² en 2013, un 40% de las empresas que adquieren un ERP noto un aumento en la productividad y en una segunda encuesta de

³² Expertos Independientes en Transformación de Negocios y Sistemas ERP. www.panorama-consulting.com

satisfacción, el 52.66% de los comercios están satisfechos con su sistema ERP, 38.14% son neutrales, el 6.54% está poco satisfecho y el 2.66% está nada satisfecho.

Lo que lleva a concluir que no siempre un ERP, es la solución que se necesita; recordemos que “El problema llama a la técnica”³³, sin embargo, la elección de este depende de factores como lo son: el tamaño y sector de la empresa, presupuesto, organización y los usuarios.

La elección del sistema ERP que se va a utilizar debe ser tomada realizando una evaluación enfocada a nuestro sistema, reconociendo si se forma parte de una pequeña empresa, una mediana empresa o una gran empresa con operaciones globales, pues se invertirá tiempo y recursos económicos.

2.2.3.5 Tipos de ERP.

Tabla 1. Tipos de ERP según su clasificación. / Ilustración propia

ERP		
CLASIFICACIÓN SEGÚN SU:	TIPOS.	
DISEÑO	A MEDIDA	PREDEFINIDO
	Software diseñado exclusivamente para la empresa.	La empresa se adapta al software.
INSTALACIÓN	LOCAL	CLOUD
	Instalación en el área informática de la propia empresa.	Accesibilidad en cualquier red con conexión a internet.
SOLUCIÓN	HORIZONTAL	VERTICAL
	Para todas las empresas, pero funciones limitadas.	Para empresas de un sector específico.
DESARROLLO	CÓDIGO ABIERTO	CÓDIGO PRIVADO
	Gratis pero nula personalización.	Pago por licencias y garantía de su uso.

³³ M.I. Marco Tulio M. Ingeniero Civil, Maestro en Ingeniería, egresado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, jefe de la división de Ingeniería civil de la UNAM (2019-2023) y actualmente profesor de carrera.



Capítulo 3. Metodología BIM para la cuantificación de materiales en obra.

3.1 Definición.

3.2 Antecedentes.

3.3 Objetivos.

3.4 BIM en México y América Latina.

3.5 Dimensiones BIM.

3.6 Softwares para BIM.

3.7 Niveles de desarrollo (LOD).

3.8 Nivel de madurez.

3.9 Ventajas y desventajas.

3.10 Fases de la implementación.

3.11 Cuantificación de materiales.

3.11.1 Importancia de la cuantificación de materiales.

3.11.2 Errores comunes en la cuantificación de materiales.

3.1 Definición.

Para comenzar a hablar sobre BIM (Building Modeling Information) es importante definirlo, según el portal de Autodesk Inc³⁴., menciona que:

“Es el proceso holístico de creación y administración de la información de un activo construido. Basado en un modelo inteligente e impulsado por una plataforma en la nube, BIM integra datos estructurados y multidisciplinares para generar una representación digital de un activo durante todo su ciclo de vida, desde la planificación y el diseño hasta la construcción y las operaciones”

Por tanto, es una metodología que permite gestionar la información y modelar la información de una edificación de forma coordinada y compartida, durante su ciclo de vida, ya que va desde el diseño conceptual, proyecto ejecutivo, construcción, operación, administración y mantenimiento del mismo.

3.2 Antecedentes.

Como se ha venido destacando en diversos capítulos, la ejecución de un proyecto de construcción implica un gran número actividades, por ello suelen ser tan complejos de administrar y ejecutar, y por lo que siempre se ha representado una gran preocupación en el ámbito, por ello surge la necesidad de contar con información a tiempo, confiable y legible de todas las áreas involucradas.

De aquí la importancia de tener una adecuada comunicación y conocer la forma más eficiente de llevarla a cabo para que la información genere el impacto que se desea; si los datos que se manejan no son presentados en el momento y en el formato requerido, difícilmente el receptor recibirá el mensaje con el propósito que se quiso transmitir.

³⁴ Autodesk Inc. Es una compañía estadounidense dedicada al software de diseño en 2D y 3D para diferentes industrias. www.autodesk.es/

Hoy en día la sinergia que existe entre la ciencia, tecnología e innovación y específicamente en las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), nos muestran los innumerables métodos para facilitar el intercambio de información dentro y fuera de los proyectos generando el impacto para cumplir satisfactoriamente los objetivos.

Por lo tanto, el concepto de que un sistema informático o no, opere la información de un proyecto no es nuevo, sin embargo, era necesario que la ciencia y tecnología logrará desarrollarse hasta poder llevar los niveles de manejo de datos que genera un proyecto de construcción.

El desarrollo de BIM (Building Information Modeling) se le atribuye a Charles M. Eastman³⁵, pues comenzó a desarrollar sistemas 3D de investigación y modelado sólido y paramétrico para la industria de la construcción a partir de los 70's.

En 1974, Eastman publicó un artículo sobre una investigación desarrollada en la Universidad Carnegie-Mellon en Pittsburgh, Estados Unidos, titulado "An outline of the building description system" ("Un esquema del sistema de descripción de edificios").

De acuerdo con la siguiente cita, se puede observar que lo que se definió en aquel año, es la esencia de lo que hoy se conoce como BIM (Building Information Modeling):

"Muchos de los costos de diseño, realización y funcionamiento de las construcciones derivan por el hecho que se recurre a los dibujos para reportar anotaciones del edificio. Como alternativa, este documento propone un diseño de un sistema informático útil para almacenar y manipular la información de proyecto en un detalle que permite el diseño, la construcción y el análisis operativo. Un edificio se considera como la composición espacial de un conjunto de piezas. El sistema, denominado Sistema Descriptivo del Edificio (BDS) se caracteriza por:

- 1. Ser un medio para facilitar la inserción gráfica de formas y elementos arbitrariamente complejos.*
- 2. Ser un lenguaje gráfico interactivo para cambiar y configurar la disposición de los elementos.*

³⁵ Profesor y pionero en las áreas de cognición del diseño, modelado de información de construcción, modelado sólido y paramétrico, bases de datos de ingeniería, modelos de productos e interoperabilidad.

3. Tener capacidades gráficas en formato papel para producir perspectiva o dibujos ortográficos de alta calidad.

4. Tener una función para la clasificación y la esquematización, para clasificar la base de datos para los atributos (tipo de material, proveedor o componer un conjunto de datos para el análisis).”

(M. Eastman , y otros, 1974)

Por lo tanto, BDS fue uno de los primeros proyectos en la historia del BIM en crear con éxito una base de datos de edificaciones; pues describía elementos individuales de la biblioteca para ser recuperados y añadidos a un modelo, así como la identificación de problemas en el diseño arquitectónico para años posteriores.

En 1977, el mismo Charles Eastman creó GLIDE (Graphical Language for Interactive Design) y presentó la mayoría de las características de BIM.

En la década de los 80 se desarrollaron varios sistemas en todas partes; a continuación, se presenta una línea del tiempo para entender el origen de este.

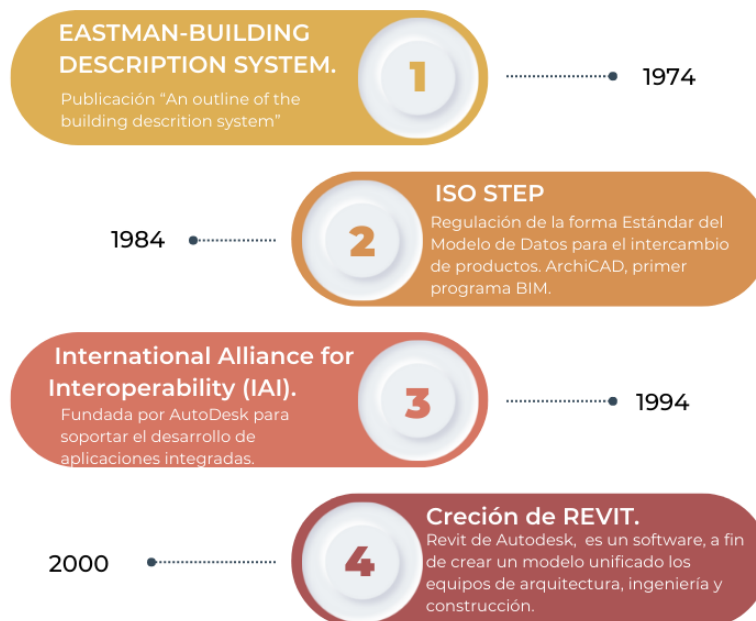




Ilustración 13. Línea del tiempo BIM / Ilustración propia.

3.3 Objetivos.

Como ya hemos definido, BIM es una metodología de trabajo, no un software, que, específicamente se trata de un conjunto de datos organizados de un inmueble con el objetivo de facilitar la gerencia de proyectos de ingeniería, arquitectura y construcción, brindando mejoras significativas sobre los procesos habituales que se llevan a cabo en estos. Por lo tanto, su objetivo principal es, agregar valor al proyecto durante su ciclo de vida.

De acuerdo con el libro electrónico “INSIDE LOOK AT 12 PROJECTS WINNING WITH BIM” (Autodesk Inc., 2022), la clave para cumplir este objetivo es:

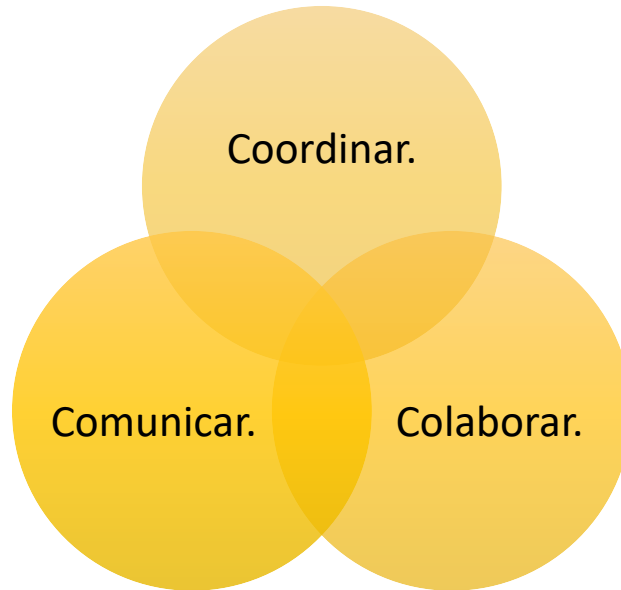


Ilustración 14. “THE 3 C’S BIM” / Ilustración propia.

Para una mayor comprensión, se definirán de acuerdo con la RAE³⁶:

1. **Coordinar:** Unir dos o más cosas de manera que formen una unidad o un conjunto armonioso.
2. **Comunicar:** Transmitir señales mediante un código común al emisor y al receptor.
3. **Colaborar:** Trabajar con otra u otras personas en la realización de una obra.

³⁶ La Real Academia Española (RAE) es una institución cultural dedicada a la regularización lingüística entre el mundo hispanohablante. www.rae.es

Partiendo de ello, entendemos que el portal de Autodesk Inc. considera que la coordinación en cuanto a los modelos creados con BIM busca una visión unificada entre todas las disciplinas involucradas dentro del proyecto, ya que todo pueden trabajar desde el mismo modelo con los mismos datos para identificar y resolver los problemas que se presenten.

En cuanto a la comunicación como se expuso anteriormente, la cantidad y el flujo de información que se maneja entre todas las áreas interesadas es inmensa, por lo que su objetivo es que se haga uso de las herramientas necesarias para transmitir cada proceso del proyecto.

Finalmente, la colaboración es imprescindible en todas las partes y piezas que intervienen en la entrega de un nuevo proyecto de infraestructura, ya que se trabaja en diferentes escenarios y con diferentes grupos de personas, ante las diversas formas de ser y pensar de estas colaboraciones, lo que nos brinda la oportunidad de mejora y crecimiento, utilizando los recursos disponibles en conjunto para responder a los cambios de una manera eficiente, así mismo queda demostrado por la NBS³⁷ National Bim Report , pues en un estudio realizado en 2020 muestra que, el 87 % de las empresas que implementaron BIM, de forma colaborativa con otras empresas fueron las más exitosas y efectivas.

3.4 BIM en México y América Latina.

El 20 de septiembre de 2018, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) presentó la “Estrategia para la implementación del Modelado de Información de la Construcción (MIC)”³⁸, en México, para las obras de infraestructura federal, y menciona que, su objetivo principal es “mejorar los procesos de desarrollo de la infraestructura pública, considerando la eficiencia de la planeación, disminución de sobre tiempos y sobre costos, así como fortalecer la transparencia y la rendición de cuentas”

Derivado de los antecedentes ya mencionados sobre la historia de BIM en otros países y que incluso se ha hecho obligatorio en proyectos públicos su uso desde el año 2016, en

³⁷ NBS, plataforma global integrada del Reino Unido, para todos los involucrados en el diseño, suministro y construcción del entorno construido (BIM). www.thenbs.com.

³⁸ Consultar en la Secretaría de Hacienda y Crédito Público-acciones y programas. www.gob.mx

Reino Unido y Corea del Sur, en 2018 para España y en países de América latina como Chile, Colombia y Argentina es obligatorio desde el 2020.

Es por ello por lo que México decidió lanzar esta estrategia, para acelerar el proceso de adopción del BIM en el sector de la construcción de obras públicas, pues a la fecha no existe una disposición que obligue el uso de BIM, sin embargo, en el sector público se ha implementó esta metodología por decisión propia, por ejemplo:

- Construcción del Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (NAICM) en Texcoco. (Cancelado).
- Hospitales del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS).
- Mantenimiento y operación de la Planta de Cría y Esterilización de Machos de la Mosca del Mediterráneo del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA).

Así mismo en el sector privado también se ha implementado BIM, por ejemplo: la empresa Bovis México, desarrolló proyectos como:

- Data Center para Bancomer en Atizapán,
- Edificio Rubén Darío en Polanco.
- Torre Reforma.
- Torre Chapultepec Uno.

3.5 Dimensiones BIM.

Es de nuestro conocimiento que BIM, se trata de una metodología que busca gestionar la información sobre un proyecto de construcción, a lo largo del ciclo de vida todo el proyecto, brindando una eficiente ejecución en el diseño y gestión de la información de la construcción mediante la creación de modelos digitales pues la información gira entorno a estos.

Esto quiere decir que para cada una de las fases se generan objetivos a cumplir y para hacerlo posible es necesario comprender el alcance que se quiere implementar de cada una de las dimensiones que a continuación se describen:

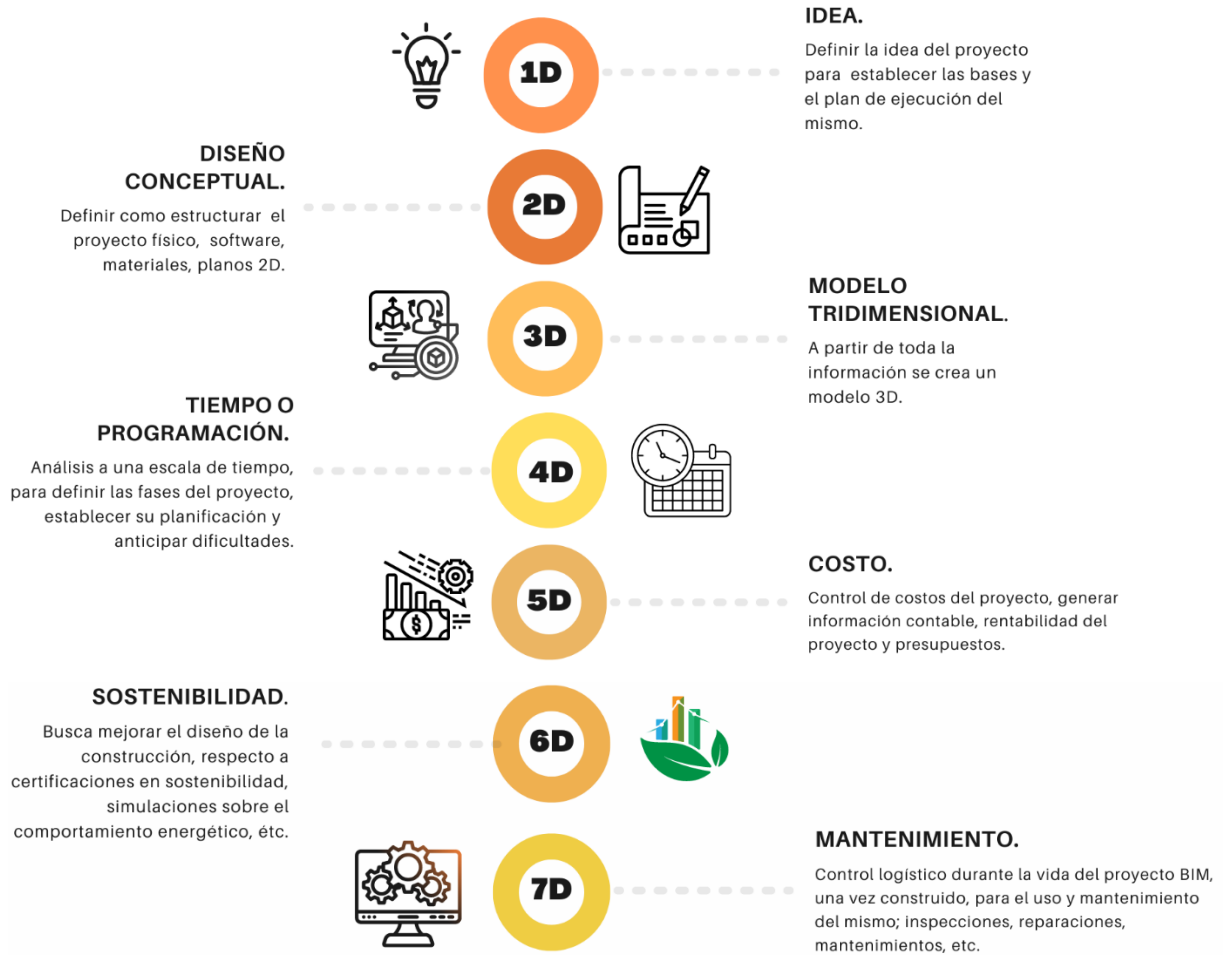


Ilustración 15. "Dimensiones BIM" / Ilustración propia.

Todas estas dimensiones se van ejecutando secuencialmente ya que donde existe un objetivo BIM o fase del ciclo de vida, se aplica una dimensión BIM.

Por lo tanto, hay una retroalimentación constante de los procesos, es decir que, el modelo BIM se va modificando continuamente de tal forma que siempre arroja que este resulta igual al proyecto físico.

3.6 Software BIM.

Es común asociar BIM, a un software de modelado 3D, pero sabemos se trata de metodología de trabajo colaborativa para la creación de un modelo digital.

Pero ¿Qué es un **software**?

Es un conjunto de instrucciones lógicas necesarias dentro de un sistema informático, para la ejecución de tareas específicas

En este caso BIM, hace uso de softwares de aplicación, coloquialmente llamados “programas” que nos ayudan a realizar tareas determinadas.

Actualmente existen muchos programas usados en esta metodología, pero para hacer la mejor elección para cada nivel de BIM, se deben conocer las necesidades cada empresa y del proyecto, así como el costo de licencias del software, costos de instalación y compatibilidad con el sistema operativo.

A continuación, se presentan los programas más utilizados en cada dimensión BIM:

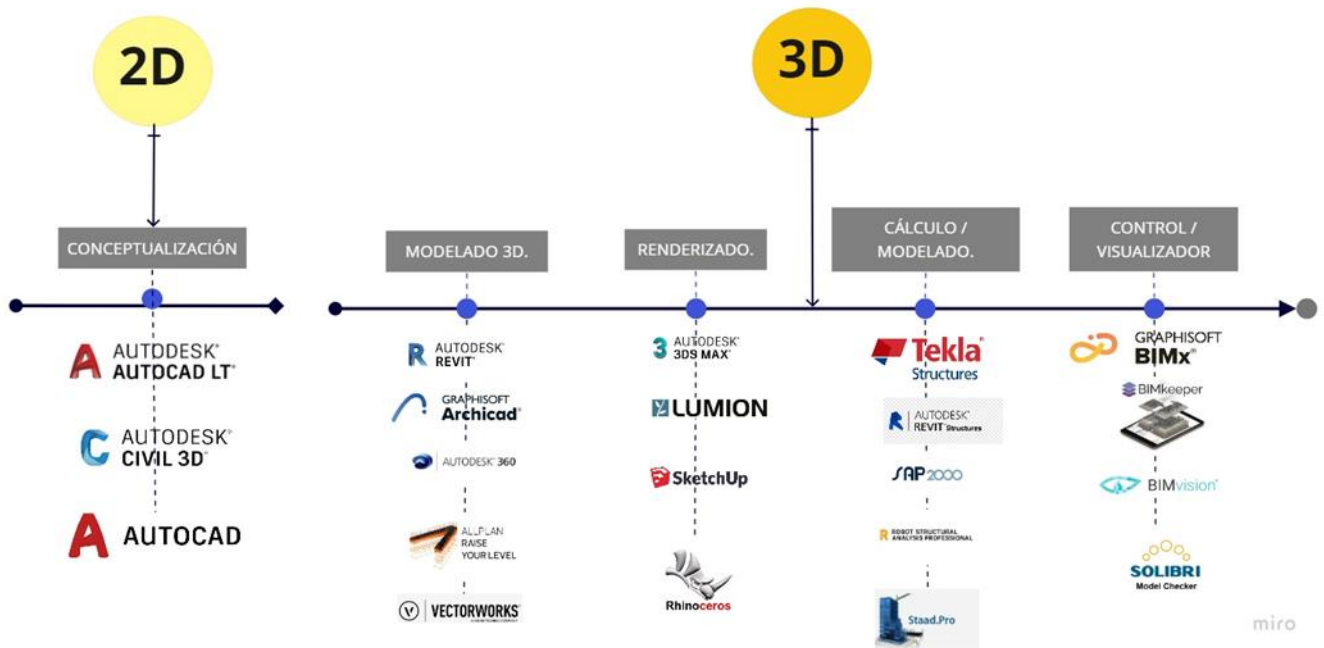


Ilustración 16. Softwares BIM / Ilustración propia.

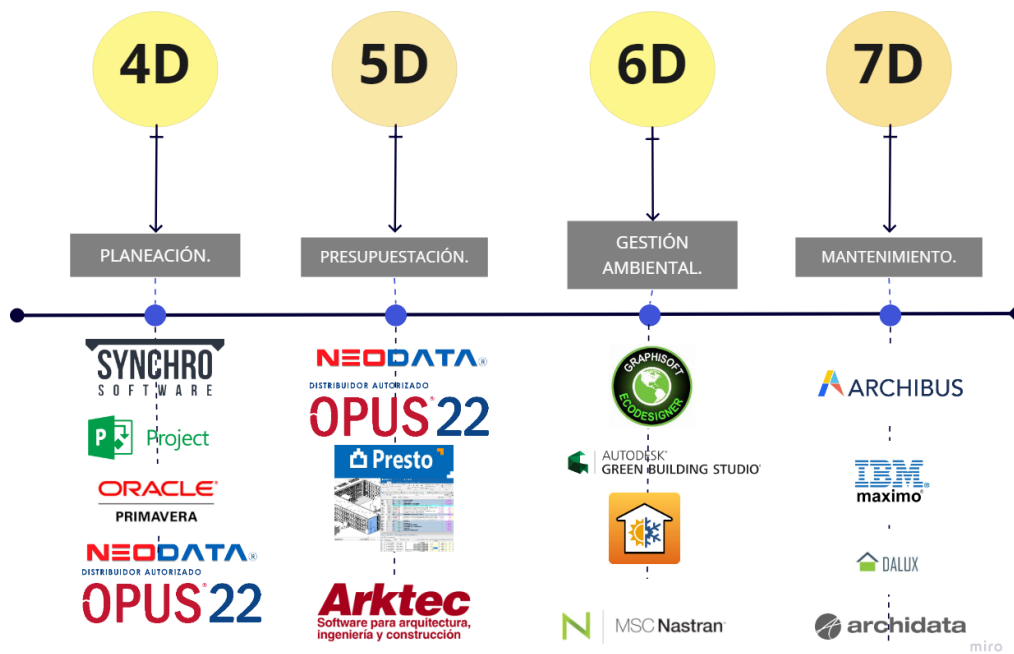


Ilustración 16.1. Softwares BIM / Ilustración propia.

Adoptar la metodología BIM y el uso softwares digitales integrados, habla de una correcta gestión de las actividades a través de la interoperabilidad de datos que ofrece BIM, pero:

¿Qué es la **interoperabilidad**?

Es la capacidad de intercambiar datos entre softwares, sistemas y normas para facilitar el intercambio de información entre las diferentes disciplinas, productos y formatos de los archivos utilizados dentro del proyecto.

Esto quiere decir que, debe existir un solo flujo donde la información disponible dentro de la base de datos sea continua entre ambientes distintos para tener accesibilidad y gestión de la información, y así integrarla dentro de las áreas interesadas, donde cada especialista o área tenga acceso en tiempo real a todos los procesos, incluso los usuarios no BIM.

3.7 Niveles de desarrollo (LOD).

El “AIA” (American Institute of Architects)³⁹, inició el uso del término LOD “Level of Development” (nivel de desarrollo) para referirse al grado de detalle gráfico, la cantidad y calidad de información de un modelo.

El **Nivel de desarrollo** puede definirse como (Liebana, 2014)⁴⁰:

“El grado de confianza del equipo de diseño sobre la geometría e información del proyecto en cada momento del ciclo de vida de la estructura”.

Entonces, a través los niveles de desarrollo podemos conocer el nivel de datos, parámetros y geometría de los que está compuesto el modelo BIM. Para estandarizar el LOD, se estableció lo siguiente:



³⁹ Organización profesional fundada en 1857 que representa los intereses profesionales de los arquitectos estadounidenses.

⁴⁰ Liebana, O. (2014). Normalización Del Nivel De Desarrollo De Modelos S-Bim. Normalización Del Nivel De Desarrollo De Modelos S-Bim (pág. 12). Madrid: ACADEMIA.



Ilustración 17. Niveles de desarrollo BIM (LOD) / Ilustración propia.

3.8 Nivel de madurez.

La implementación de sistemas de trabajo basados en la metodología BIM, es cada vez más frecuente, pero es difícil que una empresa adopte radicalmente la filosofía de trabajo, aunque el objetivo sea llegar a un grado de implementación que permita el máximo nivel de colaboración entre las diferentes partes que intervienen en el proyecto.

Por ello existen los **niveles de madurez** en BIM, que pueden definirse como una escala que permite reconocer en qué fase estamos con respecto al uso del BIM en nuestros proyectos.

Esta escala consta del nivel 0, 1, 2 y 3; su implementación debe ser gradual y para alcanzar cada uno de ellos es necesario implantar nuevos procesos y mejorar los preexistentes.

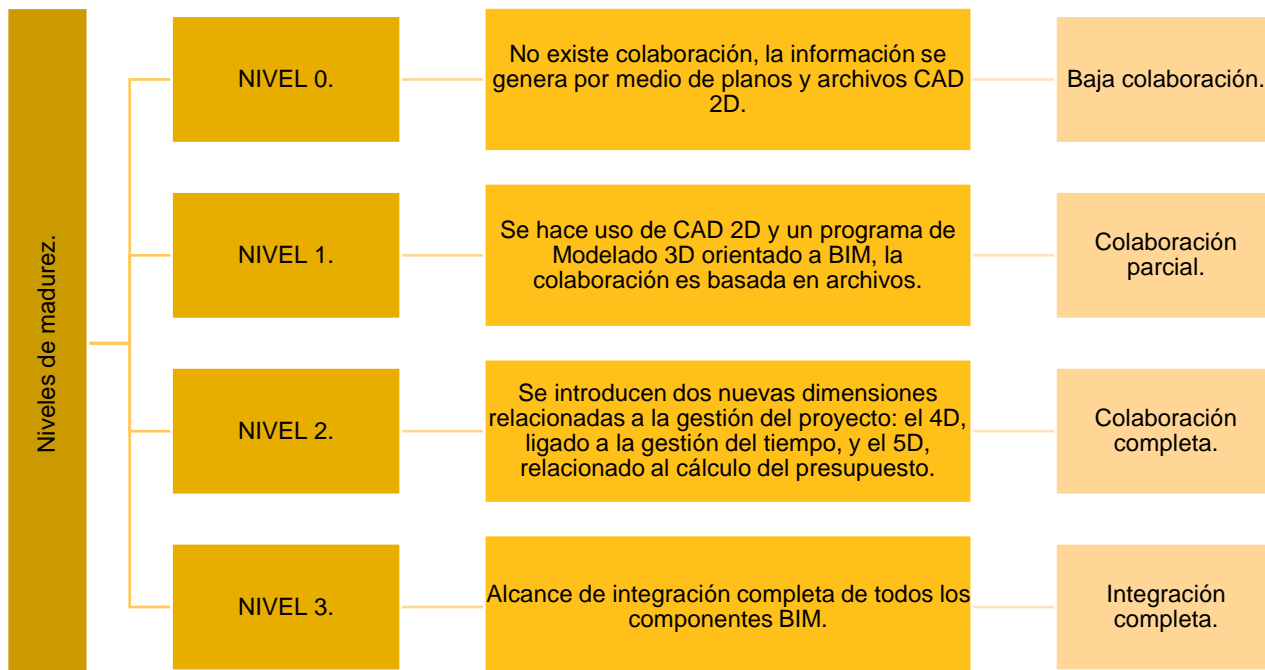


Ilustración 18. Niveles de madurez BIM / Ilustración propia.

Estandarizar estos niveles, permite que las empresas y proyectos partan de una referencia sobre como comenzar a colaborar entre sí para la implementación de esta metodología, considerando las ventajas y desventajas que a continuación se exponen.

3.9 Ventajas y desventajas.

A continuación, se enlistan las ventajas y desventajas del uso de BIM, de acuerdo con el Research Manager, NBS, David Bain⁴¹:

⁴¹ Gerente de investigación de NBS 2022, quien ha diseñado, dirigido y llevado a cabo estudios de mercado para el gobierno del Reino Unido, fabricantes de productos de construcción, asociaciones de vivienda y NBS.

Ventajas:

- Reducción de demandas y disputas.
- Reducción de los sobrecostos de construcción.
- Reducción de tiempo en el diseño y ejecución del proyecto.
- Reducción de retrabajos.
- Reducción de omisiones y errores en la documentación del proyecto.
- Calidad en el diseño y ejecución del proyecto.
- Aumento de la relación calidad-precio.
- Aumento de la productividad.
- Mejora continua.

Desventajas:

- Adaptabilidad de los softwares a las necesidades del proyecto (no son personalizados).
- Desconocimiento de la metodología BIM en el ámbito de la construcción.
- Costo de implantación.
- Tiempo de implementación.

Ilustración 19. Esquema "Ventajas y desventajas BIM" / Ilustración propia.

Es común que la incompatibilidad entre sistemas y metodologías de trabajo en el ámbito de la construcción impida que los elementos del equipo destinados a la ejecución de un proyecto logren intercambiar información de manera eficiente, ya que hay que integrar nuevos procesos y adaptar lo existente, es decir que, no solo es "aprender" el uso de las TIC, sino la adaptación a los nuevos procesos de trabajo.

"BIM es 10% tecnología y 90% sociología" ("BIM is 10% technology and 90% sociology").

Es una frase que se le atribuye a los foros BIM⁴² de Estados Unidos y Reino Unido; esta cita evidencia que la base del éxito de la implementación de esta metodología está en el coordinar, colaborar y comunicar antes de entrar al lado virtual.

⁴² Organización abierta que agrupa a las empresas y profesionales **que** puedan aportar sus conocimientos y experiencias al mejoramiento de las técnicas relacionadas a BIM.

3.10 Fases de la implementación.

Se debe tener una estrategia general de implementación BIM, pese a que existen diferentes formas y procesos para llevarla a cabo, recordemos que, “El problema llama a la técnica”⁴³; por lo tanto, se sugiere llevarlo a cabo bajo el enfoque de sistemas, para ello tenemos lo siguiente:

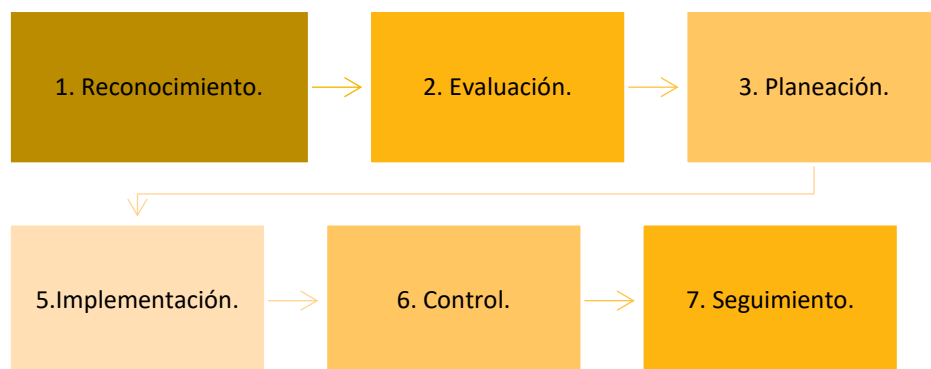


Ilustración 20. Fases de implementación / Ilustración propia.

1. **Reconocimiento:** Llevar a cabo un diagnóstico general de la empresa para documentar la información acerca de todo el personal, identificar los objetivos empresariales y sus resultados, así como la existencia de procesos de control.
2. **Evaluación:** Realizar un diagnóstico detallado del conocimiento de la empresa respecto a BIM, para definir objetivos reales y cuantificables, así como el análisis de sus estándares de calidad en los proyectos, estimación de costos, tiempo de implementación y comenzar con la asignación e identificación de personal BIM.
3. **Planeación:** Desarrollo del plan de ejecución BIM o BIM Execution Plan (BEP), dónde se establecerán los estándares de la empresa y generación de guías de trabajo.

⁴³ M.I. Marco Tulio M. Ingeniero Civil, Maestro en Ingeniería, egresado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, jefe de la división de Ingeniería civil de la UNAM (2019-2023) y actualmente profesor de carrera.

4. **Implementación:** Se lleva a cabo la implementación de acuerdo con lo anteriormente trabajado, sugiriendo que sea en un proyecto piloto, es decir en un proyecto que será reproducido a menor escala para evaluar la viabilidad, duración, costo, y mejorar el diseño de estudio antes del desarrollo de un proyecto final.
5. **Control:** Se establecen sistemas de monitoreo y control. Para analizar el trabajo ejecutado y crear estrategias para la mejora continua.
6. **Seguimiento:** Evaluación y aplicación de mejoras continuas.

3.11 Cuantificación de materiales.

La cuantificación de materiales de una obra se realiza de acuerdo con los planos del proyecto, sus especificaciones (conjunto de disposiciones, requisitos, condiciones e instrucciones que se establecen para la contratación y ejecución de obra) y conceptos de obra (descripción de actividades que el constructor realiza durante la obra, de acuerdo con los planos y especificaciones técnicas).

Cuantificar es conocer las cantidades de obra requeridas, por ejemplo:

- La cantidad de kg. o ton. de acero utilizado en una losa de entrepiso, columna, trabe, zapata, etc.
- Los m³ de excavación.
- Los m³ de concreto en un muro, columna, dado, etc.
- Los m² de loseta cerámica.
- El número de piezas de lámparas.

3.11.1 Importancia de la cuantificación de materiales.

Si no tenemos una correcta comprensión de los conceptos de obra y/o especificaciones, corremos el riesgo de considerar mayor o menor cantidades de material, maquinaria y/o

herramienta para la ejecución de nuestro proyecto, lo que impactaría considerablemente en el tiempo de ejecución y costo de este.

Por ejemplo; si se consideran más recursos de los que realmente son, se corre el riesgo de perder un concurso de obra (según sea el caso) o, por el contrario, si se subestimaron, seguramente se ganará, pero encontraremos que, al ejecutar los trabajos lo presupuestado no alcanzará para la conclusión del proyecto.

Es decir, si conocemos la cantidad precisa de recursos que nos demandará cierta actividad, mayor será la gestión de estos.

Es por lo que debemos tener presente que en la forma que se estandaricen los criterios de cuantificación de acuerdo con cada proyecto, los errores disminuirán.

3.11.2 Errores comunes en la cuantificación de materiales.

En seguida se enlistan los errores más comunes reportados en la obra de CUMBRES HERRADURA:

- Información incompleta del proyecto ejecutivo (omiten dimensiones, número de estribos, especificaciones, etc.).
- Duplicar cuantificación por intersección de elementos (considerar más traslapes y escuadras excesivas en elementos de acero que como lo indica el proyecto).
- Desconocimiento del proceso de cuantificación.
- Desconocimiento de los procesos constructivos.
- Omisión de los requerimientos del plano estructural.
- No corroborar dimensiones en sitio.



Ilustración 21. Diagrama de Ishikawa "Errores en la cuantificación de materiales" / Ilustración propia.

Como podemos observar en la ilustración 27, la causa principal de los errores reportados es la omisión de información por parte del personal que cuantifica, proyecta y elabora las especificaciones técnicas para el proyecto.



Capítulo 4. JIT en la administración de materiales.

- 4.1 Origen y definición.
- 4.2 Objetivos.
- 4.3 Ventajas y desventajas.
- 4.4 Fundamentos JIT.
- 4.5 JIT en la construcción.

4.1 Origen y definición.

El sistema JIT (Just In Time), mejor conocido como “Justo a tiempo” tiene su origen en Japón en los años 50, cuando la empresa automovilística Toyota comenzó a utilizar un sistema propio de producción “Toyota Production System” que con los años se fue perfeccionando hasta definir el método JIT actual.

Pero ¿Qué es **Just In Time**? De acuerdo con Jorge Medina⁴⁴:

“Es una metodología de producción que busca aumentar la eficiencia y reducir los costos a través de la reducción o eliminación de desperdicios en el proceso”.

Es decir que se busca producir la cantidad justa en cada momento, sin exceder la producción, ni carecer de ella; justo a tiempo.

Jorge Medina, el Lean Academy Manager de Toyota, menciona que esto es aplicable para para los materiales adquiridos a terceros, entregados internamente en distintos puntos del proceso o procesados a través del flujo productivo.

Y toma sentido cuando queremos aplicar la filosofía en los proyectos y debemos eliminar aquellas fases que no aportan valor al proceso, por lo que es necesario que todas las partes también lleven a cabo la filosofía, para que aporten el valor que se busca.

4.2 Objetivos.

De acuerdo con (Medina, 2020) el objetivo principal JIT es: Aumentar el aporte de valor añadido en las tareas realizadas a lo largo de todo el flujo de producción, reduciendo las esperas, el sobre stock, los movimientos innecesarios, es decir, eliminando todo aquello que no aporte valor al proceso.

Por lo que es de suma importancia garantizar la producción justa, es decir, que el proceso fluya, contando con que cada parte esta lista y así aumentar la eficiencia.

⁴⁴ Medina, J. (9 de Marzo de 2020). *TOYOTA MATERIAL HANDLING*. Obtenido de <https://blog.toyota-forklifts.es>

4.3 Ventajas y desventajas.

Ventajas:

- Reducir los niveles de inventarios, gracias a que sólo se fabrica lo que se demanda y a su vez, suprime la necesidad de disponer de un almacén.
- Minimiza las pérdidas, pues elimina que se produzcan suministros innecesarios, caducados o que han perdido su valor por daños físicos.
- Refuerza las relaciones con organización-proveedor.
- Flexibiliza el proceso logístico, por lo que permite ejecutar cambios con mayor rapidez.

Desventajas:

- Se originan problemas de ruptura de stocks o retrasos si no está correctamente planificado el abastecimiento de materiales.
- Como las compras de materias primas o productos se hacen en pequeñas cantidades para no almacenar, el proveedor puede subir el precio de estas.
- Aumenta el costo al cambiar de proveedor.
- Es necesaria la participación de todo el personal de la empresa para ejecutar las funciones de la forma más eficiente.

4.4 Fundamentos JIT.

La filosofía JIT trata de analizar las necesidades y recursos de la empresa u organización, no solo en la industria manufacturera, esta es aplicable a cualquier área donde se busca realizar la mejora continua, gracias al análisis sistémico del flujo de sus procesos.

Es por lo que se fundamenta en diversos principios que fueron desarrollados e implementados estratégicamente por los japoneses, logrando así la simplificación de las actividades con calidad y reducción de costos, sus principales fundamentos son los siguientes:

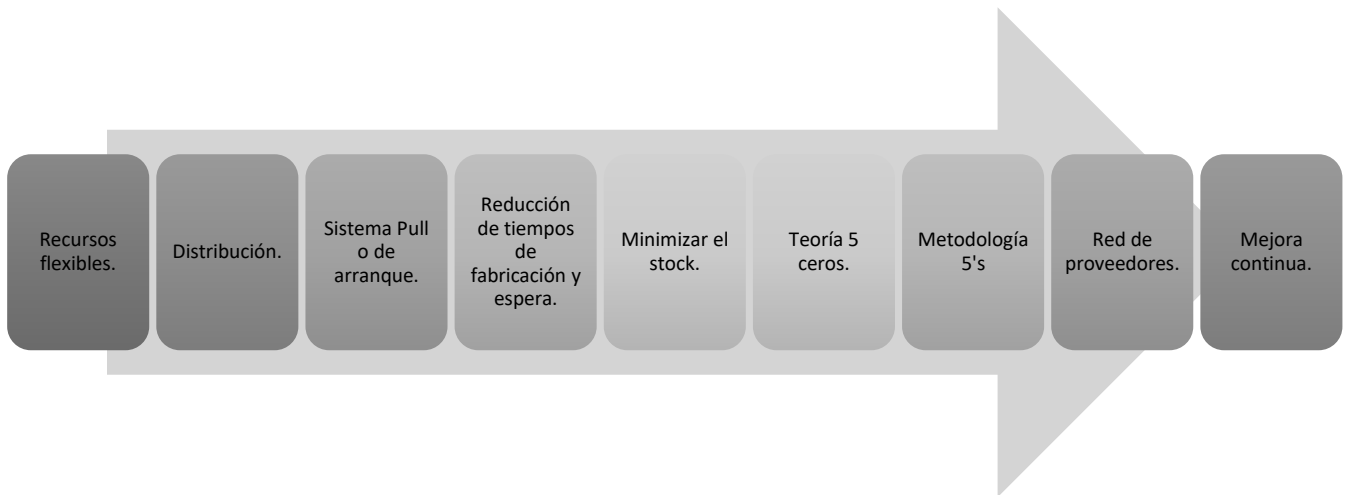
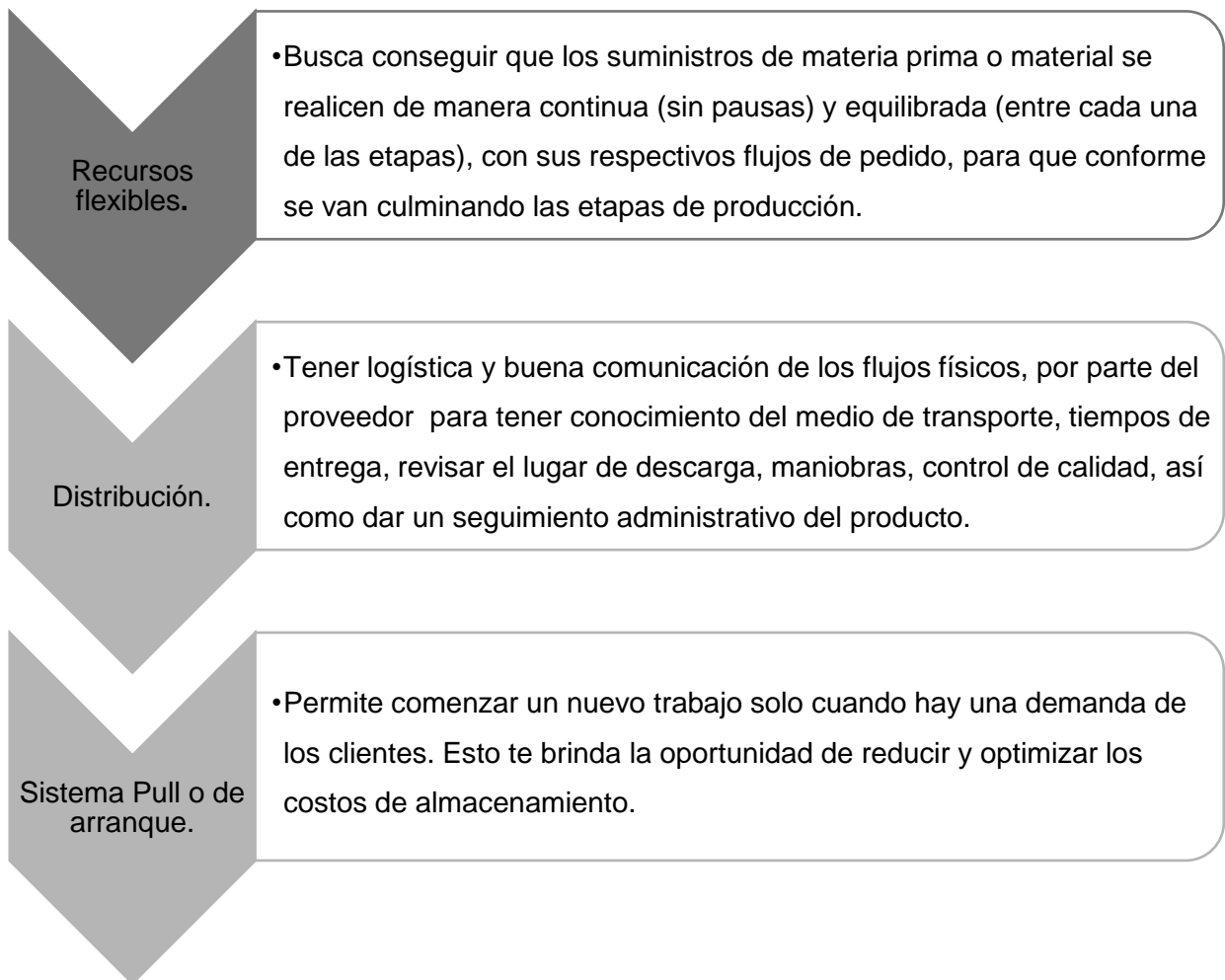


Ilustración 22. Fundamentos JIT / Ilustración propia.

A continuación, se explica brevemente cada uno de ellos:



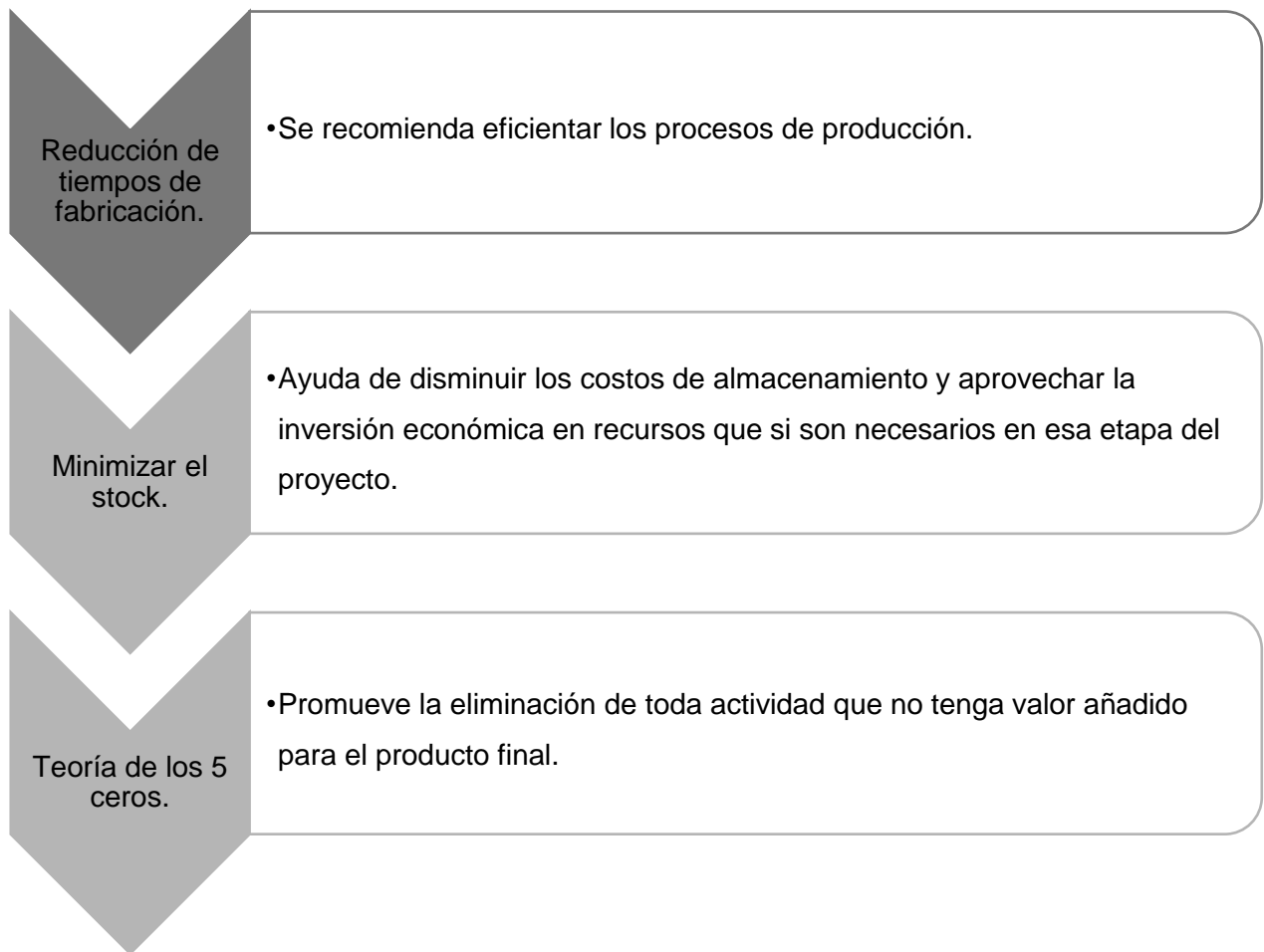


Ilustración 22.1 Fundamentos JIT / Ilustración propia.

La teoría de los 5 ceros.

La teoría de los Cinco Ceros” (Georges Archier y Hervé Seryex, 1984)⁴⁵, promueve la eliminar todo aquello que no agregue valor a un producto o proceso final.

⁴⁵ Autores de la teoría de los cinco ceros, donde crearon una sistematización de las metas planteadas en una fabricación “Justo a Tiempo”.



Ilustración 23. Teoría de los 5ceros / Ilustración propia.

Metodología 5's.

Surgió en Japón en 1960 y su aplicación fue en la planta de producción Toyota, el término se le atribuye en 1980 a Takashi Osada⁴⁶.

Su objetivo principal es mejorar las condiciones de trabajo, clasificando, ordenando, limpiando, estandarizando, con autodisciplina.

Se denomina 5S debido a las iniciales de las palabras japonesas seiri, seiton, seiso, seiketsu y shitsuke (Osada, 1991):

Tabla 2. Metodología de las 5S / Elaboración propia.

Número.	Denominación. (japonés)	Significado. (español)	Descripción.
1	Seiri (整理).	Clasificar / Separar.	Identificar los elementos necesarios para la ejecución de las actividades y eliminar lo que no sirve.
2	Seiton (整頓).	Ordenar.	Organizar el material y/o equipo de trabajo en sitios de fácil ubicación y visualización.
3	Seisō(清掃).	Limpiar.	Identificar y eliminar las fuentes de suciedad, asegurando la limpieza constante del material y/o equipo de trabajo y a su vez, brindar el mantenimiento necesario.
4	Seiketsu (清潔).	Estandarizar.	Establecer normas y procedimientos, para definir criterios óptimos en la ejecución de las tareas.
5	Shitsuke (躰).	Mantener la disciplina / Autodisciplina.	Repetir el ciclo continuamente, buscando siempre la mejora en cada proceso.

⁴⁶ Director del Instituto de Tecnología de la Productividad en Nagoya, Japón, escritor del libro "The 5S's: Five Keys to a Total Quality Environment".

La metodología de las 5S es parte de las técnicas de Lean Manufacturing o Lean Production (metodología de organización del trabajo que busca mejorar continuamente y la optimización del sistema de producción mediante la eliminación de desperdicios y actividades que no suman ningún tipo de valor al proceso), y cada uno de los fundamentos se interrelacionan en el proceso de la mejora continua, por lo tanto, es importante la participación y compromiso de toda la organización.

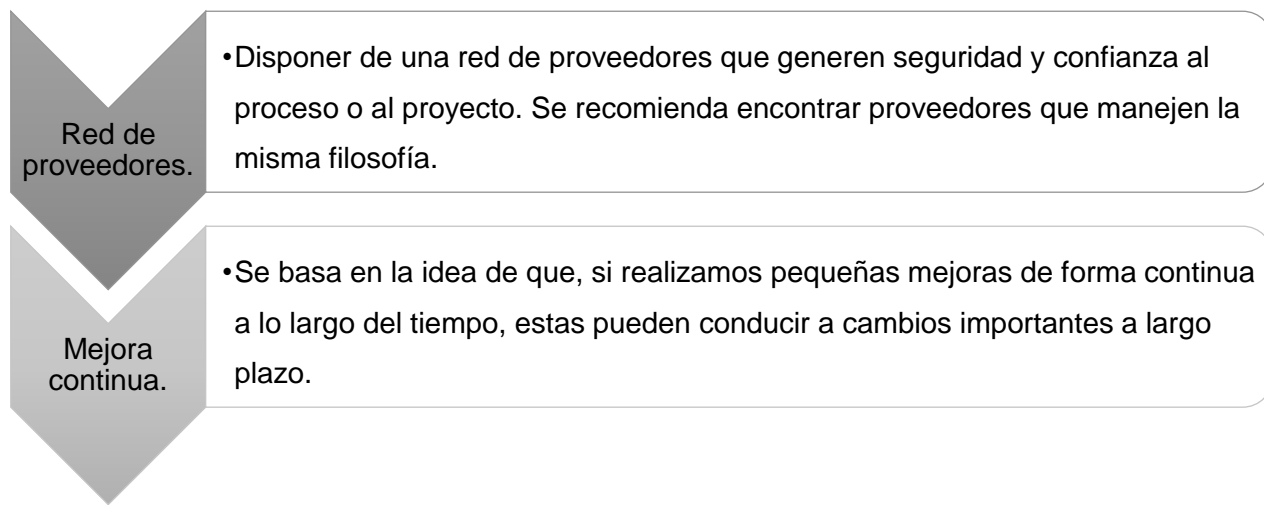


Ilustración 24. Fundamentos JIT / Ilustración propia.

4.5 JIT en la construcción.

Las nuevas tecnologías, sistemas de construcción y metodologías de trabajo están permitiendo una importante innovación en la construcción donde se espera cambiar la forma tradicional de manejar la industria, logrando procesos y gestiones constructivas eficientes, pero...

¿Qué es la **innovación**? Según (Economipedia, 2022)⁴⁷

“Es un proceso que modifica elementos, ideas o protocolos ya existentes, mejorándolos o creando nuevos que impacten de manera favorable en el mercado”.

⁴⁷ Portal web de economía en Internet, dedicado a la educación económica y financiera. economipedia.com

De modo que, podemos decir que es necesaria la innovación en la construcción para ser competitiva, pues las empresas cada día buscan crear más valor mediante una amplia gama de cambios e innovaciones tanto tecnológicas y metodológicas.

Una de las vías para comprender el problema actual, consiste pues, en reconocer que los modelos tradicionales funcionan, pero no agregan el valor que la globalización ahora demanda a los nuevos proyectos.

Pese a ello hay un amplio margen de mejora en la aplicación de la construcción en nuestro país, las innovaciones tecnológicas deben ir de la mano de un cambio en la filosofía de trabajo, de tal modo que los sistemas y las formas de producción se adapten realmente a las tecnologías disponibles para sacar el máximo provecho.

De acuerdo con un artículo publicado en 2019 por el Congreso Nacional de Lean Construcción (CNLC)⁴⁸, menciona que, el ingeniero Jorge Miranda, experto en sistemas de producción en construcción de edificaciones y director del Comité Académico del Capítulo Peruano Lean Construction (CPLCI), señala que en obra se busca un mínimo stock en almacén y que el inventario cero en la práctica no existe, y especialmente en la construcción.

Y es una realidad, que en ocasiones las obras cuentan con muy poco espacio, por lo que surge la necesidad de estar bajo la implementación de alguna filosofía, en este caso JIT.

Por otro lado, en el mismo artículo se menciona que, el Ing. César Guzmán presidente del Capítulo Peruano Lean Construction Institute, confirma que el Just in Time es adecuado, por ejemplo, en operaciones que implican la descarga del concreto, pues menciona que “En construcción tenemos muchos materiales que se deben usar en el mismo momento de ser adquiridos, el caso por excelencia es el concreto. Lo importante, en ese sentido es el planeamiento y el layout de obra para que se pueda hacer la descarga en el momento requerido y tener el mínimo de impacto en las vías”.

Ambos expertos concuerdan que la implementación de Just In time permite reducir el tiempo de ejecución de proyectos, eliminando los tiempos de espera y aumentando el trabajo productivo, así como tener la certeza en las proyecciones de obra.

⁴⁸ Evento en Perú, que convoca el interés de las empresas y profesionales de la construcción por el nivel de los speakers nacionales e internacionales sobre Lean Construction. <https://cnlc.pe/>

Así mismo, el M.I. Marco Tulio M., Ingeniero Civil, Maestro en Ingeniería, egresado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México y Jefe de la división de Ingeniería civil de la UNAM, afirma que, “En la medida que las empresas mexicanas cambien de paradigma, el JIT tiene grandes áreas de oportunidad en el campo de la construcción y que su implementación, además de las ventajas ya mencionadas, bajo la perspectiva del enfoque de sistemas, tendrá grandes aportaciones a la mitigación de impactos nocivos al ambiente y el mejor aprovechamiento de los avances tecnológicos que la industria 4.0 ofrece a la construcción”.

La industria 4.0 o también conocida como cuarta revolución industrial, de acuerdo con IBM⁴⁹, se define como:

“La realización de la transformación digital del campo, que brinda toma de decisiones en tiempo real, productividad mejorada, flexibilidad y agilidad”.

Como bien menciona el M.I. Marco Tulio M., las soluciones de tecnología avanzada de manufactura digital, ayudarán a transformar a las empresas tanto ambientalmente como digitalmente, ya que esta industria permite que toda la cadena de suministro sea “inteligente”, desde la producción hasta la logística para una entrega satisfactoria, pero no termina aquí el gran aporte, también tiene la capacidad de interconectarse con los ERP (Sistema de Planificación de Recursos Empresariales), para aportar a las empresas el control de todas las actividades de esta cadena de valor, lo que nos llevará a la automatización y optimización para la mejora continua de los procesos.

⁴⁹ International Business Machines Corporation, es una reconocida empresa multinacional estadounidense de tecnología y consultoría. www.ibm.com



Capítulo 5. Caso de estudio CUMBRES HERRADURA.

5.1 Edificación residencial.

5.1.1 Descripción general del proyecto.

5.2 Estructura de concreto.

5.2.1 Acero y concreto convencionales empleados en la construcción.

5.3 Procedimiento constructivo.

5.1 Edificación residencial.

La edificación u obra residencial se refiere a la construcción destinada a la vivienda funcional, a partir de un diseño arquitectónico de superficies mayores a las de vivienda asequible (“accesible” económicamente), así como acabados de calidad, es decir que está orientada a la construcción detallada en cuanto a interiores se refiere.

5.1.1 Descripción general del proyecto.

CUMBRES HERRADURA es un proyecto de edificación residencial ubicado en Camino Arenero No.150, San José Rio Hondo, Naucalpan, Estado de México, que se constituye por 6 torres de vivienda; cada torre consta de 5 sótanos y 15 niveles.

La implementación de la metodología se llevará a cabo en la torre Alerce; su construcción inició el 4 de julio 2022.



*Ilustración 25. Proyecto CUMBRES HERRADURA / Ilustración internet Copyright © 2022
Cumbres Herradura.*

Actualmente el avance de la construcción de la torre se encuentra a un 79%, estimando su finalización para septiembre 2023.

Como se mencionó anteriormente, la torre cuenta con 5 sótanos compuestos por un sistema de losas aligeradas, con casetón de fibra de vidrio de 60 x 60 x 35 cm. y una capa de compresión de 5 cm., nervaduras reforzadas con acero horizontal del #3 y estribos del #2, trabes de 30x70 cm. reforzadas con acero del #5 hasta #10, muros y columnas reforzadas con aceros desde #3 hasta #10.

Los 15 niveles en la superestructura también se conforman por losas aligeradas, pero de casetón de poliestireno de 58 x 58 x 35 cm. con una capa de compresión de 5 cm, nervaduras, trabes reforzadas y columnas con acero desde #3 hasta #10. Cada nivel está confinado con muros de block hueco de concreto 12 x 20 x 40 cm.

Se supone un caso especial en acero longitudinal de trabes y columnas, pues de acuerdo con el proyecto estructural no se permiten traslapes en acero del #10 o más, por lo que es necesario hacer uso de conectores mecánicos.

El concreto utilizado en todos los elementos estructurales es de $f'c=350\text{kg/cm}^2$, como lo marca el proyecto.

5.2 Estructura de concreto.

Ahora que sabemos que el proyecto a desarrollar es una estructura de concreto definiremos lo siguiente:

¿Qué es un **sistema estructural**? AQSO⁵⁰ arquitectos lo define como:

“Es un conjunto de elementos resistentes que vinculados entre sí transmiten las cargas de la edificación a los apoyos garantizando el equilibrio, la estabilidad y sin sufrir deformaciones incompatibles”.

⁵⁰ Estudio interdisciplinar dedicado a la arquitectura contemporánea, el diseño, el planeamiento urbano y la investigación

Como sabemos, a lo largo del tiempo han innovado y aparecido diferentes materiales que se adaptan a las nuevas necesidades, exigencias y según las necesidades del proyecto a construir, demandando diversas características del material, en este caso trata de un sistema estructural de concreto reforzado o armado.

Podemos definir al **concreto** como:

Una mezcla de cemento, agua, agregados gruesos y finos (grava y arena) y aditivos (usados para mejorar sus propiedades) que al mezclarse producen una reacción química que endurece la mezcla y que posterior a su fraguado (proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad, es decir que pierde la propiedad de ser moldeado) adquiere resistencia.

Por lo tanto, el **concreto reforzado** es:

La combinación de concreto y acero (varillas lisas o corrugadas y mallas electrosoldadas); donde el acero proporcionará la resistencia a la tensión.

Es importante mencionar que para la obtención de un buen concreto es necesario que el cemento cumpla con los requisitos especificados en la norma NMX-C-414-ONNCCE, los agregados con los requisitos de la norma NMX-C-111-ONNCCE y el agua de la mezcla con la norma NMX-C-122-ONNCCE; finalmente para el uso de aditivos, la norma NMX-C-255-ONNCCE.

En cuanto al **acero de refuerzo**, podemos definirlo como:

Aleación (mezcla homogénea de dos o más elementos, dónde al menos uno debe ser un metal) de hierro con un pequeño contenido de carbono, utilizado en las estructuras para proporcionar resistencia a la tensión y compresión junto con el concreto.

Así mismo, el acero empleado en la construcción este certificado, para asegurarnos que cumplen con la calidad y resistencia solicitada por el proyecto.

El acero empleado debe cumplir con NMX-C-407-ONNCCE o NMX-B-457 CANACERO y la malla cumplirá con la norma NMX-B-290-CANACERO.

En CUMBRES HERRADURA se hace uso de varilla corrugada que cuenta con protuberancias en la superficie, lo que permite una mayor adherencia entre el concreto y el acero.

5.2.1 Acero y concreto convencionales empleados en la construcción.

De acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias⁵¹ y la Gaceta Oficial de la Ciudad de México⁵² el 20 de julio de 2021 de la Secretaría de Obras y Servicios tenemos que:

El concreto de resistencia normal empleado para fines estructurales puede ser de dos clases: clase 1, con peso volumétrico en estado fresco superior a 22 kN/m³ (2.2 t/m³) y clase 2 con peso volumétrico en estado fresco comprendido entre 19 y 22 kN/m³ (1.9 y 2.2 t/m³).

Para las obras clasificadas como del grupo A o B1, según se definen en el artículo 139 del Reglamento, se usará concreto de clase 1, así como en los que se especifique en estas Normas. La concreta clase 2 se podrá usar en estructuras menores, de claros no mayores de 5 m y alturas de no más de dos niveles.

Los requisitos adicionales para concretos de alta resistencia con resistencia especificada a la compresión, f_c' , igual o mayor que 40 MPa (400 kg/cm²).

Por lo que tenemos:

- *Los concretos clase 1 tendrán una resistencia especificada, f_c' , igual o mayor que 25 MPa (250 kg/cm²).*
- *La resistencia especificada de los concretos clase 2 no será menor que 20 MPa (200 kg/cm²).*
- *En muros de concreto reforzado de vivienda de hasta dos niveles, se admitirá el uso de concreto clase 2 con resistencia especificada de 15 MPa (150 kg/cm²).*

Tabla 3. Resistencias del concreto / Elaboración propia.

Por su resistencia a la compresión.	
Baja.	< 150 Kg/cm ²
Moderada.	>150 y 250 Kg/cm ²
Normal.	>250 y 400 Kg/cm ²
Muy alta.	>400 y 800 Kg/cm ²

⁵¹ Disposiciones **técnicas** que fijan los requisitos técnicos mínimos para el diseño y construcción de todo tipo de edificaciones con las especificaciones y excepciones que en ellas se indican.

⁵² Órgano del Gobierno de la Ciudad de México, que tiene como finalidad publicar todas aquellas disposiciones emanadas de autoridad competente que tengan aplicación en el ámbito de la CDMX, y de las solicitadas por los particulares en los términos de la normatividad correspondiente.

En cuanto al acero se presenta la siguiente ilustración de varilla corrugada:

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS							
Designación	Diámetro Nominal		Área de sección Transversal	Peso nominal	Número de piezas por tonelada*	Tamaño del madril para doblez	
	Número	in				mm	cm ²
3	3/8"	9.5	0.71	0.560	152 a 155	3.5 d	33
4	1/2"	12.7	1.27	0.994	83 a 85	3.5 d	44
5	5/8"	15.9	1.98	1.552	53 a 55*	3.5 d	56
6	3/4"	19	2.85	2.235	36 a 38	5 d	95
8	1"	25.4	5.07	3.973	21	6 d	127
10	1 1/4"	31.8	7.94	6.225	13	7 d	223
12	1 1/2"	38.1	11.4	8.938	9	8 d	305

*El peso y el número de piezas puede variar en +/- 6%, de acuerdo a la norma NMX-B-507-2019

Ilustración 26. Tabla de varilla corrugada / Ilustración internet Gerdadu Corsa.

El acero de refuerzo en la construcción puede emplearse en losas, muros, castillos, trabes, columnas, elementos prefabricados, entre otros.

5.3 Proceso constructivo.

A continuación, se describe en términos generales el proceso que se lleva a cabo en CUMBRES HERRADURA, de acuerdo con el superintendente de la obra:

Nivel: cimentación profunda.

1. Limpieza del terreno.
2. Trazo para perforación.
3. Perforación para habilitado de acero de pilas.
4. Habilitado y armado de acero de pilas.
5. Colado de pilas en sitio.
6. Excavación y corte (sólo fue necesario realizar la excavación para la cisterna y elaboración de bermas).
7. Nivelación y compactación del terreno.
8. Excavación para la cimentación superficial (dados y contratraves).
9. Descabece de las pilas de concreto.

10. Habilitado y armado de dados y contratrabes.
11. Cimbrado para dados y contratrabes.
12. Colado y vibrado de dados y contratrabes.
13. Descimbrado de dados y contratrabes.

Nivel: Sótano 5.

1. Habilitado y armado de la losa fondo de la cisterna.
2. Colado y vibrado de losa fondo.
3. Habilitado y armado de elementos estructurales en cisterna (muros y columnas).
4. Cimbrado de muros y columnas.
5. Colado y vibrado de muros y columnas.
6. Descimbrado de muros y columnas.
7. Cimbrado para losa tapa de sótano 5.
8. Habilitado y armado de losa tapa de sótano 5 (nervaduras y trabes).
9. Colocación de casetones de fibra de vidrio y tendido de malla electrosoldada.
10. Colado y vibrado de losa.
11. Descimbrado losa.

Nivel: Sótano 4.

1. Habilitado y colocación de acero en muros y columnas.
2. Cimbrado de muros y columnas.
3. Colado y vibrado de muros y columnas.
4. Descimbrado de muros y columnas.
5. Cimbrado en losa tapa sótano 4 (nervaduras y trabes).
6. Colocación de casetones de fibra de vidrio y tendido de malla electrosoldada.
7. Colado y vibrado de losa.
8. Descimbrado losa.

El proceso se repite para todos los niveles posteriores (5 sótanos y 15 niveles).

A continuación, se muestran ilustraciones de algunas de las actividades ya mencionadas.



Ilustración 27. Armado de dados. / Ilustración propia: tomada en obra.



Ilustración 28 y 29. Armado de columnas. / Ilustración propia: tomada en obra.

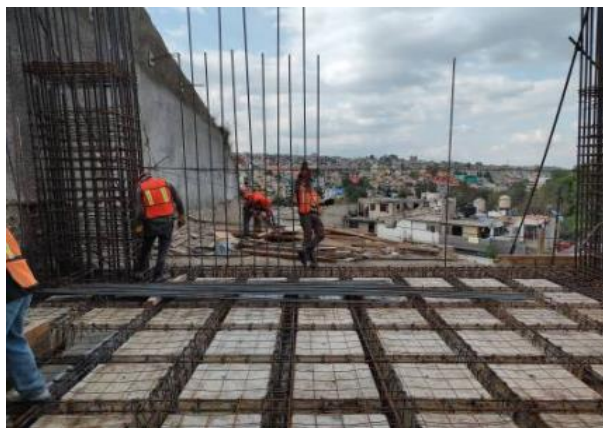


Ilustración 30. Armado de muros. / Ilustración propia: tomada en obra.



Ilustración 31. Cimbra en muros. / Ilustración propia: tomada en obra.



Ilustración 32. Tendido de malla electrosoldada. / Ilustración propia: tomada en obra.



Ilustración 33. Colado y vibrado en losa. / Ilustración propia: tomada en obra.



CAPÍTULO 6. BENCHMARKING PARA LA ADOPCIÓN DE BIM.

6.1 Benchmarking para la adopción de BIM.

6.2 Fases del Benchmarking.

6.2.1 Planeación

6.2.1.1 Definir los socios o colaboradores del Benchmarking.

6.2.1.2 Definir el método de recopilación de información.

6.2.1.2.1 Análisis interno.

6.2.1.2.2 Análisis externo.

6.2.1.3 Recopilación de datos.

6.2.2 Análisis.

6.2.2.1 Determinar la brecha competitiva.

6.2.2.2 Proyectar los resultados futuros.

6.2.3 Integración.

6.2.3.1 Comunicación de los resultados.

6.2.3.2 Establecer metas funcionales.

6.1 Benchmarking para el análisis de la adopción BIM.

En la actualidad las constructoras se ven desafiadas por mercados cada día más competitivos, lo que genera la necesidad de adquirir y actualizar los conocimientos sobre el desarrollo de nuevas metodologías que les permitan adaptarse a los cambios tecnológicos.

De acuerdo con el Informe Nacional BIM 2020 del Reino Unido de NBS⁵³, las pequeñas empresas siguen enfrentando los mayores desafíos para adoptar BIM (por el nivel de coordinación y costo que este requiere), pero las que los superan tienen las mismas probabilidades de beneficiarse. El 62 % de las empresas con 15 empleados o menos han adoptado BIM, en comparación con el 80 % de las que tienen más de 50 empleados. Pero esto ha aumentado del 56 % en 2019. Por lo tanto, las pequeñas empresas que han adoptado BIM, tienen la misma probabilidad que las grandes empresas que reconocen los beneficios que aporta la adopción de dicha metodología.

Las empresas deben analizar sus fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas para posicionarse frente a la competencia, es decir, identificar los puntos críticos para poder crear soluciones que ayuden a optimizar los recursos con los que se cuenta. Con base a la definición del problema en donde se identificaron las oportunidades de mejora en la administración de materiales y de acuerdo con la innovación en las metodologías, en este caso BIM, se tratará de identificar las aportaciones de esta para la mejora en los procesos tradicionales, por lo que se propone realizar un Benchmarking y así reconocer sus bondades.

Pero ¿Qué es el **Benchmarking**? Según (Spendolini, 1992)⁵⁴:

“Es un proceso sistemático y continuo para evaluar los productos, servicios y procesos de trabajo de las organizaciones que se reconocen como representantes de las mejores prácticas, con el propósito de realizar mejoras organizacionales”.

⁵³ NBS, plataforma global integrada del Reino Unido, para todos los involucrados en el diseño, suministro y construcción del entorno construido (BIM). www.thenbs.com.

⁵⁴ Spendolini, M. J. (1992). *The Benchmarking Book*.

6.2 Fases del Benchmarking.

De acuerdo con las fases propuestas por Robert C. Camp en 1997⁵⁵, considero:

1. Planeación.
2. Análisis.
3. Integración.
4. Acción.
5. Madurez.

La aplicación del Benchmarking se llevará a cabo para la empresa que se encuentra desarrollando CUMBRES HERRADURA y por cuestiones de confidencialidad la denominaremos “Constructora R” y se consideraron las siguientes:

Tabla 4. Tabla fases del Benchmarking / Elaboración propia.

FASE	ELEMENTOS.
PLANEACIÓN	1. Definir los elementos a aplicar el Benchmarking. 2. Definir el método de recopilación de información. 3. Recopilación de datos.
ANÁLISIS.	4. Determinar la brecha competitiva. 5. Proyectar los resultados futuros.
INTEGRACIÓN.	6. Comunicación de los resultados. 7. Establecer metas funcionales.

Cada fase se desglosa de la siguiente forma:

1. **Planeación:** En esta primera fase se determina el método para recopilación de datos y se lleva a cabo.
2. **Análisis:** La segunda etapa consiste en comprender los procesos que nos permitirán mejorar las prácticas habituales en el método tradicional de

⁵⁵ Pionero en la implementación del Benchmarking en Xerox.

cuantificación, así como conocer a los socios del Benchmarking (compañías seleccionadas para el Benchmarking), para determinar la brecha existente entre los mismos.

- 3. Integración:** Se hará uso de los resultados del análisis comunicando los hallazgos a todos los niveles de la empresa para establecer nuevos objetivos e incentivar a incorporar nuevas prácticas en sus procesos operacionales, métodos y prácticas habituales que permitan lograr la mejora continua, reduciendo la brecha existente entre los diferentes métodos.

6.2.1 Planeación.

6.2.1.1 Definir los socios o colaboradores del Benchmarking.

Los socios o colaboradores del Benchmarking según (Spendolini, 1992)⁵⁶ son cualquier persona u organización que brinda la información relacionada con la investigación del Benchmarking.

La información será brindada por dos colaboradores, que de igual forma por cuestiones de confidencialidad serán llamados “Empresa 1” y “Empresa 2”.

- La empresa 1, cuenta con más de 6 años de experiencia, ha desarrollado proyectos BIM de infraestructura para el sector público: Tren Maya e IMSS, así como proyectos pertenecientes al ámbito privado: hospitales, complejos residenciales y plantas industriales.
- Empresa 2, es una empresa internacional encargada del diseño integral de ingeniería y arquitectura para proyectos de infraestructura aeroportuaria, agua potable, estadios, campus escolares, naves industriales, parques eólicos, edificios, etc.

⁵⁶ Spendolini, M. J. (1992). *The Benchmarking Book*.

6.2.1.2 Definir el método de recopilación de información.

La información por recopilar se hará mediante una encuesta a la Constructora R para entrar en contexto sobre su conocimiento en BIM y para saber cómo es que realizan la cuantificación de materiales; por otro lado, a las empresas 1 y 2 también se les realizará una encuesta para conocer los proyectos desarrollados similares a CUMBRES HERRADURA donde se ha implementado BIM.

6.2.1.2.1 Análisis interno:

Para el análisis interno de Constructora R se realizaron las siguientes encuestas:

Encuesta 1: Conocimiento de BIM.

La encuesta se realizó al personal administrativo del proyecto, con el objetivo de tener un panorama sobre su conocimiento de la metodología.

Tabla 5. Ficha técnica encuesta 1 "Conocimiento BIM" / Elaboración propia.

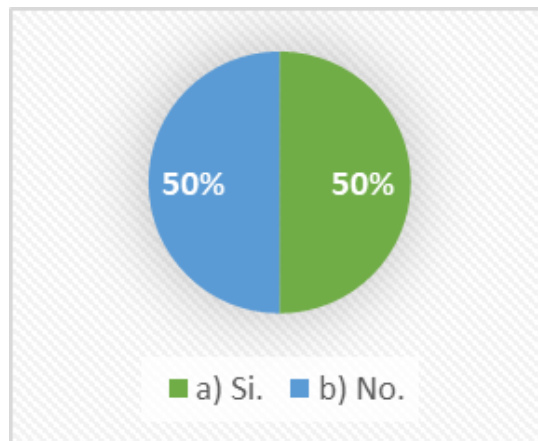
Ficha técnica.	
Inicio:	12-oct-22
Fin:	17-oct-22
Duración:	5 días.
Difusión:	Formulario Google.
Núm. encuestados:	10
Núm. preguntas:	6

Tabla 6. Encuesta "Conocimiento BIM" / Elaboración propia.

Núm.	Preguntas.	Respuestas.
1	¿Tiene conocimiento de BIM (Building Modeling Information)?	a) Si. b) No.
2	Ha escuchado o sabe que BIM es:	a) Un software. b) Una metodología. c) Diseñar un proyecto. d) Otro (especifique). 2) Desconozco BIM.
3	¿Qué aportaciones considera que pueden tener los proyectos al implementar BIM?	R:
4	¿Considera que el uso de softwares optimiza la administración de proyectos?	a) Si. b) No.
5	¿Cuenta con una certificación o manejo al menos del 80% de algún Software?	a) Software arquitectura. b) Software estructuras. c) Software costos. d) ERP (Sistema de planificación de recursos empresariales). d)No. e) Otro (especifique).
6	Para usted ¿Cuáles considera que son los factores que se atribuyen al mal manejo y control de los materiales en la obra?	R:

Resultados:

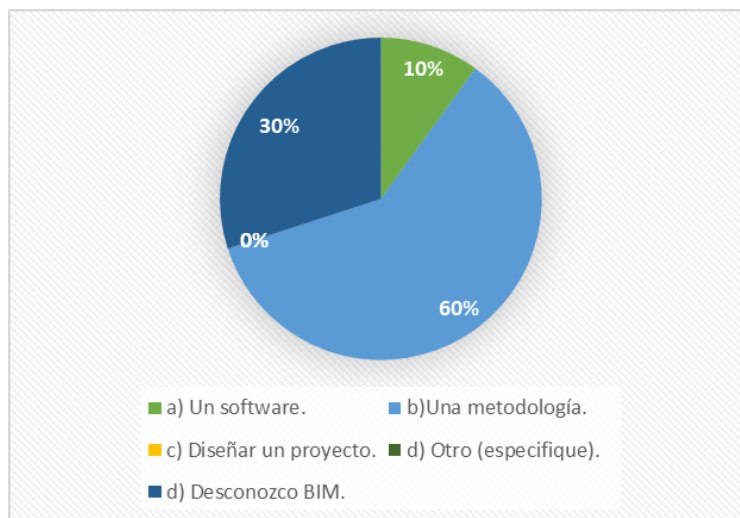
Pregunta 1. ¿Tiene conocimiento de BIM (Building Modeling Information)?



Gráfica 1. Conocimiento BIM / Elaboración propia.

Como podemos observar, la mitad de los encuestados tiene alguna idea de BIM y el otro 50% reconoce que no cuenta con conocimiento de este.

Pregunta 2. Ha escuchado o sabe que BIM es:



Gráfica 2. Sabe de BIM que... / Elaboración propia.

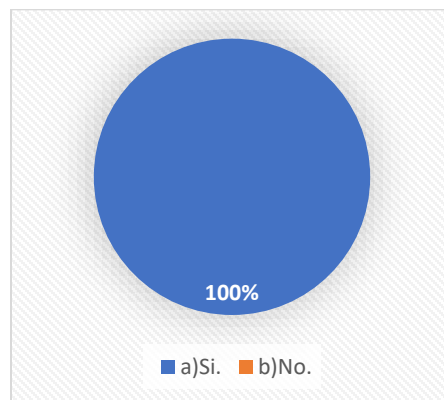
Al menos el 60% de los encuestados sabe o ha escuchado que BIM es una metodología, el 30% desconoce qué es BIM y el 10% ha escuchado o sabe que es un software.

Pregunta 3. ¿Qué aportaciones considera que pueden tener los proyectos al implementar BIM?

- P1: Desconozco.
- P2: Administración de la construcción.
- P3: Puede agilizar la planificación, diseño y en el proceso de la construcción del proyecto.
- P4: Mejor manejo del proyecto.
- P5: Ninguna.
- P6: Evitar re trabajar al cambiar algo en el proyecto.
- P7: Detección de interferencias.
- P8: No sé.
- P9: Control de obra, control presupuestal, boletines (cambios de proyecto), planos asbuilt.
- P10: Reducción de costos en el proyecto.

De acuerdo con las respuestas, podemos concluir que en su mayoría reconocen que una aportación al implementar BIM es la mejora en la administración de los materiales.

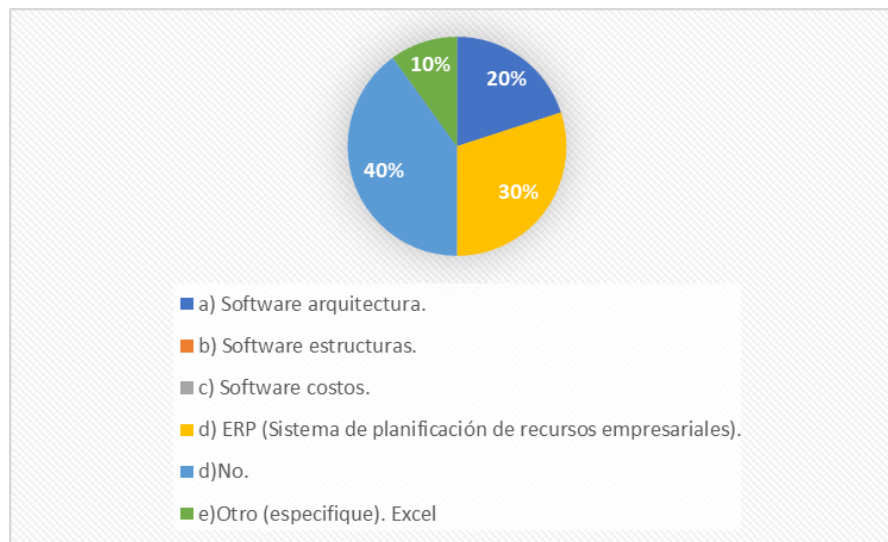
Pregunta 4. ¿Considera que el uso de softwares optimiza la administración de proyectos?



Gráfica 3. Uso de softwares. / Elaboración propia.

El 100% de los encuestados afirma que el uso de softwares optimiza la administración de los proyectos.

Pregunta 5. ¿Cuenta con una certificación o manejo al menos del 80% de algún Software?



Gráfica 4. Manejo de software. / Elaboración propia.

El 40% de los encuestados no cuenta con una certificación o manejo al menos del 80% de algún software, el 30% maneja ERP's, el 20% software de arquitectura y el 10% maneja al menos el 80% de Excel.

Pregunta 6. Para usted ¿Cuáles considera que son los factores que se atribuyen al mal manejo y control de los materiales en la obra?

- P1: Mala comunicación y falta de organización.
- P2: Presión en tiempos de ejecución.
- P3: Mal uso por parte de algunos de los trabajadores y mala supervisión.
- P4: Mala ejecución del uso del material.
- P5: Entregar a destiempo.
- P6: Un mal proyecto ejecutivo, mal presupuesto.
- P7: Falta de planeación.
- P8: Sin comentarios.
- P9: Malas cuantificaciones, malas programaciones de entrega, mala supervisión de la ejecución de esos materiales.
- P10: Mala supervisión, nulo registro de avances y procedimientos constructivos y no tener rendimientos documentados en sitio.

En términos generales podemos observar que los encuestados consideran que la falta planeación, comunicación y supervisión de los trabajos influyen para el manejo y control de materiales.

Encuesta 2: Conocer sus procesos de cuantificación de materiales:

La encuesta se realizó a la persona encargada de realizar las cuantificaciones en el proyecto.

Tabla 7. Ficha técnica encuesta 2 "Cuantificación de materiales" / Elaboración propia.

Ficha técnica.	
Inicio:	17-nov-22
Fin:	17-nov-22
Duración:	1 día.
Difusión:	Física.
Núm. encuestados:	1
Núm. preguntas:	3

1. ¿Cómo realiza la cuantificación del acero y concreto?

Mediante generadores de obra con formatos ya establecidos (usados en proyectos anteriores) basándonos en las especificaciones y dimensiones plasmadas en los planos estructurales correspondientes a cada elemento.

2. ¿Cuánto tiempo toma realizar la cuantificación de materiales del proyecto?

En promedio considerando el proyecto Cumbres Herradura Torre 1, se tomaron 3 semanas en la cuantificación de acero, cimbra y concreto, únicamente un auxiliar de obra.

3. Proporcione los datos obtenidos de la cuantificación del proyecto con lo ejecutado en obra.

Tabla 8. "Cuantificación de materiales" / Elaboración propia. Datos: CUMBRES HERRADURA.

NIVEL SÓTANO 4B		CUANTIFICACIÓN	EJECUTADO
TIPO	ESPECIFICACIÓN	TRADICIONAL	(REAL).
ACERO	TOTAL (TON)	47.02	71.20
CONCRETO	TOTAL (M3)	318.50	527.42

6.2.1.2.2 Análisis externo:

El objetivo de la encuesta es conocer los proyectos similares a CUMBRES HERRADURA para obtener indicadores que nos permitan visualizar las ventajas y desventajas del caso de aplicación y de los proyectos aportados por las empresas.

Las preguntas formuladas para las empresas son las siguientes:

1. Indicar los siguientes datos del proyecto.
Tipo de obra:
Niveles.
Dimensión BIM:
Nivel de madurez:
Nivel de desarrollo:
2. ¿Cuánto tiempo tomo realizar el modelo proyecto en cuestión?
3. ¿En qué software se desarrolló el modelo?
4. ¿Considera que el software utilizado cuenta con las herramientas necesarias para una cuantificación de materiales precisa?
5. De ser negativa la respuesta ¿Cuál software brinda mayor precisión?
6. ¿Cuánto tiempo tomó/toma obtener las volumetrías del material de la subestructura y estructura con ayuda del software?
7. Proporcione los datos obtenidos de la cuantificación del proyecto con lo ejecutado en obra.
8. De acuerdo con su experiencia ¿Cuánto tiempo tomaría realizar el modelo proyecto CUMBRES HERRADURA? Tomando en cuenta lo siguiente:
Dimensión BIM:
Nivel de madurez:
Nivel de desarrollo:
9. ¿En qué software recomienda realizar el modelo?

10. ¿Cuánto tiempo tomaría obtener los volúmenes de acero y concreto?

6.2.1.3 Recopilación de datos.

Empresa 1.

•Proyecto 1.

1. Indicar los siguientes datos del proyecto.

Tipo de obra: Residencial mixto.

Niveles: 10 niveles, 5 sótanos.

Superficie: 1188 m² / nivel.

Dimensión BIM: 3D.

Nivel de madurez: 3.

Nivel de desarrollo: LOD 400.

2. ¿Cuánto tiempo tomo realizar el modelo proyecto en cuestión?

10 meses considerando todos los cambios.

3. ¿En qué software se desarrolló el modelo?

Revit 2021.

4. ¿Considera que el software utilizado cuenta con las herramientas necesarias para una cuantificación de materiales precisa?

Si.

5. De ser negativa la respuesta ¿Cuál software brinda mayor precisión?

Tekla brinda una precisión similar a Revit, aunque al ser un programa especial para estructuras es difícil la coordinación con otras disciplinas como Arquitectura y MEP que son modeladas comúnmente en su mayoría en Revit.

6. ¿Cuánto tiempo tomó/toma obtener las volumetrías del material (acero y/o concreto) de la subestructura y estructura con ayuda del software?

3 semanas.

7. Proporcione los datos obtenidos de la cuantificación del proyecto con lo ejecutado en obra.

Tabla 9. "Cuantificación de materiales" / Elaboración propia. Datos: Empresa 1.

TIPO	ESPECIFICACIÓN	CUANTIFICACIÓN		EJECUTADO (REAL).
		TRADICIONAL	BIM	
ACERO	No. 2 (1/4")	11.23	11.39	11.00
	No. 3 (3/8")	190.81	198.96	200.00
	No. 4 (1/2")	144.74	145.99	146.00
	No. 5 (5/8")	56.82	57.12	56.00
	No. 6 (3/4")	106.08	109.78	110.00
	No. 8 (1")	88.50	97.49	98.00
	No. 10 (1 1/4")	0.70	0.74	1.00
	No. 12 (1 1/2")	59.67	65.30	65.00
	TOTAL (TON)	658.55	686.77	687.00
CONCRETO	F'C= 350 kg/cm ²	4648.70	4702.96	4702.00
	F'C= 100 kg/cm ²	88.23	58.03	59.00
	F'C= 200 kg/cm ²	32.46	30.79	31.00
	F'C= 250 kg/cm ²	745.98	748.99	749.00
	F'C= 500 kg/cm ²	65.32	71.43	72.00
		TOTAL (M3)	5580.69	5612.20

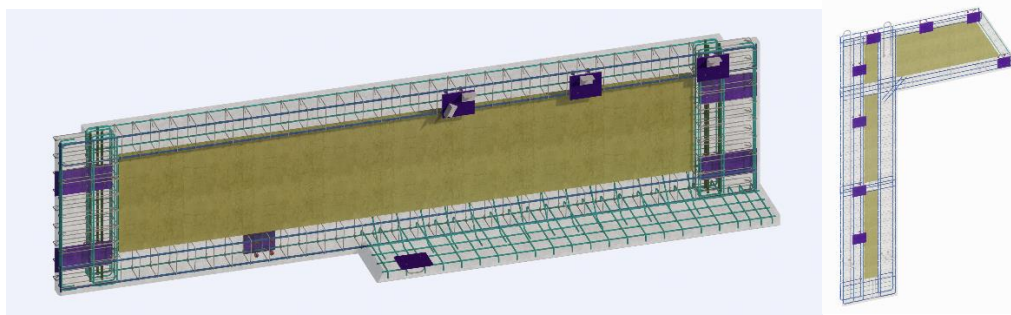


Ilustración 34. Detalles LOD 400. / Ilustración: Empresa 1.

8. De acuerdo con su experiencia ¿Cuánto tiempo tomaría realizar el modelo proyecto CUMBRES HERRADURA? Tomando en cuenta lo siguiente:

Dimensión BIM: 3D.

Nivel de madurez: 3.

Nivel de desarrollo: LOD 400.

9. ¿En qué software recomienda realizar el modelo?

Revit por la precisión y bondades que tiene con los modelos de otras disciplinas.

10. ¿Cuánto tiempo tomaría obtener los volúmenes de acero y concreto?

3 a 4 semanas.

Empresa 1.

•Proyecto 2.

1. Indicar los siguientes datos del proyecto.

Tipo de obra: Residencial / Estructura Prefabricada.

Niveles: 1

Superficie: 800 m² / nivel (cimentación / pilas, dados, zapatas, contratrabes, incluye planos de fabricación para subestructura).

Dimensión BIM: 3D

Nivel de madurez: 3

Nivel de desarrollo: LOD 400

2. ¿Cuánto tiempo tomo realizar el modelo proyecto en cuestión?

5 meses considerando todos los cambios.

3. ¿En qué software se desarrolló el modelo?

Revit 2021.

4. ¿Considera que el software utilizado cuenta con las herramientas necesarias para una cuantificación de materiales precisa?

“Sí”, sin embargo, para la cuantificación precisa se requirió de la generación de planos de fabricación para obtener el despiece preciso de varillas y placas de conexión.

5. De ser negativa la respuesta ¿Cuál software brinda mayor precisión?

Tekla brinda una precisión similar a Revit, aunque al ser un programa especial para estructuras es difícil la coordinación con otras disciplinas como Arquitectura y MEP que son modeladas comúnmente en su mayoría en Revit.

6. ¿Cuánto tiempo tomó/toma obtener las volumetrías del material (acero y/o concreto) de la subestructura y estructura con ayuda del software?

3 semanas, se incluyen planos para fabricación y documentación para montaje y coordinación en sitio.

7. Proporcione los datos obtenidos de la cuantificación del proyecto con lo ejecutado en obra.

Tabla 10. “Cuantificación de materiales” / Elaboración propia. Datos: Empresa 1.

TIPO	ESPECIFICACIÓN	CUANTIFICACIÓN		EJECUTADO (REAL).
		TRADICIONAL	BIM	
ACERO	No. 2 (1/4")	0.00	0.00	0.00
	No. 3 (3/8")	0.28	0.73	1.00
	No. 4 (1/2")	71.87	74.32	75.00
	No. 5 (5/8")	53.83	57.83	58.00
	No. 6 (3/4")	72.89	69.53	70.00
	No. 8 (1")	79.75	80.67	81.00
	No. 10 (1 1/4")	0.00	0.00	0.00
	No. 12 (1 1/2")	18.59	22.31	23.00
	TOTAL (TON)	297.21	305.39	308.00
CONCRETO	F'C= 350 kg/cm ²	266.35	306.17	306.50
	TOTAL (M3)	266.35	306.17	306.50



Ilustración 35. "De BIM a la realidad". / Ilustración: Empresa 1.

Empresa 2.

•Proyecto 1.

1. Indicar los siguientes datos del proyecto.

Tipo de obra: Residencial.

Niveles: 14 niveles, 9 sótanos.

Superficie: 963 m².

Dimensión BIM: 3D

Nivel de madurez: 3

Nivel de desarrollo: LOD 350

2. ¿Cuánto tiempo tomo realizar el modelo proyecto en cuestión?

Cuatro meses, debido a la cantidad de la gente que participó y la cantidad de cambios que se tuvieron que realizar durante el proceso de maduración del proyecto.

3. ¿En qué software se desarrolló el modelo?

Revit 2020.

4. ¿Considera que el software utilizado cuenta con las herramientas necesarias para una cuantificación de materiales precisa?

Considero que cumple con lo necesario para cuantificar por material

5. De ser negativa la respuesta ¿Cuál software brinda mayor precisión?

Revit es amigable, pero Teckla Structure brinda más precisión.

6. ¿Cuánto tiempo tomó/toma obtener las volumetrías del material (acero y/o concreto) de la subestructura y estructura con ayuda del software?

De 3-4 semanas, pero generar una tabla de volumetrías no demora demasiado, el tema es organizar y clasificar desde el inicio del proyecto teniendo muy claro qué clase de cuantificaciones serán entregarles, ya que en un modelo muy avanzado y dependiendo de su magnitud puede complicar los tiempos.

7. Proporcione los datos obtenidos de la cuantificación del proyecto con lo ejecutado en obra.

Tabla 11. "Cuantificación de materiales" / Elaboración propia. Datos: Empresa 2.

TIPO	ESPECIFICACIÓN	CUANTIFICACIÓN		EJECUTADO (REAL).
		TRADICIONAL	BIM	
ACERO	TOTAL (TON)	715.81	833.21	835.00
CONCRETO	TOTAL (M3)	5840.15	6548.13	6550.00

8. De acuerdo con su experiencia ¿Cuánto tiempo tomaría realizar el modelo proyecto CUMBRES HERRADURA? Tomando en cuenta lo siguiente:

Dimensión BIM: 3D.

Nivel de madurez: 3.

Nivel de desarrollo: LOD 350.

9. ¿En qué software recomienda realizar el modelo?

Revit structure o Revit architecture.

10. ¿Cuánto tiempo tomaría obtener los volúmenes de acero y concreto?

3 - 4 semanas.

Empresa 2.**•Proyecto 2.****1. Indicar los siguientes datos del proyecto.**

Tipo de obra: Residencial mixto.

Niveles: 22 niveles, 2 sótanos.

Superficie: 1058 m².

Dimensión BIM: 3D

Nivel de madurez: 3

Nivel de desarrollo: LOD 350

2. ¿Cuánto tiempo tomo realizar el modelo proyecto en cuestión?

4 meses, en razón de las mismas consideraciones que el proyecto anterior.

3. ¿En qué software se desarrolló el modelo?

Revit 2020.

4. ¿Cuánto tiempo tomó/toma obtener las volumetrías del material (acero y/o concreto) de la subestructura y estructura con ayuda del software?

De 3 a 4 semanas.

5. Proporcione los datos obtenidos de la cuantificación del proyecto con lo ejecutado en obra.

Tabla 12. "Cuantificación de materiales" / Elaboración propia. Datos: Empresa 2.

TIPO	ESPECIFICACIÓN	CUANTIFICACIÓN		EJECUTADO (REAL).
		TRADICIONAL	BIM	
ACERO	TOTAL (TON)	835.60	993.21	995.47
CONCRETO	TOTAL (M3)	6023.44	6004.87	6006.00

6.2.2 Análisis.

6.2.2.1 Determinar la brecha competitiva.

A partir de los resultados obtenidos de los cuestionarios aplicados y los datos numéricos proporcionados por las empresas, se llevará a cabo el análisis de la información.

Se realizó una tabla comparativa con las respuestas del cuestionario aplicado a ambas, obteniendo lo siguiente:

Tabla 13. "Tabla comparativa empresas BIM" / Elaboración propia.

DATOS	EMPRESA 1		EMPRESA 2	
	PROYECTO 1	PROYECTO 2	PROYECTO 1	PROYECTO 2
Tipo.	Residencial mixto.	Residencial.	Residencial.	Residencial mixto.
Superficie del terreno (m2).	1188	800	963	1058
Niveles.	15	1	23	24
Dimensión BIM.	3D	3D	3D	3D
Nivel de madurez.	3	3	3	3
Nivel de desarrollo.	LOD 400	LOD 400	LOD 350	LOD 350
Software.	Revit 2021	Revit 2021	Revit 2020	Revit 2020
Modelo inicial (tiempo).	3 semanas	2 semanas	1 mes	1 mes
Modelo federado (tiempo)	10 meses	5 meses	13 meses	13 meses
Obtención de volúmenes (tiempo).	3 semanas	3 semanas	4 semanas	4 semanas

Así mismo, se realizó una tabla comparativa con las propuestas para realizar el modelo BIM de CUMBRES HERRADURA y de acuerdo con la experiencia de las empresas; brindaron un estimado del tiempo que tomaría realizar el modelo inicial, el modelo federado y la obtención de las volúmenes.

Tabla 14. "Tabla comparativa propuestas BIM" / Elaboración propia.

	DATOS	CUMBRES HERRADURA	
		EMPRESA 1	EMPRESA 2
PROPUESTA	Tipo.	Residencial.	Residencial.
	Superficie del terreno (m2).	866	866
	Niveles.	20	20
	Dimensión BIM.	3D	3D
	Nivel de madurez.	3	3
	Nivel de desarrollo.	LOD 400	LOD 350
	Software.	Revit 2021	Revit 2021
ESTIMADO	Modelo inicial (tiempo).	1 mes	1 mes
	Modelo federado (tiempo)	Duración del proyecto.	Duración del proyecto.
	Obtención de volúmetrías (tiempo).	4 semanas	4 semanas

Posteriormente, para cada uno de los proyectos, se realizó el análisis de la variabilidad que presenta la obtención de volúmetrías de forma tradicional respecto a lo ejecutado y de BIM respecto a lo ejecutado, obteniendo lo siguiente:

Tabla 15. "Tabla comparativa ejecutado vs BIM y cuantificación tradicional" E1/ Elaboración propia.

EMPRESA 1	PROYECTO 1	TIPO	UNIDAD	CUANTIFICACIÓN		EJECUTADO (REAL).	VARIACIÓN REAL VS.	
				TRADICIONAL	BIM		BIM	TRADICIONAL
		ACERO	TOTAL (TON)	658.55	686.77	687.00	0.23	28.45
CONCRETO	TOTAL (M3)	5580.69	5612.20	5613.00	0.80	32.31		
EMPRESA 1	PROYECTO 2	TIPO	UNIDAD	CUANTIFICACIÓN		EJECUTADO (REAL).	VARIACIÓN REAL VS.	
				TRADICIONAL	BIM		BIM	TRADICIONAL
		ACERO	TOTAL (TON)	297.21	305.39	308.00	2.61	10.79
CONCRETO	TOTAL (M3)	266.35	306.17	306.50	0.33	40.15		

Tabla 16. "Tabla comparativa ejecutado vs BIM y cuantificación tradicional" E2/ Elaboración propia.

EMPRESA 2	PROYECTO 1	TIPO	UNIDAD	CUANTIFICACIÓN		EJECUTADO (REAL).	VARIACIÓN REAL VS.	
				TRADICIONAL	BIM		BIM	TRADICIONAL
		ACERO	TOTAL (TON)	715.81	833.21	835.00	1.79	119.19
CONCRETO	TOTAL (M3)	5840.15	6548.13	6550.00	1.87	709.85		
EMPRESA 2	PROYECTO 2	TIPO	UNIDAD	CUANTIFICACIÓN		EJECUTADO (REAL).	VARIACIÓN REAL VS.	
				TRADICIONAL	BIM		BIM	TRADICIONAL
		ACERO	TOTAL (TON)	835.60	993.21	995.47	2.26	159.87
CONCRETO	TOTAL (M3)	6023.44	6004.87	6006.00	1.13	-17.44		

Finalmente, se solicitó a la gerencia de CUMBRES HERRADURA que proporcionará las volumetrías de su cuantificación inicial y el volumen ejecutado, para visualizar la variabilidad que presentan respecto a estas, las volumetrías que se proporcionaron son del nivel sótano 4B:

Tabla 17. "Tabla comparativa ejecutado vs BIM y cuantificación tradicional" CH/ Elaboración propia.

CUMBRES HERRADURA	TIPO	UNIDAD	CUANTIFICACIÓN		EJECUTADO (REAL).	VARIACIÓN REAL VS.	
			TRADICIONAL	BIM		BIM	TRADICIONAL
	ACERO	TOTAL (TON)	47.02	N/A	71.20	N/A	24.18
CONCRETO	TOTAL (M3)	318.50	N/A	527.42	N/A	208.92	

6.2.2.2 Proyectar los resultados futuros.

De acuerdo con los resultados obtenidos, tenemos las siguientes variaciones porcentuales para cada uno de los proyectos:

Tabla 18. "Tabla comparativa ejecutado vs BIM y cuantificación tradicional %" E1/ Elaboración propia.

EMPRESA 1	PROYECTO 1	TIPO	UNIDAD	VARIACIÓN REAL VS.		% VARIACIÓN REAL VS.	
				BIM	TRADICIONAL	BIM	TRADICIONAL
		ACERO	TON	0.23	28.45	0.033%	4.14%
CONCRETO	M3	0.80	32.31	0.014%	0.58%		
EMPRESA 1	PROYECTO 2	TIPO	UNIDAD	VARIACIÓN REAL VS.		% VARIACIÓN	
				BIM	TRADICIONAL	BIM	TRADICIONAL
		ACERO	TON	2.61	10.79	0.847%	3.50%
CONCRETO	M3	0.33	40.15	0.108%	13.10%		

Tabla 19. "Tabla comparativa ejecutado vs BIM y cuantificación tradicional %" E2/ Elaboración propia.

EMPRESA 2	PROYECTO 1	TIPO	UNIDAD	VARIACIÓN REAL VS.		% VARIACIÓN	
				BIM	TRADICIONAL	BIM	TRADICIONAL
		ACERO	TON	1.79	119.19	0.214%	14.27%
CONCRETO	M3	1.87	709.85	0.029%	10.84%		

EMPRESA 2	PROYECTO 2	TIPO	UNIDAD	VARIACIÓN REAL VS.		% VARIACIÓN	
				BIM	TRADICIONAL	BIM	TRADICIONAL
		ACERO	TON	2.26	159.87	0.227%	16.06%
CONCRETO	M3	1.13	-17.44	0.019%	0.29%		

Tabla 20. "Tabla comparativa ejecutado vs cuantificación tradicional %" CH/ Elaboración propia.

CUMBRES HERRADURA	TIPO	UNIDAD	VARIACIÓN REAL VS.		% VARIACIÓN	
			BIM	TRADICIONAL	BIM	TRADICIONAL
	ACERO	TON	N/A	24.18	N/A	33.96%
CONCRETO	M3	N/A	208.92	N/A	39.61%	

Es evidente que la variación de acero y concreto respecto a lo ejecutado versus lo cuantificado, es particular para cada proyecto y depende de diversos factores como se muestra en la ilustración 20. Diagrama de Ishikawa "Errores en la cuantificación de materiales" – Capítulo 3; donde la causa principal de los errores reportados es la omisión de información por parte del personal que cuantifica, proyecta y elabora las especificaciones técnicas para el proyecto.

Sin embargo, las empresas expertas externaron también que, con la ayuda de un software 3D las cuantificaciones son más precisas que el método convencional, ya que modelando en BIM se consideran los dobleces y radios de doblez indicados por la norma, adicional a que se va haciendo un cruce con las otras disciplinas para evitar interferencias.

No obstante, consideran que realizar el modelado de todos los elementos (LOD 400 o 350), toma más tiempo a que alguien lo haga de forma convencional, pues BIM se trabaja a lo largo de la vida del proyecto, pese a esto, continúan destacando las ventajas del modelo BIM, pues todo lo ingresado a las diferentes plataformas para crear este causa un gran impacto en cuestiones volumétricas.

6.2.3 Integración.

6.2.3.1 Comunicación de los resultados.

De acuerdo con los hallazgos obtenidos en el punto anterior, se organiza una reunión con el gerente de obra para exponer los resultados y evidenciar que la torre Alerce está teniendo un excedente de material cuantificado del 30-40% por nivel, lo que resulta alarmante.

Por lo que se presenta la siguiente información sobre el comportamiento de los materiales de construcción:

Según cifras del Índice Nacional de Precios Productor (INPP)⁵⁷, publicado por el INEGI, en julio del año 2021 la inflación anual en materiales registró su mayor incremento con un 58.25%, en octubre de 2022 llegó a 11.83% y en enero de 2023 se registró una inflación de hasta el 8.20% y tomando en cuenta el análisis realizado para el Centro Nacional de Ingeniería de Costos ((CEICO), 2023)⁵⁸ donde la obra residencial se posiciona hasta el 9.70%.

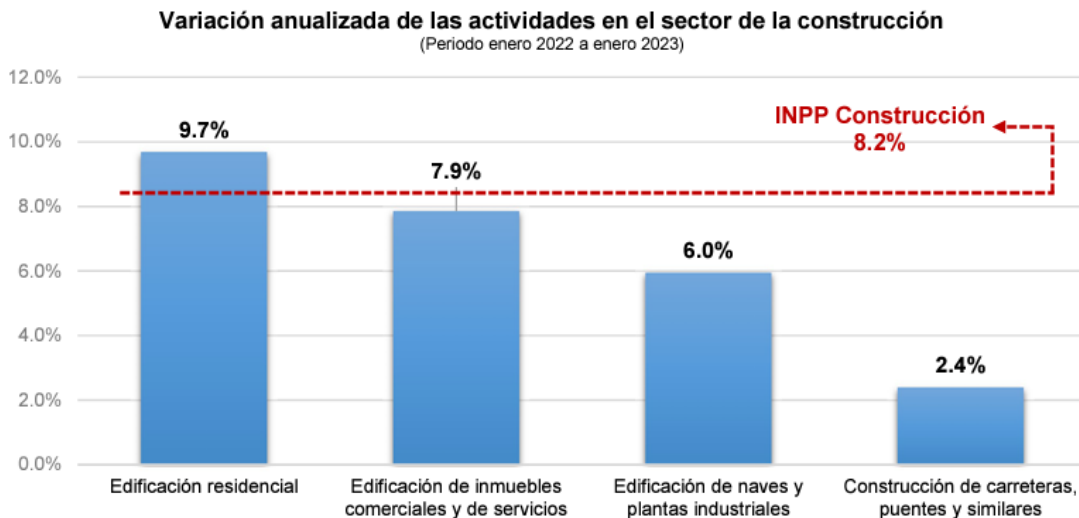


Ilustración 36. "Variación materiales de construcción". / Ilustración: Elaborado por CEICO, con información de INEGI.

Por otro lado, en el reporte Situación Inmobiliaria 1S22 de BBVA México⁵⁹, explicó que los derivados del acero los que tienen mayor volatilidad y aumento, por lo que la varilla y el

⁵⁷ Es un conjunto de índices de precios cuya finalidad es la de proporcionar mediciones sobre la variación de los precios de una canasta fija de bienes y servicios representativa de la producción nacional.

⁵⁸ (CEICO), C. N. (9 de febrero de 2023). CMIC. Obtenido de cmic.org.mx, 4.

⁵⁹ Institución financiera mexicana.

acero siempre han presionado al sector de la construcción, por ello la importancia de tomar medidas para mitigar el impacto de la inflación.

Posteriormente se elaboró un FODA, pues está herramienta les permitirá identificar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del proyecto, lo que ayudará a planificar estratégicamente en el momento que Constructora R esté dispuesta a introducirse en BIM.



Ilustración 37. "FODA Cumbres Herradura". / Ilustración propia.

6.2.3.2 Establecer metas funcionales.

Se presentan las estrategias:

Tabla 21. Estrategias FODA/ Elaboración propia.

ESTRATEGIAS		
FACTORES INTERNOS		
	FORTALEZAS	DEBILIDADES
FACTORES EXTERNOS.	AMENAZAS	1. Realizar la evaluación financiera en los costos de implementación BIM (Capacitación del personal, contratación y adquisición de licencias) y/o considerar un modelador BIM en el presupuesto del proyecto. 2. Capacitar al residente de obra y auxiliar de obra en el manejo de modelos 3D para el seguimiento de los procesos.
	OPORTUNIDADES	1. Incentivar la elaboración del modelo de la estructura 3D, tomando como ventaja que las torres son tipo. 2. Aprovechar la amplia información existente de BIM y la disponibilidad e interés del equipo por introducirse en él. 2. Aprovechar el análisis continuo (JIT) del rol del personal involucrado para asignar las actividades que demande la adopción BIM.

Respecto a la alarmante situación presentada al Gerente de obra, se tomó la acción de suspender la obra temporalmente en una de las reuniones semanales (13 de febrero 2023) para evaluar temas del flujo efectivo, ya que gracias al análisis de la información desarrollada y a la comunicación de estos resultados, el Gerente convocó a una reunión con el Residente de obra y Project Manager; donde acordaron que se volvería a cuantificar todo el proyecto por parte del residente de obra y el área de presupuestos.

Se realizó una comparativa de ambas cuantificaciones, pero ninguna resultó similar, por lo que se citó al Ing. Estructurista para exponer todas las consideraciones del proyecto (modelo 3D) e internamente se concluyó que es necesaria la contratación de externos para realizar una auditoría por la brecha existente entre lo presupuestado y lo ejecutado.



Capítulo 7. Propuesta metodológica para la implementación de Just In Time.

7.1 CUMBRES HERRADURA.

7.2 Fases de la implementación de Just In Time.

7.2.1 Fase 1. Selección y organización del grupo de trabajo.

7.2.2 Fase 2. Capacitación del personal.

7.2.3 Fase 3. Planeación y programación del plan de ejecución.

7.2.4 Fase 4. Ejecución del plan.

7.2.5 Fase 6. Evaluación del plan de ejecución.

7.1 CUMBRES HERRADURA.

De acuerdo con la información proporcionada en el capítulo 5 en 5.1.1 Componentes y características del proyecto, sabemos que CUMBRES HERRADURA es un proyecto de edificación residencial que se constituye por 6 torres de vivienda; cada torre consta de 5 sótanos y 15 niveles, la implementación se realizó en la etapa de construcción de cimentación superficial al 75%, actualmente cuenta con un avance total del 79%.

Durante el proceso de construcción de la torre Alerce, el gerente de obra y los residentes, se dieron cuenta que siguen presentando los mismos problemas que la torre tipo construida en octubre 2020 a octubre 2021, los cuales son:

- Retrasos en la entrega del material en obra, ya que no sé le da seguimiento a la programación semanal, quincenal y mensual de las actividades, por lo que tratan de almacenar y tener disponible el material necesario para los trabajos programados a ejecutar y con ello aumentaron los desperdicios de acero y cimbra, ya que mientras más material tienen en sitio, el personal operativo hace mal uso.
- El espacio disponible en sitio para el acomodo de los materiales es escaso, por lo que almacenar el material también trajo problemas para las maniobras de los camiones revoladores de concreto.

7.2 Fases de la implementación de Just In Time.

Para la implementación de JIT, se consideraron las siguientes fases:

Tabla 22. Fases de ejecución JIT / Elaboración propia.

FASE	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	Selección y organización del grupo de trabajo.	Demanda un cambio en la actitud de la empresa, al ser esta la base para construir la aplicación, por lo que es necesario reconocer el problema y que sea validado por todo el equipo de trabajo.
2	Capacitación del personal.	Se brinda un panorama de la filosofía del Just in time y su aplicación.
3	Planeación y programación del plan de ejecución.	Presentar la planeación y programación de las actividades que agregaran valor al proceso.
4	Ejecución del plan.	Llevar a cabo el plan de acuerdo con lo establecido.
5	Mejoras en los procesos.	Documentar el plan ejecutado y analizar los resultados para implementar acciones de mejora continua.
6	Evaluación del plan de ejecución.	Evaluar el proceso ejecutado para realizar una comparación antes del plan de ejecución.

7.2.1 Fase 1. Selección y organización del grupo de trabajo.

Inicialmente se lleva a cabo la reunión del equipo de trabajo con las personas interesadas, lo que permitirá a la empresa alinear y agrupar a sus empleados para lograr un fin común, en este caso la implementación de JIT.

Así mismo, se realizó la siguiente encuesta la gerencia del proyecto para tener un panorama general de la administración de los proyectos en CUMBRES HERRADURA.

Tabla 23. Ficha técnica encuesta 1-fase 1 / Elaboración propia.

Ficha técnica.	
Inicio:	19-nov-22
Fin:	19-nov-22
Duración:	1 día.
Difusión:	Física.
Núm. encuestados:	1
Núm. preguntas:	9

Encuesta:

1. **¿Cuántos proyectos de estructura de concreto se encuentra ejecutando simultáneamente?**
1 (uno).
2. **¿Cómo es la logística de pedido y entrega del acero de refuerzo?**
Cuantificación, programación 1 mes anticipado.
3. **¿Cómo es la logística de pedido y entrega del concreto premezclado?**
Se abre una cartera con el cliente que mejor se acomode a nuestras necesidades (volumen), pagos semanales o quincenales, el programa para el suministro del concreto se realiza de 15 a 7 días de anticipación, incluyendo características de producto, horario y fecha.
4. **¿Cuánto tiempo tardan en suministrar el acero de refuerzo?**
15 a 21 días.
5. **¿Cómo impacta cuando no se tiene el material en las fechas programadas?**
Cuando se trata de acero, se buscan alternativas para sustitución de diámetros de acero, siempre con el aval del Corresponsal estructural. Por otro lado, el concreto es un material que no se puede sustituir, si se complica el suministro en la fecha programada, retrasa 1 o 2 días el proceso de las actividades subsecuentes.

6. ¿Existe un área en la obra destinada al almacenamiento del material, herramienta y/o equipo?

Si.

7. ¿Existe algún inventario o stock? De ser así ¿Cómo se maneja?

Si, se controla por medio de vales de entrega de material.

8. ¿Cómo llevan a cabo el control del suministro y habilitado del material?

No hay control de materiales, se intenta hacer al menos 1 vez al mes, cuadrando remisiones de llegada con material en sitio.

9. ¿Qué espera con la implementación de la metodología JIT (Just In Time)?

Menores pérdidas de material y un control de avances en obra, ya que, teniendo el material organizado, el avance deberá ser el indicado

Como segundo punto se conformó un comité para integrar a todo el equipo de trabajo, con el fin de identificar las responsabilidades y los alcances de cada rol integrante del comité para poder realizar la programación y control de las acciones para la implementación de la metodología.

A continuación, se presenta el rol de cada puesto:

Tabla 24. Comité plan de ejecución JIT. / Elaboración propia.

CARGO	ACTIVIDADES "CONSTRUCTORA R"	ACTIVIDADES COORDINADORA JIT
Gerente de obra.	Dirigir y coordinar a los integrantes del equipo para llevar a cabo las actividades del plan de ejecución y comunicar la información de los avances durante el proceso al director del proyecto.	Coordinar las actividades que se van a ejecutar durante la implementación y comunicar los avances durante el proceso al gerente de obra.
Supervisor de obra.	Llevar el control y seguimiento de la programación de actividades del plan de ejecución, supervisando los mismos.	Revisar el cumplimiento del seguimiento de la programación y comunicar las observaciones para seguir retroalimentando el proceso.

Residente de obra.	Realizar las actividades para el cumplimiento del plan de ejecución, coordinando al personal de obra, reportando avances de obra semanales, control de materiales y rendimientos de mano de obra.	Registrar los avances reportados por el residente de obra, para analizar los resultados y elaborar estrategias para continuar o mejorar el plan de ejecución.
Auxiliar de obra.	Apoyar al residente en las actividades antes mencionadas, así como llevar un control del material cuantificado, ejecutado, dar seguimiento a la programación, control de inventario y solicitudes de material.	Dar seguimiento a la programación de la entrega de material respecto a la información recopilada por cada rol del plan de ejecución.

7.2.2 Fase 2. Capacitación del personal.

Esta fase implica la capacitación de todo el personal involucrado, de forma que puedan apreciar completamente los cambios que requerirá la ejecución del plan, para ello fue necesario la realización de una encuesta al gerente, residentes, supervisores, auxiliares y personal administrativo en obra para obtener datos que proporcionen un panorama de la situación de la obra referente al control de materiales y la percepción de JIT.

Tabla 25. Ficha técnica encuesta 1-fase 2 / Elaboración propia.

Ficha técnica.	
Inicio:	12-oct-22
Fin:	17-oct-22
Duración:	5 días.
Difusión:	Formulario Google.
Núm. encuestados:	10
Núm. preguntas:	13

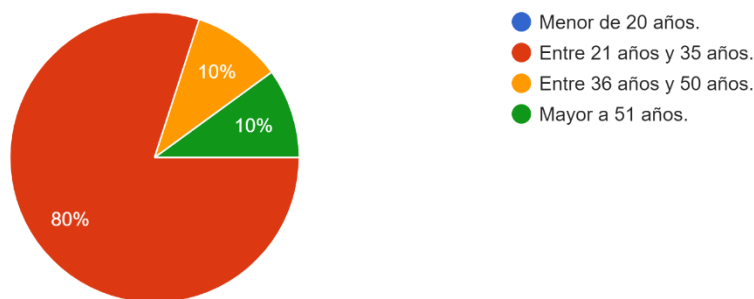
Tabla 26. Encuesta “Conocimiento JIT” / Elaboración propia.

TIPO	NÚM	PREGUNTAS	RESPUESTAS
INFORMACIÓN GENERAL	1	¿En qué rango de edad se encuentra?	a) Menor de 20 años. b) Entre 21 años y 35 años. c) Entre 36 años y 50 años. d) Mayor a 51 años.
	2	Especifique su grado académico:	a) Preparatoria. b) Licenciatura. c) Maestría. d)Otro.
	3	¿Cuál es su profesión u oficio?	a) Ingeniero civil. b) Arquitecto. c) Otro (especifique).
	4	¿Cuántos años de experiencia laboral tiene?	a) Menos de 2 años. b) Entre 3 y 10 años. c) Más de 10 años.
	5	¿Cuál es su cargo en el proyecto?	a) Gerente. b) Supervisor. c) Superintendente. d) Residente. e) Auxiliar. f) Administrativo. g) Otro (especifique).
JIT	6	¿Existe alguna metodología que se implemente para la administración del actual proyecto?	a) Si (especifique). b) No.
	7	¿Ha aplicado alguna de las siguientes herramientas en el proyecto?	a) Herramientas de programación. (Gantt, ruta crítica, PERT). b) Herramientas heurísticas (FODA, diagrama causa-efecto, árbol de objetivos, etc.) c) Metodología LEAN CONSTRUCTION. d) Otro (especifique).

8	¿Considera que con la implementación de herramientas mejorará considerablemente la administración y control del proyecto?	a) Si. b) No.
9	¿Identifica las actividades que le agregan valor al proyecto?	a) Si. b) No.
10	¿Lleva un control de las actividades que realiza?	a) Si. b) No.
11	¿Existe un control de materiales en la obra?	a) Si. b) No.
12	Considera que la comunicación en cuanto a la toma de decisiones, solución de problemas y cambios al proyecto es:	a) Buena. b) Regular. c) Mala.
13	¿Tiene conocimiento de la filosofía del Just In Time (JIT)?	a) Si. b) No.

Resultados.

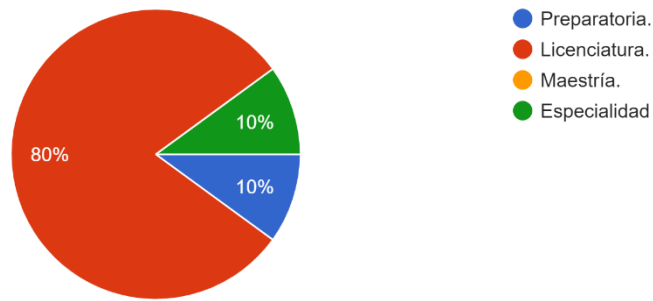
Pregunta 1. ¿En qué rango de edad se encuentra?



Gráfica 5. Rango de edad. / Elaboración propia.

El 80% de los participantes están en un rango de edad de 21 a 35 años, el 10% entre 36 y 50 años y otro 10% mayor a 51 años.

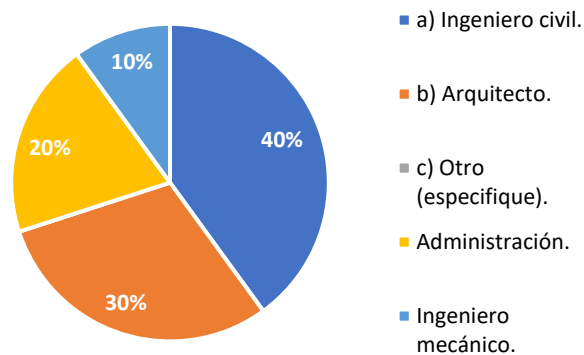
Pregunta 2. Especifique su grado académico:



Gráfica 6. Grado académico. / Elaboración propia.

El 80% de los encuestados tienen licenciatura, el 10% especialidad y el otro 10% preparatoria.

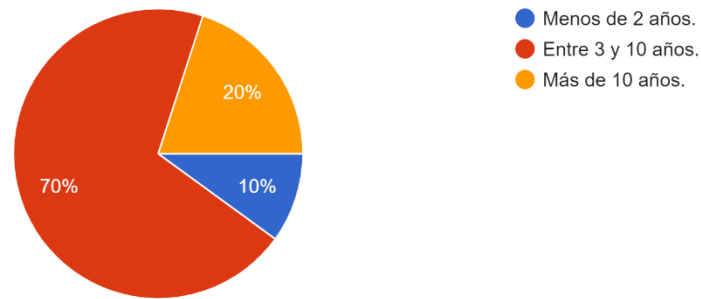
Pregunta 3. ¿Cuál es su profesión u oficio?



Gráfica 7. Profesión u oficio. / Elaboración propia.

El 40% es ingeniero civil, el 30% arquitectos, el 20% del área administrativa y el otro 10% es ingeniero mecánico.

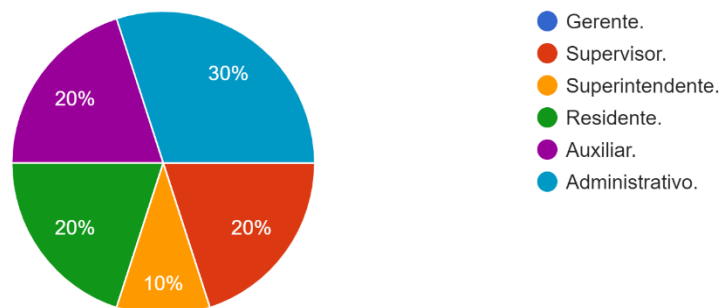
Pregunta 4. ¿Cuántos años de experiencia laboral tiene?



Gráfica 8. Experiencia laboral. / Elaboración propia.

La mayoría de los encuestados tiene de 3 a 10 años de experiencia, el 20% más de 10 años y el 10% menos de 2 años.

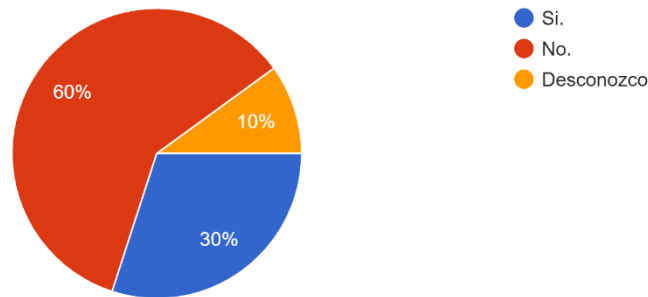
Pregunta 5. ¿Cuál es su cargo en el proyecto?



Gráfica 9. Manejo de software. / Elaboración propia.

El 30% de los encuestados tienen un cargo administrativo, un 20% supervisión, otro 20% auxiliar, 20% residente y un 10% superintendente.

Pregunta 6. ¿Existe alguna metodología que se implemente para la administración del actual proyecto?

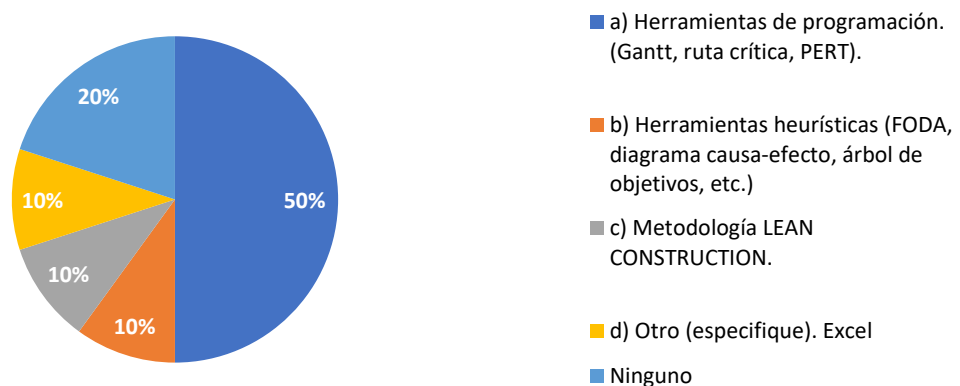


Gráfica 10. Existencia de metodologías en el proyecto. / Elaboración propia.

El 60% de los encuestados dice que no se implementa ninguna metodología en el actual proyecto, el 30% argumenta que sí, mientras que el 1% lo desconoce.

Esto nos indica que posiblemente no se tenga conocimiento del proceso de administración que se lleva a cabo por una parte del equipo de trabajo (por falta de comunicación o falta de interés de estos).

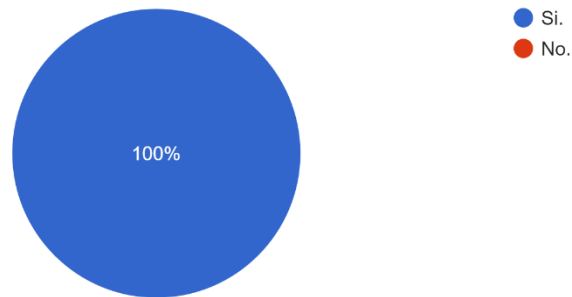
Pregunta 7. ¿Ha aplicado alguna de las siguientes herramientas en el proyecto?



Gráfica 11. Herramientas aplicadas en proyectos. / Elaboración propia.

El 50% de los encuestados ha aplicado herramientas de programación, el 20% no aplica ninguna herramienta, el 10% reconoce Excel como una herramienta para el proyecto, otro 10% ha aplicado Lean Construction y otro 10% ha aplicado herramientas heurísticas.

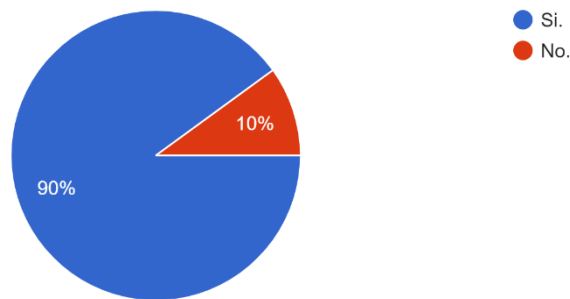
Pregunta 8. ¿Considera que con la implementación de herramientas mejorará considerablemente la administración y control del proyecto?



Gráfica 12. Implementación de herramientas. / Elaboración propia.

El 100% de los encuestados afirma que la implementación de herramientas mejora considerablemente la administración y control del proyecto, y donde aprovecho para hacer énfasis a la cita “El problema llama a la técnica”⁶⁰, pues como sabemos, no cualquier herramienta de gestión de proyectos será aplicable para la solución del problema.

Pregunta 9. ¿Identifica las actividades que le agregan valor al proyecto?

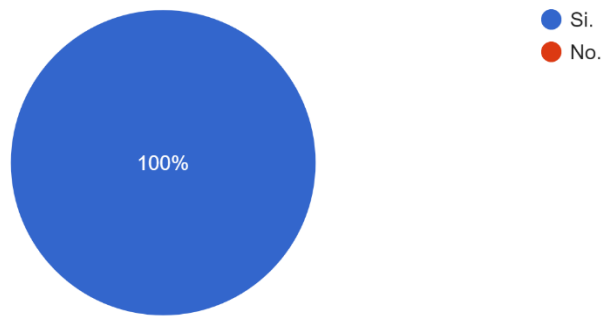


Gráfica 13. Actividades que agregan valor. / Elaboración propia.

El 90% de los encuestados afirma que si identifica las actividades que agregan valor al proyecto mientras que el otro 10% no las identifica.

⁶⁰ M.I. Marco Tulio M. Ingeniero Civil, Maestro en Ingeniería, egresado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, jefe de la división de Ingeniería civil de la UNAM (2019-2023) y actualmente profesor de carrera.

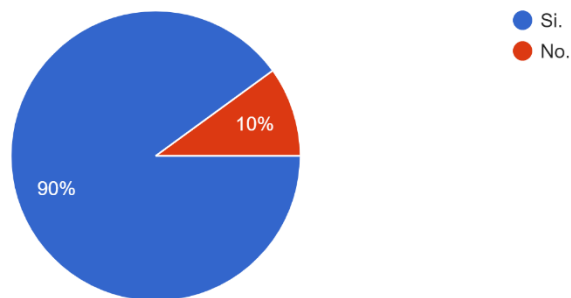
Pregunta 10. ¿Lleva un control de las actividades que realiza?



Gráfica 14. Manejo de software. / Elaboración propia.

El 100% de los encuestados asegura que si lleva un control de las actividades que realiza.

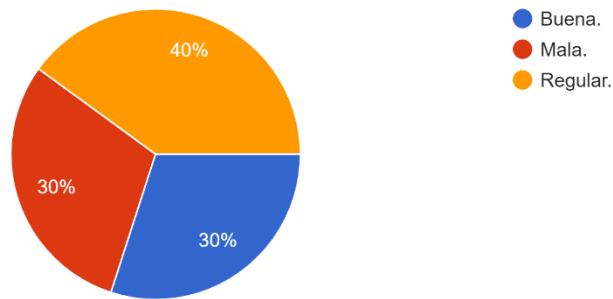
Pregunta 11. ¿Existe un control de materiales en la obra?



Gráfica15. Manejo de software. / Elaboración propia.

El 90% de los encuestados asegura que existe un control de materiales en obra, mientras que el otro 10% dice que no.

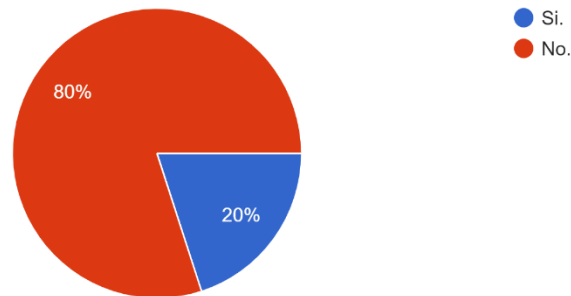
Pregunta 12. Considera que la comunicación en cuanto a la toma de decisiones, solución de problemas y cambios al proyecto es:



Gráfica 16. Manejo de software. / Elaboración propia.

El 40% del equipo considera que la comunicación es regular, un 30% que es mala y el otro 30% que es buena.

Pregunta 13. ¿Tiene conocimiento de la filosofía del Just In Time (JIT)?



Gráfica 17. Manejo de software. / Elaboración propia.

El 80% del equipo de trabajo no tiene conocimiento de Just In Time y el 20% sí.

De acuerdo con los resultados de la encuesta, podemos concluir que existe una opinión muy sesgada del estado actual del control de materiales, que hay desconocimiento de los procesos llevados a cabo dentro de la obra. Mientras que 1/3 del equipo considera que la comunicación existente es buena, otro tercio de los encuestados considera que es mala.

Ahora que tenemos una visión clara de las problemáticas dentro del proyecto, se realizó la capacitación del equipo involucrado para entrar en contexto de la metodología y hacer posible su ejecución.

La capacitación se realizó en el área de proveedores.

Horario de capacitación:

Martes 6 y 13 de diciembre de 2022: 8:00 a.m. - 8:30 a.m.

Jueves 8 y 15 de diciembre de 2022: 5:30 p. -6:00 p.m.

El temario para la capacitación fue el siguiente:

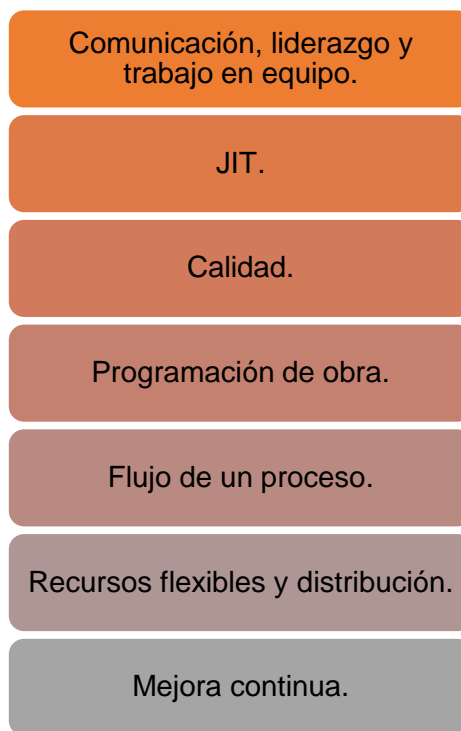


Ilustración 38. "Temario capacitación". / Elaboración propia.

1. Comunicación, liderazgo y trabajo en equipo: Es transcendental que en el equipo de trabajo y las áreas interesadas se refuercen estas herramientas que guiarán a la toma de decisiones para transmitir los conocimientos e ideas y la capacidad de integrarse para realizar acciones eficientes en forma conjunta.

2. Just In Time: Ampliar conceptualmente, el panorama que se tiene sobre la filosofía de JIT para que el personal tenga claro el objetivo de la implementación.

3. Calidad: La calidad dentro de la construcción es un factor primordial, pues no solo impacta en la seguridad de las construcciones, sino también, como constructora, abre las puertas para competir en el gremio, pues provee las herramientas prácticas para una gestión integral, donde se documenten cada uno sus procesos para optimizar las actividades, que los llevará a la satisfacción de un cliente final.

4. Programación de obra: Enfatizar la importancia del seguimiento al programa de obra, respetando las etapas y las restricciones existentes (recursos disponibles, costos, tiempos) y tomando en cuentas las actividades extraordinarias, que son comunes en la cotidianidad de la construcción y con ello asegurar el cumplimiento en tiempo de los objetivos establecidos.

5. Flujo de un proceso: Es importante que los integrantes del equipo visualicen a través de un diagrama cada uno de los pasos y/o procesos que el cumplimiento de un objetivo requiere y de esta forma se lleven a cabo de forma consciente y eficiente.

6. Recursos flexibles y distribución: Conocer la logística y fortalecer la comunicación de los flujos físicos, por parte del proveedor para tener conocimiento del medio de transporte, tiempos de entrega, revisar el lugar de descarga, maniobras, control de calidad, así como dar un seguimiento administrativo del producto, brindándoles seguridad y confianza en el proceso de construcción y cumplir con el objetivo de tener los materiales a tiempo.

7. Mejora continua: Exponer que se busca establecer una estrecha relación entre los procesos establecidos y el personal, para generar una sinergia de trabajo que favorezcan al progreso constante, donde los equipos de trabajo mejoren su rendimiento, identifiquen errores y de acuerdo con los resultados, impulsar acciones que mejoren continuamente la cadena de trabajo, con la premisa de que las opiniones del personal tienen valor para la gerencia del proyecto.

Programación final.

Tabla 27. Programación final / Elaboración propia.

DICIEMBRE 2022			
Martes 6	Jueves 8	Martes 13	Jueves 15
<ul style="list-style-type: none"> Comunicación, liderazgo y trabajo en equipo. 	<ul style="list-style-type: none"> JIT. Calidad. 	<ul style="list-style-type: none"> Programación de obra. Flujo de un proceso. 	<ul style="list-style-type: none"> Recursos flexibles y distribución. Mejora continua.



Ilustración 38. "Capacitación Cumbres Herradura". / Ilustración propia.

7.2.3 Fase 3. Planeación y programación del plan de ejecución.

Para la planeación y programación del plan de ejecución se propone la creación de un tablero de KPI's donde será necesario:

1. Redefinir objetivos: como sabemos los KPI's son indicadores claves de rendimiento, lo que nos permitirá obtener un valor medible que muestre el cumplimiento de los objetivos establecidos; estos deben ser específicos, medibles, alcanzables, pertinentes y con

plazos establecidos (S.M.A.R.T- specific, measurable, attainable, relevant and time bound)⁶¹.

2. Revisar de forma periódica los KPI's para determinar progresos.
3. Asegurar que los KPI's propuestos sean viables.
4. Adaptar los KPI's a las necesidades de la obra.
5. Verificar que los KPI's sean realistas y alcanzables para mantener la motivación de todas las áreas interesadas.
6. Actualizar los KPI's según sea necesario, para verificar que siguen siendo funcionales.

Objetivo 1:

Dar seguimiento a la programación de obra, identificando las actividades que agregan valor al proyecto.

Actividades:

Junto con la gerencia de proyecto se realizan diagramas de flujo de los procesos internos que implica la parte de presupuestación, administración de materiales y ejecución de obra; para identificar las actividades que se tienen asignadas a cada uno de los integrantes del equipo y rastrear omisiones o sobrecarga de trabajo.

En los diagramas se asigna un color para cada empleado, para reconocer su actividad en el flujo de trabajo; estos se colocan en la pizarra, siendo visibles para todo el personal.

El gerente de proyecto convoca una reunión para externar la importancia del trabajo en equipo, la comunicación asertiva y del seguimiento de las actividades (asignadas a cada rol) y con ello lograr el cumplimiento de la obra programada.

El programa de obra (realizado en Microsoft Project⁶²) se imprime mensualmente y se pega en la pizarra para dar seguimiento a los trabajos (armados y colados por nivel).

Período de evaluación: diciembre 2022 - febrero 2023. (3 meses).

⁶¹ El término "Objetivos SMART" aparece en 1981, en el artículo There's a S.M.A.R.T. Way to Write Management 's Goals and Objectives de George T. Doran, publicado en el libro Management Review de Peter Drucker, que establece las pautas y los elementos para implantar objetivos eficaces.

⁶² Software de Microsoft que permite planear proyectos.

Alcance:

Al término de la implementación metodológica, el equipo estará estructurado gracias a la definición de los roles y responsabilidades, mejorando la productividad, pues cuando todos conocen sus roles y responsabilidades, priorizarán el trabajo correcto e identificando el impacto de sus tareas.

KPI: Se entregará al comité un registro de las minutas de las reuniones semanales, para asegurar que semana con semana se comunicaron los avances de la obra, así como una encuesta anónima de cada elemento que aparece en el flujo de procesos, calificando su rendimiento en un porcentaje de 0%-100%.

De igual forma el gerente de obra anónimamente calificará el desempeño del personal, asignando un porcentaje de 0%-100%.

Ambos resultados se promediarán, esperando obtener un rendimiento igual o mayor al 80%.

Objetivo 2: Mejorar la administración del acero y concreto en obra.

Actividades:

Con ayuda de los diagramas de flujo, se asignan las actividades correspondientes (ver secuencia en ilustración 35,36 y 37) a cada rol para presupuestación, control de materiales y ejecución de obra; se enlistan a continuación:

Tabla 28. Actividades presupuestación / Elaboración propia.

PRESUPUESTACIÓN			
ID	Director de obra	Gerente de obra	Residente de obra
1	Negociación de condiciones generales de contratación.	Revisión de contrato.	Revisión de volúmenes de obra.
2	Firma de contrato.	Elaboración de carpeta técnica (PUS, explosión de insumos, programa base de obra, programa suministro materiales y flujo económico).	Layout en obra para oficina/almacén.
3	-	Solicitud de fianzas.	-
4	-	Cotización equipos necesarios para ejecución de obra.	-

5	-	Solicitud de facturas anticipos.	-
6	-	Entrega carpeta legal (clientes nuevos).	-

Tabla 29. Actividades administración de materiales. / Elaboración propia.

ADMINISTRACIÓN DE MATERIALES						
ID	Director de obra.	Gerente de obra.	Residente de obra.	Auxiliar residente.	Administrador.	Almacenista.
1	Asistir a reunión semanal (lunes). 9:00 a.m. - 10:00 a.m.	Revisión de cumplimiento de objetivos (semana anterior).	Elaboración de reporte de material existente (obra).	Revisión de volúmenes ejecutados MO (semanal).	Elaboración de reporte material existente (almacén).	Elaboración de reporte de material existente (almacén).
2	-	Redefinición objetivos y alcances.	Elaboración de minuta de reunión.	-	Solicitud de material con proveedores. (15 días de anticipación).	Elaboración de reporte diario de conteo de ingresos y salidas de material.
3	-	Organización de meetings semanales.	Elaboración de solicitud de material (3 días anticipación).	-	Elaboración de cotizaciones de materiales. (20 días).	-
4	-	Autorización de compras.	-	-	-	-

Tabla 30. Ejecución de obra. / Elaboración propia.

EJECUCIÓN DE OBRA				
ID	Gerente de obra.	Supervisor de obra.	Residente de obra.	Topógrafo.
1	Revisión de reporte topográfico de elementos colados. (1 día).	Autoriza la liberación del material. (1 día)	Comunica a los cabos que el material está listo para habilitado.	Revisión de cimbra. (1 día).
2	-	Revisión de los trabajos ejecutados de acuerdo con las especificaciones técnicas de los planos estructurales mediante un check lista liberación. (1 día).	Comunica a la supervisión del material a liberar.	Liberación de cimbra. (1 día).
3	-	Liberación de trabajos ejecutados. (1 día).	Revisión de los trabajos ejecutados de acuerdo con las especificaciones técnicas de los planos estructurales mediante un check lista liberación.	Revisión de trazo y nivelación después de colado. (1 día).

4	-	Revisión de cimbra. (1 día).	Revisión de cimbra. (1 día).	Elaboración de reporte topográfico de elementos colados. (1 día).
5	-	Liberación de cimbra. (1 día).	Supervisión de colocación de concreto.	-

Por otro lado, atendiendo el problema de la falta de espacio para almacenar el material, se solicitó el ingreso de recursos (acero y concreto) en la programación de Project, para obtener el flujo de suministro de materiales.

Se elabora el Layout de la obra, indicando la recepción del material en obra, almacenaje (en caso de existir) y maniobras para transportarlo a las áreas de trabajo en sitio; éste se comparte con los integrantes del equipo y el proveedor, para reforzar la comunicación, consiguiendo que los suministros de material se realicen de manera continua para cada una de las etapas (de acuerdo con la revisión semanal del programa).

Período de evaluación: diciembre 2022 - febrero 2023. (3 meses).

Alcance: Al término de la evaluación, se tendrá en constante actualización el control del acero cuantificado, el ejecutado y el existente en inventario, así como los flujos de material semanalmente.

KPI: Los puntos a evaluar serán el cumplimiento de la entrega a tiempo del material respetando el trazo del layout propuesto, así como tener las volumetrías y el inventario actualizados. El comité asignará un porcentaje de 0%-100% evaluando las mejoras en estos aspectos para que finalmente sean promediados.

Objetivo 3: Mitigar el desperdicio de acero en obra.

Actividades:

Se hace énfasis en la supervisión de los trabajos por parte del Residente de Obra y la Supervisión, no solo haciendo presencia en la revisión de los trabajos finales para su liberación, sino en la ejecución de los mismos para evitar que la mano de obra haga mal uso del material.

Lográndolo, gracias al diagrama de procesos donde se visualiza las actividades correspondientes para cada cargo, y enfatizando que todo los roles son importantes para el flujo continuo de trabajo y con ello mitigar desperdicios y retrabajos.

Período de evaluación: diciembre 2022 - febrero 2023. (3 meses).

Alcance: Al término de la evaluación, las liberaciones (firmadas por el supervisor y topógrafo) de acero, cimbra y elementos colados, estarán reunidas en una carpeta, debidamente identificadas y ordenadas, de igual forma se revisarán constantemente las volumetrías de los respectivos elementos (como lo aborda el objetivo 2).

KPI: Se calculará porcentualmente, cuánto material se cuantificó respecto a lo que se ejecutó, comparándolo con los mismos parámetros antes de iniciar la implementación JIT.

7.2.4 Fase 4. Ejecución del plan.

De acuerdo con las actividades descritas anteriormente, se lleva a cabo el plan, iniciando con asignación de colores a cada rol para identificar sus respectivas actividades en la construcción de los diagramas de flujo:



Ilustración 39. "Roles". / Elaboración propia.

Elaboración diagramas de flujo:

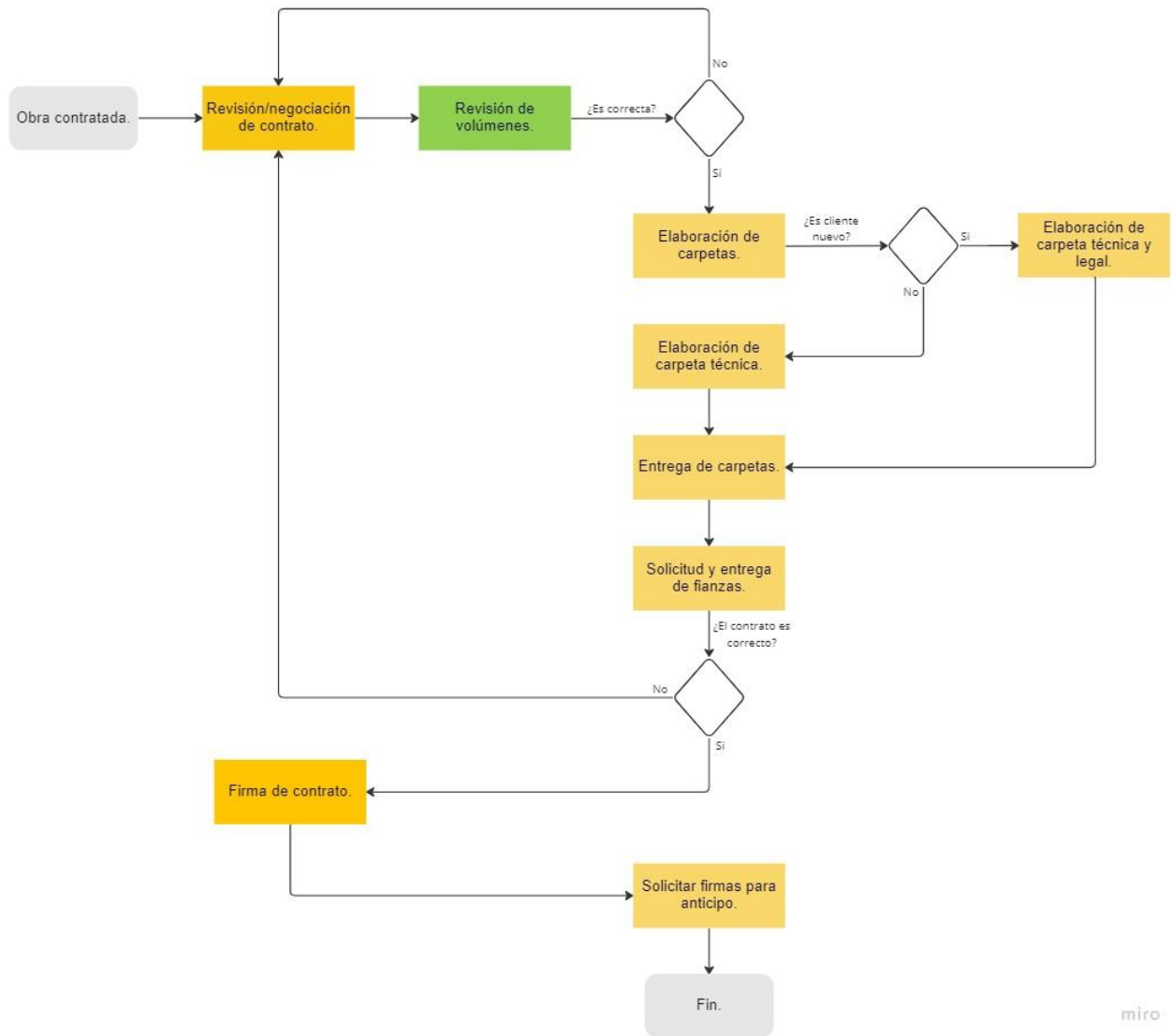


Ilustración 40. "Diagrama de flujo - Presupuestación". / Elaboración propia.

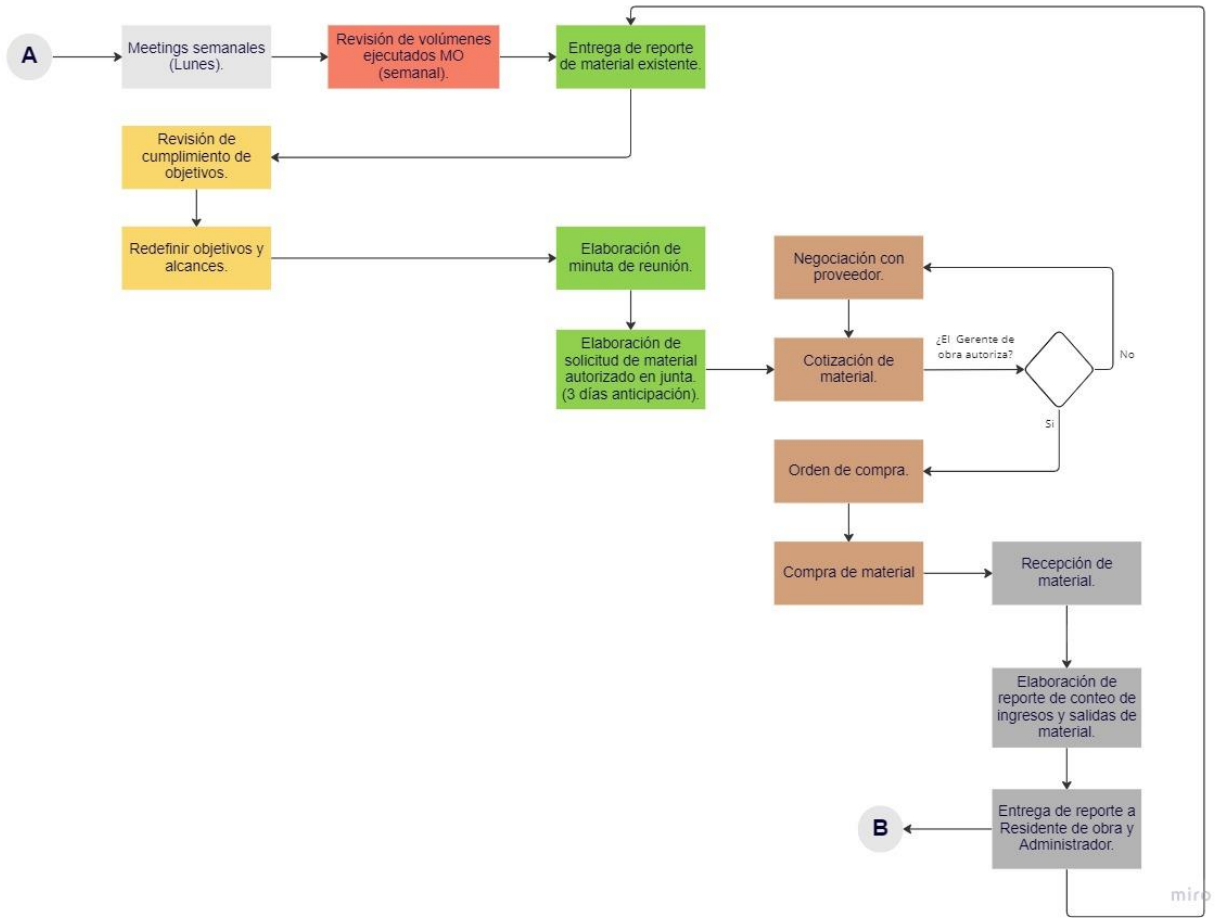


Ilustración 41. "Diagrama de flujo - Administración de materiales". / Elaboración propia.

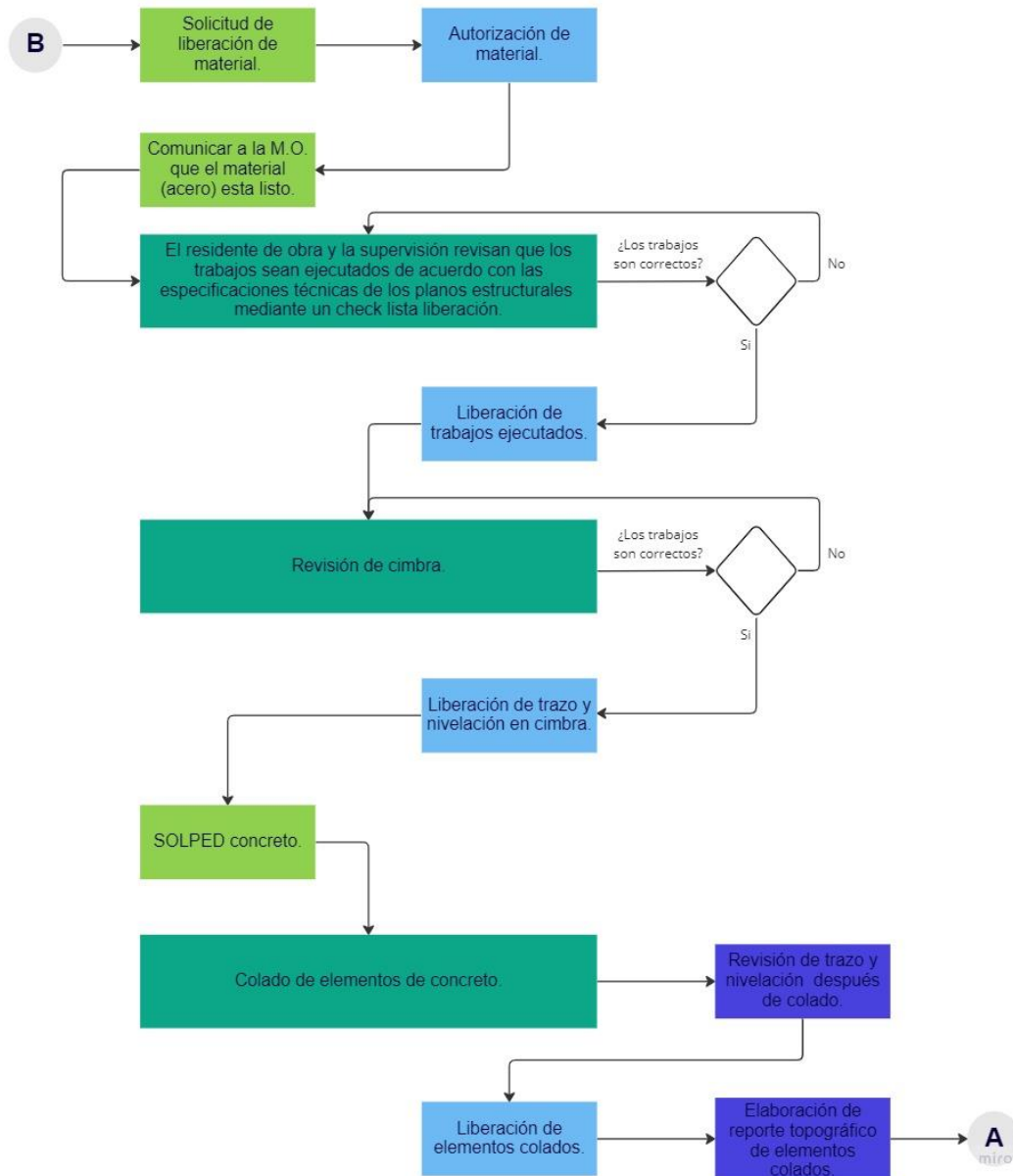


Ilustración 42. "Diagrama de flujo – Ejecución de obra". / Elaboración propia.

Seguimiento de la programación semanal, quincenal y mensual de las actividades en obra, así como la visualización del rol que desempeña cada elemento del equipo de trabajo.

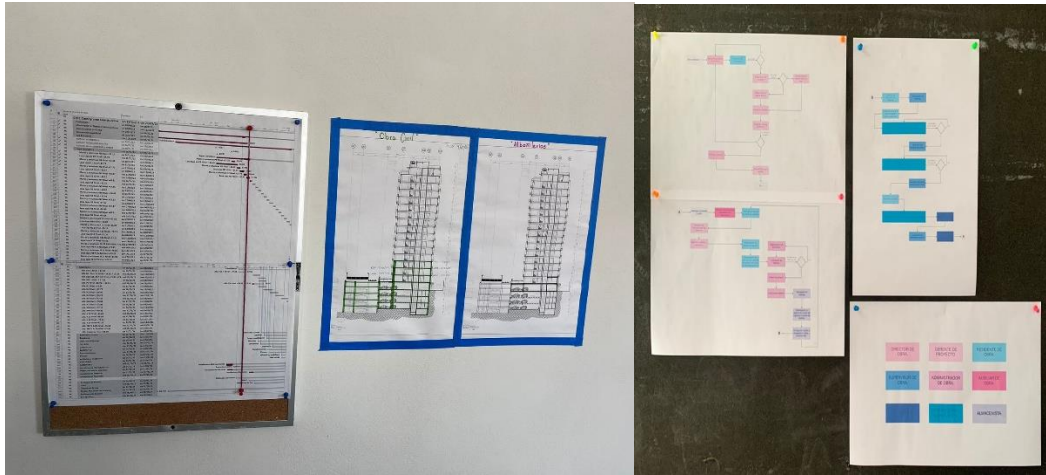


Ilustración 43. "Seguimiento de actividades". / Fuente: CUMBRES HERRADURA.

Elaboración de layout para acomodo de materiales en obra:

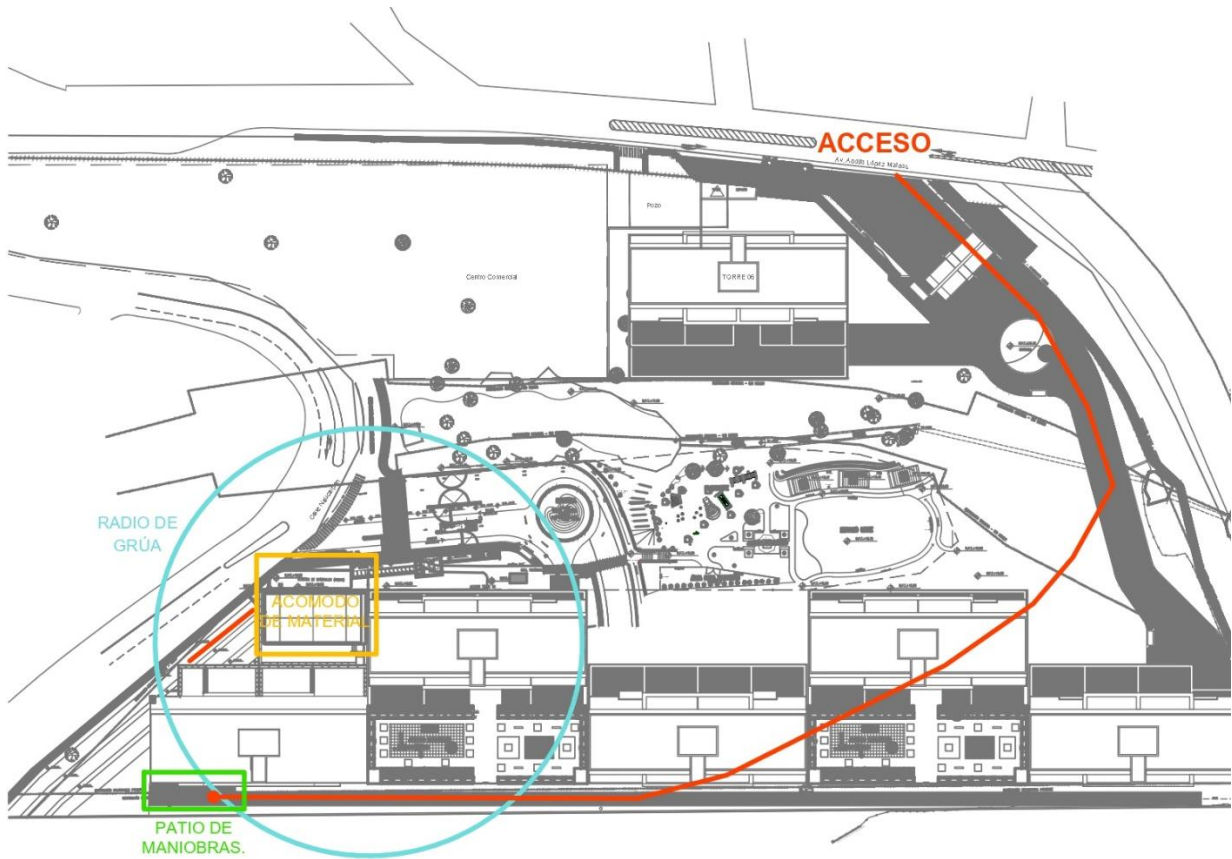


Ilustración 44. "Layout acomodo de materiales". / Fuente: CUMBRES HERRADURA.

El acceso del proveedor para la entrega de material es sobre la Av. Adolfo López Mateos, recorre aproximadamente 300 m. hasta el patio de maniobras, donde la grúa torre se encarga de colocar el material en el sitio asignado (recuadro amarillo ilustración 44 y 45).



Ilustración 45. "Almacén de materiales". / Fuente: CUMBRES HERRADURA.

A continuación, se muestra el acomodo del material antes de la implementación JIT, donde observamos que se encontraba junto a los residuos sólidos de la obra, limitando y obstruyendo el acceso.



Ilustración 46. "Almacén de materiales-ANTES". / Fuente: CUMBRES HERRADURA.

7.2.5 Fase 5. Evaluación del plan de ejecución.

Para la evaluación de los objetivos propuestos en la fase 3. Planeación y programación del plan de ejecución, se realizó lo siguiente:

- **Evaluación objetivo 1:**

Tabla 31. Ficha técnica encuesta 1-fase 5 / Elaboración propia.

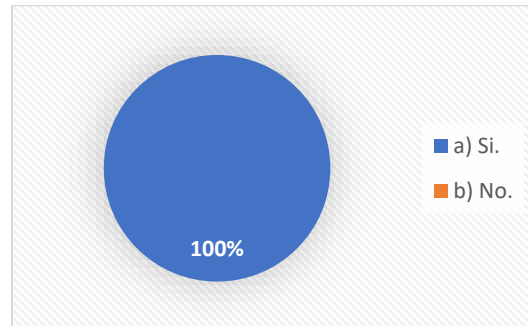
Ficha técnica.	
Inicio:	17-abril-22
Fin:	21-abril-22
Duración:	5 días.
Difusión:	Formulario Google.
Núm. encuestados:	8
Núm. preguntas:	5

Tabla 32. Encuesta 1-fase 5 / Elaboración propia.

NÚM	PREGUNTAS	RESPUESTAS
1	¿Se cumplen las reuniones semanales para la comunicación de los avances de obra, estableciendo los acuerdos en la minuta?	a) Si. b) No.
2	¿Tiene conocimiento de cuál es el rol que desempeña en la obra y cuáles son sus actividades?	a) Si. b) No.
3	Considera que la comunicación en cuanto a la toma de decisiones, solución de problemas y cambios al proyecto es:	a) Buena. b) Regular. c) Mala.
4	¿Considera que el mapeo de los procesos contribuyó al proyecto?	a) Si. b) No. Justifique su respuesta:
5	Porcentualmente ¿Qué tan eficientes se volvieron los procesos después de la estructuración de las actividades en obra?	a) 50% b) 60%-70% c) 71%-80% d) 81%-90% c) 91%-100%

Resultados:

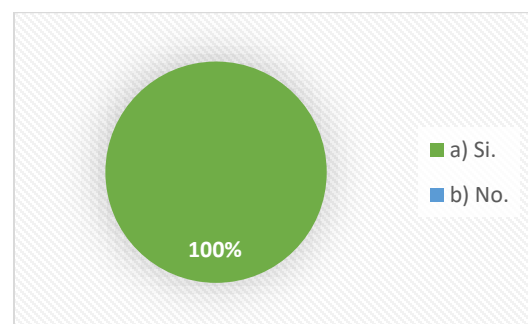
- 1. ¿Se cumplen las reuniones semanales para la comunicación de los avances de obra, estableciendo los acuerdos en la minuta?**



Gráfica 18. Reuniones semanales. / Elaboración propia.

El 100% de los encuestados afirma que se están llevando a cabo las reuniones semanales; con ello se busca reforzar la comunicación de los avances de obra.

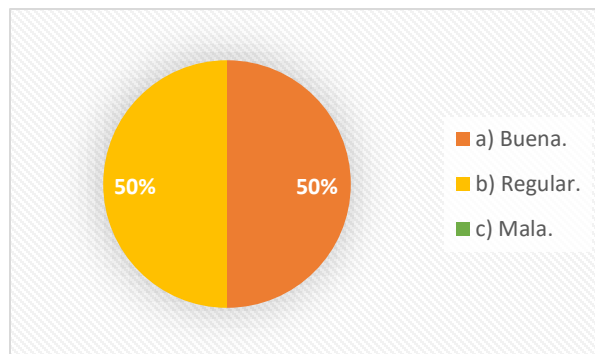
- 2. ¿Tiene conocimiento de cuál es el rol que desempeña en la obra y cuáles son sus actividades?**



Gráfica 19. Roles de obra. / Elaboración propia.

De igual forma, el 100% de los encuestados asevera que tiene conocimiento del rol que desempeña en la obra, resultados que podemos atribuir al mapeo de los procesos internos y a la comunicación de estos.

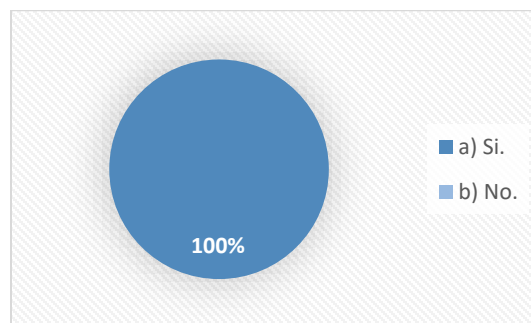
3. Considera que la comunicación en cuanto a la toma de decisiones, solución de problemas y cambios al proyecto es:



Gráfica 20. Evaluación comunicación. / Elaboración propia.

El 50% de los encuestados considera que la comunicación es buena, mientras que el resto considera que es regular; podemos observar una mejora del 10% respecto al inicio de la implementación de JIT.

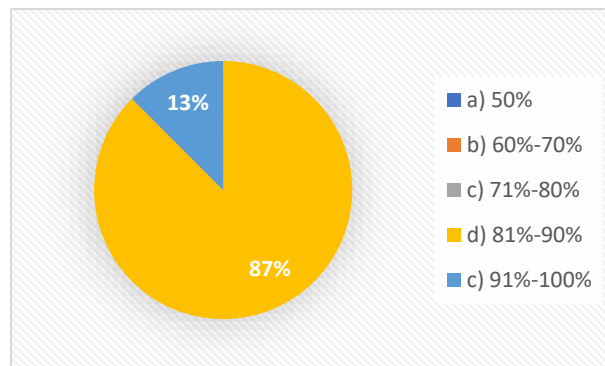
4. ¿Considera que el mapeo de los procesos contribuyó al proyecto?



Gráfica 21. Mapeo de procesos. / Elaboración propia.

Se reconoce en su totalidad que el mapeo de los procesos contribuyó al proyecto significativamente.

5. Porcentualmente ¿Qué tan eficientes se volvieron los procesos después de la estructuración de las actividades en obra?



Gráfica 22. Eficiencia de los procesos. / Elaboración propia.

El 87% de los encuestados considera que los procesos se volvieron eficientes hasta un 91% -100%, mientras que el 13% considera que se volvieron eficientes hasta un 81%-90%, lo que refleja las bondades de la implementación JIT.

El formato para la evaluación que llevará acabo el Gerente de obra, es la siguiente:

Tabla 33. Evaluación 1-fase 5 / Elaboración propia.

EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO

En un porcentaje de 0%-100% ¿Cómo calificaría el desempeño de los siguientes miembros del equipo?

NÚM	CARGO	%	ÁREAS DE OPORTUNIDAD
1	Director de obra.		
2	Gerente de obra.		
3	Residente de obra.		
4	Supervisor de obra.		
5	Administrador de obra.		
6	Auxiliar de obra.		
7	Topógrafo.		
8	Almacenista.		

De acuerdo con la evaluación que realizó cada elemento del equipo de trabajo, se tienen los siguientes resultados:

Tabla 34. Evaluación 1-fase 5 / Elaboración propia.

NÚM	CARGO	% DESEMPEÑO		
		P. ENCUESTA	GO	PROMEDIO
1	Director de obra.	92%	80%	86%
2	Gerente de proyecto.	96%	85%	91%
3	Residente de obra.	93%	90%	92%
4	Supervisor de obra.	93%	80%	87%
5	Administrador de obra.	94%	95%	95%
6	Auxiliar de obra.	90%	75%	83%
7	Topógrafo.	96%	85%	91%
8	Almacenista.	96%	90%	93%

En su mayoría el personal se evaluó con un rendimiento superior al 80%, un resultado satisfactorio para el gerente de obra, por su parte añadió que, solo esperaría que todos los elementos del equipo de trabajo se involucren más en los procesos constructivos para ampliar el panorama y ser objetivos en la toma de decisiones.

- **Evaluación objetivo 2:**

Tabla 35. Ficha técnica encuesta 2-fase 5 / Elaboración propia.

Ficha técnica.	
Inicio:	17-abril-22
Fin:	21-abril-22
Duración:	5 días.
Difusión:	Formulario Google.
Núm. encuestados:	8
Núm. preguntas:	

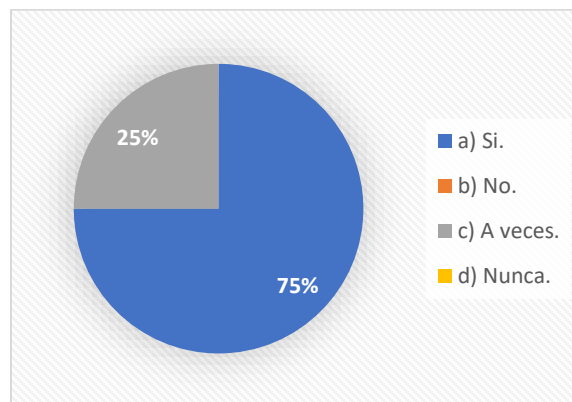
Tabla 36. Encuesta 2-fase 5 / Elaboración propia.

NÚM	PREGUNTAS	RESPUESTAS
1	¿Se actualiza constantemente el control del acero y concreto (cuantificado, ejecutado y el existente en inventario)?	a) Si. b) No. c) A veces. d) Nunca.
2	¿Con qué frecuencia se queda sin material a la semana?	a) Nunca. b) 1 a 2 veces. c) 3 a 5 veces.

3	¿Se respeta el layout para la recepción y almacenamiento de materiales en obra?	a) Si. b) No. c) A veces. d) Nunca.
4	En un porcentaje del 0% al 100% ¿Cómo calificaría el cumplimiento de la administración de materiales en obra?	Calificación: Justifique su respuesta:

Resultados:

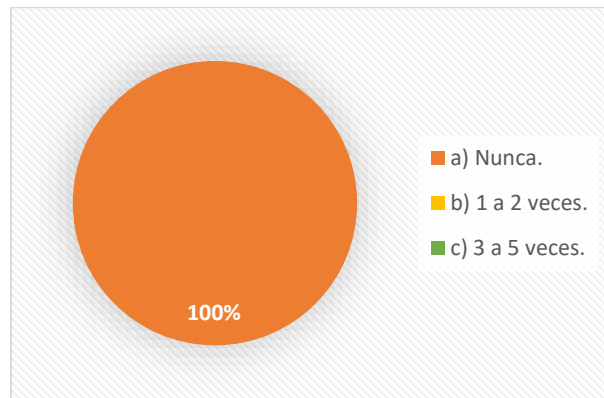
1. ¿Se actualiza constantemente el control del acero y concreto (cuantificado, ejecutado y el existente en inventario)?



Gráfica 23. Actualización inventario. / Elaboración propia.

El 75% considera que, si se actualiza constantemente los volúmenes del material, mientras que el 25% menciona que a veces.

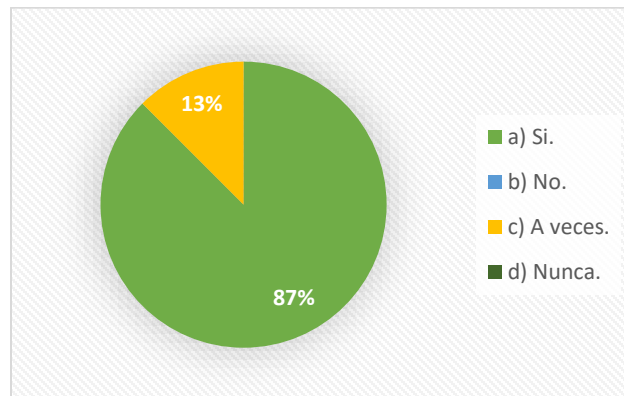
2. ¿Con qué frecuencia se queda sin material a la semana?



Gráfica 24. Abasto de material. / Elaboración propia.

El 100% afirma que nunca se quedan sin material, lo que revela las ventajas de estar en constante comunicación con el proveedor, así como dar seguimiento a las actividades semanales.

3. ¿Se respeta el layout para la recepción y almacenamiento de materiales en obra?



Gráfica 25. Uso de layout. / Elaboración propia.

El 87% considera que si se respeta el layout elaborado para la entrega y almacenamiento de materiales y el 13% menciona que a veces es respetado.

4. En un porcentaje del 0% al 100% ¿Cómo calificaría el cumplimiento de la administración de materiales en obra?

Tabla 37. % Administración de materiales / Elaboración propia.

NÚM	RESPUESTAS
1	90%
2	90%
3	90%
4	90%
5	90%
6	70%
7	75%
8	90%
PROMEDIO	86%

Comentarios:

R3: Hay materiales disponibles y cuando se terminan regularmente tarda 1 día o menos para abastecerse.

R8: Se está tratando de apegarse al programa de suministros.

El promedio obtenido acerca del cumplimiento de la administración de obra fue del 86%, porcentaje también esperado pues es superior al 80% y los encuestados enfatizan que se está dando seguimiento a la programación de obra y cumpliendo con la filosofía de contar con el material necesario justo a tiempo.

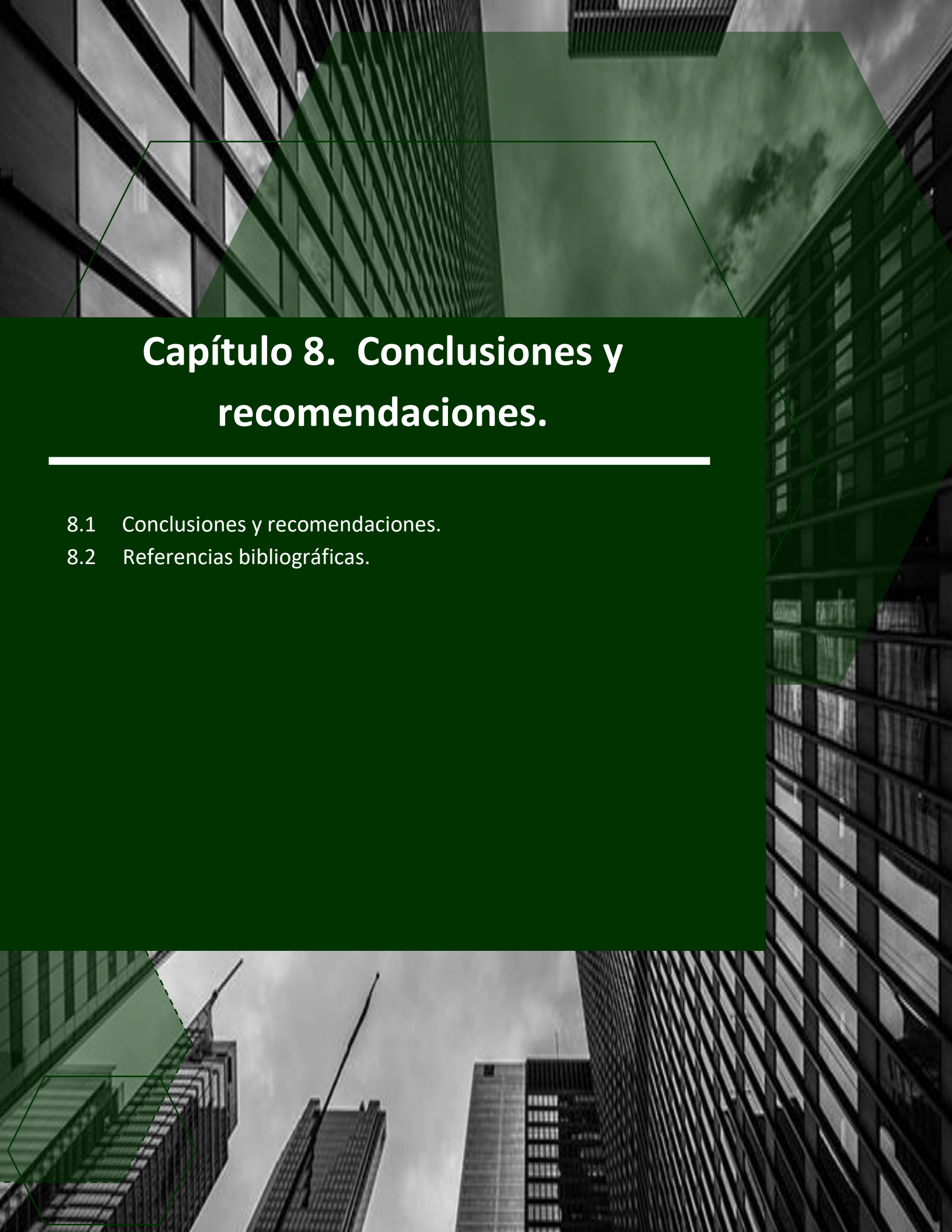
Evaluación objetivo 3:

Para la evaluación de este objetivo, se realiza una actualización quincenal del material cuantificado respecto al material utilizado, permitiendo variaciones de hasta el 10% entre ambas, siempre y cuando la justificación se encuentre por escrito en minutas y/o boletines, debidamente firmados por el supervisor de obra, el residente y el topógrafo.

Finalmente, se elaboró una tabla comparativa del antes y después de la implementación de JIT, para visualizar todas sus bondades:

Tabla 38. Tabla comparativa antes y después de JIT-fase 5 / Elaboración propia.

MÉTODO TRADICIONAL	IMPLEMENTACIÓN JIT
Falta de comunicación respecto a las estrategias y objetivos semanales, quincenales y mensuales.	Las estrategias y objetivos se hacen del conocimiento del personal en reuniones semanales.
Administración de grandes cantidades de inventario.	Seguimiento de programación semanal para solicitar al proveedor la cantidad necesaria para la hora y fecha acordadas y así reducir el inventario y fortalecer la comunicación con el proveedor.
Almacenar el material cerca de los residuos sólidos de la obra y de accesos principales.	Elaboración de layout para la entrega de materiales en obra, donde se trazó el recorrido, el área de maniobras y la zona de almacenamiento (PB de la torre en construcción).
Escaso espacio para maniobras de camiones revolvedores y/o maquinaria.	Liberación de espacio de acuerdo con la estructuración de la programación para entrega de material y colado de elementos.
El personal operativo hace mal uso del material, porque creen que tienen material “extra” por el exceso de inventario.	Ya no se almacenan grandes cantidades de inventario, solo lo necesario para las actividades programadas semanalmente.
	Supervisión de los trabajos no solo haciendo énfasis en la higiene y seguridad en la ejecución, sino en el rendimiento del personal operativo y la correcta ejecución de los trabajos.
Omisión de actividades y sobrecarga de trabajo por inconsistencias en la definición de roles y responsabilidades del equipo de trabajo.	Equipo de trabajo estructurado gracias a la definición de los roles y responsabilidades (diagramas de flujo), priorizando el trabajo correcto e identificando el impacto de sus tareas.
Variaciones volumétricas de hasta un 30% respecto a lo cuantificado vs. ejecutado.	Actualización semanal y/o quincenal de las volumetrías de obra (cuantificado, ejecutado y almacenado), aceptando variaciones de hasta un 10%.



Capítulo 8. Conclusiones y recomendaciones.

- 8.1 Conclusiones y recomendaciones.
- 8.2 Referencias bibliográficas.

8.1 Conclusiones y recomendaciones.

Gracias a la aplicación del Benchmarking pudimos observar los siguiente:

BIM no es una “nueva” metodología, está sucediendo ahora y es una realidad que existen factores que afectan el desarrollo de esta, entre ellos está su desconocimiento por parte del sector de la construcción; en la encuesta aplicada a los integrantes del proyecto de CUMBRES HERRADURA, identificamos que al menos el 60% de los encuestados sabe o ha escuchado que BIM es una metodología, el 30% desconoce qué es y el 10% ha escuchado o sabe que es un software. Pese a que el 20 de septiembre de 2018, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público presentó la “Estrategia para la implementación del Modelado de Información de la Construcción (MIC)”; las empresas desconocen la metodología, se rehúsan al cambio o asumen que los costos de implementación son “altos” por el solo hecho de tratarse de las TIC; todo esto representa una barrera para su adopción, por lo que es de suma importancia que a lo largo de la formación escolar, se actualicen los planes, se brinden la información y se incentive a conocer las diversas herramientas gerenciales que permitan adaptarse a los cambios tecnológicos.

Por otro lado, pudimos ver la variación de las volumetrías de los materiales respecto a lo ejecutado versus lo cuantificado, que como sabemos son particulares de cada proyecto; en el caso de aplicación presentó una variación del 30-40% más respecto a lo presupuestado inicialmente, lo que resultó en una situación alarmante, se optó por auditar la obra. Por otra parte, con la adopción de JIT se realiza la actualización semanal y/o quincenal de las volumetrías (cuantificado, ejecutado y almacenado), aceptando variaciones de hasta un 10%.

Como sabemos las variaciones que se pueden presentar en la cuantificación de materiales, dependen de diversos factores como: proyectos ejecutivos con información incompleta, duplicar información a la hora de cuantificar, desconocimiento de los procesos constructivos, omisión de los requerimientos en planos, no corroborar la información en sitio, en este caso se concluyó que, la razón principal fue la omisión de información por parte del personal que cuantifica, proyecta y elabora las especificaciones técnicas del proyecto, así como la falta de comunicación respecto a los cambios realizados durante la ejecución.

Podemos pensar que el solo hecho de modelar nos brinda esa “precisión”, pero los colaboradores expertos en BIM afirman que esto se debe a que al ser un modelo de información, si se presentan omisiones o inconsistencias en la ejecución del proyecto, se detectan rápida y sencillamente gracias a la coordinación de las distintas disciplinas, por medio de plataformas de trabajo en la nube; los cambios y ajustes al proyecto que se agregan al modelo federado, cuidando la correlación entre las distintas disciplinas para garantizar la interoperabilidad entre documentos constructivos, catálogos o en este caso volumetrías, lo que permite al proyecto ir teniendo certeza a la par de la ejecución.

CUMBRES HERRADURA, tiene como fortaleza que su equipo de trabajo está en toda la disposición para adaptarse a las innovaciones tecnológicas y metodológicas, por lo que posterior a la implementación del Benchmarking, se recomienda realizar la evaluación financiera sobre los costos de la adopción BIM y en caso de resultar favorable, llevar a cabo un plan de adopción, pues los planes para implementarlo se construyen para cada proyecto en particular (siguiendo la norma ISO 19650).

Es un hecho que BIM permite alcanzar resultados satisfactorios para las empresas, pero es importante evaluar de principio a fin los recursos humanos, la tecnología y los procesos que implicaría su adopción para que las PYMES se introduzcan en él.

En cuanto a la implementación de Just In Time, desde el principio se convirtió en la metodología ideal para ser implementada, pues como sabemos durante la construcción de la torre Alerce se presentaron retrasos en la entrega del material en obra por no dar seguimiento a la programación de actividades, lo que los llevo a almacenar grandes cantidades para tenerlo disponible cuando se necesitara, con ello aumentaron los desperdicios de acero y cimbra, pues el personal operativo comenzó a hacer mal uso de este porque sabían que había exceso de stock.

Este excedente de material almacenado trajo problemas para las maniobras con los camiones revolvedores de concreto, ya que el espacio en obra es escaso; como sabemos el objetivo principal de JIT, es aumentar el valor añadido en las actividades realizadas a lo largo de un flujo de producción, reduciendo los tiempos de espera, el sobre stock, es decir eliminar todo aquello que no aporte valor al proyecto.

En este caso CUMBRES HERRADURA, necesitaba garantizar un producción justa, eliminando los desperdicios de materiales, identificando las actividades que agregaran valor a sus procesos y con ello aumentar la calidad y eficiencia.

El mayor reto de implementación fue fortalecer la comunicación en el equipo de trabajo; incluso en las encuestas realizadas el 50% considera que la comunicación es buena, mientras que el resto considera que es regular; podemos observar una mejora del 10% respecto al inicio de la implementación.

Es de nuestro conocimiento que los conflictos son inherentes al ser humano y surgen cuando las personas se relacionan e interactúan, cuando manejan posiciones contrarias que soportan y defienden, por lo tanto era importante entender y valorar los diferentes puntos de vista, adaptándolos al bien común y promoviendo los cambios si así lo requería el proyecto; esto permitió optimizar los procesos, dando oportunidad a exponer argumentos directos, coherentes y respetar las ideas contrarias logrando juntas semanales más enriquecidas.

Así mismo, el estructurar al equipo de trabajo, con la ayuda de la elaboración de diagramas de flujo, definiendo roles y responsabilidades, para que el personal priorizará las actividades correctas e identificará el impacto de estas y enfatizando que todos los roles son importantes para el flujo continuo de trabajo, mejoró la productividad, de hecho el 87% de los encuestados considera que los procesos se volvieron eficientes hasta un 91% -100%, mientras que el 13% considera que se volvieron eficientes hasta un 81%-90%, lo que refleja las bondades de la implementación JIT.

Por otro lado, atendiendo los problemas de suministro y espacio en obra, gracias a la elaboración del layout, la comunicación continua del suministro de material, el énfasis en la supervisión de los trabajos por parte del residente de obra y la supervisión, se logró mitigar el desperdicio de obra.

Es fundamental que en el proyecto se le de seguimiento a la metodología, proponer mejoras y aplicarlas continuamente; en este caso, se acordaron evaluaciones periódicas cada 3 meses para seguir evaluando el flujo de los procesos en obra.

Finalmente, es de suma importancia que las empresas constructoras elaboren el ajuste de costos para identificar la variación del precio de los insumos, pues la inflación no considerada afecta la utilidad propuesta.

8.2 Referencias bibliográficas.

- (CEICO), C. N. (9 de febrero de 2023). *CMIC*. Obtenido de cmic.org.mx
- Autodesk Inc. (2022). *Autodesk*. Obtenido de www.autodesk.mx
- Camp, R. C. (1997). *Benchmarking: The search for industry best practices that lead to superior performance*. WorldofBooks.
- Chiavenato, I. (2001). *Administración: teoría, proceso y práctica*. (Vol. III). Bogotá, Colombia: McGraw Hill Interamericana.
- Economipedia. (2022). *Economipedia*. Obtenido de <https://economipedia.com/>
- Figuroa, M. E. (Marzo de 2020). *Colegio de Ingenieros Civiles de México, A.C.* Obtenido de issuu.com/cicm_oficial/docs/ic606_final-m
- González, J. S. (2010). Diagnóstico sobre la Planeación y Control de Proyectos en las PYMES de Construcción. *Revista de la Construcción*, 25.
- Jenkins, G. A. (s.f.). *The Systems Approach*. 34.
- Liebana, O. (2014). Normalización Del Nivel De Desarrollo De Modelos S-Bim. *Normalización Del Nivel De Desarrollo De Modelos S-Bim* (pág. 12). Madrid: ACADEMIA.
- LLedó, P., & Rivarola, G. (2007). *Gestión de proyectos*. Buenos Aires, Argentina.: Pearson.
- M. Eastman , C., Fisher , D., Lafue , G., Lividini , J., Stoker , D., & Yessios, C. (1974). An outline of the building description system. 23.
- Medina, J. (9 de Marzo de 2020). *TOYOTA MATERIAL HANDLING*. Obtenido de <https://blog.toyota-forklifts.es>
- NBS Enterprises Ltd. (2022). *NBS*. Obtenido de www.thenbs.com
- Osada, T. (1991). *The 5S's: Five Keys to a Total Quality Environment*. Asian Productivity Organization.

Project Management Institute Inc. (2017). *La guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. Pennsylvania: PMI GLOBAL STANDARD.

Rodríguez, & Hernández. (2002). *Administración: pensamiento, proceso, estrategia y vanguardia*. McGraw-Hill.

Serpell B., A., & Alarcón C., L. F. (2003). *Planificación y control de proyectos*. (266 ed.). Santiago de Chile.: Universidad Católica de Chile.

Spendolini, M. J. (1992). *The Benchmarking Book*.