

Prácticas Lean para la optimización de recursos en la fase constructiva de proyectos de construcción: Caso Proyecto Babylon

ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Constancia de presentación pública del Trabajo Final de Graduación

Prácticas Lean para la optimización de recursos en la fase constructiva de proyectos de construcción: Caso Proyecto Babylon

Llevado a cabo por la estudiante:

Vega Arguello Keilah

Carné: 2019031815

Trabajo Final de Graduación presentado públicamente ante el Tribunal Evaluador el miércoles 05 de febrero de 2025 como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

En fe de lo anterior firman los siguientes integrantes del Tribunal evaluador:

TEC | Tecnológico de Costa Rica
Firmado digitalmente por JOSE ANDRES ARAYA OBANDO (FIRMA)
Fecha: 2025.02.06 10:22:06 -06'00'

Dr. Ing. José Andrés Araya Obando
Director de la Escuela

MIGUEL FRANCISCO ARTAVIA ALVARADO (FIRMA)
Firmado digitalmente por MIGUEL FRANCISCO ARTAVIA ALVARADO (FIRMA)
Fecha: 2025.02.05 09:58:17 -06'00'

Ing. Miguel Artavia Alvarado, MAP
Profesor Guía

MILTON ANTONIO SANDOVAL QUIROS (FIRMA)
Firmado digitalmente por MILTON ANTONIO SANDOVAL QUIROS (FIRMA)
Fecha: 2025.02.05 09:53:21 -06'00'

Ing. Milton Sandoval Quirós, MAE
Profesor Lector

ROMMEL LEZING CUEVAS KAUFFMANN (FIRMA)
Firmado digitalmente por ROMMEL LEZING CUEVAS KAUFFMANN (FIRMA)
Fecha: 2025.02.05 15:53:40 -06'00'

Ing. Rommel Cuevas Kauffmann
Profesor Observador

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo principal desarrollar prácticas Lean orientadas a la optimización de costos en la gestión de recursos como concreto, agua, electricidad, combustible y residuos de construcción y demolición (RCD), tomando como caso de estudio el proyecto Babylon, y generando un sistema replicable para futuros proyectos de la constructora Tabor Reimers.

Para ello, se analizaron los flujos actuales de los recursos mediante entrevistas con ingenieros en obra y cuestionarios a trabajadores, identificando problemáticas frecuentes en su gestión. Además, se realizó una revisión bibliográfica de buenas prácticas nacionales e internacionales en la gestión de estos recursos. Como resultado, se propuso un sistema que incluye herramientas como la matriz de desperdicios, el análisis SCRA y el informe A3, integrando mejoras prácticas específicas para reducir desperdicios y optimizar costos. El sistema desarrollado se validó a través de su aplicación en casos concretos del proyecto, destacando una mayor eficiencia en el uso de recursos y la identificación de oportunidades de mejora. A partir de la implementación de este sistema se evidenció la necesidad de capacitación en gestión de recursos y un compromiso continuo con la filosofía Lean Construction. Así, este trabajo culmina con un manual de implementación del sistema para proyectos futuros que la empresa desarrolle.

Palabras clave: Lean Construction, buenas prácticas, optimización de recursos, reducción de costos, desperdicios, mejora continua.

Abstract

The main objective of this work is to develop Lean practices aimed at cost optimization in the management of resources such as concrete, water, electricity, fuel, and Construction and demolition waste (CDW), using the Babylon project as a case study, and creating a replicable system for future projects of the Construction company Tabor Reimers.

To achieve this, the current resource flows were analyzed through interviews with engineers on-site and questionnaires to workers, identifying frequent issues in their management. Additionally, a bibliographic review of national and international best practices in resource management was conducted. As a result, a system was proposed that includes tools such as the waste matrix, SCRA analysis, and the A3 report, integrating specific practical improvements to reduce waste and optimize costs. The developed system was validated through its application in specific cases within the project, highlighting increased efficiency in resource use and the identification of opportunities for improvement. From the implementation of this system, the need for training in resource management and a continuous commitment to Lean Construction philosophy became evident. Thus, this work concludes with an implementation manual for future projects developed by the company.

Keywords: Lean Construction, best practices, resource optimization, cost reduction, waste, continuous improvement.

Prácticas Lean para la optimización de recursos en la fase constructiva de proyectos de construcción: Caso Proyecto Babylon

KEILAH VEGA ARGÜELLO

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Noviembre de 2024

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

RESUMEN EJECUTIVO	4
INTRODUCCIÓN	6
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO.....	12
CAPÍTULO 2: MARCO METODOLÓGICO	34
CAPÍTULO 3: RESULTADOS Y ANÁLISIS	44
CONCLUSIONES	99
RECOMENDACIONES	101
REFERENCIAS	103
APÉNDICES.....	109

Resumen ejecutivo

Este trabajo tiene como enfoque la implementación de prácticas basadas en la filosofía Lean Construction con el fin de optimizar los costos en la fase constructiva de proyectos de construcción, específicamente en el proyecto Babylon, el cual está gestionado por la constructora Tabor Reimers. La problemática central que se aborda en este proyecto es la gestión ineficiente de recursos clave en proyectos de construcción, como el concreto, agua, electricidad, combustibles y residuos de construcción y demolición (RCD), los cuales impactan directamente en los costos y la sostenibilidad de las obras. El proyecto Babylon, ubicado en Rohrmoser, presenta una oportunidad estratégica para implementar estas prácticas desde las primeras etapas de su construcción, lo que podría servir como modelo para futuros proyectos de la empresa.

Ese trabajo es relevante tanto para las diversas constructoras del país, así como para la industria de la construcción en general, ya que contribuye a mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los proyectos constructivos. Al optimizar los recursos, se logra reducir los costos operativos, reducir desperdicios y con esto minimizar el impacto ambiental, representando estos aspectos claves en la gestión eficiente de proyectos. A nivel organizacional, la adopción de esas prácticas puede mejorar la competitividad de la constructora Tabor Reimers, ayudando a garantizar la rentabilidad y sostenibilidad de sus proyectos.

Cabe destacar que la realización del presente proyecto está alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, específicamente al ODS 9 (industria, innovación e infraestructura), con el fin de promover la construcción de infraestructuras sostenibles y resilientes, así como al ODS 12 (producción y consumo responsables), al fomentar prácticas de gestión eficiente de recursos y reducción de desperdicios en la industria de la construcción.

El principal objetivo de este proyecto fue desarrollar un sistema de prácticas Lean orientado a la optimización de recursos y reducción de costos en la fase constructiva del proyecto Babylon, y a su vez elaborar un modelo que pudiera ser replicable para futuros proyectos de la empresa. Para esto, inicialmente y en relación con lo planteado en el primer objetivo específico (OE1) de este proyecto, se llevaron a cabo entrevistas con los ingenieros responsables de la obra y cuestionarios a varios de los trabajadores de campo presentes en el proyecto, para así identificar las prácticas actuales y las áreas de mejora. Gracias a esto se identificaron problemas como el aumento en el consumo de agua y electricidad relacionado con la entrada de contratistas adicionales, además de un gran consumo de diésel debido al uso prolongado de una planta eléctrica.

Para el OE2 se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica de las mejores prácticas nacionales e internacionales en la gestión de recursos, descubriendo así que efectivamente en Costa Rica diversas empresas han adoptado prácticas Lean Construction como las 5S, Last Planner, Just in Time, entre otras, además de contar con manuales de construcción sostenible para la gestión eficiente de recursos. A nivel internacional la metodología Lean se emplea ampliamente para optimizar recursos y procesos constructivos, lo que confirma su viabilidad y eficacia.

Con respecto al OE3 se propuso un sistema de prácticas Lean que incluye el uso de tres herramientas, la matriz de desperdicios, el análisis SCRA y el informe A3, con el fin de que estas herramientas puedan ser utilizadas en el sitio de construcción para llevar una gestión más eficiente de recursos y que sea posible identificar puntos de mejora. Así, la implementación de prácticas Lean tuvo un impacto positivo en la eficiencia del proyecto, destacando la importancia de la capacitación continua en la gestión de recursos y el compromiso de la empresa con la filosofía Lean. Con esto, se recomienda seguir implementando estas prácticas en futuros proyectos y complementar el sistema con herramientas adicionales según sean las necesidades de cada proyecto de forma tal que se pueda mejorar aún más la eficiencia operativa.

Así, finalmente, como resultado del análisis y validación del sistema, se desarrolló un manual que detalla las herramientas Lean adaptadas al proyecto Babylon. Este manual incluye una guía y procedimientos para el uso de las herramientas utilizadas para gestionar recursos, con el objetivo de facilitar su aplicación en proyectos futuros de la constructora.

A partir de este trabajo se demostró cómo la adopción de prácticas Lean en la construcción no solo optimiza los recursos, sino que también contribuye a la sostenibilidad económica y ambiental de los proyectos, beneficiando tanto a las empresas del sector como a la sociedad en general.

Introducción

El presente trabajo se llevó a cabo en el contexto de un proyecto constructivo gestionado por la constructora Tabor Reimers, una empresa privada reconocida en el sector de la construcción. El proyecto, Babylon, se encuentra ubicado en Rohrmoser y actualmente se encuentra en un 30% de avance de su ejecución. Este proyecto se enmarca dentro del departamento de ingeniería de la constructora, en dónde se enfrentan desafíos significativos relacionados con el control eficiente de recursos durante su fase constructiva. Babylon está destinado a ser un edificio de ocupación mixta de 18 niveles, en dónde el primer nivel es de tipo comercial y los restantes son de tipo residencial. Con lo cual, debido a la magnitud y complejidad del proyecto es esencial implementar un sistema de prácticas que permitan gestionar dicho proyecto de la manera más efectiva posible, garantizando no solo la calidad de la obra sino también la rentabilidad de la misma. A pesar de la magnitud del proyecto, su bajo porcentaje de avance brinda una oportunidad estratégica para implementar prácticas más eficientes desde sus etapas iniciales.

Si bien es cierto, en todo proyecto constructivo es fundamental reducir costos y optimizar recursos para mejorar la rentabilidad y sostenibilidad del proyecto, y el hecho de que Babylon tenga un bajo porcentaje de avance proporciona una ventana estratégica para implementar prácticas eficientes desde las etapas iniciales del proyecto. Teniendo en cuenta esto, y la necesidad que presenta la empresa respecto a la implementación de un sistema de prácticas Lean para el control y gestión eficiente de recursos en sus proyectos constructivos, el presente trabajo tiene como objetivo principal Desarrollar prácticas Lean orientadas a la reducción de costos mediante la optimización de recursos críticos, estableciendo así un sistema de prácticas que puedan ser aplicables a otros proyectos de la constructora Tabor Reimers.

Para llevar a cabo esto, inicialmente se tomó al proyecto Babylon como caso práctico, en dónde se identificaron cinco de los principales recursos que generan costos en un proyecto constructivo, definiendo en este caso el concreto, agua, electricidad, combustibles y residuos de construcción y demolición (RCD) cómo base para implementar prácticas que permitan gestionarlos de la manera más eficiente, todo esto bajo las metodologías Lean Construction. La selección de estos recursos se realizó en conjunto con la empresa constructora, considerando aquellos que tienen un impacto significativo en los costos y consumos del proyecto. Aunque existen otros recursos que podrían ser críticos, estos fueron priorizados debido a la facilidad para medir su consumo de manera cuantitativa y la disponibilidad de datos dentro del proyecto, lo que permite evaluar con mayor precisión las oportunidades de mejora y optimización. De esta manera se le pudo presentar

a la empresa Tabor Reimers un sistema de prácticas Lean, lo cual le permita minimizar desperdicios, reducir costos operativos y aumentar la eficiencia en el uso de recursos, contribuyendo así al éxito de sus proyectos actuales y futuros.

Según la literatura existente hay diversos autores han abordado temas similares, en donde se evidencia que uno de los principales objetivos durante un proyecto es minimizar los consumos y residuos generados durante la construcción. Por ejemplo, el Ingeniero Civil Arturo Alaiza (2005) trabajó en un planteamiento de estrategias de minimización de consumo de agua en el proceso constructivo. A su vez Mejía et al. (2013) en su artículo titulado “Residuos de construcción y demolición: Revisión sobre su composición, impactos y gestión” destacan las diversas formas en que se puede disponer y gestionar los RCD de manera efectiva, destacando como a partir de esto se pueden reducir costos. Así, también existen trabajos como el de Patricia del Carmen (2015) que desarrollan métodos para el control y optimización de costos en proyectos de construcción, en el cual se hace mención de la importancia de administrar y controlar los recursos del proyecto dentro de un tiempo, unos costos y un rendimiento definidos.

Ahora bien, basado en esto, la metodología Lean Construction abarca directamente el tema de reducción de costos, en donde el objetivo de esta metodología es eliminar y/o minimizar las pérdidas en los recursos que se usan para construir un proyecto, a fin de generar el máximo valor posible (Orihuela, 2011), lo cual a su vez se traduce en una optimización de los costos asociados a esto. Esta metodología está orientada a mejorar la ejecución de las obras, la cual actualmente se aplica a todas las etapas del proceso constructivo, ya que apoya desde la idea conceptual hasta la puesta en marcha del proyecto, de esta forma considera el ciclo de vida completo del proyecto (Bolpagni, 2017), pero cabe destacar que, para efectos de este trabajo, será aplicada únicamente a las primeras etapas de la fase constructiva del proyecto. Según Pons (2014) la metodología Lean trata de disminuir las pérdidas, al poner en práctica principios como la capacitación del personal, la reducción del inventario y la mejora de la productividad. De esta forma es posible desarrollar un proyecto de acuerdo con el contrato, sin errores, en el plazo pactado, respetando costos y con un enfoque hacia la reducción de las pérdidas, es decir, hacia las actividades que no generen valor (Maia, 2013).

Bell & Stukhart (1986) estimaron que se podría ahorrar entre un 10 y un 12% de mano de obra si se implantara un sistema de gestión de materiales eficiente. Además, también indicaron que se podría reducir la cantidad total de material sobrante desde un 5-10% del material usado en la obra hasta un 1-3%. Asplund & Danielsson (1991) calcularon que un proyecto constructivo realizado en Suecia redujo los costos de la gestión de materiales en un 10% gracias al hecho de que la empresa inició una estrecha cooperación con sus proveedores con el objetivo de realizar una gestión integral de los flujos de material. Bossink & Brouwers (1996) realizaron un estudio en Holanda en el que calcularon que un 9% de los materiales comprados se terminan lanzando.

Otra problemática importante de la construcción es la cantidad de tiempo que se dedica a trabajo no productivo, es decir, trabajo que no crea valor. Algunos estudios indican que el porcentaje de tiempo que se dedica a actividades que añaden valor en la industria de la construcción de EEUU representa entre el 31,9% (Levy 1990) y el 36% (Oglesby & al. 1989) de la cantidad total de tiempo de una obra.

Como parte de los alcances de este proyecto, inicialmente se incluye la realización de inspecciones y mediciones directas en el sitio de construcción, así como entrevistas y cuestionarios realizados a los ingenieros y demás profesionales que se encuentran en el sitio de construcción, así como a algunos trabajadores de campo. Esto con el fin de identificar áreas críticas de consumo y oportunidades de mejora iniciales. A su vez se tiene una revisión bibliográfica de toda la información referente a la aplicación de prácticas Lean para la optimización de recursos, tanto a nivel nacional como internacional, con el fin de ampliar el conocimiento en el tema y tener información de prácticas que pudieran aplicarse y/o adaptarse al proyecto en estudio. Como parte de uno de los principales objetivos de este proyecto se realizó una propuesta de sistema de prácticas Lean que pudiera ser aplicado al proyecto Babylon para optimizar la gestión de recursos, disminuir desperdicios y reducir costos, pero cabe destacar que esto no incluye la implementación de dichas prácticas en otros proyectos, ya que el enfoque está únicamente en la formulación y propuesta de estas. Finalmente, se le presentaron estas prácticas a la constructora Tabor Reimers como una propuesta enfocada en la optimización de costos, donde dichas prácticas podrían ser aplicadas a futuros proyectos constructivos. Para esto se redactó un manual de uso detallado del sistema establecido, para así facilitar su implementación en futuros proyectos.

A pesar de los esfuerzos realizados, este proyecto presentó algunas limitaciones. En primer lugar, se encontró una falta de información confiable en algunos aspectos relacionados con la gestión de recursos, lo que dificultó el análisis de ciertos datos. Además, la complejidad y la escala del proyecto Babylon representan un desafío adicional, ya que la magnitud del proyecto podría dificultar la implementación de las prácticas Lean de manera eficaz y adaptada a las condiciones específicas del sitio. A su vez, el tiempo disponible para documentar y analizar los resultados también fue limitado, lo que pudo haber restringido la profundidad de algunas observaciones y la posibilidad de aplicar las prácticas en su totalidad. Por otro lado, aunque los responsables del proyecto Babylon han mostrado disposición a recibir sugerencias y adoptar prácticas para la mejora de la gestión de recursos, la falta de un compromiso formal por parte de la constructora podría representar un obstáculo en adopción definitiva de las propuestas presentadas. Estas limitaciones fueron consideradas durante el desarrollo de este proyecto y, a pesar de ellas, se lograron avances significativos que servirán como base para futuras implementaciones en otros proyectos.

Objetivos

Para este proyecto se plantea un objetivo general, el cual corresponde a formular prácticas Lean orientadas a la reducción de costos mediante la optimización de recursos críticos como concreto, agua, electricidad, combustibles y residuos de construcción y demolición (RCD) en el proyecto Babylon, estableciendo un conjunto de prácticas aplicables a otros proyectos de la constructora Tabor Reimers. A su vez, se plantean cuatro objetivos específicos, los cuales se detallan a continuación:

- OE1: Analizar los flujos actuales de recursos críticos en el proyecto Babylon, como concreto, agua, electricidad, combustibles y residuos de construcción y demolición (RCD), lo cual permita la identificación de áreas de mejora y puntos de referencia inicial.
- OE2: Investigar las prácticas Lean utilizadas nacional e internacionalmente para la gestión de recursos críticos (concreto, agua, electricidad, combustibles y RCD) en proyectos de construcción, identificando así aquellas que han demostrado ser más efectivas con el fin de que puedan ser adaptadas al proyecto Babylon.
- OE3: Proponer un sistema de prácticas Lean para el control de recursos críticos basado en su implementación en el proyecto Babylon, estableciendo así un modelo que permita una reducción de desperdicios y optimización de costos.
- OE4: Elaborar un manual de uso del sistema de prácticas Lean desarrollado, facilitando su aplicación en futuros proyectos constructivos que la constructora Tabor Reimers desarrolle.

Agradecimientos

Primeramente, gracias a Dios por guiarme y darme las herramientas y la sabiduría necesaria durante estos últimos años de formación universitaria. Gracias al Instituto Tecnológico de Costa Rica no solo por formarme académica y profesionalmente, sino también por darme unos increíbles años llenos de risas, lloradas y experiencias que llevaré en mi corazón por siempre. Agradezco a mi madre por ser mi fortaleza, mi razón de ser y la persona que siempre ha creído en mí, a mi hermano quién me motiva a seguir día a día, a mi novio y amigas por su apoyo incondicional. Por último, agradezco a la constructora Tabor Reimers por darme la oportunidad de desarrollar este proyecto de la mano con sus colaboradores, al Ingeniero Miguel Artavia Alvarado por guiarme en este proceso y a todas las demás personas que colaboraron para que la culminación de este proyecto fuera posible.

Capítulo 1: Marco teórico

En este capítulo se presentarán todos los conceptos teóricos e información relevante que permita fundamentar la implementación del Lean Construction en proyectos de construcción, dando énfasis a la fase constructiva de dichos proyectos. A su vez, se explorarán metodologías y prácticas orientadas a minimizar desperdicios y optimizar el uso de recursos clave para reducir costos, estableciendo las bases que permitan proponer soluciones adaptadas al proyecto Babylon y su contexto operativo.

1.1 Proyectos constructivos

Inicialmente es importante comprender y diferenciar dos conceptos, la industria y el sector de la construcción. Según Solminihaç & Thenoux (2011) la industria de la construcción es el conjunto de empresas que realizan actividades en el país y cuyo producto corresponde a todo o parte de uno de los siguientes tipos de obras:

- Construcción habitacional: que comprende la construcción de viviendas unifamiliares, en forma de casas aisladas, conjuntos habitacionales o edificios en altura.
- Construcción no habitacional: que comprende la construcción de edificaciones para usos no residenciales, tales como: hospitales, oficinas, escuelas, establecimientos comerciales, estacionamientos, iglesias, etc., en forma de edificios de baja o gran altura.
- Construcción industrial: que comprende obras relacionadas con el montaje de equipos e instalaciones de plantas procesadoras industriales, bodegas de almacenamiento, etc.
- Obras civiles: obras de ingeniería tales como puertos, construcciones marítimas (plataformas, cañerías submarinas, etc.), puentes, caminos, carreteras, túneles, represas, aeropuertos, obras de riego, gaseoductos, oleoductos, etc.

Por su parte, el sector de la construcción comprende a cualquier persona natural o jurídica que realice actividades en el territorio nacional, cuyo objeto sea construir o colaborar en la construcción de cualquier obra en la que realicen actividades empresas pertenecientes a la industria de la construcción (Solminihaç &

Thenoux, 2011). Entendido esto, se puede decir que la industria de la construcción es parte del sector construcción ya que incluye únicamente a quienes se dedican a la producción de los bienes antes mencionados, mientras que el sector abarca también a todos aquellos que contribuyen en las actividades de la industria, como los fabricantes y proveedores de materiales de construcción, las instituciones financieras, entre otros actores.

Existen diferentes definiciones del concepto de proyecto. Turner (1993) define un proyecto como un esfuerzo para el cual se organizan recursos humanos, materiales y financieros de una forma única, para llevar a cabo un trabajo dentro de un alcance de trabajo dado, con especificaciones determinadas y dentro de restricciones de tiempo y costo, de modo de lograr cambios beneficiosos para la organización a través del logro de objetivos cualitativos y cuantitativos. A su vez, el Instituto de Administración de Proyectos de Estados Unidos (PMI, 2004) define un proyecto como un esfuerzo temporal que se realiza para crear un producto o servicio único. Temporal significa que cada proyecto tiene un punto definido de término y único significa que el producto o servicio difiere de manera distintiva de todos los productos o servicios.

La industria de la construcción posee diversas características que la diferencian de otras, entre las cuales se pueden distinguir dos principales que son muy relevantes cuando se quiere hablar de proyectos constructivos. La primera es el desarrollo por etapas o fases, en donde los proyectos de construcción no industrializada, independientemente de su tipo, suelen ejecutarse en diferentes fases, es decir, las actividades y tareas necesarias se llevan a cabo de manera secuencial a lo largo del tiempo. La segunda característica es el ciclo de vida, en donde, tanto los proyectos de construcción como sus respectivas fases tiene una duración relativamente corta, lo cual frecuentemente genera situaciones críticas para los responsables de ejecutar y gestionar los proyectos.

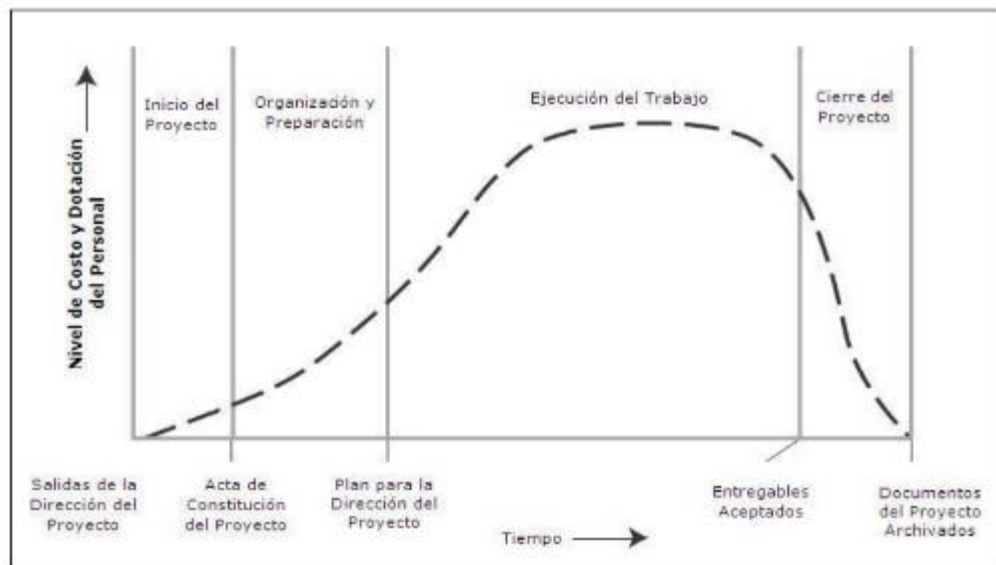
1.1.1 Ciclo de vida y fases de un proyecto

Todos los proyectos tienen un ciclo de vida, desde su inicio cuando se plantea una necesidad que debe satisfacerse, hasta que el proyecto ha logrado sus objetivos y termina. Las principales etapas del ciclo de vida de un proyecto son las siguientes:

- Conceptualización del proyecto.
- Definición del proyecto.
- Desarrollo del proyecto.
- Ejecución del proyecto.
- Término o cierre del proyecto.

Según el PMI (2004) el ciclo de vida del proyecto es un conjunto de fases del mismo, generalmente secuenciales y en ocasiones superpuestas, cuyo nombre y número se determinan por las necesidades de gestión y control de la organización u organizaciones que participan en el proyecto, la naturaleza propia del proyecto y su área de aplicación. El ciclo de vida del proyecto puede ser determinado o conformado por los aspectos únicos de la organización, de la industria o de la tecnología empleada (ver Figura 1); mientras que cada proyecto tiene un inicio y un final definidos, los entregables específicos y las actividades que se llevan a cabo entre éstos variarán ampliamente de acuerdo con el proyecto. De esta forma, el ciclo de vida proporciona el marco de referencia básico para dirigir el proyecto, independientemente del trabajo específico involucrado.

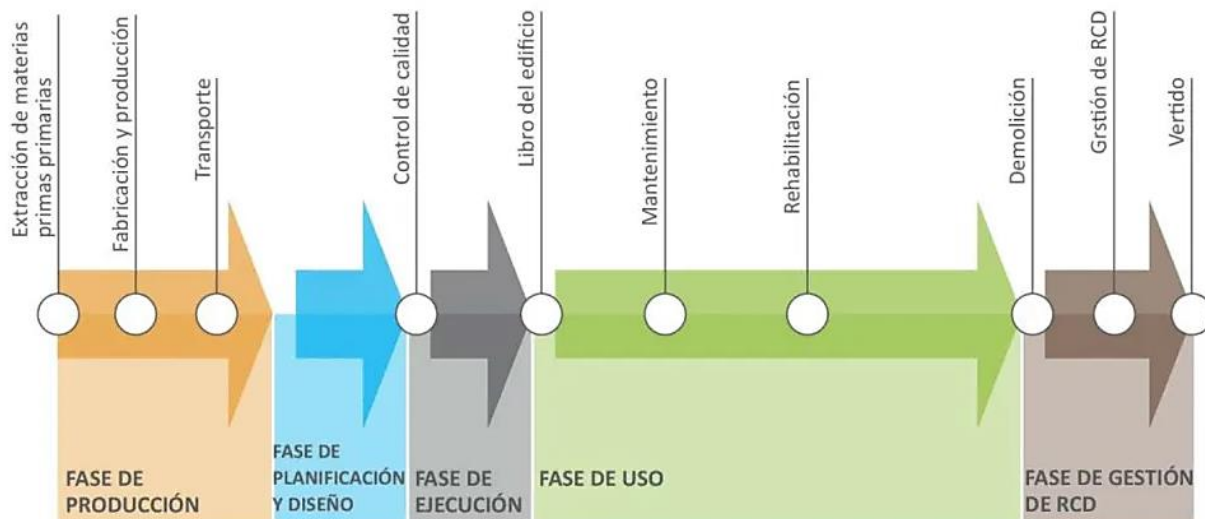
Figura 1. Niveles típicos de costo y dotación de personal en el ciclo de vida del proyecto



Fuente: PMI (2017)

De esta forma, el ciclo de vida de una construcción, a modo general, incluye diferentes etapas, las cuales van desde la extracción de materias primas hasta la demolición de la estructura. Estas etapas se aprecian en la Figura 2, para el presente proyecto únicamente será tomada en cuenta la fase de ejecución, o también llamada fase constructiva:

Figura 2. Diagrama del ciclo de vida de una edificación.



Fuente: Extraído de Fundación CONAMA et al., 2018.

1.2 Costos en la construcción

Según Instituto de Administración de Proyectos de Estados Unidos (PMI, 2004) la gestión y control de los costos de proyectos constructivos incluye los procesos necesarios para asegurar que el proyecto se finalice dentro del presupuesto aprobado. En la figura 3 se muestra la organización general de los principales procesos de esta gestión.

Figura 3. Principales procesos en la gestión de costos de proyecto.



Cada uno de estos procesos se definen de la siguiente manera, según el PMI (2004).

- Planificación de recursos: lo que permite determinar qué recursos (personal, equipos, materiales) y qué cantidad de cada uno de ellos se debe utilizar para desarrollar adecuadamente las actividades del proyecto.
- Estimación de costos: proceso que desarrolla una estimación (aproximación) de los costos de los recursos necesarios para completar las actividades del proyecto.
- Presupuesto de costos: comprende la asignación de todas las estimaciones de costos a cada tarea individual, con el fin de establecer una base de costos en el tiempo para medir el desarrollo del proyecto.
- Control de costos: etapa que permite comparar lo real con lo programado y está relacionado con influir en los factores que ocasionan cambios en la base de costos para asegurar que los cambios sean beneficiosos, determinar cuándo se produce un cambio en la base de costos y gestionar los cambios reales para poder alcanzar los objetivos del proyecto.

La gestión de costos de proyectos está principalmente relacionada con el costo de los recursos necesarios para completar las actividades del proyecto (Solminihaç & Thenoux, 2011), pero para entender la gestión de costos en un proyecto constructivo primeramente es necesario definir el concepto de gestión de proyectos. Según Munns & Bjeirmi (1996) “La gestión de proyectos consiste en definir los requisitos de trabajo, el establecimiento de la medida de trabajo, la asignación de los recursos necesarios, la planificación de la ejecución de la obra, el seguimiento del avance del trabajo y los ajustes a las desviaciones del plan”.

La definición de Gido & Clements (2012, p. 14) dice que “La administración de proyectos es la planeación, organización, coordinación, dirección y control de los recursos para lograr el objetivo del proyecto. El proceso de administración de proyectos consiste en planear el trabajo y luego trabajar el plan”. Sin embargo, Kerzner (2013) dice que la gestión de proyectos:

Consiste en la planeación, organización, dirección y control de los recursos de la empresa, encaminados para alcanzar métodos y objetivos específicos en un tiempo relativamente corto. La representación gráfica que acompaña esta definición se muestra en la (Figura 4), y plantea que la gestión de proyectos tiene como objetivo administrar y controlar los recursos del proyecto dentro de un tiempo, unos costos y un rendimiento definidos, teniendo en cuenta las buenas relaciones con el cliente.

Figura 4. Gestión de proyectos



Fuente: Adaptado de Kerzner (2013).

A su vez, es necesario definir los conceptos de planificación, organización, dirección y control, siendo estos pilares esenciales de la gestión de proyectos. La planificación de los proyectos consiste en definir completamente todos los posibles trabajos requeridos a través del desarrollo de un proyecto documentado en un plan; de tal forma que sea identificado más fácil por los participantes del mismo (Kerzner, 2013).

La organización implica la obtención de los recursos adecuados y personal suficiente para desempeñar el trabajo y la organización de las tareas; como también un buen ambiente de motivación laboral que incite al trabajo en equipo (Gido & Clements, 2012). La dirección consiste en la implantación de los planes necesarios para alcanzar los objetivos del proyecto, teniendo en cuenta personal calificado, capacitación de este y asignación de responsabilidades (Kerzner, 2013)

El control consiste en comparar y rastrear el avance real con lo planeado; el monitoreo de las tareas asignadas al equipo; la presentación de los avances reales, los programas, los costos y valor agregado del trabajo desempeñado y la implementación de acciones correctivas. Para la aplicación de las acciones correctivas es importante identificar los problemas a tiempo antes de que se agraven y la solución debe ser inmediata (Gido & Clements, 2012). El control de costos hace parte de la gestión de proyectos como una función importante en la determinación para el éxito. En este sentido, el control de costos es definido como el registro y análisis de los datos con el fin de tomar medidas correctivas anticipadas. El control de costos

implica gestión en la estimación de los mismos; la contabilidad de los costos, el flujo de caja del proyecto; el flujo de caja de la empresa; los costos directos e indirectos (Kerzner, 2013).

1.2.1 Control de costos

Controlar los costos es el proceso por el cual se monitorea el estado del proyecto para realizar la actualización de los costos del proyecto y permite tramitar los cambios de la línea base de costos (Project Management Institute, 2017). Este control consiste en analizar el desempeño de los costos con el fin de reducirlos. Para ello hay que revisar el plan del proyecto, incluyendo estimaciones de tiempos y costos, identificando varianzas negativas y definiendo acciones correctivas para estas con el fin de mejorar la eficiencia del proyecto (Gido & Clements, 2012)

Para el control de costos eficiente en los proyectos de construcción es necesario la elaboración de los presupuestos conformados en paquetes de trabajos denominados capítulos, subcapítulos y análisis de precios unitario, de una forma lógica y en componentes manejables que ayudan a asegurar que los trabajos se realicen en los tiempos y con los costos planeados y por las personas cuyas responsabilidades tengan asignadas de acuerdo a los paquetes de trabajo establecidos durante la planeación del proyecto para contribuir al alcance de este. Similar a la estructura de división del trabajo la cual es “una descomposición jerárquica, planeada en función de los entregables del proyecto, en paquetes de trabajo que producen los entregables del proyecto. La EDT establece como se ejecutará el proyecto para producir los entregables” (Gido & Clements, 2012, p. 128).

Existen diversos métodos y/o herramientas que permiten llevar un control de los costos del proyecto, entre los cuales se destacan:

- Diagrama de Gantt: El desarrollo del diagrama de Gantt se da hace más de un centenar de años, se considera como el más extendido para la planificación de los proyectos hasta hoy; a pesar de los esfuerzos realizados por los planificadores para la construcción de nuevas técnicas. La reputación del método está dada por su simplicidad y manejabilidad y es considerado como uno de los más antiguos para la gestión de proyectos de construcción (Hajdu, Szenik, & Bardócz, 2013).
- Método Diagrama de Precedencia (PDM): Para la realización de los análisis de datos, la documentación de situaciones técnicas, la situación financiera de los proyectos y la evaluación de los impactos que se puedan presentar con relación al plan original se presenta el método de Diagrama de Precedencia. El método sirve para la planificación de actividades en la gestión de proyectos marcando fechas finales e iniciales y los cambios en los costos reales ejecutados en cualquier momento del proyecto (Kerzner, 2013).

- **Gestión del Valor Ganado (EVM):** es una metodología de gestión que realiza una comparación objetiva del desempeño de ejecución presentado con el programado en las líneas base de costos y cronograma, proporcionando un diagnóstico de la situación actual a través de indicadores e índices de desempeño, y adicionalmente a partir de estos pronosticar el uso total de recursos a emplearse hasta la culminación de la obra. De esa manera optimiza el procedimiento de control del desarrollo de proyecto, brindando ágilmente información pertinente para la toma de decisiones que conduzcan su desarrollo hacia el éxito (Calderón Naranjo, 2017).
- **Uso de software:** De acuerdo Kerzner (2013) para los controles y seguimiento de los proyectos los softwares más sofisticados no remplazan el éxito del mismo; pero si son ayudas importantes para los directores de proyectos en el seguimiento de las tareas. Entre los más destacados se puede mencionar el software Microsoft Project, el cual incluye una extensa y variedad de servicios para la gestión de proyectos tales como control de tiempos, asignación de costos, recursos y el seguimiento a la ejecución de las actividades del proyecto. Además, este software permite ayudar a los directores de proyectos para el desarrollo de los planes de trabajo, asignación de los recursos a las tareas, seguimiento del progreso, la gestión del presupuesto, y el análisis de cargas de trabajo (Salas-Morera, Arauzo-Azofra, García-Hernández, PalomoRomero, & Hervás-Martínez, 2013).

1.3 Gestión de recursos en la construcción

La actividad de construir consiste en transformar e integrar materias primas y principalmente productos semimanufacturados en un bien tangible, que en forma genérica podría denominarse como obra de ingeniería y/o arquitectura. La transformación se realiza por medio de una serie de operaciones relativamente complejas, por lo cual la actividad constituye una industria (Quintal et al. 2008). Una de las principales fuentes de complejidad de la actividad de construir proviene del hecho de que se utilizan muchos tipos de recursos, y además éstos son usados en cantidades relativamente grandes; de ahí que sea una necesidad que las empresas dedicadas a la construcción cuenten con sistemas cuyo objetivo sea administrar adecuadamente los recursos utilizados (Serpell y Alarcón 2003).

Según Domínguez (1993), el 54.51% del total de los costos directos en obras de edificación de tamaño medio y pequeño, corresponden a los materiales, lo cual resalta la necesidad de que todos los recursos sean administrados adecuadamente, de forma tal que la utilidad de una empresa constructora está determinada en gran medida por la efectividad con la que se administran estos recursos (González y Tirado, 1998). Del mismo modo, estudios realizados por Jaillon & Poon (2008) mencionados en la investigación de

Mao et al. (2016), concuerdan que las prácticas que se realizan en países desarrollados demuestran que los gastos elevados se pudieran compensar con factores como el ahorro de fuerza laboral, tiempo, disminución en los defectos de obra y recursos.

Por su parte, Serpell y Alarcón (2001) mencionan que en el área de la construcción existen muchos recursos los cuales pueden ser usados para muchas actividades, y éstos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **Mano de Obra:** este recurso se podría determinar como el más crítico si se asume que un gran porcentaje del valor total de la obra está asociado a este recurso y que una mala utilización de éste podría implicar un aumento importante en los costos del proyecto. Esto se hace más crítico aún en proyectos en que el lugar donde se realizan los trabajos está muy apartado de centros poblados, teniendo que recurrir al traslado de grandes cantidades de obreros o establecer poblados flotantes o campamentos, con el consiguiente aumento en los costos que esto implica.
- **Materiales:** estos recursos son esenciales para lograr avances en un proyecto. El tipo y la cantidad de materiales adecuados podrían no estar disponibles en el momento en que se les necesite quizás debido sólo a un error de comunicación, con consecuencias desastrosas para la obra.
- **Maquinarias:** la falta de maquinarias de construcción ya sea por capacidad o tipo adecuado o por cantidad insuficiente puede ser perjudicial para un avance adecuado del proyecto. Además, este es un recurso que se vuelve muy crítico debido a su alto costo, lo cual justifica el tener una excelente planificación para la utilización de la maquinaria, de modo que se eviten períodos ociosos de éstas, incrementándose así su costo de utilización.

En la actualidad, la reducción de residuos y un mejor aprovechamiento de los recursos están siendo parte del cambio que se desea hacer en los diferentes sectores, incluyendo el sector construcción. Según la Revista 264 del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (2016), entre un 30% y un 40% del agua y la electricidad que se consume en el mundo corresponde al sector construcción. Además de esto, debido a la ausencia de sistemas de gestión de desechos sólidos provoca que el sector genere el cuádruple de desechos que, en los países del primer mundo, donde en estos se generan en promedio 20 kilogramos de basura por metro cuadrado de construcción, mientras que en nuestro país se puede llegar a sumas de hasta 115 kilogramos por metro cuadrado (CFIA, 2016).

En cuanto al consumo del recurso hídrico en la industria y la construcción, este aumentó en un 157% entre 1973 y el 2010, según el Informe de Naciones Unidas sobre el desarrollo de los Recursos Hídricos en el mundo (WWDR, 2014).

Entendido esto, se definen 5 recursos clave que serán tomados como base de estudio para el desarrollo de este proyecto. Dichos recursos se definen a continuación.

1.3.1 Agua

El agua es un recurso esencial para el desarrollo del ser humano, según la Organización de Naciones Unidas (ONU) “forma parte crucial de la adaptación al cambio climático, y es un decisivo vínculo entre la sociedad y el medioambiente” (ONU, 2022). Costa Rica es de los países que cuenta con un aprovechamiento considerable del recurso hídrico por lo que es de gran importancia fortalecer la gestión adecuada del consumo en todos los ámbitos. Actualmente, uno de los objetivos el sector construcción es buscar la optimización del consumo de agua, ya que el sector consume alrededor del 16% de agua potable, mundialmente (Castillo, 2021).

El consumo excesivo de agua, la degradación de los recursos naturales y el impacto del cambio climático amenazan con reducir la disponibilidad de agua en algunas regiones del mundo para el año 2050, especialmente en los países en vías de desarrollo, advierte un estudio de la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (ONU, 2015).

En la edición 230 de la revista construcción de la Cámara Costarricense de la Construcción (CCC) se menciona que la demanda de agua en el país se está incrementando debido a estándares de vida más elevados, crecientes tasas de urbanización y la expansión de actividades productivas como la agricultura para exportación, la construcción y el turismo. Sin duda alguna el agua es un propulsor del desarrollo socio económico del país, sin embargo, si este no es gestionado adecuadamente se convierte en un obstáculo para el propio desarrollo socio económico (Acón, 2019).

1.3.2 Electricidad

Según Chanto (2005) “gerenciar la eficiencia energética tiene como objetivo final, lograr la máxima reducción de los consumos energéticos, con la tecnología actual de la compañía y posteriormente realizar cambios a tecnologías eficientes en la medida de que estos sean rentables de acuerdo con las expectativas financieras de la empresa.

En Costa Rica, la Gestión de consumo energético está vinculada con la norma ISO 50001, la cual tiene como propósito establecer sistemas y procesos que logren mejorar el desempeño energético, incluyendo la eficiencia, uso y consumo de energía (ISO, 2011). Esta Norma Internacional se basa en el marco de la mejora continua Planificar-Hacer-Verificar-Actuar e incorpora la gestión de la energía en las prácticas cotidianas de una organización.

Barbarán (2016) menciona que la energía consumida es una de las variables importantes a tener en cuenta en el ciclo de la vida de un producto, en especial en las fases iniciales donde las actividades realizadas tienen una mayor incidencia sobre la naturaleza. En el caso del transporte, por ejemplo, se está consumiendo energía fósil la cual es irrecuperable, por ello es importante conocer la energía que se consume en estos procesos iniciales para poder plantear propuestas de desarrollo sostenible desde su enfoque de consumo sostenible.

1.3.3 Combustibles

La maquinaria de construcción consume insumos de diferente índole durante su operación. El más importante desde el punto de vista económico es el recurso energético, debido a que se consume en forma constante y en grandes cantidades; algunos tipos de maquinaria utilizan diésel centrifugado (como motoconformadoras, tractores, cargadores frontales, etc.); otros tipos utilizan gasolina (como revolvedoras, malacates, vehículos de carga, etc.); y otros utilizan corriente eléctrica (como soldadoras, equipos de bombeo, esmeriles, pulidoras, etc.) (Solís-Carcaño, Zaragoza-Grifé, & González-Fajardo, 2019).

El control del consumo de los combustibles puede servir para la toma de decisiones financieras; ya que un alto consumo es un hecho que se utiliza para decidir si ha llegado el momento de reemplazar a una maquinaria, cuya utilización ha dejado de ser rentable. El alto consumo de combustible podría estar ocasionado porque la maquinaria ya ha rebasado su tiempo de vida útil, o porque su tecnología ya es obsoleta (Moreno, 2015).

1.3.4 Concreto

El concreto convencional se elabora combinando tres elementos principales: cemento, agua y agregados. A estos se puede añadir un cuarto componente, conocido como aditivo. Al crear la mezcla de concreto, también entra en juego un quinto elemento: el aire. La mezcla adecuada de estos componentes da como resultado una masa plástica que se puede moldear y compactar fácilmente. Sin embargo, con el tiempo, esta masa pierde su plasticidad, volviéndose rígida después de unas horas, y comienza a adoptar las características y propiedades de un cuerpo sólido, transformándose en el concreto endurecido, un material de alta resistencia mecánica (Reyes, 2012).

En un artículo publicado por Scientific American en abril de 1964, S. Brunauer y L.E. Copeland, dos eminentes científicos en el campo del cemento y el concreto, escribieron:

El material de construcción más utilizado es el concreto, comúnmente hecho mezclando cemento Portland con arena, roca triturada y agua. El año pasado, en los EE. UU., 63 millones de toneladas de cemento Portland se convirtieron en 500 millones de toneladas de concreto, cinco veces el consumo por peso de acero. En muchos países, la relación de consumo de concreto con respecto al consumo de acero supera diez a uno. Se estima que el consumo total de concreto en el mundo el año pasado fue de tres mil millones de toneladas, o una tonelada por cada ser humano vivo. El hombre no consume ningún otro material, excepto el agua, en tales cantidades.

Actualmente, es el material de construcción más ampliamente utilizado en el mundo con una producción mundial cercana a los 13,000 millones de m³ por año (Arana, 2016).

En este contexto, llevar un control riguroso del consumo de concreto en los proyectos es vital para maximizar la eficiencia y garantizar la calidad de las estructuras construidas. Dado que el concreto es el material de construcción más utilizado globalmente, su manejo adecuado no solo ayuda a optimizar costos y minimizar desperdicios, sino que también asegura que se cumplan los estándares de resistencia y durabilidad. Así, al gestionar el consumo de este material, se contribuye a la sostenibilidad del proyecto, se cumplen las normativas requeridas y se asegura que el concreto, al endurecerse, cumpla con sus funciones estructurales de manera efectiva, garantizando infraestructuras seguras y de alta calidad.

1.3.5 Residuos de construcción y demolición (RCD)

Los RCD son aquellos residuos que proceden de la construcción, demolición de los edificios, obras públicas y de urbanización, y se pueden clasificar según la actividad de la que provengan (Aneiros, 2008), tal como se muestra en la Figura 5. Estos residuos incluyen los provenientes de construcción o demolición de estructuras residenciales y no residenciales, y los proyectos de repavimentación, reparación de puentes y limpieza asociada con desastres hechos por el hombre o la naturaleza, como huracanes, terremotos, tornados e inundaciones (Wen-Ling, Dung-Hung, Ni-Bin, & Kuen-Song, 2002).

Figura 5. Clasificación general de los RCD atendiendo a la actividad generadora.

	OBJETO	ELEMENTOS PRINCIPALES	CONSIDERACIONES
DEMOLICIÓN	Viviendas	Antiguas: marroquinería, ladrillo, madera, yeso, tejas.	Los materiales dependen de la edad del edificio y del uso concreto del mismo, en el caso de los de servicio.
		Recientes: ladrillo, hormigón, hierro, acero, metales y plásticos.	
	Otros edificios	Industriales: hormigón, acero, ladrillo, mampostería.	
		Servicios: hormigón, ladrillo, mampostería, hierro, madera.	
	Obras públicas	Mampostería, hierro, acero, hormigón, armado.	Los materiales dependen mucho de la edad y del tipo de infraestructura a demoler. No es una actividad frecuente.
CONSTRUCCIÓN	Edificación y obras públicas	Hormigón, hierro, acero, ladrillos, bloques, tejas, materiales cerámicos, plásticos, materiales no féreos	Normalmente se reutilizan en gran parte.
	Reparación y mantenimiento	Suelo, roca, hormigón, productos bituminosos	Originados básicamente por recortes, materiales rechazados por su inadecuada calidad y roturas por deficiente manipulación.
	Reconstrucción y rehabilitación	Viviendas: cal, yeso, madera, tejas, materiales cerámicos, pavimentos, ladrillo. Otros: hormigón, acero, mampostería, ladrillo, yeso, cal, madera.	Generación de residuos poco significativos en el caso de edificación.

Fuente: Aneiros, 2008

La generación de RCD se encuentra íntimamente ligada a la actividad de la industria de la construcción, como consecuencia de demolición de edificaciones e infraestructura (vías, puentes, entre otras obras civiles) que han quedado obsoletas o por construcciones nuevas. Se ha encontrado que, en el mundo, alrededor del 15 al 25% de los residuos generados pertenecen a este grupo (Weil, Jeske, & Schebek, 2006).

Wen-Ling et al. (2002) mencionan que los RCD están compuestos, en su mayoría, por rocas, ladrillos, paneles de yeso, hormigón, acero, vidrio, madera, tejas, elementos de plomería, techos de asfalto, elementos para calefacción y electricidad, entre otros. Pero debido al cambio constante de la industria de la construcción,

la composición de los escombros es altamente variable en el tiempo. Actualmente ha aumentado la fracción de metales (acero, aluminio, cobre, plomo, entre otros), vidrio, y en particular, compuestos sintéticos como polímeros y aditivos químicos).

Según los datos de la ONU, la industria de la construcción es responsable de generar cerca de 40 % de los residuos (Zárate, 2016). De acuerdo con Abarca y Leandro (2016), se determinó que en nuestro país los materiales más desechados corresponden al concreto armado materiales de paredes livianas, residuos de yeso, mortero y de pega. Los tres materiales más reutilizados son la madera, cobertura vegetal y residuos de piedras naturales, mármoles y granito. Los metales corresponden a los materiales más reciclados.

Por su parte, es importante tener en cuenta las principales dificultades que se pueden presentar para la implementación de gestión de RCD. Según Chan y Li (2001) algunas de estas dificultades son:

- Los altos costos iniciales
- La falta de conocimiento de métodos de gestión efectivos
- El desinterés del personal involucrado en la estrategia, y falta de compromiso desde la cabeza de la organización para exigir a sus empleados el correcto uso y desarrollo del plan de implementación.
- La poca o nula coordinación que normalmente existe entre el gobierno, la industria y el comercio, que involucran, por ejemplo, la nula financiación de iniciativas de implementación, falta de promoción de medidas de minimización de residuos, bajas tasas de disposición en escombreras, entre otras.

1.3.6 Problemáticas en la gestión de recursos

Si bien es cierto, en Costa Rica existen diversas problemáticas con respecto al tema de gestión de recursos, como las que se mencionan a continuación, según en CFIA (2016): falta de incorporación de políticas públicas y normativas que incentiven la construcción sostenible, exceso de tramitología y debilidad del Estado monitoreando temas de sostenibilidad, bajo involucramiento del sector financiero a incentivar la construcción sostenible, falta de capacitación de profesionales en el tema de sostenibilidad, entre otros.

Sin embargo, en Costa Rica, se han aplicado certificaciones de edificios sostenibles voluntarias como LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), la norma RESET (Leadership in Energy and Environmental Design) y EDGE (Excellence in Design for Greater Efficiencies). No obstante, no existe ninguna metodología obligatoria para la estimación y registro del consumo de recursos para la gestión eficiente de estos durante el proceso constructivo de proyectos ingenieriles. Tampoco existe, a nivel nacional, una herramienta para la guía de buenas prácticas a seguir durante el proceso constructivo de edificaciones (Solís Acuña & Mata Abdelnour, 2022).

1.4 Filosofía Lean Construction

Según Pons Achell (2014) los principales errores del modelo tradicional de construcción que se presentan desde la planificación hasta la puesta en ejecución, uso y mantenimiento, los siguientes:

- Escasa formación y experiencia en los nuevos sistemas de gestión y planificación de obras.
- Control de calidad ineficiente basado en métodos estadísticos que están lejos de garantizar el cien por cien de la calidad.
- Poco rigor en el cumplimiento de las medidas de seguridad.
- Demasiados errores en los proyectos.
- Falta de interés en la formación y capacitación de los trabajadores.
- Falta de coordinación entre los actores intervinientes en las diferentes etapas del proyecto.
- Falta de transparencia y comunicación entre las partes interesadas.
- Baja productividad comparada con otras industrias.

Todo esto hace que se alargue el tiempo estimado de las obras y se entreguen fuera del plazo programado, se produzcan un aumento en los costos, aumenten las reclamaciones debidas al descontento del cliente con un producto de baja calidad, haya excesivos accidentes laborales y gran incertidumbre y variabilidad respecto a los tiempos previstos de entrega de proyectos (Pons Achell, 2014). A su vez se suma el hecho de que el sector construcción está en constante crecimiento, cada vez son más las obras que se construyen, surgiendo así la necesidad de tener una mejor, más fluida, eficiente y rápida gerencia total del proyecto desde el diseño hasta el uso del edificio o infraestructura creada

Los primeros pensamientos de Lean Construction como filosofía de trabajo tienen sus orígenes en Japón cerca del año 1950, los cuales fueron aplicados en el denominado sistema de producción Toyota (TPS- Toyota production system) elaborado por los ingenieros Shigeo Shingo y Taiichi Ohmo. La idea fundamental en el sistema de producción de Toyota era la producción de cantidades de productos relativamente pequeñas a un costo muy bajo, empleando los conceptos de eliminación del desperdicio y la mejora continua (Guzmán, 2014). Este nuevo sistema lo denominaron Lean Manufacturing o Lean Production, siendo esta una filosofía aplicable al sector industrializado y se enfoca principalmente en la reducción de los principales tipos de desperdicios (sobreproducción, inventario, tiempo de espera, etc.), además tiene nuevas metodologías que brindan resultados de productividad mucho mayores a los que se tenían en esa época.

Introduciendo este concepto al campo de la construcción, se han hecho muchos esfuerzos por mejorar los problemas en la administración general de proyectos de construcción, es así como en busca de una solución a esto en 1992 el ingeniero irlandés Lauri Koskela publica un documento llamado “Application of the

New Production Philosophy to Construction”; donde se muestran los primeros acercamientos de la filosofía del “Lean Production” a la construcción (Guzmán, 2014).

La filosofía Lean Construction considera la construcción ya no como solo una transformación, sino como un flujo de materiales y recursos para la obtención de un producto, para que de esta manera se puedan aplicar los principios de la producción Lean. Así, existen numerosos estudios, como el de la Universidad de Coahuila en México, donde se concluye que la aplicación de Lean Construction ha supuesto un ahorro en tiempo de un 26,56%, lo que repercute en una disminución del precio de venta de la vivienda al reducir los costos indirectos y directos de mano de obra (Martínez et al., 2019).

El Instituto Lean Construction (ILC) ofrece una filosofía que se enfoca en una metodología dirigida hacia la administración de la producción en la edificación, cuya función principal es la minimización de las actividades que no aportan valor (entiéndase como pérdidas o desperdicios) (Montilla, 2018). Lo anterior al generar un sistema de construcción delgada que minimice los desperdicios, para lo cual usa herramientas puntuales aplicadas en el proceso de desarrollo de la obra (Kömmerring, 2019). De esta forma, su objetivo es lograr una construcción sin accidentes, sin desperfectos a los equipos, instalaciones, entorno y comunidad, que sea de acuerdo al contrato, sin errores, en el plazo pactado, respetando costos y con un enfoque hacia la reducción de las pérdidas, es decir, hacia las actividades que no generen valor (Maia et al., 2013).

1.4.1 Principios del Lean Construction

El pensamiento Lean tiene varios principios básicos que fueron definidos por Womack y Jones (1996), los cuales se describen a continuación.

Principio 1: Lean es crear valor para el cliente

En el enfoque Lean, el valor se define desde la perspectiva del cliente, entendiendo sus necesidades y expectativas. Esta comprensión permite diseñar productos y procesos de fabricación de manera más eficiente. El valor es fundamental para el pensamiento Lean, ya que se refiere a la apreciación del cliente por un producto o servicio que satisface sus necesidades en el momento y al precio adecuado. En una empresa Lean, existen dos tipos de clientes: el externo, que incluye al usuario final o intermediarios, y el interno, que es cualquier persona dentro de la cadena de valor que recibe materiales o información de procesos anteriores.

Principio 2: Value Stream (cadena de valor o flujo de valor)

Entiéndase por cadena de valor todas las actividades actualmente necesarias para la transformación de materiales e información en un producto o servicio terminado y entregado al cliente, desde la concepción de su diseño hasta su lanzamiento y desde el pedido hasta la entrega. Según el sistema Lean, desde el

primer momento se asume que algunas de estas actividades aportan valor añadido y otras no. El flujo de valor de una empresa normalmente abarca desde que entra el pedido de un cliente hasta que se hace efectivo el cobro y desde que se realiza el pedido de la materia prima hasta que sale transformada hacia el cliente (ver figura 6).

Figura 6. Representación de la cadena o flujo de valor según la filosofía Lean



Fuente: Pons Achell, 2014.

Principio 3: Flujo

Una vez que se ha identificado el valor para el cliente y mapeado la cadena de valor, el siguiente paso es garantizar que las operaciones que generan ese valor fluyan sin interrupciones. En la mayoría de los procesos, las actividades que realmente añaden valor, según la percepción del cliente, son una pequeña parte del total. El enfoque Lean se centra en identificar y eliminar la mayor cantidad posible de actividades que no agregan valor, con el fin de mejorar la productividad y ofrecer más valor al cliente.

Principio 4: Sistema Pull

El sistema Pull es un método de control de producción en el que las actividades situadas aguas abajo, ya sea en las mismas instalaciones o en diferentes ubicaciones, indican sus necesidades a las actividades aguas arriba de la cadena de valor. Esto se hace, a menudo, mediante tarjetas Kanban, especificando qué material o elemento se necesita, en qué cantidad, cuándo y dónde. En este sistema, el proceso del proveedor no produce nada hasta que el cliente lo solicita, permitiendo que sea la demanda del cliente la que impulse la producción, en lugar de empujar los productos hacia el cliente sin tener en cuenta la demanda real. Este

enfoque es esencial en el Just-in-Time, ya que busca eliminar el exceso de inventario y la sobreproducción, en contraste con el sistema tradicional Push, que produce en grandes lotes sin considerar el ritmo de trabajo ni la demanda real.

Principio 5: Perfección

El Lean Lexicon define la perfección como un proceso que entrega valor puro, según la definición del cliente, sin ningún tipo de desperdicio. Para alcanzar esta perfección, son esenciales tres herramientas de la cultura Lean: Kaizen (mejora continua), la estandarización de procesos y el ciclo de PDCA (Plan-Do-Check-Act). A medida que las organizaciones precisan el valor, mapean toda la cadena de valor, permiten que las etapas que generan valor fluyan de manera constante y dejan que los clientes "tire" el valor hacia ellos (Pull), las personas involucradas se dan cuenta de que no hay límites para la mejora continua, ofreciendo así un producto o servicio cada vez más alineado con las verdaderas necesidades del cliente.

Principio 6: Transparencia

La transparencia juega un papel crucial al permitir que todos los involucrados en el proceso, como subcontratistas, proveedores, ensambladores, distribuidores, consumidores y empleados, accedan a información relevante. Esto facilita la identificación de mejores metodologías para crear valor. Además, genera un feedback casi instantáneo y muy positivo para los empleados que implementan mejoras, lo que es fundamental en el trabajo Lean y actúa como un fuerte motivador para continuar con los esfuerzos de mejora. La descentralización de la toma de decisiones, apoyada por esta transparencia y el desarrollo de habilidades, capacita a los participantes del proyecto para recibir información sobre el estado de los sistemas de producción y tomar acciones pertinentes.

Principio 7: Capacitación

El enfoque Lean requiere que todos los empleados involucrados en la cadena de valor mantengan una atención constante para asegurar el flujo de trabajo y eliminar el desperdicio. Para alcanzar este objetivo, es fundamental proporcionar a los empleados la información adecuada de manera oportuna, así como otorgarles la autoridad para resolver problemas y promover la mejora continua. La búsqueda de la perfección no puede depender únicamente del esfuerzo de los gerentes; es esencial que todos los empleados estén comprometidos y capacitados para satisfacer las necesidades del cliente, generar más valor, reducir desperdicios y aumentar la rentabilidad del negocio. Cuando estos trabajadores capacitados colaboran entre sí a lo largo de toda la cadena de valor, se abre un nuevo y poderoso potencial para lograr mejoras significativas.

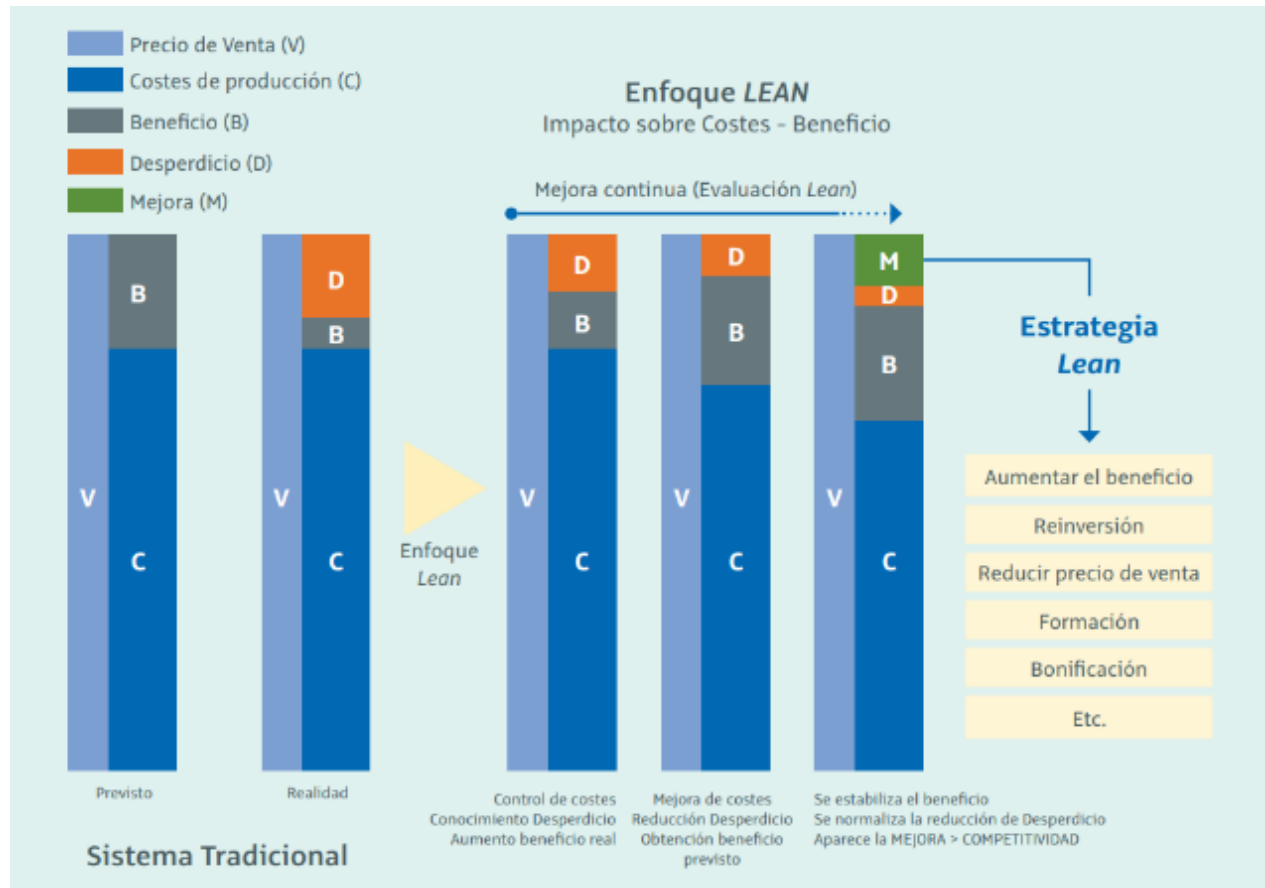
1.4.2 Gestión de recursos según Lean Construction

Cuando se trata de mejorar la productividad de los materiales, el desperdicio de un recurso generalmente viene acompañado del consecuente desperdicio de otros recursos asociados, por ejemplo, si se está instalando la tubería de la bomba para el vaciado del concreto en un lugar donde aún se tiene interferencias como: montículos de arena, material de encofrado, barras de acero o maquinarias que dificultan la instalación, además de desperdiciar materiales como el concreto también se están gastando horas hombre, herramientas y equipos para preparar la habilitación del camino (Galarza, 2011).

El concepto de desperdicio en general es similar para diversos autores, Ghio (2001) lo define como “Toda aquella actividad que tiene un costo pero que no le agrega valor al producto final”. Por su parte, Formoso (1996) amplía el concepto indicando que se refiere a “Toda ineficiencia que se refleja en el uso de equipos, mano de obra y materiales en cantidades mayores a aquellas necesarias para la construcción de una edificación”. Tomando esto en cuenta, se puede considerar como desperdicio de materiales a todo consumo de recurso material en cantidades mayores a las necesarias para la elaboración de un producto de construcción de acuerdo con las especificaciones reflejadas en los documentos técnicos o a los criterios establecidos por los encargados de obra.

La figura 7 ilustra las principales diferencias en el enfoque y planteamiento entre un sistema tradicional de gestión de proyectos (a la izquierda del gráfico) y un sistema basado en la filosofía Lean (a la derecha). En el enfoque tradicional, el desperdicio y la improductividad no se consideran desde una perspectiva económica. En contraste, el enfoque Lean implica que, desde el inicio del proyecto, todos los agentes y actores involucrados colaboran para maximizar el valor para el cliente, al mismo tiempo que minimizan las actividades, gestiones y transacciones innecesarias que no aportan valor. Este modelo se centra en los intereses colectivos de todos los participantes, en lugar de los intereses particulares de cada uno.

Figura 7. Enfoque tradicional vs. Enfoque Lean en la gestión de proyectos



Fuente: Pons Achell, 2014.

Un ejemplo evidente de una gestión inadecuada de un proyecto se manifiesta en la generación de desperdicios de recursos valiosos, como el concreto, el cual es uno de los recursos clave que se analizarán en este proyecto. Soibelman (1993) propone cuatro posibles causas de desperdicio para este material. En primer lugar, se menciona a la diferencia entre la cantidad entregada y la solicitada, esta situación se da por fallas en los sistemas de calidad de los proveedores lo que podría ser imperceptible si es que no se mantiene un seguimiento adecuado de la cantidad de concreto que se ha entregado efectivamente en obra.

Otra causa significativa encontrada por el autor es el uso de equipos en mal estado (bombas, encofrados, tuberías) que facilitan la filtración de material, así mismo se señala a los pedidos excesivos como un motivo importante de pérdida de material, en su propia investigación sobre desperdicio de materiales Formoso (1996) detectó índices de desperdicio de hasta 25% en algunos casos debido a este motivo. Finalmente, ambos autores coinciden en que otra causa fundamental es el espesor excesivo de los elementos

estructurales debido a la falta de control durante la colocación de puntos de referencia o a un mal trabajo en la colocación del encofrado. En el estudio mencionado anteriormente Formoso encontró en una de las obras analizadas espesores de losa hasta 15% mayores a las especificadas en los planos del proyecto (Galarza, 2011).

A continuación, en la figura 8 se muestra una estimación de desperdicios en obras:

Figura 8. Desperdicios en obras

Estimado de desperdicio en obras de edificaciones		
Porcentaje del costo total de obra		
Ítem	Descripción	%
Restos de material	Restos de mortero	5%
	Restos de ladrillo	
	Restos de madera	
	Limpieza	
	Retirada de material	
Espesores adicionales de mortero	Tarrajeo de techos	5%
	Tarrajeo de paredes internas	
	Tarrajeo de paredes externas	
	Contrapisos	
Dosificaciones no optimizadas	Concreto	2%
	Mortero de tarrajeo de techos	
	Mortero de tarrajeo de paredes	
	Mortero de contrapisos	
	Mortero de revestimientos	
Reparaciones y re-trabajos no computados en el resto de materiales	Repintado	2%
	Retoques	
	Corrección de otros servicios	
Proyectos no optimizados	Arquitectura	6%
	Estructuras	
	Instalaciones sanitarias	
	Instalaciones eléctricas	
Pérdidas de productividad debidas a problemas de calidad	Parada y operaciones adicionales por falta de calidad de los materiales y servicios anteriores	3.5%
Costos debidos a atrasos	Pérdidas financieras por atrasos de las obras y costos adicionales de administración, equipos y multas	1.5%
Costos en obras entregadas	Reparo de patologías ocurridas después de la entrega de obra	5%
Total		30%

Fuente. Orihuela, 2013.

Las pérdidas o desperdicios pueden subdividirse en dos grupos de acuerdo con el modelo de producción; las controlables y las no controlables. Las pérdidas controlables ocurren en el área de competencia de la administración de obra y obedecen a las causas administrativas, de recursos, o de control. Sin embargo, no todas las pérdidas del sistema pueden ser evitables, como ocurre con aquellas atribuidas a la influencia del clima y los proveedores. Respecto de estos últimos se recomienda una gestión de los mismos mediante la planificación anticipada (Delgado, 2007).

Con el fin de eliminar todas estas demoras se hace necesario identificar las actividades que no agregan valor al producto y todas aquellas que si lo hacen, esto con el fin de incrementar las segundas y tratar de eliminar las primeras. Lo anterior se logra mediante mediciones de diferentes actividades, encuestas con los maestros de obra, toma de tiempos de transporte y ejecución de una determinada actividad e identificación de los posibles factores que pueden afectar el rendimiento de una actividad (García, 2012).

Identificar las causas de los desperdicios es fundamental para plantear una estrategia de disminución de los mismos, se debe determinar el problema raíz, para poder analizarlo y plantear la mejor forma de eliminarlo. Con el fin de colaborar en la mitigación de estos fenómenos, el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA) está procurando la implementación de buenas prácticas en materia de construcción sostenible. Precisamente, la construcción sostenible consiste en crear, planificar y desarrollar de forma responsable en el ambiente, optimizando y respetando los recursos naturales existentes bajo principios ecológicos (INVU, 2022).

Capítulo 2: Marco metodológico

En este capítulo se presenta el marco metodológico, en el cual se detalla el enfoque, los métodos y procedimientos que se emplearán para desarrollar el presente proyecto, tomando como base su implementación en el proyecto Babylon de la constructora Tabor Reimers. Esta metodología está orientada a alcanzar los objetivos establecidos, lo cual permita asegurar una implementación eficaz de prácticas Lean, contribuyendo así a la reducción de costos y a la mejora de la eficacia en el manejo de recursos críticos en el proyecto.

2.1 Tipo de investigación

A continuación, se detalla el enfoque de investigación y los métodos utilizados para la recolección de información, los cuales fueron esenciales para garantizar la validez y relevancia de los resultados obtenidos.

2.1.1 Enfoque de investigación

El enfoque de investigación seleccionado para este proyecto es de tipo mixto, el cual combina métodos cualitativos y cuantitativos, en donde este enfoque será crucial para abordar de manera integral los objetivos del proyecto.

Primeramente, el método cualitativo se aplicó para explorar y comprender en profundidad las experiencias, percepciones y conocimientos de las personas involucradas en el proyecto Babylon, lo cual permitió obtener una visión detallada de las prácticas actuales de gestión de recursos, las dificultades enfrentadas y las oportunidades de mejora desde la perspectiva de los profesionales en campo. A su vez, se realizó una investigación documental cualitativa para conocer cómo se han implementado las prácticas Lean en otros proyectos de construcción tanto a nivel nacional como internacional, permitiendo así identificar prácticas que han sido más efectivas en la optimización de recursos críticos y evaluar su potencial adaptabilidad al contexto del proyecto Babylon.

Con respecto al enfoque cuantitativo, este se utilizó para medir y analizar los datos relacionados con el uso de recursos críticos (concreto, agua, electricidad, combustibles y RCD). A partir de esto se podrá hacer

una evaluación precisa del estado actual de la gestión de recursos identificando patrones, ineficiencias y áreas donde los costos pueden ser optimizados. Los datos cuantitativos, como el consumo de recursos y sus costos asociados, proporcionan un fundamento sobre el cual basar las conclusiones del proyecto.

2.1.2 Recolección de información

La forma de recolección de información incluye métodos documentales y de campo. La recolección documental implica una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre Lean Construction y la gestión de recursos críticos, lo cual incluye consultar libros, artículos académicos, informes técnicos y estudios previos que proporcionen conceptos teóricos, prácticas efectivas y casos de estudio relevantes. Con esta información se podrá establecer una base teórica sólida que permita identificar las mejores prácticas y metodologías aplicadas en otros proyectos similares.

La recolección de campo implica obtener datos específicos sobre el proyecto Babylon, esto mediante una recolección de información directa en el sitio de construcción. Para esto se llevaron a cabo observaciones directas de los procesos de gestión de recursos, entrevistas con el personal involucrado, entre otras. A partir de este enfoque fue posible obtener una visión práctica y detallada de la situación actual en el sitio del proyecto y de los desafíos específicos enfrentados.

La combinación de estos métodos proporcionará una perspectiva más integral, permitiendo así una evaluación completa de la gestión de recursos críticos y las prácticas Lean en el contexto del proyecto Babylon.

2.2 Categorías y variables

Según Rivas (2015) las categorías surgen a partir de la revisión del estado del arte o del marco teórico y con ellas se definen cuáles son los conceptos que se usarán para explicar el tema de investigación, además, estas también delimitan cuales son los límites y alcances de la investigación. Por su parte, las variables en un estudio de investigación constituyen todo aquello que se mide, la información que se colecta o los datos que se recaban con la finalidad de responder las preguntas de investigación, las cuales se especifican en los objetivos (Keever y Novales, 2016).

Para efectos de este proyecto se decidió estudiar únicamente cinco recursos (agua, electricidad, combustibles, concreto y residuos de construcción y demolición - RCD), la selección de estos se realizó en conjunto con la empresa constructora, priorizando aquellos que presentan un impacto significativo en los costos y consumos del proyecto. Si bien existen otros recursos que podrían considerarse críticos, estos cinco fueron elegidos por su facilidad de medición cuantitativa y disponibilidad de datos, lo que permite una

evaluación más precisa de su gestión. La empresa cuenta con registros de consumo y costos asociados a estos recursos, lo que facilita el análisis de desperdicios y la implementación de estrategias de mejora basadas en datos concretos.

2.2.1 Categorías

En el cuadro 1 se presentan las categorías y subcategorías correspondientes a cada objetivo específico del proyecto.

Cuadro 1. Categorías y subcategorías

Objetivo específico 1			
Categoría	Definición conceptual	Subcategoría	Definición conceptual
Recursos en la construcción	Se refiere a todos los insumos y elementos necesarios para llevar a cabo un proyecto de construcción.	Gestión de recursos	Incluye todos los aspectos relacionados con la utilización y administración de los recursos en el proyecto.
		Concreto	Análisis del uso y manejo del concreto en el proyecto.
		Agua	Análisis de la gestión y uso eficiente del recurso hídrico en el proyecto.
		Electricidad	Evaluación del consumo eléctrico durante el desarrollo del proyecto.
		Combustibles	Estudio de los tipos y cantidad de combustibles utilizados en el proyecto.
		Residuos de construcción y demolición (RCD)	Gestión de los residuos generados en el proyecto durante las etapas de construcción y demolición.
		Eficiencia y pérdidas de recursos	Evaluación de la eficiencia en el uso de los recursos y análisis de pérdidas o desperdicios
Objetivo específico 2			
Categoría	Definición conceptual	Subcategoría	Definición conceptual
Lean Construction	Abarca la aplicación de los principios Lean específicamente en el contexto de la construcción, con el objetivo de mejorar	Prácticas Lean en gestión de recursos	Métodos y técnicas Lean aplicadas para mejorar la eficiencia en la utilización y manejo de recursos en proyectos de construcción, con el objetivo de reducir desperdicios, costos y optimizar procesos.
		Concreto	Revisión de técnicas Lean para optimizar el uso de concreto.
		Agua	Revisión de técnicas Lean para optimizar el consumo de agua.

	la eficiencia y reducir costos.	Electricidad	Revisión de técnicas Lean para optimizar el consumo energético.
		Combustibles	Revisión de técnicas Lean para optimizar el uso consumo de combustibles.
		Residuos de construcción y demolición (RCD)	Revisión de técnicas Lean para optimizar el manejo eficiente de los residuos.
Objetivo específico 3 y Objetivo específico 4			
Categoría	Definición conceptual	Subcategoría	Definición conceptual
Sistemas de mejora continua	Desarrollo e implementación de sistemas que permitan la aplicación continua y efectiva de mejoras en la gestión de recursos dentro de proyectos de construcción.	Desarrollo de sistemas de prácticas Lean	Crear y/o diseñar un sistema de prácticas Lean adaptado a la gestión de recursos en un proyecto, incluyendo su implementación y evaluación de efectividad.
		Implementación del sistema	Poner en práctica las estrategias y procedimientos para aplicar el sistema de prácticas Lean.
		Evaluación del sistema	Medir la efectividad del sistema propuesto, evaluar los resultados y hacer ajustes de ser necesario.
		Manual de prácticas Lean	Documento que incluye procedimientos para aplicar el sistema Lean, así como guías para su uso en futuros proyectos.

2.2.2 Variables

En el cuadro 2 se presentan las variables correspondientes a cada objetivo específico del proyecto.

Cuadro 2. Variables de cada objetivo

Objetivo específico 1	
Variable	Definición conceptual
Volumen de concreto utilizado	Cantidad total de concreto usado en el proyecto
Costo de concreto	Gastos asociados con la adquisición y aplicación del concreto
Desperdicio de concreto	Cantidad de concreto que no se utiliza y se descarta
Volumen de agua consumida	Cantidad total de agua utilizada en el proyecto
Pérdidas de agua	Cantidad de agua desperdiciada o no contabilizada
Consumo energético	Cantidad de electricidad utilizada durante el proyecto
Costo de electricidad	Gastos relacionados con el consumo de electricidad
Cantidad de combustible utilizado	Volumen total de combustibles consumidos
Costo de combustibles	Gastos asociados con el uso de combustibles
Volumen de RCD generado	Cantidad total de residuos producidos
Tasa de reciclaje de RCD	Porcentaje de residuos reciclados o reutilizados

Objetivo específico 2	
Variable	Definición conceptual
Eficiencia de prácticas Lean	Medida del impacto de las prácticas libres en la optimización del uso de recursos y reducción de desperdicios
Reducción de desperdicios	Grado en el que las prácticas Lean han logrado disminuir el desperdicio de recursos
Costos ahorro	Cantidad de costos ahorrados gracias a la implementación de prácticas Lean
Objetivo específico 3	
Variable	Definición conceptual
Impacto del sistema propuesto	Medida de cómo el nuevo sistema de prácticas le mejora la gestión de los recursos críticos en el proyecto
Adopción del sistema	Grado en que el sistema de prácticas Lean es implementado y aceptado en el proyecto
Resultados de la implementación	Beneficios tangibles obtenidos de la implementación del sistema
Objetivo específico 4	
Variable	Definición conceptual
Calidad del manual	Evaluación de la claridad y utilidad del manual desarrollado

2.3 Sujetos de Información

Para la investigación y desarrollo del proyecto, se ha identificado una variedad de sujetos de información clave que aportarán perspectivas valiosas sobre la gestión de recursos críticos la implementación de prácticas Lean en el proyecto Babylon. Estos sujetos se dividen en dos grupos principales: profesionales encargados del proyecto y personal operativo en campo.

Entre los profesionales encargados del proyecto se incluye a los directores de proyecto, al ingeniero residente, arquitectos y responsables de salud ocupacional. Los ingenieros y arquitectos desempeñan un papel crucial en el diseño y planificación de las estrategias de construcción, mientras que los responsables de salud ocupacional supervisan las prácticas relacionadas con la seguridad y el manejo de recursos en el sitio. La información proporcionada por estos profesionales será fundamental para entender las prácticas actuales, identificar áreas de mejora y evaluar la viabilidad de las prácticas Lean propuestas.

A continuación, se presenta el cuadro 3 en el cual se detalla la información de los profesionales a quienes se estará entrevistando:

Cuadro 3. Sujetos de información

Sujeto de información	Rol en el proyecto	Información por brindar
Geoffrey Soto	Director de proyecto	Perspectiva general sobre la gestión de recursos y la implementación de prácticas Lean a nivel macro en la empresa.
Rodrigo Jiménez	Director de proyecto	Detalles técnicos y operativos sobre el uso y la optimización de recursos críticos.
Esteban Alpízar	Ingeniero Residente	Información sobre la ejecución diaria del proyecto y cómo se gestionan los recursos en el campo.
Ignacio Castro	Arquitecto de proyecto	Perspectiva sobre el diseño del proyecto y cómo este influye en la eficiencia y uso de recursos.
Carolina Piedra	Encargada de Salud Ocupacional	Información sobre el manejo de RCD y su impacto en la salud y seguridad laboral.
Lenin López	Maestro de Obras	Visión y experiencia sobre la gestión de recursos en el día a día durante la ejecución del proyecto en campo.
Jorge Castro	Arquitecto de la empresa Tabor Reimers	A pesar de que no es uno de los profesionales encargados directamente del proyecto Babylon, el Arq. Jorge Casto puede brindar información muy valiosa sobre la implementación de Lean Construction de forma general en la empresa.

Con respecto a los trabajadores que se encuentran en campo, estos representan el segundo grupo de sujetos de información, el cual está directamente involucrado en las actividades diarias de construcción y manejo de recursos. Su perspectiva es crucial para obtener datos sobre el uso real de los recursos, las dificultades prácticas y la implementación de las prácticas que sean propuestas. A su vez, su

retroalimentación ayudará a ajustar las prácticas y asegura que las recomendaciones sean realistas y aplicables en el contexto operativo.

A partir de la combinación de las perspectivas de estos dos grupos será posible tener una comprensión completa de la gestión de recursos actual en la empresa, así como asegurar una implementación efectiva de las prácticas Lean a proponer.

2.4 Fuentes de Información

Según Cabrera (2010), las fuentes primarias de información son aquellas que contienen información nueva y original, que no ha sido sometida a ningún tratamiento posterior, en dónde para efectos de este proyecto se considerarán como las principales fuentes primarias las siguientes:

- **Entrevistas con los profesionales encargados del proyecto:** se llevarán a cabo entrevistas con ingenieros, arquitectos y responsables de salud ocupacional para obtener información detallada sobre las prácticas actuales de gestión de recursos y los desafíos enfrentados en el proyecto Babylon.
- **Cuestionario a trabajadores en campo:** se aplicará un cuestionario a los trabajadores directamente involucrados en el manejo de recursos en el sitio de construcción, proporcionando así datos sobre el uso práctico de los recursos, las dificultades encontradas y la efectividad de las prácticas actuales.
- **Observación directa:** la observación en el sitio de construcción permitirá una evaluación directa de cómo se manejan los recursos críticos, la implementación de las prácticas Lean y la identificación de áreas de mejora.

Con respecto a las fuentes secundarias, Cabrera (2010) menciona que estas son el resultado de las operaciones que componen el análisis documental, es decir, alguien ha trabajado sobre el contenido de las mismas. Para desarrollar este proyecto se tomará como base las siguientes fuentes secundarias:

- **Revisión de literatura académica y técnica:** se revisarán estudios previos, artículos académicos y publicaciones sobre prácticas Lean en la gestión de recursos críticos en proyectos de construcción.
- **Revisión de proyectos anteriores:** se analizarán reportes y casos de estudio de proyectos similares realizados por la constructora Tabor Reimers y otras empresas, los cuales ofrecerán información sobre la aplicación previa de prácticas Lean.
- **Normativas:** se consultarán normativas relevantes sobre la gestión de recursos y prácticas línea en construcción.

2.5 Técnicas e instrumentos de recolección

Para llevar a cabo la recolección de datos e información necesaria para cumplir con los objetivos del proyecto, se emplearán diversas técnicas e instrumentos los cuales se aplicarán de manera sistemática a diferentes sujetos de información y fuentes, asegurando una recopilación relevante de datos.

2.5.1 Entrevistas

Se realizaron entrevistas a los profesionales encargados del proyecto, incluyendo ingenieros, arquitectos y responsables de salud ocupacional, las cuales se llevarán a cabo de manera presencial. La finalidad principal de estas entrevistas es obtener información detallada sobre las prácticas actuales de gestión de recursos críticos, los desafíos enfrentados y las oportunidades de mejora. También se buscará conocer su opinión sobre la posible implementación de las prácticas Lean, para esto se hablará directamente con los profesionales que usualmente están en el sitio de construcción para así obtener información sobre qué prácticas si se han adoptado no solo en el proyecto Babylon, sino también en otros proyectos que la empresa haya desarrollado.

Posteriormente, se hizo uso de un instrumento el cuál consta de 5 preguntas relacionadas a las problemáticas que han identificado hasta el momento con el fin de explorar a profundidad las percepciones y experiencias de los profesionales en relación con la gestión de los recursos en estudio. Dichas preguntas son las siguientes:

1. ¿Qué problemática ha identificado en el uso de concreto, la cual pueda incurrir en desperdicios y mayores costos? Califique del 1 al 5 con qué frecuencia cree que esta situación se presenta en el proyecto Babylon.
2. ¿Qué problemática ha identificado en el uso de agua, la cual pueda incurrir en desperdicios y mayores costos? Califique del 1 al 5 con qué frecuencia cree que esta situación se presenta en el proyecto Babylon.
3. ¿Qué problemática ha identificado en el uso de electricidad, la cual pueda incurrir en desperdicios y mayores costos? Califique del 1 al 5 con qué frecuencia cree que esta situación se presenta en el proyecto Babylon.
4. ¿Qué problemática ha identificado en el uso de combustibles, la cual pueda incurrir en desperdicios y mayores costos? Califique del 1 al 5 con qué frecuencia cree que esta situación se presenta en el proyecto Babylon.
5. ¿Qué problemática ha identificado en la gestión de RCD, la cual pueda incurrir en mayores costos? Califique del 1 al 5 con qué frecuencia cree que esta situación se presenta en el proyecto Babylon.

2.5.2 Cuestionarios

Se le aplicó un cuestionario a los trabajadores en campo que están directamente involucrados en la gestión de recursos como concreto, agua, electricidad y otros recursos críticos. Con esto se podrán recopilar datos cuantitativos sobre el uso de recursos, la efectividad de las prácticas actuales y las percepciones sobre posibles mejoras en los procesos de gestión.

El instrumento a utilizar es un cuestionario diseñado con preguntas cerradas y escalas de Likert para medir de manera precisa las percepciones y experiencias de los trabajadores respecto al manejo de recursos. En este caso se utilizará la herramienta de Google Forms para facilitar la aplicación de cada cuestionario y el almacenamiento de la información, pero, cabe resaltar, que debido a las circunstancias y/o dificultades de acceso a la tecnología que muchos de los trabajadores pueden presentar, este cuestionario se realizará de manera presencial y se irán registrando las respuestas en el Forms de forma asistida. La guía de cuestionario puede observarse en el apéndice 1 de este documento.

2.5.3 Observación directa en campo

Se llevó a cabo una observación directa en el sitio de construcción del proyecto Babylon para analizar el manejo práctico de los recursos críticos y la implementación de prácticas Lean en tiempo real. Todo esto con el fin de identificar ineficiencias, desperdicios y posibles áreas de mejora en la gestión de recursos, así como validar la información obtenida a través de las entrevistas y cuestionarios.

2.6 Análisis y procesamiento de la información

A continuación, se describe cómo se presentarán los resultados obtenidos a partir de los diferentes instrumentos utilizados, y a su vez especifica la manera en qué se analizarán estos resultados.

2.6.1 Presentación de los resultados

Los resultados obtenidos de los diferentes instrumentos de recolección de datos se presentan de manera clara y estructurada para facilitar su interpretación y análisis. A continuación, se describe detalladamente la forma en que se presentarán los resultados de cada instrumento:

- **Entrevistas:** los resultados de las entrevistas se presentan mediante cuadros los cuales permitan sintetizar las respuestas de los diferentes profesionales, permitiendo identificar coincidencias y divergencias en sus perspectivas.

- **Cuestionarios:** los datos cuantitativos obtenidos de los cuestionarios se presentan mediante gráficos de barras, gráficos circulares y/o tablas de frecuencia. En este formato será posible interpretar de forma más rápida las tendencias y patrones en las respuestas de los trabajadores en campo.
- **Observación directa en campo:** esos resultados se presentan a través de descripciones narrativas que representen el manejo de los recursos en el sitio de construcción. También se incluirán fotografías ilustrativas de las prácticas observadas.

2.6.2 Descripción del proceso de análisis

El procesamiento y análisis de la información recopilada se realizó de manera sistemática, utilizando técnicas de análisis cualitativo y cuantitativo según corresponda a cada tipo de dato. A continuación, se describe el proceso de análisis para cada instrumento:

- **Entrevistas:** las transcripciones de las entrevistas se revisarán para identificar temas recurrentes y patrones en las respuestas de los profesionales. Este análisis cualitativo se enfocará en extraer las ideas más relevantes sobre la gestión de recursos y la aplicación de prácticas Lean. A partir de esto se podrá obtener un informe de análisis que sintetice las opiniones de los profesionales, proporcionando información valiosa para la adaptación y mejora de prácticas en el proyecto Babylon, apoyando así el desarrollo de lo propuesto en los objetivos específicos 1 y 2 de este proyecto.
- **Cuestionarios:** se aplicarán técnicas de análisis estadístico para interpretar los datos cuantitativos de los cuestionarios. Esto incluye el cálculo de promedios, frecuencias y porcentajes para evaluar las percepciones de los trabajadores sobre el uso de recursos y la efectividad de las prácticas actuales. Los resultados permitirán identificar áreas donde se requiere una mayor eficiencia, ayudando a comprender mejor el estado actual del manejo de recursos en el proyecto, de forma tal que contribuya al desarrollo de lo propuesto en el objetivo específico 1 de este proyecto.
- **Observación directa en campo:** las observaciones serán organizadas en categorías que permitan evaluar la eficiencia en el manejo de recursos, en dónde con este análisis será posible identificar tanto las prácticas efectivas como las ineficientes, correlacionando así los hallazgos con las prácticas Lean propuestas. Con esto se podrán describir las prácticas observadas y sugerir mejoras basadas en los principios Lean, contribuyendo directamente al objetivo específico 3 de este proyecto.

Capítulo 3: Resultados y análisis

En este capítulo se aborda el desarrollo de los objetivos específicos planteados para este proyecto, presentando los resultados obtenidos a través de diversas técnicas e instrumentos de recolección de datos establecidos en el marco metodológico, así como el análisis correspondiente de estos resultados.

3.1 Gestión de recursos actual en el proyecto Babylon

Según lo establecido en el primer objetivo específico de este proyecto, como punto de partida se deben analizar los flujos actuales de recursos críticos en el proyecto Babylon, lo cual permita la identificación de áreas de mejora y puntos de referencia inicial. Para esto fue necesario realizar una investigación del estado actual de la Constructora Tabor Reimers, las prácticas y herramientas que utilizan actualmente para la gestión de recursos, y el conocimiento general del personal de la empresa sobre la filosofía Lean Construction.

Inicialmente se realizó un breve cuestionario a algunos de los trabajadores que se encuentran en campo, esto con el fin de conocer su perspectiva respecto a la gestión de los recursos. Para esto se tomó una muestra de 10 trabajadores, en el apéndice 2 se pueden observar las respuestas obtenidas según la guía de cuestionario presentada en el apéndice 1.

De este cuestionario se puede resaltar que un 90% de los trabajadores a quienes se les preguntó, no han recibido capacitación respecto a la gestión adecuada de recursos, así como se observa en la figura 9.

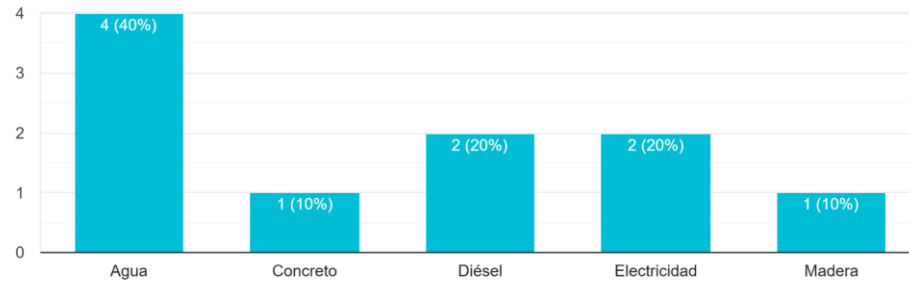
Figura 9. Respuestas de cuestionario: ¿Ha recibido capacitación?



A su vez, según el gráfico de la figura 10, desde la perspectiva de los trabajadores en campo el recurso que más creen que sufre desperdicios es el agua.

Figura 10. Respuestas de cuestionario: ¿Qué recurso cree que se desperdicia más?

¿Cuál de los recursos críticos cree que es el que más se desperdicia en el proyecto?
10 respuestas



Posteriormente, se realizaron una serie de preguntas a los ingenieros y demás colaboradores de la empresa, de forma tal que fue posible conocer cómo se gestionan los diversos recursos del proyecto Babylon actualmente.

A continuación, se presentan las principales prácticas que se emplean actualmente para gestionar y llevar un control del consumo de los recursos en estudio, obtenido esto a partir de la información proporcionada por los profesionales involucrados en el proyecto Babylon:

3.1.1 Agua

En el cuadro 4 se presentan las principales prácticas que son implementadas en el proyecto para gestionar el consumo hídrico.

Cuadro 4. Gestión del consumo hídrico en el proyecto Babylon

Práctica adoptada	Descripción	Impacto esperado
Dispositivos para evitar desperdicios por goteo en actividades operativas.	Colocación de sistemas de pedal para reducir el caudal de agua y evitar el desperdicio.	Reducción del desperdicio de agua en la etapa constructiva a desarrollar y controlar las posibles fugas. Un grifo goteando durante 24 horas implica un desperdicio de más de 30 litros de agua, es decir se pueden llegar a desperdiciar 1.5 lts de agua por hora, por lo que en una jornada de trabajo de 11 horas podemos evitar el desperdicio de 14.6 lts.

Práctica adoptada	Descripción	Impacto esperado
Estrategias para reducir el consumo de agua en actividades constructivas.	Instalación de pistolas en las mangueras que se utilizan en la construcción y chequeos periódico de empaques, con el fin de evitar desperdicios durante estas labores; además del uso de hidrolavadora para disminuir el caudal utilizado en algunas actividades específicas, según sus requerimientos.	Reducción del 5% en el consumo mensual, de acuerdo con la etapa constructiva.
Sistemas alternativos para disminuir el consumo de agua.	El proyecto cuenta con un mínimo de 6 inodoros eco-line con sistema de descarga de alta eficiencia para el ahorro de agua	Un inodoro convencional consume de 8 a 10 litros por descarga. Un inodoro eco-line consume de 5 a 6 litros por descarga, lo que representa un 40% en la disminución del consumo.
Captación y reutilización de aguas pluviales.	Se ubicaron tanquetas para la captación de agua pluvial con el objetivo de reutilizarla en el lavado de maquinaria, herramientas y equipos.	Disminución del consumo de agua en la facturación del proyecto se espera que mínimo en un 5%.
Reutilización de aguas residuales ordinarias.	Se reutiliza el agua de los lavamanos para ser utilizados en los orinales.	Disminución de la producción de aguas residuales.

3.1.2 Electricidad

En el cuadro 5 se presentan las principales prácticas que son implementadas en el proyecto para gestionar el consumo hídrico.

Cuadro 5. Gestión del consumo energético en el proyecto Babylon

Práctica adoptada	Descripción	Impacto esperado
Inclusión de buenas prácticas dentro de normativas internas.	En las normas de SSO se establece la desconexión de herramientas, equipos y extensiones que no estén siendo utilizadas como una medida obligatoria.	Disminuir el consumo de energía mientras el trabajador no utiliza la herramienta eléctrica, para evitar cortos circuitos y sobrecalentamientos que puedan provocar pérdidas de voltaje.
Dispositivos para el ahorro en el consumo de electricidad.	Colocación de luces LED en oficinas y bodegas de personal.	Disminuir el desperdicio de electricidad en la actividades operativas y constructivas
Acciones para el aprovechamiento de la luz natural.	Colocación de tragaluces con láminas de policarbonato en bodegas de personal.	Con esto se disminuye en 4 horas aproximadamente el uso de las luminarias en bodega.

3.1.3 Combustibles

En el cuadro 6 se presentan las principales prácticas que son implementadas en el proyecto para gestionar el consumo hídrico.

Cuadro 6. Gestión del consumo de combustibles en el proyecto Babylon

Práctica adoptada	Descripción	Impacto esperado
Estrategias para mejorar la eficiencia de maquinaria que trabaja con combustibles fósiles.	Se establecen inspecciones periódicas para vehículos y maquinaria, además se realizan reportes digitales con la herramienta con el objetivo de priorizar el mantenimiento preventivo y la eficiencia de los equipos	Corregir daños "menores" tales como: fugas, relleno de niveles de líquidos, entre otros para favorecer el funcionamiento óptimo del equipo y asegurar el mejor desempeño operativo posible.

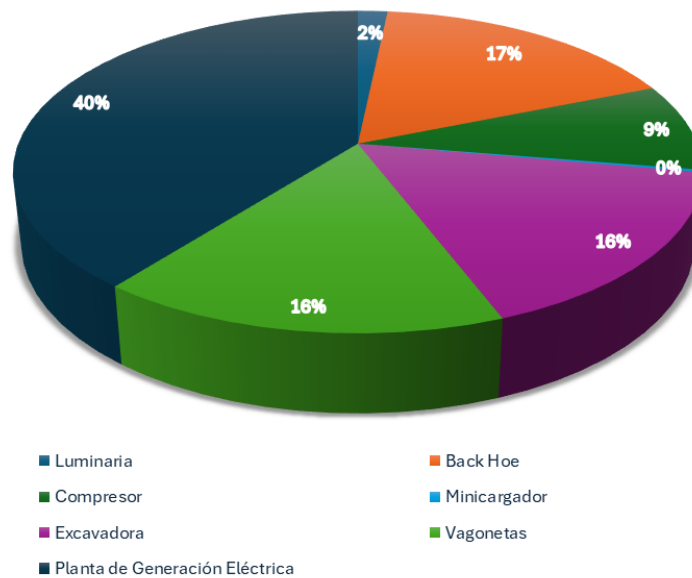
Práctica adoptada	Descripción	Impacto esperado
Establecimiento de protocolos para control al dispensar combustibles.	Se abastece el diésel por medio de un distribuidor autorizado el cual cuenta con certificado de sostenibilidad	Se regula el consumo semanal del diésel en la maquinaria, ya que se lleva un control del combustible recibido vs. combustible dispensado
Fomento de uso de medios de transportes alternativos.	Movilidad sostenible. Se contrata personal de la zona y se fomenta el traslado en bicicleta, a pie y se facilitan parqueos para bicicletas y se suministran insumos de mantenimiento sin costo. Además, se promueve el "carpooling" de los colaboradores para que exista menos consumo en los combustibles fósiles.	Se disminuye el consumo de combustibles alrededor de un 20% y se promueve la salud.

En el contexto del proyecto Babylon, el combustible de mayor consumo es el diésel, ya que la mayor parte de la maquinaria utilizada en la obra funciona con este tipo de combustible. Por esta razón, se trata de llevar a cabo un control diario de las entradas y salidas de diésel, con el objetivo de monitorear el consumo, identificar qué maquinaria tiene mayor demanda de combustible y determinar el momento adecuado para realizar nuevos pedidos. A continuación, se presenta el cuadro 7, la cual resume el consumo de litros de diésel por cada máquina utilizada en el proyecto. Asimismo, en la figura 11 se muestra un gráfico con los porcentajes correspondientes al consumo total de diésel que representa cada máquina, durante el periodo comprendido entre febrero y octubre del presente año.

Cuadro 7. Consumo de Diesel en litros entre febrero y octubre del 2024 en el proyecto Babylon.

Máquina	Litros Consumidos
Luminaria	405
Back Hoe	4232
Compresor	2165
Minicargador	60
Excavadora	4034
Vagonetas	4034
Planta de Generación Eléctrica	9720
Consumo Total	24650

Figura 11. Porcentaje del consumo de Diesel entre febrero y octubre del 2024 en el proyecto Babylon.



Con base en estos datos, se ha registrado un consumo total de 24650 litros de diésel entre febrero y agosto del presente año. De esta cantidad, 9720 litros corresponden a una planta de generación eléctrica, la cual representa el mayor consumo de este recurso entre todas las máquinas utilizadas.

Para más detalles del control diario de este consumo ver apéndice 6.

3.1.4 Concreto

En este caso particular, la empresa no cuenta con prácticas específicas para gestionar de forma sistemática el consumo de concreto durante la fase constructiva. Sin embargo, en la etapa de planificación previa se realizaron proyecciones del volumen de concreto necesario para cada uno de los elementos de la edificación, basadas en el cronograma del proyecto.

A lo largo del proceso, se lleva un control diario del volumen consumido, comparándolo con las estimaciones iniciales. Además, se evalúan los elementos que se van a colar próximamente, calculando el volumen de concreto de manera precisa para solicitar solo la cantidad necesaria, evitando así pedidos excesivos y reduciendo al mínimo los desperdicios.

3.1.5 Residuos de construcción y demolición (RCD)

En el cuadro 8 se presentan las principales prácticas que son implementadas en el proyecto para gestionar los RCD.

Cuadro 8. Gestión de los RCD en el proyecto Babylon

Práctica adoptada	Descripción	Impacto esperado
Cuantificación de residuos generados en el proyecto.	Se clasifican los residuos de cartón, plástico, chatarra, madera; generados por las actividades constructivas a realizar.	Reducción en la generación de desechos y concientización general en el equipo, respecto al manejo de residuos y reciclaje, mediante charlas sobre este tema.
Guía y acompañamiento por parte de la empresa privada y certificada en materia sostenible.	Seguimiento y acompañamiento por parte de la empresa privada EBI, con el programa ECOINS que contemplen la disposición final de residuos debido a que nos brindan acompañamiento del proceso.	Se involucra al personal en la obra para crear una cultura de aprendizaje sobre el reciclaje y como participar de los programas en sus hogares.
Campañas de reciclaje desechos electrónicos	Fomentar una campaña bimensual de recolección de residuos electrónicos, generados tanto en el proyecto como en los hogares de los colaboradores para que, estableciendo un centro de acopio de artículos electrónicos, se pueda hacer una correcta disposición de estos	Disminuir la contaminación por desechos electrónicos
Reutilización y disminución de materiales durante el proceso constructivo por medio de la modulación.	Se implementa la modulación de materiales para generar menor cantidad de desperdicio. Por medio de prefabricado donde se controla la cantidad de acero, agua y concreto.	Reducción de desperdicios de hierro por sobrantes de varilla y por el concreto realizado en sitio.

Práctica adoptada	Descripción	Impacto esperado
Disminución del uso de estructuras provisionales.	Se implementa el uso de estructuras modulares para bodegas	Disminuir residuos correspondientes a obras provisionales, que serán desarmadas al finalizar el proyecto. Reducir costos operativos; creando módulos removibles a otros futuros proyectos.
Espacios específicos para la separación de residuos	Definición de un punto verde, establecido como el espacio para los residuos	Fomentar una cultura de reciclaje en los colaboradores con el fin de reducir los residuos no valorizados
Adecuada gestión de los residuos ordinarios	El proyecto contará con un contenedor de residuos el cual es gestionado por la empresa privada EBI	Reducir al máximo la cantidad de residuos que puedan terminar en los contenedores
Gestión, entrega y almacenamiento de los desechos relacionados con sustancias químicas.	Los desechos químicos son gestionados con la empresa Wasted, que maneja su transportación con cantidades mínimas, por lo que se asigna un área del proyecto para su almacenamiento, antes de su disposición final.	Integrar al personal en la obra para crear una cultura de aprendizaje sobre los desechos químicos y que conozcan su buena disposición.
Disposición final de los equipos de protección personal (lentes, guantes, cascos)	Los equipos de seguridad dañados se entregan al proveedor ESOSA, para su correcta gestión final.	Reducir residuos que pueden convertirse en ordinarios en un relleno con el debido proceso de recolección por parte de gestor autorizado.

3.2 Prácticas Lean utilizadas para la gestión de recursos

Una vez conocido el estado actual del proyecto Babylon y saber qué prácticas son aplicadas para la gestión de recursos, es necesario realizar una investigación las prácticas Lean utilizadas nacional e internacionalmente para la gestión de recursos críticos en proyectos de construcción, esto según lo planteado en el objetivo 2 de este proyecto, de forma tal que se puedan identificar aquellas que han demostrado ser más efectivas y que puedan ser adaptadas al proyecto Babylon.

3.2.1 Lean Construction a nivel nacional

En Costa Rica, la adopción de Lean Construction ha aumentado en los últimos años, impulsada en gran medida por la necesidad de aumentar la eficiencia, reducir costos y mejorar la sostenibilidad de los proyectos en el sector construcción. Uno de los principales actores en este movimiento ha sido el Lean Construction Institute (LCI) Costa Rica, una organización dedicada a la promoción, capacitación y desarrollo de la metodología Lean en el ámbito constructivo. Este instituto no solo capacita empresas y profesionales locales en el uso de Lean, sino que también facilita la creación de una red de colaboración en la industria para intercambiar conocimientos y mejores prácticas. Gracias al LCI muchas empresas han comenzado a experimentar con herramientas Lean como parte de sus prácticas diarias.

En este contexto, empresas pioneras como Volio & Trejos Asociados han sido ejemplos significativos de la aplicación del Lean Construction en Costa Rica. Esas compañías han adaptado principios y herramientas de Lean para organizar y mejorar sus procesos constructivos, dónde un ejemplo de esto es la metodología de las 5'S, la cual actualmente se ha convertido en una herramienta muy popular en diversas constructoras del país. Las 5'S representa otra de las metodologías creadas por los ingenieros japoneses de Toyota Motors. Su particular nombre proviene de los términos en japonés utilizados para ramificar la metodología (ver figura 12) como se detalla a continuación, esto según lo presentado por Vázquez (2017):

- **Clasificar (Seiri):** se refiere a separar los elementos que se consideren innecesarios. Se consideran innecesarios los elementos duplicados, que no tengan participación en la tarea, o en mal estado. Los elementos se pueden clasificar en función del tiempo de uso que se les dé.
- **Ordenar (Seiton):** esta etapa consiste en la organización del sitio de trabajo de una forma eficaz. Consiste en ubicar elementos de un uso menos frecuente, debe estar en el puesto de trabajo, a la vista, pero sin estorbar. Por otro lado, elementos de uso frecuente en ubicaciones a mano. Por último, elementos de uso continuo, en el caso de herramientas, estas pueden estar en un portaherramientas de cinturón o en lugares muy a la mano. Según Vázquez (2017) es común el uso del lema “un lugar para cada cosa, y cada cosa en su lugar”.

- **Limpiar (Seiso):** consiste en la limpieza del puesto de trabajo. Se pretende que se conviertan en parte de las actividades diarias que realiza cada colaborador. Se debe identificar las fuentes de suciedad y buscar su eliminación. Posteriormente esta etapa conllevará, entre otras cosas, a una ampliación de la vida útil de los equipos, además de que genera conocimiento sobre el equipo al buscar fuentes de suciedad.
- **Estandarizar (Seiketsu):** es la búsqueda de estandarizar procesos de modo consistente para que cualquier persona sea capaz de desarrollar cualquier puesto de trabajo dentro de la empresa. Esta debe realizarse en función de las necesidades de la empresa y no siguiendo el modelo de un agente externo.
- **Mantener (Shisuke):** esta etapa busca perdurar las medidas implementadas en las etapas anteriores. Ésta busca convertir en un hábito, las innovaciones hechas anteriormente. Según Vázquez (2017) el propósito en conjunto de todas estas etapas es mejorar las condiciones de trabajo, la disminución de tiempos muertos, la reducción de costos, preservar la seguridad y salud de los trabajadores y mejorar la calidad del trabajo realizado.

Figura 12. Metodología de las 5'S.



Fuente. Velásquez, 2017

Otras empresas constructoras como Edificar S.A., IDECO S.A. hacen uso de las herramientas de Lean para gestionar sus proyectos, tales como la planificación por medio de Last Planner y Just in Time.

A su vez, hay grandes empresas desarrolladoras muy involucradas en el tema de Lean Construction, como lo es por ejemplo la empresa Portafolio Inmobiliario. Esta empresa tiene metas de mitigación de impacto en materia de sostenibilidad en el desarrollo de obras de construcción, estableciendo planes de gestión en obra y mejores prácticas, de forma tal que cuenta, por ejemplo, con su Manual de Construcción Sostenible

(2023), el cual incluye un plan de gestión del recurso energético, así como un plan para la gestión del recurso hídrico.

Dentro de las prácticas que Portafolio Inmobiliario propone en su plan de gestión del recurso energético se pueden mencionar:

- Registro y control del consumo de combustible y mantenimientos de equipos y maquinaria de obra que utilizan combustible.
- Instalación de sistemas de iluminación de bajo consumo para procesos constructivos y para campamentos.
- Definición de horarios para que los trabajos se realicen de día y aprovechando la iluminación natural para minimizar la cantidad de iluminación eléctrica.
- Utilización de equipos de aire acondicionado eficientes, como mínimo EER 11 para los espacios acondicionados del campsite (oficinas, salas de reunión) y acordes a los espacios según la carga térmica real esperada en el espacio.
- Priorizar la utilización de equipos eléctricos sobre los de combustible.
- No mantener equipos o maquinaria encendidos de no ser necesario y apagar en tiempos de espera.

Del mismo modo, entre las prácticas que la empresa propone en su plan de gestión del recurso hídrico se pueden mencionar:

- Utilizar agua no potable para la gestión del control de polvo en obra, lavado de brochas, lavado de llantas, lavado de equipo y maquinaria y cualquier otro uso que se identifique que no requiera de agua potable.
- Recolección de agua de lluvia para procesos constructivos y tareas de limpieza, lavado de herramientas, botas, control de erosión y polvo, etc.
- Revisión diaria para control de fugas de forma preventiva.
- Disminuir el consumo de agua potable para mezclas de procesos constructivos (concreto) utilizando aditivos.
- Cerrar el paso de agua inmediatamente después de su uso.
- Designar sitios especiales debidamente rotulados para lavado de chompipas, brochas y sustancias químicas. Se deberán disponer las aguas residuales de este proceso, como residuo peligroso, por ejemplo, en estañones o recipientes de fácil acceso para los trabajadores y fácil transporte hacia la disposición final, de acuerdo con la legislación nacional.

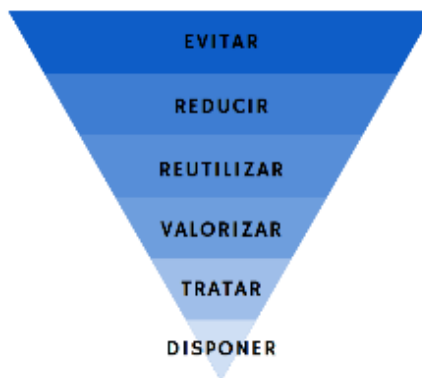
También se proponen prácticas para la gestión de residuos de construcción y demolición, entre las cuales se mencionan:

- Reducción el uso de materiales mediante la optimización de los procesos de la obra.
- Buscar convenios con los proveedores para la disminución de envases y la devolución de materiales sobrantes y embalajes.
- Reutilizar materiales dentro del proyecto. Aprovechar los restos de hormigón, cemento y otros materiales que se deben acopiar adecuadamente para que puedan tener una reutilización posterior: tejas, ladrillos, ventanas, mobiliario, barandas, y otros.
- Reciclaje o tratamiento mediante gestores autorizados por el Ministerio de Salud que respalden su gestión con la debida documentación.
- Donación de residuos valorizables en buen estado: materiales en desuso que se puedan aprovechar en las comunidades en coordinación con el Depto. de Sostenibilidad. Entre estos materiales se contemplan: vigas, carruchas de cable, tarimas, madera de construcción, otros.

A su vez, Costa Rica cuenta con leyes y normativas que respaldan el cumplimiento del buen uso de recursos en el área de la construcción. En septiembre del 2015, fueron aprobados los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) por parte de la Asamblea General de las Naciones Unidas y Costa Rica acuerda su cumplimiento. Entre los objetivos se puede destacar el número 11, enfocado al sector de la construcción que se refiere a las ciudades y comunidades sostenibles, con el cual se busca la implementación de políticas y planes para el uso eficiente de los recursos.

Así, por ejemplo, se cuenta con la Ley para la Gestión Integral de Residuos N.º 8839, la cual busca regular la gestión integral de residuos, así como el uso eficiente de los recursos, la cual establece una jerarquización en la gestión integral de residuos, así como se muestra en la figura 13. De igual forma, se cuenta con el Reglamento General para la Clasificación y Manejo de Residuos Peligrosos Decreto Ejecutivo 37788, el cual contiene las obligaciones al generar dicho tipo de residuos.

Figura 13. Jerarquización en la gestión integral de residuos.



Fuente: Elaboración propia a partir de Ley N°8839.10

Con esto, se realizó una revisión de la normativa vigente y de guías de buenas prácticas utilizadas en Costa Rica, obteniendo así la información que se muestra en el cuadro 9.

Cuadro 9. Buenas prácticas utilizadas en Costa Rica

Recurso	Referencia	Buena práctica
Agua	Código de buenas prácticas de SETENA	Impulsar la recolección de agua de lluvia para su uso en actividades directas del proyecto.
	Manual de procedimientos del programa Bandera Azul ecológica categoría XV: Construcción Sostenible	Aprovechar fuentes alternativas de recurso hídrico de acuerdo con el tipo de procesos constructivos que se ejecuta.
	Protocolo de Evaluación Ambiental de DIGECA	Se lleva un registro del consumo de agua mediante medidores. Se sensibiliza/capacita a los funcionarios sobre el uso racional del recurso hídrico. Se cuenta con un programa rutinario de detección, control de fugas y mantenimiento del sistema de abastecimiento de agua
Electricidad	Manual de procedimientos del programa Bandera Azul ecológica categoría XV: Const	Llevar un control del consumo de electricidad mensual
	Código de buenas prácticas de SETENA	Se desestimulará o se dará un uso muy limitado y restrictivo a fuentes de energía contaminantes como las baterías ácidas, pilas, plantas térmicas que utilicen carbón, búnker o diesel.
	Protocolo de Evaluación Ambiental de DIGECA	Se toma en consideración características de eficiencia energética para la compra de equipos consumidores de energía. Analizar la posibilidad de utilizar aparatos o equipos que utilicen o funcionen con fuentes renovables de energía.

Recurso	Referencia	Buena práctica
Combustible	Protocolo de Evaluación Ambiental de DIGECA	Se tienen controles sobre las compras de combustibles
RCD	Directriz 050 MINAE	Diseñar de manera modular e industrializada reduciendo desperdicio.
	Manual de procedimientos del programa Bandera Azul ecológica categoría XV: Construcción Sostenible	Incorporar estrategias y técnicas constructivas que maximicen la reutilización de materiales durante el proceso constructivo.
	Ley de Gestión Integral de Residuos. Ley 8839	Separar los residuos desde la fuente, clasificarlos y entregarlos a gestor autorizado. Mantener un registro actualizado de generación y forma de gestión de cada residuo.
	Código de buenas prácticas de SETENA	Los trabajadores deberán conocer los lineamientos básicos de la política ambiental sobre el manejo de residuos. Colocar recintos para acumular los residuos de forma separada, de acuerdo con su origen y operaciones que se den en el sitio de trabajo.
	Protocolo de Evaluación Ambiental de DIGECA	Contar con un área destinada al almacenamiento colectivo y temporal de los residuos debidamente rotulada, protegida de la lluvia, con fácil acceso para el servicio de recolección.

3.2.2 Lean Construction a nivel internacional

Actualmente se tienen muchos registros del uso de Lean Construction en empresas de la construcción en todo el mundo y sus resultados. A continuación, se presentan algunos de ellos:

- Alarcón et al. (2000) indica que se ha llegado a medir incrementos de productividad de hasta el 86% en algunos proyectos constructivos tras la implantación de Lean.
- Ballard & Howard (2003) indican que la rentabilidad de los proyectos de Graña y Montero, la compañía de construcción más grande de Perú, aumentaron en un 40% después de la implantación de Lean Construction.
- Ballard (2006) informa que una compañía de Chile ha aumentado su productividad en un 31% tras implementar Lean Construction y que MTH, la constructora más grande de Dinamarca, indica que los proyectos Lean presentan una accidentalidad un 75% menor que en los proyectos no Lean. Ballard también indica que en un proyecto de expansión de una refinería (en el que los “expertos” decían que resultaba imposible hacer el proyecto con el presupuesto asignado), una gestión efectiva alineada con Lean Construction consiguió aumentar en un 31% la productividad de ese proyecto comparado con lo planificado.
- Alarcón et al. (2008) indica a través de un estudio realizado en 77 proyectos de 12 empresas que la variabilidad de la producción de los proyectos constructivos bajo los principios de Lean Construction se reduce considerablemente. Alarcón también indica que la aplicación de las técnicas de Lean Construction supuso un incremento de la productividad en esas empresas de entre un 7 y un 48%.

A su vez se puede mencionar a Delgado (2007) quien realiza una investigación enfocada en mejorar la productividad, la efectividad y la eficiencia del sistema constructivo de acuerdo con los lineamientos de la filosofía Lean Construction y haciendo uso de la herramienta last planner. Inicialmente, realiza una revisión de antecedentes de la temática, luego presenta la revisión de la literatura con el fin de abordar los conceptos relevantes y apropiarse de los conocimientos necesarios y así realizar una futura propuesta para aplicar la metodología en un proyecto de construcción. Del mismo modo, destaca la partición de países que han implementado la filosofía a nivel internacional, hace el reconocimiento de Chile y en Colombia aborda los proyectos que de momento empezaban a implementar la metodología.

Así, entre las principales herramientas y metodologías utilizadas por empresas en todo el mundo se pueden mencionar:

- **Just-in-time (JIT):** es suavizar el proceso de fabricación a través del manejo eficiente de materiales, tales como proporcionar los materiales correctos en la cantidad y calidad correctas, justo a tiempo

para la producción y así eliminar o reducir el desperdicio, produciendo así el valor máximo para el cliente (Pheng and Shang, 2011).

- **SCRA:** SCRA es el acrónimo de las siglas Síntoma – Causa – Remedio – Acción. Este se utiliza en la resolución de problemas en diversos ámbitos, analizando sus causas y síntomas, para tratar de resolver los fallos que se hayan producido, así el objetivo de la metodología es desentrañar la raíz del suceso y gracias a ello, buscar vías de solución que se concreten en acciones (López, 2021).
- **A3:** Esta es una herramienta de Ingeniería actualmente de gran uso con un enfoque para resolver problemas y encontrar oportunidades para la mejora (Joe Anderson et al., 2011). Este método de resolución de problemas de Toyota está definido para la mejora continua, basándose en los principios Deming: planificar, hacer, verificar y actuar.

Este reporte es estructurado en siete elementos, los cuales son:

1. Antecedentes
2. Condición actual
3. Meta futura
4. Causa raíz análisis
5. Contramedidas
6. Plan de implementación
7. Acciones de seguimiento

A3 es un proceso de mejora que aplica el pensamiento Lean al problema, esto hace que la herramienta, pueda ser útil para cualquier persona que quiera aprender y aplicar Lean pensando en la resolución de problemas, la gestión de proyectos y una gran cantidad de otros procesos de mejora (Flinchbaugh, 2012).

- **Mapas de cadena de valor (Value stream mapping):** El mapeo de cadena de valor (VSM) es una potente herramienta que permite la representación gráfica del estado actual y futuro del sistema de producción, con el objetivo de que los usuarios tengan un mejor entendimiento de las actividades de desperdicio que necesitan ser eliminadas (Lovelle, 2001).
- **Last Planner System (LPS):** sistema de programación y control cuyo fin es crear un ambiente estable de trabajo, protegiendo la producción de la incertidumbre y la variabilidad. Este sistema ha sido probado y ha demostrado una alta efectividad, con multitud de aplicaciones exitosas en el mundo

entero, logrando así una mejora en el desempeño y también en el cumplimiento de plazos y productividad (Díaz et al. 2014).

3.3 Propuesta de sistema para la gestión de recursos

A continuación, se presenta el desarrollo del sistema de prácticas propuesto para mejorar la gestión de recursos en el proyecto Babylon. Para lo cual, se detallan las herramientas propuestas para la gestión de recursos, así como el análisis de su implementación en el contexto del proyecto.

3.3.1 Herramientas para la gestión de recursos en Babylon

Como parte del tercer objetivo de este proyecto se pretende proponer un sistema de prácticas Lean para el control de recursos críticos en el proyecto Babylon, estableciendo así un modelo que permita una reducción de desperdicios y optimización de costos. En este contexto, se proponen tres herramientas principales a utilizar, las cuales son: matriz de identificación de “desperdicios”, el SCRA (síntoma, causa, remedio y acción) y la herramienta A3.

Inicialmente, con el apoyo de material e información brindada por parte del Arquitecto Jorge Castro, uno de los profesionales de Constructora Tabor Reimers, fue posible adaptar una matriz de identificación de “desperdicios” que anteriormente era utilizada en las oficinas de la empresa, par ahora ser utilizada en campo. Esta matriz consta de una herramienta que puede ser aplicada en el sitio de construcción, la cual permite identificar diversas problemáticas que ocurren en la gestión de los recursos en estudio, lo cual incurre en desperdicios y aumento de costos. Estas problemáticas son identificadas por los profesionales que se encuentran en campo, ya sean los ingenieros, arquitectos, entre otros; de forma tal que estos puedan dar su opinión de qué puntos deben mejorar y con esto definir un punto de partida para buscar soluciones efectivas. A continuación, en la figura 14 se muestra un ejemplo de cómo se ve una matriz de desperdicios.

Figura 14. Matriz de desperdicios.

CONSTRUCTORA TABOR REIMERS - PROYECTO XXXX

Identificación de Desperdicios en las Obras

MATRIZ DE DESPERDICIOS									
ENTREVISTADO	DESPERDICIO 1		DESPERDICIO 2		DESPERDICIO 3		DESPERDICIO 4		DESPERDICIO 5
Ingeniero 1		1		2		3		4	5
Ingeniero 2		1		2		3		4	5
Ingeniero 3		1		2		3		4	5
Maestro de Obras 1		1		2		3		4	5

En este sentido y para efectos de la matriz, los “desperdicios” serán los recursos en estudio (concreto, agua, electricidad, combustibles y RCD). De esta manera, cada profesional que sea entrevistado podrá indicar las problemáticas que haya identificado para cada tipo de desperdicio. A su vez, en esta herramienta cada persona puede darle una “calificación” a cada situación que haya identificado, de forma tal que se establezca la frecuencia con la que ocurre dicha situación. Esta calificación puede estar comprendida entre 1 y 5, siendo 1 la calificación para una situación que curre con menor frecuencia y 5 para una que ocurre muy frecuentemente. La plantilla a utilizar para esta herramienta puede observarse en el apéndice 3.

Una vez completada la matriz de “desperdicios” se puede proceder a realizar un SCRA. Para este proyecto se realizó una adaptación de esta herramienta de forma tal que pueda utilizarse para buscar una solución a las problemáticas identificadas. Esta se divide en cuatro cuadrantes, la región izquierda está destinada a saber qué ocurre y la región derecha a saber cómo solucionarlo, por lo que el procedimiento a seguir en primer lugar es completar la información del bloque izquierdo que corresponde a la parte analítica y posterior el bloque derecho que corresponde a que se debe realizar para prevenir a que se vuelva a repetir dicho suceso (Mor, 2018). En la figura 15 se muestra un ejemplo de cómo se ve un SCRA, y, a su vez, se puede consultar el apéndice 4.

Figura 15. Herramienta para el análisis SCRA.

CONSTRUCTORA TABOR REIMERS		ANÁLISIS SCRA	
Título:	Solicitante:	Fecha:	Calificación: 1
SISTEMA (Problema) Escriba aquí	REMEDIO Escriba aquí		
CAUSA Escriba aquí	ACCIÓN Escriba aquí		

Finalmente, una vez realizado el análisis SCRA para cada una de las problemáticas identificadas en cada “desperdicio” se puede proceder a realizar un reporte A3. Así, al completar el análisis SCRA, los hallazgos pueden ser registrados en un reporte A3 para presentar los resultados de manera estructurada y

profesional. Esto permite compartir la información con los responsables del proyecto, quienes pueden tomar decisiones informadas tanto para el proyecto actual como para usarlas como referencia en futuras iniciativas constructivas. En la figura 16 se muestra un ejemplo de cómo se ve un reporte A3, y, a su vez, se puede consultar el apéndice 5.

Figura 16. Reporte A3.

CONSTRUCTORA TABOR REIMERS - PROYECTO XXXX				INFORME A3																																									
TEMA:		Solicitante:		Fecha:	Consecutivo:																																								
DEFINICIÓN O PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA		OBJETIVO BUSCADO Y PROPUESTAS DE MEJORA:																																											
ESTADO ACTUAL		PLAN DE IMPLEMENTACIÓN: 5W2H: What, Why, When, Where, Who, How y How much? <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: black; color: white;"> <th style="padding: 2px;">¿Qué?</th> <th style="padding: 2px;">¿Por qué?</th> <th style="padding: 2px;">¿Cuándo?</th> <th style="padding: 2px;">¿Dónde?</th> <th style="padding: 2px;">¿Quién?</th> <th style="padding: 2px;">¿Cómo?</th> <th style="padding: 2px;">¿Costo?</th> <th style="padding: 2px;">Estado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="height: 20px;"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td style="background-color: red; color: white;">Pendiente</td> </tr> <tr> <td style="height: 20px;"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td style="background-color: red; color: white;">Pendiente</td> </tr> <tr> <td style="height: 20px;"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td style="background-color: yellow;">Proceso</td> </tr> <tr> <td style="height: 20px;"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td style="background-color: yellow;">Proceso</td> </tr> </tbody> </table>				¿Qué?	¿Por qué?	¿Cuándo?	¿Dónde?	¿Quién?	¿Cómo?	¿Costo?	Estado								Pendiente								Pendiente								Proceso								Proceso
¿Qué?	¿Por qué?	¿Cuándo?	¿Dónde?	¿Quién?	¿Cómo?	¿Costo?	Estado																																						
							Pendiente																																						
							Pendiente																																						
							Proceso																																						
							Proceso																																						
ANÁLISIS CAUSA - EFECTO		SEGUIMIENTO		EVIDENCIAS DEL PROBLEMA IDENTIFICADO																																									

Como se mencionó anteriormente, el principal objetivo del reporte A3 es presentar de forma estructurada los resultados obtenidos a partir de análisis SCRA. Esta herramienta deberá ser completada por un el ingeniero residente o por un colaborador designado por él. Dicho responsable será encargado de interpretar los resultados del análisis SCRA y reflejarlos en el reporte, el cual será presentado ante los ingenieros responsables de la toma de decisiones del proyecto. Así, para llenar cada sección de la herramienta de manera efectiva se recomienda seguir el siguiente orden:

1. **Definición del problema:** Describe de manera clara y breve el problema que se busca resolver.
2. **Estado actual:** Breve descripción de la situación en la que se encuentra actualmente el problema.
3. **Análisis Causa-Efecto:** Realiza un análisis que conecte las causas principales del problema con sus efectos, preferiblemente utilizando herramientas como diagramas de pescado.
4. **Objetivo Buscado y Propuestas de Mejora:** Especifica qué se espera lograr y menciona las ideas o acciones que se plantean para solucionar el problema.

5. **Plan de implementación:** por medio del análisis 5W2H, lo cual proviene de las iniciales de las preguntas en inglés que se deben responder What, Why, Who, Where, When, How y How Much, esto en función de la o las soluciones que se están proponiendo al problema identificado. Para esto se tiene lo siguiente:

- What (¿Qué?): Detalla los aspectos principales de la solución propuesta.
- Why (¿Por qué?): Explica las razones principales para implementar esta solución.
- When (¿Cuándo?): Indica el momento o el periodo en que se implementará la solución.
- Where (¿Dónde?): Especifica el lugar o área donde se aplicará la solución.
- Who (¿Quién?): Define las personas o departamentos responsables de implementar la solución.
- How (¿Cómo?): Describe cómo se llevará a cabo la implementación de la solución.
- How Much (Costo): Datos sobre los recursos necesarios para implementar la solución.

Finalmente se tiene una columna en la cual se indica el estado de la implementación de la solución propuesta (Pendiente, Proceso, Listo)

6. **Seguimiento:** Detalla cómo se realizará el monitoreo de las soluciones propuestas.
7. **Evidencias:** Presenta fotografías que evidencien el problema identificado y/o la implementación de las soluciones propuestas.

3.3.2 Implementación del sistema propuesto

Ya definidas las herramientas a utilizar, primeramente, se procedió a aplicar en el sitio del proyecto Babylon la matriz de desperdicios, y en colaboración con los ingenieros a cargo del proyecto se pudieron definir diversas problemáticas que se presentan en la gestión de los recursos en estudio, obteniendo así lo que se observa en la figura 17:

Figura 17. Matriz de desperdicios de Babylon.

CONSTRUCTORA TABOR REIMERS - PROYECTO BABYLON

MATRIZ DE DESPERDICIOS										
ENTREVISTADO	CONCRETO		AGUA		ELECTRICIDAD		COMBUSTIBLE		RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN	
Ing. Rodrigo Jiménez	Largas esperas entre chompias cuando hay chorreas	3	Desperdicio de agua por mangueras en mal estado	2	Caídas de voltaje por la longitud de las líneas	2	Alto consumo de diésel por la planta eléctrica	4	Uso de madera de un solo uso	3
	Desperdicio de concreto por mala cubicación	4			Luminarias encendidas durante toda la noche	5			Deficiencias en la colocación inicial del concreto que generan picados para corregir defectos	3
Ing. Esteban Alpizar	Desperdicio cuando se utiliza bomba telescópica	1	Llaves de lavamanos que quedan abiertas	2			Uso de una planta eléctrica que genera alto consumo de diésel	4	Poco espacio para hacer una buena separación de residuos	5
Arq. Ignacio Castro	Mala colocación del encofrado en muros y columnas	2	Llaves de lavamanos que quedan abiertas	2	Herramientas que quedan conectadas en tiempos muertos (almuerzo o descansos)	3	Uso de la planta eléctrica tanto para la grúa como para el elevador de carga	4	La separación de la chatarra no se hace de la mejor manera por falta de espacio	3
	Se piden más m2 de lo que se va a utilizar en una chorrea	1			La iluminación en las bodegas de los trabajadores podría mejorar (hay bombillos que no son LED)	3			Falta de un gestor autorizado para disponer de la madera	1
Ing. Carolina Piedra	Mala cubicación	4	Defectos en mangueras	3	La mayoría de bodegas aún no tienen iluminación LED	4	No hay una forma estandarizada para llevar el consumo de los combustibles que se utilizan	3	Uso de madera la cual es poco rentable gestionar cuando ya no se va a utilizar	2
							No se cuenta con un dispensador especializado con contador para saber de forma precisa la cantidad de combustible que se está consumiendo	4		

A partir de esto se procedió a realizar el análisis SCRA a cada una de las problemáticas identificadas. Algunos de los profesionales que fueron entrevistados para elaborar esta matriz coincidieron en algunas problemáticas, por lo que para estos casos se realizó un único análisis SCRA. Así, desde la figura 18 hasta la figura 33 se presenta cada análisis realizado para las diferentes problemáticas.

Figura 18. Análisis SCRA: Largas esperas entre chompipas.

CONSTRUCTORA TABOR REIMERS		ANÁLISIS SCRA	
Título: Largas esperas entre chompipas cuando hay chorreas Tipo de desperdicio: CONCRETO		Solicitante: Ing. Keilah Vega	Fecha: 2-nov-24 Calificación: 3
SISTEMA (Problema) Durante las chorreas, se presentan largas esperas entre las llegadas de chompipas, afectando el flujo de trabajo y provocando demoras en la colocación del concreto.		REMEDIO Establecer una programación detallada de las chorreas y comunicar los tiempos precisos al proveedor para que las chompipas lleguen a intervalos coordinados. Esto podría incluir un margen de tiempo adicional para contratiempos.	
CAUSA Falta de coordinación logística entre el proveedor de concreto y el equipo de colocación en obra. Esto puede deberse a una mala planificación de los tiempos de suministro o a una sobreestimación del ritmo de colocación.		ACCIÓN Crear un plan de suministro con tiempos de llegada exactos para cada chompipa, incluyendo supervisión del cumplimiento y revisión periódica de los tiempos de colocación. Tener una persona responsable de monitorear y ajustar la frecuencia de las chompipas en tiempo real, asegurando que no haya esperas ni retrasos innecesarios. Además, implementar reuniones de coordinación previas con el proveedor de concreto para ajustar los tiempos y evitar esperas.	

Figura 19. Análisis SCRA: Desperdicio de concreto por mala cubicación.

CONSTRUCTORA TABOR REIMERS		ANÁLISIS SCRA	
Título: Desperdicio de concreto por mala cubicación Tipo de desperdicio: CONCRETO		Solicitante: Ing. Keilah Vega	Fecha: 2-nov-24 Calificación: 4
SISTEMA (Problema) El concreto solicitado supera la cantidad realmente necesaria debido a errores en la cubicación, lo cual genera desperdicio.		REMEDIO Implementar una revisión doble de los cálculos de cubicación antes de hacer el pedido, utilizando herramientas de software o control de calidad en la fase de planificación.	
CAUSA Errores en los cálculos de cubicación por parte del equipo de planificación o falta de revisión de los planos antes de solicitar el material.		ACCIÓN Establecer un proceso de validación de cubicaciones con dos verificadores antes de hacer cada pedido, y promover el uso de software de modelado 3D para simular los volúmenes y evitar errores en los cálculos.	

Figura 20. Análisis SCRA: Desperdicio cuando se utiliza bomba telescópica.

CONSTRUCTORA TABOR REIMERS		ANÁLISIS SCRA	
Título: Desperdicio cuando se utiliza bomba telescópica Tipo de desperdicio: CONCRETO		Solicitante: Ing. Keilah Vega	Fecha: 2-nov-24 Calificación: 1
SISTEMA (Problema) Durante el bombeo de concreto con la bomba telescópica, se pierde material en tuberías y codos, lo que genera desperdicio de concreto y aumenta los costos.		REMEDIO Implementar una reunión de coordinación visual y estandarizada con el proveedor antes de cada bombeo, en la que se revisen condiciones y requerimientos específicos del bombeo.	
CAUSA Configuración de la bomba y factores técnicos que afectan el flujo del concreto, además de una posible falta de alineación entre el proveedor y la constructora en cuanto al estado de la bomba.		ACCIÓN Crear un protocolo de comunicación estandarizado que incluya: - Reunión previa a la chorrea para validar con el proveedor detalles técnicos de la bomba y confirmar que esté en condiciones óptimas. - Bombear únicamente la cantidad de concreto necesaria por sección, calculando por zonas y monitoreando constantemente para reducir al mínimo el concreto que permanece en la bomba. - Utilizar listas de verificación para revisar cada paso del bombeo y el volumen exacto, con personal capacitado para tomar decisiones en tiempo real sobre el ajuste de cantidades según el avance de la chorrea.	

Figura 21. Análisis SCRA: Mala colocación del encofrado en muros y columnas.

CONSTRUCTORA TABOR REIMERS		ANÁLISIS SCRA	
Título: Mala colocación del encofrado en muros y columnas Tipo de desperdicio: CONCRETO		Solicitante: Ing. Keilah Vega	Fecha: 2-nov-24 Calificación: 1
SISTEMA (Problema) Errores en la colocación del encofrado causan desbordamientos y fugas de concreto, generando desperdicio y retrabajo.		REMEDIO Implementar un sistema de checklist de verificación y capacitar al personal en técnicas estandarizadas para asegurar que el encofrado esté colocado correctamente antes de verter el concreto.	
CAUSA Falta de capacitación o supervisión en el montaje del encofrado, lo que lleva a configuraciones inadecuadas y problemas de sellado.		ACCIÓN Crear una lista de verificación específica para el encofrado, que el personal debe completar antes de la chorrea. Esto permite que se revise la colocación y el sellado. Capacitar al personal en técnicas estandarizadas de montaje de encofrado, asegurándose de que todos los involucrados sigan una misma secuencia y métodos de colocación, eliminando errores en el montaje. Designar a un supervisor para que realice una inspección rápida del encofrado en cada sección antes de verter el concreto, de modo que se puedan detectar posibles fallas a tiempo.	

Figura 22. Análisis SCRA: Desperdicio de agua por mangueras en mal estado.

CONSTRUCTORA TABOR REIMERS		ANÁLISIS SCRA	
Título: Desperdicio de agua por mangueras en mal estado Tipo de desperdicio: AGUA		Solicitante: Ing. Keilah Vega	Fecha: 2-nov-24 Calificación: 2
SISTEMA (Problema) Mangueras en mal estado provocan fugas de agua, aumentando el desperdicio y los costos asociados al suministro.		REMEDIO Implementar un programa de mantenimiento preventivo para las mangueras y un sistema de inspección visual periódico.	
CAUSA Falta de mantenimiento preventivo y revisión regular del estado de las mangueras utilizadas en la obra.		ACCIÓN Inspecciones semanales: Realizar revisiones programadas del estado de las mangueras para identificar y reparar fugas. Estandarizar los materiales: Utilizar mangueras de mayor calidad y durabilidad que reduzcan la probabilidad de daños. Capacitación en el manejo adecuado de mangueras: Instruir al personal sobre su uso correcto para evitar daños innecesarios.	

Figura 23. Análisis SCRA: Llaves de lavamanos que quedan abiertas.

CONSTRUCTORA TAVOR REIMERS		ANÁLISIS SCRA	
Título: Llaves de lavamanos que quedan abiertas Tipo de desperdicio: AGUA		Solicitante: Ing. Keilah Vega	Fecha: 2-nov-24 Calificación: 2
SISTEMA (Problema) Algunas llaves de lavamanos quedan abiertas, provocando un desperdicio innecesario de agua.	REMEDIO Instalar grifería automática o de cierre rápido y sensibilizar al personal sobre la importancia de cerrar las llaves después de usarlas.		
CAUSA Descuido del personal y falta de sistemas que limiten el flujo de agua automáticamente.	ACCIÓN Reemplazar grifería manual con llaves de cierre automático instalando dispositivos económicos que cierren el flujo después de un tiempo determinado. Colocar señalización visible cerca de los lavamanos para recordar al personal cerrar las llaves y promover el ahorro de agua. Monitorear y evaluar el uso de agua revisando los consumos mensuales para identificar puntos críticos y ajustar medidas.		

Figura 24. Análisis SCRA: Caídas de voltaje por la longitud de las líneas.

CONSTRUCTORA TAVOR REIMERS		ANÁLISIS SCRA	
Título: Caídas de voltaje por la longitud de las líneas Tipo de desperdicio: ELECTRICIDAD		Solicitante: Ing. Keilah Vega	Fecha: 2-nov-24 Calificación: 2
SISTEMA (Problema) Las líneas eléctricas demasiado largas generan caídas de voltaje, afectando la eficiencia de las herramientas eléctricas y los equipos.	REMEDIO Optimizar la distribución eléctrica con líneas de menor longitud y usar cables de mayor capacidad que reduzcan la resistencia.		
CAUSA Uso de cables de baja capacidad o poca planeación en la distribución de las líneas eléctricas en la obra.	ACCIÓN Analizar los puntos de conexión en obra y reorganizar las líneas para minimizar la longitud. Implementar el uso de cables con calibre superior, adecuados a la carga eléctrica requerida. Revisar las líneas eléctricas regularmente para prevenir fallas y ajustar configuraciones según las necesidades de la obra.		

Figura 25. Análisis SCRA: Luminarias encendidas durante toda la noche.

CONSTRUCTORA TABOR REIMERS		ANÁLISIS SCRA	
Título: Luminarias encendidas durante toda la noche Tipo de desperdicio: ELECTRICIDAD		Solicitante: Ing. Keilah Vega	Fecha: 2-nov-24 Calificación: 5
SISTEMA (Problema) Las luminarias permanecen encendidas durante toda la noche, generando un consumo innecesario de electricidad.	REMEDIO Implementar un sistema de temporizadores o sensores de movimiento que apaguen las luminarias automáticamente.		
CAUSA Falta de control automático para el encendido y apagado de las luminarias, o descuido del personal.	ACCIÓN Programar las luminarias para que se apaguen automáticamente en horarios específicos. Implementar sensores que activen las luces solo cuando sea necesario. Sensibilizar al personal para que apaguen las luminarias manualmente al terminar sus turnos.		

Figura 26. Análisis SCRA: Herramientas conectadas en tiempos muertos.

CONSTRUCTORA TABOR REIMERS		ANÁLISIS SCRA	
Título: Herramientas que quedan conectadas en tiempos muertos (almuerzo o descansos) Tipo de desperdicio: ELECTRICIDAD		Solicitante: Ing. Keilah Vega	Fecha: 2-nov-24 Calificación: 3
SISTEMA (Problema) Herramientas eléctricas quedan conectadas innecesariamente durante los tiempos muertos, aumentando el consumo energético y el riesgo de daño.	REMEDIO Establecer un protocolo para el uso de herramientas, que incluya desconectarlas durante los descansos.		
CAUSA Falta de hábitos en el personal para desconectar las herramientas cuando no están en uso.	ACCIÓN Colocar recordatorios en las estaciones de trabajo para que las herramientas se desconecten cuando no estén en uso. Asignar a un supervisor que revise el cumplimiento de este hábito en los tiempos muertos. Recordar constantemente la importancia de desconectar herramientas para ahorrar energía y evitar riesgos.		

Figura 27. Análisis SCRA: Iluminación en bodegas.

CONSTRUCTORA TAVOR REIMERS		ANÁLISIS SCRA	
Título: La iluminación en las bodegas Tipo de desperdicio: ELECTRICIDAD		Solicitante: Ing. Keilah Vega	Fecha: 2-nov-24 Calificación: 3
SISTEMA (Problema) Las bodegas de los trabajadores están iluminadas con bombillos tradicionales, lo que genera un consumo energético elevado y una iluminación insuficiente.	REMEDIO Sustituir los bombillos tradicionales por bombillos LED, que son más eficientes y duraderos, o utilizar un sistema que permita el ingreso de luz natural.		
CAUSA Uso de tecnología obsoleta en las luminarias y falta de priorización para modernizar la iluminación en las bodegas.	ACCIÓN Evaluar la posibilidad de instalar tragaluces o ventanas estratégicamente ubicadas en las bodegas, lo que reducirá la dependencia de luz artificial durante el día. Reemplazar gradualmente los bombillos tradicionales por LEDs en las áreas donde sea necesario, complementando la luz natural. Realizar un seguimiento del consumo eléctrico para evaluar el ahorro y, en base a los resultados, extender la práctica a otras áreas de la obra.		

Figura 28. Análisis SCRA: Altos consumos de diésel por la planta eléctrica.

CONSTRUCTORA TAVOR REIMERS		ANÁLISIS SCRA	
Título: Alto consumo de diésel por la planta eléctrica Tipo de desperdicio: COMBUSTIBLE		Solicitante: Ing. Keilah Vega	Fecha: 2-nov-24 Calificación: 4
SISTEMA (Problema) El uso prolongado de una planta eléctrica para operar la torre grúa y el elevador de carga debido a retrasos en la conexión del servicio trifásico ha provocado un alto consumo de diésel y, por lo tanto, mayores costos.	REMEDIO Agilizar el proceso para la conexión trifásica y, mientras tanto, optimizar el uso de la planta eléctrica para reducir el tiempo de operación y el consumo de diésel.		
CAUSA Retrasos en los trámites y en el estudio de ingeniería necesarios para obtener la conexión trifásica.	ACCIÓN Crear un cronograma de operación de la torre grúa y el elevador que agrupe las actividades en bloques de tiempo específicos, evitando el funcionamiento de la planta en periodos de baja demanda. Designar un responsable para agilizar el trámite y coordinar con las áreas correspondientes para minimizar más retrasos en la instalación trifásica. Evaluar si la planta está funcionando de manera óptima o si puede adaptarse temporalmente una planta de menor consumo en caso de que el uso de diésel continúe siendo excesivo.		

Figura 29. Análisis SCRA: Falta de una forma estandarizada para llevar el control de consumo de combustible.

CONSTRUCTORA TABOR REIMERS		ANÁLISIS SCRA	
Título: Falta de una forma estandarizada para llevar el control del consumo de combustibles Tipo de desperdicio: COMBUSTIBLE		Solicitante: Ing. Keilah Vega	Fecha: 2-nov-24 Calificación: 3
SISTEMA (Problema) No existe un método estandarizado para llevar el registro del consumo de diésel, lo que dificulta la supervisión de gastos y la implementación de estrategias de ahorro.	REMEDIO Implementar un registro estandarizado para el consumo de diésel, de modo que se pueda monitorear y analizar periódicamente.		
CAUSA Ausencia de un sistema o proceso de registro de consumo de combustible.	ACCIÓN Implementar una hoja de registro o aplicación de seguimiento en la que se registren los litros de diésel consumidos diariamente, la cantidad exacta utilizada por cada equipo, y el tiempo de operación. Asegurarse de que los operadores y encargados comprendan la importancia de registrar con precisión el consumo de diésel. Analizar los registros semanalmente para identificar patrones de consumo alto y aplicar ajustes que permitan optimizar el uso de combustible.		

Figura 30. Análisis SCRA: Falta de un dispensador especializado para medir consumo de combustibles

CONSTRUCTORA TABOR REIMERS		ANÁLISIS SCRA	
Título: Falta de un dispensador especializado con contador para medir con precisión el consumo de combustible Tipo de desperdicio: COMBUSTIBLE		Solicitante: Ing. Keilah Vega	Fecha: 2-nov-24 Calificación: 4
SISTEMA (Problema) La falta de un dispensador de diésel con contador impide conocer con precisión la cantidad de combustible que se está utilizando, dificultando el control de costos y la eficiencia en el consumo.	REMEDIO Adquirir o rentar un dispensador con contador para medir con precisión el consumo de diésel, lo cual permitirá un control más estricto y la reducción de desperdicios.		
CAUSA Falta de un equipo especializado para medir el consumo exacto de combustible.	ACCIÓN Considerar la renta o compra de un dispensador con contador para medir el diésel dispensado, especialmente si el consumo es considerable. Realizar un registro diario del consumo utilizando el contador y comparar los datos con el registro manual.		

Figura 31. Análisis SCRA: Utilización de madera de un solo uso.

CONSTRUCTORA TABOR REIMERS		ANÁLISIS SCRA	
Título: Uso de madera de un solo uso Tipo de desperdicio: RCD		Solicitante: Ing. Keilah Vega	Fecha: 2-nov-24 Calificación: 3
SISTEMA (Problema) El uso de madera de un solo uso para encofrados y otros elementos genera residuos difíciles de gestionar y caros de disponer debido a la falta de gestores autorizados y a su bajo valor residual.	REMEDIO Implementar una estrategia para usar madera reutilizable o buscar alternativas de materiales que reduzcan la dependencia de madera de un solo uso, y optimizar la gestión de estos residuos.		
CAUSA Uso excesivo de madera de un solo uso que no tiene un valor residual significativo y dificultad para encontrar gestores que puedan reciclarla o disponer de ella a un costo bajo.	ACCIÓN Optar por materiales o encofrados reutilizables que puedan ser utilizados varias veces, reduciendo la necesidad de madera de un solo uso. Evaluar el uso de materiales como plásticos reciclados o sistemas de encofrado metálico que sean más rentables y fáciles de gestionar al final de su vida útil. Negociar con más gestores locales de residuos para obtener mejores tarifas y acuerdos sobre la disposición y reciclaje de la madera, facilitando el proceso de gestión de residuos y reduciendo costos.		

Figura 32. Análisis SCRA: Deficiencias en la colocación inicial del concreto.

CONSTRUCTORA TABOR REIMERS		ANÁLISIS SCRA	
Título: Deficiencias en la colocación inicial del concreto generan picados para corregir defectos Tipo de desperdicio: RCD		Solicitante: Ing. Keilah Vega	Fecha: 2-nov-24 Calificación: 3
SISTEMA (Problema) Se presentan defectos en el concreto debido a problemas en su colocación inicial, lo que obliga a realizar remociones posteriores para corregir dichas fallas.	REMEDIO Utilizar métodos correctivos menos invasivos, como reparaciones localizadas con morteros de alta adherencia o resinas epóxicas, evitando la generación excesiva de escombros y reduciendo los retrabajos.		
CAUSA La falta de precisión, técnica o supervisión durante la colocación inicial del concreto en elementos como columnas o muros genera inconsistencias que no cumplen con los estándares requeridos, provocando la aparición de defectos.	ACCIÓN Establecer controles de calidad preventivos, como revisiones continuas durante la colocación del concreto, uso de tecnología de nivelación y compactación, y personal capacitado, para garantizar un resultado inicial adecuado que elimine la necesidad de correcciones mayores.		

Figura 33. Análisis SCRA: Poco espacio para hacer una buena separación de residuos/chatarra.

CONSTRUCTORA TABOR REIMERS		ANÁLISIS SCRA	
Título: Poco espacio para hacer una buena separación de residuos/chatarra Tipo de desperdicio RCD		Solicitante: Ing. Keilah Vega	Fecha: 2-nov-24 Calificación: 5
SISTEMA (Problema) La falta de espacio adecuado para realizar una correcta separación de residuos y chatarra dificulta la clasificación, aumentando los costos de disposición de residuos y reduciendo las oportunidades de reciclaje.		REMEDIO Mejorar la infraestructura de almacenamiento de residuos, creando áreas designadas para la separación eficiente de chatarra y residuos reciclables.	
CAUSA Espacios limitados en la obra para organizar de manera efectiva los residuos, lo que genera confusión en la clasificación y un mayor volumen de residuos mezclados.		ACCIÓN Reorganizar el espacio disponible en la obra para crear áreas específicas y optimizadas para la separación de residuos y chatarra. Instruir a los trabajadores para que realicen la separación de los residuos desde su origen, de forma que los materiales reciclables y no reciclables se gestionen correctamente desde el inicio.	

Con estos análisis fue posible entender las causas raíz de cada problema identificado y proponer soluciones prácticas. Así, por ejemplo, para reducir el desperdicio de agua, se propusieron grifos automáticos y programas de mantenimiento preventivo. Respecto al uso de combustible, se planteó la adquisición de dispensadores con contadores para monitorear el consumo y optimizar su uso; del mismo modo para las demás problemáticas identificadas se propusieron soluciones en base a la causa del problema. Este enfoque estructurado garantiza que las soluciones sean precisas y directamente aplicables en el contexto del proyecto.

En base a lo obtenido en cada SCRA se procedió a presentar la información en un informe A3, en donde dicha información fue sintetizada de una forma ordenada y clara, de forma tal que permita a cualquier persona enterarse de los problemas identificados y qué posibles acciones se pueden tomar al respecto. Se realizó un único informe A3 para cada recurso crítico, resumiendo en este las problemáticas según corresponda. A partir de la siguiente página, se presentan los informes A3 para cada recurso, de forma tal que en la figura 34 se presenta el informe A3 para el uso de concreto, en la figura 35 para el uso de agua, en la figura 36 para el uso de electricidad, en la figura 37 el uso de combustibles, y finalmente en la figura 38 el informe A3 para la gestión de RCD.

Figura 34. Informe A3: Desperdicios y eficiencia en el uso de Concreto.

CONSTRUCTORA TABOR REIMERS

INFORME A3

TEMA: Desperdicios y Eficiencia en el Uso de Concreto

Solicitante: Ing. Keilah Vega

Fecha: 2-nov-24

Consecutivo: A3 - #001

DEFINICIÓN O PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El manejo del concreto en el proyecto está causando varios desperdicios de material y tiempos de espera innecesarios, lo cual impacta negativamente en los costos y la eficiencia de la obra. Los problemas incluyen tanto ineficiencias en la coordinación (esperas) como en los procesos técnicos (cubicación y uso de bombas), lo que genera un incremento en los costos operativos y en el uso de recursos.

OBJETIVO BUSCADO Y PROPUESTAS DE MEJORA:

Objetivo Buscado:

Disminuir los desperdicios y costos asociados al manejo del concreto mediante mejoras en la coordinación logística, la precisión en los cálculos de volúmenes, y el aseguramiento de la calidad en los procedimientos.

Propuestas de Mejora:

- Cubicación precisa:

Implementar herramientas digitales para cálculos exactos y doble verificación de volúmenes.

- Optimizar entregas:

Planificar las llegadas de camiones con metodología Just-In-Time (JIT).

- Montaje de encofrados:

Inspeccionar encofrados antes de colados y estandarizar revisiones.

- Control de pedidos:

Validar volúmenes con márgenes ajustados y registrar consumos reales.

ESTADO ACTUAL

Largas esperas entre chompipas:

tiempos de espera de hasta 45 minutos entre camiones, afectando la eficiencia de la obra.

Desperdicio de concreto por mala cubicación:

Algunos de los pedidos de concreto suelen ser inexactos, lo que lleva a desperdiciar entre un 3% y 5% del material solicitado.

Desperdicio cuando se utiliza bomba telescópica:

Se está utilizando más concreto del necesario al no ajustar correctamente la cantidad al trabajo a realizar.

Mala colocación del encofrado:

Los encofrados presentan fallos como aberturas o tapones mal asegurados, lo que ocasiona fugas de concreto durante las chorreas. Este problema en ocasiones ha generado un desperdicio de hasta 4m³, afectando tanto los costos como los tiempos de ejecución.

PLAN DE IMPLEMENTACIÓN: 5W2H: What, Why, When, Where, Who, How y How much?

¿Qué?	¿Por qué?	¿Cuándo?	¿Dónde?	¿Quién?	¿Cómo?	¿Costo?	Estado
Revisar la cubicación y validar pedidos de concreto	Reducir el desperdicio y mejorar la precisión de los pedidos	De inmediato	En oficina de coordinación de obra	Ingenieros a cargo	Implementar un proceso de doble verificación antes de realizar el pedido	Costo mínimo por capacitación	Proceso
Mejorar la coordinación con proveedores	Reducir los tiempos de espera y mejorar el flujo de trabajo	De inmediato	En el sitio de la obra y oficina administrativa	Ingeniero de obra y coordinador de la concretera	Establecer tiempos de entrega más precisos y realizar reuniones de coordinación	No tiene coste adicional, pero requiere esfuerzo en coordinación	Proceso
Revisar y ajustar el encofrado	Evitar el desperdicio de material y mejorar la colocación	De inmediato	En obra	Maestro de obras e Ingeniero residente	Establecer un control de calidad para la instalación del encofrado	Coste mínimo por ajustes y revisión de calidad	Proceso

ANÁLISIS CAUSA - EFECTO

Materiales

Cubicación inexacta al estimar volúmenes.

Pérdida de concreto durante el transporte y uso de bombas telescópicas.

Personal no capacitado para colocar encofrados correctamente.

Supervisión limitada en el proceso de montaje y chorrea.

Métodos

Mala planificación en la programación de camiones de concreto (esperas entre chompipas)

Métodos inconsistentes para asegurar los encofrados y prevenir fugas

Uso incorrecto de la bomba telescópica, llevando a desperdicio de material.

Falta de herramientas específicas para el refuerzo de encofrados.

Mano de Obra

Maquinaria/Equipos

PROBLEMA:

Desperdicio de concreto, incrementos en costos operativos y retrasos en los tiempos de ejecución.

SEGUIMIENTO

- Registrar el volumen de concreto perdido por chorrea y comparar con un objetivo (por ejemplo menos del 5%)

- Monitorear y reducir los tiempos entre camiones.

- Llevar un registro semanal de incidencias detectadas durante inspecciones.

- Analizar los datos de concreto solicitado vs. utilizado al finalizar cada actividad.

EVIDENCIAS DEL PROBLEMA IDENTIFICADO



Fugas de concreto durante una chorrea debido a un tapón mal colocado en encofrado (3m³ aprox.)



Desperdicio de concreto al utilizar bomba telescópica

Prácticas Lean para la optimización de recursos en la fase constructiva de proyectos de construcción:
Caso Proyecto Babylon

73

Figura 35. Informe A3: Desperdicios y eficiencia en el uso de Agua.

CONSTRUCTORA TABOR REIMERS

INFORME A3

TEMA: Desperdicios y Eficiencia en el Uso de Agua

Solicitante: Ing. Keilah Vega

Fecha: 2-nov-24

Consecutivo: A3 - #002

DEFINICIÓN O PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desperdicio de agua en obra genera costos innecesarios y refleja un uso ineficiente de recursos. Los principales problemas identificados son las fugas en mangueras y las llaves de lavamanos que quedan abiertas, lo que aumenta el consumo y afecta el presupuesto del proyecto.

OBJETIVO BUSCADO Y PROPUESTAS DE MEJORA:

Objetivo Buscado:

Reducir el desperdicio de agua en obra mediante el control eficiente del consumo, la reparación de equipos defectuosos y la capacitación del personal, disminuyendo costos asociados al recurso.

Propuestas de Mejora:

-

Revisar todas las mangueras y reparar o sustituir las que presenten fugas.

-

Cambiar los lavamanos actuales por modelos con pedal o sistemas temporizadores.

-

Realizar talleres cortos para los trabajadores sobre la importancia del uso eficiente del agua.

-

Establecer rutinas semanales para revisar el estado de las conexiones y detectar fugas.

ESTADO ACTUAL

Mangueras en mal estado:

Muchas presentan fugas constantes debido al deterioro por uso prolongado o falta de mantenimiento.

Llaves abiertas en lavamanos:

Se detecta que los trabajadores suelen dejar las llaves abiertas, provocando un flujo continuo de agua no utilizada.

Impacto:

Aumento del consumo y costos operativos, además de mal manejo de un recurso clave para la construcción.

PLAN DE IMPLEMENTACIÓN: 5W2H: What, Why, When, Where, Who, How y How much?

¿Qué?	¿Por qué?	¿Cuándo?	¿Dónde?	¿Quién?	¿Cómo?	¿Costo?	Estado
Reparar mangueras	Reducir desperdicio de agua, controlar costos y promover sostenibilidad.	De inmediato	En el sitio de la obra	Encargado de mantenimiento	Realizando inspecciones	¢2,500 - ¢5,000 Considerando materiales y mano de obra	Proceso
Instalar lavamanos de pedal	Reducir desperdicio de agua, controlar costos y promover sostenibilidad.	De inmediato	En el sitio de la obra	Ingeniero residente y personal de obra	Instalación de sistemas de pedal	¢7,500 - ¢15,000 Considerando materiales y mano de obra	Proceso

ANÁLISIS CAUSA - EFECTO

Materiales

Métodos

Mano de Obra

Maquinaria/Equipos

Mangueras de baja calidad

Mangueras deterioradas por falta de mantenimiento preventivo

Falta de concienciación del personal sobre el ahorro de agua.

Uso descuidado de lavamanos (llaves abiertas innecesariamente).

Falta de protocolos claros para la inspección de fugas

Ausencia de rutinas específicas para cerrar llaves tras el uso

Llaves tradicionales que no se cierran automáticamente.

PROBLEMA:

Desperdicio de agua en obra, generando costos elevados y uso ineficiente del recurso.

SEGUIMIENTO

-

Comparar consumo mensual antes y después de las medidas.

-

Monitorear reparaciones realizadas y su impacto.

-

Revisar el funcionamiento de los sistemas de pedal mensualmente.

EVIDENCIAS DEL PROBLEMA IDENTIFICADO



Sistema de lavamanos utilizado en el proyecto



Fugas en mangueras

Prácticas Lean para la optimización de recursos en la fase constructiva de proyectos de construcción:
Caso Proyecto Babylon

74

Figura 36. Informe A3: Desperdicios y eficiencia en el uso de Electricidad.

CONSTRUCTORA TAVOR REIMERS

INFORME A3

TEMA: Desperdicios y Eficiencia en el Uso de Electricidad

Solicitante: Ing. Keilah Vega

Fecha: 2-nov-24

Consecutivo: A3 - #003

DEFINICIÓN O PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El uso ineficiente de la electricidad en obra genera costos elevados y afecta la sostenibilidad del proyecto. Los principales problemas identificados son las caídas de voltaje por la longitud de las líneas, luminarias encendidas innecesariamente durante la noche, herramientas conectadas en tiempos muertos y la baja eficiencia en la iluminación de las bodegas.

OBJETIVO BUSCADO Y PROPUESTAS DE MEJORA:

Objetivo Buscado: Reducir el consumo de electricidad mediante la optimización de los equipos eléctricos, la sensibilización del personal y el establecimiento de controles y tecnologías que aseguren el uso eficiente de la energía.

Propuestas de Mejora:

- Distribuir subtableros en puntos estratégicos para reducir caídas de voltaje.
- Instalar temporizadores o sensores de movimiento en áreas de baja actividad nocturna.
- Implementar un protocolo claro para desconectar herramientas durante los descansos.
- Sustituir bombillos antiguos por luces LED de bajo consumo.
- Colocar tragaluces en bodegas para aprovechar la luz natural

ESTADO ACTUAL

Caídas de voltaje: Se presentan debido a la distancia entre la fuente de energía y los puntos de consumo.

Luminarias encendidas toda la noche: Las luces de obra y áreas comunes permanecen activas más tiempo del necesario, incrementando el consumo eléctrico.

Herramientas conectadas sin uso: Durante descansos o tiempos muertos, las herramientas eléctricas permanecen conectadas, generando un consumo pasivo innecesario.

Iluminación deficiente en bodegas: Uso de bombillos no LED que consumen más energía

PLAN DE IMPLEMENTACIÓN: 5W2H: What, Why, When, Where, Who, How y How much?

¿Qué?	¿Por qué?	¿Cuándo?	¿Dónde?	¿Quién?	¿Cómo?	¿Costo?	Estado
Desconectar herramientas	Reducir costos por consumo pasivo	De inmediato	Sitio de construcción	Personal de obra	Implementación de protocolos para desconexión en tiempos muertos	No tiene coste adicional	Proceso
colocar tragaluces	Promover un uso eficiente y sostenible de la electricidad	De inmediato	Bodegas	Personal de obra	Mediante instalación de equipos	¢4,000 - ¢8,000 Considerando materiales y mano de obra	Proceso

ANÁLISIS CAUSA - EFECTO

Materiales

Uso de cables de menor calibre, generando caídas de voltaje.

Bombillos antiguos que no son LED.

Métodos

Falta de horarios establecidos para apagar luminarias nocturnas.

Ausencia de protocolos claros para desconectar herramientas en tiempos muertos.

Mano de Obra

Desconocimiento o descuido del personal en prácticas de ahorro energético.

Falta de supervisión para verificar el cumplimiento de las medidas.

Maquinaria/Equipos

Herramientas conectadas sin necesidad durante los descansos.

Falta de sistemas que permitan el aprovechamiento de luz natural

PROBLEMA:

Consumo eléctrico elevado y uso ineficiente de la electricidad en obra.

SEGUIMIENTO

- Comparar consumos previos y posteriores a las mejoras
- Verificar cumplimiento del protocolo en horarios de descanso.
- Monitorear el estado del sistema eléctrico (transformadores y subtableros) mensualmente.

EVIDENCIAS DEL PROBLEMA IDENTIFICADO



Techos de bodegas, no hay aprovechamiento de luz natural

Prácticas Lean para la optimización de recursos en la fase constructiva de proyectos de construcción:
Caso Proyecto Babylon

75

Figura 37. Informe A3: Desperdicios y eficiencia en el uso de Combustible.

CONSTRUCTORA TABOR REIMERS

INFORME A3

TEMA: Desperdicios y Eficiencia en el Uso de Combustible

Solicitante: Ing. Keilah Vega

Fecha: 2-nov-24

Consecutivo: A3 - #004

DEFINICIÓN O PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El alto consumo de diésel en la obra genera costos significativos, atribuibles a la prolongada dependencia de una planta eléctrica para operar la torre grúa y el elevador de carga, la ausencia de un sistema estandarizado para llevar el registro del consumo y la falta de un dispensador especializado para controlar y medir con precisión el combustible utilizado.

OBJETIVO BUSCADO Y PROPUESTAS DE MEJORA:

Objetivo Buscado:

Reducir los costos asociados al consumo de diésel mediante la optimización de la gestión, control y uso de este recurso, mientras se agiliza la transición a la conexión eléctrica trifásica.

Propuestas de Mejora:

- Acelerar la conexión trifásica:

Priorizar los trámites pendientes para eliminar la dependencia de la planta eléctrica.

- Implementar un sistema de monitoreo:

Utilizar herramientas digitales para registrar el consumo de combustible en tiempo real.

- Instalar un equipo con contador

para medir de forma precisa el diésel utilizado.

ESTADO ACTUAL

Alto consumo de diésel:

Uso constante de una planta eléctrica debido a atrasos en la conexión trifásica y estudios de ingeniería pendientes.

Falta de control del consumo:

No existen procedimientos claros ni herramientas adecuadas para llevar un registro preciso del consumo diario o semanal.

Inexistencia de dispensador especializado:

El diésel se administra sin contadores precisos, lo que dificulta identificar posibles ineficiencias o pérdidas.

PLAN DE IMPLEMENTACIÓN: 5W2H: What, Why, When, Where, Who, How y How much?

¿Qué?	¿Por qué?	¿Cuándo?	¿Dónde?	¿Quién?	¿Cómo?	¿Costo?	Estado
Optimizar el consumo de diésel	Reducir costos operativos y minimizar el desperdicio de combustible	De inmediato	Planta eléctrica	Ingenieros a cargo y personal de campo	Llevar un control estandarizado del consumo de combustible	No tiene coste adicional	Proceso

ANÁLISIS CAUSA - EFECTO

Materiales

Dependencia de combustible fósil debido a la falta de conexión trifásica.

Mano de Obra

Falta de capacitación en el manejo eficiente del combustible.

Supervisión insuficiente en el uso del diésel.

Métodos

Ausencia de protocolos claros para el registro y análisis del consumo.

Procesos manuales de control que dificultan la precisión de los datos.

Maquinaria/Equipos

Planta eléctrica de alta demanda operando por tiempo prolongado.

No se cuenta con un dispensador especializado con contador

PROBLEMA:

Alto consumo de diésel y falta de control en la gestión del combustible.

SEGUIMIENTO

- Implementar un sistema con reportes periódicos para verificar los avances.

- Disminuir el uso progresivamente a medida que se avanza en la conexión trifásica.

EVIDENCIAS DEL PROBLEMA IDENTIFICADO



Equipo utilizado para dispensar diesel

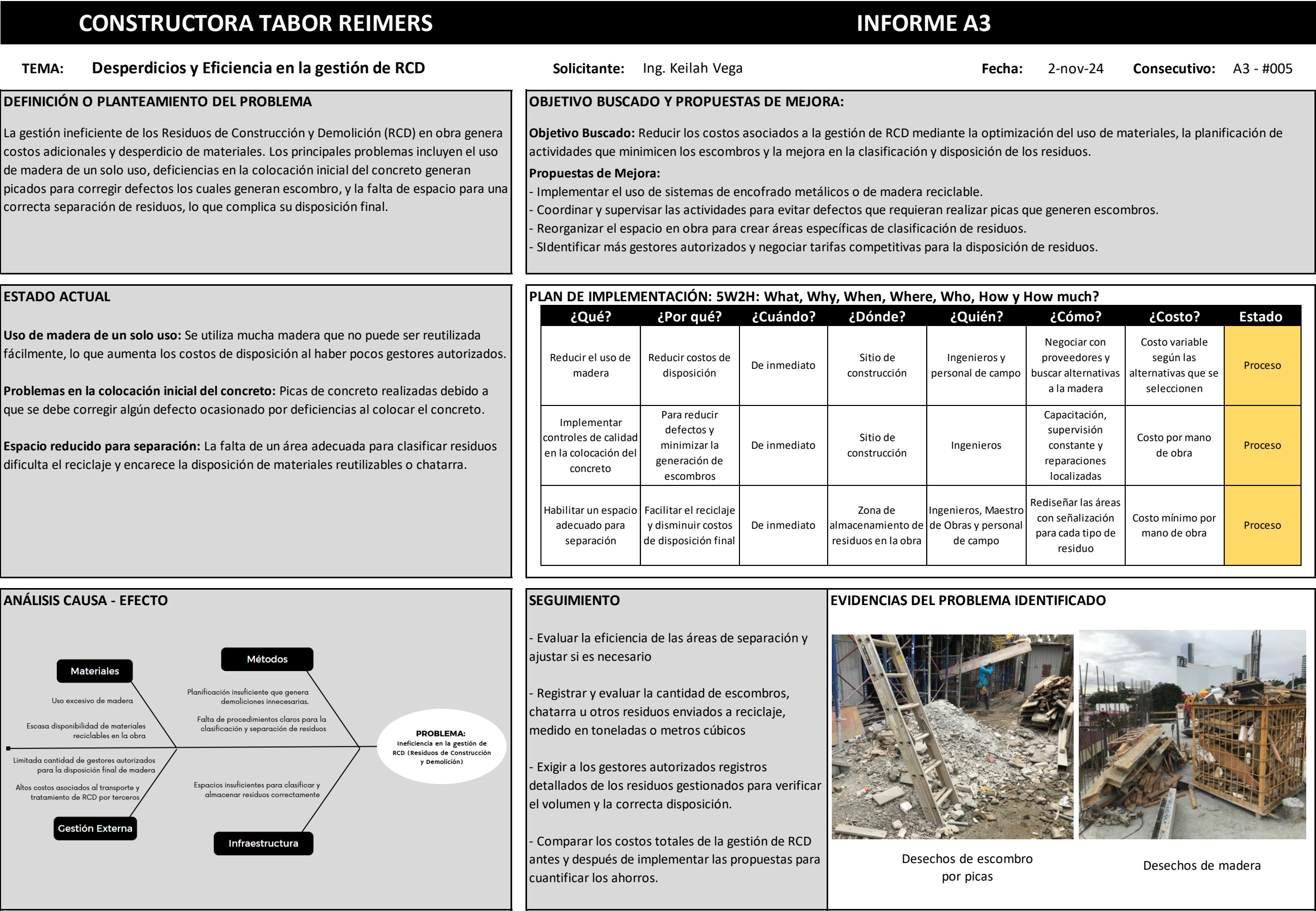


Planta de generación eléctrica usada para la grúa

Prácticas Lean para la optimización de recursos en la fase constructiva de proyectos de construcción:
Caso Proyecto Babylon

76

Figura 38. Informe A3: Desperdicios y eficiencia en la gestión de RCD



En cada uno de estos A3 se realizó un resumen del problema identificado, para posteriormente dar una descripción del estado actual de dicho problema. A partir de esa información, se llevó a cabo un análisis causa – efecto mediante un diagrama de Ishikawa (diagrama de pescado), el cual permitió identificar las posibles causas raíz. Con base en este análisis y en los resultados obtenidos a través de los análisis SCRA, se estableció un objetivo claro para cada caso, definiendo propuestas de mejora concretas. Estas propuestas fueron organizadas en un plan de implementación mediante la herramienta 5W2H, asegurando así una ejecución eficiente y detallada de las soluciones.

Para garantizar la continuidad y evaluación de las acciones implementadas, se propusieron mecanismos de seguimiento específicos, como inspecciones periódicas, control de indicadores clave, reuniones de evaluación con los responsables de cada área, entre otras. Finalmente se incluyeron registros fotográficos que documentan tanto el problema identificado como su impacto en la obra, facilitando así la comparación antes y después de la aplicación de las mejoras.

3.3.3 Costos asociados al consumo de recursos

Una vez propuestas las herramientas para gestionar los recursos en el proyecto, se realizó un análisis de cómo estas pueden realmente llegar a influir en los costos del proyecto. Así se obtuvo lo siguiente para cada recurso:

3.3.3.1 Agua

A continuación, se presenta el cuadro 10 el cual resume los consumos y costos del uso de agua en el proyecto Babylon:

Cuadro 10. Consumo y costos del uso de agua.

MES	CONSUMO (M3)	COSTO
Febrero	2	₡ 7 732,00
Marzo	51	₡ 196 803,00
Abril	56	₡ 216 847,00
Mayo	32	₡ 120 671,00
Junio	52	₡ 198 811,00
Julio	52	₡ 200 811,00
Agosto	52	₡ 204 827,00
Septiembre	52	₡ 210 727,00
Octubre	235	₡ 959 157,00
Noviembre	266	₡ 1 090 043,00
TOTAL	850	₡ 3 406 429,00

En el cuadro resumen anterior se evidencia un aumento significativo a partir de octubre, lo cual coincide con el inicio de las remodelaciones en los niveles inferiores y la incorporación de un mayor número de contratistas especializados, como enchapadores, resanadores y trabajadores de paredes livianas. Este incremento en el número de personas en obra puede haber generado una mayor demanda de agua para actividades como limpieza, mezclas de materiales y uso general por parte de los trabajadores.

Como se mencionó, los picos mensuales superiores al promedio pueden deberse al ingreso de múltiples contratistas para realizar tareas de remodelación y acabados. Esto confirma que la falta de control eficiente sobre el recurso genera costos adicionales, acumulando un gasto total de ¢3 406 429 en todo el período analizado.

Para lograr mitigar este incremento, la implementación de prácticas como las que se han propuesto anteriormente a través de las herramientas SCRA y el informe A3, como, por ejemplo, colocar lavamanos de pedal los cuales reducen el desperdicio de agua al cerrar el flujo automáticamente cuando no se utiliza pueden llegar a ser muy beneficiosas. Esta y las demás estrategias propuestas podrían reducir el consumo mensual entre un 15% y 20%, equivalente a un ahorro aproximado de 21 a 25 m³ de agua por mes. En términos de costos esto representa un ahorro de ¢85 000 a ¢100 000 por mes, lo cual se refleja en un ahorro aproximado de ¢510 000 a ¢600 000 en el periodo total del proyecto.

3.3.3.2 Electricidad

A continuación, se presenta el cuadro 11 el cual resume los costos y consumos eléctricos en el proyecto Babylon:

Cuadro 11. Costos y consumos eléctricos.

MES	CONSUMO (kWh)		CONSUMO DIARIO(kWh)	COSTO TOTAL
	MEDIDOR 1	MEDIDOR 2		
Abril	1494		49,8	¢ 346 740,00
Mayo	1607		53,57	¢ 342 355,00
Junio	1374		42,94	¢ 283 760,00
Julio	1612		50,38	¢ 337 740,00
Agosto	1648		54,93	¢ 345 285,00
		145	4,83	¢ 30 375,00
Septiembre	896		28	¢ 856 910,00
		1756	54,88	¢ 367 895,00
Octubre	1216		40,53	¢ 265 850,00
		1789	59,63	¢ 374 740,00
SUBTOTAL	9847	3690		¢ 3 551 650,00
TOTAL	13537			¢ 3 551 650,00

En el caso de la electricidad, el incremento en el consumo se registra desde septiembre, lo cual podría estar relacionado con la instalación que se realizó de un segundo medidor en agosto. Este nuevo medidor fue necesario debido a la carga adicional en el proyecto, debido al aumento en la cantidad de equipos eléctricos utilizados por los contratistas y por la necesidad de separar las mediciones entre diferentes áreas del proyecto. A partir de octubre, el aumento del consumo parece también estar influenciado por la presencia de más contratistas y el uso intensivo de herramientas eléctricas y equipos especializados, llegando a un consumo total de 13537 kWh para el período analizado, con un costo total de ₡3 551 650.

Anteriormente se propusieron prácticas que pueden ayudar a mitigar este consumo, por ejemplo, implementar una política estricta para desconectar herramientas y equipos fuera del horario de trabajo puede reducir entre un 5-10% del consumo mensual. A su vez, Instruir a los trabajadores sobre prácticas eficientes de uso eléctrico podría contribuir a una disminución del 2-3% adicional. Esta y otras prácticas podrían verse reflejadas en un ahorro aproximado entre ₡66 500 y ₡88 000 mensuales.

3.3.3.3 Combustible

En el caso del combustible, como se mencionó en apartados anteriores, el que representa un mayor consumo es el diésel. En Costa Rica, el costo del diésel, al igual que otros combustibles, es regulado y fijado por la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP). Según los costos fijados en los últimos meses, se considera el costo promedio por litro de diésel en aproximadamente ₡565.

En la tabla 4 de este documento se presentó el consumo de diésel en litros entre febrero y octubre del 2024 en el proyecto Babylon, lo cual corresponde aproximadamente a un consumo de 24650 litros. Esto corresponde a un costo total de ₡13 927 250 para el periodo analizado, esto principalmente influenciado por la necesidad de utilizar una plata de generación eléctrica para alimentar la torre grúa, otra plata para el elevador de carga (representando estos dos el mayor motivo de consumo), además de maquinaria como camiones, backhoes, entre otros. Este gasto es considerable y refleja la importancia de implementar medidas de optimización en el uso de este recurso.

Una de las propuestas que se dieron para este caso es optar por conectar la grúa torre y el elevador de carga a un sistema eléctrico trifásico, con lo cual se evitaría el uso de diésel, pero se incurriría en un costo mensual por el consumo de electricidad. Se estima que el consumo combinado de electricidad para la grúa y el elevador sería de 4,800 kWh mensuales. Con lo cual el gasto mensual en electricidad sería de aproximadamente ₡1 377 600.

Aunque el costo inicial de electricidad puede parecer elevado, comparado con los ₡13 927 250 gastados en diésel en un período similar, se observa que la electricidad es significativamente más económica.

De implementarse la conexión eléctrica, el gasto mensual se reduciría notablemente, lo que generaría un ahorro sustancial a largo plazo y, al mismo tiempo, contribuiría a una operación más sostenible y menos dependiente de combustibles fósiles.

3.3.3.4 Concreto

Considerando un periodo comprendido entre marzo y octubre, el proyecto Babylon ha presentado un consumo de concreto de aproximadamente 4291.5 m3, entre lo cual se incluye el colado en sitio de pilotes, muros, columnas, losas y demás elementos. El costo por m3 de concreto está en \$124.35, lo cual en colones es aproximadamente ₡63 863.67 según el cambio del dólar actual. Con lo cual se tiene que en el periodo analizado se ha incurrido en un costo total de ₡274 070 952.7 representando este uno de los costos más influyentes en el presupuesto del proyecto.

Gestionar de la mejor forma este recurso es algo clave, por lo cual anteriormente se propusieron varias prácticas que se pueden implementar para llevar un mejor control y disminuir desperdicios. Entre las principales problemáticas que se llegaron a dar fue el mal encofrado de elementos, así, por ejemplo, se dio el caso en donde el encofrado de una columna no quedó bien colocado, provocando que este quedara desplazado de la ubicación en la que debía estar, debido a esto se tuvo que optar por demoler todo el elemento y colarlo nuevamente. Un error como este implicó no solo desperdicio de concreto, sino también gastos adicionales por mano de obra, concreto adicional e incluso disposición de escombros, generando así un costo adicional de ₡175 517.57. A continuación, en el cuadro 12 se desglosan los costos asociados a esta situación:

Cuadro 12. Costos asociados al mal encofrado de una columna.

HORAS HOMBRE					
Puesto	Total trabajadores	Costo por hora	Horas trabajadas	Total	Cargas sociales
Ayudante	5	₡ 1 624,84	2,5	₡ 20 310,50	₡ 24 981,92
Ayudante	4	₡ 1 624,84	3	₡ 19 498,08	₡ 23 982,64
Albañil	1	₡ 1 701,22	2,5	₡ 4 253,05	₡ 5 231,25
Carpintero	1	₡ 1 701,22	2,5	₡ 4 253,05	₡ 5 231,25
MO	3	₡ 2 200,00	2,5	₡ 16 500,00	₡ 20 295,00

CONCRETO			
m3	Costo por m3	Total \$	Total ₡
1,5	\$ 124,35	\$ 186,53	₡ 95 795,51

Costo total ₡ 175 517,57

Además de este caso específico, los errores de encofrado o las malas prácticas en la manipulación del concreto pueden generar mayores costos a lo largo del proyecto, tanto en materiales como en tiempos de ejecución, debido a la necesidad de correcciones. Implementar prácticas de gestión más rigurosas, como la revisión de encofrados antes de la colocación y el uso de herramientas de control como el informe A3, podría reducir significativamente estos costos. En general, al mejorar la planificación y el control del concreto, se estima que se podrían evitar costos adicionales importantes, contribuyendo a una gestión más eficiente de los recursos y optimizando el uso del concreto en el proyecto.

3.3.3.5 Residuos de construcción y demolición

Entre febrero y octubre de 2024, el proyecto Babylon ha generado un total de 11578 m³ de residuos de construcción y demolición (RCD), principalmente compuestos por tierra y escombros. La disposición de estos residuos ha representado un costo significativo para la constructora, alcanzando un total de ₡14 747 245 por depositarlos en un tajo. Además, la disposición de estos RCD ha implicado costos adicionales por el transporte, ya que, aunque la mayoría de los viajes han sido realizados por la constructora Tabor Reimers, en algunas ocasiones se ha contratado una empresa externa. El costo de estos viajes adicionales ha sido de aproximadamente ₡2 599 000, dando como resultado un total de ₡17 346 245 utilizados para su disposición.

Este gasto elevado en la gestión de los RCD refleja la necesidad de implementar prácticas más eficientes para minimizar su generación y manejo. Para ello, resulta clave aplicar las estrategias que se han propuesto en este trabajo, como la reutilización de materiales, la clasificación adecuada de los residuos, o la optimización de los procesos de demolición y excavación. La implementación de estas prácticas no solo podría reducir los costos asociados con la disposición y transporte de residuos, sino también contribuir a una gestión más sostenible y rentable del proyecto. Además, el control y la reducción de los RCD mejoraría la eficiencia general de la obra y fomentaría el compromiso de la constructora con los principios de la filosofía Lean Construction.

3.4 Manual de uso del sistema propuesto

A continuación, como parte del cuarto objetivo de este proyecto, se presenta un manual de cómo implementar el sistema Lean propuesto, con el fin de que pueda ser aplicado en diversos proyectos constructivos y adaptado según sus necesidades.



MANUAL DE USO DE UN SISTEMA DE PRÁCTICAS PARA LA GESTIÓN DE RECURSOS BASADO EN LEAN CONSTRUCTION

Constructora Tabor Reimers S.A.

Keilah Vega Argüello

Noviembre 2024



TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	1
GLOSARIO.....	2
ESTRUCTURA DEL SISTEMA.....	3
FASE 1: MATRIZ DE DESPERDICIOS.....	4
FASE 2: ANÁLISIS SCRA.....	6
FASE 3: INFORME A3.....	7
¿QUIÉN ES EL RESPONSABLE DE CADA FASE DEL SISTEMA?.....	9
IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.....	10
SEGUIMIENTO.....	12



INTRODUCCIÓN

En el sector de la construcción, la gestión eficiente de recursos es clave para garantizar la sostenibilidad y rentabilidad de los proyectos. Sin embargo, desafíos como el desperdicio, los altos costos y la falta de sistemas estructurados para abordar problemas específicos continúan siendo barreras significativas.

Este documento presenta un sistema de gestión basado en los principios de Lean Construction, con el objetivo de optimizar el uso de recursos y reducir costos a través de la identificación y eliminación de desperdicios.

El sistema propuesto se fundamenta en un enfoque estructurado que incluye tres herramientas principales:

- Matriz de Desperdicios: para identificar áreas de ineficiencia en el uso de recursos.
- Análisis SCRA: para analizar en detalle las causas de los problemas identificados y proponer soluciones prácticas.
- Informe A3: para comunicar de manera visual y concisa las problemáticas, análisis y soluciones.

Este manual tiene como propósito guiar a los equipos de obra en la aplicación de este sistema, proporcionando un modelo replicable que no solo mejora la gestión de recursos, sino que también fomenta la mejora continua y la sostenibilidad en los proyectos de construcción.

GLOSARIO



A continuación, se presenta un glosario con definiciones de los términos clave utilizados en este sistema de gestión de recursos basado en Lean Construction:

Lean Construction: Enfoque de gestión que busca maximizar el valor y minimizar los desperdicios en proyectos de construcción mediante la mejora continua y la eficiencia en procesos.

Desperdicio: Cualquier actividad, material o recurso que no agrega valor al producto final.

Gestión de Recursos: Proceso de planificación, uso, control y optimización de los materiales, energía y personal necesarios para completar un proyecto de construcción de manera eficiente y sostenible.

Problema: Situación o condición que impide la eficiencia en la gestión de recursos, identificada mediante observación, entrevistas o análisis en el sitio de obra.

Análisis Causa-Efecto: Método gráfico para identificar las causas principales de un problema y cómo estas generan sus efectos, comúnmente representado mediante un diagrama de espina de pescado o diagrama de Ishikawa.

Eficiencia de Recursos: Capacidad de utilizar los recursos de manera óptima, minimizando el desperdicio y maximizando su impacto positivo en el proyecto.

Buenas Prácticas: Métodos o técnicas comprobadas que optimizan la eficiencia, reducen desperdicios y fomentan la mejora continua, asegurando resultados sostenibles y efectivos en proyectos de construcción.

Mejora Continua: Proceso iterativo de identificar, implementar y evaluar acciones que optimicen los procesos y reducen desperdicios en un proyecto.

ESTRUCTURA DEL SISTEMA



El sistema de gestión propuesto se organiza en tres fases principales, diseñadas para abordar de manera estructurada los problemas relacionados con la gestión de recursos en proyectos de construcción. Cada fase utiliza herramientas clave del enfoque Lean Construction, con el objetivo de identificar desperdicios, analizar problemas y proponer soluciones prácticas que optimicen el uso de recursos y reduzcan costos.

FASE 1: Identificación de Desperdicios (Matriz de Desperdicios)

Se utiliza la Matriz de Desperdicios para clasificar problemas según los ocho tipos de desperdicio en Lean Construction. Esta fase permite detectar las principales ineficiencias en la gestión de recursos.

FASE 2: Análisis de Problemas (SCRA)

Cada problema identificado se analiza con la herramienta SCRA, descomponiendo el problema en Sistema (problema), Causa, Remedio y Acción. Esto ayuda a encontrar soluciones efectivas que aborden las causas raíz.

FASE 3: Comunicación y Planificación (Informe A3)

Se sintetizan los resultados del análisis en un Informe A3, el cual incluye el problema, sus causas, las propuestas de mejora y un plan de implementación para garantizar la acción y el seguimiento. Este flujo estructurado asegura un enfoque práctico y ordenado para reducir desperdicios, optimizar recursos y fomentar la mejora continua.

FASE 1: IDENTIFICACIÓN DE DESPERDICIOS

MATRIZ DE DESPERDICIOS



La Matriz de Desperdicios es una herramienta que permite identificar y clasificar ineficiencias en los procesos según los **ocho tipos de desperdicios** de Lean Construction: sobreproducción, tiempos de espera, transporte innecesario, exceso de inventario, movimientos innecesarios, defectos, sobreprocesamiento, subutilización del talento humano.

Sin embargo, la matriz puede ser adaptada para todo tipo de proyectos y objetivos, ajustando las categorías según los aspectos críticos a evaluar, por ejemplo:

- Por áreas específicas: obra civil, instalaciones eléctricas, acabados, etc.
- Por etapas del proyecto: diseño, ejecución, cierre, etc.
- Por impactos ambientales: agua, energía, emisiones, residuos, etc

A continuación se presenta una plantilla de la Matriz de Desperdicios:

CONSTRUCTORA TABOR REIMERS - PROYECTO XXXX

Identificación de Desperdicios en las Obras

MATRIZ DE DESPERDICIOS					
ENTREVISTADO	DESPERDICIO 1	DESPERDICIO 2	DESPERDICIO 3	DESPERDICIO 4	DESPERDICIO 5
Ingeniero 1	1	2	3	4	5
Ingeniero 2	1	2	3	4	5
Ingeniero 3	1	2	3	4	5
Maestro de Obras 1	1	2	3	4	5



¿CÓMO SE USA?

1. Identificación de los desperdicios a analizar:

- Tener claros los “desperdicios” que se quieren analizar, los cuales pueden ser, por ejemplo, agua, electricidad, mano de obra, transportes, procesos, o cualquier otro recurso o actividad que pueda generarle un desperdicio en tiempo y costo a la empresa.
- La decisión de qué desperdicios analizar dependerá de las necesidades y contexto actual del proyecto.
- Colocar cada desperdicio a analizar en las celdas indicadas como “DESPERDICIO 1, DESPERDICIO 2...”

2. Recolección de información:

- Realizar breves entrevistas con ingenieros y responsables de obra para identificar problemas relacionados con los desperdicios que se estén analizando.
- Registrar en las celdas que se encuentran en blanco cada problemática detectada, asegurándose de vincularla al recurso o actividad afectada.

3. Calificación de frecuencia:

- Asignar a cada problema una calificación del 1 al 5, donde:

1	Muy baja frecuencia
2	Baja frecuencia
3	Frecuencia moderada
4	Alta frecuencia
5	Muy alta frecuencia

Esto permite priorizar los problemas más recurrentes.

FASE 2: ANÁLISIS DE PROBLEMAS

ANÁLISIS SCRA



El SCRA es una herramienta de análisis que organiza la información clave de un problema para determinar cómo solucionarlo de forma efectiva. Su estructura consta de cuatro elementos:

1. *Sistema (problema)*: ¿Qué está sucediendo?
2. *Causa*: ¿Por qué ocurre? Identificación de las causas raíz.
3. *Remedio*: ¿Qué podría solucionar el problema?
4. *Acción*: ¿Qué se hará para implementar la solución?

¿CÓMO SE USA?

1. Tomar un problema detectado en la Matriz de Desperdicios.
2. Analizarlo siguiendo los cuatro elementos del SCRA.
3. Generar propuestas de solución basadas en la causa raíz.

A continuación se presenta una plantilla del SCRA:

CONSTRUCTORA TABOR REIMERS		ANÁLISIS SCRA	
Título:	Solicitante:	Fecha:	Calificación: 1
SISTEMA (Problema) Escriba aquí	REMEDIO Escriba aquí		
CAUSA Escriba aquí	ACCIÓN Escriba aquí		

FASE 3: COMUNICACIÓN Y PLANIFICACIÓN

INFORME A3



El Informe A3 es una herramienta visual y concisa utilizada para documentar, analizar y planificar la resolución de un problema. Permite organizar la información de manera estructurada, facilitando la comunicación entre los equipos y fomentando la acción.

Elementos clave:

- *Planteamiento del problema:* ¿Qué sucede y por qué es importante?
- *Estado actual:* Descripción del impacto actual del problema.
- *Análisis causa-efecto:* Relación entre las causas y los efectos identificados.
- *Objetivo buscado y propuestas de mejora:* Soluciones y resultados esperados.
- *Plan de implementación (5W2H):* Detalle del qué, por qué, cuándo, dónde, quién, cómo y cuánto costará implementar las acciones.
- *Seguimiento:* Indicadores para monitorear la efectividad de las medidas adoptadas.
- *Evidencias:* Imágenes, diagramas o fotografías que muestran el problema identificado, con descripciones breves.

El A3 no solo organiza y documenta las problemáticas, sino que también es una herramienta clave para comunicar de manera efectiva las soluciones a los responsables del proyecto. Esto permite que:

- Las decisiones se basen en información clara y concisa.
- Las acciones se coordinen entre los equipos involucrados.
- Se garantice un enfoque alineado con los objetivos del proyecto.



A continuación se presenta una plantilla del informe A3:

CONSTRUCTORA TABOR REIMERS - PROYECTO XXXX						INFORME A3																																																						
TEMA:		Solicitante:		Fecha:		Consecutivo:																																																						
DEFINICIÓN O PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA		OBJETIVO BUSCADO Y PROPUESTAS DE MEJORA:																																																										
ESTADO ACTUAL		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: black; color: white;"> <th colspan="8">PLAN DE IMPLEMENTACIÓN: 5W2H: What, Why, When, Where, Who, How y How much?</th> </tr> <tr style="background-color: black; color: white;"> <th>¿Qué?</th> <th>¿Por qué?</th> <th>¿Cuándo?</th> <th>¿Dónde?</th> <th>¿Quién?</th> <th>¿Cómo?</th> <th>¿Costo?</th> <th>Fecha</th> <th>Estado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>Pendiente</td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>Pendiente</td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>Proceso</td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>Proceso</td> </tr> </tbody> </table>						PLAN DE IMPLEMENTACIÓN: 5W2H: What, Why, When, Where, Who, How y How much?								¿Qué?	¿Por qué?	¿Cuándo?	¿Dónde?	¿Quién?	¿Cómo?	¿Costo?	Fecha	Estado									Pendiente									Pendiente									Proceso									Proceso
PLAN DE IMPLEMENTACIÓN: 5W2H: What, Why, When, Where, Who, How y How much?																																																												
¿Qué?	¿Por qué?	¿Cuándo?	¿Dónde?	¿Quién?	¿Cómo?	¿Costo?	Fecha	Estado																																																				
								Pendiente																																																				
								Pendiente																																																				
								Proceso																																																				
								Proceso																																																				
ANÁLISIS CAUSA - EFECTO		SEGUIMIENTO		EVIDENCIAS DEL PROBLEMA IDENTIFICADO																																																								

¿CÓMO SE USA?

1. Completar cada apartado del A3 con base en el análisis (SCRA).
2. Integrar evidencias visuales para reforzar la identificación del problema.
3. Presentar el A3 a los responsables de implementar soluciones, utilizando su diseño claro y estructurado para fomentar la comprensión y el compromiso.

¿QUIÉN ES EL RESPONSABLE DE CADA FASE DEL SISTEMA?



FASE 1: Identificación de Desperdicios (Matriz de Desperdicios)

Responsable *Ingeniero Residente:* El ingeniero residente supervisa las operaciones diarias y tiene una visión integral de los procesos en obra, por lo que está mejor posicionado para identificar y clasificar los desperdicios observados en campo.

Apoyo *Asistente de ingeniería:* Puede colaborar recopilando datos, observando actividades específicas y asistiendo en la elaboración de la matriz.

FASE 2: Análisis de Problemas (SCRA)

Responsable *Ingeniero a Cargo:* Este rol tiene una visión estratégica y puede analizar las causas raíz desde una perspectiva global del proyecto, además de proponer soluciones que se alineen con los objetivos del proyecto.

Apoyo *Ingeniero Residente:* Puede proporcionar detalles técnicos sobre los problemas observados en campo.
Asistente de Ingeniería: Puede colaborar documentando los análisis realizados.

FASE 3: Comunicación y Planificación (Informe A3)

Responsable *Ingeniero a Cargo:* El ingeniero a cargo lidera la gestión del proyecto y debe garantizar que las conclusiones del análisis y las acciones correctivas estén alineadas con los objetivos generales, además de validar los planes de implementación.

Apoyo *Arquitecto:* Si los problemas afectan aspectos del diseño o planificación, puede colaborar aportando soluciones integrales.
Ingeniero Residente: Ayuda a detallar los planes de acción específicos en campo.
Asistente de ingeniería: Puede colaborar asistiendo en el llenado de la herramienta.



IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

La implementación del sistema de gestión de recursos basado en la Matriz de Desperdicios, el análisis SCRA y el Informe A3 sigue un proceso estructurado que busca asegurar la identificación y resolución efectiva de problemas relacionados con el uso de recursos en el proyecto.

Pasos para la Implementación:

1. *Capacitación Inicial:*

- Realizar una capacitación a los equipos de trabajo sobre el proceso de identificación de desperdicios, el uso de la Matriz de Desperdicios y cómo aplicar la herramienta A3.
- Explicar cómo realizar entrevistas con los responsables de los recursos para obtener información relevante y cómo calificar la frecuencia de los problemas (del 1 al 5).

2. *Realización de la Matriz de Desperdicios:*

- A través de entrevistas con ingenieros y responsables de la obra, identificar los problemas relacionados con cada recurso clave (concreto, agua, electricidad, combustible, RCD).
- Completar la Matriz de Desperdicios, priorizando los problemas según su frecuencia.



3. Análisis con SCRA:

- Para cada problema identificado, realizar un análisis SCRA (Sistema, Causa, Remedio y Acción). Esto permite profundizar en las causas raíz y definir acciones específicas para solucionarlas.

4. Elaboración del Informe A3:

- Elaborar un Informe A3 para cada problema identificado, detallando el planteamiento del problema, el análisis de causa-efecto, las propuestas de mejora, el plan de implementación, y las evidencias.
- Asegurarse de que las soluciones sean claras, medibles y asignadas a responsables.

5. Ejecución de las Acciones:

- Implementar las soluciones propuestas, asignando responsables y recursos necesarios.
- Asegurarse de que cada acción sea ejecutada dentro del plazo establecido, utilizando los recursos y procedimientos más eficientes.

6. Monitoreo y Ajuste:

- Una vez implementadas las acciones, realizar un seguimiento continuo para verificar que los problemas se resuelvan efectivamente.



SEGUIMIENTO

El seguimiento es fundamental para garantizar que las soluciones implementadas sean efectivas y sostenibles en el tiempo. Este proceso permite evaluar el desempeño de las acciones tomadas, realizar ajustes cuando sea necesario y garantizar la mejora continua.

Pasos para el Seguimiento:

1. Revisión Periódica:

- Realizar reuniones periódicas (semanales o quincenales, según la complejidad del proyecto) para revisar el avance de las acciones implementadas, comparando los resultados con los objetivos establecidos.
- ¿Cómo y dónde?: Utilizar los Informes A3 como documento base para registrar y evaluar los avances, de la siguiente manera:
 - Crear una nueva versión del informe A3, editando la fecha y el número de consecutivo.
 - La sección del A3 que se titula como “SEGUIMIENTO” se puede utilizar para registrar:
 - Acciones realizadas.
 - Resultados observados.
 - Próximos pasos o ajustes necesarios.
 - En la sección titulada como “PLAN DE IMPLEMENTACIÓN” se debe actualizar el estado de la implementación de la solución propuesta (Pendiente, Proceso, Listo).



SEGUIMIENTO

2. Retroalimentación y Ajustes:

- *Si durante el seguimiento se identifican fallos o áreas de mejora, hacer ajustes inmediatos en las acciones implementadas.*
- *¿Cuándo y cómo?: Actualizar el Informe A3 inmediatamente después de cada reunión o en cuanto se realicen ajustes en campo. Esto garantiza que el documento refleje siempre el estado actual de las acciones y los resultados.*

3. Documentación de Resultados:

- Registrar los resultados y aprendizajes de cada ciclo de seguimiento, documentando las lecciones aprendidas para futuros proyectos.
- Herramienta: Centralizar la información en una carpeta compartida o software de gestión (como Google Drive), donde se almacenen los Informes A3 actualizados y un historial de las decisiones tomadas.
- Esta documentación servirá como base para futuras implementaciones, permitiendo mejorar continuamente el proceso.



MANUAL DE USO DE UN SISTEMA DE PRÁCTICAS PARA LA GESTIÓN DE RECURSOS BASADO EN LEAN CONSTRUCTION

Constructora Tabor Reimers S.A.

Elaborado por:
Keilah Vega Argüello

Noviembre 2024

Conclusiones

Las conclusiones presentadas a continuación sintetizan los principales aprendizajes y hallazgos obtenidos durante el desarrollo de este proyecto:

- El análisis de los flujos actuales de recursos críticos en el proyecto Babylon permitió identificar áreas claves de desperdicio, como concreto, agua, electricidad, combustible y residuos de construcción y demolición, identificando así oportunidades de mejora en la gestión de estos recursos. Este análisis evidenció que el uso eficiente de sus recursos es fundamental para la reducción de costos y para disminuir los desperdicios en el proyecto.
- A través de las entrevistas realizadas a ingenieros y responsables del proyecto, se obtuvo información clave sobre las prácticas y herramientas ya implementadas en la obra para la gestión de recursos, así como estrategias informales de control de desperdicios y la supervisión técnica. Este insumo permitió establecer un punto de partida para el análisis de brechas y la posterior implementación de prácticas Lean.
- Los cuestionarios aplicados a los trabajadores revelaron una visión práctica sobre el manejo de recursos en campo. Esto permitió identificar aspectos críticos, como la falta de capacitación en la gestión eficiente de recursos y un desconocimiento general sobre el impacto económico de sus acciones, lo cual subraya la necesidad de incluirlos en el desarrollo de soluciones.
- A partir de las entrevistas y cuestionarios realizados, se evidenció que, si bien algunos profesionales ya aplican estrategias Lean de manera intuitiva, aún falta una integración formal de estas prácticas y una mayor capacitación del personal en todos los niveles. Esto es clave para garantizar la sostenibilidad y la replicabilidad de los resultados obtenidos.
- La búsqueda bibliográfica nacional e internacional sobre Lean Construction fue crucial para seleccionar prácticas aplicables al proyecto Babylon. Con esto se comprobó que herramientas como el informe A3 y el SCRA pueden adaptarse eficazmente al contexto constructivo de Costa Rica, logrando resultados relevantes en optimización de recursos.
- La matriz de desperdicios, adaptada para analizar los recursos críticos, se consolidó como una herramienta práctica y eficiente para recopilar información directamente de los responsables de obra, facilitando la priorización de problemáticas según su frecuencia e impacto.

- La introducción de prácticas Lean, como la estandarización de procesos y la mejora en la gestión de recursos no solo impacta directamente en la reducción de costos, sino que también fomenta la cultura de mejora continua dentro del proyecto.
- El desarrollo e implementación del sistema de prácticas Lean, compuesto por la matriz de desperdicios, el análisis SCRA y el informe A3, según lo desarrollado a lo largo de este documento, es un modelo que permitió no solo proponer soluciones concretas a problemáticas identificadas, sino que también contribuye a generar una mayor conciencia entre los involucrados sobre la importancia de optimizar recursos, mostrando esto de una forma ordenada y clara. De esta forma dicho sistema puede ser implementado por cualquier profesional en el área de construcción, adaptándolo de forma eficaz a cada proyecto, siendo estas herramientas fáciles de utilizar y con el potencial de generar un gran impacto en beneficio del proyecto.
- La gestión eficiente de los recursos en el proyecto Babylon es clave para reducir costos operativos. Los análisis de los consumos de agua, electricidad, diésel y RCD han demostrado que un aumento en las actividades del proyecto incrementa los gastos. Implementar prácticas Lean, como optimizar el uso de concreto, desconectar herramientas y mejorar la gestión de recursos como agua y electricidad, puede generar ahorros significativos. Asimismo, el cambio a energía eléctrica para equipos pesados, como la grúa y el elevador de carga, puede reducir los costos de diésel a largo plazo, aunque con un aumento en el gasto eléctrico. En resumen, adoptar estas prácticas contribuiría a una gestión más eficiente de los recursos, mejorando la rentabilidad y sostenibilidad del proyecto.
- Finalmente, la elaboración de un manual que describe detalladamente el sistema propuesto es un aporte significativo, ya que facilita la replicabilidad de las prácticas Lean en futuros proyectos de la constructora Tabor Reimers, posicionándola como una empresa comprometida con la sostenibilidad y la eficiencia operativa de sus proyectos.

Recomendaciones

A continuación, se presenta una serie de recomendaciones dirigidas a diversos departamentos clave de la constructora Tabor Reimers, con el fin de fomentar la mejora continua, basado en los resultados y conclusiones de este proyecto:

- El departamento de Recursos Humanos junto con el Departamento de Ingeniería debe implementar un programa regular de capacitación para los trabajadores, enfocado en la gestión eficiente de recursos críticos como concreto, agua, electricidad, combustibles, RCD y demás recursos que consideren pertinentes. Esto incluye sensibilizar sobre el impacto del desperdicio y entrenarlos en prácticas de ahorro y mejora continua.
- La Gerencia de Ingeniería debe establecer un sistema estandarizado para registrar y monitorear el consumo de recursos, incorporando tecnología accesible como hojas de cálculo automatizadas o software específico. Este registro permitirá identificar patrones de consumo y áreas de mejora.
- El Departamento de Ingeniería debe incluir cláusulas en los contratos con los subcontratistas que fomenten el uso de prácticas Lean, además de proporcionarles una inducción básica sobre las herramientas utilizadas como SCRA y A3. Esto asegura la alineación de todos los actores del proyecto con los objetivos de eficiencia.
- La Gerencia de Proyectos debe revisar periódicamente las herramientas y prácticas implementadas para garantizar su relevancia y efectividad. Esto incluye ajustes según los resultados de seguimiento y la incorporación de nuevas metodologías que puedan surgir.
- El Departamento de Ingeniería responsable de cada proyecto debería priorizar la inversión en soluciones específicas como lavamanos con pedales, tragaluces en bodegas y contadores especializados para combustible, entre otras. Estas tecnologías de bajo costo tienen un impacto directo en la reducción de desperdicios y en la eficiencia operativa.
- El Departamento de Ingeniería debe continuar explorando y adoptando prácticas internacionales probadas en la gestión de recursos, integrando aquellas que se alineen con las necesidades locales y del proyecto.
- El Departamento de Control y Gestión debe implementar un sistema de monitoreo periódico del consumo de recursos críticos (agua, electricidad, combustibles, concreto y RCD), correlacionándolo con las actividades ejecutadas en cada fase del proyecto. Esto permitirá identificar patrones de consumo, detectar posibles desperdicios y establecer indicadores clave de desempeño (KPIs) que faciliten la toma de decisiones basada en datos.

- El Departamento de Ingeniería debería establecer indicadores claros que midan la efectividad del sistema implementado, como reducción de desperdicios, ahorro en costos y mejora en la productividad, para así tomar decisiones basadas en datos.
- La Dirección General debe considerar la implementación del sistema desarrollado en otros proyectos de la constructora, utilizando el caso del proyecto Babylon como un modelo base. Esto garantizará una estandarización de las prácticas en la empresa.

Referencias

- Abarca-Guerrero, L., Leandro-Hernández, G., (2016). Guía De Manejo Eficiente De Materiales De Construcción. Recuperado de: https://archivo.construccion.co.cr/descargas/GUIA_MANEJO_MATERIALES_CONSTRUCCION.pdf
- Acón, E. (2019). Revista Construcción 230. 230, 1–60.
- Alarcón L. F.; Ashley D. B. & Cruz J. C. (2000). The Impact of Planning Strategies on Project Performance. Proceedings of the CIB W92 Procurement System Symposium, Santiago, Chile, March 2000. Pp 329-344.
- Aneiros, L. M. (2008). Gestión de RCD y su repercusión en el desarrollo sostenible. *Residuos. La Revista Técnica del Medio Ambiente*, (102), 48-60.
- Arana, M. A. (2016). El concreto, material fundamental para la infraestructura. *Voz del experto*, 24.
- Ballard, Glenn. (2006). Questions about Lean Construction. Journal of the Swedish National Board of Housing Building and Planning, June. 6p.
- Ballard, Glenn & Howard, Gregory A. (2003). Competing Construction management paradigms. Proceedings of the Construction Research Conference, American Society of Civil Engineers, Honolulu, HI. Pp 43-50.
- Bandera Azul Ecológica. (2019). Manual de procedimientos. Categoría XV Construcción Sostenible. Recuperado de: <https://banderaazulecologica.org/landingde-categorias/construccion-sostenible>
- Barbarán Oriundo, M. N. (2016). Estimación del consumo de recursos energéticos en la construcción de edificaciones en la ciudad de Ayacucho.
- Calderón, Naranjo Roberto Andrés. (2017). Análisis de la “Programación Ganada” en Proyectos (Trabajo fin de máster). Universidad de Sevilla: Sevilla, España.

- Chan, K.-Y., & Li, X.-D. (2001). A study of the implementation of ISO 14001 environmental management systems in Hong Kong. *Journal of Environmental Planning and Management*, 44(5), 589-601.
- Chanto, F. J. (2005). Gestión energética y los programas de uso eficiente de la energía para la Industria. San José, Costa Rica.
- Delgado-Ordúz, E. (2007). Aplicación de la metodología de planeación Last Planner en el mejoramiento de la productividad, efectividad y eficiencia en el sistema constructivo aporticado (Lean Construcción). (Informe de práctica empresarial). Universidad Industrial De Santander. Bucaramanga, Colombia. Recuperado de: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2007/124188.pdf>
- Domínguez, J. (1993). Propuesta para la Sistematización y Automatización del Control de Costos de Construcción. Tesis inédita de Maestría, UADY, Mérida, México.
- Formoso, Carlos T; De Cesare, Claudia M. (1998). "As Perdas Na Construção Civil: Conceitos, Classificações e Seu Papel Na Melhoria Do Setor".
- Fundación Conama, Green Building Council España (GBCe), & RCD Asociación. (2018). Economía Circular en el Sector de la Construcción.
- Galarza Meza, M. P. (2011). *Desperdicio de materiales en obras de construcción civil: Métodos de medición y control*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- García-Díaz, O. A. (2012). Aplicación de la Metodología Lean Construction en la Vivienda de Interés Social. (Tesis de especialidad). Universidad Ean, Bogotá, Colombia. Recuperado de: <http://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/2417/GarciaOswaldo2012.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- CFIA. (2016). Revista CFIA Edición 264. <https://revista.cfia.or.cr/wpcontent/uploads/2018/03/264-1.pdf>
- GHIO, Virgilio. (2001). "Productividad En Obras De Construcción: Diagnostico, Critica y Propuesta" Lima.
- Gido, J., & Clements, J. P. (2012). Administración exitosa de proyectos (5th ed.). México: Cengage Learning.
- González, J. y Tirado, I. (1998). Diagnóstico sobre la administración de materiales de empresas constructoras de viviendas de interés social. Ingeniería, Revista Académica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán. Vol. 2, Núm. 3. Mérida, México, pp. 21-32.

- Guzmán Tejada, A. (2014). Aplicación de la filosofía Lean Construction en la planificación, programación, ejecución y control de proyectos. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Hajdu, M., Szenik, G., & Bardócz, G. (2013). Application of Evaluation Lines in Project Planning and Control. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 74, 175–180. <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.03.024>
- Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo. (2022). INVU
- ISO. (2011). Gana el desafío de la energía con ISO 50001. ISO, 1-13. Obtenido de http://www.iso.org/iso/iso_50001_energy-es.pdf
- Jaillon, L., & Poon, C. S. (2008). Sustainable Construction aspects of using prefabrication in dense urban environment: A Hong Kong case study. *Construction Management and Economics*, 26(9), 953–966. <https://doi.org/10.1080/01446190802259043>
- Joe Anderson; James Morgan y Susan Williams. (2011). Using Toyota's A3 Thinking for Analyzing MBA Business Cases, *Decision Sciences*, Vol: 9 issue 2: 278-285.
- Kerzner, H. R. (2013). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling* (11th ed.). New York: John Wiley and Sons.
- Kömmerling. (2019). Principios Básicos de Lean Construction. Recuperado de: <http://retokommerling.com/principios-basicos-Lean-Construction/>
- Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to Construction*.
- López, Á. H. (2021). *Gestión de proyectos con el Método SCRA*. <https://alvarolopezherrera.com/gestion-de-proyectos-con-el-metodo-scr/#:~:text=El%20SCRA%20se%20utiliza%20en,que%20se%20concreten%20en%20acciones>.
- Maia, L. C., Alves, A. C., Leão, C. P. (2013). Sustainable Work Environment with Lean Production in Textile and Clothing Industry. *International Journal of Industrial Engineering and Management (IJIEM)*, 4 (3), 183-190.
- Maldonado, E. G. P. (2022). Aplicación del Do Construction para el uso eficiente del Concreto en la construcción de muros anclados.

- Mao, C., Xie, F., Hou, L., Wu, P., Wang, J., & Wang, X. (2016). Cost analysis for sustainable off-site Construction based on a multiple-case study in China. *Habitat International*, 57, 215–222. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2016.08.002>
- Martínez, G. J. P. G., Botello, H. Y. D. T., y Montelongo, A. M. L. (2019). Mejora en la construcción por medio de Lean Construction y building information modeling: caso estudio. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información: RITI*, 7(14), 110– 121.
- Montilla Duque, A. (2018). Lean Construction: La Optimización en la Construcción. *Revista Digital. INESEM. España*. Recuperado de: <https://revistadigital.inesem.es/disen-y-artes-graficas/Lean-Construction/>
- Mor, M. (2018). PrevenBlog. Obtenido de <https://prevenblog.com/el-metodo-scrum-investigandodesde-la-raiz/>.
- Moreno, J. (2015). Análisis de rendimiento y costo horario de maquinaria pesada (Tesis). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Munns, A. K., & Bjeirmi, B. F. (1996). The role of project management in achieving project success. *International Journal of Project Management*, 14(2), 81–87. [http://doi.org/10.1016/0263-7863\(95\)00057-7](http://doi.org/10.1016/0263-7863(95)00057-7)
- Naciones Unidas. (2015). La agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Recuperado de: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf
- ONU. (2021). Organización de las Naciones Unidas. Agua | Naciones Unidas. <https://www.un.org/es/global-issues/water>
- ONU. (2015). El consumo excesivo de agua pone en riesgo la seguridad alimentaria, advierte FAO. *Noticias Onu*.
- Pablo Orihuela. (2013). Lean Construction en el Perú. [http:// www.motiva.com.pe/Articulos/Lean%20Construction%20en%20el%20Peru.pdf](http://www.motiva.com.pe/Articulos/Lean%20Construction%20en%20el%20Peru.pdf).

Pons Achell, J. F. (2014). Introducción a Lean Construction. España: Fundación Laboral de la Construcción. Recuperado de: <https://www.fundacionlaboral.org/uploads/documento/applications/arch5333ddd498d7a.pdf>

Project Management Institute (2004). Guía de los Fundamentos de la Dirección de Proyectos, Tercera Edición, (Guía del PMBOK).

Project Management Institute, I. (2017). Guía de los Fundamentos de la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK). Pennsylvania: Independent Publishers Group.

Quintal, A., Lezama, A. y Viana, M. (2008). La Industria de la Construcción Factor Relevante del Desarrollo de Yucatán, Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, México.

Reyes Díaz, E. P. (2012). *Resistencia a la corrosión de concretos aligerados con mezclas ternarias*.

Salas-Morera, L., Arauzo-Azofra, A., García-Hernández, L., Palomo-Romero, J. M., & Hervás-Martínez, C. (2013). PpcProject: An educational tool for software project management. Computers & Education, 69, 181–188. <http://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.07.018>

Serpell, A. y Alarcón, L. (2003). Planificación y Control de Proyectos, Tercera Edición, Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

Solís Acuña, M., & Mata Abdelnour, E. (2022). Metodología para la gestión de recursos de consumo energético durante el proceso constructivo. *Ingeniería*, 32(2), 87-114. <https://doi.org/10.15517/ri.v32i2.49974>

Solís-Carcaño, R. G., Zaragoza-Grifé, J. N., & González-Fajardo, J. A. (2019). Gestión de las maquinarias de construcción. *Ingeniería*, 23(3), 1-14.

Solminihaq, H. R., & Thenoux, G. Z. (2011). *Procesos y técnicas de construcción* (5ª ed.). Ediciones Universidad Católica de Chile.

Turner, J. R. (1999). The Handbook of Project-Based Management. McGraw-Hill de Colombia,

Vázquez, R. (2017). Aplicación de la metodología Lean Manufacturing “5S” en una empresa de reparación de motores eléctricos para la mejora del trabajo. Proyecto final de graduación p. 83. Universidad

Sevilla. Sevilla, España. Recuperado de: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/30300/fichero/Proyecto+FC+Ra%C3%BAI_V%C3%A1lquez_Garrido+IOI.pdf

Weil, M., Jeske, U., & Schebek, L. (2006). Closed-loop recycling of Construction and demolition waste in Germany in view of stricter environmental threshold values. *Waste Management & Research*, 24, 197-206.

Wen-Ling, H., Dung-Hung, L., Ni-Bin, C., & Kuen-Song, L. (2002). Recycling of Construction and demolition waste via a mechanical sorting process. *Resources, Conservation and Recycling*, 37, 23-37.

WWDR. (2014). Resumen ejecutivo Agua y energía. http://burnanenergyjournal.com/wpcontent/uploads/2013/03/WorldMap_EnergyConsumptionPerCapita2010_v4_

Zárate, S. (2016). Introducción a la construcción sostenible. DIGECA. Recuperado de: http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/charla_introduccion_a_la_construccion_sostenible_silvia_campos_.pdf

Apéndices

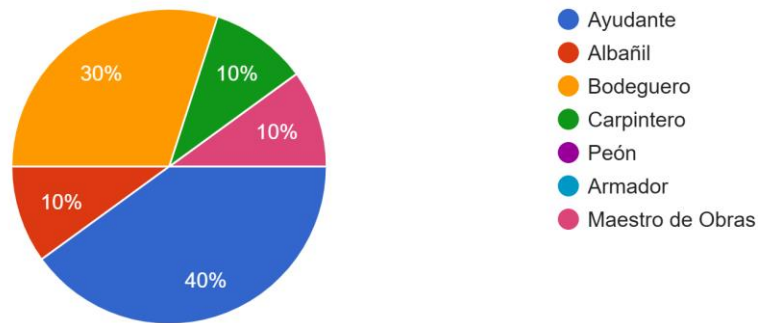
Apéndice 1. Guía de cuestionario para trabajadores

Cargo:		Fecha:
Antigüedad en la empresa: ☐ Menos de 1 año ☐ 1-3 años ☐ 3-5 años ☐ Más de 5 años		
Ítem	Pregunta	
1	¿Considera que los recursos críticos como el concreto, agua, electricidad, combustibles y RCD se están utilizando de manera eficiente en el proyecto Babylon? ☐ Sí ☐ No ☐ No estoy seguro	
2	¿Ha identificado problemas específicos en la gestión de estos recursos que impacten negativamente el proyecto? ☐ Sí ☐ No Si la respuesta es "Sí", por favor describa brevemente: _____	
3	¿Considera que tiene acceso adecuado a los recursos necesarios para realizar su trabajo eficientemente? ☐ Sí ☐ No ☐ A veces	
4	¿Ha recibido capacitación sobre cómo gestionar y utilizar los recursos críticos de manera más eficiente en el proyecto? ☐ Sí ☐ No	
5	¿Cómo calificaría la infraestructura y equipo disponible (por ejemplo, herramientas, maquinaria, instalaciones) para apoyar la gestión eficiente de recursos en el proyecto? ☐ Excelente ☐ Buena ☐ Adecuada ☐ Insuficiente ☐ Deficiente	
6	¿Ha experimentado alguna vez falta de recursos críticos (concreto, agua, electricidad, combustibles, RCD) en el proyecto que afecte su trabajo? ☐ Sí ☐ No	
7	¿Cuál de los recursos críticos cree que es el que más se desperdicia en el proyecto y por qué? _____	
8	¿Tiene alguna sugerencia o recomendación para mejorar la gestión y uso de los recursos en el proyecto Babylon? ☐ Sí ☐ No Si la respuesta es "Sí", por favor describa brevemente: _____	

Apéndice 2. Respuestas de cuestionario para trabajadores

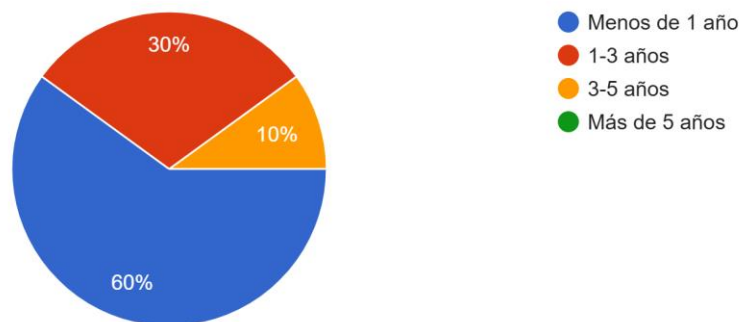
¿Cuál es su puesto?

10 respuestas



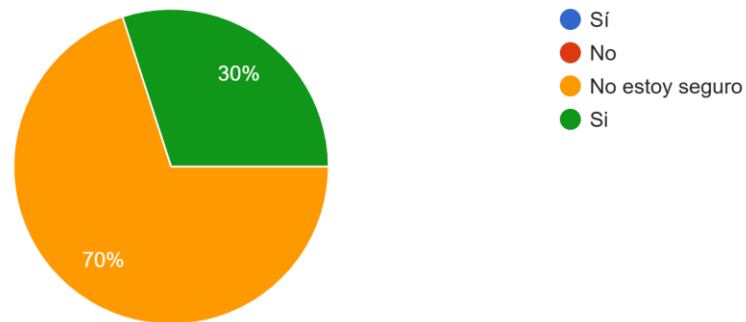
Antigüedad en la empresa

10 respuestas



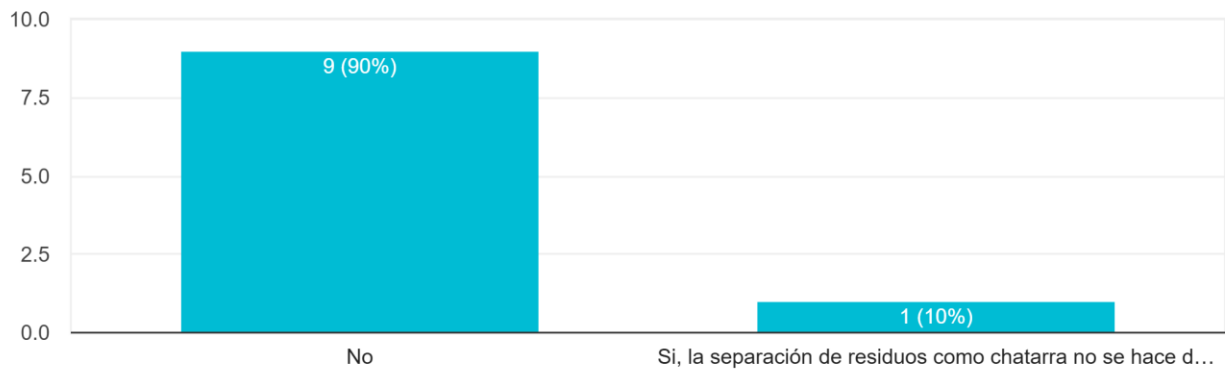
¿Considera que los recursos críticos como el concreto, agua, electricidad, combustibles y RCD se están utilizando de manera eficiente en el proyecto Babylon?

10 respuestas



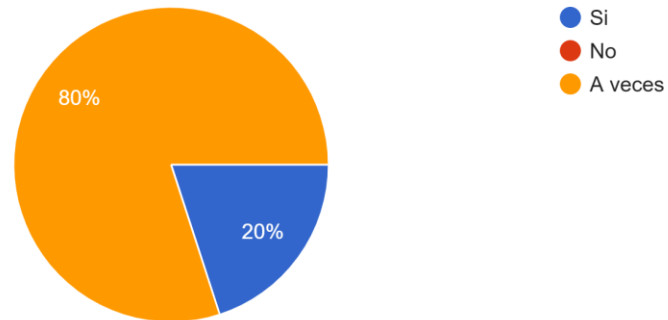
¿Ha identificado problemas específicos en la gestión de estos recursos que impacten negativamente el proyecto? Si la respuesta es "Sí", por favor describa brevemente

10 respuestas



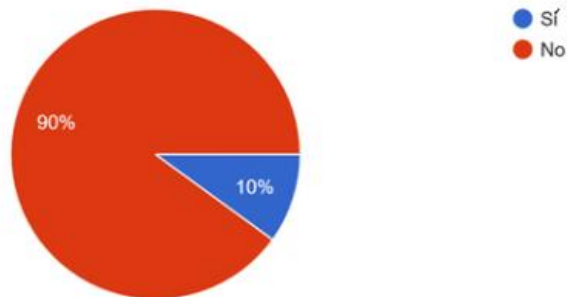
¿Considera que tiene acceso adecuado a los recursos necesarios para realizar su trabajo eficientemente?

10 respuestas



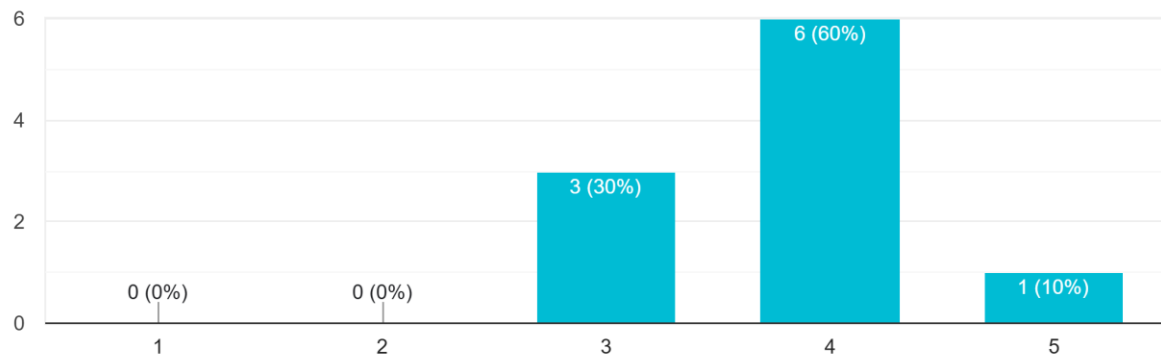
¿Ha recibido capacitación sobre cómo gestionar y utilizar los recursos críticos de manera más eficiente en el proyecto?

10 respuestas



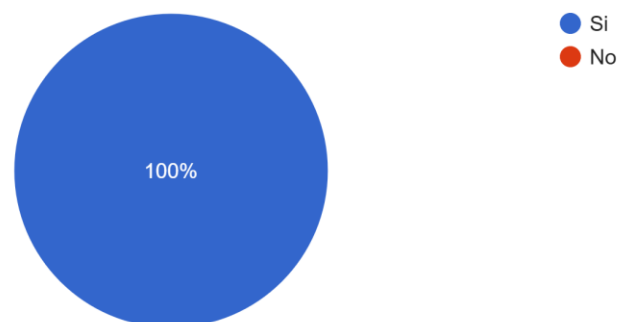
¿Cómo calificaría la infraestructura y equipo disponible (por ejemplo, herramientas, maquinaria, instalaciones) para apoyar la gestión eficiente de r...l proyecto? En donde 1 es deficiente y 5 excelente.

10 respuestas



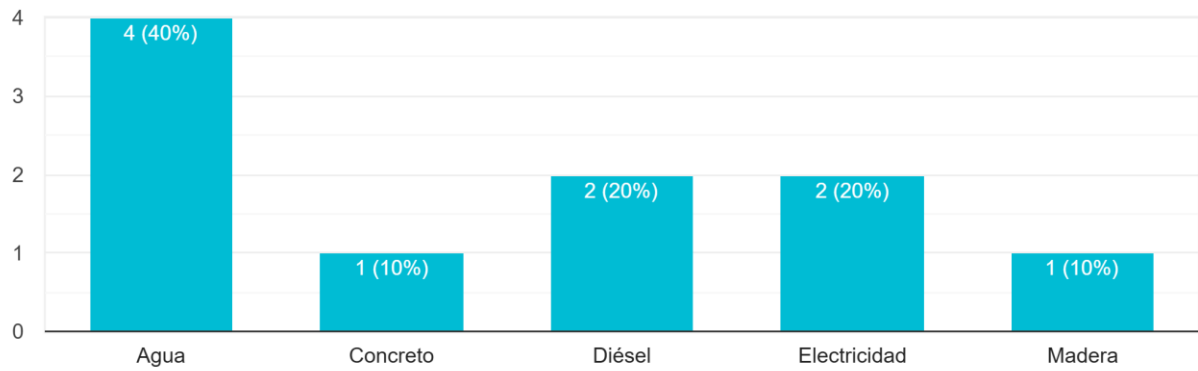
¿Ha experimentado alguna vez falta de recursos críticos (concreto, agua, electricidad, combustibles, RCD) en el proyecto que afecte su trabajo?

10 respuestas



¿Cuál de los recursos críticos cree que es el que más se desperdicia en el proyecto?

10 respuestas



Apéndice 3. Matriz de desperdicios

CONSTRUCTORA TABOR REIMERS - PROYECTO XXXX

Identificación de Desperdicios en las Obras

MATRIZ DE DESPERDICIOS									
ENTREVISTADO	DESPERDICIO 1		DESPERDICIO 2		DESPERDICIO 3		DESPERDICIO 4		DESPERDICIO 5
Ingeniero 1		1		2		3		4	5
Ingeniero 2		1		2		3		4	5
Ingeniero 3		1		2		3		4	5
Maestro de Obras 1		1		2		3		4	5

Apéndice 4. Herramienta para análisis SCRA

CONSTRUCTORA TABOR REIMERS		ANÁLISIS SCRA	
Título:	Solicitante:	Fecha:	Calificación: 1
SISTEMA (Problema) Escriba aquí	REMEDIO Escriba aquí		
CAUSA Escriba aquí	ACCIÓN Escriba aquí		

Apéndice 5. Plantilla Reporte A3

CONSTRUCTORA TABOR REIMERS - PROYECTO XXXX				INFORME A3																																									
TEMA:		Solicitante:		Fecha:	Consecutivo:																																								
DEFINICIÓN O PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA		OBJETIVO BUSCADO Y PROPUESTAS DE MEJORA:																																											
ESTADO ACTUAL		PLAN DE IMPLEMENTACIÓN: 5W2H: What, Why, When, Where, Who, How y How much? <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: black; color: white;"> <th style="font-size: 0.8em;">¿Qué?</th> <th style="font-size: 0.8em;">¿Por qué?</th> <th style="font-size: 0.8em;">¿Cuándo?</th> <th style="font-size: 0.8em;">¿Dónde?</th> <th style="font-size: 0.8em;">¿Quién?</th> <th style="font-size: 0.8em;">¿Cómo?</th> <th style="font-size: 0.8em;">¿Costo?</th> <th style="font-size: 0.8em;">Estado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="height: 25px;"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td style="background-color: #f8d7da;">Pendiente</td> </tr> <tr> <td style="height: 25px;"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td style="background-color: #f8d7da;">Pendiente</td> </tr> <tr> <td style="height: 25px;"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td style="background-color: #fff3cd;">Proceso</td> </tr> <tr> <td style="height: 25px;"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td style="background-color: #fff3cd;">Proceso</td> </tr> </tbody> </table>				¿Qué?	¿Por qué?	¿Cuándo?	¿Dónde?	¿Quién?	¿Cómo?	¿Costo?	Estado								Pendiente								Pendiente								Proceso								Proceso
¿Qué?	¿Por qué?	¿Cuándo?	¿Dónde?	¿Quién?	¿Cómo?	¿Costo?	Estado																																						
							Pendiente																																						
							Pendiente																																						
							Proceso																																						
							Proceso																																						
ANÁLISIS CAUSA - EFECTO		SEGUIMIENTO		EVIDENCIAS DEL PROBLEMA IDENTIFICADO																																									

Apéndice 6. Control del consumo diario de Diesel en el proyecto Babylon

PROYECTO: BABYLON						
CONTROL DIESEL						
INGRESO DIESEL			SALIDA DIESEL			
FECHA	HORA	LITROS	FECHA	HORA	LITROS	MÁQUINA
9/2/2024	-	200	2/9/2024	-	60	BACK HOE SANY
			2/9/2024	-	80	ESCABADORA SANY
			2/14/2024	-	60	BACK HOE SANY
			2/15/2024	-	20	VAGONETA ERICK
			2/16/2024	-	70	ESCABADORA SANY
			2/19/2024	-	20	VAGONETA ERICK
2/19/2024	-	50	PLANTA GENERACIÓN			
22/2/2024	-	200	2/23/2024	-	40	PLANTA GENERACIÓN
SALDO EN LITROS		0				
27/2/2024	-	200	2/27/2024	-	20	COMPRESOR SULLAIR
			2/27/2024	-	150	PLANTA GENERACIÓN
29/2/2024	-	600	2/28/2024	-	150	ESCABADORA SANY
			2/28/2024	-	100	BACK HOE SANY
			2/28/2024	-	50	VAGONETA ERICK
			2/29/2024	-	20	LUMINARIA
1/3/2024	-	600	3/1/2024	-	150	PLANTA GENERACIÓN
			3/2/2024	-	50	VAGONETA ERICK
			3/4/2024	-	150	ESCABADORA SANY
			3/4/2024	-	100	BACK HOE SANY
			3/5/2024	-	100	PLANTA GENERACIÓN
			3/6/2024	-	50	VAGONETA ERICK
SALDO EN LITROS		310				
9/3/2024	-	400	9/3/2024	-	100	PLANTA GENERACIÓN
			9/3/2024	-	160	ESCABADORA SANY
			11/3/2024	-	100	BACK HOE SANY
			11/3/2024	-	50	VAGONETA ERICK
			11/3/2024	-	150	PLANTA GENERACIÓN
13/3/2024	-	200	11/3/2024	-	40	COMPRESOR SULLAIR
			3/13/2024	-	60	VAGONETA ERICK
			14/3/2024	-	100	BACK HOE SANY
15/3/2024	-	100	ESCABADORA SANY			
15/3/2024		400	15/3/2024	-	100	PLANTA GENERACIÓN
SALDO EN LITROS		350				
18/3/2024	-	400	3/18/2024	-	20	LUMINARIA
			3/18/2024	-	100	PLANTA GENERACIÓN
			3/18/2024	-	100	BACK HOE SANY
			3/18/2025	-	150	ESCABADORA SANY
20/3/2024	-	600	3/18/2025	-	50	VAGONETA ERICK
			20/3/2024	-	100	PLANTA GENERACIÓN
			21/3/2024	-	100	BACK HOE SANY
			3/21/2024	-	50	VAGONETA YEN
			3/25/2024	-	100	PLANTA GENERACIÓN
			3/25/2024	-	50	ESCABADORA SANY
			3/25/2025	-	20	COMPRESOR SULLAIR
			3/27/2024	-	60	ESCABADORA SANY
			3/27/2024	-	40	VAGONETA ERICK
			28/3/2024	-	100	PLANTA GENERACIÓN
29/3/2024	-	100	BACK HOE SANY			
SALDO EN LITROS		210				
3/4/2024	-	400	1/4/2024	-	100	VAGONETA YEN
			1/4/2024	-	100	PLANTA GENERACIÓN
			3/4/2024	-	100	BACK HOE SANY
			4/4/2024	-	50	PLANTA GENERACIÓN
			4/5/2024	-	50	VAGONETA ERICK
			4/5/2024	-	20	COMPRESOR SULLAIR
			4/5/2024	-	20	LUMINARIA
SALDO EN LITROS		110				

9/4/2024	-	600	8/4/2024	-	100	PLANTA GENERACIÓN
			8/4/2024	-	80	VAGONETA YEN
			9/4/2024	-	100	BACK HOE SANY
			4/11/2024	-	20	COMPRESOR SULLAIR
			4/11/2024	-	20	LUMINARIA
			4/11/2024	-	100	ESCABADORA SANY
			4/11/2024	-	100	PLANTA GENERACIÓN
			4/11/2024	-	100	BACK HOE SANY
SALDO EN LITROS		40				
17/4/2024	-	600	4/16/2024	-	80	BACK HOE SANY
			4/16/2024	-	20	LUMINARIA
			4/16/2024	-	30	VAGONETA ERICK
			4/16/2024	-	150	ESCABADORA SANY
			4/18/2024	-	60	BACK HOE SANY
			4/18/2024	-	40	COMPRESOR BEIGE
			4/19/2024	-	100	VAGONETA YEN
			4/20/2024	-	20	COMPRESOR SULLAIR
			4/20/2025	-	40	COMPRESOR BEIGE
			4/20/2024	-	60	BACK HOE SANY
SALDO EN LITROS		20				
22/4/2024	-	800	4/22/2024	-	50	VAGONETA YEN
			4/24/2024	-	50	VAGONETA ERICK
			4/24/2024	-	150	BACK HOE SANY
			4/24/2024	-	20	LUMINARIA
			4/24/2024	-	20	COMPRESOR SULLAIR
			4/24/2024	-	40	COMPRESOR BEIGE
			4/25/2024	-	150	ESCABADORA SANY
			4/25/2024	-	50	VAGONETA YEN
			4/27/2024	-	100	BACK HOE SANY
			4/27/2024	-	50	VAGONETA ERICK
SALDO EN LITROS		120				
29/4/2024	-	800	4/29/2024	-	100	VAGONETA ERICK
			4/29/2024	-	100	VAGONETA YEN
			4/29/2024	-	100	VAGONETA GATO
			4/29/2024	-	20	COMPRESOR SULLAIR
			4/29/2024	-	40	COMPRESOR BEIGE
			4/30/2024	-	60	BACK HOE SANY
			4/30/2024	-	100	VAGONETA SANNY
			4/30/2024	-	20	LUMINARIA
			5/1/2024	-	150	ESCABADORA SANY
6/5/2024	-	800	5/2/2024	-	60	VAGONETA ERICK
			5/2/2024	-	60	VAGONETA YEN
			5/3/2024	-	100	BACK HOE SANY
			5/3/2024	-	20	MINICARGADOR
			5/3/2024	-	20	COMPRESOR SULLAIR
			5/3/2024	-	60	VAGONETA GATO
SALDO EN LITROS		690				
9/5/2024	-	600	5/6/2024	-	120	BACK HOE SANY
			5/6/2024	-	20	LUMINARIA
			5/6/2024	-	80	VAGONETA ERICK
			5/7/2024	-	20	COMPRESOR SULLIAR
			5/9/2024	-	160	ESCABADORA SANY
			5/9/2024	-	100	BACK HOE SANY
			5/10/2024	-	120	BACK HOE CASE
			5/10/2024	-	50	VAGONETA ERICK
			5/10/2024	-	20	COMPRESOR SULLIAR
			5/10/2024	-	20	MINICARGADOR
SALDO EN LITROS		560				

16/5/2024	-	800	5/14/2024	-	20	COMPRESOR SULLIAR
			5/14/2024	-	100	BACK HOE CASE
			5/14/2024	-	200	VAGONETA ERICK
			5/16/2024	-	20	COMPRESOR SULLIAR
			5/16/2024	-	140	ESCABADORA SANY
			5/16/2024	-	10	COMPRESOR SULLIAR
			5/17/2024	-	100	BACK HOE SANY NUEVO
			5/17/2024	-	20	LUMINARIA
			5/18/2024	-	10	COMPRESOR SULLIAR
			5/18/2024	-	100	ESCABADORA SANY
SALDO EN LITROS		640				
22/5/2024	10:30 a. m.	800	18/5/2024	8:00:00 a. m.	20	VAGONETA ERICK
			20/5/2024	7:00:00 a. m.	120	VAGONETA ERICK
			20/5/2024	7:20:00 a. m.	20	COMPRESOR SULLIAR
			20/5/2024	7:30:00 a. m.	100	BACK HOE SANY
			20/5/2024	8:00:00 a. m.	120	BACK HOE CASE
			20/5/2024	8:20:00 a. m.	160	ESCABADORA SANY
			21/5/2024	6:10:00 a. m.	20	COMPRESOR SULLIAR
			21/5/2024	6:30:00 a. m.	20	MINICARGADOR
			21/5/2024	10:00:00 a. m.	40	COMPRESOR SULLIAR
			21/5/2024	4:30:00 p. m.	20	LUMINARIA
			22/5/2024	11:00:00 a. m.	40	COMPRESOR SULLIAR
			22/5/2024	5:30:00 p. m.	20	LUMINARIA
			23/5/2024	6:30:00 a. m.	300	VAGONETA ERICK
			23/5/2024	12:00:00 p. m.	10	COMPRESOR SULLIAR
			23/5/2024	12:30:00 p. m.	200	ESCABADORA SANY
			23/5/2024	1:00:00 p. m.	100	BACK HOE SANY NUEVO
			23/5/2024	4:30:00 p. m.	20	LUMINARIA
			24/5/2024	6:30:00 a. m.	20	COMPRESOR SULLIAR
			24/5/2024	10:30:00 a. m.	20	BACK HOE SANY NUEVO
SALDO EN LITROS		160				
27/5/2024	7:30:00 a. m.	800	27/5/2024	7:00:00 a. m.	20	COMPRESOR SULLIAR
			28/5/2024	6:26:00 a. m.	100	BACK HOE CASE
			28/5/2024	6:35:00 a. m.	100	BACK HOE SANY NUEVO
			28/5/2024	4:20:00 p. m.	200	VAGONETA ERICK
			29/5/2024	6:50:00 a. m.	40	COMPRESOR SULLIAR
			29/5/2024	1:00:00 p. m.	20	COMPRESOR SULLIAR
			29/5/2024	1:34:00 p. m.	76	BACK HOE SANY NUEVO
			29/5/2024	4:20:00 p. m.	80	LUMINARIA LED
			30/5/2024	6:30:00 a. m.	20	COMPRESOR SULLIAR
			31/5/2024	6:30:00 a. m.	15	COMPRESOR SULLIAR
			31/5/2024	6:40:00 a. m.	5	LUMINARIA LED
			SALDO EN LITROS		284	
3/6/2024	10:00:00 a. m.	800	3/6/2024	6:30:00 a. m.	60	BACK HOE SANY NUEVO
			3/6/2024	6:50:00 a. m.	180	ESCABADORA SANY
			3/6/2024	9:30:00 a. m.	20	COMPRESOR SULLIAR
			3/6/2024	1:00:00 p. m.	20	COMPRESOR SULLIAR
			4/6/2024	6:00:00 a. m.	200	VAGONETA ERICK
			4/6/2024	6:20:00 a. m.	20	COMPRESOR SULLIAR
			4/6/2024	9:20:00 a. m.	200	ESCABADORA SANY
			4/6/2024	9:40:00 a. m.	10	COMPRESOR SULLIAR
			4/6/2024	4:46:00 p. m.	20	COMPRESOR SULLIAR
5/6/2024	6:46:00 a. m.	10	COMPRESOR SULLIAR			
7/6/2024	7:00:00 a. m.	1000	7/6/2024	6:20:00 a. m.	100	BACK HOE SANY
			7/6/2024	6:33:00 a. m.	200	VAGONETA ERICK
SALDO EN LITROS		1044				
-	-	-	10/6/2024	7:00:00 a. m.	10	COMPRESOR SULLIAR
			10/6/2024	7:20:00 a. m.	30	BACK HOE SANY
			10/6/2024	10:20:00 a. m.	200	ESCABADORA SANY
			11/6/2024	8:20:00 a. m.	80	BACK HOE SANY
			11/6/2024	3:17:00 p. m.	40	COMPRESOR SULLIAR
			12/6/2024	8:00:00 a. m.	160	ESCABADORA SANY
			12/6/2024	8:30:00 a. m.	20	BACK HOE SANY
			13/6/2024	4:30:00 p.m.	80	VAGONETA ERICK
			14/6/2024	7:00:00 a. m.	40	BACK HOE SANY
			14/6/2024	7:40:00 a. m.	40	BACK HOE SANY NUEVO
SALDO EN LITROS		344				

Pr

Caso Proyecto Babylon

pn:

17/6/2024	7:00:00 a. m.	600	17/6/2024	7:30:00 a. m.	40	BACK HOE SANY
			17/6/2024	8:00:00 a. m.	150	ESCABADORA SANY
			17/6/2024	4:00:00 p. m.	200	VAGONETA ERICK
			19/6/2024	6:30:00 p. m.	60	BACK HOE SANY NUEVO
			21/6/2024	6:20:00 p. m.	20	COMPRESOR SULLIAR
			21/6/2024	7:20:00 p. m.	200	VAGONETA ERICK
			21/6/2024	8:00:00 p. m.	100	BACK HOE SANY NUEVO
			22/6/2024	6:20:00 a. m.	40	COMPRESOR SULLIAR
22/6/2024	6:40:00 a. m.	134	ESCABADORA SANY			
SALDO EN LITROS		0				
24/6/2024	10:40:00 a. m.	800	24/6/2024	7:00:00 a. m.	154	VAGONETA ERICK
			24/6/2024	7:40:00 a. m.	46	BACK HOE SANY NUEVO
			24/6/2024	8:00:00 a. m.	50	BACK HOE SANY
			24/6/2024	8:30:00 a. m.	150	ESCABADORA SANY
			27/6/2024	4:00:00 p. m.	40	COMPRESOR SULLIAR
			28/6/2024	6:30:00 a. m.	60	COMPRESOR SULLIAR
28/6/2024	7:00:00 a. m.	60	BACK HOE SANY			
SALDO EN LITROS		240				
1/7/2024	9:00:00 a. m.	1000	1/7/2024	8:40:00 a. m.	200	VAGONETA ERICK
			3/7/2024	9:00:00 a. m.	200	ESCABADORA SANY
			5/7/2024	6:40:00 a. m.	40	BACK HOE SANY
			5/7/2024	7:20:00 a. m.	80	BACK HOE SANY NUEVO
			5/7/2024	8:20:00 a. m.	200	VAGONETA ERICK
6/7/2024	8:00:00 a. m.	200	ESCABADORA SANY			
SALDO EN LITROS		320				
8/7/2024	9:00:00 a. m.	600	8/7/2024	6:00:00 a. m.	200	PLANTA GRUA
			8/7/2024	6:30:00 a. m.	180	ESCABADORA SANY
			10/7/2024	7:00:00 a. m.	20	COMPRESOR SULLIAR
			11/7/2024	4:00:00 p. m.	30	COMPRESOR SULLIAR
			11/7/2024	6:00:00 a. m.	100	BACK HOE SANY NUEVO
			11/7/2024	8:00:00 a. m.	180	PLANTA GRUA
			12/7/2024	7:00:00 a. m.	35	COMPRESOR SULLIAR
13/7/2024	8:00:00 a. m.	110	PLANTA GRUA			
SALDO EN LITROS		65				
15/7/2024	8:20:00 a. m.	1000	15/7/2024	8:30:00 a. m.	20	COMPRESOR SULLIAR
			15/7/2024	9:00:00 a. m.	70	PLANTA DE GRUA
			16/7/2024	7:00:00 a. m.	20	COMPRESOR SULLIAR
			16/7/2024	7:30:00 a. m.	180	PLANTA DE GRUA
			18/7/2024	7:00:00 a. m.	100	PLANTA DE GRUA
20/7/2024	7:20:00 a. m.	100	PLANTA DE GRUA			
SALDO EN LITROS		575				
22/7/2024	10:40:00 a. m.	600	22/7/2024	11:30:00 a. m.	100	PLANTA GRUA
			22/7/2024	12:00:00 p. m.	20	COMPRESOR SULLIAR
			24/7/2024	7:00:00 a. m.	180	PLANTA GRUA
			24/7/2024	7:00:00 a.m.	100	BACK HOE SANY NUEVO
			29/7/2024	7:20:00 a. m.	120	PLANTA GRUA
			30/7/2024	11:00:00 a. m.	60	COMPRESOR SULLIAR
			30/7/2024	6:00:00 a. m.	120	COMPRESOR SULLIAR
			30/7/2024	7:00:00 a. m.	50	PLANTA GRUA
			1/8/2024	8:00:00 a. m.	60	PLANTA GRUA
			2/8/2024	7:00:00 a. m.	20	LUMINARIA LED
2/8/2024	7:00:00 a. m.	40	COMPRESOR SULLIAR			
SALDO EN LITROS		305				

5/8/2024	9:00:00 a. m.	800	5/8/2024	10:00:00 a. m.	160	PLANTA GRUA
			7/8/2024	11:00:00 a. m.	160	PLANTA GRUA
			7/8/2024	11:30:00 a. m.	20	COMPRESOR SULLIAR
			8/8/2004	7:00:00 a. m.	40	PLANTA GRUA
			8/8/2024	7:30:00 a. m.	60	COMPRESOR SULLIAR
			9/8/2024	7:00:00 a. m.	100	PLANTA GRUA
			9/8/2024	7:30:00 a. m.	40	BACK HOE SANY NUEVO
			10/8/2024	7:30:00 a. m.	140	PLANTA GRUA
SALDO EN LITROS		385				
12/8/2024	9:30:00 a. m.	600	12/8/2024	7:00:00 a. m.	70	COMPRESOR SULLIAR
			12/8/2024	7:30:00 a. m.	160	PLANTA GRUA
			13/8/2024	8:00:00 a. m.	60	COMPRESOR SULLIAR
			14/8/2024	10:00:00 a. m.	160	PLANTA GRUA
			16/8/2024	6:44:00 a. m.	60	PLANTA GRUA
			16/8/2024	2:00:00 p. m.	60	COMPRESOR SULLIAR
			17/8/2024	7:00:00 a. m.	80	PLANTA GRUA
			18/7/2024	7:00:00 a. m.	80	PLANTA GRUA
SALDO EN LITROS		255				
19/8/2024	8:21:00 a. m.	600	20/8/2024	7:00:00 a. m.	60	BACK HOE SANY
			20/8/2024	7:30:00 a. m.	60	PLANTA GRUA
			20/8/2024	8:00:00 a. m.	20	COMPRESOR SULLIAR
			21/8/2024	7:00:00 a. m.	100	PLANTA GRUA
			22/8/2024	7:00:00 a. m.	80	PLANTA GRUA
			23/8/2024	7:00:00 a. m.	80	PLANTA GRUA
			23/8/2024	8:00:00 a. m.	60	COMPRESOR WECKER
			24/8/2024	7:00:00 a. m.	180	PLANTA GRUA
SALDO EN LITROS		215				
26/8/2024	7:50:00 a. m.	600	26/8/2024	7:00:00 a. m.	70	PLANTA GRUA
			27/8/2024	7:00:00 a. m.	60	PLANTA GRUA
			27/8/2024	7:30:00 a. m.	20	COMPRESOR SULLIAR
			28/8/2024	7:00:00 a. m.	100	PLANTA GRUA
			29/8/2024	7:00:00 a. m.	80	PLANTA GRUA
			30/8/2024	8:00:00 a. m.	80	PLANTA GRUA
			30/8/2024	8:30:00 a. m.	50	COMPRESOR SULLIAR
			31/8/2024	7:00:00 a. m.	80	BACK HOE SANY NUEVO
			31/8/2024	7:20:00 a. m.	80	PLANTA GRUA
SALDO EN LITROS		195				
2/9/2024	8:10:00 a. m.	600	3/9/2024	7:00:00 a. m.	160	PLANTA GRUA
			4/9/2024	7:00:00 a. m.	80	PLANTA GRUA
			4/9/2024	7:20:00 a. m.	20	COMPRESOR SULLIAR
			5/9/2024	7:00:00 a. m.	80	PLANTA GRUA
			5/9/2024	7:20:00 a. m.	30	COMPRESOR SULLIAR
			6/9/2024	8:00:00 a. m.	80	PLANTA GRUA
			7/9/2024	6:20:00 a. m.	80	PLANTA GRUA
			9/9/2024	7:00:00 a. m.	40	PLANTA GRUA
SALDO EN LITROS		225				
9/9/2024	8:50:00 a. m.	600	10/9/2024	7:00:00 a. m.	160	PLANTA GRUA
			11/092024	9:00:00 a. m.	60	PLANTA GRUA
			12/9/2024	12:00:00 a. m.	100	PLANTA GRUA
			13/92024	4:00:00pm	60	PLANTA GRUA
			14/9/2024	5:00:00.pm	130	PLANTA GRUA
			16/9/2024	6:00:00.am	100	PLANTA GRUA
SALDO EN LITROS		215				
16/9/2024	8:20:00 a. m.	600	18/9/2024	10:00:00 a. m.	40	COMPRESOR SULLIAR
			18/9/2024	9:00:00 a. m.	110	PLANTA GRUA
			19/9/2024	10:00:00 a. m.	120	PLANTA GRUA
			20/9/2024	10:00:00 a. m.	120	PLANTA GRUA
			21/9/2024	8:50:00 a. m.	70	PLANTA GRUA
			22/9/2024	9:00:00 a. m.	150	PLANTA GRUA
SALDO EN LITROS		205				
23/9/2024	8:45:00 a. m.	600	23/9/2024	9:00:00 a. m.	150	PLANTA GRUA
			24/9/2024	7:00:00 a. m.	40	COMPRESOR SULLIAR
			24/9/2024	9:00:00 a. m.	60	PLANTA GRUA
			27/9/2024	8:00:00 a. m.	160	PLANTA GRUA
			28/9/2024	7:00:00 a. m.	60	COMPRESOR SULLIAR
			28/9/2024	9:00:00 a. m.	60	PLANTA GRUA
SALDO EN LITROS		275				

30/9/2024	9:00:00 a. m.	600	30/9/2024	7:00:00 a. m.	160	PLANTA GRUA
			30/9/2024	9:00:00 a. m.	50	COMPRESOR SULLIAR
			1/10/2024	8:00:00 a. m.	80	PLANTA GRUA
			2/10/2024	9:00:00 a. m.	155	PLANTA GRUA
			3/10/2024	7:00:00 a. m.	40	PLANTA GRUA
			4/10/2024	9:00:00 a. m.	160	PLANTA GRUA
SALDO EN LITROS		230				
7/10/2024	9:00:00 a. m.	500	7/10/2024	8:00:00 a. m.	100	PLANTA GRUA
			7/10/2024	9:00:00 a. m.	60	BACK HOE SANY NUEVO
			7/10/2024	9:30:00 a. m.	45	COMPRESOR SULLIAR
			8/10/2024	8:00:00 a. m.	40	PLANTA GRUA
			9/10/2024	8:30:00 a. m.	140	PLANTA GRUA
			10/10/2024	8:00:00 a. m.	60	PLANTA GRUA
SALDO EN LITROS		185				
14/10/2024	9:00:00 a. m.	500	14/10/2024	8:00:00 a. m.	150	PLANTA GRUA
			15/10/2024	12:00:00 a. m.	100	PLANTA GRUA
			17/10/2024	9:00:00 a. m.	120	PLANTA GRUA
			19/10/2024	11:00:00 a.m	180	PLANTA GRUA
			19/10/2024	11:30:00.a.m	40	COMPRESOR WECKER
SALDO EN LITROS		95				
23/10/2024	9:00:00 a. m.	400	21/10/2024	07:00:00	115	PLANTA GRUA
			23/10/2024	08:00:00	80	PLANTA GRUA
			24/10/2024	07:00:00	160	PLANTA GRUA
			25/10/2024	10:00:00	60	PLANTA GRUA
			26/10/2024	11:00:00	80	PLANTA GRUA
SALDO EN LITROS		0				
28/10/2024	9:00:00 a. m.	600	28/10/2024	07:00:00	100	PLANTA GRUA
			30/10/2024	07:00:00	140	PLANTA GRUA
			31/10/2024	07:00:00	120	PLANTA GRUA
			2/11/2024	07:00:00	160	PLANTA GRUA