



Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Facultad de Ingeniería
Centro de Investigación y Estudios de Posgrado

**APLICACIÓN DE LA FILOSOFÍA DE CONSTRUCCIÓN ESBELTA EN
LOSAS. CASO DE ESTUDIO DE UN PUENTE VEHICULAR EN SAN
LUIS POTOSÍ.**

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

para obtener el grado de:

Maestro en Planeación Estratégica e Innovación

Presenta:

Ing. Chaday Venancio Rocha Faz

Asesor:

Dra. Karla Ximena Vargas Berrones

San Luis Potosí, S. L. P.

Noviembre de 2022



DEDICATORIA

La presente tesis la dedico primeramente a Dios por darme la vida, por su amor, el privilegio de conocerle y darme la oportunidad de tener personas increíbles en mi vida.

A mis padres Gregorio Rocha y Juana María Faz Ruiz por darme todo su amor, enseñarme valores y darme sus mejores consejos, confianza y su apoyo incondicional en cada uno de mis proyectos.

A la persona que me acompaño en todo el momento de la elaboración de esta tesis, mi esposa Anakarenth Ruiz Leija, que me da motivaciones para seguir preparándome, por su amor y el apoyo que de ella siempre he recibido; Mi ayuda y compañía perfecta.

Me he sentido tan orgulloso de la familia que Dios me ha dado, me han enseñado que la lucha siempre continua a pesar de las adversidades, pero en familia es mucho más sencillo, que el apoyo incondicional existe por el amor y la unión que nos caracteriza. Por eso mi dedicatoria es para toda mi familia, hermanos, tíos y primos.

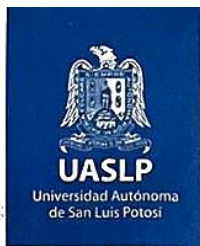
Quiero agradecerles por todo, me han apoyado bastante y no me alcanzaría la palabra para expresarles lo bien que me siento de tener una familia tan maravillosa.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a la Dra. Karla Ximena Vargas Berrones por apoyarme en todo el proceso que llevo esta tesis, por brindarme su conocimiento en el tema y dedicar de su tiempo para poder concluir esta etapa de mi vida. Sin su apoyo no podría haber terminado Doctora, gracias.

Para mis sinodales, la Doctora Imelda Esparza Álvarez y el Doctor Vicente Hernández García que estuvieron también al pendiente del avance de esta tesis y dedicaron de su tiempo para la elaboración de la misma. Se los agradezco de corazón.

A la Universidad Autónoma de San Luis Potosí por nuevamente abrirme las puertas de esta casa de estudios con increíbles profesores, muy preparados y que comparten de su conocimiento con sus alumnos.



17 de febrero de 2022

**ING. CHADAY VENANCIO ROCHA FAZ
P R E S E N T E**

En atención a su solicitud de Temario, presentada por la **Dra. Karla Ximena Vargas Berrones**, Asesora de la Tesis que desarrollará Usted, con el objeto de obtener el Grado de **Maestro en Planeación Estratégica e Innovación**, me es grato comunicarle que en la sesión del H. Consejo Técnico Consultivo celebrada el día 17 de febrero del presente año, fue aprobado el Temario propuesto:

TEMARIO:

"Aplicación de la Filosofía de Construcción Esbelta en losas. Caso de estudio de un puente vehicular en San Luis Potosí"

Introducción.

1. La industria de la construcción en México.
2. Productividad, desperdicios y herramientas de procesos esbeltos.
3. Metodología para la implementación de la Construcción Esbelta.
4. Implementación de la Filosofía de Construcción Esbelta en losas de un puente vehicular en San Luis Potosí.

Conclusiones.

Referencias.

"MODOS ET CUNCTARUM RERUM MENSURAS AUDEBO"

A T E N T A M E N T E



DR. EMILIO JORGE GONZÁLEZ GALVÁN
DIRECTOR

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN

www.uaslp.mx

Copia. Archivo
*etn.

Av. Manuel Nava 8
Zona Universitaria • CP 78290
San Luis Potosí, S.L.P.
tel. (444) 826 2330 al 39
fax (444) 826 2336

"Rumbo al centenario de la autonomía universitaria"

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	10
1 LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN EN MÉXICO	11
1.1 ANTECEDENTES	11
1.2 CONTEXTO DEL TRABAJO	19
1.2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
1.2.2 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	21
1.2.3 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.2.4 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	22
1.2.5 JUSTIFICACIÓN	22
1.2.6 OBJETIVOS.....	25
2 PRODUCTIVIDAD, DESPERDICIOS Y HERRAMIENTAS DE PROCESOS ESBELTOS	26
2.1 MARCO TEÓRICO	26
2.1.1 LA IMPORTANCIA DE LA CONSTRUCCIÓN EN MÉXICO	26
2.1.2 PRODUCTIVIDAD EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN	28
2.1.3 DESPERDICIOS EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN	30
2.1.4 MANEJO DE LA INFORMACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN	37
2.1.5 PROCESO CONSTRUCTIVO	39
3 METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN ESBELTA	41
3.1 METODOLOGÍAS	41
3.1.1 Construcción Esbelta.....	42
3.1.2 Metodología Justo a Tiempo	49
3.1.3 Metodología Kanban.....	50
4 IMPLEMENTACIÓN DE LA FILOSOFÍA CONSTRUCCIÓN ESBELTA EN LOSAS DE UN PUENTE VEHICULAR EN SAN LUIS POTOSÍ	54
4.1 ESTUDIO DE CASO	54
4.2 HIPÓTESIS.....	55
4.3 MARCO METODOLÓGICO	55
4.3.1 Nivel de la investigación	55
4.3.2 Diseño de investigación	56

4.3.3 Población y muestra	56
4.3.4 Diseño experimental.....	58
4.3.5 Técnica e instrumento de recolección de datos.....	58
4.3.6 Técnicas e instrumento para el procesamiento y análisis de datos	60
4.3.7 Diagrama de flujo.....	62
4.3.8 Implementación de herramientas en la filosofía Esbelta.	64
4.4 RESULTADOS	72
4.4.1 Filosofía tradicional.....	72
4.4.2 Filosofía Esbelta	83
CONCLUSIONES.....	90
REFERENCIAS.....	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de partidas en proyecto de pavimentación con carpeta asfáltica en zona industrial. S.L.P.	20
Tabla 2. Principales causas de desperdicios de materiales	34
Tabla 3. Desperdicios directos de materiales esperados para construcción de losas de concreto en puente vehicular.	35
Tabla 4. Desperdicios indirectos de materiales esperados para construcción de losas de concreto en puente vehicular.....	36
Tabla 5. Filosofía tradicional vs. Filosofía Esbelta.....	47
Tabla 6. Grupo experimental que contribuyen a la actividad de construcción de losas.....	57
Tabla 7. Grupo de control que contribuyen a la actividad de construcción de losas.....	58
Tabla 8. Prueba de 5 minutos.....	60
Tabla 9. Clasificación de tiempos por actividades.....	67
Tabla 10. Resumen general de actividad	68
Tabla 11. Resumen de promedios por clasificación de tiempos por resumen general.	69
Tabla 12. Comparación de la clasificación de tiempos.....	70
Tabla 13. Resumen general de prueba de 5 minutos.....	73
Tabla 14. Resumen general de prueba de 5 minutos por actividad.....	74

Tabla 15. Diagrama de Pareto antes de filosofía Esbelta.....	75
Tabla 16. Resumen general de prueba de 5 minutos.....	84
Tabla 17. Resumen general de prueba de 5 minutos en filosofía Esbelta por actividad	85
Tabla 18. Diagrama de Pareto antes de filosofía Esbelta.....	86
Tabla 19. Actividades con más representación en tiempos en el proyecto.....	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producto interno bruto de la construcción	12
Figura 2. Escenarios de Crecimiento del PIB de la Industria de la Construcción.....	12
Figura 3. Planificación usual.....	15
Figura 4. Sistema de planificación Esbelto.....	16
Figura 5. Índice de infraestructura en México.....	27
Figura 6. Sistema de producción efectivo.....	44
Figura 7. Modelo de producción tradicional	45
Figura 8. Modelo de producción aplicando la filosofía Esbelta	46
Figura 9. Ejemplo de Kanban de retirada.....	52
Figura 10. Ejemplo de Kanban de producción.....	52
Figura 11. Implementación de Construcción Esbelta - Plan para medición de pérdidas.....	61
Figura 12. Diagrama de flujo propuesto	63
Figura 13. Grafica circular de los tiempos destinados por actividad antes de la aplicación de la filosofía Esbelta.....	76
Figura 14. Kanban de retirada para cimbra en losas.....	79
Figura 15. Kanban de retirada para acero en losas.....	80
Figura 16. Kanban de producción para losas.....	81
Figura 17. Kanban de proveedor de concreto	82
Figura 18. Grafica circular de los tiempos destinados por actividad después de la aplicación de la filosofía Esbelta.....	87

INTRODUCCIÓN

Construcción Esbelta es una filosofía con un enfoque totalmente orientado a la gestión de proyectos de la construcción, tomando como punto de partida la filosofía Manufactura Esbelta, la cual tiene como prioridad eliminar o disminuir las actividades que no generan valor, así como priorizar y buscar la mejora de las actividades que si lo hagan.

Por lo cual se pretende que la empresa en estudio lleve a cabo la supervisión de la construcción de losas en puente vehicular implementando la filosofía Construcción Esbelta y el uso de herramientas innovadoras, tomando en cuenta los criterios de aceptación y restricciones del proyecto propuestos por el cliente, los cuales son: cumplir con los criterios de calidad presentados en los anexos, cumplir con la fecha de término de obra y no exceder el presupuesto destinado a la realización de esta.

El objetivo en el estudio de caso es observar las diferencias al aplicar la filosofía tradicional y la filosofía construcción Esbelta, ayudando al proyecto del puente vehicular a reducir costos y mejorar su calidad, que se logrará mediante la disminución de los desperdicios que se encuentran presentes dentro de los procesos, el cual traerá múltiples beneficios no solo económicos, sino que también aumentará considerablemente la productividad del producto, el aprovechamiento de los equipos y la imagen de la empresa ante los futuros clientes.

1 LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN EN MÉXICO

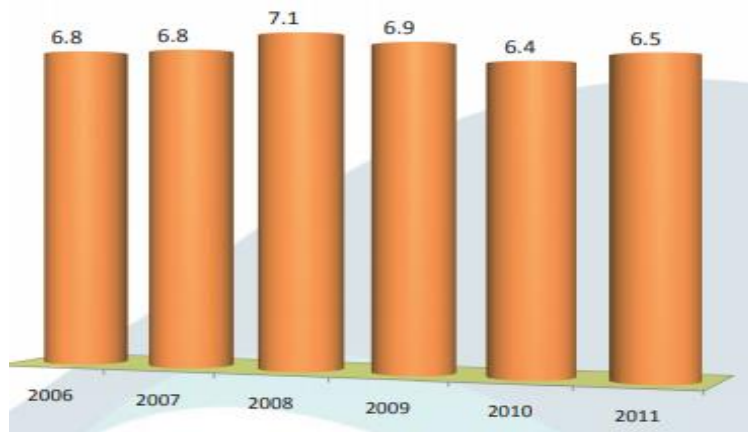
1.1 ANTECEDENTES

La industria de la construcción siempre ha tenido una función social relevante. Esta actividad ha sido factor de desarrollo regional y local, así como de integración y progreso de las comunidades las que han demandado vivienda de manera creciente, servicios de salud, educativos, etc. así como servicios municipales de energía, agua, alcantarillado, drenaje, obras viales y mantenimiento, entre otras. La industria ha estado vinculada con la protección al medio ambiente por medio de varias acciones: creación de infraestructura dirigida a la sustentabilidad ambiental (tratamiento de aguas residuales, reúso de aguas tratadas, manejo y tratamiento de residuos sólidos municipales, industriales y hospitalarios, y reciclado de materiales), así como al cambio tecnológico y el ahorro energético (arquitectura bioclimática, edificios inteligentes, sistemas pasivos de generación de energía, etc.) y a medidas ambientales aplicadas al ordenamiento urbano y territorio. (Rubio,2003)

De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI (Censos Económicos 2019) en México hay 19,501 establecimientos dedicados a la construcción. Sus actividades son muy variadas, entre ellas están: la construcción o restauración de viviendas, edificios, hoteles, centros comerciales, bancos, escuelas, hospitales, calles, banquetas, presas, cines, parques y teatros.

Es tal la importancia del sector de la construcción que el Producto Interno Bruto (PIB) de la construcción representó el 6.5% del PIB total en 2011, según el Sistema de Cuentas Nacionales de México como lo muestra la **Figura 1**.

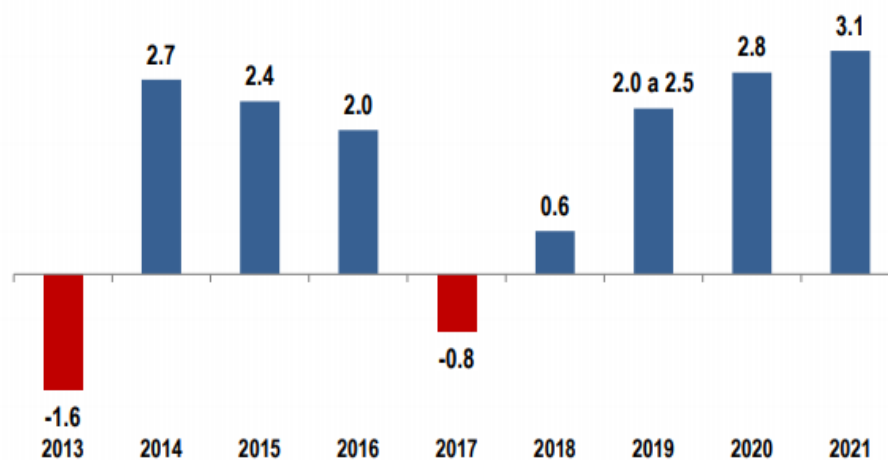
Figura 1. Producto Interno Bruto de la construcción.



Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)

Los últimos escenarios de crecimiento de la construcción se estimaron por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en el año 2017 donde se prevé una tendencia creciente en los próximos años, como lo muestra la **Figura 2**.

Figura 2. Escenarios de Crecimiento del PIB de la Industria de la Construcción



Fuente: Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción (CEESCO), con datos del INEGI.

La empresa supervisora es una empresa pequeña e independiente, cuya actividad está enfocada en la supervisión, ejecución y diseño de obra civil para cualquier rama de la industria de la construcción. Es una empresa con más de 5 años de experiencia en el mercado de la construcción y se ha distinguido por su alta calidad en la supervisión y ejecución de obra civil, por lo que ha alcanzado un buen reconocimiento en algunos sectores del país, ya que el alcance de esta no es totalmente nacional. Su misión es ser una empresa confiable proporcionando servicios de ingeniería y construcción a inversionistas privados y administraciones públicas, mediante procesos eficaces y eficientes que sean referentes en la industria. Para cumplir los objetivos de los accionistas, la superación integral del equipo humano y colaborar con el bienestar de la comunidad y su visión es ser reconocidos como una empresa confiable, transparente, responsable e innovadora, buscando crecer a varios mercados en diferentes sectores del país.

El termino Esbelto fue adoptado por la industria de la manufactura en los años 1990 luego de que algunos investigadores del MIT (Instituto de Tecnología de Massachusetts) encontraron que el sistema de producción Toyota tenía una gran eficiencia, naciendo los términos Manufactura Esbelta o Producción Esbelta.

La manufactura Esbelta es un proceso continuo y sistemático de identificación y eliminación de actividades que no agregan valor en un proceso, pero si implican costo y esfuerzo. La principal filosofía en la que se sustenta la manufactura Esbelta radica en la premisa de que «todo puede hacerse mejor»; de tal manera que en una organización debe existir una búsqueda continua de oportunidades de mejora. (López, 2020)

Hoy en día el sistema de manufactura Esbelta de Toyota se aplica en su totalidad o en variantes a todo tipo de empresas. La metodología Esbelta ha ido evolucionando a nuevas aplicaciones específicas como por ejemplo la

construcción Esbelta y la oficina Esbelta. El punto en común entre todos es la actuación conjunta de directivos, mandos intermedios y operarios, instaurando unos principios de calidad para optimizar el trabajo, mejorar los resultados y aplicar para siempre la Mejora Continua en todas las áreas empresariales.

En el año 1992 el profesor Lauri Koskela propone la aplicación del término esbelto en el sector de la Construcción nombrándolo como Construcción Esbelta, que se basa en la gestión de los procesos de construcción siguiendo los principios de la mejora continua y en la adaptación del sistema de producción Toyota al sector. La forma de transformar la construcción en un proceso “Esbelta” significa incorporar a esta el aprendizaje de décadas adquirido en la industria manufacturera moderna, y minimizar las peculiaridades propias de la construcción, para sacar el máximo provecho de las técnicas esbeltas desarrolladas.

Según un informe de McGraw Hill Construction (2013) sobre la aplicación de este sistema, brinda mayor calidad en la construcción, mayor satisfacción del cliente, aumento de la productividad, mejora en la seguridad, reducción de los plazos de entrega, reducción de costes, mejor gestión del riesgo y la colaboración de todas las partes implicadas en un proyecto de construcción.

Construcción Esbelta es una filosofía que se orienta hacia la administración de la producción en construcción y su objetivo principal es reducir o eliminar las actividades que no agregan valor al proyecto y optimizar las actividades que sí lo hacen, por ello se enfoca principalmente en crear herramientas específicas aplicadas al proceso de ejecución del proyecto y un buen sistema de producción que minimice los residuos. (Porrás, 2014).

De acuerdo con Womack, 1996 y Picchi F, 1993, entre muchos otros, para que Construcción Esbelta funcione es necesario el uso de una serie de herramientas que simplifiquen su uso y que permitan llevar los principios teóricos de la filosofía a la práctica profesional, estas herramientas también mencionadas en la revista

Avances Investigación en Ingeniería publicada por Díaz, H. P., Sánchez, O. G., & Galvis, J. A. (2014) son:

1. Sistema del último planificador (SUP): Es un sistema de planificación y control de la producción para mejorar la variabilidad en las obras de construcción y reducir la incertidumbre de las actividades programadas, es un enfoque práctico en el cual los gerentes de construcción y los jefes de equipo colaboran para crear planes de trabajo que pueden ser ejecutados con un alto grado de fiabilidad.

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

Luis F. Alarcón (2019) establece este hecho gráficamente, como se observa en la **Figura 3**, los tres estados teóricos de la planificación son: lo que se debe hacer, lo que se hará y finalmente lo que se puede hacer en obra. Para mostrar que tradicionalmente las actividades que se espera ejecutar son mayores que las que se pueden realmente hacer.

Figura 3. Planificación usual.



Fuente: Un nuevo enfoque en la gestión: la construcción sin pérdidas, Alarcón L.F.

2. Estructura del sistema del último planificador (SUP): Se realiza en el nivel más bajo de jerarquía de planificadores es decir la última persona o grupo que tiene ver con la supervisión de los trabajos en obra (el último planificador). La filosofía es asegurar que todos los requisitos previos necesarios para realizar un trabajo estén en su lugar antes de asignar las cuadrillas de trabajo a las actividades. Todas las tareas tienen tres categorías: deben, pueden y se harán. Estas reflejan cada nivel de planificación de la siguiente manera: el programa maestro indica qué se debe realizar, el programa intermedio prepara el trabajo y realiza la revisión de las restricciones y el plan semanal programa una serie de actividades que pueden ejecutarse comprometiendo a los agentes al cumplimiento del programa, como se muestra en la **Figura 4**.

Figura 4. Sistema de planificación Esbelto.



Fuente: Un nuevo enfoque en la gestión: la construcción sin pérdidas, Alarcón L.F.

3. Planificación general o programa maestro: Es la programación de todas las actividades necesarias para realizar la construcción de los elementos estructurales, arquitectónicos entre otros que hacen parte del proyecto. La programación maestra se hace en forma de diagrama de Gantt,

estableciendo los tiempos de todas las tareas necesarias para culminar la etapa de construcción en los proyectos.

El diagrama de Gantt es una herramienta para planificar y programar tareas a lo largo de un período determinado, el diagrama se muestra en un gráfico de barras horizontales ordenadas por actividades a realizar en secuencias de tiempo concretas.

4. Planificación intermedia: Consiste en desglosar la programación general para evitar perder tiempo y material; se destacan aquellas actividades que deberían hacerse en un futuro cercano. Para lograr la planificación intermedia deben de seguirse los siguientes procesos, definición del intervalo de tiempo, definición de las actividades que serán parte del plan intermedio, análisis de restricciones y el intervalo de trabajo ejecutable
5. Planificación semanal: Se mide el porcentaje de Actividades Completadas (PAC) para saber porcentualmente cual fue el número de actividades programadas que realmente se ejecutaron en obra y así medir que tan efectiva fue la planificación semanal y además tabular las causas por las cuales el PAC no fue del 100% para corregirlas en la siguiente semana.

La aplicación de las herramientas previamente descritas brinda beneficios como el aumento de la seguridad de la obra, ayuda a estabilizar la producción, reducir los tiempos de espera, fomentar las relaciones eficaces, fomentar el valor, el flujo y la transformación.

Un estudio realizado por Flavio Picchi (1993) estima que una deficiente gestión de proyectos de construcción podría generar un coste del 30% más del proyecto, así como un retraso significativo en tiempo. Esto es un porcentaje muy alto, que de ser analizado el proyecto con una buena gestión antes de la construcción el proyecto puede ser mucho más factible en cuestión de tiempos y económicamente. Dicho estudio afirma los siguientes desperdicios junto a sus porcentajes de coste en proyecto: restos de material con 5 por ciento, espesores

adicionales de mortero con 5 por ciento, dosificaciones no optimizadas con 2 por ciento, reparaciones y retrabajos no computados en el resto de materiales con 2 por ciento, proyectos no optimizados con 6 por ciento, perdidas de productividad debidas al problema de calidad con 3.5 por ciento, costos debidos a atrasos con 1.5 por ciento y costos en obras entregadas con 5 por ciento.

Teniendo en cuenta puntos clave para lograr el cómo evitar el desperdicio de material, no tener inventario que no se requiera en ese momento, evitar el traslado de productos no necesarios o más veces de las requeridas, evitar la elaboración de actividades que no generen valor en el momento, no tener movimientos extras que retrasen el tiempo de la actividad, no hacer extras de trabajo ni material, verificar los trabajos realizados minuciosamente para no tener correcciones de los mismos. Teniendo así una obra de mejor administración, más económica y de mejor calidad de la misma, destacando entre las demás empresas.

1.2 CONTEXTO DEL TRABAJO

1.2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Por el crecimiento significativo de la industria de la construcción debido a las necesidades inminentes de la generación de espacios para todo el entorno se ha vuelto una necesidad en la industria la implementación de una solución para mejorar la administración de los proyectos para así ser más competitivos con las empresas que al igual que la industria han ido en aumento, teniendo en claro la mala administración que se refleja en altos costos al finalizar la obra teniendo desperdicios muy altos e incumplimiento de tiempos de obra. (GALARZA MEZA, 2014)

Según Padilla (2006) afirma que la productividad de algunos procesos del sector de la construcción se encuentra con porcentajes de hasta 62,75%, sin embargo, en otros se obtuvieron de hasta el 49,84%, consideradas para este caso como trabajo improductivo el cual ocasiona desperdicios en cuanto a tiempo y aumenta el coste del proyecto.

El proyecto objeto de estudio necesita la disminución de costos en los trabajos realizados para la construcción de losas del puente vehicular, ya que en proyectos anteriores se ha observado que el coste siempre aumenta hasta en un 30% debido a los grandes desperdicios realizados en estas. Un claro ejemplo fue en la ejecución de una rehabilitación de una vialidad en la zona industrial para una empresa cliente. La empresa constructora estimaba contar con un margen de utilidad del 25%, es decir tenían estimado que el coste total del proyecto fuera de \$1,962,303.033, sin tomar en cuenta que debido al porcentaje del 24.1% de desperdicio solo dejó a la empresa constructora un margen de utilidad del 6.9%. El resumen de partidas del proyecto se muestra a continuación en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Resumen de partidas en proyecto de pavimentación con carpeta asfáltica en zona industrial. S.L.P.

Clave	Partida	Unidad	Cantidad	Total (\$)	Total (%)
I	Demolición de pavimento asfáltico	m ³	237.90	-	2.44%
II	Demolición de concreto hidráulico	m ³	115.29	-	1.61%
III	Preparación de terracerías inc desmonte	m ³	840.00	-	8.32%
IV	Sub-base de 30 cm	m ³	840.00	-	12.94%
V	Base granular de 15 cm	m ³	420.00	-	8.51%
VI	Riego de impregnación	m ²	2800.00	-	3.77%
VII	Base asfáltica de 5 cm	m ³	140.00	-	14.28%
VIII	Carpeta de concreto asfáltico de 10 cm	m ³	280.00	-	48.12%
TOTAL				\$2,434,857.97	100%

Fuente: Datos proporcionados por la empresa constructora.

Como se mencionó en el proyecto de pavimentación anterior la empresa supervisora tiene con la necesidad de buscar una solución a su problemática en la administración de sus proyectos, los cuales debido a ello han tenido un desperdicio de material, tiempo y recursos humanos el cual genera hasta el 30% adicional en el costo final del proyecto, por lo tanto se realizara un estudio de caso para buscar hacer cambios en su sistema de gestión de la supervisión de obra al implementar una nueva metodología innovadora que logre atacar su principal problema, el cual son los desperdicios. Buscando en su proyecto actual disminuir el porcentaje de desperdicios en la supervisión de la construcción de losas para puente vehicular en San Luis Potosí ya que se están generando costos muy elevados respecto a lo proyectado, así como un atraso en tiempo y calidad de obra.

1.2.2 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Las preguntas de investigación son las siguientes:

- ¿Qué desperdicios se presentan en la construcción de losas para puente vehicular?
- ¿Qué desperdicios se podrán reducir en la construcción de losas para puente vehicular con la implementación de la filosofía Esbelta?
- ¿El uso de herramientas metodológicas Esbeltas pueden ayudar a lograr una mejor reducción de los desperdicios?

1.2.3 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

La filosofía Construcción Esbelta pudiera aplicarse a la gestión de la administración en general del proyecto, pero el caso de estudio se realizará solamente en la supervisión de las losas, lo cual no se involucrará rotación de personal ni cambio de maquinaria por bajo rendimiento ya que quedan fuera de los alcances de la supervisión y le corresponden dichos temas a la constructora encargada de dicho proyecto.

Se hará de su conocimiento a la constructora la investigación con los datos resultantes en la aplicación de la filosofía en las losas, constituyendo con indicadores la comparación entre la filosofía tradicional y la filosofía Construcción Esbelta, de manera que se aprecien las diferencias entre las practicas, buscando compartir las prácticas para que el proyecto logre tener menos desperdicios y una mejor calidad de proyecto.

1.2.4 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

El proyecto puente vehicular ubicado al sur de la ciudad de San Luis Potosí tiene un tiempo de obra de dos años para la culminación oficial del proyecto, el cual su fecha de culminación del contrato es en diciembre de 2021.

La supervisión de la partida losas de concreto el cual es el centro de investigación culminará tentativamente en junio de 2021, por lo tanto, la investigación tendrá una duración de 4 meses donde se analizarán los desperdicios identificados por parte del grupo experimental, para conocer el porcentaje que se puede reducir con la aplicación de la filosofía Construcción Esbelta y las herramientas Kanban y Justo a tiempo.

1.2.5 JUSTIFICACIÓN

En México se han realizado algunos proyectos con la filosofía Construcción Esbelta, como lo ha sido en la planta BMW en San Luis Potosí, donde a pesar de ser múltiples los beneficios, no se encuentran de manera pública los alcances de este proyecto. Esta filosofía aún no ha penetrado la industria del todo, falta mucho para implementar la filosofía y poder aumentar la productividad y la calidad en los proyectos, siendo necesaria ya que la industria de la construcción al estar en constante crecimiento requiere de mayor esfuerzo para lograr ser más competitivos en el mercado.

Ha sido especialmente en este siglo cuando se está desarrollando, aplicando e investigando en numerosos países: Estados Unidos, Inglaterra, Alemania, Dinamarca, Finlandia, Japón, Israel, Brasil, Chile, Perú y algunos países asiáticos, donde se imparten cursos, se enseña la filosofía Construcción Esbelta en muchas universidades y existen consultoras centrando su actividad en este ámbito.

De momento el desarrollo e investigación es bastante académico, aunque la Asociación Europea de Constructoras ya está realizando talleres de trabajo de

Construcción Esbelta para sus asociados en los últimos años. De igual manera el Grupo Europeo de Construcción Esbelta, que ha investigado y realizando conferencias a nivel europeo. Las mejores universidades del mundo en materia de gestión de proyectos de construcción centran gran parte de su capacidad investigadora en el Construcción Esbelta. Tanto Berkeley como Stanford en EE.UU., Nottingham-Trent y Salford en el Reino Unido, la Universidad Católica de Chile y la UFRGS de Brasil, la Universidad Politécnica de Valencia en España son unos ejemplos. (Nash, 2019)

En México son muy pocas las empresas dedicadas a proveer servicios de soluciones de ingeniería utilizando la filosofía Esbelta. En México empresas como C&C Grupo Consultor de Construcción, ITN México entre otras, trabajan implementando la filosofía de Construcción Esbelta siguiendo el esquema y parámetros del Instituto de Gerencia de Proyectos (PMI), cuyas prácticas son utilizadas en muchas organizaciones para la estructuración, ejecución y cierre de diversos proyectos; las buenas prácticas recogidas por este Instituto han servido de base para que las empresas logren conseguir los objetivos estratégicos con una correcta gestión de los programas y proyectos que se vayan a emprender.

Sin embargo, en México el termino construcción Esbelta es poco conocido, son muy pocas las instituciones y universidades que se dedican a la implementación de esta filosofía y pocos profesionistas, Ingenieros civiles, Projectistas, Arquitectos conocen las estrategias, tácticas y herramientas que el termino ofrece. Conocer esta herramienta ayuda a incrementar la capacidad para coordinar los elementos que intervienen en los procesos de construcción.

Es indispensable cambiar la filosofía de las gestiones que por muchos años han existido en la industria de la construcción y que lamentablemente muchas empresas adoptan, lo cual conlleva a una falta de comunicación grande, un

descontrol de personal y mucho desperdicio de materiales y tiempo. Como lo afirma Padilla (2006) existen procesos con un equivalente a 49.84% de productividad, lo cual conlleva a un gran desperdicio en el trabajo sustentando así el 30% de desperdicio que se podría corregir en los proyectos de construcción como lo que afirma Flavio Picchi (1993).

La empresa a estudiar al contar con una buena gestión y gracias al apoyo de herramientas adicionales a la filosofía como lo son Justo a Tiempo y Kanban, los cuales al formar un pilar adicional con estas herramientas para la filosofía Construcción Esbelta, podría eliminar un porcentaje considerable de desperdicios en la construcción de losas para puente vehicular, logrando disminuir significativamente los costes y tiempos de entrega, sin perder la calidad para futuras empresas y/o proyectos internos. Lo cual apuntaría hacia una mejor aceptación por parte de los clientes y un mejor futuro de trabajo, ya que sin duda son puntos importantes para los clientes. Para lograr el cambio en la empresa se prevé cambiar la filosofía de la empresa en estudio, de una manera innovadora y rentable, con base en eso lograr un buen porcentaje de productividad en los procesos de construcción de la obra, identificar y lograr que los desperdicios en obra ya sea de tiempo por parte de personal o maquinaria, como desperdicio de material sean mínimos.

1.2.6 OBJETIVOS

1.2.6.1 Objetivo general

Implementar la filosofía Construcción Esbelta en conjunto con las herramientas Justo a Tiempo y Kanban en la construcción de losas para puente vehicular en San Luis Potosí para lograr un porcentaje de reducción de desperdicios de hasta el 10% con el apoyo de estas herramientas.

1.2.6.2 Objetivos específicos

1. Analizar los tiempos dedicados a las actividades para la construcción de losas para puente vehicular en San Luis Potosí.
2. Identificar los desperdicios evitables en la construcción de losas para puente vehicular en San Luis Potosí.
3. Reducir los desperdicios identificados como tiempos no contributivos con la implementación de la filosofía esbelta.

2 PRODUCTIVIDAD, DESPERDICIOS Y HERRAMIENTAS DE PROCESOS ESBELTOS

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 LA IMPORTANCIA DE LA CONSTRUCCIÓN EN MÉXICO

La Industria de la construcción en México es un sector relevante de la economía. Las obras se construyen a lo largo del país y frecuentemente han sido utilizadas como motor de la producción. La construcción siempre ha estado vinculada con el desarrollo del país y ha sido palanca fundamental para lograrlo (Rubio, A).

En México, la industria de la construcción y su comportamiento representan un indicador de las condiciones económicas del país. Requiere de una multiplicidad de especialidades, a su vez da empleo a gran cantidad de personas e interactúa con un vasto número de industrias manufactureras, proporcionando elementos básicos que benefician a la sociedad.

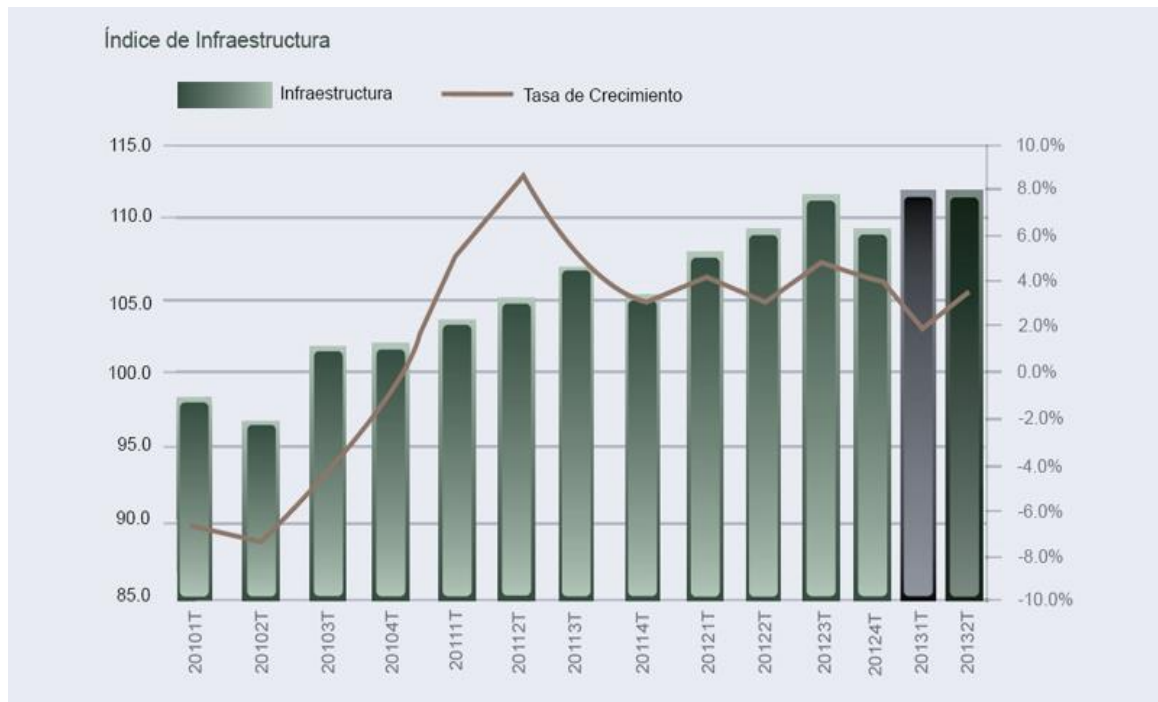
Es con base en su clasificación que se divide en tres grandes bloques o subsectores:

- Edificación: Se refiere a la construcción de inmuebles residenciales y no residenciales; por ejemplo, vivienda unifamiliar o multifamiliar, naves y plantas industriales, y edificios comerciales.
- Ingeniería civil u obra pesada: Corresponde a la construcción de obras de infraestructura y urbanización como carreteras y puentes.
- Servicios especializados: Aquellos trabajos de instalación y equipamiento de construcciones, acabados e instalación de estructuras, ya sean

cimentaciones, montaje de estructuras prefabricadas, acabados en edificaciones, demolición, movimiento de tierra, excavación, drenado, relleno de suelo, entre otros.

En 2011, la construcción aportó el 6.5% del Producto Nacional Bruto (PNB) con una inversión total de 1 904 102 millones de pesos, en 2012 aportó 5.9% del PNB a una inversión total de 2 076 203 millones de pesos, mientras que para 2013 hubo un crecimiento de entre 3% y 4%. Como se muestra en la **Figura 5**.

Figura 5. Índice de infraestructura de México.



Fuente: Industria de la construcción en México, edificación de la economía nacional.

Mientras más obras se construyen, más riqueza se crea, y no solamente eso, también se genera mayor empleo. Por lo anterior, la construcción es una industria que tiene una importante función social. Es el sector de la economía que absorbe la mayor cantidad de mano de obra no calificada del país. A mayor cantidad de obras que se construyen, mayor cantidad de personal empleado. Aunado a la mayor permanencia de los obreros en las empresas, aumentan los índices de calificación del personal.

2.1.2 PRODUCTIVIDAD EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

La productividad la define Molla (2019) como la cantidad de producción de una unidad de producto o servicio por insumo de cada factor utilizado por unidad de tiempo.

Evalúa la cantidad de bienes que produce una empresa según el número de personas que trabajan en ella y la cantidad de tiempo, materiales y recursos necesarios para producir esos bienes.

La productividad tiende a aumentar cuando los procesos son repetitivos y el tiempo empleado para la realización de los mismos disminuye, lo anterior se debe al fenómeno del aprendizaje y generación de conocimiento (Martinez, 2016).

2.1.2.1 Tipos de productividad

Existen tres tipos diferentes de productividad.

1. Productividad laboral. También se denomina productividad por hora trabajada. Es aquella que se establece en un parámetro de horas determinadas
2. Productividad total. Toma en cuenta todos los factores que intervienen en la producción.

3. Productividad marginal. Es el producto que se obtiene al realizar una modificación en una de las variables o factores que se tienen en cuenta para la productividad.

2.1.2.2 Factores que afectan la productividad

Un estudio realizado por Horman y Kenley (2005) muestra que, en los últimos treinta años, en aproximado del cincuenta por ciento del tiempo que se lleva a cabo en las diferentes actividades en la construcción no generan ningún valor para el producto final. En consecuencia, la construcción ha sido criticada durante mucho tiempo por su baja productividad y por los problemas relacionados con la gestión de los procesos en la ejecución de las obras. (Kagioglou et al., 2000; Teicholz et al., 2001).

El Grupo Constant (2014), menciona algunos de los factores que pueden afectar a la productividad, entre ellos se encuentran:

- Reuniones al finalizar la jornada laboral.
- Horarios no flexibles.
- Jornadas de trabajo que superan las 10 horas.
- Exceso de festivos entre semana.
- Obsolescencia del equipamiento.

2.1.2.3 Beneficios de la productividad

Alguno de los beneficios de conocer la productividad que menciona (Ruiz Cornejo, 2020) son los siguientes.

- Al conocer los niveles de productividad, se pueden reordenar los recursos utilizados en la producción.
- Con la productividad parcial, se tiene una utilización óptima de cada recurso.

- Una vez teniendo las mediciones, se establecerán prioridades de manera que en los próximos años se obtengan metas más altas de productividad.
- Los trabajadores al contar con información sobre sus niveles de productividad buscarían incrementar su eficiencia.

El aumento de la productividad tiene muchos beneficios para las empresas, sea cual sea su tamaño o sector de actividad ya que ayuda a conseguir los objetivos empresariales marcados en mayor grado y con mayor eficacia, supone un gran ahorro de costes, ya que permite deshacerse de aquellos elementos innecesarios para alcanzar los objetivos, proporciona un gran ahorro de tiempo, lo que da la posibilidad de realizar un mayor número de tareas en un menor tiempo y, generalmente, con menor esfuerzo, da mayor agilidad a los negocios y/o empresas; y, por lo tanto, flexibilidad a la hora de responder a los cambios en las demandas de los clientes o del mercado en general.

2.1.3 DESPERDICIOS EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

El desperdicio es cualquier ineficiencia en el uso de equipo, material, trabajo, o capital. Incluye la incidencia de material perdido y la ejecución de trabajo innecesario, lo que origina costos adicionales y no agrega valor al producto. El originar costos y no generar valor, es el fundamento del concepto de desperdicio. (Corredor Aguilera, 2009).

Desperdicio también es un residuo que no es aprovechable. El desperdicio es una Ineficiencia que disminuye la competitividad, (incremento del valor sobre el costo). El desperdicio disminuye entonces, el valor para los clientes e incide directamente en un decremento de utilidades por lo cual la revista incluye su clasificación, su costo y su impacto en los proyectos como se menciona a continuación.

2.1.3.1 Clasificación de desperdicios

Los desperdicios para la manufactura esbelta se clasifican de acuerdo a su origen, pero se pueden ver reflejados en el proceso de producción. Los tipos de desperdicios:

Sobreproducción. Se tiene una producción mayor a la requerida o se produce antes de tiempo. En este tipo de desperdicios se encuentra el desperdicio de materiales, horas de trabajo o uso de equipo.

Tiempo de espera. Tiempos muertos por falta de sincronización, falta de materiales, líneas mal balanceadas, mala programación de producción, mantenimiento deficiente, cuellos de botella

Transporte. Movimiento innecesario o mal proyectado de material, incluyendo el del proveedor. Excesivo manipuleo, uso de equipo inadecuado, recorridos excesivos de materiales. Se pierden horas de trabajo, energía, espacio y de material durante el transporte. También incluye el movimiento innecesario de personal e información

Procesamiento. Se realiza trabajo innecesario y que no es parte normal del proceso y en donde el cliente no está dispuesto a pagar. Estas podrías consistir en: verificaciones innecesarias, inspecciones, firmas innecesarias.

Inventario. Es la acumulación de productos o materiales en cualquier parte del proceso. El inventario genera otras formas de desperdicio tales como tiempo de espera, retrabajos, fallas y transporte, conduce a pérdidas de material (por deterioro, condiciones inadecuadas, robo) y pérdidas monetarias por capital sin uso. El inventario es el resultante de falta de planeación y desconocimiento de las cantidades necesarias.

Movimiento. Movimientos innecesarios o ineficientes realizados por los trabajadores. Involucra uso inadecuado de equipo, métodos de trabajo poco

efectivos, por falta de estudios de trabajo. También se puede considerar el movimiento no necesario de maquinaria

Producción de productos defectuosos. El producto final no cumple los requerimientos de calidad lo que podría conducir a retrabajos. Debido a diseños y especificaciones pobres, carencia de planeación y control, falta de coherencia entre el diseño y la producción.

2.1.3.2 Desperdicios con más impacto en los proyectos de construcción promedio

Las pérdidas en construcción son todos aquellos procesos que demandan cantidades mayores a los recursos mínimos de materiales, maquinaria, mano de obra, tiempo y espacio establecido para la producción y que, por tanto, sin agregar valor al producto final generando costos mayores en los procesos de construcción de una obra (Corredor Aguilera, 2009).

Algunas causas que generan pérdidas en el proceso de producción de la construcción según Martínez, J.G.T. (2011) son:

Problemas de diseño: Estos Problemas son debidos a que generalmente no se cuenta con el diseño completo del proyecto, por lo cual presentan diferencias entre lo presentado y lo ejecutado.

Deficiencias en la administración: La gestión de la administración de los proyectos requiere de una planeación y un control de planeación con un estricto proceso de producción.

Métodos de trabajo inadecuado: En la industria de la construcción no existe en casi su totalidad la cultura de la medición. La planeación y gestión de la misma con una metodología innovadora permitirá la realización de las

actividades de una manera más eficiente, al analizar y optimizar los recursos que en este se presente.

Problemas del recurso humano: El rendimiento de la construcción depende en su mayoría por el recurso humano, pero, las empresas que se dedican a la industria de la construcción no cuentan con políticas que se enfoquen la gestión del recurso humano. Además de una alta rotación de personal y esto no permite un control de aprendizajes para la mejora en los rendimientos de los mismos.

Sistema de control: La producción en la industria de la construcción se enfoca principalmente en calcular las desviaciones de costos y tiempo. Pero No existe una cultura de prevención, la cual permita identificar los el control de actividades anticipadamente y tomar acciones de prevención en las mismas. El 50% del tiempo de los trabajadores en el lugar de trabajo, está representando en transportes, esperas o interrupciones por falta de materiales o instrucciones, reprocesos, etc. (Botero, 2006)

Se presenta un cuadro desarrollado en base a la información obtenida por la La universidad Politécnica de Hong Kong, Soibelman (1993) y Formoso (2002), los cuales miden las principales causas de los desperdicios de los materiales más utilizados en la construcción.

Tabla 2. Principales causas de desperdicios de materiales

Causas	Concreto premezclado (%)	Acero (%)	Yeso/C emento (%)	Ladrillos (%)	Cerámicas (%)
Pedidos en Exceso	51.2			14.6	10.7
Pérdidas durante el vaciado	22.0				
Fisuras de encofrado	8.4				
Trabajos temporales	7.8				
Retrabajos	5.2	3.5			
Perdidas en corte		87.1		39.6	40.0
Perdidas por nivel de abastecimiento		4.4		11.1	29.3
Corrosión		4.1			
Producción excesiva			58.8		
Pérdidas durante la aplicación			19.4		
Almacenamiento			11.2		
Pérdidas durante asentamiento				18.9	
Pérdidas durante el transporte				15.8	
Cambios en el proyecto					12.9
Otros	5.4	0.9	10.6		7.1
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%

Fuente: Universidad Politécnica de Hong Kong.

A continuación, se presenta la **Tabla 3** desarrollada en base a experiencia de la empresa, en donde se clasifica las principales causas que pudieran presentarse en el proyecto para el desperdicio de materiales.

Tabla 3. Desperdicios directos de materiales esperados para construcción de losas de concreto en puente vehicular.

	DESPERDICIO DE MATERIALES		
	DESPERDICIOS DIRECTOS		
MATERIALES	PROCESO	NEGLIGENCIA	USO PROVISIONAL
CONCRETO PREMEZCLADO	Residuos en tubería de bomba	Volumen pedido excedido	
		Derrames por movimientos bruscos de bomba	
		Mal nivelación y colocación de cimbra	
		Demolición de concreto por mala calidad	
ACERO	Mal planeación de cortes de varilla	Mal medición de cortes	Amarres y estacas de topografía

Fuente: Elaboración propia tomando como base experiencia de la empresa en diferentes obras.

También según experiencia propia de la empresa puede darse el caso en el proyecto que se presenten desperdicios indirectos, considerando los siguientes desperdicios que muestra la **Tabla 4**.

Tabla 4. Desperdicios indirectos de materiales esperados para construcción de losas de concreto en puente vehicular.

	DESPERDICIO DE MATERIALES		
	DESPERDICIOS INDIRECTOS		
MATERIALES	SUSTITUCIÓN	SUPERPRODUCCIÓN	ADICIONALES
CONCRETO PREMEZCLADO	Concreto con mayor resistencia de lo especificado.	Mayores dimensiones de elementos.	Muestras de laboratorio.
ACERO	Acero con especificaciones mayores de lo establecido en proyecto.	Corte de medidas superiores a lo establecido en proyecto	

Fuente: Elaboración propia tomando como base experiencia de la empresa en diferentes obras.

2.1.3.3 Costo de los desperdicios en proyecto

Existen varias formas de entender qué son los desperdicios y cuáles son los costos de estos dentro de un proyecto, para algunos es cualquier ineficiencia en la que se incurre en el uso de equipo, material, trabajo o capital.

Se refiere tanto al material perdido como a la ejecución de trabajo innecesario. Esto ocasiona costos adicionales y no agrega valor al producto.

En consecuencia, el fundamento del concepto de desperdicio está relacionado con el hecho de originar costos y no generar valor.

2.1.4 MANEJO DE LA INFORMACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Para que la información tenga algún impacto en la investigación y pueda contribuir a una buena toma de decisiones, se deben manejar cinco etapas importantes, según lo plantea Tramullas (1997) los cuales son: Solicitud de datos, captura de datos, recuperación y análisis, difusión de la información y evaluación de la eficiencia de la información.

2.1.4.1 Solicitud de datos

Al ejecutar esta, es necesario que el que lo solicita y el encargado de capturar los datos tengan el conocimiento básico sobre las siguientes preguntas:

¿Quién o quiénes llegarán a ser los interesados y clientes?, ¿Cuál es el objetivo que se persigue con dichos datos?, ¿Qué tan importante son esos datos para la investigación?, ¿Cuál es el porcentaje de precisión que se necesita para dichos datos?, ¿Cuáles son los recursos requeridos para una correcta toma de datos?, ¿Cuál es el tiempo que tarda en la obtención de los datos? y ¿Cuál es el tiempo de obsolescencia de los datos?

2.1.4.2 Captura de datos

De igual manera, se debe considerar en esta etapa lo siguiente:

- Las variables que pueden afectar la correcta captura de datos
- Como se puede lograr un mejor control de las variables que afectan la captura de datos.
- Que instrumentos de medición o criterios de observación se asignaron.
- Que metodología es usada para el almacenamiento de los datos.
- Cuáles son los errores que se presentan al momento de la captura

- Metodología para la corrección de errores.

2.1.4.3 Recuperación y análisis

Se precisa necesario definir un sistema de conteo de las veces que se llegaran a solicitar algún documento, así como quien lo solicita y en qué fecha fue solicitado. En cuanto al análisis:

- Se manejará y utilizará únicamente un análisis.
- Se definirán la periodicidad del análisis.
- Se definirán las herramientas para el análisis, así como las personas que pueden disponer de dicho análisis
- Las personas que hagan uso de las herramientas serán evaluadas para que estén capacitadas en su manejo.
- Se evaluará el tiempo necesario para el análisis y recuperación de dicha información.

2.1.4.4 Difusión de la información.

En la etapa de difusión se establecerá el medio de la distribución de la información, las personas que tendrán acceso a ellas y los tiempos que permanecerán vigentes dicha información, así como el responsable de la actividad de difusión.

2.1.4.5 Evaluación de la eficiencia de la información.

Para poder evaluar la eficiencia de la información, la podemos recabar mediante la teoría Esbelta que menciona que toda tarea realizada puede clasificarse como:

- Productiva (P), si esta tarea le agrega valor al producto o servicio

- Contributiva (C), si la tarea se necesita ejecutar ya que es el soporte para las actividades productivas, como por ejemplo el transporte de material, montaje de equipos, etc. pero estas tareas no le dan valor al producto o servicio.
- No Contributiva (NC), cuando la tarea o actividad no genera algún valor al proyecto o servicio. Por ejemplo, retrabajos, esperas por aprobaciones o materiales, descansos, etc.

2.1.5 PROCESO CONSTRUCTIVO

En términos de construcción, se le nombra proceso constructivo al conjunto de fases, sucesivas o solapadas en el tiempo, que son indispensables para la materialización de alguna infraestructura o trabajo a realizar. Si bien el proceso constructivo es muy particular para todas las obras, existen algunos pasos que se deben tomar en cuenta siempre. En el cual en este caso será:

- Colocación de cimbra sobre trabes para fondo de losa.
- Armado de varillas según especificaciones de proyecto.
- Colocación de barreras para delimitación de alturas.
- Vertido de concreto fresco.
- Nivelación y vibración de concreto
- Curado de concreto.
- Acabado final de concreto.

Precedente al proceso constructivo se deberá asignar a la obra un constructor, o a un grupo de personas, con todos los documentos necesarios para que al estar ejecutando dicho proceso constructivo no tengan dudas de cómo se está realizando y que es lo que se pide específicamente en ese proyecto, respecto a calidades, plazos y condiciones administrativas, así como contar con personal con experiencia para atender las dificultades que se pudieran llegar a prestar.

Es necesario plasmar por escrito cualquier relación contractual que tenga lugar durante un proceso constructivo, debido a que la actividad de la construcción es frecuentemente, una fuente de conflictos entre los diferentes agentes que intervienen.

3 METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN ESBELTA

3.1 METODOLOGÍAS

Hernández & Vizán, (2013) indican que la filosofía Esbelta define la forma de mejora y optimización de un sistema de producción focalizándose en identificar y eliminar todo tipo de “desperdicios”, definidos éstos como aquellos procesos o actividades que usan más recursos de los estrictamente necesarios. Identificando algunos tipos de “desperdicios” que se observan en la producción: sobreproducción, tiempo de espera, transporte, exceso de procesado, inventario, movimiento y defectos.

La filosofía Construcción Esbelta abarca un conjunto de técnicas que su principal objetivo es mejorar los procesos basándose en la reducción de todo tipo de desperdicios. La aplicación de la Construcción Esbelta en forma correcta conduce al éxito, aplicándose a diferentes ramas de la construcción, como se muestra en los siguientes casos de éxito.

La innovación puede reducir los plazos de obra estimados

1. Vía Célere ha estado realizando sus desarrollos basándose en la innovación. A lo largo de 10 años que la empresa se formalizo ha empezado a dar frutos gracias al cambio de gestión de la administración en el cual se implementa la filosofía Construcción Esbelta y diversas herramientas que ayudaron a conseguir un adelanto de cinco meses la entrega de su famoso proyecto Célere Villaverde, situada en el distrito madrileño de Villaverde Alto. Lo cual representa un ahorro muy fuerte en

el costo total del proyecto y una mejor satisfacción del cliente. (Via Celere 2021)

2. Edificio Gonsi Sócrates (Solange Cornejo 2020), Este edificio ubicado en Barcelona, España, implemento la filosofía Construcción Esbelta en conjunto con diversas herramientas que permitió generar una sinergia en construir edificios sostenibles sin aumentar los costes ni los plazos de ejecución, y ofrece otros beneficios a nivel social, medioambiental y económico, consiguiendo un retorno de la inversión sobre el valor inicial del 20% y aumento el nivel de bienestar en los entornos de trabajo, lo que repercute en un aumento de la productividad del 20%, al tiempo que reduce el absentismo en un 50%.
3. Edificio Murtua III, (Gomez J.P., Mendoza D. B. 2018). Este edificio ubicado en Lima, Perú. Gracias a la gestión de la construcción dada por la constructora, donde se focalizo en la implementación de la filosofía Construcción Esbelta se logró la reducción del plazo de entrega de la obra en 66 días laborales. Representando el 26% del tiempo proyecto. También se cuantifico el encofrado de elementos verticales, losas y vigas, lográndose optimizar en mano de obra un 24.68%.

3.1.1 Construcción Esbelta

Cabe resaltar que, en la implementación de la filosofía Esbelta, los retos y problemas que se pueden llegar a presentar son: falta de conocimiento de sus múltiples beneficios que esta aporta y por lo tanto su significado; falta de información; creencia de la necesidad de una gran inversión de tiempo lo cual llegaría la idea de que no les sería rentable, una baja comunicación al respecto; falta de colaboración entre promotores, constructores, clientes y consultores externos. También se puede llegar a presentar la dificultad para

hacer coincidir intereses de las diferentes partes, aplicación de normas y estándares, y un cambio de pensamiento y comportamiento que no todos aceptan (Pons J., 2014).

3.1.1.1 Fundamentos de la filosofía Esbelta

El término Esbelto es el nombre con el que se da a conocer en occidente al sistema de producción de Toyota. Su objetivo fundamental es la satisfacción del cliente, mediante la entrega de productos y servicios de calidad utilizando la cantidad mínima de materiales, equipamiento, espacio, trabajo y tiempo.

Esta filosofía conduce a una visión integrada de la cultura y la estrategia para atender al cliente final produciendo exactamente lo que quiere, cuando lo quiere a un costo mínimo y justo. “Es una nueva forma de ver la producción, no un modelo o unos pasos establecidos que se deban seguir; lo que se pretende es entender sus principios y aplicarlos en la creación y uso de herramientas “Esbelto” para la gestión de los proyectos constructivos, en donde las herramientas son la aplicación de los principios teóricos a la práctica profesional” (Porrás Díaz et al., 2014).

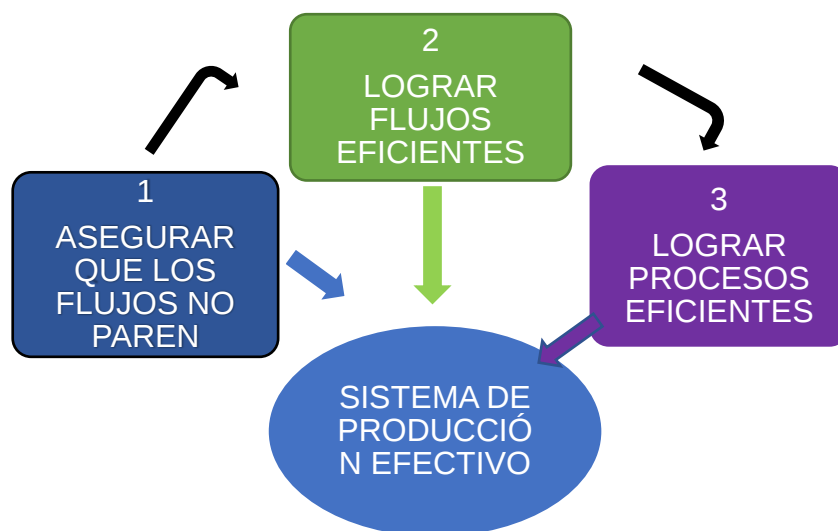
Los fundamentos centrales del modelo según la Escuela de negocios de la universidad de Barcelona (OBS) son:

1. Aportar valor a los clientes: El termino Esbelto aspira a elaborar un producto que resuelva plenamente las necesidades de los consumidores; la idea es proporcionarle lo que quiere, como lo quiere y en el momento exacto en que lo demande.

2. Desarrollar proyectos flexibles: Como la idea es ofrecer soluciones a los consumidores en cualquier momento, la gestión debe ser necesariamente flexible y adaptarse a cada contexto y situación.

3. Eliminar el despilfarro: El termino Esbelto no tolera las funciones duplicadas, la burocracia y el despilfarro durante las fases de ejecución de un proyecto. Todo aquello que de una u otra forma no pueda apreciar el cliente debe desaparecer, logrando un sistema de producción efectivo como lo muestra la **Figura 6**.

Figura 6. Sistema de Producción Efectivo.



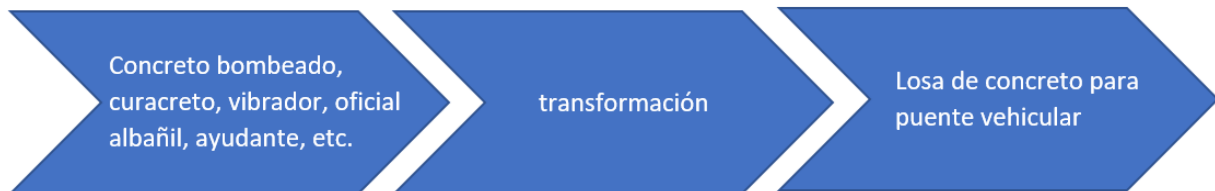
Fuente: Elaboración propia con base en las Herramientas Construcción Esbelta -mejoramiento de la productividad de César Guzmán Marquina (2018)

3.1.1.2 Beneficios de la implementación de la filosofía Esbelta

En la revista de arquitectura e ingeniería (Martínez et al., 2019) afirman que la construcción tradicional se caracteriza por su escasa formación en

nuevos sistemas de gestión, teniendo un bajo control de calidad, con pocas medidas de seguridad, errores en los proyectos, poco interés por la capacitación del factor humano, poca coordinación entre las diferentes empresas o partes involucradas y en diversos aspectos que envuelven al proyecto en baja productividad y desperdicios muy altos. Teniendo como ejemplo el modelo de producción tradicional empleado comúnmente en la construcción de losas que se muestra en la **Figura 7**.

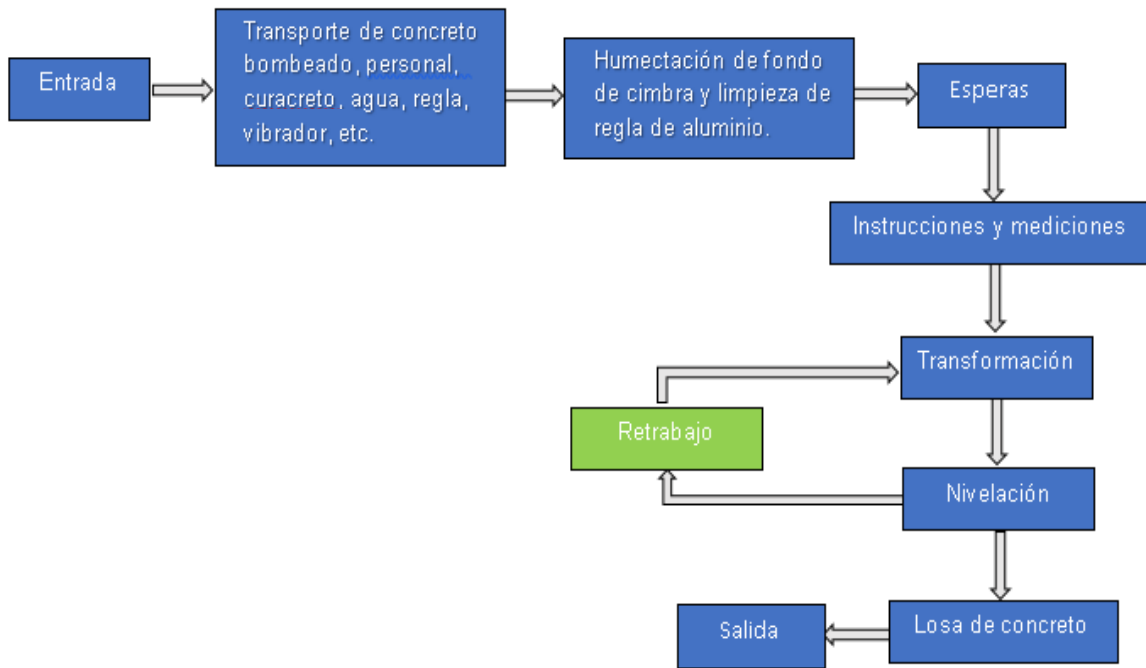
Figura 7. Modelo de producción tradicional.



Fuente: Elaboración propia tomando como base información del proyecto en losas para puente vehicular en San Luis Potosí.

Las diferencias entre la filosofía tradicional y la filosofía de la Construcción Esbelta es que la filosofía Esbelta se basa en encontrar los diversos factores que influyen a la existencia de pérdidas, para así generar un plan que logre eliminar aspectos que no generan valor y que generan las pérdidas, consumiendo tiempo, recursos, costos y espacio las cuales se necesita ser revisadas y estudiadas. (Villamizar Roa & Ortiz Contreras, 2016). Teniendo como ejemplo el modelo de producción esperado implementando la filosofía Esbelta en la construcción de losas como se muestra en la **Figura 8**.

Figura 8. Modelo de producción aplicando la filosofía Esbelta



Fuente: Elaboración propia tomando como base Buleje, K.E, (2012)

A continuación, se muestra la **Tabla 5**, con las principales diferencias que se encuentran al comparar la filosofía tradicional contra a filosofía Esbelta

Tabla 5. Filosofía tradicional vs. Filosofía Esbelta.

Filosofía tradicional	Filosofía Esbelta
Largos tiempo de entrega	Tiempos de entrega rápidos
El enfoque departamental es la auto-optimización	Enfoque en crear material y flujo de información
La dirección espera que el sistema corra por si solo (sin parar)	Esfuerzo en promover el crecimiento del sistema
Altos costos de inventario	Énfasis en eliminar desperdicios en todo el proceso
Programa de empujar	Producción o jalón del cliente
Tamaño de lotes grandes	Tamaño de lotes pequeños
Desperdicios ocultos	Desperdicios visibles
Cuellos de botella	Flujo nivelado

Fuente: Elaboración propia tomando como base Buleje, K.E, (2012)

3.1.1.3 Logística desde la dirección de la construcción

La logística de la dirección de la construcción es desarrollada por las empresas constructoras con el fin de suministrar en las mejores condiciones los recursos necesarios para la ejecución de sus proyectos.

Por otro lado, Francisco Ferreira (2019) lo define como el desarrollo de actividades multidisciplinarias aplicadas a una determinada obra buscando garantizar el abastecimiento, almacenamiento, procesamiento y disponibilidad de los recursos materiales y servicios en las zonas de trabajo, así como, el dimensionamiento de los equipos de producción con el fin de hacer eficiente los procesos productivos. Estas actividades se dan a través del planeamiento, organización, dirección y control, teniendo como principal soporte los flujos de información y financiero.

3.1.1.4 Evaluación de la planificación de actividades con la herramienta sistema de último planificador (SUP).

La evaluación comienza con la planificación: ante la detección de un problema o necesidad se elabora un diagnóstico y se diseña una intervención, definiendo objetivos, instrumentos y actividades, así como quién, cómo y cuándo se ejecutan. Al mismo tiempo, debe diseñarse el sistema de seguimiento y evaluación, para así tener un mejor control sobre el mismo ya que, sea el tipo de planificación que se maneje, ésta va a recaer sobre los recursos (Cruz-Machado & Rosa, 2007).

Evaluar una actividad es tratar de saber si la actividad cumplió o no los objetivos que se fijaron antes de realizarla.

La evaluación cumple, de esta forma, tres funciones principales:

- Control. La evaluación permite medir los resultados obtenidos con las acciones ejecutadas para conducir la toma de decisiones.
- Aprendizaje. La evaluación permite que los evaluados aumenten su conocimiento sobre los aspectos conceptuales y prácticos que inciden en el fenómeno en el que se desea influir, y sobre cómo mejorar la ejecución y gestión de una actuación.
- Intervención. La evaluación orienta la actuación de los evaluados y de la población objetivo, pues, al establecer parámetros de medición y valoración, influye en su comportamiento

El sistema de último planificador pretende incrementar la fiabilidad de la planificación y, por tanto, incrementar el desempeño. Para ello, el sistema provee herramientas de planificación y control efectivas aún en proyectos complejos, inciertos y rápidos. En este tipo de proyectos a menudo se argumenta que es

“imposible” o una “pérdida de tiempo” planificar con los sistemas tradicionales debido a la gran incertidumbre que presentan y a la rapidez con que cambian las condiciones que los rodean. El SUP está especialmente diseñado para mejorar el control de la incertidumbre en los proyectos, aumentando la confiabilidad de los planes. Este incremento de la confiabilidad se realiza llevando a cabo acciones en diferentes niveles del sistema de planificación (Alarcón & Pellicer, 2009).

3.1.1.5 Operacionalización de hipótesis

El fundamento de la Operacionalización de las hipótesis estriba en que la hipótesis en sí está formada por conceptos de un nivel elevado de abstracción (está muy alejada de la realidad), por lo que es necesario realizar la operación mental que traduzca los conceptos más abstractos (variables) en conceptos más concretos (indicadores), del nivel observacional.

Se trata de desglosar las hipótesis a través de un proceso de deducción lógica, en sus componentes referenciales intermedios y empíricos del fenómeno a estudiar.

3.1.2 Metodología Justo a Tiempo

La metodología Justo a tiempo se define como producir lo necesario para cumplir la meta. Esto es producir la cantidad necesaria con el recurso mínimo, en el tiempo mínimo y en el último momento. Como lo afirma Caldentey (2007), que el Justo a Tiempo es una filosofía que define la forma en que debería optimizarse un sistema de producción de manera que las materias o componentes que se necesitan lleguen a la línea de producción “Justo a Tiempo”, es decir en el momento oportuno y en la cantidad necesaria. Requiere producir sólo la cantidad exacta, en la calidad requerida, en el momento preciso y al más bajo costo.

Existen principios fundamentales que Rodríguez (2013) menciona, los cuales son:

- Atacar los Problemas Fundamentales. Este principio se logra contando con un equipo de trabajo de calidad y proactivo, incluyendo la maquinaria en buen estado, así como contar con la herramienta o materiales necesarios.
- Simplicidad. Este principio se logra evitando contar con sistemas de control complejos. El método principal consiste en agrupar los elementos en familias, utilizando las ideas que hay detrás de la tecnología de grupos y reorganizando los procesos de modo que cada elemento corresponda a dicha familia.
- Establecer sistemas para identificar problemas. Identificar y atacar los problemas, no ocultarlos.
- Coste / Beneficio de la Aplicación del Justo a Tiempo. Se cumple ese principio cuando es factible implementar la metodología en el proyecto. Logrando este principio mediante una reorientación de las personas respecto a sus tareas y mejorando la calidad y el servicio al cliente.
- Relación Proveedor-Cliente. aumenta la calidad del producto.
- Vínculos con los Proveedores. Es necesario un alto nivel de calidad, reducción de las cantidades de los pedidos, tiempos del ciclo más cortos y fiables.
- Vínculos con los Clientes. Es necesario la vinculación de toda la actividad de producción con la demanda real.

3.1.3 Metodología Kanban

Orellana (2010), afirma que el sistema Kanban es considerado también como el “Método de Supermercado” ya que se tomó la idea de los supermercados

que usaban las tarjetas de control que contenían información importante como el nombre del producto y su ubicación en almacén. Ya que en un supermercado se debe contar en existencia el producto que el cliente necesita, cuando el cliente la necesite y en la cantidad que el cliente necesite. Toyota fue la primera empresa manufacturera en usar este concepto, Taiichi Ohno, fue quien promovió la idea de Justo a Tiempo y aplicó el concepto de Kanban (etiquetas de inserción).

Kanban es una metodología que al trabajar en conjunto con la metodología Justo a Tiempo logra que se realice el abastecimiento de suministros de manera más rápida, con una calendarización de producción mediante etiquetas, una mejor organización y un mejor flujo de producción.

Para que la metodología funcione se deben tener en cuenta las siguientes reglas: Orellana (2010)

1. No se debe mandar ningún producto defectuoso a los procesos subsecuentes.
2. Los procesos subsecuentes requerirán solo lo que es necesario.
3. Producir solamente la cantidad exacta requerida por el proceso subsecuente.
4. Balancear la producción.
5. Kanban es un medio para evitar especulaciones.
6. Estabilizar y racionalizar los procesos

3.1.3.1 Tipos de Kanban

Rodríguez (2013), afirma que existen cuatro tipos de etiquetas de inserción de acuerdo con el uso que se le va a dar, a continuación, se detalla cada uno de ellos:

- Kanban de retirada: en este tipo de etiquetas de inserción como lo muestra la **Figura 9** se menciona la clase y la cantidad de producto que un proceso debe retirar del proceso anterior.

Figura 9. Ejemplo de Kanban de retirada.

Anaqueil de almacen n°		SE215		Código de la pieza n°		A2-15		Proceso anterior	
Pieza n°		35670507		Proceso posterior		FORJA		B-2	
Nombre de la pieza		PIÑÓN IMPULSOR		Proceso posterior		MECANIZACIÓN		M-6	
Tipo del automóvil		SXS0BC							
Capacidad de la caja	Tipo de caja	Número emitido							
20	B	4/8							

Fuente: Monden, (1996) citado por Rodríguez (2013)

- Kanban de producción: en este tipo de etiquetas de inserción como lo muestra la **Figura 10** se menciona la clase y cantidad de producto que un proceso debe producir.

Figura 10. Ejemplo de Kanban de producción.

Anaqueil de almacen n°		F26-18		Código de la pieza n°		A5-34		Proceso	
Pieza n°		56790-321		Proceso		MECANIZACIÓN		SB-8	
Nombre de la pieza		CIGÜENAL							
Tipo de automóvil		SXS0BC-150							

Fuente: Monden, (1996) citado por Rodríguez (2013)

- Kanban de proveedor: contiene instrucciones en las que se pide al proveedor subcontratado que entrega las piezas.
- Kanban señalador / Kanban de material: Se coloca la etiqueta de inserción señalador en ciertas posiciones en las áreas de almacenaje, y especificando la producción del lote, la etiqueta de inserción señalador funcionará de la misma manera que una etiqueta de inserción de producción.

4 IMPLEMENTACIÓN DE LA FILOSOFÍA CONSTRUCCIÓN ESBELTA EN LOSAS DE UN PUENTE VEHICULAR EN SAN LUIS POTOSÍ

4.1 ESTUDIO DE CASO

De acuerdo con Bell (2005) la metodología de estudio de caso brinda la oportunidad de estudiar a profundidad una parte de cierto problema con un tiempo que generalmente es limitado.

Stake (1998) menciona tres estudios de casos diferentes:

- **Intrínseco:** es denominado así porque interesa conocer algo en particular que en sí es relevante, o bien, porque existe una necesidad expresa de llevar a cabo el estudio. Es decir, obtendremos información directa de su aplicación por eso se desea realizarlo, no porque contribuye a la comprensión de otros casos o de alguna problemática en general.
- **Instrumental:** Con este tipo de caso de estudio se lleva a indagar en una cuestión más general. Sirve para entender una problemática más general y aportar elementos para el análisis de diferentes sistemas
- **Colectivo:** Se enfoca en el estudio simultáneo de varios casos con la misma problemática o situación, pero en diversas personas, familias, empresas, o cualquier otro sujeto de estudio. La intención aquí es utilizar cada caso como un instrumento para conocer la situación en su conjunto, sobre un mismo aspecto.

En el presente proyecto se utilizará el tipo de estudio de caso instrumental, debido a que se espera que el proyecto tenga influencia y se tomen los elementos de dicho estudio para enriquecer y aplicar dichas herramientas como base.

4.2 HIPÓTESIS

El uso de la herramienta Kanban y Justo a tiempo en conjunto con la filosofía Construcción Esbelta ayudara a la reducción de los desperdicios significativamente en la construcción de losas para el proyecto de puente vehicular en San Luis Potosí.

4.3 MARCO METODOLÓGICO

La función del apartado tiene la intención de precisar los aspectos metodológicos centrales de la investigación, cuyo fin primordial es describir la metodología que se empleó para el desarrollo del estudio y los detalles metodológicos que se derivan de éste, tales como: nivel de la investigación, diseño de la investigación, población y muestra, diseño experimental, así como las técnicas e instrumentos para la recolección de datos y en último lugar, las técnicas de procesamiento y análisis de datos.

De manera que el investigador puede estudiar un fenómeno real y específico mediante la formulación de la metodología que conlleva a la generación de “una serie de conclusiones respecto de [...] las hipótesis” (Hernández, Fernández y Baptista, 2014) generando un diagrama de flujo basado en los objetivos de la presente investigación.

4.3.1 Nivel de la investigación

La investigación explicativa es aquel tipo de estudio que explora la relación causal, es decir, no solo busca describir o acercarse al problema objeto de investigación, sino que prueba encontrar las causas del mismo. (Investigación Explicativa, Características y ejemplos, Octubre 2021).

El presente trabajo es de un tipo de investigación explicativa ya que responde a las causas por las cuales se presentan más desperdicios o déficit en la productividad de los procesos.

4.3.2 Diseño de investigación

El trabajo se puede clasificar como un diseño de investigación de campo, ya que en el presente estudio se obtendrá la información directamente en sitio, a través de observación directa con el fin de analizar y determinar las causas por las cuales se generan los desperdicios.

Según el autor (Santa Palella y Feliberto Martins (2010)), la Investigación de campo se define como la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar las variables.

4.3.3 Población y muestra

La población o universo es el conjunto de los casos que concuerdan con determinadas especificaciones (Hernández, et al, 2006). La muestra es un subgrupo de la población en el que todos los elementos de ésta tienen la misma posibilidad de ser elegidos. En las muestras no probabilísticas dependen del proceso de toma de decisiones de una persona o de un grupo de personas y las muestras seleccionadas cumplen con los criterios de investigación. Por otro lado, en la muestra no probabilística, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o de quien establece la muestra (Hernández, Fernández, & Baptista, 2006).

Para el presente trabajo de investigación se considera una población finita debido a que está bien definida, y se conoce el número de individuos que la componen. La muestra se considera de tipo no probabilístico, intencional o

dirigido, ya que el procedimiento depende de la toma de decisiones en el cual se incluye al personal que contribuyen a la construcción de losas. Por lo que la muestra es la misma que la población, los cuales se encuentran definidos como:

1. Grupo Experimental: Personas las cuales se diseñará una propuesta metodológica de trabajo distinta a la tradicional, siguiendo los aspectos principales de la construcción esbelta los cuales se muestran en la **Tabla 6**.

Tabla 6. Grupo experimental que contribuyen a la actividad de construcción de losas.

Cantidad	Personal	Actividad
1	Residente de obra	Representante de empresa constructora
1	Cuadrilla de topografía	Nivelación y ubicación de elementos
1	Laboratorio de materiales	Control de calidad de materiales
1	Concretera	Suministro de concreto

Fuente: Elaboración propia tomando como base las personas que contribuyen en la actividad de construcción de losas previas en dicho proyecto.

2. Grupo de Control: Personas que están involucradas directamente en la construcción de losas, pero no se modificará su forma de trabajo, solo se observará su rendimiento con base en el cambio de metodología propuesto en el grupo experimental, los cuales se muestran en la **Tabla 7**.

Tabla 7. Grupo de control que contribuyen a la actividad de construcción de losas.

Cantidad	Personal	Actividad
1	Capataz	Control de actividades de grupo control
2	Jefes de cuadrilla	Colado de losas
6	Peones	Colado de losas

Fuente: Elaboración propia tomando como base las personas que contribuyen a la actividad de construcción de losas previas en dicho proyecto.

4.3.4 Diseño experimental

El diseño de investigación del presente trabajo es experimental, debido a que al realizar el diagnóstico de los desperdicios presentes en la construcción de losas para puente vehicular objeto de estudio, se propondrá una nueva metodología que al ponerla en práctica permitirá la disminución de dichos desperdicios

4.3.5 Técnica e instrumento de recolección de datos.

La recolección de datos para la obtención de información en la fase de construcción de losa para puente vehicular fue a través de la observación (Hernández Sampieri, et al., 2014). Adicionalmente, la prueba de 5 minutos permite una cuantificación de las pérdidas de las actividades de construcción, en la cual básicamente se clasifica el tiempo empleado por el trabajador en cada actividad durante un periodo de 5 minutos.

Clasificando los tiempos con base en la teoría Esbelta, (Álvarez, 2007):

1. Tiempo productivo: si ella agrega valor al producto o servicio ofrecido al cliente.
2. Tiempo contributivo: si es necesario realizar la tarea porque sirve de soporte a las actividades productivas tales como mediciones, transporte de materiales, montaje de equipos, pero ellas no dan valor agregado al producto o servicio.
3. Tiempo no contributivo: si la acción que se ejecuta no da valor agregado y tampoco es una tarea de soporte, por ejemplo, esperas por material o por aprobaciones, descansos, reprocesos, etc.

Al realizar las pruebas de 5 minutos podríamos identificar los tiempos productivos, los tiempos contributivos y los tiempos no contributivos, los cuales se analizarán y tabularán los resultados mediante un diagrama de Pareto.

Por lo cual la investigación en estudio utilizará la observación como técnica de recolección de datos apoyándose como instrumento la prueba de 5 minutos presentada en la **Tabla 8**. Para que la prueba de 5 minutos sea más confiable se deben tomar varias mediciones para calcular los promedios y desviaciones estándar, ya que a medida que se tome una mayor cantidad de mediciones, las estadísticas reflejarán con mayor fiabilidad la situación real de la actividad de construcción. Se recomienda tomar mínimo 50 mediciones distribuidas durante el horario laboral, para iniciar el proceso de análisis de la información (Lean Construction Enterprise [LCE] s.f.).

Tabla 8. Prueba de 5 minutos.

Fecha:	Hora:	
Actividad:	Oficio:	
Tiempo productivo		Observación:
Tiempo contributivo		Observación:
Tiempo no contributivo		Observación:
Comentarios:		

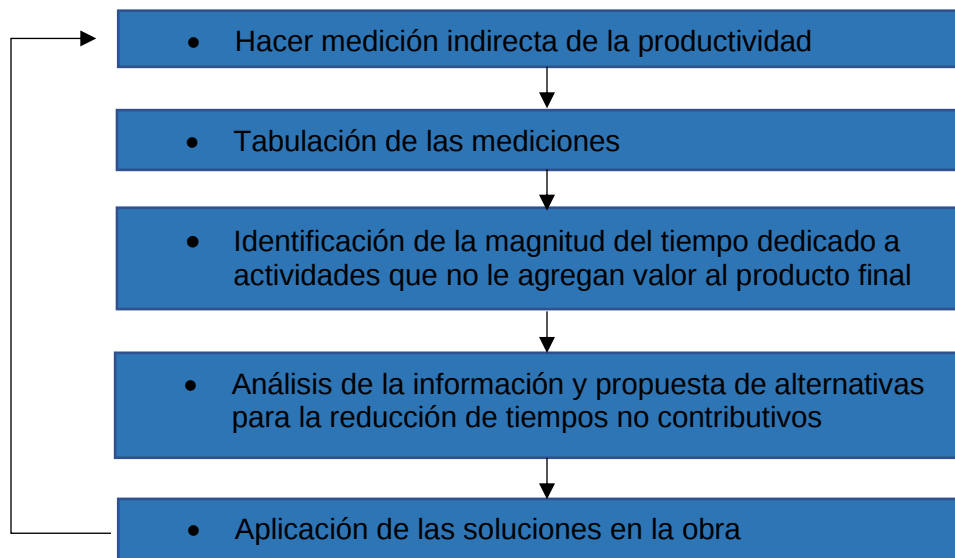
Fuente: Elaboración propia tomando como base Granados Morales, A. (2012)

4.3.6 Técnicas e instrumento para el procesamiento y análisis de datos

Para poder implementar las herramientas de la filosofía Esbelta en los procesos, es necesario hacer un diagnóstico detallado de la situación actual tanto del proyecto como del proceso aplicado, ya que esa información servirá de base para la mejora continua, la cual forma parte esencial en la Construcción Esbelta.

A continuación, se describen los pasos para la correcta implementación de la Construcción Esbelta en la **Figura 11** según una 1empresa líder en el ramo de construcción esbelta.

Figura 11. Implementación de la filosofía Construcción Esbelta - Plan para medición de pérdidas.



Fuente: Elaboración propia con base a la información obtenida por empresa líder en el ramo de construcción esbelta.

Paso 1: Hacer un diagnóstico de la productividad de las actividades de construcción de la obra. En este paso se cuantifica el tiempo que agrega valor a la actividad de construcción y el tiempo dedicado a pérdidas. Esta medición puede realizarse mediante la “prueba de 5 minutos”, la cual permite una cuantificación de las pérdidas de las actividades de construcción, en esta prueba se busca identificar los tiempos productivos (aquellos que le agregan valor a la actividad), tiempos contributivos (contribuyen a que se agregue valor) y no contributivos (pérdidas) que hay en las actividades de un trabajador.

Paso 2: La información obtenida en el paso 1 se debe registrar y tabular. A partir de esta tabulación se obtienen estadísticas sobre las pérdidas en los procesos constructivos apoyándose en un diagrama de Pareto, el cual “es una gráfica en donde se organizan diversas clasificaciones de datos por orden descendente, de izquierda a derecha por medio de barras sencillas después de haber reunido los datos para calificar las causas.” (Sales, 2012).

Paso 3: Identificar la magnitud de las pérdidas. Mediante el diagrama de Pareto se pueden detectar los problemas que tienen más relevancia mediante la aplicación del principio. (Sales, 2012).

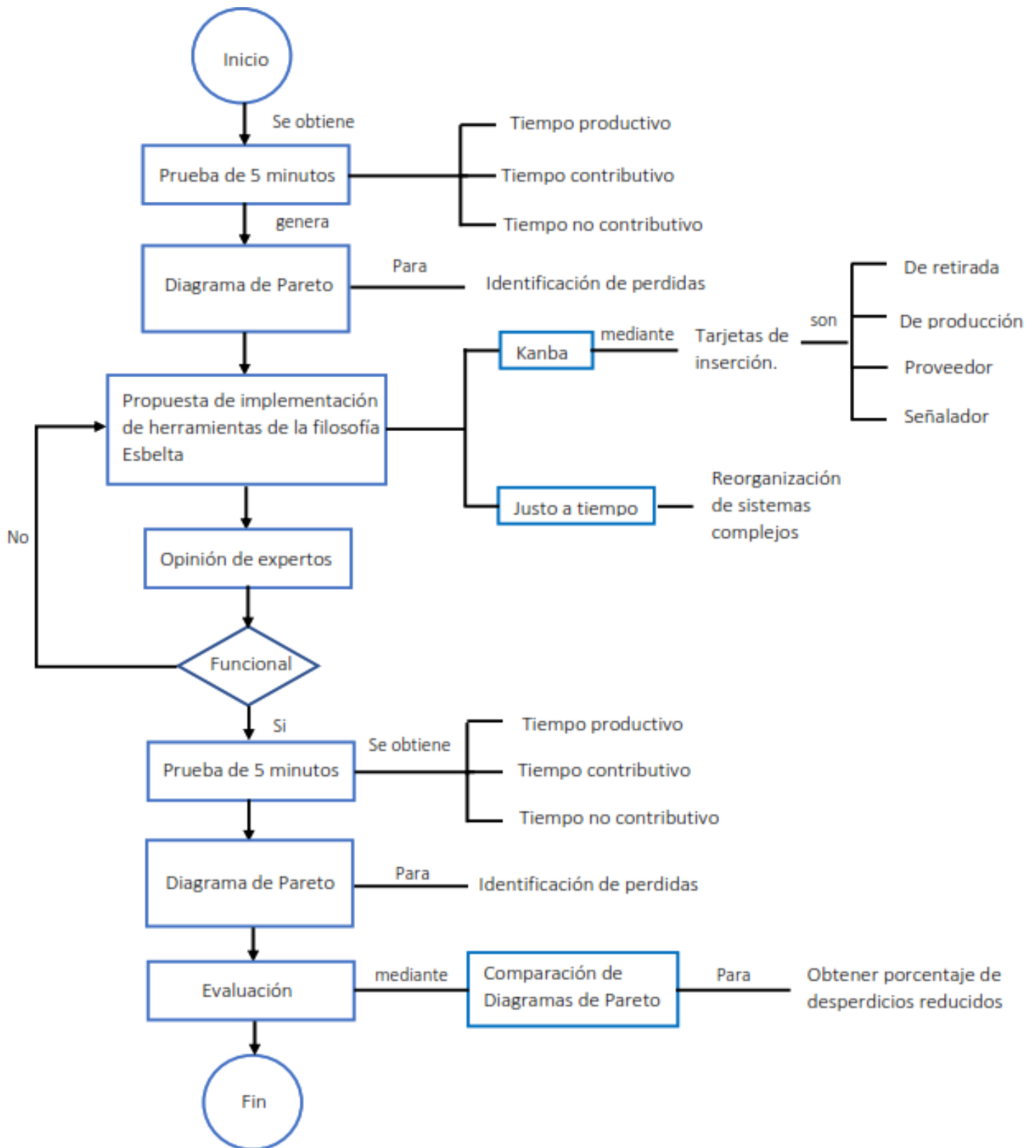
Paso 4: Analizar la información y estadísticas obtenidas. En este paso se reúne el equipo de planeación de la obra y se determinan las estrategias para reducir las pérdidas en las actividades de construcción mediante lecciones aprendidas por parte de los colaboradores.

Paso 5: Las estrategias que se determinaron en el paso anterior se aplican directamente en la obra. Una vez aplicadas las mejoras se debe realizar de nuevo mediciones para establecer la efectividad de las estrategias. A continuación, se debe iniciar de nuevo el paso 1 hasta obtener una eliminación más completa de las pérdidas.

4.3.7 Diagrama de flujo

El diagrama de flujo es una representación gráfica que desglosa un proceso en cualquier tipo de actividad a desarrollarse (Manene, 2011), por lo cual en el presente trabajo de investigación se presenta el diagrama de flujo propuesto que se encuentra elaborado con base en los objetivos de dicha investigación. En el presente trabajo el diagrama de flujo está representado en la **Figura 12**.

Figura 12. Diagrama de flujo propuesto.



Fuente: Elaboración propia

4.3.8 Implementación de herramientas en la filosofía Esbelta.

El objetivo de la filosofía Esbelta en el presente trabajo es para lograr identificar el porcentaje de desperdicio que se genera en el proyecto de la construcción de losas para puente vehicular en San Luis Potosí, el cual se nombra como “perdida” debido a que no genera ningún valor en el proyecto y posteriormente proponer una metodología con base a la filosofía Esbelta que ayude a reducir los desperdicios.

De acuerdo con Bell (2005) los estudios de caso brindan la oportunidad de estudiar a profundidad una parte de cierto problema con un tiempo que generalmente es limitado.

4.3.8.1 Prueba de 5 minutos

La prueba de los cinco minutos permite identificar las pérdidas de cada una de las actividades observadas identificando los tiempos que tienen las actividades de la construcción. Estos son: tiempos productivos, tiempos contributivos y los tiempos no contributivos, siendo estos últimos las pérdidas.

Siendo el objetivo principal tomar durante un periodo de cinco minutos los tiempos productivos, contributivos y no contributivos del trabajador en las actividades. A continuación, se detalla el proceso de la prueba de los cinco minutos:

Antes de la prueba

1. Se deberá contar un cronometro, el formato de la prueba y una persona el cual hará la medición.
2. Determinar la actividad o actividades que se desean observar.

3. Determinar en cada actividad los tiempos que se deberán considerar como productivas, contributivos y no contributivos. Siempre con una persona que conozca los procesos constructivos de la actividad.

Durante la prueba

1. Dirigirse al sitio donde se realizará la actividad que se desea observar.
2. Realizar la medición durante los cinco minutos en donde se deberá registrar cada tiempo productivo, contributivo y no contributivo en el formato asignado.
3. Se deberá hacer anotaciones de aspectos cualitativos que se observen en las mediciones, como podría ser el clima, la hora y/o eventos especiales que se observen durante la prueba de los 5 minutos.

Después de la prueba

1. Los formatos levantados en campo se deberán registrar en Excel, los cuales se agruparán por oficio, el cual representa el personal.
2. Se separarán en la hoja de cálculo Excel cada una de las actividades observadas.
3. Una vez teniendo el número de mediciones propuesto, que en este caso se recomiendan 50 mediciones (Lean Construction Enterprise [LCE] s.f.). Se deberá obtener el promedio de cada tiempo, siendo un promedio en el tiempo productivo, un promedio para el tiempo contributivo y un promedio para el tiempo no contributivo.

4. Los promedios se pueden obtener por periodos de tiempo, como puede ser por semana, mes, trimestre, etc. Siempre y cuando sea para un tamaño de muestra considerable.

4.3.8.2 Clasificación de tiempos en construcción de losas para puente vehicular

La clasificación de tiempos fue determinada con base en juicio de expertos, ya que los expertos son consultados tanto para obtener información relevante para el desarrollo del modelo como para la validación (Nesensohn, 2014). el cual representa la gente a cargo de dicha obra por parte de la empresa supervisora. En el cual se clasificaron las actividades en tiempos productivos (TP), tiempos contributivos (TC) y tiempos no contributivos (TNC), presentados en la **Tabla 9** como a continuación se presenta.

Tabla 9. Clasificación de tiempos por actividades.

Clasificación	Código	Actividad
TP	T.P.1	Tirando concreto
	T.P.2	Vibrando concreto
	T.P.3	Aplanando concreto
	T.P.4	Curando concreto
	T.P.5	Otros
TC	T.C.1	Instrucciones
	T.C.2	Transporte de elementos
	T.C.3	Lectura de planos y mediciones
	T.C.4	Limpieza
	T.C.5	Muestreo de concreto
	T.C.6	Otros
TNC	T.N.C.1	Esperas
	T.N.C.2	Descanso
	T.N.C.3	Trabajos rehechos
	T.N.C.4	Necesidades fisiológicas
	T.N.C.5	Tiempo ocio
	T.N.C.6	Falta de material
	T.N.C.7	Otros

Fuente: Elaboración propia según juicio de expertos.

4.3.8.3 Análisis e interpretación de resultados

Se analizará los resúmenes generales de actividades en base a el promedio de los tiempos de las muestras obtenidas, teniendo así el promedio de tiempo dedicado a cada clasificación de tiempo como lo muestra en la **Tabla 10**, el cual da el panorama más amplio de la situación actual de los tiempos dedicados en la construcción de losas para el puente vehicular.

Tabla 10. Resumen de promedios para clasificación de tiempos por personal.

Personal	Descripción	Numero de muestra				Promedio
		M-1	M-2	M-3	M-X	
	Tiempo productivo (TP)	%	%	%	%	%
	Tiempo contributivo (TC)	%	%	%	%	%
	Tiempo no contributivo (TNC)	%	%	%	%	%

Fuente: Elaboración propia

Los tiempos obtenidos en la prueba de 5 minutos por actividad y por muestra generará un resumen general en el cual se presenta el porcentaje que representa en la construcción de losas cada actividad como lo muestra la **Tabla 11**, se presentaran solamente los formatos ya que aún no se cuenta con las 50 pruebas de los cinco minutos que son necesarias para un análisis de información confiable.

Tabla 11. Resumen general de actividad (Elaboración propia tomando como base los resultados de la prueba de cinco minutos).

Código	Actividad	Clasificación	Total	Porcentaje
T.P.1	Tirando concreto	TP		
T.P.2	Vibrando concreto	TP		
T.P.3	Aplanando concreto	TP		
T.P.4	Curando concreto	TP		
T.P.5	Otros	TP		
T.C.1	Instrucciones	TC		
T.C.2	Transporte de elementos	TC		
T.C.3	Lectura de planos y mediciones	TC		
T.C.4	Limpieza	TC		
T.C.5	Muestreo de concreto	TC		
T.C.6	Otros	TC		
T.N.C.1	Esperas	TNC		
T.N.C.2	Descanso	TNC		
T.N.C.3	Trabajos rehechos	TNC		
T.N.C.4	Necesidades fisiológicas	TNC		
T.N.C.5	Tiempo ocio	TNC		
T.N.C.6	Falta de material	TNC		
T.N.C.7	Otros	TNC		
				100%

Fuente: Elaboración propia

4.3.8.4 Evaluación de los tiempos productivos, contributivos y no contributivos.

De los datos obtenidos en el resumen de promedios por clasificación de tiempos de la construcción de losas para puente vehicular se mostrarán los resultados, como lo muestra la **Tabla 12**, en el cual se hará una comparación según las estadísticas de productividad de Virgilio Ghio (2001) en donde se menciona la productividad en obras de construcción.

Virgilio Ghio (2001) menciona como porcentaje óptimo en la clasificación de tiempo el 60% del tiempo productivo, el 25% en tiempo contributivo y 15% en tiempo no contributivo.

Tabla 12. Comparación de la clasificación de tiempos

Tipo de trabajo	Porcentaje actual	Porcentaje optimo
Tiempo productivo (TP)	%	60%
Tiempo contributivo (TC)	%	25%
Tiempo no contributivo (TNC)	%	15%

Fuente: Elaboración propia

- 4.3.8.5 Evaluación de las actividades con diagrama de Pareto.

Para poder analizar e identificar lo que causa un alto porcentaje en tiempos no contributivos o contributivos se elaborará un diagrama de Pareto, el cual representará las actividades según cada tipo de clasificación de tiempo, y así poder plantear las posibles soluciones para la reducción de los tiempos en las actividades que no generan valor como es el caso de los tiempos no contributivos y que se puede buscar reducir como es el caso de los contributivos. Así como un detalle más profundo de lo observado según el diagrama de Pareto.

4.3.8.6 Implementación de herramientas para lograr la reducción de desperdicios.

En función a lo obtenido en el diagrama de Pareto, así como lo observado en dicho análisis de la clasificación de tiempos presentes actualmente en la construcción de losas para puente vehicular en San Luis Potosí, se hará una aplicación de la herramienta Justo a Tiempo, la cual consistirá en la aplicación

de los principios que Rodríguez (2013) menciona, los cuales consistirán en las siguientes fases:

- Atacar primeramente los problemas fundamentales, identificados en el diagrama de Pareto.
- Reordenar el sistema para volverlo más simple. En esta fase se identificarán los procesos y los elementos presentes en la actividad por familias de los problemas prioritarios. También se implementará la herramienta Kanban la cual permitirá tomando como referencia las etiquetas de inserción realizar una hoja de los entregables de cada proceso en las actividades identificadas como problemas fundamentales, generando cualquier de los tipos de Kanban que se necesite para un correcto entendimiento de los entregables y de sus condiciones. Los cuales se generará una mejor administración de los elementos para requerir a ellos de una manera más sencilla.
- Vínculos con los Proveedores. Se les pedirá a los proveedores de las actividades que son los problemas fundamentales en caso de aplicar, que cuenten con certificados de calidad en caso de que aplique de sus equipos de trabajo y materiales. Para evitar sobrecostos en pruebas de calidad en obra y retrabajos, así como un ciclo de trabajo más cortos y más precisos.
- Vínculos con los Clientes. En esta fase se tendrá más comunicación con la empresa cliente para poder cumplir con los criterios de aceptación del cliente, los cuales son: cumplir con los criterios de calidad presentados en los anexos, cumplir con la fecha de término de obra y no exceder el presupuesto destinado a la realización de esta. Teniendo en esta fase como resultado una programación de obra precisa y no generar más de lo necesario para cumplir con sus criterios de aceptación.

4.4 RESULTADOS

El nivel general de actividades en la obra nos proporciona una estadística de trabajo general según la división de trabajo que se realizó, se obtuvo siguiendo la clasificación de tiempos de la teoría Esbelta, (Álvarez, 2007), siendo Trabajo productivo (TP), Trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC), para la construcción de losas de concreto dentro del proyecto de “Puente vehicular en San Luis Potosí, S.L.P.”, según el procedimiento descrito anteriormente.

Para lograr una comparativa y hacer un análisis de los efectos de la aplicación de la filosofía Esbelta se procedió a obtener el nivel general de actividades antes de la aplicación de la filosofía y después de la aplicación, teniendo los siguientes resultados.

4.4.1 Filosofía tradicional

4.4.1.1 Datos generales de mediciones.

En la prueba de 5 minutos identificamos los tiempos productivos, tiempos contributivos y los tiempos no contributivos, se tomaron varias mediciones para calcular los promedios y reflejar una mayor fiabilidad en la situación real de la actividad de construcción de losas por personal como lo muestra la **Tabla 13**. Tomándose como mínimo 50 pruebas dicha actividad recomendada por la asociación “Lean Construction Enterprise”, desechando las mediciones que podrían generar distorsión en la fiabilidad de los datos, los cuales fueron realizados por personal con experiencia en la realización de las actividades.

Tabla 13. Resumen general de prueba de 5 minutos

Personal	Descripción	Numero de muestra				Promedio
		M-1	M-2	M-3	M-X	
Peones	Tiempo productivo (TP)	138	183	141	%	165.64
	Tiempo contributivo (TC)	69	48	99	%	68.16
	Tiempo no contributivo (TNC)	93	69	60	%	66.19
Jefes de cuadrilla	Tiempo productivo (TP)	165	201	189	%	159.3
	Tiempo contributivo (TC)	93	63	81	%	59.97
	Tiempo no contributivo (TNC)	42	36	30	%	80.73
Capataz	Tiempo productivo (TP)	102	78	63	%	72.78
	Tiempo contributivo (TC)	36	90	78	%	68.22
	Tiempo no contributivo (TNC)	162	132	159	%	159
Concretera	Tiempo productivo (TP)	213	207	222	%	223.2
	Tiempo contributivo (TC)	12	3	6	%	17.1
	Tiempo no contributivo (TNC)	75	90	72	%	59.7
Laboratorio de materiales	Tiempo productivo (TP)	0	0	0	%	0
	Tiempo contributivo (TC)	27	27	39	%	58.08
	Tiempo no contributivo (TNC)	273	273	261	%	241.92
Cuadrilla de topografía	Tiempo productivo (TP)	0	0	0	%	0
	Tiempo contributivo (TC)	63	69	81	%	69.48
	Tiempo no contributivo (TNC)	237	231	219	%	230.52
Residente de obra	Tiempo productivo (TP)	0	0	0	%	0
	Tiempo contributivo (TC)	78	96	12	%	59.64
	Tiempo no contributivo (TNC)	222	204	288	%	240.36

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados que nos proporciona la prueba de 5 minutos se procedió a clasificar el promedio total de segundos que genero cada actividad dentro de las 50 muestras por el personal, que en este caso se distribuyó en 7 (peones, jefes de cuadrilla, capataz, concretera, laboratorio

de materiales, cuadrilla de topografía y residente de obra) por los 5 minutos de cada uno de ellos, dando un total de 2,100.00 segundos como lo muestra la **Tabla 14**.

Tabla 14. Resumen general de prueba de 5 minutos por actividad.

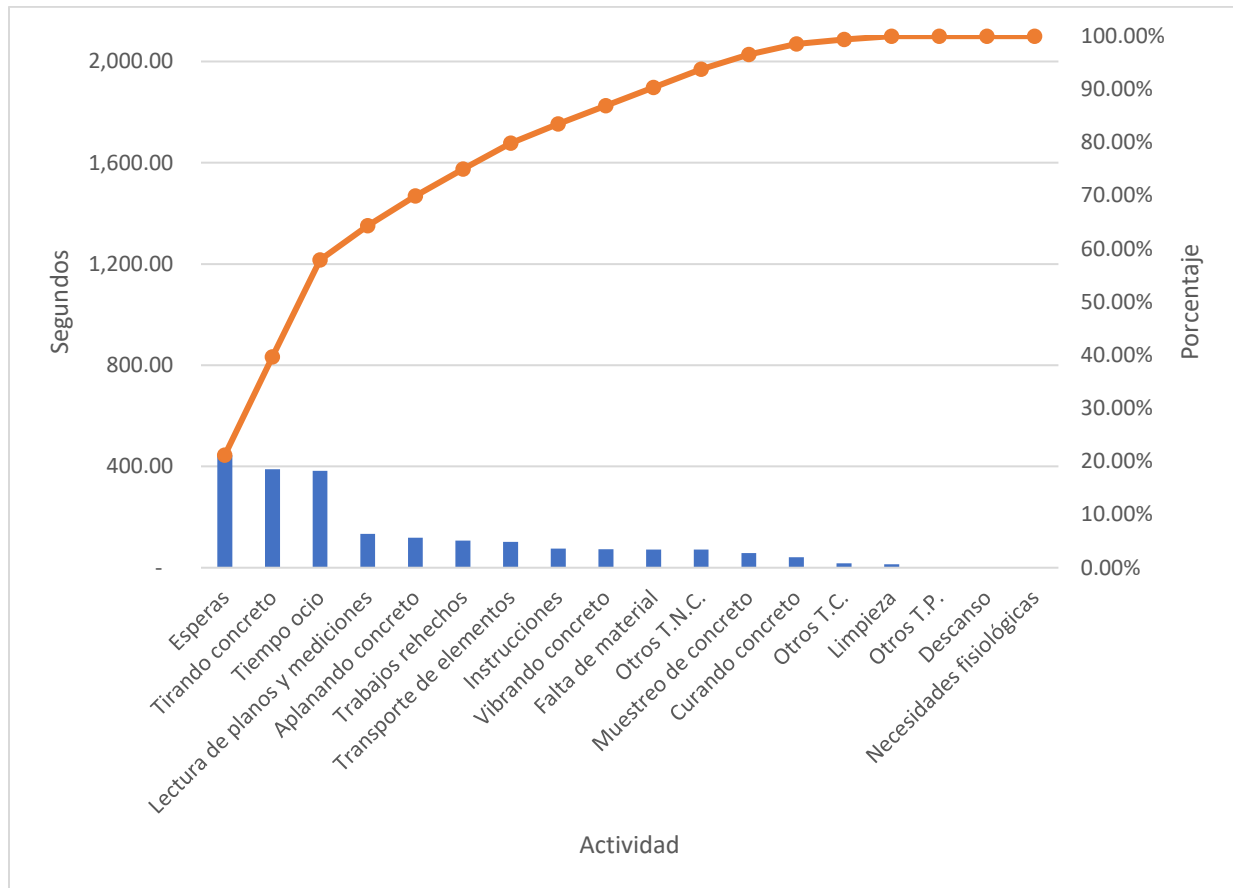
Código	Actividad	Clasificación	Total (Segundos)	Porcentaje
T.N.C.1	Esperas	TNC	444.58	21.17%
T.P.1	Tirando concreto	TP	388.84	18.52%
T.N.C.5	Tiempo ocio	TNC	382.88	18.23%
T.C.3	Lectura de planos y mediciones	TC	134.27	6.39%
T.P.3	Aplanando concreto	TP	118.18	5.63%
T.N.C.3	Trabajos rehechos	TNC	106.52	5.07%
T.C.2	Transporte de elementos	TC	102.51	4.88%
T.C.1	Instrucciones	TC	75.07	3.57%
T.P.2	Vibrando concreto	TP	72.49	3.45%
T.N.C.6	Falta de material	TNC	72.33	3.44%
T.N.C.7	Otros T.N.C.	TNC	72.11	3.43%
T.C.5	Muestreo de concreto	TC	58.08	2.77%
T.P.4	Curando concreto	TP	41.40	1.97%
T.C.6	Otros T.C.	TC	17.10	0.81%
T.C.4	Limpieza	TC	13.63	0.65%
T.P.5	Otros T.P.	TP	-	0.00%
T.N.C.2	Descanso	TNC	-	0.00%
T.N.C.4	Necesidades fisiológicas	TNC	-	0.00%
			2,100.00	100%

Fuente: Elaboración propia

Para poder identificar en orden de prioridades los tiempos que se deben buscar mejorar se procedió a la elaboración del diagrama de Pareto con los datos del resumen general de actividades, buscando atacar los tiempos no contributivos que generan más pérdida de tiempo en la realización de la actividad y mejorar los tiempos productivos que se les dedique la mayor parte

de tiempo en la actividad. Teniendo como resultado el siguiente diagrama de Pareto como lo muestra la **Tabla 15**.

Tabla 15. Diagrama de Pareto antes de filosofía Esbelta.



Fuente: Elaboración propia

4.4.1.2 Análisis e interpretación de resultados

En el análisis del diagrama de Pareto se detectaron los tiempos productivos, contributivos y no contributivos que tienen más relevancia mediante la aplicación del principio. (Sales, 2012), en el cual se establece en orden de

prioridad los valores más altos, en cuanto a segundos invertidos en la actividad de construcción de losas para puente vehicular.

En este análisis se puede observar que el porcentaje mas alto de tiempos no contributivos se encuentra en las esperas, los cuales se deben en su mayor parte a no tener el material necesario cerca al momento de comenzar con la actividad y en la espera del personal con actividades anteriores a la de ellos. Por lo que se tomaron como base las 3 actividades que en tiempos destinados en la construcción de losas son los más representativos ya que en los 3 tiempos se tiene un porcentaje del 58% del total de las actividades. Como se puede apreciar en la **Figura 13**.

Figura 13. Grafica circular de los tiempos destinados por actividad antes de la aplicación de la filosofía Esbelta.



Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, son las actividades en la cual se implementarán las herramientas de la filosofía Esbelta para incrementar el porcentaje de tiempo productivo y disminuir el tiempo no contributivo, teniendo así una reducción de desperdicios en la construcción de losas para puente vehicular en San Luis Potosí, S.L.P.

4.4.1.3 Implementación de herramientas para lograr la reducción de desperdicios.

Como parte de la mejora de los procesos se reunió el equipo de planeación de la obra y se determinan las estrategias para reducir las pérdidas en las actividades de construcción y mejorar las actividades que generen mayor tiempo contributivo mediante lecciones aprendidas por parte de los colaboradores. En el cual se realizó conforme a los siguientes pasos:

1. Atacar primeramente los problemas fundamentales, identificados en el diagrama de Pareto.

De acuerdo con el análisis e interpretación de los resultados se puede observar que más del 58% del tiempo dedicado en la construcción de losas se refiere a 3 actividades, las cuales son: esperas, tirando concreto y tiempo de ocio, teniendo un porcentaje de 21% en esperas, 19% tirando concreto y 18% en tiempo de ocio. Para poder atacar dichas actividades se trataron por separado con personal del grupo experimental y la directiva del proyecto en base a juicio de expertos, tratándose de dicha manera:

Esperas: Ya que las esperas constituyen el 21% del tiempo destinado en la construcción de losas y es un tiempo no contributivo, es decir, no genera ningún valor al producto, se propusieron las mejoras inicialmente en esta actividad. Se pudo notar que el tiempo de espera se incrementa debido a que el material no

se encuentra en su mayor parte en el área de trabajo y también se observa que no cumplen las especificaciones los procesos anteriores a la construcción de losas, por lo tanto, las correcciones las hacen al momento de la actividad, generando tiempos de espera largos.

Tirando concreto: En esta actividad que representa el 19% del tiempo total de la construcción de losas se buscó mejorar su porcentaje de tiempo dedicado en la construcción de losas, ya que al tener un porcentaje mayor se puede deducir que es más productivo el proceso, ya que el tiempo productivo sería mayor.

Tiempo de ocio: Esta actividad representa un tiempo no contributivo subsecuente del tiempo de espera, es decir, entre mayor sea el tiempo dedicado a la espera mayor será el tiempo de ocio, y al no agregar valor al proyecto, se buscará reducir para lograr incrementar los tiempos productivos dedicados en la construcción de losas, ya que representa actualmente el 18% del tiempo dedicado a dicha construcción.

2. Reordenar el sistema para volverlo más simple.

En esta fase se identificarán los procesos y los elementos presentes en la actividad por familias de los problemas prioritarios. También se implementará la herramienta Kanban la cual permitirá tomando como referencia las etiquetas de inserción realizar una hoja de los entregables de cada proceso en las actividades identificadas como problemas fundamentales, generando cualquier de los tipos de Kanban que se necesite para un correcto entendimiento de los entregables y de sus condiciones. Los cuales se generará una mejor administración de los elementos para requerir a ellos de una manera más sencilla.

Tomando en cuenta que las actividades de tiempo no contributivo es lo que buscamos reducir en la medida de lo posible, se optó por integrar la herramienta

Kanban, la cual consiste en el uso de etiquetas en los entregables de las actividades para lograr una mejor organización y un mejor flujo en las actividades. Usando las siguientes etiquetas de inserción.

3. Esperas

Para disminuir el tiempo dedicado a las esperas, se optó por el uso de las tarjetas de inserción en las actividades que generen tiempo productivo a la construcción de losas, las cuales son las siguientes:

Kanban de retirada: Se utilizó para recibir la cimbra y el acero antes de empezar con la construcción de losas de concreto. En este tipo de etiquetas de inserción se mencionó las características que debería cumplir la cimbra y el armado del acero para poder programar el colado de losas de concreto, como lo muestra la **Figura 14** en la cimbra y la **Figura 15** en el armado del acero

Figura 14. Kanban de retirada para cimbra en losas

Kanban de cimbra									
Proceso anterior	Colocación de trabes								
Entregables:	<table border="1"><thead><tr><th>cumple</th><th>no cumple</th></tr></thead><tbody><tr><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr></tbody></table>	cumple	no cumple						
cumple	no cumple								
cimbra nivelada									
cimbra en buen estado									
cimbra bien colocada									
Proceso posterior	Colocación de acero								
Nombre y firma de quien revisa y autoriza									

Fuente: Elaboración propia en base a juicio de expertos.

Figura 15. Kanban de retirada para acero en losas.

Kanban de acero									
Proceso anterior	Colocación de cimbra								
Entregables	<table border="1"><thead><tr><th>cumple</th><th>no cumple</th></tr></thead><tbody><tr><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr></tbody></table>	cumple	no cumple						
cumple	no cumple								
Diámetro de acero									
Colocación y cantidad									
Acero bien colocado									
Proceso posterior	Colado de losa								
Nombre y firma de quien revisa y autoriza									

Fuente: Elaboración propia en base a juicio de expertos.

Los Kanban de retirada de los procesos anteriores a la construcción de losas, se utilizaron para poder lograr una disminución del tiempo dedicado a la espera, ya que, al contar con las etiquetas de inserción, se asegura que el proceso anterior y el ejecutado cumplan con los criterios de calidad desde el inicio y así poder disminuir los tiempos de espera debido a que no se cumplía con las especificaciones de calidad dadas en el proyecto y perder ese tiempo al realizarse en el momento del proceso de construcción de losas dichos entregables.

- Tirando concreto

Esta actividad que corresponde a un porcentaje del 19% del tiempo dedicado a la construcción de losas, se detectó en base a las pruebas de 5 minutos que sufría deficiencias en las aplicaciones de la misma, que no cumple con las especificaciones del proyecto y por lo tanto en ocasiones

se tiene que solicitar al laboratorio de materiales que revise compactaciones, y saque muestras del concreto, por lo tanto incrementa los tiempos no contributivos, o contributivos pero no se ven reflejados en tiempos productivos mayores. Al ser el tiempo productivo mayor se decidió en base a juicio de expertos, elaborar tarjetas de inserción Kanban de producción, para cumplir con las especificaciones y conocer las características del proceso antes de iniciar con la construcción de losas.

Kanban de producción: Como se muestra en la **Figura 16**, la tarjeta de inserción de producción sirve para mencionar en ella las características del proceso, lo que debe de incluir y la cantidad que se va a producir.

Figura 16. Kanban de producción para losas.

Kanban de producción para losas		
Características de actividad	Unidad	Cantidad
Volumen de concreto	m3	
Espesor de concreto	cm	
F'c de concreto	kg/cm ²	
Revenimiento de concreto		

nombre y firma de quien revisa y autoriza

Fuente: Elaboración propia en base a juicio de expertos.

Adicional a los Kanban de producción y retirada para la actividad de esperas y tirando concreto, se realizaron las siguientes tarjetas de inserción, las cuales cumplen con las características y especificaciones que se les pedirá a los proveedores que deban de cumplir como lo muestra en la **Figura 17**. Así se evitarían mal entendidos y sería un flujo más rápido de actividades, disminuyendo considerablemente los tiempos no contributivos.

Figura 17. Kanban de proveedor de concreto.

Kanban de proveedor de concreto	
Nombre de proveedor	
Producto o servicio	
Características y especificaciones	
Volumen de concreto	
F'c de concreto	
Revenimiento de concreto	
Fecha para inicio de actividad	
Hora para inicio de actividad	
Nombre y firma de quien revisa y autoriza	

Fuente: Elaboración propia en base a juicio de expertos.

4.4.2 Filosofía Esbelta

4.4.2.1 Datos generales de mediciones

Para poder identificar los resultados que se generaron en la implementación de la filosofía Esbelta se procedió a la prueba de 5 minutos nuevamente para el mismo personal que se le había tomado muestras anteriormente, tomando de ellos los tiempos productivos, contributivos y no contributivos y poder calcular los promedios y reflejar una mayor fiabilidad en la situación real, se tomaron nuevamente 50 pruebas de 5 minutos recomendada por la asociación “Lean Construction Enterprise”, desechando todas las mediciones que en base a experiencia se pudiera generar una distorsión en la fiabilidad de los datos, tomando datos únicamente cuando se comienza el proceso de la construcción de losas generándose con los datos un resumen como lo muestra la **Tabla 16**.

Tabla 16. Resumen general de prueba de 5 minutos.

Personal	Descripción	Numero de muestra				Promedio
		M-1	M-2	M-3	M-X	
Peones	Tiempo productivo (TP)	203	201	190	%	187.82
	Tiempo contributivo (TC)	83	67	69	%	69.10
	Tiempo no contributivo (TNC)	14	32	41	%	43.06
Jefes de cuadrilla	Tiempo productivo (TP)	206	150	195	%	171.62
	Tiempo contributivo (TC)	61	53	63	%	66.73
	Tiempo no contributivo (TNC)	33	97	42	%	61.65
Capataz	Tiempo productivo (TP)	99	90	75	%	93.36
	Tiempo contributivo (TC)	174	110	119	%	146.22
	Tiempo no contributivo (TNC)	27	100	106	%	60.42
Concretera	Tiempo productivo (TP)	277	281	288	%	259.28
	Tiempo contributivo (TC)	10	12	11	%	10.8
	Tiempo no contributivo (TNC)	13	7	1	%	29.92
Laboratorio de materiales	Tiempo productivo (TP)	0	0	0	%	0
	Tiempo contributivo (TC)	83	88	60	%	86.64
	Tiempo no contributivo (TNC)	217	212	240	%	213.36
Cuadrilla de topografía	Tiempo productivo (TP)	0	0	0	%	0
	Tiempo contributivo (TC)	142	60	127	%	106.1
	Tiempo no contributivo (TNC)	158	240	173	%	193.9
Residente de obra	Tiempo productivo (TP)	0	0	0	%	0
	Tiempo contributivo (TC)	151	149	79	%	126.8
	Tiempo no contributivo (TNC)	149	151	221	%	173.2

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados que nos proporciona el resumen general en las pruebas de 5 minutos se procedió a clasificar el promedio total de segundos que genero cada actividad dentro de las 50 muestras por el personal, que en este caso se distribuyó en 7 (peones, jefes de cuadrilla,

capataz, concretera, laboratorio de materiales, cuadrilla de topografía y residente de obra) por los 5 minutos de cada uno de ellos, dando un total de 2,100.00 segundos como lo muestra la **Tabla 17**.

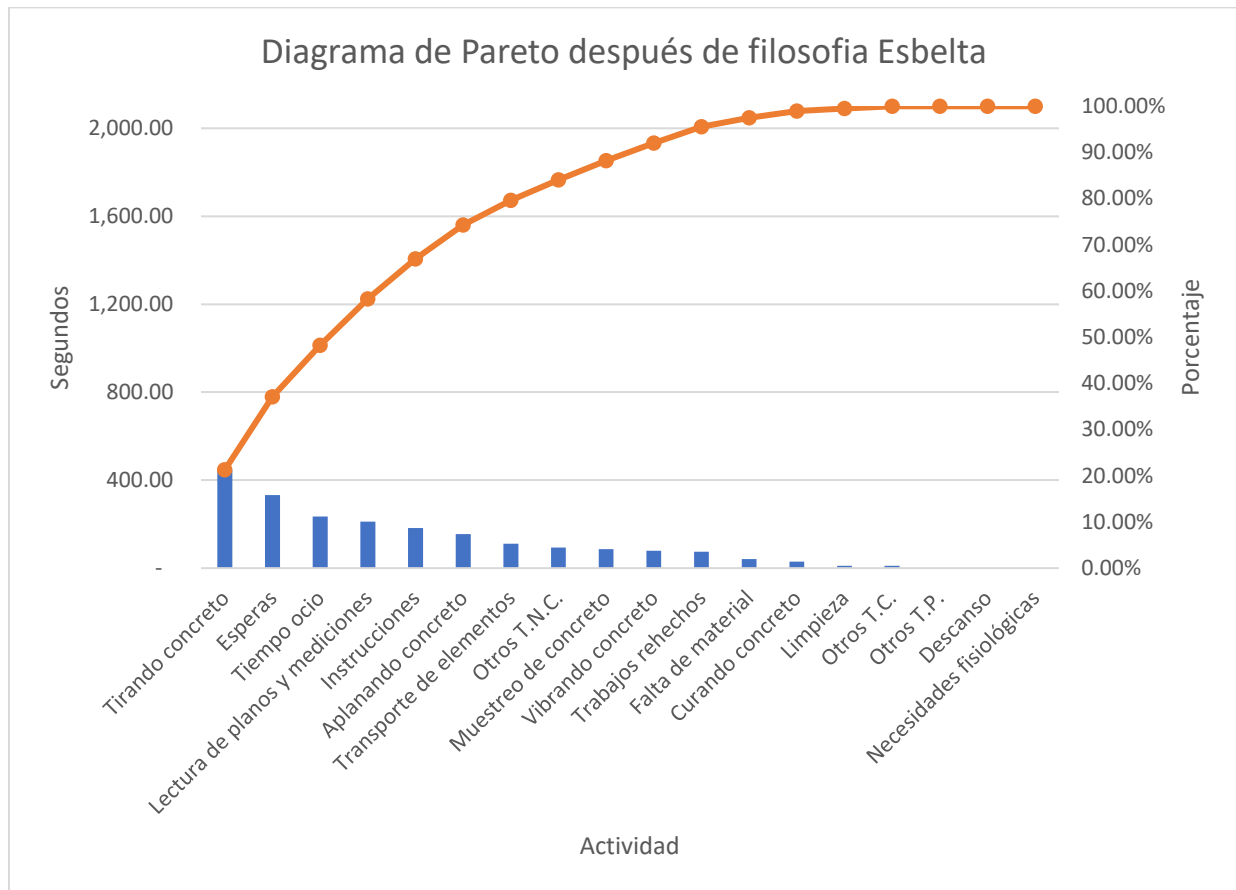
Tabla 17. Resumen general de prueba de 5 minutos en filosofía Esbelta por actividad.

Código	Actividad	Clasificación	Total (Segundos)	Porcentaje
T.P.1	Tirando concreto	TP	447.11	21.29%
T.N.C.1	Esperas	TNC	331.50	15.79%
T.N.C.5	Tiempo ocio	TNC	234.79	11.18%
T.C.3	Lectura de planos y mediciones	TC	210.83	10.04%
T.C.1	Instrucciones	TP	181.64	8.65%
T.P.3	Aplanando concreto	TP	155.08	7.38%
T.C.2	Transporte de elementos	TC	111.43	5.31%
T.N.C.7	Otros T.N.C.	TNC	93.53	4.45%
T.C.5	Muestreo de concreto	TC	86.64	4.13%
T.P.2	Vibrando concreto	TP	79.67	3.79%
T.N.C.3	Trabajos rehechos	TNC	75.03	3.57%
T.N.C.6	Falta de material	TNC	40.66	1.94%
T.P.4	Curando concreto	TP	30.23	1.44%
T.C.4	Limpieza	TC	11.06	0.53%
T.C.6	Otros T.C.	TC	10.80	0.51%
T.P.5	Otros T.P.	TP	-	0.00%
T.N.C.2	Descanso	TNC	-	0.00%
T.N.C.4	Necesidades fisiológicas	TNC	-	0.00%
			2,100.00	100%

Fuente: Elaboración propia

Para identificar las actividades con más impacto en el proceso de construcción de losas después de la implementación de la filosofía Esbelta se identificaron los tiempos en base a un diagrama de Pareto, teniendo como resultado el diagrama presentado en la **Tabla 18**.

Tabla 18. Diagrama de Pareto después de filosofía Esbelta.



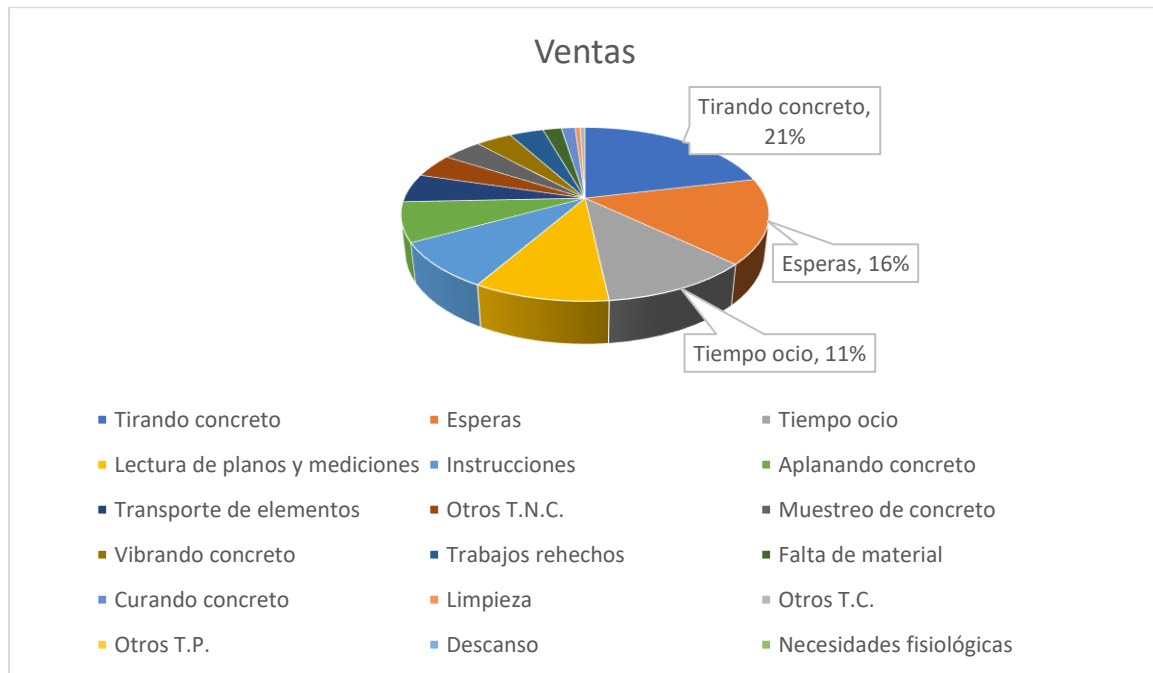
Fuente: Elaboración propia

• 4.4.2.2 Análisis e interpretación de resultados

En el análisis que se le hace al diagrama de Pareto se puede observar las actividades que tienen mayor fuerza en la construcción de losas después de la implementación de la filosofía Esbelta, en el cual basándonos en los tiempos prioritarios que representaron más del 50% del total de los tiempos dedicados al proceso en la filosofía tradicional podemos notar que siguen

siendo las actividades más representativas. Como se muestra en la **Figura 18**.

Figura 18. Grafica circular de los tiempos destinados por actividad después de la aplicación de la filosofía Esbelta.



Fuente: Elaboración propia

Tomando de referencia la gráfica circular de las actividades en la construcción de losas, se puede observar que el porcentaje más alto de tiempo se encuentra en la actividad llamada "Tirando concreto", siendo este un tiempo productivo del 21% del total del proceso, que se pudo aumentar en un 2% gracias a la implementación de la filosofía Esbelta, observándose que se mejoró este tiempo ya que el concreto cumplía con las especificaciones dadas en proyecto ya que se contaba con un Kanban de proceso el cual se proporcionaba a los proveedores del concreto al momento de la solicitud del

concreto, y se encontraba todo el material en sitio. Generando un mejor vínculo con los proveedores y con el cliente.

El tiempo de esperas que continúa siendo una actividad que representa un porcentaje del 16% perteneciente a los tiempos no contributivos, pero disminuyendo en un 5% del anteriores se deben en su mayor parte a los problemas que surgen al momento de la actividad, los cuales son la falta de destreza por parte del personal que hace trabajos que se necesitan realizar antes que al de ellos, generándose tiempos de espera. Pero se mejoró al tener ya los procesos anteriores más controlados en cuanto a calidad antes de la construcción de losas, teniendo siempre en claro los entregables y los criterios de calidad en tarjetas de inserción de retirada, los cuales al momento de cumplir con todo ello tenían más actividades de tiempos productivos en un lapso menor de tiempo como se muestra en los resúmenes generales de las pruebas de 5 minutos después de la aplicación de la filosofía Esbelta.

La actividad que ocupa el tercer lugar en los tiempos más representativos de la construcción de losas es el tiempo de ocio, el cual mejoro antes de la implementación de la filosofía Esbelta en el cual se dedicaba el 18% del tiempo total disminuyo, dedicando solo el 11% del tiempo total. Por lo tanto, se puede deducir que hubo una mejora en cuanto a tiempos, consecuencia de un tiempo de espera menor, ya que al no tener tiempos de espera o disminuir, se reduce o se elimina el tiempo de ocio.

Quedando como resultado la **Tabla 19**, en la cual se aprecia el mejoramiento de los tiempos más representativos en la construcción de losas.

Tabla 19. Actividades con más representación en tiempos en el proyecto.

Código	Actividad	Filosofía Esbelta	Tiempo (s)	Filosofía Tradicional	Tiempo (s)
T.P.1	Tirando concreto	21.29%	447.09	18.52%	388.92
T.N.C.1	Esperas	15.79%	331.59	21.17%	444.57
T.N.C.5	Tiempo ocio	11.18%	234.78	18.23%	382.83
Tiempo total		48.26%	1013.46	57.92%	1216.32

Fuente: Elaboración propia

Flavio Picchi (1993) estima que una deficiente gestión de proyectos genera un retraso significativo en tiempo, debido a los desperdicios, lo cual se ve representado en la **Tabla 19**, donde se logró mejorar el tiempo productivo con más impacto en las actividades y disminuir en los tiempos no contributivos denominados “desperdicios”, teniendo una mejoría de 58.17 segundos por cada 5 minutos de todo el personal en la actividad “Tirando concreto”, una reducción de 112.98 segundos en la actividad de “Esperas” y una reducción de 148.05 segundos en la actividad de “Tiempo de ocio”.

Por lo tanto, se puede deducir que, si se obtuvo una mejoría con una mejor gestión de proyecto en tanto a tiempos, ya que se redujo el porcentaje de desperdicios y se mejoró el tiempo productivo, reflejándose en un menor tiempo de la construcción de losas para puente vehicular en San Luis Potosí, un ahorro en el presupuesto, ya que al ser menor el tiempo de la construcción de losas, los gastos operativos y administrativos del proyecto se reducen, y una mejor calidad en el proyecto.

CONCLUSIONES

Al aplicar la metodología se observa que hay mucho por mejorar en la industria de la construcción, no se permite observadores críticos en mucho de los casos, pero de igual manera existe una gran necesidad por parte de las empresas constructoras por reducir el porcentaje de desperdicios, por lo cual la propuesta de la implementación de la filosofía Construcción Esbelta fue adoptada por parte de la empresa supervisora, para reducir los desperdicios que existen en la construcción de losas que actualmente en todo el proyecto es considerado como el 30% del costo del mismo. Se pudo observar que al aplicar las herramientas de dicha filosofía y al trabajar en conjunto con otras metodologías innovadoras que sirvan de apoyo a la filosofía Esbelta, no solamente se redujo el porcentaje de desperdicios si no que la empresa se caracterizó por ser una empresa innovadora y de calidad en sus proyectos y se espera que se pueda implementar en la mayoría de los procesos que ella realice. Sirviendo de ejemplo para que incentive a las demás empresas a realizar más estudios de caso de la filosofía para poder con el paso de los años ir adentrando más la filosofía Esbelta en el área de la construcción en México.

En la práctica profesional en el área de la construcción en México es muy difícil adoptar metodologías innovadoras en la gestión de los proyectos. Indiscutiblemente es necesario introducir de una manera más fuerte filosofías que puedan tener un beneficio tanto económico como en la calidad de los proyectos en México, existen diversas herramientas que con una buena aplicación puede llegar a grandes resultados y en un futuro posicionar a México como un país con una infraestructura urbana de primera calidad. Por lo cual la filosofía Construcción Esbelta se presta para la reducción de desperdicios y tener una mejor gestión de la construcción cuidando la calidad de la obra, apuntando hacia la mejora de la infraestructura urbana. Para tener éxito en la aplicación de la metodología deberíamos seguir las siguientes recomendaciones:

1. Es muy importante identificar las principales actividades clasificadas como tiempos productivos para la aplicación de la filosofía.
2. Se deberán tener reuniones bien preparadas con el personal calificado con experiencia en campo y personal para la interpretación de los resultados, mediante el uso de herramientas como diagramas de Gant y programas como Project Microsoft.
3. Las herramientas que se deben usar en la implementación de la filosofía en los proyectos deberán de ser seleccionadas de acuerdo a la actividad que se este priorizando en la aplicación de la filosofía construcción esbelta, que sea apropiado a la actividad.
4. Incrementar el valor del proyecto dando prioridad a los requerimientos del cliente manejando una buena comunicación mediante el constante flujo de información de avances con tablas y figuras visuales para la retroalimentación con observaciones y comentarios.
5. Buscar la constante actualización de herramientas innovadoras que apliquen a la industria de la construcción para buscar la mejora de la industria de construcción en México.

REFERENCIAS

- Alarcón, C. L. F., & Pellicer, A. E. (2009). La producción sin pérdidas aplicada a la construcción. *Revista de Obras Públicas*, 45–52.
- Álvarez, M. E. (2007). Lean Data. Aplicación de Lean Construction en la toma de datos. *REVISTA Universidad EAFIT*, 43(148), 62–77.
- Buleje, K.E, (2012). Productividad en la construcción de un condominio aplicando conceptos de la filosofía Lean Construction. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Corredor Aguilera, G. O. (2009). Lean construction aplicada a proyectos de construcción de edificaciones de vivienda unifamiliar.
- Cruz-Machado, V., & Rosa, P. (2007). Planning model based on lean construction for short term works | Modelo de planificación basado en construcción ajustada para obras de corta duración. *Información Tecnológica*, 18(1), 107–118.
- DÍAZ, H. P., SÁNCHEZ, O. G., & GALVIS, J. A. (2014, 3 junio). Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual. *Revista Avances Investigación en Ingeniería*.
<https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/avances/article/view/298>
- Ferreira F. (2019). Gestión logística en las empresas constructoras | Sinergia e Innovación. UPC.
<https://blogs.upc.edu.pe/sinergia-e-innovacion/conceptos/gestion-logistica-en-las-empresas-constructoras>

FORMOSO, Carlos T; SOIBELMAN, Lucio ET AL “Material Waste In Building Industry: Main Causes And Prevention” en Journal Of Construction Engineering And Management, Julio/Agosto 2002.

GALARZA MEZA, M. P. (2014). Desperdicio De Materiales En Obras De Construcción Civil: Metodos De Medicion Y Control. *Pontificia Universidad Católica Del Perú*.
<https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>

Gestión Lean: tres fundamentos y seis principios | OBS Business School. (s. f.).
obsbusiness.school. Recuperado 23 de noviembre de 2020, de
<https://obsbusiness.school/es/blog-project-management/factor-humano/gestion-lean-tres-fundamentos-y-seis-principios>

Ghio, V. (2001). Productividad en obras de construcción: Diagnostico, crítica y propuesta.
Lima: Fondo Editorial Pontificia Universidad Católica del Perú.

Granados Morales, A. (2013). Prueba de los 5 minutos y last planner - Universidad
Distrital Francisco José de Caldas

Guzmán Marquina, C. (2018) Lean Construction – mejoramiento de la productividad.
Escuela de postgrado Laurete International Universities.

HERRAMIENTAS DE CLASE MUNDIAL PARA LA DISMINUCIÓN DE COSTOS Y
DESPERDICIOS. (2020). visionindustrial.
<http://www.visionindustrial.com.mx/industria/calidad/lean-manufacturing>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación: Roberto Hernández Sampieri, Carlos Fernández Collado y Pilar Baptista Lucio (6a. ed. --.). México D.F.: McGraw-Hill.

Horman, M. J., and Kenley, R. (2005). "Quantifying Levels of Wasted Time in Construction with Meta-Analysis", Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Jan., pp. 52-61.

INEGI INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA Y GEOGRAFIA. (2011). Escenarios de Crecimiento del PIB de la Industria de la Construcción. Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción (CEESCO).

INEGI INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA Y GEOGRAFIA. (2017). Estadísticas a propósito de ... la Industria de la construcción. Producto Interno Bruto de la construcción (PIB).

Lean Construction Enterprise (s.f.). ¿Qué es Lean Construction?.
<http://www.leanconstructionenterprise.com/documentacion/lean-construction>

López, B. (2020). ¿Qué es el Lean Manufacturing? Ingenieria Industrial Online.
<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/lean-manufacturing/que-es-el-lean-manufacturing/#:%7E:text=Lean%20Manufacturing%20es%20un%20proceso,si%20implican%20costo%20y%20esfuerzo.&text=Minimice%20sus%20costos%20totales,Mejore%20su%20calidad>

Manene, L. M. (2011). *Organizativa , Habilidades Directivas ,.*

Martinez, J. G. (2016). implementación de la Filosofía Lean Propuesta de metodología para la implementación de la Filosofía Lean (Construcción Esbelta) en proyectos de construcción Jhonattan Guillermo Tercero Martínez Ribón. December.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22741.42725>

- Martínez, J.G.T. (2011). Propuesta de metodología para la implementación de la Filosofía Lean (Construcción Esbelta) en proyectos de construcción (Tesis para Magister en Administración) Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Económicas, Escuela de Administración y Contaduría Bogotá, Colombia.
- Martínez, P. G., Francisco, G. J., Mendoza, R., Manuel, J., & Montelongo, L. (2019). Evaluación de la gestión en la construcción de una tienda de conveniencia por medio de lean construction. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 13(3), 1–13.
- McGraw-Hill Construction (2013). *Lean Construction: Leveraging Collaboration and Advanced Practices to Increase Project Efficiency*. Smart Market Report.
- Nash, J. (2019). Construcción Lean - Construcción Lean.. <http://www.construccionlean.com/intro>
- Padilla, L. (2006). Lean Manufacturing Manufactura Esbelta/Ágil. *Revista Ingeniería Primero*. Recuperado de: http://files.udespcesos.webnode.es/20_0000028-6743f683e7/manufactura%20esbelta%20toyota.pdf
- Picchi, Flávio A. 1993. *Lean Principles and the construction mainflows*. 1993.
- Pons Achell Juan Felipe. (2014, marzo). “Introducción a Lean Construction”. Fundación Laboral de la Construcción, 1, 74. 2015, marzo 5.
- Porras Díaz, H., Sánchez Rivera, O. G., & Galvis Guerra, J. A. (2014). Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción. *Avances Investigación En Ingeniería*, 11(1), 32. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.298>

- Kagioglou, M., Cooper, R., Aouad, G., & Sexton, M. (2000). Rethinking construction: the generic design and construction process protocol. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 7(2), 141-153.
- KOSKELA, L.; BALLARD, Glenn and HOWELL, Greg. Achieving change in construction. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction (2003).
- Rodríguez M. (2013). Metodologías para la construcción basadas en la filosofía Lean Construction. Ecuador: Trabajo de fin de Titulación, Universidad Técnica Particular De Loja – Ecuador
- Ruiz Cornejo, karina. (2020). *Dos Alternativas Para La Medición de la Productividad en la Industria de la Construcción en México*. 1–14.
- R. Sacks, M. Radosavljevic y R. Barak, «Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction,» *Automation in Construction*, vol. 19, pp. 641-655, 2010.
- Sales, M. (2012). Diagrama de pareto. *Ealde Business School*, 1–8.
<https://calidadgestion.wordpress.com/tag/diagrama-de-pareto-ejemplo/>
- Stake, R. E. (1998). Investigación con estudio de casos (Roc Filella, trad.). España: Morata. (Trabajo original publicado en 1995).
- SOIBELMAN, Lucio “As Perdas De Materiais Na Construção De Edificações: Sua Incidencia E Seu Controle” Porto Alegre, 1993.
- Tramullas, J. (1997). Introducción a la documática. <http://tramullas.com/documatica/1-1.html> (enero 17 de 2007)

Villamizar Roa, D. H., & Ortiz Contreras, L. J. (2016). *Implementación de los principios de lean construction en la constructora colproyectos S.A.S. de un proyecto de vivienda en el municipio de villa del rosario. June.*

¿Qué es Lean Construction?. (s. f.). Lean Construction Enterprise. Recuperado 25 de noviembre de 2020, de <http://www.leanconstructionenterprise.com/documentacion/lean-construction>