

**Estrategias para el control y
reducción del consumo de agua,
electricidad y combustible
durante los procesos
constructivos de edificaciones:
estudio de casos en Portafolio
Inmobiliario.**

**ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN
ACTA DE CALIFICACIÓN**

**Trabajo Final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería
en Construcción**

A las 17:30 horas del viernes 17 de mayo del 2024, se realizó la presentación oral del Trabajo Final de Graduación denominado:

Estrategias para el control y reducción del consumo de agua, electricidad y combustible durante los procesos constructivos de edificaciones: estudio de casos en Portafolio Inmobiliario

Llevado a cabo por el estudiante:

Orozco Campos Pablo Andrés

Carné: 2018183174

La calificación final de este Trabajo Final de Graduación es de 95 puntos

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

Ing. Milton Sandoval Quirós, MAE
Representante Director de Escuela

Dr. José Andrés Araya Obando
Profesor Guía

Ing. Luis Gustavo Rojas Ch., MIV, MAP
Profesor Lector

Ing. Camilo Vargas Corrales, MAP
Profesor Observador

Resumen

En Costa Rica, no existe una línea base para monitorear los consumos de agua, electricidad y combustible durante la construcción de edificaciones. Portafolio Inmobiliario, un desarrollador de proyectos, ha implementado estrategias voluntarias para controlar y reducir estos consumos. El análisis de estos registros proporciona una oportunidad para establecer una línea base, considerando tipologías constructivas, avances de obra y estrategias de reducción empleadas. Este proyecto de graduación evaluó las estrategias utilizadas por Portafolio Inmobiliario en proyectos concluidos con diferentes tipologías constructivas, como concreto postensado, sistema liviano y mampostería. Se diagnosticaron los registros históricos de consumo, se identificaron medidas de gestión y se ofrecieron recomendaciones para mejorar la eficiencia energética y la conservación del agua. Los resultados revelaron que la tipología de mampostería tiene un gran impacto en el consumo de agua y combustible con valores de $1,17 \text{ m}^3/\text{m}^2$ y $8,82 \text{ L}/\text{m}^2$, respectivamente; por su parte la de concreto postensado presenta valores de electricidad de $4,15 \text{ kWh}/\text{m}^2$. Se sugiere adaptar las estrategias de gestión según las características de cada proyecto y mejorar los registros de consumo para una gestión más efectiva. Además, se propone ampliar el análisis hacia el impacto ambiental y los costos asociados a la reducción de consumos.

Palabras clave: construcción sostenible, consumo de agua, consumo de energía eléctrica, consumo de combustible, procesos constructivos.

Abstract

In Costa Rica, there is no baseline for monitoring water, electricity, and fuel consumption during construction. Portafolio Inmobiliario, a project developer, has implemented voluntary strategies to control and reduce these consumptions. Analyzing these consumption records provides an opportunity to establish a national baseline, considering construction typologies, progress, and strategies of reduction. This graduation project evaluated the strategies used by Portafolio Inmobiliario in completed projects with different construction typologies such as post-tensioned concrete, lightweight systems, and masonry. Historical consumption records were diagnosed, management measures identified, and recommendations offered to improve energy efficiency and water conservation. The results revealed that masonry typology has a significant impact on water and fuel consumption with values of 1.17 m³/m² and 8.82 L/m², respectively, while prestressed concrete typology presents electricity values of 4.15 kWh/m². Adapting management strategies according to each project's characteristics and improving consumption records for more effective management is suggested. Additionally, expanding the analysis to include environmental impact and costs associated with consumption reduction is proposed.

Keywords: sustainable construction, water consumption, electrical energy consumption, fuel consumption, construction processes.

Estrategias para el control y reducción del consumo de agua, electricidad y combustible durante los procesos constructivos de edificaciones: estudio de casos en Portafolio Inmobiliario.

PABLO ANDRÉS OROZCO CAMPOS

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

Abril del 2024

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Resumen ejecutivo.....	9
Introducción.....	12
Capítulo 1: Marco Teórico.....	16
1.1 Consumo energético en el proceso constructivo.....	16
1.2 Consumo de agua en el proceso constructivo	18
1.3 Concepto de desarrollo y construcción sostenible	20
1.4 Certificaciones sostenibles.....	21
1.5 Sistemas constructivos	24
Capítulo 2: Marco Metodológico	28
2.1 Tipo de investigación y estrategia de abordaje	28
2.2 Variables y categorías de investigación.....	28
2.3 Fuentes de información.....	29
2.4 Técnicas e instrumentos de recolección.....	31
2.5 Procesamiento y análisis de la información.....	32
Capítulo 3: Resultados.....	33
3.1 Consumos de agua en los proyectos de construcción	33
3.1.1 Consumos de agua por tipología constructiva	33
3.1.2 Consumos de agua por m ² de construcción	34
3.1.3 Patrones de consumo de agua según fase constructiva	38
3.1.4 Consumos de agua en obra vs sitio de campamento.....	41
3.1.5 Consumos de agua potable y para otros usos	45
3.2 Consumo de combustible en los procesos de construcción	46
3.2.1 Patrones de consumo de combustible según tipología de obra.....	46
3.2.2 Consumos de combustible por m ² de construcción.....	47
3.2.3 Patrones de consumo de combustible según fase constructiva.....	52
3.3 Consumo de electricidad en los proyectos de construcción	57
3.3.1 Patrones de consumo de electricidad, según avance de obra.....	57

3.3.2 Consumos de electricidad por m ² de construcción	58
3.3.3 Patrones de consumo de electricidad según fase constructiva.....	64
3.3.4 Consumos de electricidad en obra vs sitio de campamento	69
3.4 Medidas empleadas para la cuantificación y gestión de los consumos de agua en los proyectos	73
3.4.1 Descripción de las buenas prácticas adoptadas para la gestión de los consumos de agua en los proyectos.....	73
3.4.2 Descripción del proceso de toma de datos, análisis y reporte de la información	74
3.4.3 Descripción de los formularios utilizados para el registro de datos	75
3.4.4 Descripción del informe de resultados respecto al control del consumo en los proyectos	77
3.5 Medidas empleadas para la cuantificación y gestión de los consumos de combustible en los proyectos	78
3.5.1 Descripción de las buenas prácticas adoptadas para la gestión de los consumos de combustible en los proyectos	78
3.6 Medidas empleadas para la cuantificación y gestión de los consumos eléctrico en los proyectos	79
3.6.1 Descripción de las buenas prácticas adoptadas para la gestión de los consumos de electricidad en los proyectos	79
3.7 Recomendaciones respecto a las estrategias empleadas actualmente para el control y reducción de los consumos de agua, eléctrico y de combustible.....	80
3.7.1 Buenas prácticas a incorporar según lo reportado en la literatura	80
3.7.2 Propuesta de mejoras a los procesos de registro y gestión de los consumos de agua, electricidad y combustible en los proyectos	81
3.7.3 Propuesta de mejora a los formularios e informes para el registro de datos	82
Capítulo 4: Análisis de los resultados.....	83
Conclusiones.....	87
Recomendaciones.....	89
Referencias bibliográficas.....	90
Apéndices.....	93
Anexos.....	104

Tabla de figuras

Figura 1. Consumo total de agua por sistema constructivo.	34
Figura 2. Consumo de agua por m ² , según avance de obra proyecto AE300.	34
Figura 3. Consumo de agua por m ² , según avance de obra proyecto Aleste 201.	35
Figura 4. Consumo de agua por m ² según avance de obra proyecto Aleste 300.	35
Figura 5. Consumo de agua por m ² según avance de obra proyecto DDS LAB.	36
Figura 6. Consumo de agua por m ² según avance de obra, proyecto Nitrile.	36
Figura 7. Consumo de agua por m ² según avance de obra, proyecto Nueve84.	37
Figura 8. Distribución de consumo de agua, según proceso constructivo, Aleste 201.	38
Figura 9. Distribución de consumo de agua, según proceso constructivo, Aleste 300.	39
Figura 10. Distribución de consumo de agua, según proceso constructivo, DDS LAB.	40
Figura 11. Distribución de consumo de agua, según proceso constructivo, Nitrile.	40
Figura 12. Distribución de consumo de agua, según proceso constructivo, Nueve84.	41
Figura 13. Porcentaje de uso de agua en obra por construcción vs sitio de campamento.	42
Figura 14. Índices de consumo de agua total y sólo construcción.	43
Figura 15. Porcentaje de uso de agua potable y de otros usos en obra.	45
Figura 16. Consumo total de combustible por sistema constructivo.	46
Figura 17. Consumo de combustible por m ² según avance de obra proyecto AE300.	47
Figura 18. Consumo de combustible por m ² según avance de obra proyecto Aleste 201.	48
Figura 19. Consumo de combustible por m ² según avance de obra proyecto Aleste 300.	49
Figura 20. Consumo de combustible por m ² según avance de obra proyecto DDS LAB.	50
Figura 21. Consumo de combustible por m ² según avance de obra proyecto Nitrile.	51
Figura 22. Consumo de combustible por m ² según avance de obra proyecto Nueve84.	52
Figura 23. Distribución de consumo de combustible, según proceso constructivo, AE300.	53
Figura 24. Distribución de consumo de combustible, según proceso constructivo, Aleste 201.	53
Figura 25. Distribución de consumo de combustible, según proceso constructivo, Aleste 300.	54
Figura 26. Distribución de consumo de combustible, según proceso constructivo, DDS LAB.	55
Figura 27. Distribución de consumo de combustible, según proceso constructivo, Nitrile.	56
Figura 28. Distribución de consumo de combustible, según proceso constructivo, Nueve84.	57
Figura 29. Consumo total de electricidad por sistema constructivo.	58
Figura 30. Consumo de electricidad por m ² según avance de obra proyecto AE300.	59
Figura 31. Consumo de electricidad por m ² según avance de obra proyecto Aleste 201.	60
Figura 32. Consumo de electricidad por m ² según avance de obra proyecto Aleste 300.	61
Figura 33. Consumo de electricidad por m ² según avance de obra proyecto DDS LAB.	62
Figura 34. Consumo de electricidad por m ² según avance de obra proyecto Nitrile.	63
Figura 35. Consumo de electricidad por m ² según avance de obra proyecto Nueve84.	64
Figura 36. Distribución de consumo energético, según proceso constructivo, AE300.	65
Figura 37. Distribución de consumo energético, según proceso constructivo, Aleste 201.	65
Figura 38. Distribución de consumo energético, según proceso constructivo, Aleste 300.	66
Figura 39. Distribución de consumo energético, según proceso constructivo, DDS LAB.	67
Figura 40. Distribución de consumo energético, según proceso constructivo, Nitrile.	68
Figura 41. Distribución de consumo energético, según proceso constructivo, Nueve84.	69
Figura 42. Porcentaje de uso de electricidad en obra por construcción vs sitio de campamento.	70
Figura 43. Índices de consumo de electricidad total y sólo construcción.	71
Figura 44. Proceso de recolección, registro y análisis de consumos de agua.	75
Figura 45. Reporte de datos generales de obra para el formulario de consumos.	76
Figura 46. Reporte de consumos totales de agua en obra.	76
Figura 47. Reporte de información general de obra para informes de consumo.	77
Figura 48. Reporte de índices de consumo para informes de resultados.	78

Tabla de cuadros

Cuadro 1. Consumo energético total por metro cuadrado construido en obras de tipo habitacional y de oficinas en la ciudad de Santiago de Chile.....	17
Cuadro 2. Datos de consumo de energía eléctrica y combustible por área y volumen de concreto en dos proyectos mixtos, Costa Rica.....	18
Cuadro 3. Coeficientes de consumo de agua potable en obras de construcción obtenidos por diferentes autores en Chile.	19
Cuadro 4. Resumen de capítulos 6 y 7 de la norma RESET.....	22
Cuadro 5. Resumen de parámetros de evaluación para agua y energía en fase constructiva.....	24
Cuadro 6. Variables de investigación utilizadas para el desarrollo del proyecto.	29
Cuadro 7. Descripción de los proyectos constructivos analizados respecto a los consumos de agua y energía.....	30
Cuadro 8. Fuentes de información primarias y secundarias, según los objetivos planteados en la investigación.....	31
Cuadro 9. Preguntas de investigación formuladas, según los objetivos planteados en la investigación.	32
Cuadro 10. Resumen de valores de consumo de agua por m ² por sistema constructivo.....	37
Cuadro 11. Datos de consumo de agua del sitio de campamento, trabajadores e indicadores de desempeño, Nueve84.	43
Cuadro 12. Datos de consumo de agua del campamento, trabajadores e indicadores de desempeño, AE300.....	44
Cuadro 13. Datos de consumo eléctrico del sitio de campamento, trabajadores e indicadores de desempeño, AE300.....	72
Cuadro 14. Datos de consumo eléctrico del sitio de campamento, trabajadores e indicadores de desempeño, Nueve84.	72
Cuadro 15. Medidas de buenas prácticas de consumo de agua.	74
Cuadro 16. Medidas de buenas prácticas de consumo de electricidad.....	79

Resumen ejecutivo

En Costa Rica no se cuenta con una línea base de seguimiento de consumos de agua, electricidad y combustible durante los procesos constructivos de edificaciones. Portafolio Inmobiliario, actual desarrollador de proyectos de construcción, ha venido implementando de manera voluntaria una serie de estrategias para el control y reducción del consumo de agua, electricidad y combustible durante los procesos constructivos de edificaciones. Analizar dichos registros, constituye una valiosa oportunidad para empezar a generar esa línea base de consumos en el país, con el valor agregado que los resultados se pueden analizar tomando en cuenta las tipologías constructivas, el avance de obra y las estrategias de reducción empleadas, permitiendo así verificar la efectividad de las acciones. Así, este Trabajo Final de Graduación planteó analizar las estrategias empleadas en los proyectos desarrollados por Portafolio Inmobiliario tomando en cuenta los registros de consumo en proyectos concluidos con distintas tipologías de obra, a saber: concreto postensado, sistema liviano, concreto prefabricado, mampostería y concreto reforzado. En primera instancia, se realizó un diagnóstico de los registros históricos de consumo de agua y energía en distintas tipologías de obra a cargo de la empresa. Seguidamente, se identificaron las medidas para la cuantificación y gestión del consumo energético y de agua durante los procesos constructivos que actualmente emplean y su relación con los consumos analizados previamente. Por último, se brindaron recomendaciones con las estrategias para el control y reducción de los consumos de agua y energía con base en los resultados obtenidos.

En relación con la estrategia de abordaje utilizada para la consecución de los objetivos, se contempló el análisis de los consumos de agua, consumo eléctrico y de combustibles en obra de seis proyectos concluidos en función de las tipologías constructivas y los avances en obra. Los registros históricos fueron recopilados por las empresas constructoras encargadas de cada proyecto los cuales fueron proporcionados por el desarrollador Portafolio Inmobiliario. Para la correcta interpretación de los resultados, se requirió hacer visitas a proyectos en ejecución con las tipologías constructivas en estudio, así como de consultas a encargados de obra. Del mismo modo, los resultados se analizaron tomando en cuenta el área de construcción (m^2), el avance de obra y las tipologías constructivas, contrastando a su vez los datos

generados con revisión de literatura para obtener un panorama más amplio de investigación y obtener insumos necesarios para brindar las recomendaciones a las estrategias para la reducción y control de los consumos de agua y energía actualmente empleados por el desarrollador.

Por otra parte, en los resultados de la investigación, se analizaron 6 proyectos con 5 sistemas constructivos: el sistema de concreto con acero de refuerzo y cables postensados (AE300, Aleste 201), la estructura metálica con cerramientos livianos (Aleste 300), la estructura de concreto prefabricado (DDS LAB), el sistema metálico con paredes de mampostería (Nitrile) y la estructura de concreto reforzado (Nueve84). El análisis reveló que las tipologías constructivas de concreto y mampostería presentan un impacto significativo en el consumo de recursos de agua, electricidad y combustible. Por ejemplo, la estructura metálica con paredes de mampostería en el proyecto Nitrile muestra un alto consumo de agua de $1,17 \text{ m}^3/\text{m}^2$ atribuible al uso de mortero y otros factores externos saliéndose del rango establecido en la literatura de $0,01$ y $0,83 \text{ m}^3/\text{m}^2$, asimismo generó consumo alto de combustible con un valor de $8,82 \text{ L}/\text{m}^2$ igualmente saliendo del rango significativamente de $1,12$ y $1,58 \text{ L}/\text{m}^2$ esto debido al movimiento de tierras y uso del generador de electricidad mediante combustible; por otro lado, la estructura de concreto con acero de refuerzo y cables postensados, específicamente en el proyecto Aleste 201 presenta un mayor consumo de electricidad debido a la naturaleza de su sistema constructivo que genera mayor impacto debido al uso constante de equipo y maquinaria que consume electricidad para el desarrollo del sistema de refuerzo, generando $4,15 \text{ kWh}/\text{m}^2$ siendo el rango presentado en la literatura entre $0,83$ y $1,15 \text{ kWh}/\text{m}^2$. Además, se observa que los patrones de consumo varían entre los diferentes sistemas constructivos y proyectos, aunque hay consistencia en el uso de recursos de agua y energía (combustible y electricidad) durante la obra gris y los acabados en agua y electricidad y de movimiento de tierras en combustible. Por su parte la separación en construcción y sitio de campamento determina que a pesar de que el mayor consumo se centra en la parte constructiva, los valores del sitio de campamento se encuentran cercanos al 50% lo que generan alertas de toma de medidas; por su parte al normalizar los valores del sitio de campamento por trabajador determinaron que los promedios en el caso del agua se encuentran entre $175,10$ y $556,72 \text{ L}/\text{trabajador-mes}$, que según la literatura de encontrarse alrededor de 94 L diarios lo que determina valores aceptables, por parte de la electricidad presenta valores muy bajos de $4 \text{ kWh}/\text{trabajador-mes}$ siendo el límite que debe ser menor a 220 kWh , destacando que no se tienen los datos necesarios para determinar una línea base al tener pocos datos por proyecto pero se recomienda implementar la medida en más proyectos para generar un patrón para su análisis. Además, se destaca la importancia de mejorar los registros de consumo para una gestión más efectiva, así como la implementación de medidas estándar de buenas prácticas constructivas desde la etapa de pre-construcción para optimizar el uso de recursos y reducir el impacto ambiental en los proyectos futuros para poder reducir embates y generar conciencia.

Como conclusión, los sistemas de concreto y mampostería generan mayores impactos en los consumos de agua, energía y combustible, siendo los procesos de obra gris y acabados los que generan mayor consumo en los proyectos analizados y el sistema de mampostería y concreto postensado los que generan mayor consumo según el avance de obra y el consumo por unidad de área. Asimismo, la distribución de consumo entre construcción y sitio de campamento muestra consumos altos en ambos, aunque se recomienda normalizar los valores del sitio de campamento para un análisis más preciso. Por su parte, de acuerdo con lo observado, se sugiere la necesidad de adaptar las estrategias de gestión de recursos, según las características específicas de cada proyecto como la recolección de agua pluvial, sectorización de medidores, entre otros; como mejoramiento de los registros de consumo mediante la inclusión de mayor detalle como datos específicos de dónde se obtienen los datos, tiempos precisos de toma y procesos de la obra en desarrollo durante la toma de los datos, asimismo como la implementación de cortes mensuales para facilitar el análisis y la detección de tendencias y uso de formularios colaborativos para recolección y análisis de datos en tiempo real; así como la estandarización de medidas efectivas de buenas prácticas constructivas desde la etapa de pre-construcción y resaltar la importancia de una planificación adecuada y la implementación de medidas específicas para cada proyecto. Como recomendaciones de este proyecto, se podría ampliar el alcance hacia análisis de materiales de construcción valorando su fabricación, transporte y uso. De igual manera, considerar los costos que genera la reducción de consumos de agua y energía en los proyectos de construcción. Por otro lado, identificar consumos e impacto de los procesos de movimiento de tierras y acarreo de material en temas de combustible. También analizar procesos que generan más impacto durante el proceso constructivo para la búsqueda y análisis de diversas alternativas. Finalmente, se recomienda realizar más análisis de proyectos del mismo sistema de construcción para iniciar y elaborar líneas base.

Introducción

En la actualidad, el desarrollo de proyectos de infraestructura y edificaciones se consideran elementos de sostenibilidad y descarbonización, y constituyen un aspecto de gran importancia a nivel internacional y nacional. Desde el año 2016, en conjunto con la Organización de las Naciones Unidas, Costa Rica se convirtió en el primer país, a nivel mundial, en firmar un Pacto Nacional en el Avance de los Objetivos de Desarrollo Sostenible como parte de las acciones concretas para desarrollar y mejorar la calidad de vida y bienestar de la población costarricense. Esta implementación de medidas de sostenibilidad abarca a todos los sectores de desarrollo, entre ellos, el sector construcción (Jiménez, 2020). Respecto a este último, se busca, entonces, garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos, propiamente en la meta de aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores para asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua adecuados; igualmente, se busca garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos, en la meta de aumentar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética mediante medidas de reducción del consumo de esta (Naciones Unidas, 2015).

El consumo de agua durante el proceso constructivo se mide en unidades de metros cúbicos (m^3) y esta es usada para actividades como limpieza de equipos, herramientas y superficies, elaboración y curado del concreto, control de polvo en obra, consumo de los trabajadores, entre otros (Castillo, 2021). A su vez, la energía, medida como consumo eléctrico, se reporta comúnmente en kilo vatios por hora (kWh) y el consumo de combustible fósiles en litros (L). Estos consumos de energía se generan durante el proceso constructivo por el uso de gasolina en vehículos, equipos y maquinaria pesada para el transporte de materiales y movimiento de tierras, iluminación temporal en obra, uso de herramientas y equipos eléctricos, entre otros.

Según el Global Alliance for Buildings and Construction (2022), el sector construcción reportó para el año 2022 un incremento alrededor del 4% en el uso de combustible fósiles y en la demanda energética de los edificios, y fue este el mayor incremento en los últimos 10 años. A nivel mundial, para el año 2021, la

operación de los edificios, así como la producción de los materiales (acero, concreto, aluminio, entre otros) generó alrededor del 37% de emisiones de dióxido de carbono (CO₂). Por su parte, el sector construcción es responsable del 12-16% del consumo total de agua, así como del 30-40% del consumo de energía (Abarca y Leandro, 2016).

El adecuado registro y análisis de los datos de consumo de agua y energía en obra es esencial, ya que permite determinar parámetros de referencia (línea base), los cuales son útiles para la definición de metas de reducción e indicadores de eficiencia en la gestión de estos consumos durante el proceso constructivo. Según Solís y Mata (2022), a nivel nacional existe un vacío en la creación de políticas para la gestión eficiente de los consumos en la construcción, por lo que es necesario desarrollar procesos y herramientas para la creación de una metodología con el fin de generar una primera aproximación para estimar y registrar los consumos, lo cual permitirá a su vez, la optimización del consumo energético, ahorro de agua potable, reducción de costos de la construcción, operación y mantenimiento, distinciones por parte de organismos especializados y aumento de productividad.

La desarrolladora Portafolio Inmobiliario ha empleado, por adopción voluntaria, actitudes y acciones que permitan generar oportunidades de eficiencia y sostenibilidad en sus proyectos que abarcan los ámbitos ambiental, económico y social para el mayor aprovechamiento de los recursos y generar una gestión consciente en sus proyectos. De ahí el interés en particular de este proyecto de analizar los registros mensuales de consumos de agua, electricidad y combustible en los proyectos que desarrollan conforme a las tipologías y el avance constructivo en m²; esto con el fin de generar los parámetros de referencia mencionados anteriormente. Con este estudio se aporta al sector construcción respecto al conocimiento en materia de consumos de agua y energía en obra; además, plantea una valiosa oportunidad para evaluar dichos registros en función de las tipologías, avance de obra y prácticas constructivas. Asimismo, con base en los resultados obtenidos, se generaron recomendaciones a las medidas actualmente implementadas por el desarrollador para que sean tomadas en cuenta en próximos proyectos.

Objetivos

Objetivo general

Analizar las estrategias empleadas en seis proyectos concluidos por parte de Portafolio Inmobiliario para el control y reducción del consumo de agua, electricidad y combustible durante los procesos constructivos de las edificaciones en función de los registros de consumo, las tipologías constructivas y el avance en obra.

Objetivos específicos

1. Realizar un diagnóstico de los registros históricos de consumo de agua, electricidad y combustible en seis proyectos desarrollados por Portafolio Inmobiliario, tomando en cuenta las tipologías constructivas y los avances de obra.
2. Identificar las medidas para la cuantificación y gestión del consumo eléctrico, de combustible y de agua empleadas durante los procesos constructivos de los proyectos y contrastarlas respecto a los registros de consumos analizados.
3. Brindar recomendaciones al desarrollador, respecto a las estrategias empleadas actualmente para el control y reducción de los consumos de agua, eléctrico y de combustible en los proyectos de construcción con base en los resultados obtenidos.

Agradecimientos

Primeramente, agradecerle a Dios porque en su infinito amor siempre me acompaña, guía e ilumina en todo lo que hago y me ha permitido llegar a este momento.

A mis padres Gerardo y Patricia, que son mi pilar fundamental, quienes siempre me han motivado a seguir adelante y por quienes soy el que soy hoy.

A mis hermanas Diana y Fabiola, quienes son mi mayor ejemplo a seguir de constancia, esfuerzo y dedicación y quienes han sido mi mayor compañía durante todo este tiempo.

A la Ing. Irene Baldioceda Salazar por su apoyo, guía y acompañamiento en este proceso, que con su conocimiento y aportes ha sido de gran valor para este trabajo. Del mismo modo a Portafolio Inmobiliario por la oportunidad de desarrollar este proyecto en conjunto con ellos.

Al Ing. José Andrés Araya Obando por su apoyo desde el día uno, así como su guía, paciencia y conocimientos que fueron fundamentales en el desarrollo de este trabajo de graduación.

Finalmente, a mis amigos y familiares que siempre me han brindado sus palabras de apoyo y me han acompañado durante el proceso universitario y de crecimiento personal.

Capítulo 1: Marco Teórico

En este capítulo se abarcarán los conceptos generales que permitirán comprender el alcance, la metodología, los resultados, las conclusiones y las recomendaciones del presente trabajo. Inicialmente, se explica acerca de los conceptos básicos de consumos de agua y energía en el sector construcción, con datos a nivel nacional e internacional, los cuales, servirán de punto comparativo con los consumos presentados en los resultados. Asimismo, se abarcará el tema de la construcción sostenible y cómo es de gran importancia este concepto en la actualidad. Por otro lado, se mencionarán las certificaciones sostenibles con las que se puede contabilizar el consumo en los procesos constructivos. Finalmente, se explicarán en qué consisten los sistemas constructivos con los que se hará el análisis pertinente de los datos de consumos de agua y energía.

1.1 Consumo energético en el proceso constructivo

El sector de la construcción es responsable de un porcentaje muy elevado del consumo energético (electricidad y combustible) de alrededor del 40% por lo que posee un gran compromiso con el planeta a nivel ambiental para poder lograr un consumo medido y justificado (Solís y Mata, 2022). Según los autores, una forma de conseguir dicho objetivo es a través de la utilización de energías renovables, el reciclaje y la reutilización de materiales, la incorporación de materiales no valorizables como materia prima, utilizar métodos alternativos a los combustibles fósiles, entre otros; contribuyendo así a disminuir el efecto de la huella de carbono del sector construcción al planeta.

1.1.1 Gestión de consumo energético

La gestión del consumo es un experimento que se ha aplicado a lo largo de los años en diferentes partes del mundo en donde se han puesto en marcha diversas prácticas para la adecuada eficiencia energética. Según Rocha y Jiménez (2016), las actuales prácticas de construcción de edificaciones suelen prestar poca atención a la eficiencia energética y a los impactos económicos, ambientales y sociales en el espacio que se construye. Sin embargo, la búsqueda de la eficiencia energética en la construcción no es algo nuevo.

Por ejemplo, en el caso de México, las primeras acciones para producir un cambio en el sector de la construcción se dan a partir de los años 1960, e incluso, en la década de los ochenta donde se centraron en aplicaciones individuales de la eficiencia energética y de la conservación de los recursos naturales (Rocha y Jiménez, 2016).

Algo semejante ocurre en España, la implementación de medidas de la eficiencia energética se dio en el año 2002 con la publicación de la primera Directiva de Eficiencia Energética en Edificios y su aplicación a través del Código Técnico de la Edificación, y pasó luego al año 2007, cuando se dio la certificación energética de los edificios de manera generalizada en toda Europa (Sismo Building Technology Spain, 2022). En forma semejante, en el año 2013, entró en vigor la Certificación Energética de los Edificios, donde mediante estudios técnicos, se les otorga a las edificaciones una calificación de consumo energético en función de las emisiones de dióxido de carbono y del consumo de energía del edificio en su proceso constructivo y operativo.

Otro caso es el de Chile en donde, desde el 2018, han implementado los “*Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas*” con el objetivo de crear estándares y buenas prácticas de diseño, construcción y operación de las viviendas para poder mejorar las prácticas de conservación ambiental, económica y social (Solís y Mata, 2022). Según los autores, dicha guía establece estándares para el rubro de eficiencia energética en el diseño y construcción de viviendas para alcanzar la disminución del impacto de la construcción en el área energética y generar el menor impacto ambiental. Además, en el *Cuadro 1* se muestran los resultados de un estudio de estimación de energía consumida en la construcción de 3 edificios en la ciudad de Santiago de Chile, destinados a usos de oficinas (con estructuras de concreto armado y losas postensadas) y habitacional (Carmona, 2010). En dicho estudio, los datos de consumo energético se reportaron por tipo de obra y por metros cuadrados (m²) de construcción.

Cuadro 1. Consumo energético total por metro cuadrado construido en obras de tipo habitacional y de oficinas en la ciudad de Santiago de Chile.

Tipo de Edificio	Consumo (kWh/m ²)
Habitacional	530
Oficina	858
Habitacional/Oficina	636

Fuente: Adaptado de Carmona, 2010.

Aunado a los datos que muestran en el *Cuadro 1*, en el estudio realizado por Carmona (2010), se reportaron datos de consumo por tipo de material de construcción como es el concreto, el acero y moldaje, donde presentó valores de 229,87 kWh/m³, 9944,63 kWh/ton y 1,41 kWh/m², respectivamente.

Con respecto al ámbito nacional, se establece la “*Guía de la Construcción Sostenible*” de la Cámara de la Construcción que entró en vigencia a partir del año 2016, que determina líneas de acción para el periodo de diseño y operación de las obras tales como orientación y forma de la edificación, métodos e iluminación y ventilación natural, conservación y uso eficiente del agua, entre otras cosas (CCC, 2016). Otro caso es la “*Metodología para la gestión de recursos de consumo energético durante el proceso constructivo*”, en la cual se desarrollan métodos que permiten la estimación y registro del consumo energético de edificaciones verticales de tipo comercial o mixto, donde el sistema constructivo está compuesto por muros y columnas de concreto reforzado con losas en sistema postensado no adherido. Para este análisis se realizaron mediciones de consumo por nivel de construcción para la electricidad (kWh) y el combustible (L). Asimismo, se realizó un análisis de obra en general por m² de construcción y por m³ de colado de concreto, según porcentaje de avance de obra, para tener mediciones mayormente significativas, valores que se pueden observar en el *Cuadro 2* (Solís y Mata, 2022).

Cuadro 2. Datos de consumo de energía eléctrica y combustible por área y volumen de concreto en dos proyectos mixtos, Costa Rica.

Proyecto	Área (m ²)	Consumo eléctrico total (kWh)	Consumo por unidad de área (kWh/m ²)	Consumo de combustible total (L)	Consumo por unidad de área (L/m ²)
Torre 1	13765	15815	1,15	21764	1,58
Torre 2	30088	25013	0,83	33827	1,12

1.2 Consumo de agua en el proceso constructivo

El agua es un recurso vital para el desarrollo humano, por esta razón, es imprescindible cuidarla para evitar que este recurso se agote. 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).

1.2.1 Gestión del consumo de agua en edificaciones

El consumo de agua ha generado gran conciencia a nivel internacional para disminuir el exceso de consumo actual, ya que cada vez queda menos agua potable en nuestro planeta. Un país que ha generado gran conciencia de consumo durante el proceso constructivo es Chile que desde el año 2018 creó una guía de estándares de construcción sustentable basados en factores como la salud y bienestar, energía, agua, materiales y residuos, impacto ambiental y entorno inmediato (Castillo, 2021). Según un estudio, para la determinación del consumo de agua potable durante la construcción en una zona semi desértica de Chile en donde analizaron la cantidad de agua utilizada en distintas obras de construcción de tipo residencial y comercial, los consumos de agua mostraron un promedio de $(0,31 \pm 0,26) \text{ m}^3/\text{m}^2$ con valores máximos de hasta $0,83 \text{ m}^3/\text{m}^2$ según los datos mostrados en el Cuadro 3 (Nazer et al., 2018).

Cuadro 3. Coeficientes de consumo de agua potable en obras de construcción obtenidos por diferentes autores en Chile.

Tipo de obra	Área construida (m ²)	Consumo de agua por unidad de área (m ³ /m ²)
Residencial	6.624	0,28
Residencial/Comercial	15.969	0,01
Residencial	13.705	0,17
Residencial	5.568	0,18
Residencial	5.046	0,13
Comercial	48.871	0,02
Residencial	7.468	0,83
Residencial	120.000	0,68
Residencial	5.100	0,44
Residencial	4.200	0,17
Vivienda	100-200	0,68
Comercial	2.682	0,23
Comercial	15.210	0,20
Comercial	3.843	0,25

Fuente: Adaptado de Nazer et al., 2018.

Según el estudio realizado por Nazer et al. (2018), se reportaron valores promedio de consumo de agua y se determinó un índice, para construcción residencial y mixta, de $1,38 \text{ m}^3/\text{m}^2$ en la zona de Atacama en Chile. Asimismo, se puede apreciar, además, que no hay una tendencia clara en los datos del consumo de agua respecto a los m² de construcción.

En Brasil, según un estudio realizado por Pires dos Santos et al. (2015), en donde analizó el consumo de agua en una construcción de torre de tipo residencial de 7467,66 m² ubicada en la zona de Recife, la cual reportó un periodo de construcción de 42 meses, se calculó un volumen de agua consumida por área de construcción de 0,83 m³/m², y se determinó un valor de demanda de agua por trabajador de 86,64 L/persona·día.

Similar a la gestión del consumo de energía, en Costa Rica, se ha iniciado, poco a poco, con medidas para la gestión adecuada del agua. Existe, por ejemplo, un estudio donde aplicó la metodología para el control y análisis del consumo de agua durante la fase constructiva de obra gris (Castillo, 2021), en donde se analizaron dos proyectos de construcción de edificios verticales de tipo comercial o mixto, y se evaluó el consumo por niveles de construcción y por m² de obra total, reportando valores de consumo unitario por unidad de área en las obras de 1,08 m³/m² y 3,40 m³/m², respectivamente (Castillo, 2021). Estos consumos sobrepasan el valor máximo de 0,83 m³/m² reportado en el estudio de Nazer et al. (2018) descrito anteriormente.

1.3 Concepto de desarrollo y construcción sostenible

Según Madroñero y Guzmán (2018), el desarrollo sostenible se define como el proceso que satisface las necesidades actuales sin poner en compromiso la capacidad de satisfacer las demandas requeridas por las generaciones futuras. Actualmente, el mundo se ha visto ante la necesidad de aplicar medidas que permitan nivelar los efectos que se han causado a lo largo de los años que perjudican el medio ambiente, esto mediante el uso de estrategias y herramientas que permitan el desarrollo humano en armonía con el ambiente.

En este sentido, el sector construcción juega un papel importante en el desarrollo de una región por lo que es de gran importancia que este cumpla un rol adecuado de la mano con el desarrollo sostenible, razón por la cual, el término de construcción sostenible ha tomado fuerza con el paso de los años. Según Abarca y Leandro (2016), el sector construcción es responsable de alrededor del 16% del consumo de agua, el 25% de la extracción de madera, 40% de consumo de materiales y aproximadamente un 40% del consumo de energía; además, provoca gran cantidad de desecho sólido en el proceso de construcción y demolición, y se considera que genera alrededor del 30% de gases de efecto invernadero. Por lo anterior, con el objeto de alcanzar un balance, es necesario considerar prácticas efectivas para que el sector consiga disminuir los impactos negativos contra el ambiente.

En concordancia con lo expuesto, la construcción sostenible se refiere a los procesos constructivos que velen por los recursos de manera eficiente y responsable durante toda la vida del proyecto de tal modo que se logre crear, planificar y desarrollar una estructura de forma responsable con el ambiente, respetando los recursos naturales existentes bajo principios ecológicos (INVU, 2022).

Al mismo tiempo, dentro del marco de la búsqueda de la descarbonización para el año 2050, el Rastreador Climático de Edificios global indicó que el sector de la construcción se encuentra lejos de cumplir dicho objetivo, ya que para el año 2021 el nivel de descarbonización del sector se encuentra en 8,1 puntos, a diferencia del 2020 donde se encontraba en 11,3 debido a la pandemia del COVID19. Con esto se predijo que la brecha para el alcance de este proceso de descarbonización se aleja cada vez más. De igual modo, el año 2021 fue de 9,0 puntos y en el año 2019 era del 6,6. De ahí que, nuevamente, la necesidad de implementar más acciones en beneficio del medio ambiente para reducir cada vez más esa brecha que aleja al sector de la descarbonización del planeta (GABC, 2022).

Actualmente, en Costa Rica, se ha generado mayor conciencia en la construcción sostenible por parte del sector público y privado de la construcción. Según Díaz (2022), para el diario el Observador, el país registró entre los años 2015 y 2019, un aumento en construcciones sostenibles del 25% por año, con miras a duplicar la cantidad de proyectos sostenibles, acorde con los datos brindados por el Green Business Certification Inc., según las certificaciones brindadas a las diversas empresas que se han comprometido con el ambiente para el mejoramiento de los procesos constructivos sostenibles.

1.4 Certificaciones sostenibles

Para un adecuado cumplimiento del desarrollo sostenible, específicamente, en el área de la construcción, a lo largo de los años, se han implementado ciertos procedimientos, técnicas o metodologías que permiten llevar un control más adecuado de las implementaciones que reducen los impactos ambientales en todas las fases de la construcción, operación, mantenimiento y demolición de una estructura. Para este proyecto se investigó específicamente para obtención y verificación de buenas prácticas sostenibles aplicables a los proyectos analizados.

Estas certificaciones, como lo determina Castillo (2021), se adaptan a cada tipo de proyecto constructivo, así como a la legislación vigente de cada país donde se desarrolle el proyecto. Es por esta razón que, con el paso de los años, se han adaptado nuevas metodologías a partir de las creadas por los países con más

conocimiento en dicha área. A continuación, se presentan algunas certificaciones que presentan mayor vigencia a nivel nacional.

1.4.1 RESET

La norma de Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico (RESET) fue creada por el Instituto de Arquitectura Tropical y donada al Colegio de Arquitectos de Costa Rica y a INTECO (Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica) para que fuera establecida como norma nacional, con la participación de otras organizaciones. Esta norma funciona como un instrumento para toma de decisiones en ámbito ambiental como indicadores o pautas durante el proceso de diseño, construcción y/o operación de una edificación para ser considerada como sostenible. Para el cumplimiento de la norma se evalúan 7 capítulos, abarcando diferentes requisitos de los aspectos del diseño y construcción de la edificación que constan de aspectos socioeconómicos, entorno y transporte, calidad y bienestar espacial, suelos y paisajismo, materiales y recursos, uso eficiente del agua y optimización energética. (INTECO, 2012).

Con relación a este Trabajo Final de Graduación, en específico, el *Cuadro 4* muestra una síntesis de los últimos dos capítulos relacionados al uso y optimización de agua y energía.

Cuadro 4. Resumen de capítulos 6 y 7 de la norma RESET.

Capítulo	Objetivo	Acciones basadas en los criterios de evaluación
Optimización en el uso del agua	17. Reducir consumo de agua potable	1. Reducir el abastecimiento de agua potable reciclando aguas grises o aprovechando aguas tratadas para riego.
		2. Reducir el abastecimiento de agua potable captando agua residual.
		3. Utilizar piezas sanitarias, griferías y accesorios eficientes en el consumo de agua.
		4. Incorporar en el diseño del edificio elementos que valorizan el agua como recurso.
		5. Contar con equipos de seguimiento y/o control de consumos por sectores.
	18. Tratamiento adecuado de las aguas servidas	6. En caso de no contar con red de alcantarillado ni planta de tratamiento, utilizar un tratamiento local.
		7. Realizar la filtración con ayuda de plantas Fito depuradoras.
		8. Diseñar sistemas que no mezclan aguas pluviales y aguas servidas.
		9. Evitar la contaminación de fuentes de agua potable.
		10. Realizar análisis del agua y de los desechos generados por el sistema de tratamiento.
		11. Dar mantenimiento adecuado a los sistemas de tratamiento de aguas servidas, según lo establecido por el fabricante.
	19. Manejo adecuado de las	12. No obstruir el paso natural de agua pluvial en cuerpos superficiales y escorrentías.

Capítulo	Objetivo	Acciones basadas en los criterios de evaluación
	aguas pluviales	13. Permitir la infiltración de agua pluvial hacia el subsuelo (pavimentos, calzadas, área libre). 14. Dimensionar el desfogue pluvial considerando la variación pluviométrica de eventos extraordinarios. 15. Provocar la descarga del agua pluvial periódicamente con estrategias de retardamiento de velocidad y caudal.
Optimización de la energía	20. Se prefieren fuentes renovables de energía limpia	1. Utilizar fuentes de energía renovable utilizando fuentes limpias tales como el sol, el viento, el agua, la biomasa, la geotermia, la electrólisis, inyección molecular con base en hidrogeno.
		2. Calentar el agua con fuentes de energía renovable.
		3. Diseñar espacios para el secado de ropa en forma pasiva.
	21. Se reduce el consumo de energía y se genera conciencia de consumo	4. Utilizar equipos que cumplan con normativa de eficiencia energética.
		5. Contar con dispositivos para control de "consumo pasivo".
		6. Diseñar los circuitos de iluminación artificial de acuerdo con el aporte de iluminación natural.
		7. Instalar iluminación exterior que minimice la perturbación del ecosistema nocturno.
		8. Cuando se requiera iluminación artificial, diseñar de forma que se pueda desempeñar adecuadamente la actividad.
		9. Utilizar tecnología de iluminación con baja generación de contenido armónico.

Fuente: Adaptado de INTECO, 2012.

1.4.2 Bandera azul ecológica

El proyecto bandera azul ecológica es una certificación a nivel nacional que premia el desempeño sostenible de diversas instituciones o áreas del desarrollo del país como el sector construcción. Según el Proyecto Bandera Azul Ecológica (2019) la Categoría XV de Construcción Sostenible busca motivar, implementar y reconocer las iniciativas de proyectos de arquitectura, ingeniería y construcción que combaten de forma resiliente y responsable los efectos del cambio climático, todo esto como medida para la contribución con los Objetivos de Desarrollo sostenible estipulados por la ONU.

Esta certificación contempla tres modalidades: el diseño sostenible en la que se reconoce la aplicación de buenas prácticas asociadas al diseño y planificación de un proyecto; la siguiente es la construcción sostenible en la cual participan los proyectos que desean recibir el reconocimiento para la aplicación de buenas prácticas durante la fase constructiva; finalmente, está el diseño y construcción sostenible que son los proyectos que, desde un inicio, apliquen las medidas en las dos modalidades indicadas (PBAE, 2019).

En relación con la obtención de la certificación se evalúa a partir de seis parámetros a saber: cumplimiento legal, agua, energía, gestión de residuos, materiales y biodiversidad. A partir de los cumplimientos, en cada parámetro, se obtiene la bandera con una a cinco estrellas y depende de los logros obtenidos en cada categoría y los esfuerzos realizados para mantener las buenas prácticas sostenibles (PBAE, 2019).

En síntesis, para el cumplimiento de la certificación, en temas de agua y energía, se evalúan los aspectos mencionados en el *Cuadro 5*.

Cuadro 5. Resumen de parámetros de evaluación para agua y energía en fase constructiva.

Categoría	Parámetro
1. Agua	1.1. Incorporar estrategias y dispositivos para prevenir impactos a la biodiversidad relacionados con el uso de electricidad y/o combustibles.
	1.2. Incorporar estrategias y dispositivos para reducir la generación de aguas residuales, así como la disposición adecuada de las mismas.
	1.3. Para el proceso constructivo se aprovechan fuentes alternativas de recurso hídrico de acuerdo con el tipo de procesos constructivos que se ejecuta.
2. Energía	2.1. Incorporación de estrategias o dispositivos de ahorro de electricidad para el proceso constructivo.
	2.2. Incorporación de estrategias o dispositivos de ahorro de combustibles fósiles para el proceso constructivo.
	2.3. Evidenciar un programa de control del consumo de electricidad y combustible mensual

Fuente: Adaptado de Proyecto Bandera Azul Ecológica, 2019.

1.5 Sistemas constructivos

Los sistemas constructivos corresponden al tipo de construcción que se desee realizar, ya sea por tipo materiales, procedimientos o técnicas a implementar dependiendo de los requerimientos necesarios para lo que se desee construir.

1.5.1 Concreto reforzado

Según BECOSAN (2020), el concreto reforzado es un concreto que posee algún tipo de refuerzo metálico o fibra que le brinda mayor estabilidad a este y mayor resistencia a la tracción. El concreto reforzado es usado para evitar el agrietamiento del concreto y para brindarle mayor ductilidad y tracción, este posee

versatilidad de formas en el proceso constructivo; además de ser el más usado mundialmente es considerado económico y no requiere un complejo mantenimiento. El refuerzo de este tipo de sistema constructivo varía entre barras de acero corrugadas dispuestas en longitudinal y transversalmente para resistir los esfuerzos tensionales, flexionantes cortantes; otro tipo es el refuerzo con malla electrosoldada formada por varillas delgadas de acero mayormente usada para estructuras de losa, entrepisos, placas, entre otras; finalmente, el uso de fibras que son filamentos de diversos materiales dispersos en el concreto que le permiten aumentar la resistencia a la tracción del concreto, reducir las fisuras durante el fraguado y en condiciones de servicio y para aumentar la dureza. El concreto reforzado al poseer refuerzo metálico y concreto, podrían generar altos impactos en consumo de agua y electricidad en su confección, preparación e instalación debido a el uso de herramientas eléctricas para la preparación del refuerzo, equipos de colocación del concreto, preparación de la mezcla de concreto, entre otros.

Concreto postensado

El sistema concreto postensado es un método de presfuerzo donde se hace uso de cables de acero que son tensados después de que el concreto ha fraguado. Este tipo de concreto estructural es usado para reducir los esfuerzos de tensión mediante los esfuerzos internos que ejercen los cables tensados. En este sistema se hace uso de concreto con la resistencia necesaria (f_c entre 350 y 500 kg/cm²) para no sobrepasar los esfuerzos admisibles de tensión y compresión requeridos. Igualmente, se hace uso de cables de acero, ductos y anclajes, los cables de postensión son un conjunto de torones de acero de alta resistencia (entre 16000 y 19000 kg/cm²), los ductos son de metal los cuales se usan para permitir el paso de los cables por el concreto que luego son sellados con una lechada de inyección (concreto más fluido) y los anclajes son los encargados de transmitir la fuerza de tensado de los cables al concreto endurecido (Galván y Velázquez, 2013). Este sistema permite mayor espaciamiento entre las columnas y el ancho de las losas es menor, reduciendo significativamente el volumen de concreto en obra. En temas de consumo, este sistema generaría alto impacto negativo términos del agua debido al uso del concreto, ya sea que se elabore en sitio debido a que requiere del agua del sitio para su confección o debido a que en la etapa de curado del concreto este requiera igualmente del consumo de agua del sitio para dicho proceso.

1.5.2 Concreto prefabricado

El sistema de concreto prefabricado son piezas de concreto previamente elaboradas y curadas en condiciones controlables producido en plantas industriales. Por su versatilidad y fácil acceso, estos sistemas son usados para infraestructura y superestructura de edificaciones (columnas vigas, losas de piso

y techo, muros cortina, accesorios y otros). Estos elementos poseen la ventaja de tener una mayor calidad, resistencia y geometría más precisa debido a su fabricación controlada; además, reduce tiempos de ejecución en obra. En este sistema los consumos en temas de agua, electricidad o combustible podrían considerarse menores, ya que este sistema es traído listo de la fábrica por lo que su colocación no debería generar altos consumos. El sistema de concreto prefabricado puede ser constituido por piezas de concreto simple como piezas de concreto reforzado o de concreto presforzado y pueden ser piezas tanto estructurales como no estructurales (BECOSAN, 2020).

1.5.3 Mampostería

El sistema constructivo de mampostería se basa en la colocación de bloques de concreto con acero de refuerzo para la elaboración de muros, vigas, columnas, entre otras. Según Hidalgo (2020), este sistema se emplea en Costa Rica para estructuras de tamaño pequeño a mediano. En consecuencia, plantea dos sistemas principales de uso, el primero es el sistema integral que consiste en paredes de mampostería que no emplean columnas de concreto reforzado en sus extremos y el muro lleva refuerzo en forma de varillas, tanto horizontales como verticales; el segundo se conoce como confinado, el cual emplea el uso de marcos de concreto reforzado en vigas y columnas para confinar paños de mampostería y no lleva refuerzo, porque posee un contacto con el marco en todo su perímetro, es decir, no está desligado del marco. En temas de consumo este sistema podría considerar gastos de agua y electricidad, por parte de la elaboración de los morteros, y el dimensionamiento de la estructura metálica interna cuando es requerida, respectivamente.

1.5.4 Estructura metálica

Según Gerdau Corsa (2020), la estructura metálica es el conjunto de elementos que forman la parte resistente de una edificación, la cual consiste en un marco o esqueleto básicamente formado por columnas y vigas de acero. Este sistema posee la ventaja de que se dispone de una amplia variedad de piezas o secciones de acero adecuadas para resistir la compresión, la tensión o alguna otra sollicitud según la necesidad de la edificación por construir. Este tipo de sistema es muy utilizado debido a su rapidez de armado o montaje. De la misma manera, la rapidez y facilidad de transporte de materiales al sitio de construcción; asimismo, al tener una mejor resistencia se pueden proponer en el diseño arquitectónico, grandes claros, vigas en voladizo, paredes oblicuas, y otros diseños no simétricos. Para este sistema se considera que podría darse un consumo alto de energía eléctrica debido al manejo de equipos para tratamiento de las estructuras metálicas.

1.5.5 Sistema liviano

El sistema de construcción liviana es un método constructivo conformado por perfiles de acero galvanizado laminados en frío, revestidos con placas de yeso o fibrocemento. Este método es principalmente utilizado para construir muros, entrepisos, cielo rasos, bases de cubiertas, fachadas, entre otros (Sicon, 2018). El sistema liviano es altamente utilizado debido a su versatilidad, puesto que podría combinarse con otros sistemas constructivos, y puede dársele diversas formas, según necesidad, posee gran durabilidad, ya que sus componentes son imperecederos, inorgánicos, no degradables y con resistencia al agua y fuego, lo que les brinda mayor vida útil (Sicon, 2018). En términos de consumo de agua, electricidad o combustible, este tipo de sistema no requiere alto nivel de consumo únicamente para la colocación de los perfiles de acero en el caso de la energía eléctrica.

Capítulo 2: Marco Metodológico

2.1 Tipo de investigación y estrategia de abordaje

La investigación utilizada en el proyecto es de tipo aplicada que se basa en un enfoque de obtención y análisis de datos numéricos para explicar el fenómeno en estudio a partir de una perspectiva descriptiva de la información.

La estrategia de abordaje utilizada en esta investigación consideró el análisis de los consumos de agua, consumo eléctrico y de combustibles en obra de seis proyectos concluidos que contemplan la utilización de cinco sistemas constructivos: concreto postensado, sistema liviano, concreto prefabricado, mampostería y concreto reforzado. Los registros históricos fueron tomados por las empresas constructoras encargadas de cada proyecto los cuales fueron proporcionados, por parte del desarrollador Portafolio Inmobiliario. Para la correcta interpretación de los resultados, se requirió hacer visitas a proyectos en ejecución con las tipologías constructivas en estudio, así como de consultas a expertos. Del mismo modo, los resultados se analizaron tomando en cuenta el avance de obra, el área de construcción y la tipología constructiva, contrastando a su vez la información generada con revisión de literatura para obtener un panorama más amplio de investigación y obtener insumos necesarios para brindar las recomendaciones a las estrategias para la reducción y control de los consumos de agua y energía actualmente empleados por el desarrollador.

2.2 Variables y categorías de investigación

Las variables definidas junto con las categorías de investigación se muestran a continuación (ver *Cuadro 6*):

Cuadro 6. Variables de investigación utilizadas para el desarrollo del proyecto.

Nombre de la variable	Unidad de medida	Categoría	Descripción
Consumo eléctrico	kilovatios-hora (kWh)	Energía	Corresponde al consumo de energía eléctrica debido a las tareas de iluminación, uso de herramientas y maquinaria tanto liviana como pesada.
Consumo de combustible	Litros (L)	Energía	Corresponde al consumo de combustible debido al uso de los vehículos y camiones para el movimiento de tierras (a lo interno de la obra y a lo externo hacia el lugar correspondiente de depósito) y al uso de equipos especializados para otras tareas; también en algunos casos para la generación de energía eléctrica.
Consumo de agua	Metros cúbicos (m ³)	Agua	Representa el consumo de agua en obra debido a labores tales como lavado de maquinaria y herramientas, fabricación y curado del concreto, control de polvo, entre otras; así como el consumo de los trabajadores en obra en sus diversas labores.

Para una mejor comprensión de los datos y facilitar la comparación de resultados respecto a las tipologías constructivas y los datos reportados en la literatura, las variables se normalizaron respecto a unidades de área de las edificaciones según el porcentaje de avance en obra. Adicionalmente, los registros de consumo se analizaron respecto al consumo medido en el sitio de obra y el consumo reportado en el sitio de campamento (obras temporales en el entorno del sitio de obra) y se normalizaron respecto a la cantidad de trabajadores. Estas variables normalizadas se presentarán en la sección de resultados con el nombre de “indicadores de desempeño”.

2.3 Fuentes de información

Para la obtención de los datos, se contó con el apoyo del desarrollador Portafolio Inmobiliario mediante la supervisora del Departamento de Sostenibilidad, la Ing. Irene Baldioceda Salazar, quien brindó los formularios correspondientes y verificados por el departamento para el análisis de estos.

Los registros de consumos corresponden los datos obtenidos en 6 proyectos de construcción que se detallan en el *Cuadro 7*.

Cuadro 7. Descripción de los proyectos constructivos analizados respecto a los consumos de agua y energía.

Nombre	Área de construcción (m ²)	Tipo de proyecto	Ubicación	Fecha inicio	Fecha finalización	Sistema Constructivo
Aleste 201	32.210	Comercial o mixto (edificio tipo torre)	San José, cantón Curridabat	06-2021	10-2022	Fundaciones de concreto con acero de refuerzo, así como un sistema de columnas y losas de concreto con cables postensados.
AE300	44.993	Comercial o mixto (dos edificios y un sector de plaza)	San José, cantón de Escazú	08-2022	02-2024	Fundaciones de concreto con acero de refuerzo, así como un sistema de columnas y losas de concreto con cables postensados.
CR Green Valley - DDS LAB	9.118	Nave industrial	Alajuela, cantón de Grecia	01-2023	08-2023	Columnas, losas, paneles, vigas y cerchas en su totalidad de concreto prefabricado, además contaban con vigas clavador, las cuales poseían perfiles metálicos para la colocación de las láminas de techo
Nueve84	9.923	Dos torres de tipo residencial	San José, cantón Curridabat	04-2022	04-2023	Concreto reforzado con muro losa de concreto
Costa Rica Green Valley - Nitrile	5.280	Nave industrial	Alajuela, cantón de Grecia	10-2021	04-2022	Fundaciones de concreto con sistema de encofrado, las paredes de mampostería y una estructura principal metálica
Aleste 300	901	Comercial o mixto (sector de plaza)	San José, cantón Curridabat	01-2023	04-2023	Estructura principal metálica con cerramientos livianos.

Las fuentes de información primarias y secundarias, según los objetivos de la investigación son:

Cuadro 8. Fuentes de información primarias y secundarias, según los objetivos planteados en la investigación.

Objetivo	Fuentes primarias	Fuentes secundarias
<p>OE1. Realizar un diagnóstico de los registros históricos de consumo, de agua, electricidad y combustible en seis proyectos desarrollados por Portafolio Inmobiliario, tomando en cuenta las tipologías constructivas y los avances de obra.</p>	<p>Registros históricos con los consumos mensuales recopilados por las empresas constructoras desarrolladoras de los proyectos analizados y consultas a la supervisora del Departamento de Sostenibilidad, la Ing. Irene Baldioceda Salazar y personal de ingeniería a cargo de la construcción de las obras.</p>	<p>Literatura complementaria: <i>“Metodología para la gestión de recursos de consumo energético durante el proceso constructivo”</i>, <i>“Metodología para el control y análisis del consumo de agua durante la fase constructiva de obra gris”</i>, <i>“Determinación del consumo de agua potable durante la construcción de viviendas en una zona semi desértica de Chile”</i>, entre otras.</p>
<p>OE2. Identificar las medidas para la cuantificación y gestión del consumo eléctrico, de combustible y de agua empleadas durante los procesos constructivos de los proyectos y contrastarlas respecto a los registros de consumos analizados.</p>	<p>Registros de consumo y cronogramas de obras proporcionados por el Departamento de Sostenibilidad del desarrollador. Así como las consultas a la supervisora del Departamento de Sostenibilidad y personal de ingeniería a cargo de la construcción de las obras.</p>	<p>Literatura complementaria, entrevistas a encargados de los proyectos y visitas a sitio.</p>
<p>OE3. Brindar recomendaciones al desarrollador, respecto a las estrategias empleadas actualmente para el control y reducción de los consumos de agua, eléctrico y de combustible en los proyectos de construcción con base en los resultados obtenidos.</p>	<p>Consultas a supervisora del Departamento de Sostenibilidad, la Ing. Irene Baldioceda Salazar y personal de ingeniería a cargo de la construcción de las obras.</p>	<p>Literatura complementaria: certificaciones sostenibles, norma RESET y Bandera Azul Ecológica.</p>

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección

Los datos originales fueron proporcionados en formato Microsoft Excel por el desarrollador. La organización de los datos se realizó utilizando el mismo programa computacional. Asimismo, se realizaron consultas y reuniones con los ingenieros responsables de los procesos de sostenibilidad y construcción de las obras por analizar para la verificación de datos y medidas, además de visitas a sitio; todo esto para tener bases de información, obtenida durante el desarrollo de la obra para la documentación de los resultados, posibles implementaciones y recomendaciones para la empresa.

2.5 Procesamiento y análisis de la información

Para el procesamiento y análisis de los datos, se utilizó la aplicación Microsoft Excel mediante el módulo de análisis de datos. Utilizando estadística descriptiva, se analizaron los registros de consumos considerando medidas de tendencia central; esto con el fin de determinar patrones de consumo basados en las tipologías constructivas y avances de obra que permitan determinar oportunidades de mejora a las prácticas para el registro y control de consumos de agua, electricidad y combustible, actualmente, empleadas por el desarrollador. Tomando en cuenta estos criterios de análisis, se buscó responder a las preguntas de investigación mostradas en el *Cuadro 9*.

Cuadro 9. Preguntas de investigación formuladas, según los objetivos planteados en la investigación.

Objetivo	Preguntas de investigación
<p>OE1. Realizar un diagnóstico de los registros históricos de consumo, de agua, electricidad y combustible en seis proyectos desarrollados por Portafolio Inmobiliario, tomando en cuenta las tipologías constructivas y los avances de obra.</p>	<p>¿cuál tipología constructiva registra mayores consumos de agua, electricidad y combustible?, ¿dichos consumos son atribuibles al sistema constructivo o intervienen múltiples factores en los patrones de consumo registrados?, ¿si se normalizan los consumos por unidad de área, se obtienen valores similares o a que se deben las diferencias?, ¿los patrones de consumo son consistentes con el cronograma propuesto y los avances reales de obra?, ¿existe un patrón de consumo respecto a las fases constructivas de cada proyecto?, ¿dónde y en qué momento se registran los mayores consumos, en el sitio de obra o en el campamento?, ¿qué ocurre si se normalizan los datos de consumo en el sitio de campamento respecto a la cantidad de habitantes?, los consumos eléctricos se deben en gran medida al uso de maquinaria o a iluminación?, ¿el consumo de combustible se debe en gran medida al transporte de materiales o al uso de equipos?, ¿los consumos de agua se deben en gran medida a tareas en sitio de obra como el curado de elementos o lavado de maquinaria, o más bien al consumo de agua de las personas trabajadoras?</p>
<p>OE2. Identificar las medidas para la cuantificación y gestión del consumo eléctrico, de combustible y de agua empleadas durante los procesos constructivos de los proyectos y contrastarlas respecto a los registros de consumos analizados.</p>	<p>¿el nivel de detalle de los formularios de registros de consumos actualmente empleados por el desarrollador es adecuados o carecen de nivel de detalle o información? ¿los procesos empleados para el registro de datos son adecuados o presentan oportunidades de mejora?, ¿se tienen identificadas buenas prácticas en la construcción que propicien la gestión adecuada de los consumos de agua y energía en obra?, ¿las estrategias, logística empleada y las acciones de reducción de consumos son planificadas desde la etapa de preconstrucción?, ¿qué tanto peso tienen sobre la base del diseño de sitio, faenas y producción en el entorno de trabajo?, ¿las prácticas empleadas guardan relación con lo reportado en la literatura o se podrían incorporar nuevas prácticas?, ¿las variables, las unidades y el reporte de resultados es adecuado para una correcta interpretación de las acciones para tomar acciones correctivas en sitio y a convenir en futuros proyectos para una adecuada gestión de dichos consumos?</p>
<p>OE3. Brindar recomendaciones al desarrollador, respecto a las estrategias empleadas actualmente para el control y reducción de los consumos de agua, eléctrico y de combustible en los proyectos de construcción con base en los resultados obtenidos.</p>	

Capítulo 3: Resultados

En este capítulo se recapitaron los registros presentados por el desarrollador según la tipología de obra, los metros cuadrados según avance de obra y según proceso constructivo para cada tipo de consumo. Asimismo, las medidas empleadas como buenas prácticas y las recomendaciones de mejora en obra y en los formularios e informes de registro proporcionados por Portafolio Inmobiliario.

3.1 Consumos de agua en los proyectos de construcción

3.1.1 Consumos de agua por tipología constructiva

Los consumos totales de agua por sistema constructivo presentan valores variados como los muestra la figura 1. Estos valores de consumo se encuentran entre 482 y 10730 m³, con un valor de consumo promedio de $(4130,17 \pm 3947,55)$ m³. Ello denota que el sistema que podría decirse que consume menor cantidad de agua es la estructura metálica con cerramientos livianos (Aleste 300) y la que presenta mayor consumo es la estructura metálica con paredes de mampostería (Nitrile).

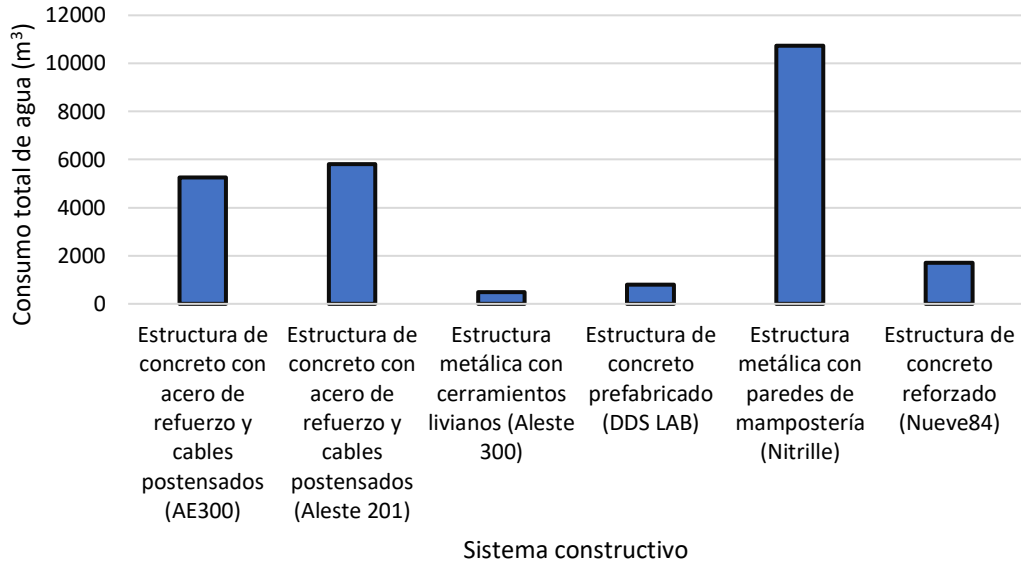


Figura 1. Consumo total de agua por sistema constructivo.

3.1.2 Consumos de agua por m² de construcción

Para los distintos proyectos y sistemas se evaluó el consumo por unidad de área que permitió identificar los valores mensuales, promedio y totales, como lo muestran las figuras de la 2 a la 7.

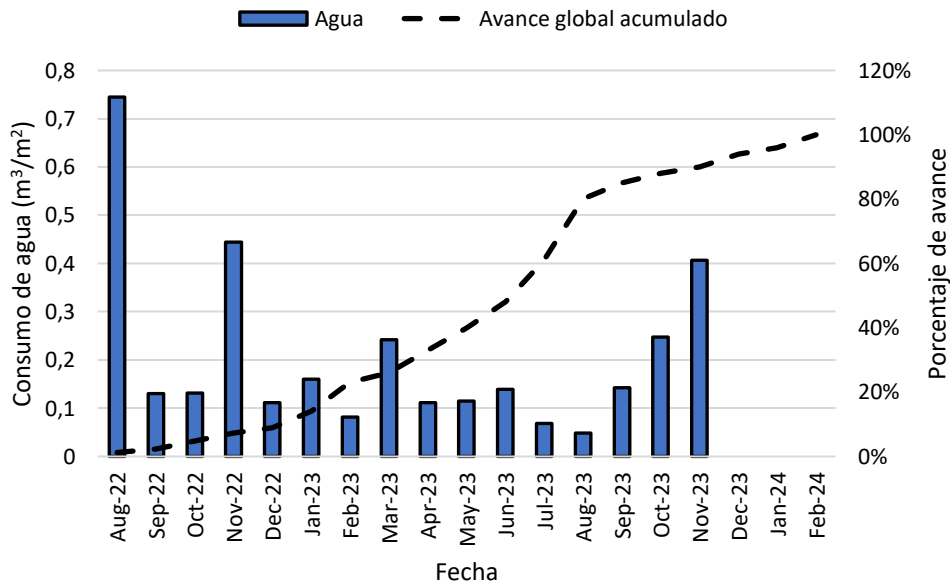


Figura 2. Consumo de agua por m², según avance de obra proyecto AE300.

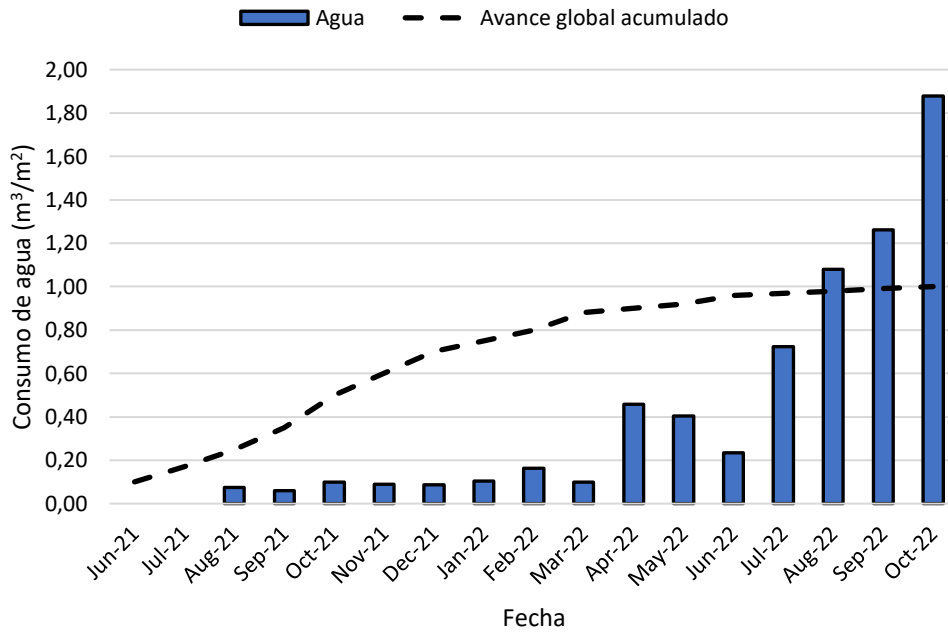


Figura 3. Consumo de agua por m², según avance de obra proyecto Aleste 201.

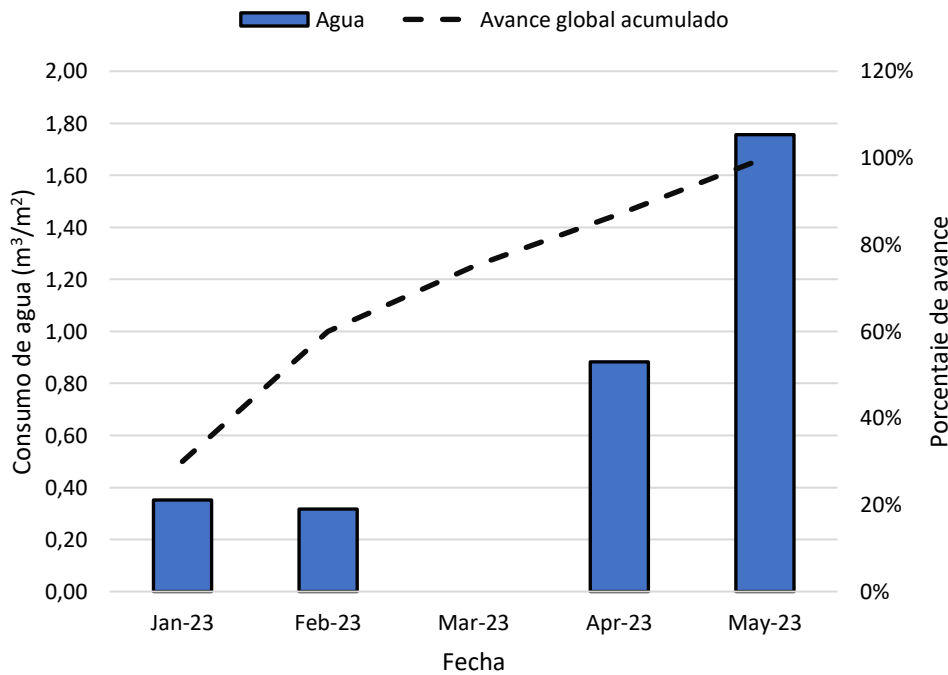


Figura 4. Consumo de agua por m² según avance de obra proyecto Aleste 300

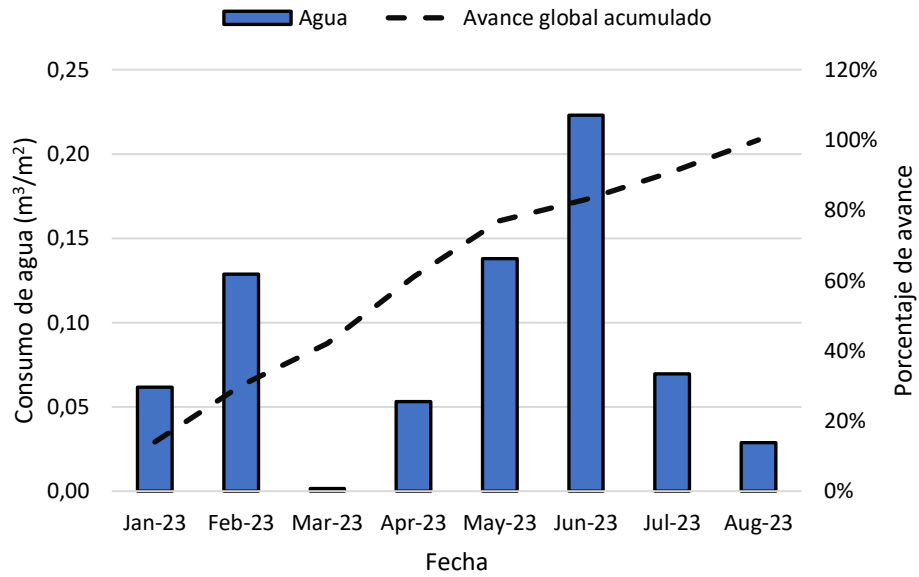


Figura 5. Consumo de agua por m² según avance de obra proyecto DDS LAB.

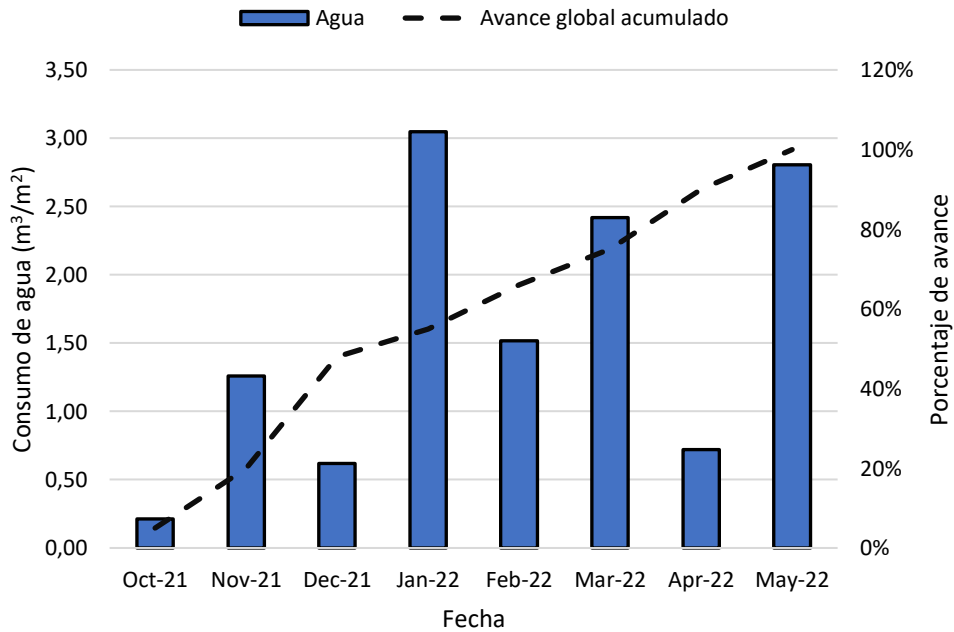


Figura 6. Consumo de agua por m² según avance de obra, proyecto Nitrile.

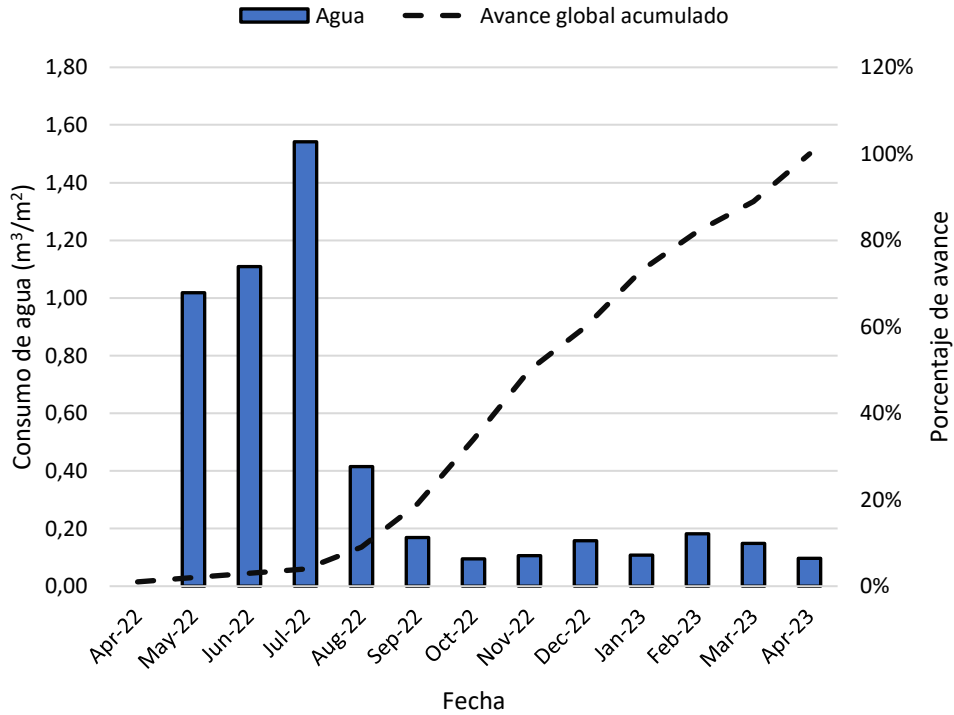


Figura 7. Consumo de agua por m² según avance de obra, proyecto Nueve84.

En el Cuadro 10 se presentan los valores de consumo de agua mínimos, máximos, sus promedios y el consumo presentado de manera total según cada proyecto. En su mayoría se nota que los consumos presentados de manera total se encuentran dentro del promedio en cada caso, asimismo según los valores presentados en el marco teórico (Apartado 1.2.1) se encuentran dentro del rango de consumo estudiado, incluso podría considerarse menor.

Cuadro 10. Resumen de valores de consumo de agua por m² por sistema constructivo.

Sistema constructivo	Consumo mínimo (m ³ / m ²)	Consumo máximo (m ³ / m ²)	Consumo promedio (m ³ /m ²)	Consumo total (m ³ /m ²)
Estructura de concreto con acero de refuerzo y cables postensados (AE300)	0,00	0,74	0,17 ± 0,13	0,12
Estructura de concreto con acero de refuerzo y cables postensados (Aleste 201)	0,00	1,88	0,40 ± 0,10	0,18
Estructura metálica con cerramientos livianos (Aleste 300)	0,00	1,76	0,66 ± 0,35	0,53
Estructura de concreto prefabricado (DDS LAB)	0,00	0,22	0,09 ± 0,07	0,19

Sistema constructivo	Consumo mínimo (m ³ / m ²)	Consumo máximo (m ³ / m ²)	Consumo promedio (m ³ /m ²)	Consumo total (m ³ /m ²)
Estructura metálica con paredes de mampostería (Nitrile)	0,21	3,05	1,26 ± 0,99	1,17
Estructura de concreto reforzado (Nueve84)	0,00	1,54	0,40 ± 0,16	0,17

3.1.3 Patrones de consumo de agua según fase constructiva

Para la distribución, según el proceso constructivo, se consideró únicamente el consumo de la parte constructiva de cada proyecto y, por ende, de cada sistema para evaluar, más adecuadamente, el proceso sin contemplar otros factores externos como es el consumo del sitio de campamento.

Para el sistema de concreto postensado, específicamente, en el proyecto AE300, la distribución de consumo de agua, según el proceso constructivo desarrollado en la obra, se determinó que la totalidad del consumo se cuantificó para el movimiento de tierras, ya que los datos cuantificados se presentan únicamente en los primeros meses de la obra.

Por su parte, para la distribución de consumo de agua, según el proceso constructivo desarrollado en la obra de Aleste 201, en la figura 8, se denota el consumo y se encontró, en gran parte, en los acabados.

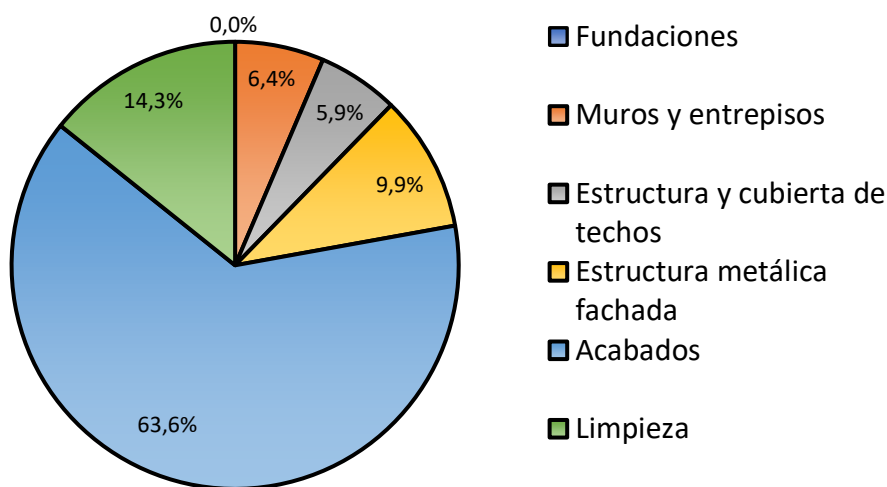


Figura 8. Distribución de consumo de agua, según proceso constructivo, Aleste 201.

Por su parte, para la distribución de consumo de agua, según el proceso constructivo desarrollado en la obra del sistema metálico con paredes livianas (Aleste 300), muestra en la figura 9 que el consumo se encuentra distribuido en diversos procesos siendo fundaciones el que presentó mayor consumo.

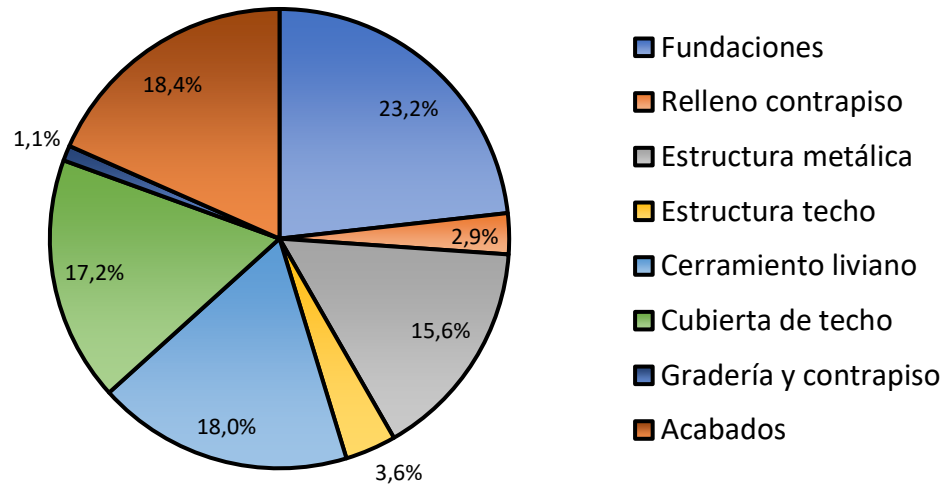


Figura 9. Distribución de consumo de agua, según proceso constructivo, Aleste 300.

Por su parte, el proyecto DDS LAB del sistema de concreto prefabricado, presentó un mayor consumo de agua en el proceso de la estructura principal (obra gris) como lo muestra la figura 10, cabe destacar que para este proyecto no se consideraron acabados de obra en la etapa de análisis.

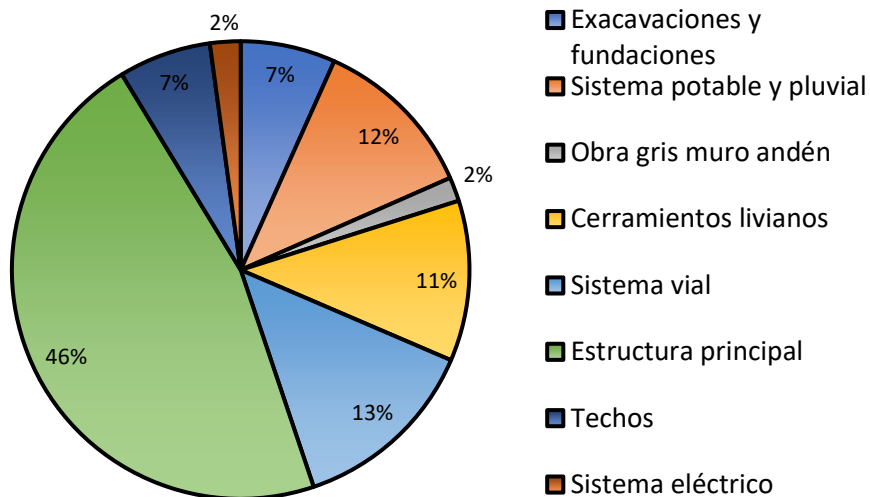


Figura 10. Distribución de consumo de agua, según proceso constructivo, DDS LAB.

Por su parte, para la distribución de consumo de agua, según el proceso constructivo de Nitrile (sistema metálico con paredes de mampostería), en la figura 11, se muestra que el consumo se encontró mayormente en la etapa obra gris, siendo un consumo esperado en este tipo de sistemas.

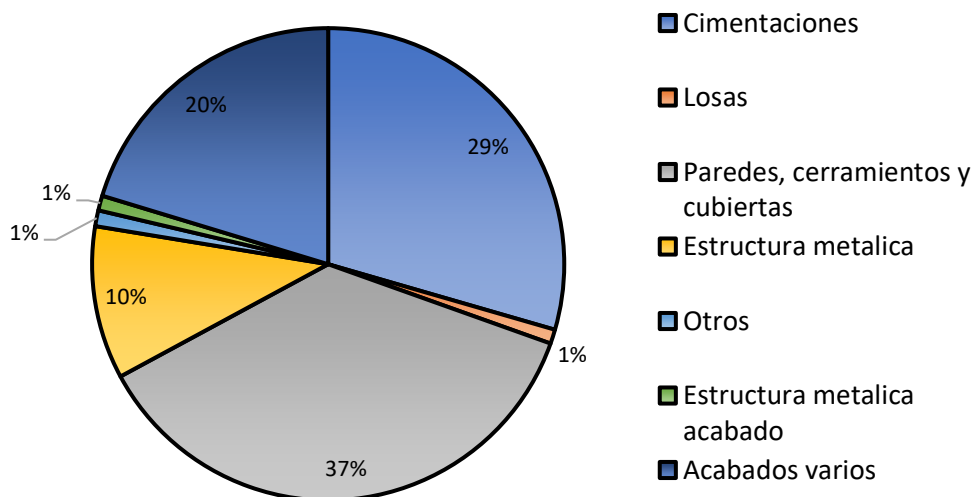


Figura 11. Distribución de consumo de agua, según proceso constructivo, Nitrile.

Finalmente, para la distribución de consumo de agua, según el proceso constructivo del sistema de concreto reforzado y desarrollado en la obra de Nueve 84, en la figura 12, se denota el mayor consumo en la parte de construcción de acabados del edificio, siendo un consumo poco usual en este tipo de procesos.

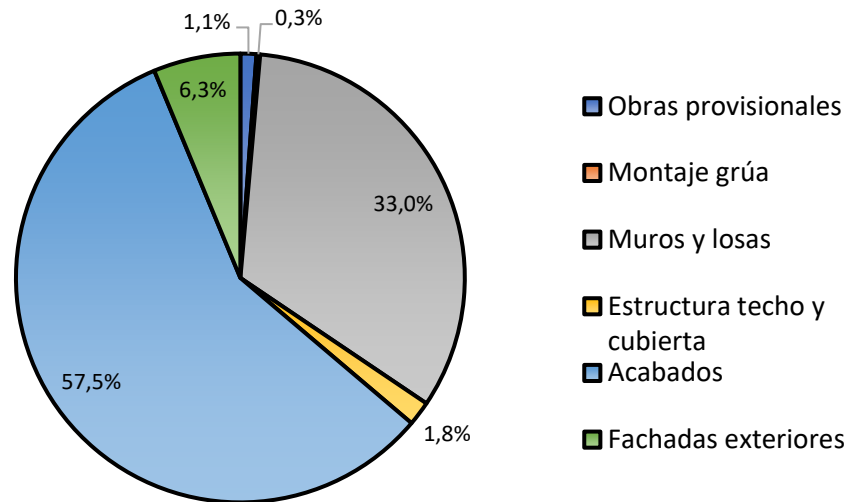


Figura 12. Distribución de consumo de agua, según proceso constructivo, Nueve84.

3.1.4 Consumos de agua en obra vs sitio de campamento

La distribución del uso de agua en obra se contabilizó para la parte constructiva y para el sitio de campamento de los trabajadores. En la figura 13, se nota que la distribución de consumo podría decirse que se distribuye mayormente hacia el sitio de campamento por lo que podría evaluarse medidas que disminuyan el consumo, específicamente, en este sector de la obra. Cabe destacar que para el proyecto de Aleste 201 solo se contabilizó el consumo en la parte constructiva.

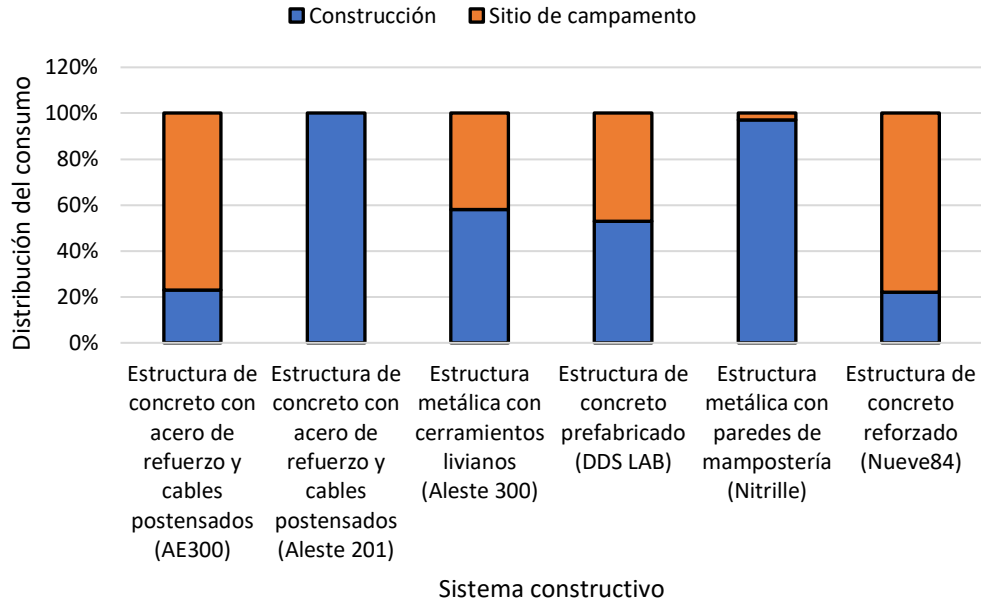


Figura 13. Porcentaje de uso de agua en obra por construcción vs sitio de campamento.

Por otra parte, se nota el cambio en la figura 14, al analizar los índices de consumo solamente de la construcción y el consumo de la construcción y el sitio de campamento juntos. Se puede evidenciar que el consumo de agua varía en ciertos procesos que generaban mayor consumo como Aleste 300, DDS LAB y Nueve84.

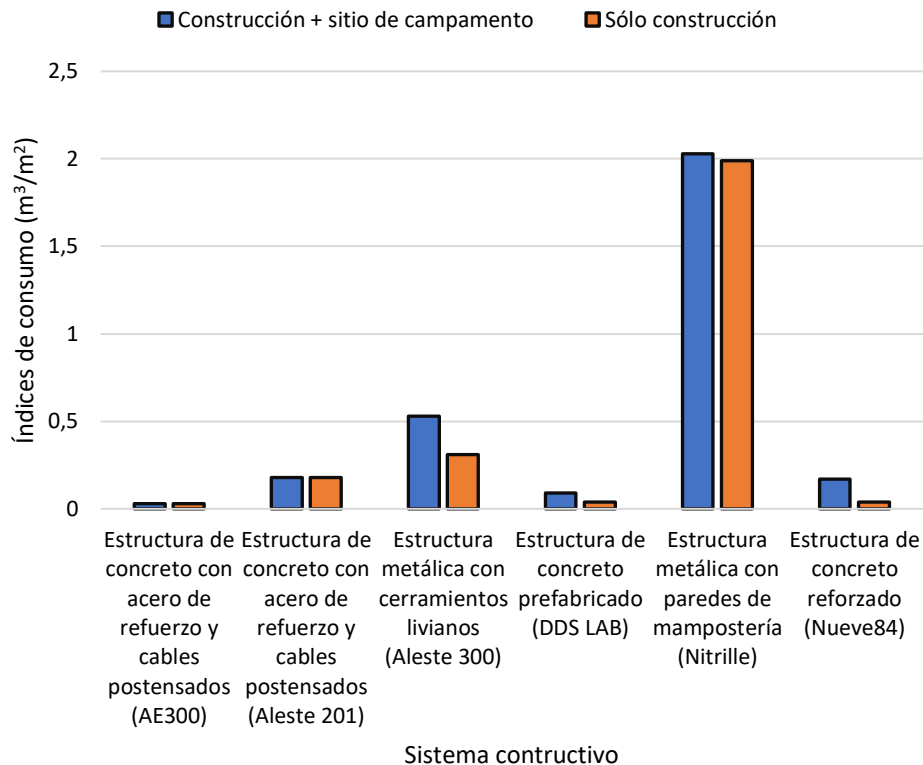


Figura 14. Índices de consumo de agua total y sólo construcción.

En relación con el consumo de agua en el sitio de campamento por trabajador, se determina que un promedio total de 94 litros diarios por persona, corresponden a las actividades más comunes realizadas por los trabajadores en obra. Igualmente, según los datos presentados en el *Cuadro 11*, se nota que los valores se encuentran en un rango adecuado, de acuerdo con la cantidad de trabajadores por mes, y considerando que los consumos estimados, mencionados anteriormente, son para un consumo habitual en una jornada mayor a la laboral (Acueductos y Alcantarillados, 2022).

Cuadro 11. Datos de consumo de agua del sitio de campamento, trabajadores e indicadores de desempeño, Nueve84.

Mes	Consumo (m³)	Consumo (L)	Cantidad de trabajadores	Indicador de desempeño (L/trabajador·mes)
Abril	-	-	25	-
Mayo	94	94000	95	989,47
Junio	100	100000	132	757,58
Julio	116	116000	187	620,32

Mes	Consumo (m³)	Consumo (L)	Cantidad de trabajadores	Indicador de desempeño (L/trabajador-mes)
Agosto	158	158000	242	652,89
Setiembre	120	120000	248	483,87
Octubre	108	108000	263	410,65
Noviembre	134	134000	270	496,30
Diciembre	122	122000	255	478,43
Enero	118	118000	253	466,40
Febrero	116	116000	253	458,50
Marzo	73	73000	181	403,31
Abril	75	75000	162	462,96

Del mismo modo, se pueden observar datos por debajo del valor mencionado anteriormente y si se considera el promedio contabilizado se obtiene 556,72 L/trabajador-mes, en los meses de mayo a agosto hubo un consumo constante más la cantidad de trabajadores era menor que los meses posteriores por lo que el índice de consumo fue mayor en estos casos, el desarrollador no reporta el por qué del aumento del consumo pero debería evaluarse y rastrearse en futuros proyectos el por qué de estos aumentos de consumo. De esta forma, se puede contabilizar, de manera más adecuada, este tipo de consumo, ya que según su aumento se podrían valorar medidas más concretas de disminución. Asimismo, se nota otro ejemplo en el *Cuadro 12* sobre la cuantificación del consumo en el sitio del campamento, según los trabajadores en obra.

Cuadro 12. Datos de consumo de agua del campamento, trabajadores e indicadores de desempeño, AE300

Mes	Consumo (m³)	Consumo (L)	Cantidad de trabajadores	Indicador de desempeño (L/trabajador-mes)
Enero	61,83	61830	205	301,61
Febrero	31,00	31000	232	133,62
Marzo	27,31	27310	261	104,64
Abril	53,00	53000	324	163,58
Mayo	64,00	64000	372	172,04

Como se puede notar, hay datos por debajo del valor mencionado anteriormente y si se considera el promedio contabilizado se obtiene 175,1 L/trabajador-mes, lo que denota un consumo bajo de agua en el sitio de campamento. De tal manera que se puede contabilizar de una forma más adecuada este tipo de consumo, ya que, según su aumento, se podrían valorar medidas más concretas de disminución.

Por otra parte, por razones de no contar con todos los datos, en todos los proyectos, no se desarrolla con todos; pero, se recomienda como una medida a utilizar.

3.1.5 Consumos de agua potable y para otros usos

La distribución presentada en la figura 15, denotó que el mayor tipo de agua utilizada en los proyectos es el agua potable, por lo que podría indicar que no se está obteniendo, de manera adecuada, agua de otros usos para tareas que no requieran agua potable, así como podría no estar contabilizándose adecuadamente el uso de esta.

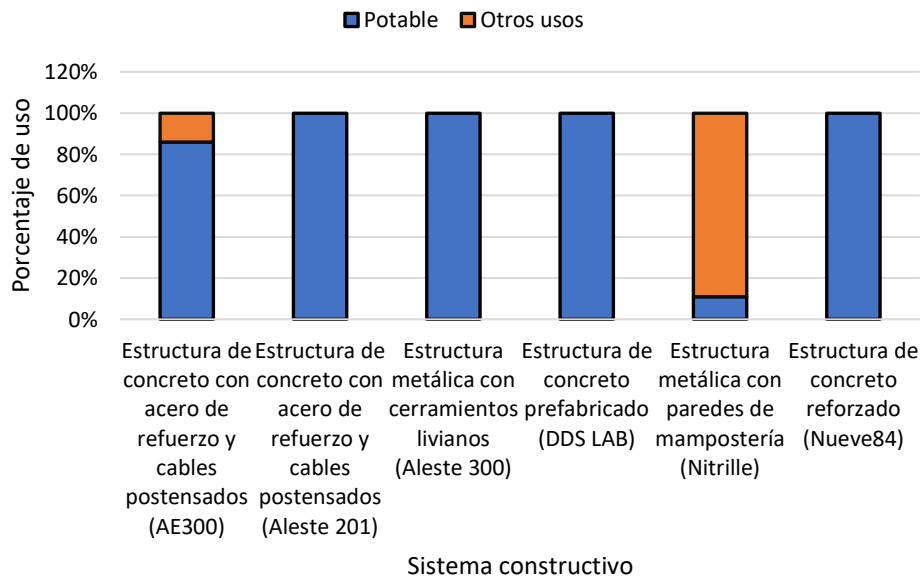


Figura 15. Porcentaje de uso de agua potable y de otros usos en obra.

3.2 Consumo de combustible en los procesos de construcción

3.2.1 Patrones de consumo de combustible según tipología de obra

Los consumos totales de combustible, por sistema constructivo, presentan valores variados como los muestra la figura 16, esos valores de consumo se encuentran entre 186 y 205246 L, con un valor de consumo promedio de $(46015,00 \pm 11463,71)$ L. Esto denota que el sistema que podría decirse que consume menor cantidad de agua es la estructura metálica con cerramientos livianos (Aleste 300) y la que presenta mayor consumo la estructura de concreto postensado (AE300).

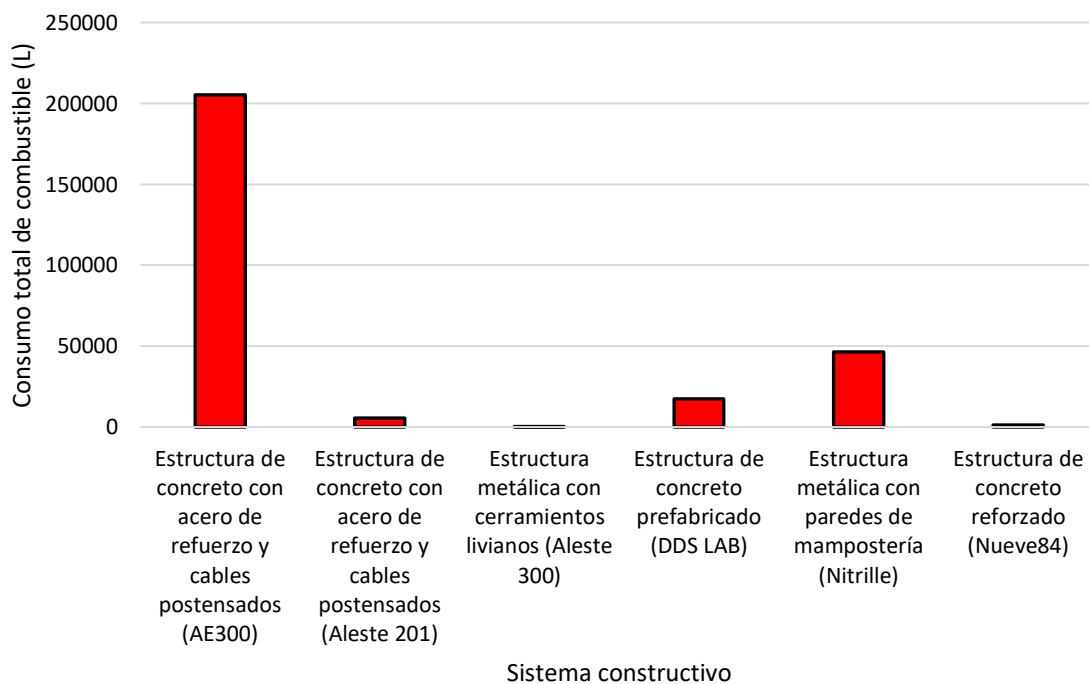


Figura 16. Consumo total de combustible por sistema constructivo.

3.2.2 Consumos de combustible por m² de construcción

En relación con el consumo de combustible por metro cuadrado de construcción, se cuantificó mediante las mediciones mensuales que realizaban las empresas encargadas de procesos como movimientos de tierra, uso de maquinaria especializada o transporte de insumos para la construcción. En la figura 17 del proyecto AE300, se muestra el consumo por metro cuadrado que se encuentra entre 0,00 y 110,94 L/m², con un valor de consumo promedio de (15,25 ± 0,65) L/m². El consumo total del proyecto fue de 4,56 L/m² presentando un valor mucho menor con el rango del consumo promedio mensual. Además, se notó que la distribución del consumo presentó valores crecientes al inicio; pero, disminuyeron conforme al avance de obra después del mes de junio ya que según cronograma se finalizó el proceso de movimientos de tierra, fundaciones y contrapiso general de la obra, además por la naturaleza del sistema constructivo no se requiere equipo de uso de combustible.

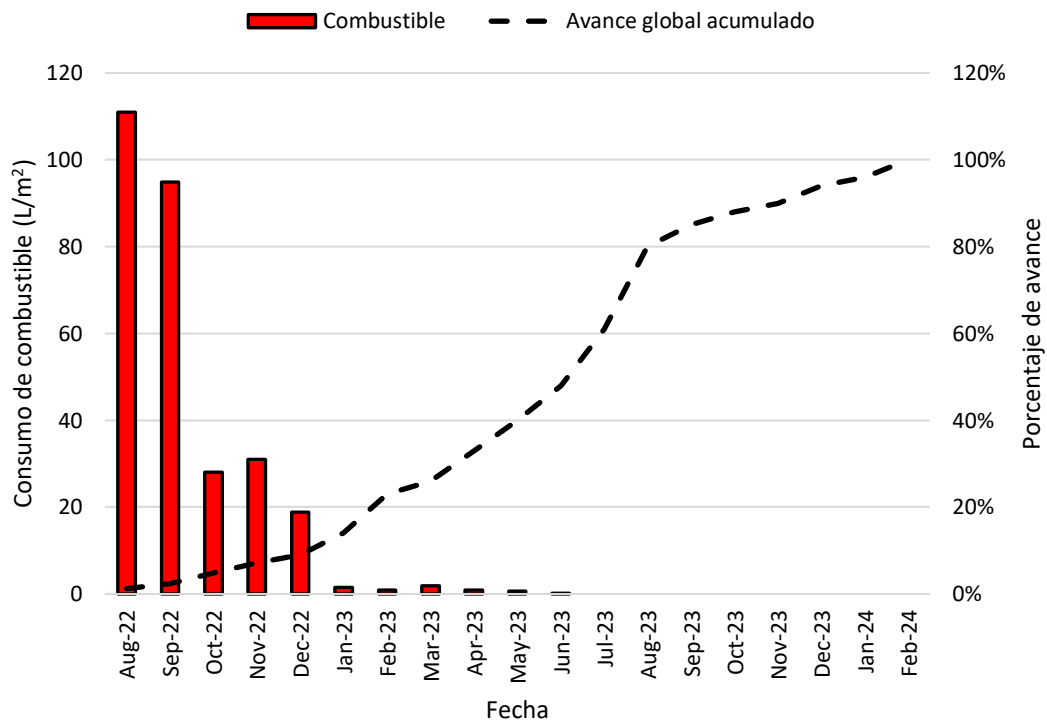


Figura 17. Consumo de combustible por m² según avance de obra proyecto AE300.

Para el proyecto Aleste 201, la figura 18 muestra que el consumo por metro cuadrado que se encuentra entre 0,00 y 1,86 L/m², con un valor de consumo promedio de (0,46 ± 0,25) L/m². El consumo total del proyecto fue de 0,19 L/m² presentando un valor menor con respecto al rango del consumo promedio mensual. Asimismo, se notó que la distribución del consumo presentó valores crecientes durante el desarrollo del proyecto.

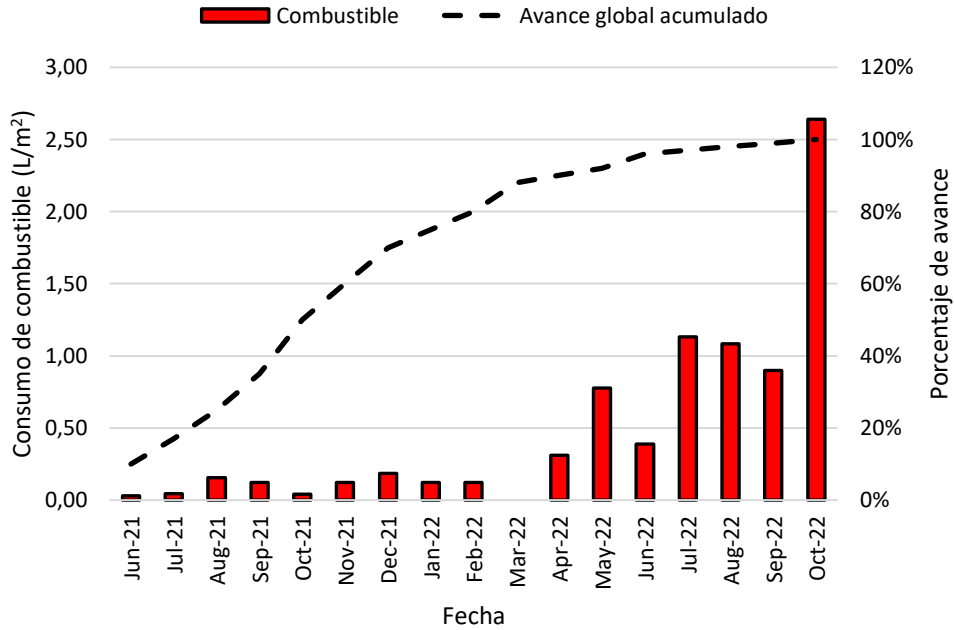


Figura 18. Consumo de combustible por m² según avance de obra proyecto Aleste 201.

Por su parte, en el proyecto Aleste 300, como muestra la figura 19, el consumo por metro cuadrado que se encuentra entre 0,00 y 0,38 L/m², con un valor de consumo promedio de (0,14 ± 0,04) L/m². El consumo total del proyecto fue de 0,21 L/m² presentando un valor un poco mayor con respecto al rango del consumo promedio mensual. De la misma forma, se notó que la distribución del consumo presentó valores altos durante el inicio del proyecto únicamente, ya que al ser un sistema liviano este no requirió de mayor uso de equipo únicamente para la etapa de fundaciones.

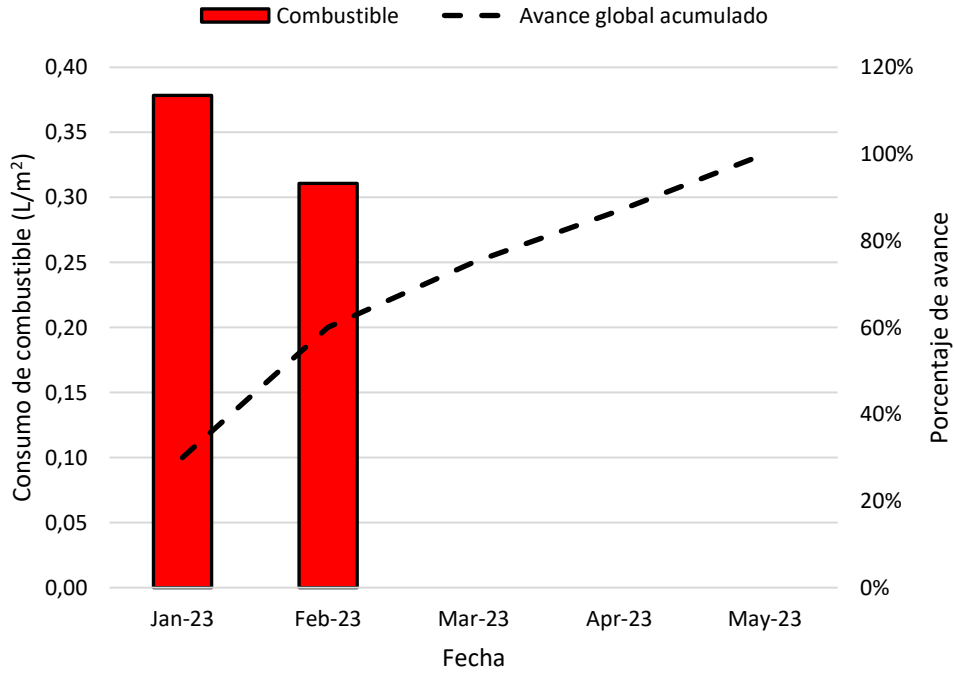


Figura 19. Consumo de combustible por m,² según avance de obra proyecto Aleste 300.

La figura 20 del proyecto DDS LAB, como muestra la figura 20, el consumo por metro cuadrado que se encuentra entre 0,01 y 3,33 L/m², con un valor de consumo promedio de (1,81 ± 1,14) L/m². El consumo total del proyecto fue de 1,90 L/m² presentando valores dentro del rango del consumo promedio mensual. Además, se notó que la distribución del consumo presentó valores variados durante el desarrollo del proyecto ya que en este proyecto se dio uso del combustible para un generador de energía eléctrica en obra. En el caso del mes de marzo que presentó una caída debido a que según cronograma (ver Anexos) en este mes se realizaron procesos que no requerían mayor uso de combustible en comparación con otros meses.

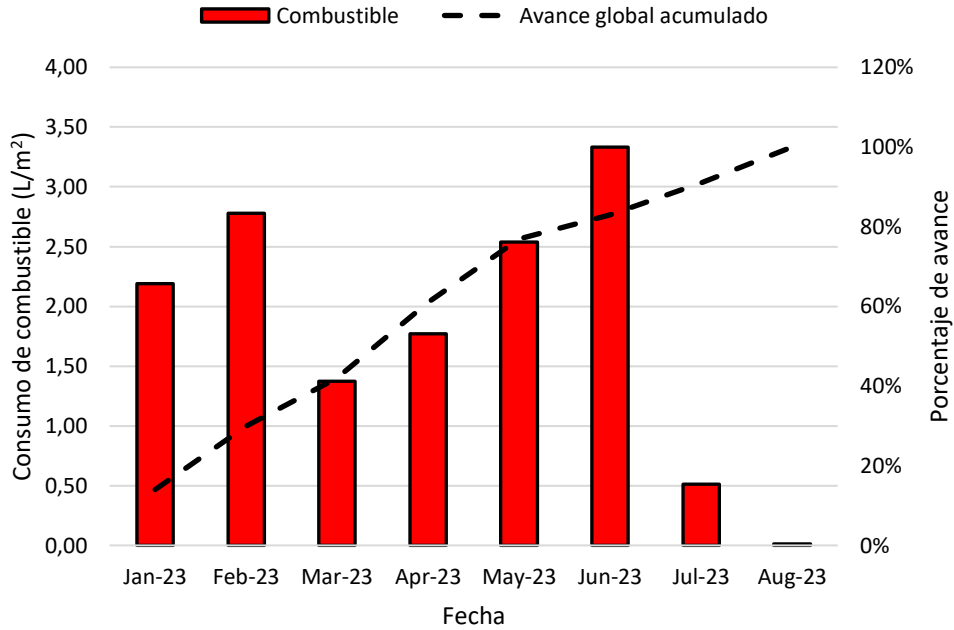


Figura 20. Consumo de combustible por m² según avance de obra proyecto DDS LAB.

La figura 21 del proyecto Nitrile, como muestra el consumo por metro cuadrado que se encuentra entre 0,61 y 43,95 L/m², con un valor de consumo promedio de (11,31 ± 6,06) L/m². El consumo total del proyecto fue de 8,82 L/m² presentando valores dentro del rango del consumo promedio mensual. En forma semejante, se notó que la distribución del consumo presentó valores variados durante el desarrollo del proyecto, y fue más alto, al medio del proyecto, esto debido a que según el cronograma de obra (ver Anexos) durante este periodo se inició la etapa principal de la obra, asimismo, en este proyecto al igual que el anterior se dio uso de combustible para generación de energía eléctrica.

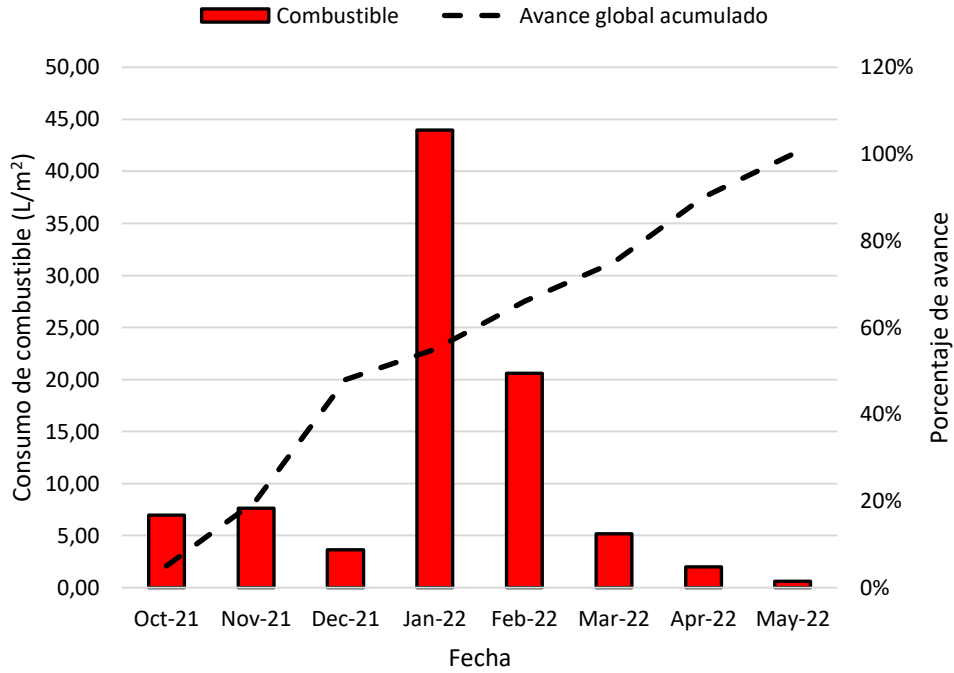


Figura 21. Consumo de combustible por m² según avance de obra proyecto Nitrile.

Finalmente, para el proyecto Nueve84, como muestra la figura 22, el consumo por metro cuadrado se encuentra entre 0,00 y 5,04 L/m², con un valor de consumo promedio de (0,58 ± 0,01) L/m². El consumo total del proyecto fue de 0,11 L/m² presentando valores menores al rango del consumo promedio mensual. Además, se notó que la distribución del consumo presentó valores altos al inicio del proyecto, por temas de fundaciones ya que al igual que los proyectos presentados inicialmente el sistema de concreto reforzado no requiere de equipos de combustible más que en su etapa de fundaciones, además para este proyecto no hubo necesidad de realizar movimientos de tierra.

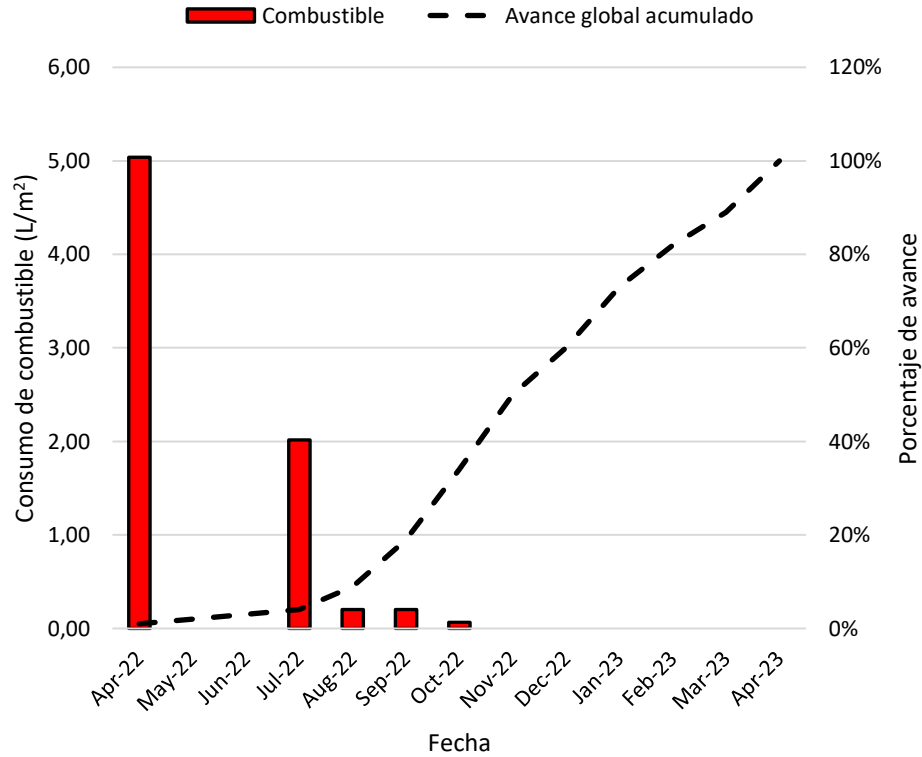


Figura 22. Consumo de combustible por m,² según avance de obra proyecto Nueve84.

3.2.3 Patrones de consumo de combustible según fase constructiva

Con respecto a la distribución de consumo de combustible, según el proceso constructivo desarrollado en la obra de AE300, se muestra la figura 23 en que la totalidad del consumo se da en movimiento de tierras y fundaciones, y son los movimientos de tierras, el esperado para que genere mayor consumo en obra.

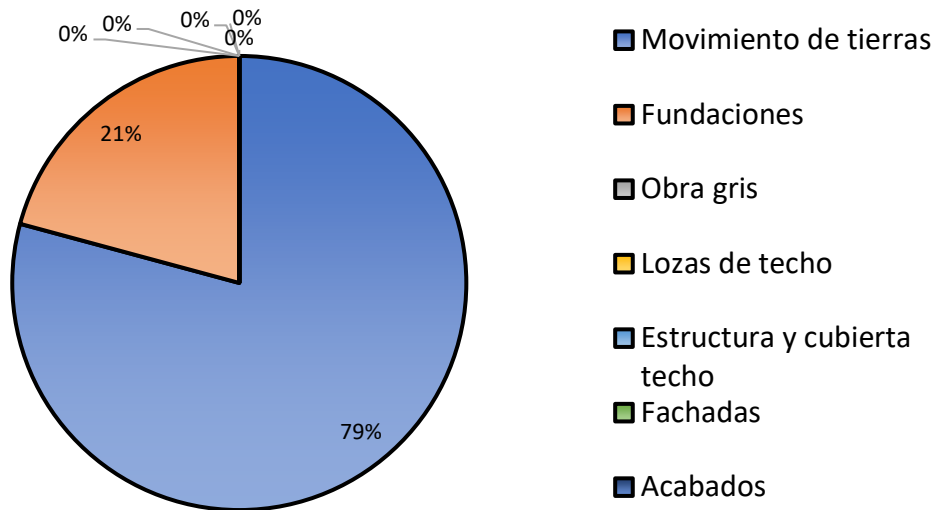


Figura 23. Distribución de consumo de combustible, según proceso constructivo, AE300.

Para la distribución de consumo de combustible, según el proceso constructivo desarrollado en la obra de Aleste 201, se muestra en la figura 24 que la mayoría de su consumo se da en la etapa de acabados. Es un consumo inusual, ya que por lo general el mayor consumo se da a inicios de obra no en etapas finales.

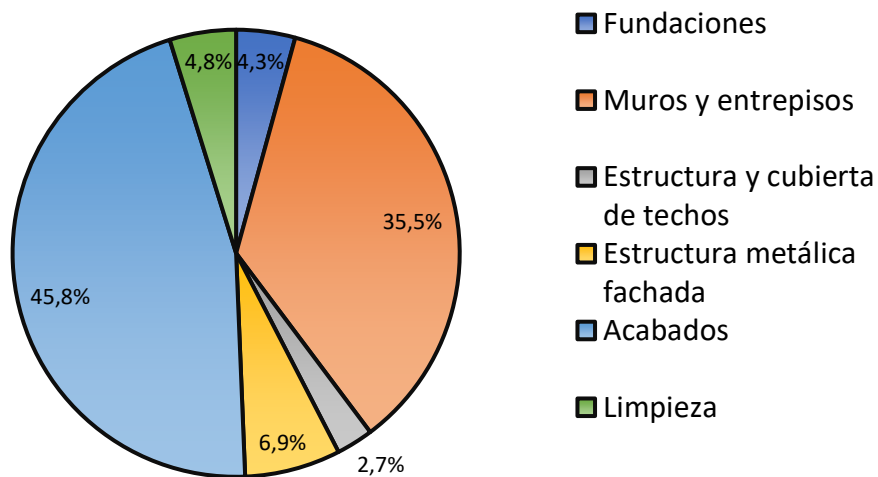


Figura 24. Distribución de consumo de combustible, según proceso constructivo, Aleste 201.

Acerca de la distribución de consumo de combustible, según el proceso constructivo desarrollado en la obra de Aleste 300, se muestra la figura 25 en que el mayor consumo se da en la parte de la construcción de las fundaciones, por lo que hay concordancia con lo esperado del consumo en obra.

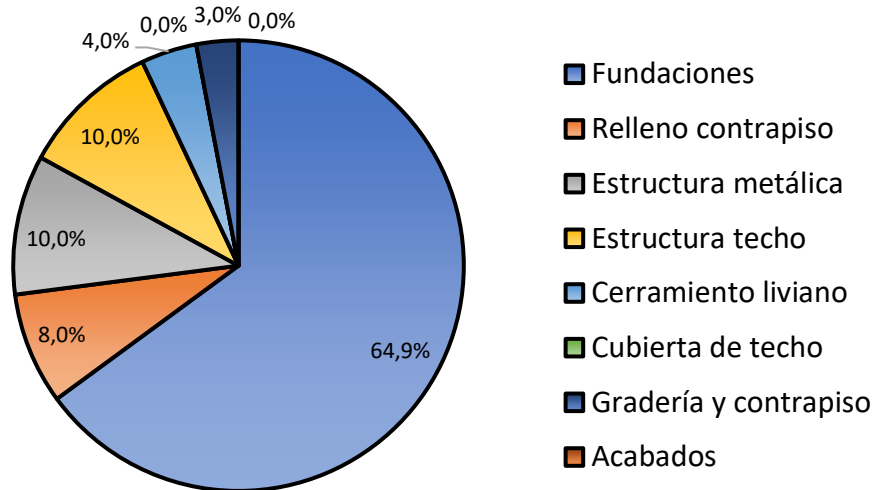


Figura 25. Distribución de consumo de combustible, según proceso constructivo, Aleste 300.

Para la distribución de consumo de combustible, según el proceso constructivo desarrollado en la obra de DDS LAB, la figura 26 muestra que el mayor consumo se da en la parte de la construcción de la obra gris y la estructura principal, cabe destacar que en esta obra se usó un generador de energía eléctrica por lo que el uso no se dio únicamente para transporte o maquinaria, de ahí que la distribución del consumo es distinta a los otros proyectos.

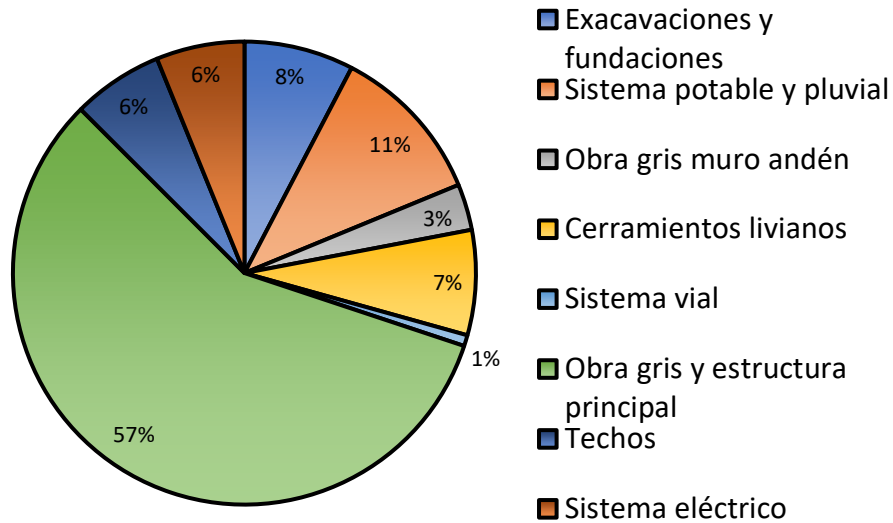


Figura 26. Distribución de consumo de combustible, según proceso constructivo, DDS LAB.

En cuanto a la distribución de consumo de combustible, según el proceso constructivo desarrollado en la obra Nitrile, la figura 27 muestra que el mayor consumo se da en la parte de la construcción de la obra gris, que al igual que en el proyecto anterior, este proyecto tuvo necesidad de usar generador eléctrico para su desarrollo y reemplazar la falta de energía eléctrica en obra.

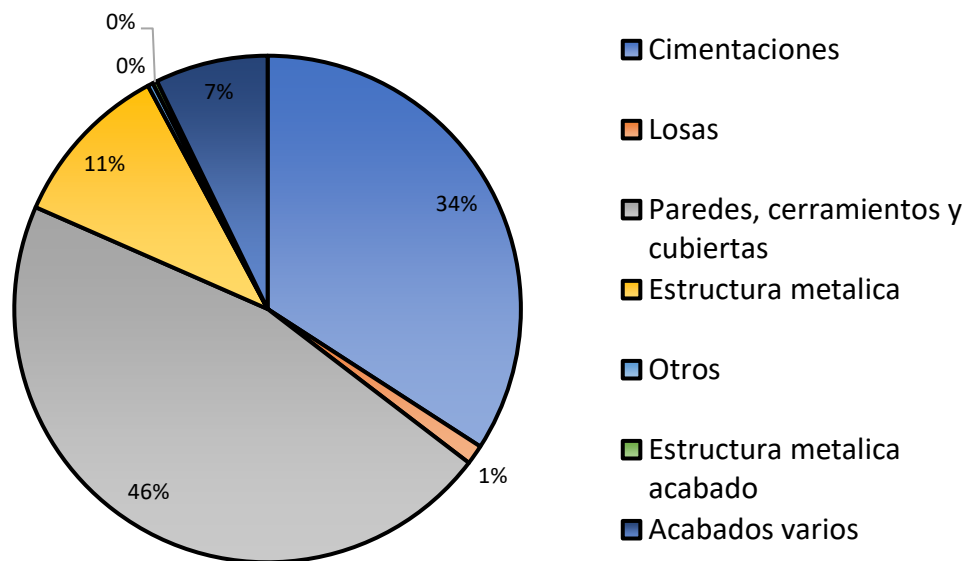


Figura 27. Distribución de consumo de combustible, según proceso constructivo, Nitrile.

Finalmente, para la distribución de consumo de combustible, según el proceso constructivo desarrollado en la obra de Nueve 84, se muestra la figura 28, donde el mayor consumo corresponde a la parte de construcción de muros y losas del edificio. Cabe destacar que en este proyecto no se dio el proceso de movimiento de tierras por lo que el consumo de combustible es disminuido con respecto a otros proyectos analizados.

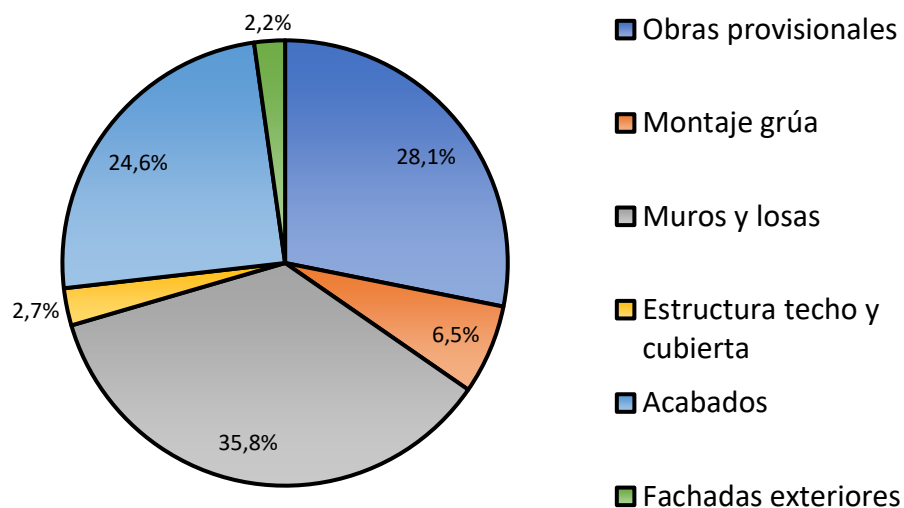


Figura 28. Distribución de consumo de combustible, según proceso constructivo, Nueve84.

3.3 Consumo de electricidad en los proyectos de construcción

3.3.1 Patrones de consumo de electricidad, según avance de obra

Los consumos totales de combustible, por sistema constructivo, presentan valores variados como los muestra la figura 29. Estos valores de consumo se encuentran entre 4207 y 133640 kWh, con un valor de consumo promedio de $(48695,67 \pm 26068,50)$ kWh. Ello denota que el sistema, podría decirse, que consume menor cantidad de electricidad es la estructura metálica con cerramientos livianos (Aleste 300) y la que presenta mayor consumo es la estructura de concreto postensado (Aleste 201). Cabe mencionar que un proyecto el cual se esperaría un consumo alto por su tipo de sistema constructivo sería el del proyecto Nitrile debido al uso de equipos para su estructura metálica, en este caso podría decirse que el consumo bajo en este caso es debido a que se hizo uso de generador eléctrico por combustible en vez de uso eléctrico.

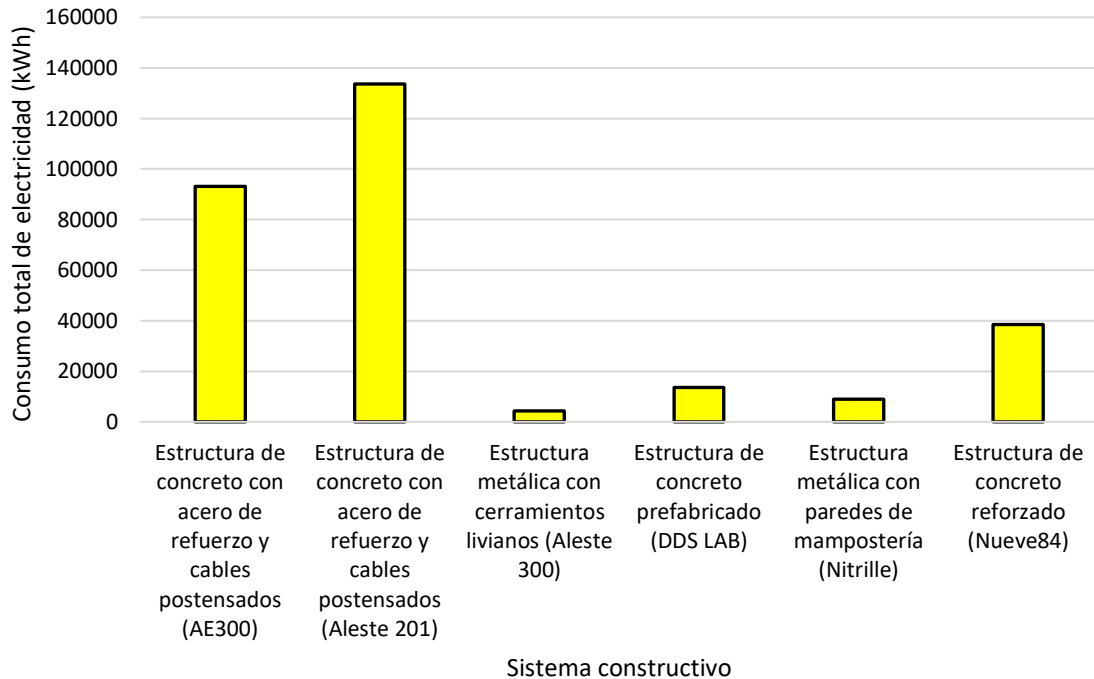


Figura 29. Consumo total de electricidad por sistema constructivo.

3.3.2 Consumos de electricidad por m² de construcción

Los datos obtenidos de consumo de energía eléctrica durante la construcción de la edificación son mediciones tomadas de los medidores de obra de manera mensual y comparándose con el avance de la obra para determinar índices de consumo mensuales en términos de consumo por unidad de área (kWh/m²). La figura 30 del proyecto AE300, muestra el consumo por metro cuadrado que se encuentra entre 0,61 y 15,43 kWh/m², con un valor de consumo promedio de (2,43 ± 0,99) kWh/m². El consumo total del proyecto fue de 2,07 kWh/m² presentando un valor muy cercano al rango del consumo promedio mensual. Además, se notó que la distribución del consumo presentó valores crecientes durante el desarrollo del proyecto, durante los meses de octubre y noviembre se dieron según cronograma (ver Anexos) de manera simultánea los procesos de acabados y cerramiento de ambos edificios de la obra por lo que se presume que generó mayor consumo durante esos meses, en los meses que no se presenta consumo, no se cuenta con mediciones reportadas por el desarrollador.

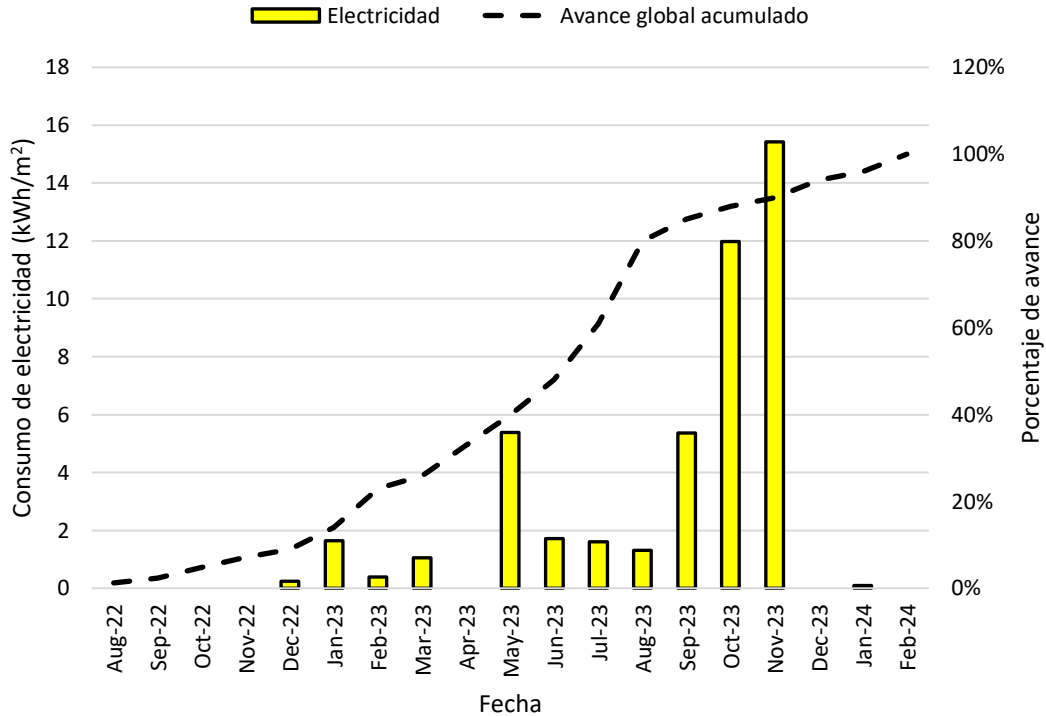


Figura 30. Consumo de electricidad por m² según avance de obra proyecto AE300.

La figura 31 del proyecto Aleste 201, muestra el consumo por metro cuadrado que se encuentra entre 0,24 y 52,65 kWh/m², con un valor de consumo promedio de (13,11 ± 4,27) kWh/m². El consumo total del proyecto fue de 4,15 kWh/m² presentando un valor bajo comparado con el rango del consumo promedio mensual. Igualmente, se notó que la distribución del consumo presentó valores crecientes durante el desarrollo del proyecto evidenciando mayores consumos al final de la obra, durante los meses finales se estaban desarrollando los acabados finales de la obra, mas no se sabe con certeza el porqué del aumento del consumo, cabe destacar que en este proyecto no se tiene distinción entre el consumo constructivo y del sitio de campamento.

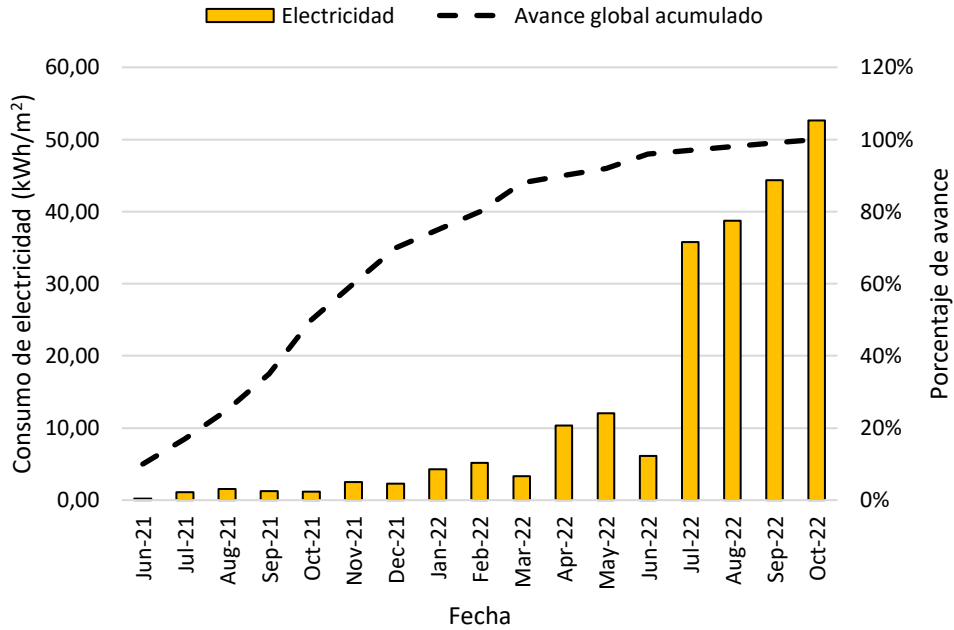


Figura 31. Consumo de electricidad por m² según avance de obra proyecto Aleste 201.

En el proyecto Aleste 300, como lo muestra la figura 32, para el consumo por metro cuadrado, se encuentra entre 2,42 y 9,30 kWh/m², con un valor de consumo promedio de (5,12 ± 4,25) kWh/m². El consumo total del proyecto fue de 4,67 kWh/m² presentando un valor cercano al rango del consumo promedio mensual. Asimismo, se notó que la distribución del consumo presentó valores distribuidos durante el desarrollo del proyecto, en el mes de mayo según cronograma (ver Anexos) se dio mayor obra en términos de estructura de techo y acabados de la estructura metálica.

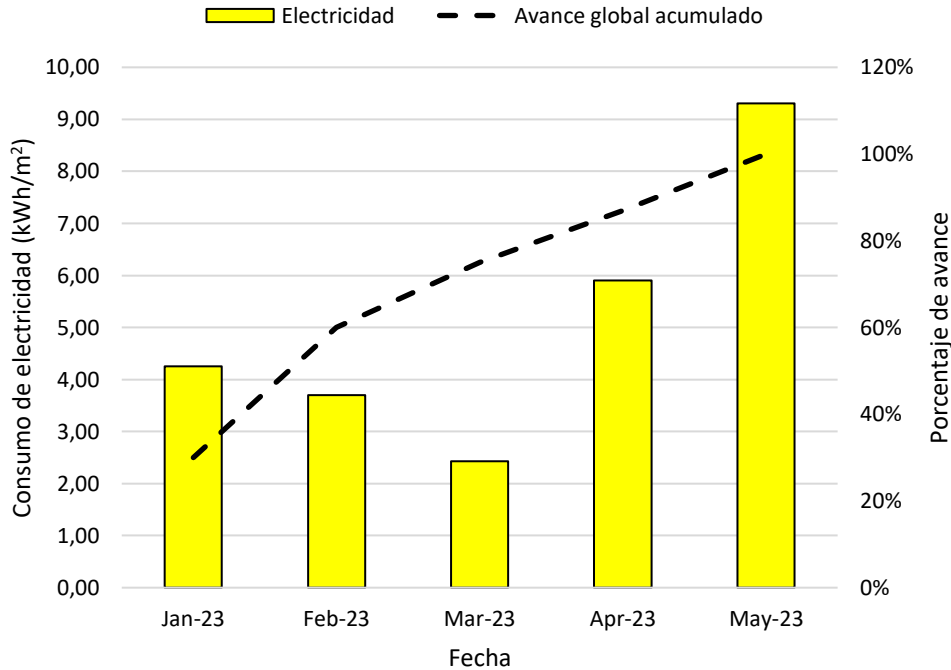


Figura 32. Consumo de electricidad por m² según avance de obra proyecto Aleste 300.

En el proyecto DDS LAB, como lo muestra la figura 33, para el consumo por metro cuadrado, se encuentra entre 0,00 y 4,71 kWh/m², con un valor de consumo promedio de $(1,60 \pm 1,39)$ kWh/m². El consumo total del proyecto fue de 1,49 kWh/m² presentando un valor cercano al rango del consumo promedio mensual. Además, se notó que la distribución del consumo presentó valores no distribuidos o inconstantes durante el desarrollo del proyecto, tomando en consideración que para este proyecto se hizo mayor uso del generador eléctrico de combustible en vez del sistema eléctrico temporal en obra. El mes de junio que presentó mayor consumo pudo haberse dado debido a que se dio mayormente el proceso de instalación de la estructura para cerramientos livianos, así como el proceso de estructura de techo que generaría mayor consumo eléctrico por los equipos a utilizar.

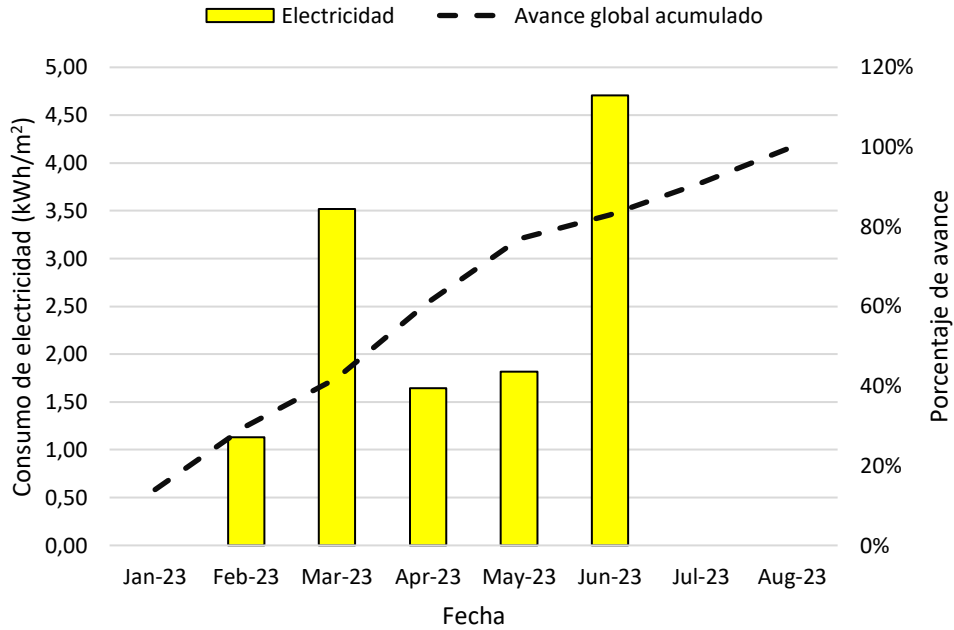


Figura 33. Consumo de electricidad por m² según avance de obra proyecto DDS LAB.

En el proyecto Nitrile, como lo muestra la figura 34, para el consumo por metro cuadrado, se encuentra entre 0,46 y 3,97 kWh/m², con un valor de consumo promedio de (1,97 ± 1,18) kWh/m². El consumo total del proyecto fue de 1,71 kWh/m² presentando un valor cercano al rango del consumo promedio mensual. De la misma manera, se notó que la distribución del consumo presentó valores no distribuidos o inconstantes durante el desarrollo del proyecto, igualmente que en el proyecto anterior cabe recordar el uso del generador eléctrico de combustible en su mayor uso en este proyecto. Asimismo, en el mes de enero se da un aumento del consumo que podría haberse dado ya que en este mes se da mayor proceso de la estructura metálica del sistema de mampostería, así como de las cubiertas de techo y hojalatería en general según el cronograma de obra (ver Anexos).

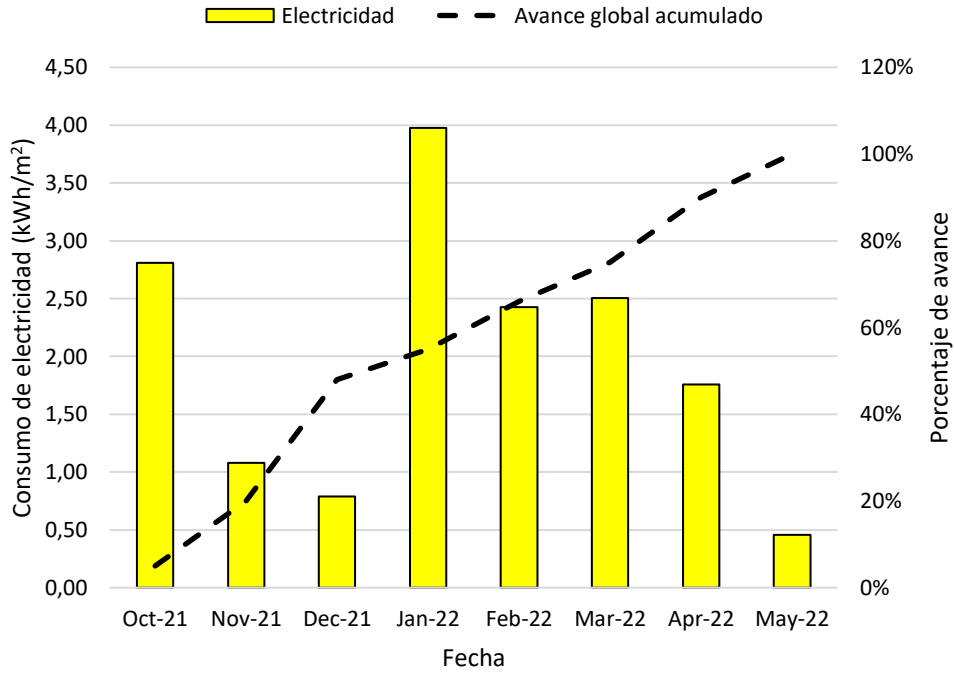


Figura 34. Consumo de electricidad por m² según avance de obra proyecto Nitrile.

En el proyecto Nueve84, como lo muestra la figura 35, para el consumo por metro cuadrado, se encuentra entre 0,00 y 35,47 kWh/m², con un valor de consumo promedio de $(8,10 \pm 3,87)$ kWh/m². El consumo total del proyecto fue de 3,89 kWh/m² presentando un valor mucho menor al rango del consumo promedio mensual. Al mismo tiempo, se notó que la distribución del consumo presentó valores no distribuidos o inconstantes durante el desarrollo del proyecto.

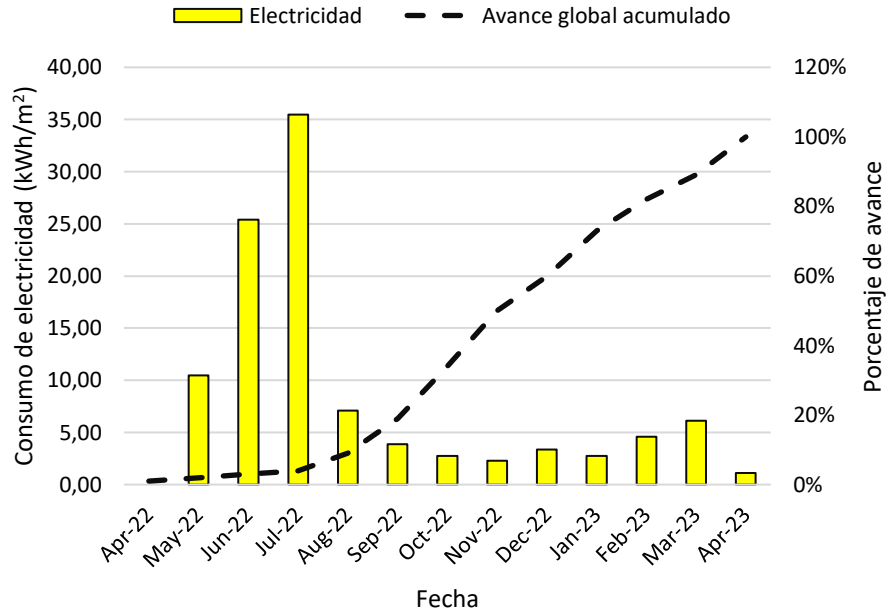


Figura 35. Consumo de electricidad por m² según avance de obra proyecto Nueve84.

3.3.3 Patrones de consumo de electricidad según fase constructiva

En la figura 36 se muestra la distribución de consumo de energía eléctrica, según el proceso constructivo desarrollado en la obra, denota el mayor consumo en la parte de obra gris y acabados de la obra, lo cual es un resultado esperado en los sistemas por el mayor porcentaje de cobertura en la obra.

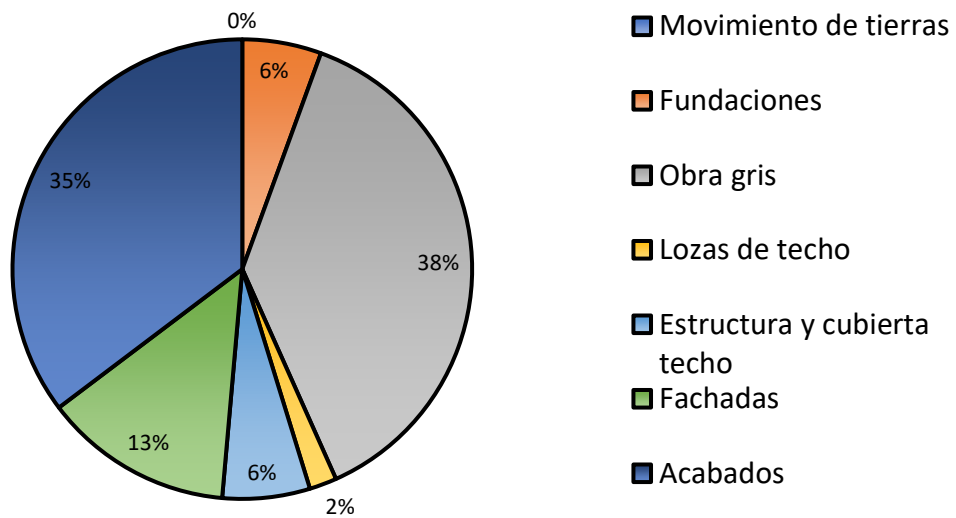


Figura 36. Distribución de consumo energético, según proceso constructivo, AE300.

En la figura 37 se muestra la distribución de consumo de energía eléctrica, según el proceso constructivo desarrollado en la obra, y denota el mayor consumo en la parte de acabados de la obra, lo cual determina un resultado inesperado, ya que al presentar estructura metálica, un resultado esperado, sería que el consumo sea mayor en otras etapas de obra mas como se mencionó anteriormente, el consumo eléctrico de la obra no representa el total del consumo debido al uso del generador de combustible.

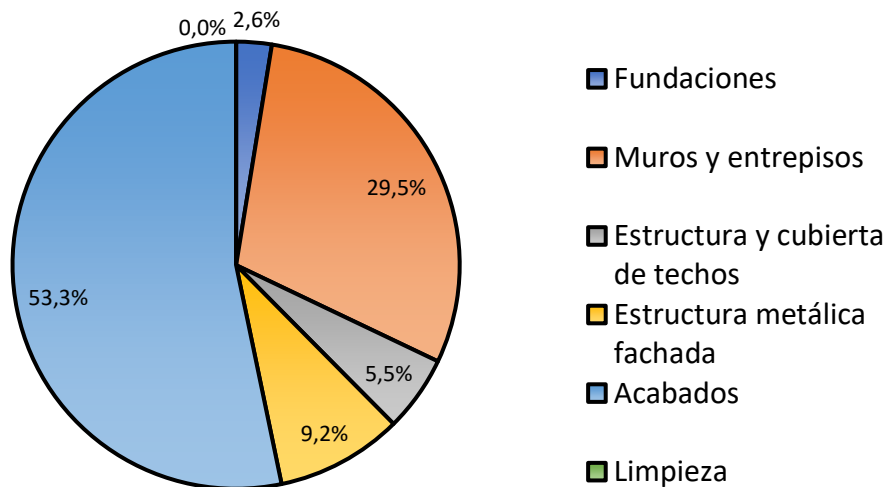


Figura 37. Distribución de consumo energético, según proceso constructivo, Aleste 201.

En la figura 38 se muestra la distribución de consumo de energía eléctrica, según el proceso constructivo desarrollado en la obra de Aleste 300, denotando el mayor consumo en la parte de fundaciones, lo cual igualmente es un resultado no esperado debido a que hay otros procesos en el sistema de estructura metálica que podría consumir más energía eléctrica.

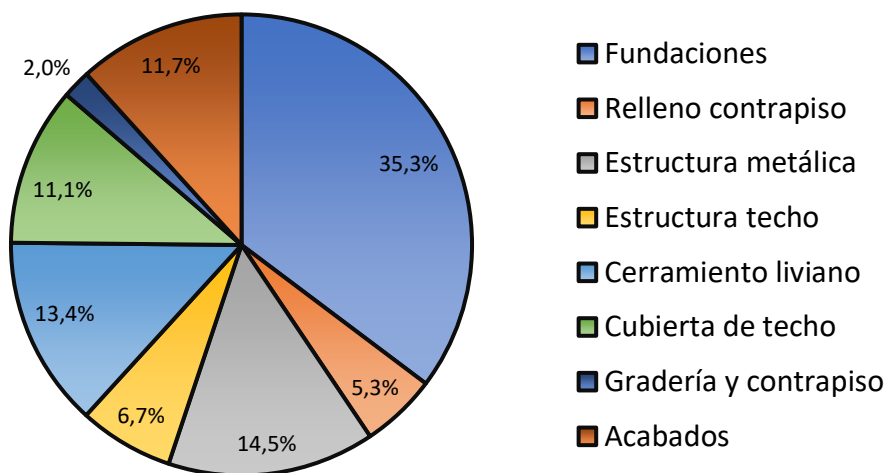


Figura 38. Distribución de consumo energético, según proceso constructivo, Aleste 300.

En la figura 39 se muestra la distribución de consumo de energía eléctrica y denota el mayor consumo en el proceso de la obra gris y la estructura principal de la edificación, lo cual es un resultado esperado para este tipo de sistemas constructivos.

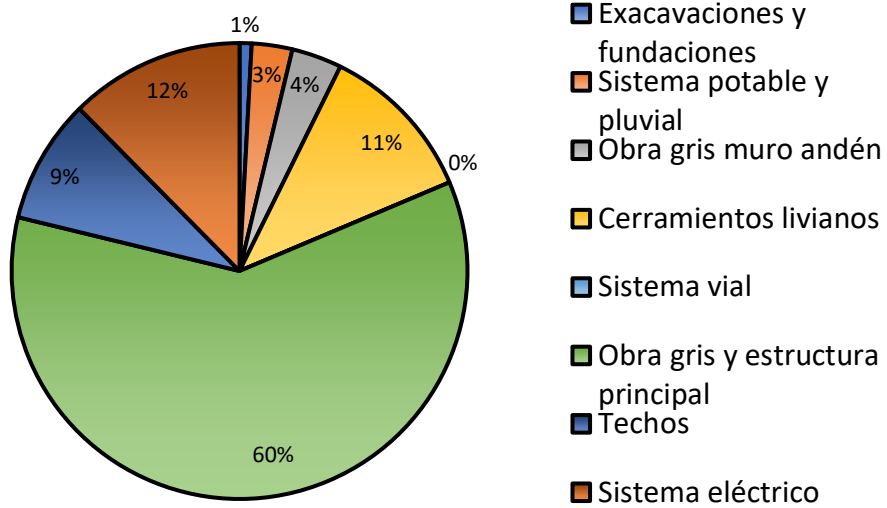


Figura 39. Distribución de consumo energético, según proceso constructivo, DDS LAB.

En la figura 40 se muestra la distribución de consumo de energía eléctrica para el sistema de estructura metálica con mampostería, y que denota el mayor consumo, en el proceso de la obra gris, por parte de la construcción de paredes, cerramientos y cubiertas, lo cual se justifica para estos procesos constructivos.

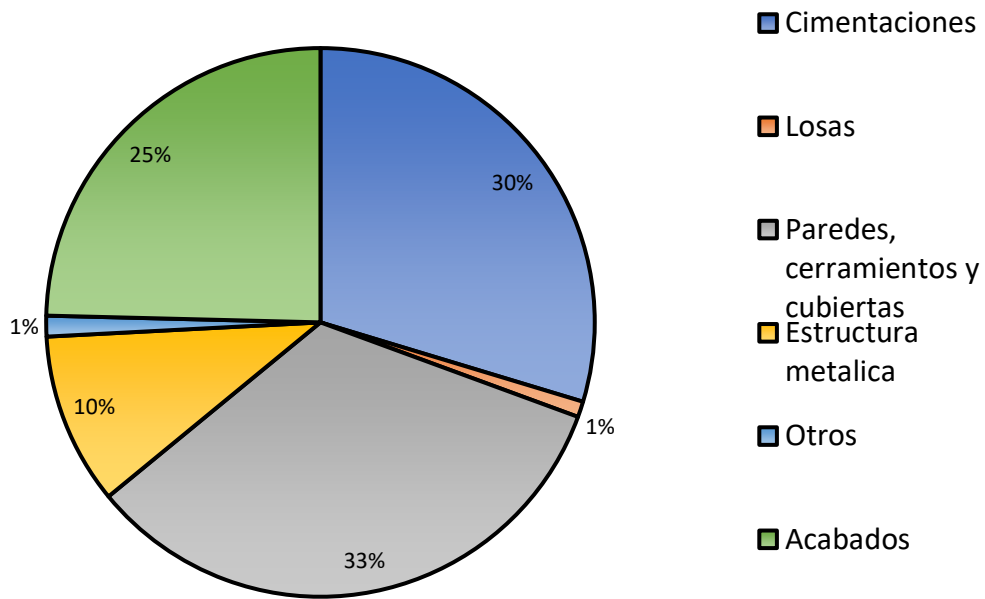


Figura 40. Distribución de consumo energético, según proceso constructivo, Nitrile.

Finalmente, en la figura 41, se muestra la distribución de consumo de energía eléctrica, según el proceso constructivo desarrollado en la obra de Nueve 84, y denota el mayor consumo en la parte de acabados de los distintos niveles del edificio como de las áreas comunes, al ser un proyecto de tipo residencial requiere de acabados más detallados por lo que podría decirse que esto generaría el aumento del consumo.

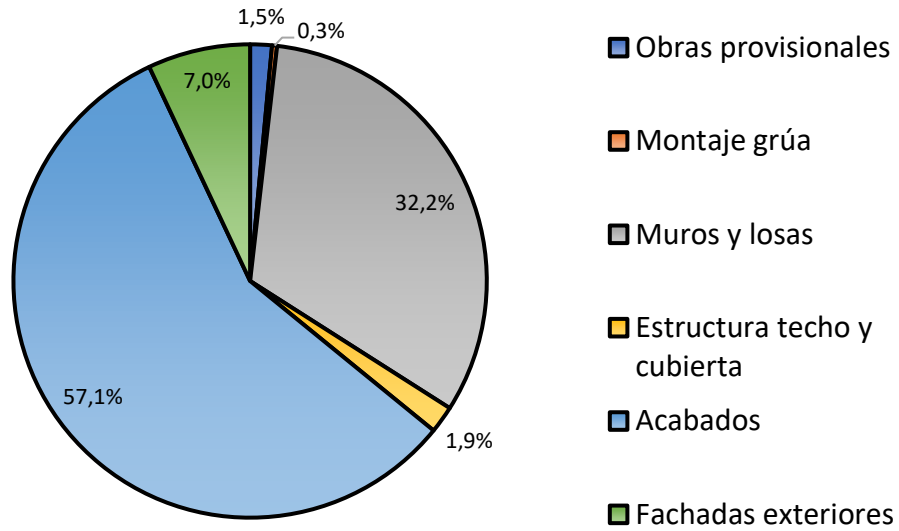


Figura 41. Distribución de consumo energético, según proceso constructivo, Nueve84.

3.3.4 Consumos de electricidad en obra vs sitio de campamento

La distribución del uso de electricidad en obra se contabilizó para la parte constructiva y para el sitio de campamento de los trabajadores. En la figura 42 se nota que la distribución de consumo podría decirse que se distribuye mayormente hacia el sitio de construcción. Cabe destacar que para el proyecto de Aleste 201 solo se contabilizó el consumo en la parte constructiva.

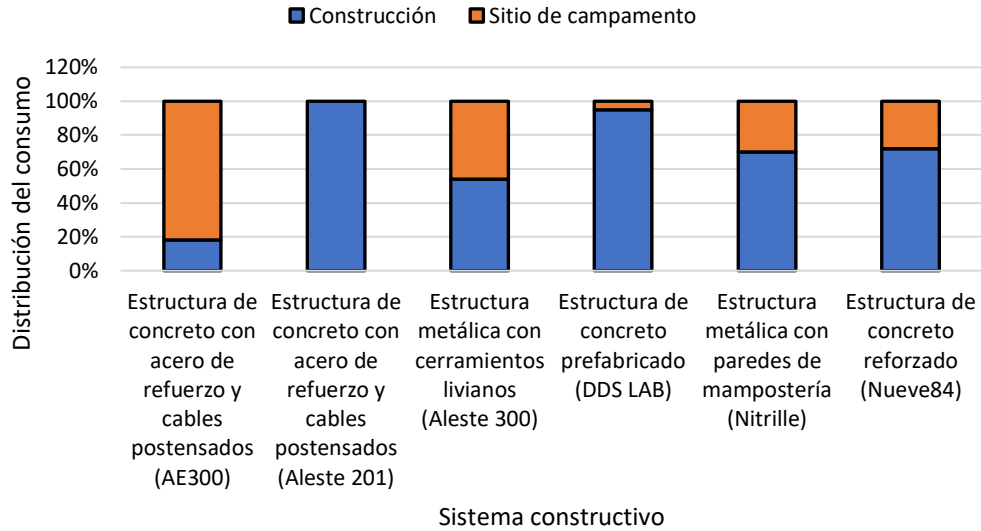


Figura 42. *Porcentaje de uso de electricidad en obra por construcción vs sitio de campamento.*

Por otra parte, se nota el cambio en la figura 43, al analizar los índices de consumo solamente de la construcción y el consumo de la construcción y el sitio de campamento juntos. Se puede evidenciar que el consumo de electricidad varía en la mayoría de los proyectos analizados por lo que el consumo en el sitio de campamento era alto.

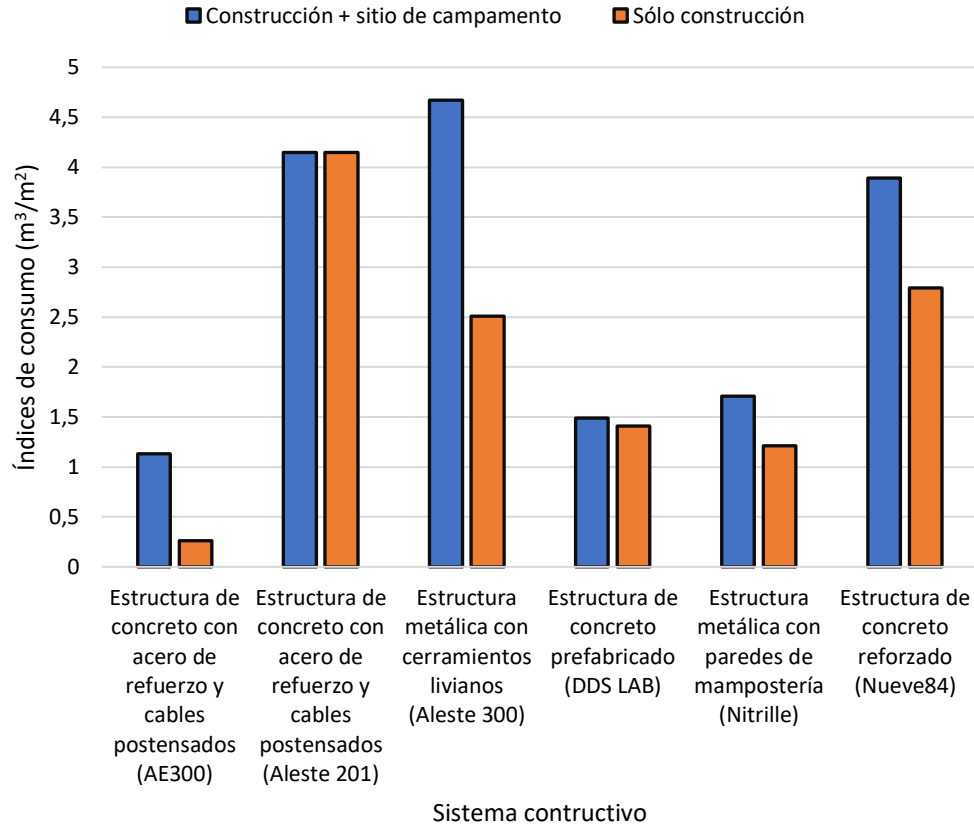


Figura 43. Índices de consumo de electricidad total y sólo construcción.

Por su parte, para la energía eléctrica, según Ruiz (2023), los datos del Aresep determinaron que el consumo promedio de energía eléctrica por persona en el año 2022 rondaba los 220 kWh al mes; por lo que se esperaría un consumo menor en obra, porque no se realizan todas las actividades que realiza una persona en su cotidiano vivir. De acuerdo con los datos presentados en el *Cuadro 13*, se nota que los valores se encuentran en un rango adecuado, según la cantidad de trabajadores por mes, considerando verificar medidas que se puedan implementar para disminuir los consumos en los meses más elevados. Cabe destacar que los datos presentados a continuación son representativos para determinar un esquema de toma de datos de consumo por trabajador al mes ya que en los registros no se contó con la información total de trabajadores o consumos mensuales.

Cuadro 13. Datos de consumo eléctrico del sitio de campamento, trabajadores e indicadores de desempeño, AE300.

Mes	Consumo (kWh)	Cantidad de trabajadores	Indicador de desempeño (kWh/trabajador-mes)
Diciembre	200	98	2,04
Enero	3680	205	17,95
Febrero	1600	232	6,90
Marzo	1420	261	5,44
Abril	-	324	-
Mayo	17000	372	45,70
Junio	6200	-	-
Julio	9400	-	-
Agosto	11280	-	-
Setiembre	-	-	-

Se pueden observar datos de consumo bajos. Sin embargo, si se contara con todos los datos de los trabajadores por mes, se podría contar con un dato promedio significativo para contemplar un indicador de la obra. De esta manera, los datos presentados en el *Cuadro 14*, se nota que los valores se encuentran en un rango adecuado, según la cantidad de trabajadores por mes, considerando verificar medidas que se puedan implementar para disminuir los consumos, de acuerdo con los meses más elevados, el promedio de datos se encuentra alrededor de los 4 kWh por mes, y según cada trabajador, lo que indica que los valores están adecuados, de conformidad con el dato anterior.

Cuadro 14. Datos de consumo eléctrico del sitio de campamento, trabajadores e indicadores de desempeño, Nueve84.

Mes	Consumo (kWh)	Cantidad de trabajadores	Indicador de desempeño (kWh/trabajador-mes)
Abril	-	25	-
Mayo	378	205	3,98
Junio	698	132	5,29

Julio	1031	187	5,51
Mes	Consumo (kWh)	Cantidad de trabajadores	Indicador de desempeño (kWh/trabajador-mes)
Agosto	825	242	3,41
Setiembre	1073	248	4,33
Octubre	1420	263	5,40
Noviembre	962	270	3,56
Diciembre	1047	255	4,11
Enero	1195	253	4,72
Febrero	978	253	3,87
Marzo	906	181	5,01
Abril	404	162	2,49

3.4 Medidas empleadas para la cuantificación y gestión de los consumos de agua en los proyectos

3.4.1 Descripción de las buenas prácticas adoptadas para la gestión de los consumos de agua en los proyectos

Actualmente, según lo explicado mediante las entrevistas realizadas a la Ing. Baldioceda y los ingenieros encargados de los proyectos, se implementan medidas de buenas prácticas constructivas para reducción de los consumos de agua en los proyectos analizados. Estos proyectos tienen en común, en su mayoría, la recolección de agua pluvial para su uso. Sin embargo, en pocos proyectos se contabiliza adecuadamente esta diferenciación de consumo. Por su parte, el uso de agua potable, únicamente para consumo humano, y procesos que realmente lo requieran, es una medida que debe considerarse en todos los proyectos para disminuir los consumos de agua potable, como lo muestra el *Cuadro 15*.

Cuadro 15. Medidas de buenas prácticas de consumo de agua.

Sistema constructivo	Buenas prácticas
Estructura de concreto con acero de refuerzo y cables postensados (AE300)	-Tanques de recolección de agua pluvial -Concreto premezclado, no mezclado en sitio. -Uso de curador químico en lugar de curar con agua.
Estructura de concreto con acero de refuerzo y cables postensados (Aleste 201)	-Tanque de cosecha de agua para lavado de herramientas y cabañas sanitarias - Agua potable solo consumo humano -Concreto premezclado, no mezclado en sitio. -Uso de curador químico en lugar de curar con agua.
Estructura metálica con cerramientos livianos (Aleste 300)	-Tanque de cosecha de agua para lavado de herramientas y cabañas sanitarias - Agua potable solo consumo humano. -Concreto premezclado, no mezclado en sitio. -Uso de curador químico en lugar de curar con agua.
Estructura de concreto prefabricado (DDS LAB)	-Tanquetas de agua pluvial. -Concreto premezclado, no mezclado en sitio.
Estructura metálica con paredes de mampostería (Nitrile)	-Uso de estañones con agua de lluvia para limpieza de equipos.
Estructura de concreto reforzado (Nueve84)	-Concreto premezclado, no mezclado en sitio. -Uso de curador químico en lugar de curar con agua. -Medidores sectorizados.

3.4.2 Descripción del proceso de toma de datos, análisis y reporte de la información

El proceso implementado por el desarrollador Portafolio Inmobiliario para la toma de datos mediante las visitas a campo, análisis mediante comparación de consumos mensuales y reporte de estos en el formulario de registro mediante la colocación de los consumos según el mes y la factura correspondiente con los datos

de consumo tales como la empresa que lo reporta, el tipo de uso, y el costo por mes, todo esto para los consumos de agua, como lo muestra en la figura 44.



Figura 44. Proceso de recolección, registro y análisis de consumos de agua.

Este mismo proceso se repite para los consumos de combustible y electricidad según el tipo de proyecto y es reportado en pestañas específicas de cada formulario para cada tipo de consumo en su documento de MS Excel correspondiente.

3.4.3 Descripción de los formularios utilizados para el registro de datos

3.4.4 Descripción del informe de resultados respecto al control del consumo en los proyectos

El informe de resultados que reporta el desarrollador, como se nota en las figuras 47 y 48, muestran los datos del panorama de obra como lo es el avance general, la duración de la obra y los índices de consumo mensual y, en forma global del proyecto, brindando los resultados obtenidos de consumos generales, en este caso, de agua con sus respectivos índices de consumo por unidad de área.

Revisión de indicadores							Volver	Agregar mes
Aleste								
Fecha	Jan-23	Feb-23	Mar-23	Apr-23	May-23	Jun-23		
Código año-mes	2023-01	2023-02	2023-03	2023-04	2023-05	2023-06		
Resumen de avance								
Promedio de trabajadores en obra								
Población capacitada								
Descripción resumida de actividades								
Demoliciones:								Marque con X
Movimiento de tierra:								
Obra gris (incluyendo estructural y electromecánico):								
Acabados:								
Nota adicional								
Resumen de avance								
Avance global acumulado	30%	60%	75%	87%	100%			
Área construida por mes (m ²)	270	270	135	108	117	0		
Área construida acumulada (m ²)	270	541	676	784	901	0		

901,16 m² GB.

Figura 47. Reporte de información general de obra para informes de consumo.

Categoría	Métrica	Meta	Resultados del mes					Resultados		
Energía eléctrica	Electricidad (kWh por m ²)		4,25	3,70	2,43	5,91	9,30	0,00	4,67 Electricidad (kWh por m ²)	
	Meta (kWh por m ²)	4	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00		
	Dif. contra meta		-6%	8%	39%	-48%	-133%	100%		
	Consumo Campsite (kWh)		504,00	324,00	328,00	352,00	440,00	0,00		1948,00 Consumo Campsite (kWh)
	Consumo Construcción (kWh)		646,30	676,20	0,00	286,60	650,00	0,00		2259,10 Consumo Construcción (kWh)
Combustible			1150,30	1000,20	328,00	638,60	1090,00	0,00		
	Gasolina (litros)		102,28	84,00	0,00	0,00	0,00	0,00	186,28 Gasolina (litros)	
	Diesel (litros)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00 Diesel (litros)	
	LPG (litros)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00 LPG (litros)	
	Gasolina (litros por m ²)		0,38	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21 Gasolina (litros por m ²)	
	Diesel (litros por m ²)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00 Diesel (litros por m ²)	
	LPG (litros por m ²)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00 LPG (litros por m ²)	
Energía total			0,38	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	
	Energía total (MJ por m ²)		55,78	47,88	24,46	53,53	93,79	0,00	54,10 Energía total (MJ por m ²)	
	Energía total (kWh por m ²)		15,50	13,30	6,79	16,54	26,05	0,00	15,03 Energía total (kWh por m ²)	
	Meta (MJ por m ²)	11	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00		
	Dif. contra meta		-407%	-335%	-122%	-441%	-753%	100%		
Agua potable	Energía total (MJ)		15081,34	12945,24	3306,24	6437,09	10987,20	0,00	48757,11 Energía total (MJ)	
	Agua potable (m ³ por m ²)		0,35	0,32	0,00	0,88	1,76	0,00	0,53 Agua potable (m ³ por m ²)	
	Meta (m ³ por m ²)	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08		
Agua total	Dif. contra meta		-341%	-295%	100%	-1003%	-2096%	100%		
	Agua total (m ³ por m ²)		0,35	0,32	0,00	0,88	1,76	0,00	0,53 Agua total (m ³ por m ²)	
	Meta (m ³ por m ²)	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12		
	Dif. contra meta		-194%	-164%	100%	-635%	-1364%	100%		
	Consumo agua Campsite (m ³)		40,00	40,00	0,00	44,95	75,45	0,00	200,40 Consumo agua Campsite (m ³)	
Consumo agua Construcción (m ³)		55,29	45,54	0,00	50,45	130,41	0,00	281,68 Consumo agua Construcción (m ³)		

Figura 48. Reporte de índices de consumo para informes de resultados.

3.5 Medidas empleadas para la cuantificación y gestión de los consumos de combustible en los proyectos

3.5.1 Descripción de las buenas prácticas adoptadas para la gestión de los consumos de combustible en los proyectos

Las medidas de buenas prácticas constructivas para reducción de los consumos de combustible no fueron reportadas en los proyectos analizados por lo que es recomendable contabilizar más medidas o considerar medidas nuevas que permitan reducir poco a poco dichos consumos. Estos proyectos podrían mejorarse en el consumo de combustible mediante diseños de sitio que permitan reducir los viajes de los camiones en procesos de movimientos de tierras, así como planificar la colocación de las acometidas eléctricas provisionales y adecuadas para evitar el uso de generadores que consumen combustible. En concordancia con esta línea, se podría implementar el uso de herramientas y equipos eficientes que consuman menos combustible o que se usen de manera adecuada para evitar sobreconsumos a la hora de su uso en obra.

3.6 Medidas empleadas para la cuantificación y gestión de los consumos eléctrico en los proyectos

3.6.1 Descripción de las buenas prácticas adoptadas para la gestión de los consumos de electricidad en los proyectos

El *Cuadro 16* presenta las medidas de buenas prácticas constructivas para reducción de los consumos de electricidad implementadas en los proyectos analizados. No obstante, no son realmente representativas por lo que es recomendable contabilizar más medidas o considerar medidas nuevas que permitan reducir, poco a poco, los consumos eléctricos. Estos proyectos podrían generar mayores datos y más representativos con medidores sectorizados, ya sea por edificios del proyecto, por etapas o procesos de la construcción. Otras implementaciones que se recomienda usar son lámparas y equipos con fuentes de energía renovables, uso de equipos eficientes y que cumplan con normativas de eficiencia energética, aprovechamiento de luz natural en la construcción y en el sitio de campamento, entre otros.

Cuadro 16. *Medidas de buenas prácticas de consumo de electricidad.*

Sistema constructivo	Buenas prácticas
Estructura de concreto con acero de refuerzo y cables postensados (AE300)	-Uso de varios medidores para contabilizar consumos sectorizados (sitio de campamento, construcción, grúas torre).
Estructura de concreto con acero de refuerzo y cables postensados (Aleste 201)	-Medidor sectorizado.
Estructura metálica con cerramientos livianos (Aleste 300)	-Medidor sectorizado.
Estructura de concreto prefabricado (DDS LAB)	-
Estructura metálica con paredes de mampostería (Nitrile)	-
Estructura de concreto reforzado (Nueve84)	-

3.7 Recomendaciones respecto a las estrategias empleadas actualmente para el control y reducción de los consumos de agua, eléctrico y de combustible en los proyectos

3.7.1 Buenas prácticas a incorporar según lo reportado en la literatura

Las buenas prácticas empleadas por el desarrollador en los proyectos analizados en el consumo de agua se consideran adecuados, en proyectos como Nitrile, se emplearon gran cantidad de medidas de reducción que se ven reflejadas en el índice de consumo ya que se nota un consumo alto de agua de 10730 m³ sin embargo, el 89% de ese consumo corresponde a agua de otros usos recolectada siendo el consumo de agua potable el menos consumido en comparación a los otros proyectos analizados. De igual manera, medidas como el reciclado de agua para limpieza de materiales y control de polvo es una práctica que puede generar más impactos en el consumo. Por su parte, en el sitio de campamento es necesario generar conciencia del uso del recurso para evitar sobreconsumos por parte de los trabajadores como lo mostró el *Cuadro 11* con los consumos elevados en los primeros meses de proyecto considerando que se contaba con menor cantidad de trabajadores en obra.

Para el consumo de combustible, en los proyectos analizados, no se emplearon medidas de reducción por lo que se podría considerar mejorar los diseños de sitio existentes mediante metodologías de planificación de construcción para evitar largos viajes de los camiones de transporte de movimiento de tierras, por ejemplo, e incluso implementarlos en los casos que no se apliquen actualmente; también evaluar equipos y herramientas, que requieran de este recurso, y considerar que estos tengan características eco amigables y que no generen mayor consumo. Por otra parte, una planificación más adecuada generaría que no se den contratiempos, con respecto a instalaciones temporales de electricidad, lo que impediría el uso de generadores eléctricos de combustible lo que permite disminuir el consumo como lo fue en los casos de DDS LAB y Nitrile. Del mismo modo, generar conciencia en los operarios de este tipo de maquinarias para generar un uso consciente y reducido de estos.

Con el consumo eléctrico se usó, en algunos de los proyectos, los medidores sectorizados que son de ayuda para un control más adecuado de los registros de consumo; por lo tanto, es una medida adecuada para implementar en el resto de los proyectos. Por su parte, la implementación de medidas de gestión para uso adecuado de equipos y herramientas eléctricas podrían generar reducciones. Asimismo, como en el caso del combustible, hacer uso de equipos y herramientas que no generen altos consumos. Por otro lado, es recomendable hacer uso de fuentes renovables de energía como lámparas solares, paneles solares, entre otros. En el sitio de campamento diseñar, adecuadamente, su posición para mayor aprovechamiento de luz y ventilación natural.

Asimismo, la toma de consideración de las prácticas planteadas en las certificaciones sostenibles, como se mostró en el *Cuadro 4* y *Cuadro 5*, generan valor agregado a las medidas ya implementadas por el desarrollador para mejorar sus buenas prácticas sostenible.

3.7.2 Propuesta de mejoras a los procesos de registro y gestión de los consumos de agua, electricidad y combustible en los proyectos

Para mejorar el proceso de registro de los consumos se considera recomendable cuantificar, según los procesos constructivos, e identificar de manera más adecuada, cuál proceso podría estar generando mayor consumo e implementar o evaluar las medias para actuar al respecto en proyectos a futuro como se analizó en el presente estudio ya que como se observó en los apartados anteriores la separación de consumos genera mayor panorama de visualización de estos. En consecuencia, la toma de datos semanal, en vez de mensual, generaría menos margen de error en la identificación de los factores que puedan generar mayores consumos.

Por otra parte, una propuesta de gran importancia por considerar es la división de los consumos entre construcción y sitio de campamento ya que como lo mostraron las figuras 14 y 43 para agua y electricidad respectivamente, se notó diferencia al comparar los consumos por separados y determinar medidas según corresponda y poder determinar cuál sector de toda la obra necesita mayor atención.

3.7.3 Propuesta de mejora a los formularios e informes para el registro de datos

Como propuestas de mejora de los documentos del desarrollador para los registros de consumo, se recomienda un orden más adecuado de los datos donde se aprecien de manera que se relacione el consumo semanal o mensual conforme al cronograma actualizado de obra observando el proceso que se da al momento del consumo y determinar el porqué de dicho consumo; asimismo, con distribuciones entre construcción y sitio de campamento que permitan generar notas más explicativas de los consumos desmedidos y especificar de mejor manera la proveniencia del consumo tomado de los medidores, no solo en cuadros o tablas sino mediante gráficos de mejor visualización, esto permitiría medir factores y lograr identificar factores de reducción. La distribución mediante procesos o tiempos más cortos de medición podría generar registros de consumo más certeros, por ejemplo, con mediciones semanales con la electricidad se podrían identificar los equipos que generan más consumo y clasificarlos según el uso que se les dio, con el combustible si hay algún transporte o equipo que pueda hacer más o menos gasto de este y con el agua identificar en cuáles procesos se puede hacer más uso de agua no necesariamente potable. Además, con un control mayor con distintos medidores de la obra, no solo uno por tipo de consumo, se podría verificar el consumo más sectorizado en las áreas donde se generen más consumos. Del mismo modo, como se mencionó anteriormente, crear una pestaña exclusiva para el consumo del sitio de campamentos, reportar los consumos de los trabajadores y verificar si es necesario hacer cambios específicos en estos espacios, así como contabilizar la cantidad de trabajadores de manera periódica.

Capítulo 4: Análisis de los resultados

Las tipologías constructivas que presentan mayor consumo, en el caso del agua, es la estructura metálica con paredes de mampostería analizada en el proyecto Nitrile, al ser un sistema con presencia de mortero para la mampostería necesaria para su producción y el humedecimiento de la fragua, en caso de que este fuera con agua, por lo que se podría decir que se atribuye el consumo al sistema. Por su parte, el combustible generó mayor consumo en la estructura de concreto con acero de refuerzo y cables postensados del proyecto AE300. Este consumo no se le atribuye propiamente al sistema, sino a que el proyecto es de gran magnitud y requirió de grandes movimientos de tierra iniciales en el proyecto. Para el consumo eléctrico se evidenció, igualmente, mayor consumo al sistema de estructura de concreto con acero de refuerzo y cables postensados en este caso del proyecto Aleste 201, este consumo, igualmente, requirió de gran consumo eléctrico debido al acero de refuerzo del sistema que requiere de equipo, usualmente eléctrico, para su colocación.

Por otro lado, normalizando el consumo por m^2 mediante los índices de consumo, únicamente, el consumo de agua del sistema de estructura metálica con paredes de mampostería (Nitrile), se mantiene igual que el consumo inicial. Para el combustible, pasa, igualmente, el sistema metálico con paredes de mampostería (Nitrile) que debe su consumo al generador eléctrico utilizado en el proyecto debido a la falta del sistema eléctrico temporal. Finalmente, la estructura metálica con cerramientos livianos (Aleste 300) generó el mayor consumo por unidad de área, ya que requirió alto consumo por su estructura metálica; pero, al poseer un área reducida comparada con el resto de los proyectos analizados.

Con respecto a los patrones de consumo, entre sistemas, no son consistentes en la mayoría, según avance, porque poseen consumos en diversos procesos y avance de obra, y según tipología poseen consistencia en agua en consumo reducido; además, como lo muestra el *Cuadro 3*, se encuentran dentro del rango establecido entre 0,01 y 0,83 m^3/m^2 , siendo Nitrile el único que se sale de rango con 1,17 m^3/m^2 con la salvedad de que la mayor parte de su consumo es de agua para otros usos (no potable). Para el combustible, únicamente los sistemas Estructura de concreto con acero de refuerzo y cables postensados

(AE300) y Estructura metálica con paredes de mampostería (Nitrile), se salen del patrón de consumo con excesos altos de 4,56 y 8,82 L/m² respectivamente, según el comparativo con el *Cuadro 2* que presenta un rango entre 1,12 y 1,58 L/m². Finalmente, para la electricidad, los sistemas de Estructura de concreto prefabricado (DDS LAB) y Estructura metálica con paredes de mampostería (Nitrile) son los que poseen consumos reducidos y dentro del rango del *Cuadro 2* entre 0,83 y 1,15 kWh/m².

Para los patrones de consumo, en el proceso constructivo, estos poseen concordancia entre lo esperado y lo reportado en los registros, no poseen registros inusuales. El caso del agua, como promedio, en los proyectos, se da mayor consumo en obra gris y acabados; con el combustible, en el movimiento de tierras y la obra gris. Por su parte, la electricidad, al igual que el agua, la obra gris y acabados. Siendo la obra gris el común entre los 3 tipos de consumo, lo cual es esperable, ya que, por lo general es el proceso de mayor porcentaje de cobertura en los proyectos constructivos. De igual manera, los acabados también son de importancia ya que según el tipo de sistema o tipología constructiva requieren de un alto uso de equipos eléctricos, así como de agua para el desarrollo de tareas respectivas en los detalles finales de las edificaciones.

Entre el consumo electricidad y agua presentando en obra y el sitio de campamento, en promedio, se concentra, mayormente, en la construcción; pero, cabe destacar que los consumos del sitio de campamento podrían considerarse altos debido a que en ocasiones se encuentran cercanos al 50% del consumo como lo muestran las figuras 13 y 42, además en casos como el *Cuadro 11* para consumos de agua por trabajador se nota en los primeros meses un consumo alto debido a que había menor cantidad de trabajadores en obra; por su parte en el consumo eléctrico es donde podrían evaluarse medidas de reducción con el sitio de campamento ya que muestran un consumo mayor respecto al del agua.

Al normalizar los datos de consumo, en el sitio de campamento, se podría evidenciar el consumo mensual y evaluar, si es necesario, medidas de reducción. Con los datos evaluados, se nota que los consumo se encuentran dentro de los rangos establecidos mediante la literatura, ya que en términos de agua presentó valores de consumo promedio de 556,75 y 175,10 L/trabajador-mes, siendo alrededor de 94 L/trabajador-día el valor reportado por el AyA; en términos de electricidad presenta valores muy bajos como 4 kWh/trabajador-mes siendo el establecido por Aresep de 220 kWh/persona al mes, considerando que este dato de consumo es de uso cotidiano de electricidad por lo que se esperan valores mucho menores ya que son jornadas más cortas y actividades menores. Sin embargo, no podría considerarse, en realidad, representativos, ya que solamente se pudieron evaluar en dos proyectos y de manera parcial por falta de datos en los registros; pero, si se implementa esta medida de cuantificación y registro, podría considerarse realizar, del mismo modo, una línea de referencia en proyectos futuros.

En términos de en qué se realiza el consumo, el agua se considera, en los datos analizados y según lo consultado a los encargados de obra, su uso es mayoritario en lavado de equipos, control de polvo y tareas de campos, al no realizarse mezclado de concreto en sitio este no se considera. Además, en la mayoría de los proyectos, se implementó el curador químico, por lo que este consumo de agua habitual, en otras obras, tampoco se consideró en sobremanera. Para el combustible, el transporte de material de movimiento de tierras y el consumo en generadores de electricidad fueron los que presentaron más importancia en los registros de consumo según se notó en las figuras 17, 19, 20 y 21 haciendo mayor énfasis a las últimas dos ya que son los de los proyectos de Green Valley, DDS LAB y Nitrile quienes hicieron mayor uso de generadores eléctricos por combustible. Por su parte, la electricidad, produce, generalmente, mayor consumo en uso de equipo eléctrico para el desarrollo de la obra debido a sus altos consumos en obra gris y acabados mostrados en el apartado 3.3.2 y 3.3.3; pero, como se mencionó antes, presenta igualmente consumo representativo en el campamento de los trabajadores como lo muestra la figura 42.

Los formularios de registro actualmente empleados por el desarrollador Portafolio Inmobiliario poseen información adecuada y concreta para el análisis; no obstante, podría mejorar aspectos como mayor detalle en el registro de consumos brindando tiempos específicos en los que se tomó en consumo, no únicamente la fecha de corte del medidor, notas aclaratorias como de cuál medidor se tomó el consumo, que sectores abarca el medidor, qué procesos o acciones se desarrollaban en el tiempo de toma de datos, entre otros; también implementar la división por proceso constructivo en obra; asimismo, por la división entre construcción y trabajadores. Por otro lado, generar cortes mensuales de consumo para evitar dispersión de los registros e ir evidenciando si existe incremento o disminución, entre otros.

En los proyectos analizados, se contó con implementación de buenas prácticas constructivas; mas, no en todos los proyectos siendo los proyectos con menos prácticas presentadas lo que generaban mayores consumos, por lo que podría considerarse estandarizar las medidas que generan mayor impacto positivo como los tanques de recolección de agua, el uso de curadores, los medidores sectorizados que en el caso del agua como se observó en el proyecto Nueve84 según la figura 1 generó un impacto positivo en el consumo de esta ya que es un sistema de alto consumo de agua por la naturaleza de su sistema de concreto reforzado; además, siempre es importante considerar más medidas que permitan siempre generar oportunidades de reducción de consumo como las medidas de consumo sostenible que plantean las certificaciones RESET y Bandera Azul. Por ello, se debe planificar, adecuadamente, desde la etapa de pre-construcción. La implementación de estas medidas debe generar acciones concretas en la etapa constructiva, por lo que se recomienda, en los casos que no se esté implementado, el diseño adecuado de sitio con rutas de transporte de material de movimiento de tierras cercanos a la obra, los sistemas de

planificación de obra constructiva que distribuyan el uso de equipos por proceso constructivo más adecuado para evitar usos desmedidos de estos, así como una planificación de medidas y capacitación para los trabajadores para evitar sobre consumos, entre otros. En resumen, se considera que los registros son adecuados; pero, poseen puntos de mejora en aspectos de formato y forma para que sea más práctico el reporte y análisis de estos como lo podría ser el uso colaborativo de los formularios para que todos los encargados de obra tengan los datos y los actualicen en tiempo real, incluso, durante el desarrollo de la obra para así evitar falta de datos en ciertos meses de obra como se nota en los consumos por m² en los tres tipos de consumo por posible falta de orden a la hora de registro y verificación de los datos en el formulario presentado.

Conclusiones

Se encontró que el sistema constructivo de estructura metálica con paredes de mampostería (proyecto Nitrile) mostró el mayor consumo de agua, 10730 m³ y por unidad de área de 1,17 m³/m², probablemente debido al uso de mortero, asimismo presentó el consumo mayor de combustible, 46573 L y por unidad de área de 8,82 L/m², debido principalmente al gran movimiento de tierras requerido y el uso del generador de electricidad mediante combustible; mientras que la estructura de concreto con acero de refuerzo y cables postensados (proyecto Aleste 201) generó un mayor consumo electricidad, 133640 kWh y por unidad de área de 4,15 kWh/m², atribuible principalmente a la magnitud del proyecto.

Por su parte, los patrones de consumo, según proceso constructivo y avance de obra, mostraron patrones consistentes con el proceso constructivo, destacando una mayor demanda durante la etapa de obra gris y acabados en los proyectos analizados para agua y electricidad y movimiento de tierras para el combustible. Asimismo, la distribución de consumo entre construcción y sitio de campamento presentó mayores consumos en términos de agua y electricidad en la parte constructiva, aunque también mostró consumos en el orden de 0,09 m³/m² (0,56 m³/trabajador-mes) del sitio de campamento contra 0,03 m³/m² de la construcción para el agua y 1,71 kWh/m² del sitio de campamento contra 0,36 kWh/m² en la construcción para electricidad en el caso más crítico, esto denotó que en gran cantidad de los sistemas analizados se encontró consumos cercanos al 50% del total en el sitio de campamento. Por otro lado, al normalizar los valores del sitio de campamento por trabajador, sólo se logró analizar dos proyectos debido a la falta de datos de trabajadores mensuales en los demás, por lo que los valores obtenidos no fueron representativos para determinar criterios de consumo generalizados, pero se determinó el criterio base para poder evaluarlo en futuros proyectos mediante la distribución de L/trabajador-mes y kWh/trabajador-mes para agua y electricidad respectivamente.

Además, se observó una diferencia de consumo promedio entre los diferentes sistemas constructivos y proyectos de 0,76 m³/m² de agua, 3,49 L/m² de combustible y 1,39 kWh/m² de electricidad, lo que sugirió la necesidad de adaptar las estrategias de gestión de recursos, según las características específicas de cada proyecto, es decir no generalizar las medidas de reducción sino evaluar la necesidad de cada sistema constructivo para la obtención de parámetros estandarizados y la generación de la línea base de consumos de agua, electricidad y combustible en edificaciones.

Finalmente, se sugiere mejorar los registros de consumo de agua, combustible y electricidad mediante la inclusión de mayor detalle como la proveniencia de los datos (por ejemplo, el medidor donde proviene el dato de consumo y las áreas que cuantifique dicho medidor), el proceso desarrollado durante la toma de estos, la implementación de cortes mensuales para facilitar el análisis y la detección de tendencias y el uso de formularios colaborativos para la recolección y análisis de los datos en tiempo real por parte de todo el equipo encargado de la obra. Además, se recomienda estandarizar medidas de buenas prácticas constructivas, como el uso de tanques de recolección de agua, medidores sectorizados y diseños de sitio, desde la etapa de pre-construcción para maximizar la eficiencia y reducir el consumo de recursos, así como la aplicación y adaptación de medidas según lo plantean las certificaciones sostenibles. Esto resalta la importancia de una planificación adecuada y la implementación de medidas específicas para cada proyecto con el fin de optimizar el uso de recursos y reducir el impacto ambiental asociado a la construcción.

Recomendaciones

Como recomendaciones de este proyecto, para futuros investigadores, se podría ampliar el alcance hacia análisis de materiales de construcción que se están utilizando en términos del impacto que genera su fabricación, transporte y uso en las obras de construcción. Por otro lado, la consideración de costos en los presupuestos de obra que genera la reducción de consumos de agua, electricidad y combustible en los proyectos de construcción para su análisis respectivo.

Para el desarrollador Portafolio Inmobiliario, con el tema de combustibles podría interiorizarse más en las rutas que realizan los camiones de transporte de material y movimiento de tierras para identificar consumos más minuciosos y precisos que estos generan, así como su impacto desde la etapa de pre-construcción ya que ahorraría tiempo y recurso una planificación previa de estos posibles consumos y así se generarían posibles estrategias a implementar.

Por otro lado, igualmente para el desarrollador, podría analizarse qué procesos generan más impacto de consumo negativo en las obras, por ejemplo, si es más conveniente la producción de concreto en sitio o la compra del producto ya premezclado para el consumo de agua. Asimismo, evaluar el impacto en campo de otras medidas y buenas prácticas además de las que ya se están generando mediante pruebas comparativas de consumo, para determinar si son efectivas o no como por ejemplo el uso de lámparas solares en vez de lámparas convencionales para el consumo de electricidad.

Finalmente, para futuros investigadores y desarrolladoras de proyectos de construcción, se recomienda realizar más análisis a proyectos del mismo sistema de construcción para iniciar y elaborar líneas base de consumo en los procesos de construcción de obras de infraestructura y edificaciones, generando datos completos para diversos procesos constructivos específicos y tipologías constructivas.

Referencias bibliográficas

- Abarca, L. Leandro, A. (2016). Situación actual de la gestión de los materiales de construcción en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 29(4), 111-122. DOI: 10.18845/tm.v29i4.3042
- Acueductos y Alcantarillados (AyA). (2010). *Estimación de consumo de agua potable en una casa*. Recuperado de: <https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Estimaci%C3%B3n%20de%20consumo%20de%20agua%20potable%20en%20una%20casa.pdf>
- BECOSAN. (2020, 19 de junio). *Concreto prefabricado*. <https://www.becosan.com/es/concreto-prefabricado/>
- BECOSAN. (2020, 19 de junio). *Concreto reforzado*. <https://www.becosan.com/es/concreto-reforzado/>
- Cámara Costarricense de la Construcción. (2016). *Guía de construcción sostenible*. CCCR. <https://www.construccion.co.cr/Multimedia/Archivo/324>
- Carmona, F. (2010). *ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA CONSUMIDA EN LA CONSTRUCCIÓN DE OBRA GRUESA DE 3 EDIFICIOS DE ALTURA MEDIA EN LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CHILE* [Tesis de grado, Universidad de Chile]. Repositorio Académico Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/>
- Castillo, J. (2021). *Metodología para el control y análisis del consumo de agua durante la fase constructiva de obra gris* [Tesis de grado, Universidad de Costa Rica]. Repositorio Kérwá. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/>
- Díaz, R. (2022). Construcciones sostenibles crecieron a un ritmo de 25% anual en Costa Rica. *El Observador*. <https://observador.cr/construcciones-sostenibles-crecieron-a-un-ritmo-de-25-anual-en-costa-rica/>
- Galván, M. A., Velázquez, L. A. (2013, 21 de febrero). *Sistemas constructivos de alta tecnología, Estructura: Postensado*. Instituto Tecnológico de Querétaro. <https://es.slideshare.net/luisbetovelnu/postensado#1>
- Gerdau Corsa. (2020, 01 de octubre). *¿Qué son las estructuras de acero?* <https://www.gerdaucorsa.com.mx/blog/que-son-las-estructuras-de-acero>
- Global Alliance for Buildings and Construction. (2022). *INFORME SOBRE LA SITUACIÓN MUNDIAL DE LOS EDIFICIOS Y LA CONSTRUCCIÓN EN 2022: Hacia un sector de los edificios y la construcción con cero emisiones, eficiente y resistente*. United Nations Environment Programme. <https://www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction>
- Hidalgo, D. (2020, 13 de febrero). *Muros de mampostería en Costa Rica*. Blog LanammeUCR. <https://bloglanammeucr.wordpress.com/2020/02/13/muros-de-mamposteria-en-costa-rica/>

- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO). (2012). *RESET - Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico* (Norma INTE-06-12-01:2012). https://www.academia.edu/35842963/NORMATIVA_RESET_COMPLETA
- Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo. (2022). *Construcciones sostenibles: más que una vivienda verde*. INVU. https://www.invu.go.cr/noticias?p_p_id=141_INSTANCE_huHzRDvGhvXu&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_r_p_564233524_resetCur=true&p_r_p_564233524_tag=2020
- Jiménez, G. (2020). *Costa Rica avanza en la aplicación de Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Hoy en el TEC. <https://www.tec.ac.cr/hoyeneltec/2020/03/03/costa-rica-avanza-aplicacion-objetivos-desarrollo-sostenible>
- Madroñero, S. Guzmán, T. (2018). Desarrollo sostenible. Aplicabilidad y sus tendencias. *Tecnología en Marcha*, 31(3). https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0379-39822018000300122
- Muñoz, D. (2022). Costa Rica cae en índice de desempeño ambiental por sobreuso de agroquímicos y malas políticas de protección ambiental. *Semanario Universidad*. <https://semanariouniversidad.com/pais/costa-rica-cae-en-indice-de-desempeno-ambiental-por-sobreuso-de-agroquimicos-y-malas-politicas-de-proteccion-ambiental/>
- Naciones Unidas. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Nazer, A. Pavez, O. Zúñiga, B. González, L. (2018). Determinación del consumo de agua potable durante la construcción de viviendas en una zona semi desértica de Chile. *Revista Materia*, 23(3). <https://doi.org/10.1590/S1517-707620180003.0535>
- Pires dos Santos, C. da Silva, S. Cerqueira, C.A. (2015). Water Consumption in Construction Sites in the City of Recife/PE. *EJGE*, 20. 1711-1726. https://www.researchgate.net/publication/297774249_Water_consumption_in_construction_sites_in_the_city_of_RecifePE
- Proyecto Bandera Azul Ecológica (PBAE). (2019). *Manual de Procedimientos PBAE Categoría XV: Construcción Sostenible*. Recuperado de: <https://pbae.estudiomanati.com/user/pages/04.landing-de-categorias/construccion-sostenible/Manual%20de%20Procedimientos%20Galard%C3%B3n%20Construcci%C3%B3n%20Sostenible%20%202019%20oficial.pdf>
- Rocha, L. Jiménez V. (2016). Eficiencia Energética en la Edificación. *Administración y Tecnología para el diseño*, 1, 37-55. ISSN: 2007-7572
- Ruiz, F. (2023). *Estos son los cantones con la tarifa eléctrica más cara y más barata; ¿cómo está el suyo?*. Diario El Financiero. Recuperado de: <https://www.elfinancierocr.com/economia-y-politica/estos-son-los-cantones-con-la-tarifa-electrica-mas/SXTLZD4XBJC2HLQCW4IG4OGGUU/story/>
- Sicon. (2018, 11 de mayo). *¿Qué es la construcción liviana?* <https://siconecuador.com/que-es-la-construccion-liviana/>
- Sismo, Building Technology Spain. (2022). *Alta eficiencia energética, sexta razón para elegir Sismo Spain*. Sismo. <https://www.sismospain.com/eficiencia-energetica-construccion/>

Solís, M. Mata, E. (2022). Metodología para la gestión de recursos de consumo energético durante el proceso constructivo. *Ingeniería, Revista de la Universidad de Costa Rica*, 32(2), 86-110. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/index>

Apéndices

Los apéndices presentados a continuación se basan en los consumos mensuales por proyecto de agua, combustible y electricidad, así como el resumen por sistema constructivo con sus respectivos índices totales y sólo constructivos.

Apéndice 1. Consumos totales de agua, avances e índices de consumo

Datos de consumo de agua proyecto AE300

Fecha	Consumo (m ³)	Área construida (m ²)	Área acumulada (m ²)	Consumo por unidad de área (m ³ /m ²)	Avance global acumulado
Aug-22	410,40	551,00	551,00	0,75	1%
Sep-22	67,49	518,00	1069,00	0,13	2%
Oct-22	144,98	1101,00	2170,00	0,13	5%
Nov-22	475,00	1069,00	3239,00	0,44	7%
Dec-22	90,00	810,00	4049,00	0,11	9%
Jan-23	359,43	2250,00	6299,00	0,16	14%
Feb-23	330,24	4049,00	10348,00	0,08	23%
Mar-23	326,69	1350,00	11698,00	0,24	26%
Apr-23	351,06	3150,00	14848,00	0,11	33%
May-23	361,49	3150,00	17997,00	0,11	40%
Jun-23	499,09	3599,00	21597,00	0,14	48%
Jul-23	400,54	5849,00	27446,00	0,07	61%
Aug-23	418,46	8549,00	35994,00	0,05	80%
Sep-23	319,20	2250,00	38244,00	0,14	85%
Oct-23	333,80	1350,00	39594,00	0,25	88%
Nov-23	366,22	900,00	40494,00	0,41	90%
Dic-23	0,00	1800,00	42293,00	0,00	94%
Ene-24	0,00	2700,00	43193,00	0,00	96%
Feb-24	0,00	1800,00	44993,00	0,00	100%

Datos de consumo de agua proyecto Aleste 201

Fecha	Consumo (m ³)	Área construida (m ²)	Área acumulada (m ²)	Consumo por unidad de área (m ³ /m ²)	Avance global acumulado
Jun-21	0,00	3221,00	3221,00	0,00	10%
Jul-21	0,00	2254,70	5475,70	0,00	17%
Aug-21	189,00	2576,80	8052,50	0,07	25%
Sep-21	189,00	3221,00	11273,50	0,06	35%
Oct-21	481,00	4831,50	16105,00	0,10	50%
Nov-21	290,00	3221,00	19326,00	0,09	60%
Dec-21	277,00	3221,00	22547,00	0,09	70%
Jan-22	169,00	1610,50	24157,50	0,10	75%
Feb-22	263,00	1610,50	25768,00	0,16	80%
Mar-22	252,00	2576,80	28344,80	0,10	88%
Apr-22	295,00	644,20	28989,00	0,46	90%
May-22	260,00	644,20	29633,20	0,40	92%
Jun-22	301,00	1288,40	30921,60	0,23	96%
Jul-22	233,00	322,10	31243,70	0,72	97%
Aug-22	348,00	322,10	31565,80	1,08	98%
Sep-22	406,00	322,10	31887,90	1,26	99%
Oct-22	605,00	322,10	32210,00	1,88	100%

Datos de consumo de agua proyecto Aleste 300

Fecha	Consumo (m ³)	Área construida (m ²)	Área acumulada (m ²)	Consumo por unidad de área (m ³ /m ²)	Avance global acumulado
Jan-23	95,29	270,35	270,35	0,35	30%
Feb-23	85,54	270,35	540,70	0,32	60%
Mar-23	0,00	135,17	675,87	0,00	75%
Apr-23	95,39	108,14	784,01	0,88	87%
May-23	205,86	117,15	901,16	1,76	100%

Datos de consumo de agua proyecto DDS LAB

Fecha	Consumo (m ³)	Área construida (m ²)	Área acumulada (m ²)	Consumo por unidad de área (m ³ /m ²)	Avance global acumulado
Jan-23	78,68	1276,52	1276,52	0,06	14%
Feb-23	187,85	1458,88	2735,40	0,13	30%
Mar-23	1,75	1094,16	3829,56	0,00	42%
Apr-23	92,28	1732,42	5561,98	0,05	61%
May-23	201,39	1458,88	7020,86	0,14	77%
Jun-23	122,00	547,08	7567,94	0,22	83%
Jul-23	50,72	729,44	8297,38	0,07	91%
Aug-23	60,12	2097,14	9118,00	0,03	100%

Datos de consumo de agua proyecto Nitrile

Fecha	Consumo (m ³)	Área construida (m ²)	Área acumulada (m ²)	Consumo por unidad de área (m ³ /m ²)	Avance global acumulado
Oct-21	56,00	264,00	264,00	0,21	5%
Nov-21	997,00	792,00	1056,00	1,26	20%
Dec-21	913,00	1478,40	2534,40	0,62	48%
Jan-22	1127,00	369,60	2904,00	3,05	55%
Feb-22	881,00	580,80	3484,80	1,52	66%
Mar-22	1150,00	475,20	3960,00	2,42	75%
Apr-22	570,00	792,00	4752,00	0,72	90%
May-22	5036,00	1795,20	5280,00	2,81	100%

Datos de consumo de agua proyecto Nueve 84

Fecha	Consumo (m ³)	Área construida (m ²)	Área acumulada (m ²)	Consumo por unidad de área (m ³ /m ²)	Avance global acumulado
Apr-22	0,00	99,23	99,23	0,00	1%
May-22	101,00	99,23	198,46	1,02	2%
Jun-22	110,00	99,23	297,69	1,11	3%
Jul-22	153,00	99,23	396,92	1,54	4%
Aug-22	206,00	496,15	893,07	0,42	9%
Sep-22	167,00	992,30	1885,38	0,17	19%
Oct-22	142,00	1488,45	3373,83	0,10	34%
Nov-22	169,00	1587,68	4961,52	0,11	50%

Fecha	Consumo (m ³)	Área construida (m ²)	Área acumulada (m ²)	Consumo por unidad de área (m ³ /m ²)	Avance global acumulado
Dec-22	156,00	992,30	5953,82	0,16	60%
Jan-23	138,00	1289,99	7243,81	0,11	73%
Feb-23	162,00	893,07	8136,88	0,18	82%
Mar-23	103,00	694,61	8831,50	0,15	89%
Apr-23	105,00	1091,53	9923,03	0,10	100%

Datos de consumo de agua e índices por sistema constructivo

Sistema constructivo	Consumo total (m ³)	Área total (m ²)	Indicador de desempeño (m ³ /m ²)	Indicador de desempeño sin campamento (m ³ /m ²)
Estructura de concreto con acero de refuerzo y cables postensados (AE300, Aleste 201)	1425,00	37344,00	0,12	0,03
	5808,00	32210,00	0,18	0,18
Estructura metálica con cerramientos livianos (Aleste 300)	482,00	901,00	0,53	0,31
Estructura de concreto prefabricado (DDS LAB)	795,00	9118,00	0,09	0,04
Estructura metálica con paredes de mampostería (Nitrile)	10730,00	5280,00	2,03	1,99
Estructura de concreto reforzado (Nueve84)	1712,00	9923,00	0,17	0,04

Apéndice 2. Consumos totales de combustible, avances e índices de consumo

Datos de consumo de combustible proyecto AE300

Fecha	Consumo (L)	Área construida (m ²)	Área acumulada (m ²)	Consumo por unidad de área (L/m ²)	Avance global acumulado
Aug-22	61096,00	551,00	551,00	110,94	1%
Sep-22	49199,00	518,00	1069,00	94,92	2%
Oct-22	30895,00	1101,00	2170,00	28,05	5%
Nov-22	33099,00	1069,00	3239,00	30,96	7%
Dec-22	15220,60	810,00	4049,00	18,79	9%
Jan-23	3298,50	2250,00	6299,00	1,47	14%
Feb-23	3675,00	4049,00	10348,00	0,91	23%
Mar-23	2535,00	1350,00	11698,00	1,88	26%
Apr-23	2973,00	3150,00	14848,00	0,94	33%
May-23	0,00	3150,00	17997,00	0,00	40%

Fecha	Consumo (L)	Área construida (m ²)	Área acumulada (m ²)	Consumo por unidad de área (L/m ²)	Avance global acumulado
Jun-23	2323,15	3599,00	21597,00	0,65	48%
Jul-23	931,70	5849,00	27446,00	0,16	61%
Aug-23	0,00	8549,00	35994,00	0,00	80%
Sep-23	0,00	2250,00	38244,00	0,00	85%
Oct-23	0,00	1350,00	39594,00	0,00	88%
Nov-23	0,00	900,00	40494,00	0,00	90%
Dic-23	0,00	1800,00	42293,00	0,00	94%
Ene-24	0,00	2700,00	43193,00	0,00	96%
Feb-24	0,00	1800,00	44993,00	0,00	100%

Datos de consumo de combustible proyecto Aleste 201

Fecha	Consumo (L)	Área construida (m ²)	Área acumulada (m ²)	Consumo por unidad de área (L/m ²)	Avance global acumulado
Jun-21	100,00	3221,00	3221,00	0,03	10%
Jul-21	100,00	2254,70	5475,70	0,04	17%
Aug-21	400,00	2576,80	8052,50	0,16	25%
Sep-21	400,00	3221,00	11273,50	0,12	35%
Oct-21	200,00	4831,50	16105,00	0,04	50%
Nov-21	400,00	3221,00	19326,00	0,12	60%
Dec-21	600,00	3221,00	22547,00	0,19	70%
Jan-22	200,00	1610,50	24157,50	0,12	75%
Feb-22	200,00	1610,50	25768,00	0,12	80%
Mar-22	0,00	2576,80	28344,80	0,00	88%
Apr-22	200,00	644,20	28989,00	0,31	90%
May-22	500,00	644,20	29633,20	0,78	92%
Jun-22	500,00	1288,40	30921,60	0,39	96%
Jul-22	364,00	322,10	31243,70	1,13	97%
Aug-22	349,00	322,10	31565,80	1,08	98%
Sep-22	289,00	322,10	31887,90	0,90	99%
Oct-22	850,00	322,10	32210,00	2,64	100%

Datos de consumo de combustible proyecto Aleste 300

Fecha	Consumo (L)	Área construida (m ²)	Área acumulada (m ²)	Consumo por unidad de área (L/m ²)	Avance global acumulado
Jan-23	102,28	270,35	270,35	0,38	30%
Feb-23	84,00	270,35	540,70	0,31	60%
Mar-23	0,00	135,17	675,87	0,00	75%
Apr-23	0,00	108,14	784,01	0,00	87%
May-23	0,00	117,15	901,16	0,00	100%

Datos de consumo de combustible proyecto DDS LAB

Fecha	Consumo (L)	Área construida (m ²)	Área acumulada (m ²)	Consumo por unidad de área (L/m ²)	Avance global acumulado
Jan-23	2793,94	1276,52	1276,52	2,19	14%
Feb-23	4051,97	1458,88	2735,40	2,78	30%
Mar-23	1501,60	1094,16	3829,56	1,37	42%
Apr-23	3066,19	1732,42	5561,98	1,77	61%
May-23	3699,91	1458,88	7020,86	2,54	77%
Jun-23	1823,80	547,08	7567,94	3,33	83%
Jul-23	373,00	729,44	8297,38	0,51	91%
Aug-23	25,00	2097,14	9118,00	0,01	100%

Datos de consumo de combustible proyecto Nitrile

Fecha	Consumo (L)	Área construida (m ²)	Área acumulada (m ²)	Consumo por unidad de área (L/m ²)	Avance global acumulado
Oct-21	1837,00	264,00	264,00	6,96	5%
Nov-21	6048,00	792,00	1056,00	7,64	20%
Dec-21	5350,00	1478,40	2534,40	3,62	48%
Jan-22	16243,00	369,60	2904,00	43,95	55%
Feb-22	11970,00	580,80	3484,80	20,61	66%
Mar-22	2451,00	475,20	3960,00	5,16	75%
Apr-22	1574,00	792,00	4752,00	1,99	90%
May-22	1100,00	1795,20	5280,00	0,61	100%

Datos de consumo de combustible proyecto Nueve84

Fecha	Consumo (L)	Área construida (m ²)	Área acumulada (m ²)	Consumo por unidad de área (L/m ²)	Avance global acumulado
Apr-22	500,00	99,23	99,23	5,04	1%
May-22	0,00	99,23	198,46	0,00	2%
Jun-22	0,00	99,23	297,69	0,00	3%
Jul-22	200,00	99,23	396,92	2,02	4%
Aug-22	100,00	496,15	893,07	0,20	9%
Sep-22	200,00	992,30	1885,38	0,20	19%
Oct-22	100,00	1488,45	3373,83	0,07	34%
Nov-22	0,00	1587,68	4961,52	0,00	50%
Dec-22	0,00	992,30	5953,82	0,00	60%
Jan-23	0,00	1289,99	7243,81	0,00	73%
Feb-23	0,00	893,07	8136,88	0,00	82%
Mar-23	0,00	694,61	8831,50	0,00	89%
Apr-23	0,00	1091,53	9923,03	0,00	100%

Datos de consumo de combustible e índices por sistema constructivo

Sistema constructivo	Consumo total (L)	Área total (m ²)	Indicador de desempeño (L/m ²)	Indicador de desempeño sin campamento (L/m ²)
Estructura de concreto con acero de refuerzo y cables postensados (AE300, Aleste 201)	205245,95	37344,00	4,56	4,56
	5652,00	32210,00	0,18	0,18
Estructura metálica con cerramientos livianos (Aleste 300)	186,28	901,00	0,21	0,21
Estructura de concreto prefabricado (DDS LAB)	17335,41	9118,00	1,90	1,76
Estructura metálica con paredes de mampostería (Nitrile)	46573,00	5280,00	8,82	8,82
Estructura de concreto reforzado (Nueve84)	1100,00	9923,00	0,11	0,11

Apéndice 3. Consumos totales de electricidad, avances e índices de consumo

Datos de consumo de electricidad proyecto AE300

Fecha	Consumo (kWh)	Área construida (m ²)	Área acumulada (m ²)	Consumo por unidad de área (kWh/m ²)	Avance global acumulado
Aug-22	0,00	551,00	551,00	0,00	0,01
Sep-22	0,00	518,00	1069,00	0,00	0,02
Oct-22	0,00	1101,00	2170,00	0,00	0,05
Nov-22	0,00	1069,00	3239,00	0,00	0,07
Dec-22	200,00	810,00	4049,00	0,25	0,09
Jan-23	3680,00	2250,00	6299,00	1,64	0,14
Feb-23	1600,00	4049,00	10348,00	0,40	0,23
Mar-23	1420,00	1350,00	11698,00	1,05	0,26
Apr-23	0,00	3150,00	14848,00	0,00	0,33
May-23	16975,86	3150,00	17997,00	5,39	0,40
Jun-23	6200,00	3599,00	21597,00	1,72	0,48
Jul-23	9400,00	5849,00	27446,00	1,61	0,61
Aug-23	11280,00	8549,00	35994,00	1,32	0,80
Sep-23	12080,00	2250,00	38244,00	5,37	0,85
Oct-23	16160,00	1350,00	39594,00	11,97	0,88
Nov-23	13880,00	900,00	40494,00	15,42	0,90
Dic-23	0,00	1800,00	42293,00	0,00	0,94
Ene-24	250,48	2700,00	43193,00	0,09	0,96
Feb-24	0,00	1800,00	44993,00	0,00	1,00

Datos de consumo de electricidad proyecto Aleste 201

Fecha	Consumo (kWh)	Área construida (m ²)	Área acumulada (m ²)	Consumo por unidad de área (kWh/m ²)	Avance global acumulado
Jun-21	760,00	3221,00	3221,00	0,24	10%
Jul-21	2520,00	2254,70	5475,70	1,12	17%
Aug-21	3960,00	2576,80	8052,50	1,54	25%
Sep-21	4000,00	3221,00	11273,50	1,24	35%
Oct-21	5760,00	4831,50	16105,00	1,19	50%
Nov-21	8080,00	3221,00	19326,00	2,51	60%
Dec-21	7360,00	3221,00	22547,00	2,29	70%
Jan-22	6880,00	1610,50	24157,50	4,27	75%

Fecha	Consumo (kWh)	Área construida (m ²)	Área acumulada (m ²)	Consumo por unidad de área (kWh/m ²)	Avance global acumulado
Feb-22	8280,00	1610,50	25768,00	5,14	80%
Mar-22	8480,00	2576,80	28344,80	3,29	88%
Apr-22	6640,00	644,20	28989,00	10,31	90%
May-22	7760,00	644,20	29633,20	12,05	92%
Jun-22	7920,00	1288,40	30921,60	6,15	96%
Jul-22	11520,00	322,10	31243,70	35,77	97%
Aug-22	12480,00	322,10	31565,80	38,75	98%
Sep-22	14280,00	322,10	31887,90	44,33	99%
Oct-22	16960,00	322,10	32210,00	52,65	100%

Datos de consumo de electricidad proyecto Aleste 300

Fecha	Consumo (kWh)	Área construida (m ²)	Área acumulada (m ²)	Consumo por unidad de área (kWh/m ²)	Avance global acumulado
Jan-23	1150,30	270,35	270,35	4,25	30%
Feb-23	1000,20	270,35	540,70	3,70	60%
Mar-23	328,00	135,17	675,87	2,43	75%
Apr-23	638,60	108,14	784,01	5,91	87%
May-23	1090,00	117,15	901,16	9,30	100%

Datos de consumo de electricidad proyecto DDS LAB

Fecha	Consumo (kWh)	Área construida (m ²)	Área acumulada (m ²)	Consumo por unidad de área (kWh/m ²)	Avance global acumulado
Jan-23	0,00	1276,52	1276,52	0,00	14%
Feb-23	1650,00	1458,88	2735,40	1,13	30%
Mar-23	3850,00	1094,16	3829,56	3,52	42%
Apr-23	2850,00	1732,42	5561,98	1,65	61%
May-23	2650,00	1458,88	7020,86	1,82	77%
Jun-23	2575,00	547,08	7567,94	4,71	83%
Jul-23	0,00	729,44	8297,38	0,00	91%
Aug-23	0,00	2097,14	9118,00	0,00	100%

Datos de consumo de electricidad proyecto Nitrile

Fecha	Consumo (kWh)	Área construida (m ²)	Área acumulada (m ²)	Consumo por unidad de área (kWh/m ²)	Avance global acumulado
Oct-21	741,00	264,00	264,00	2,81	5%
Nov-21	856,00	792,00	1056,00	1,08	20%
Dec-21	1164,00	1478,40	2534,40	0,79	48%
Jan-22	1469,00	369,60	2904,00	3,97	55%
Feb-22	1410,00	580,80	3484,80	2,43	66%
Mar-22	1190,00	475,20	3960,00	2,50	75%
Apr-22	1390,00	792,00	4752,00	1,76	90%
May-22	820,00	1795,20	5280,00	0,46	100%

Datos de consumo de electricidad proyecto Nueve84

Fecha	Consumo (kWh)	Área construida (m ²)	Área acumulada (m ²)	Consumo por unidad de área (kWh/m ²)	Avance global acumulado
Apr-22	0,00	99,23	99,23	0,00	1%
May-22	1040,00	99,23	198,46	10,48	2%
Jun-22	2520,00	99,23	297,69	25,40	3%
Jul-22	3520,00	99,23	396,92	35,47	4%
Aug-22	3520,00	496,15	893,07	7,09	9%
Sep-22	3840,00	992,30	1885,38	3,87	19%
Oct-22	4081,00	1488,45	3373,83	2,74	34%
Nov-22	3640,00	1587,68	4961,52	2,29	50%
Dec-22	3360,00	992,30	5953,82	3,39	60%
Jan-23	3521,00	1289,99	7243,81	2,73	73%
Feb-23	4080,00	893,07	8136,88	4,57	82%
Mar-23	4240,00	694,61	8831,50	6,10	89%
Apr-23	1200,00	1091,53	9923,03	1,10	100%

Datos de consumo de electricidad e índices por sistema constructivo

Sistema constructivo	Consumo total (kWh)	Área total (m ²)	Indicador de desempeño (kWh/m ²)	Indicador de desempeño sin campamento (kWh/m ²)
Estructura de concreto con acero de refuerzo y cables postensados (AE300, Aleste 201)	50780,00	37344,00	2,07	0,36
	133640,00	32210,00	4,15	4,15
Estructura metálica con cerramientos livianos (Aleste 300)	4207,00	901,00	4,67	2,51
Estructura de concreto prefabricado (DDS LAB)	13575,00	9118,00	1,49	1,41
Estructura metálica con paredes de mampostería (Nitrile)	9040,00	5280,00	1,71	1,21
Estructura de concreto reforzado (Nueve84)	38562,00	9923,00	3,89	2,79

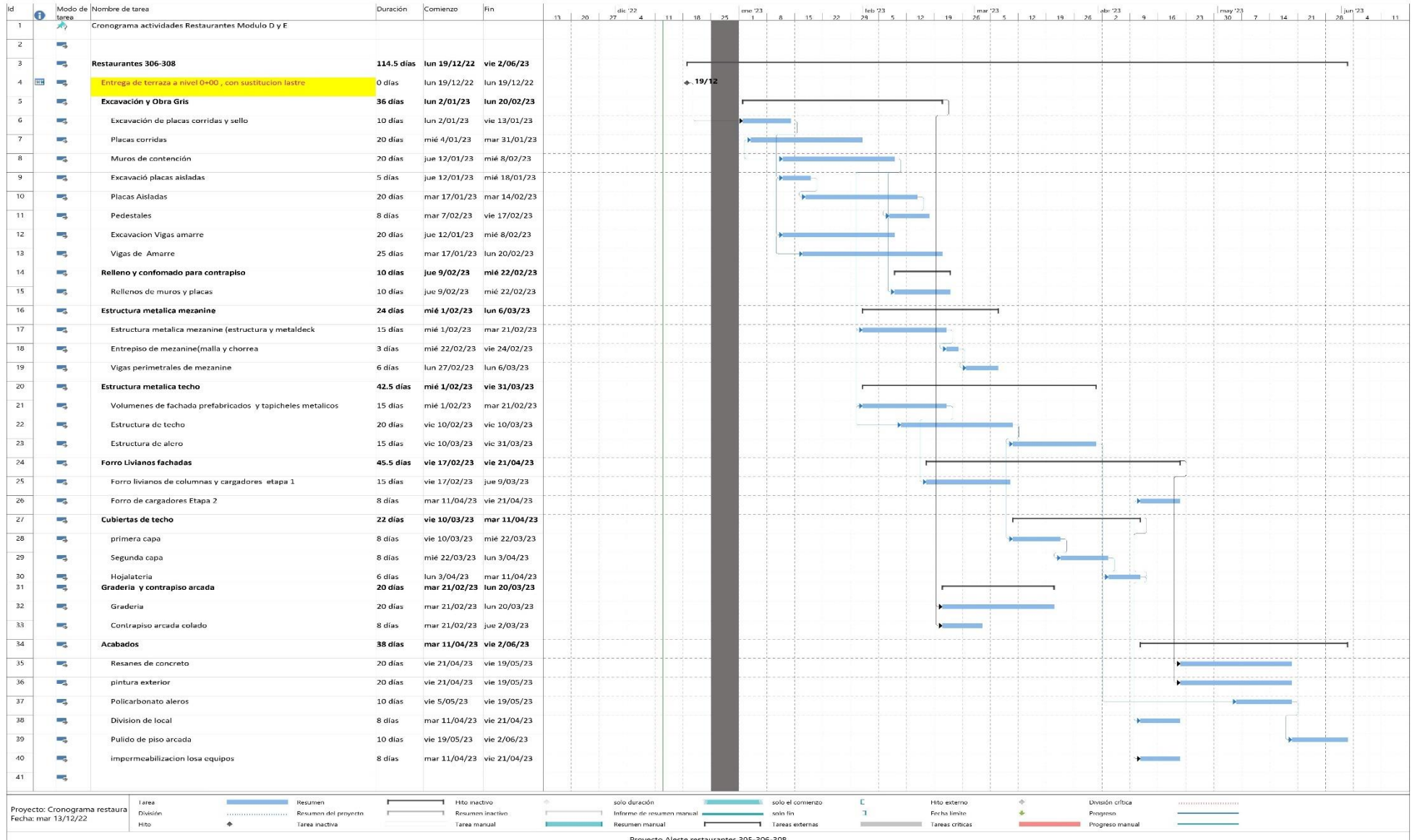
Anexos

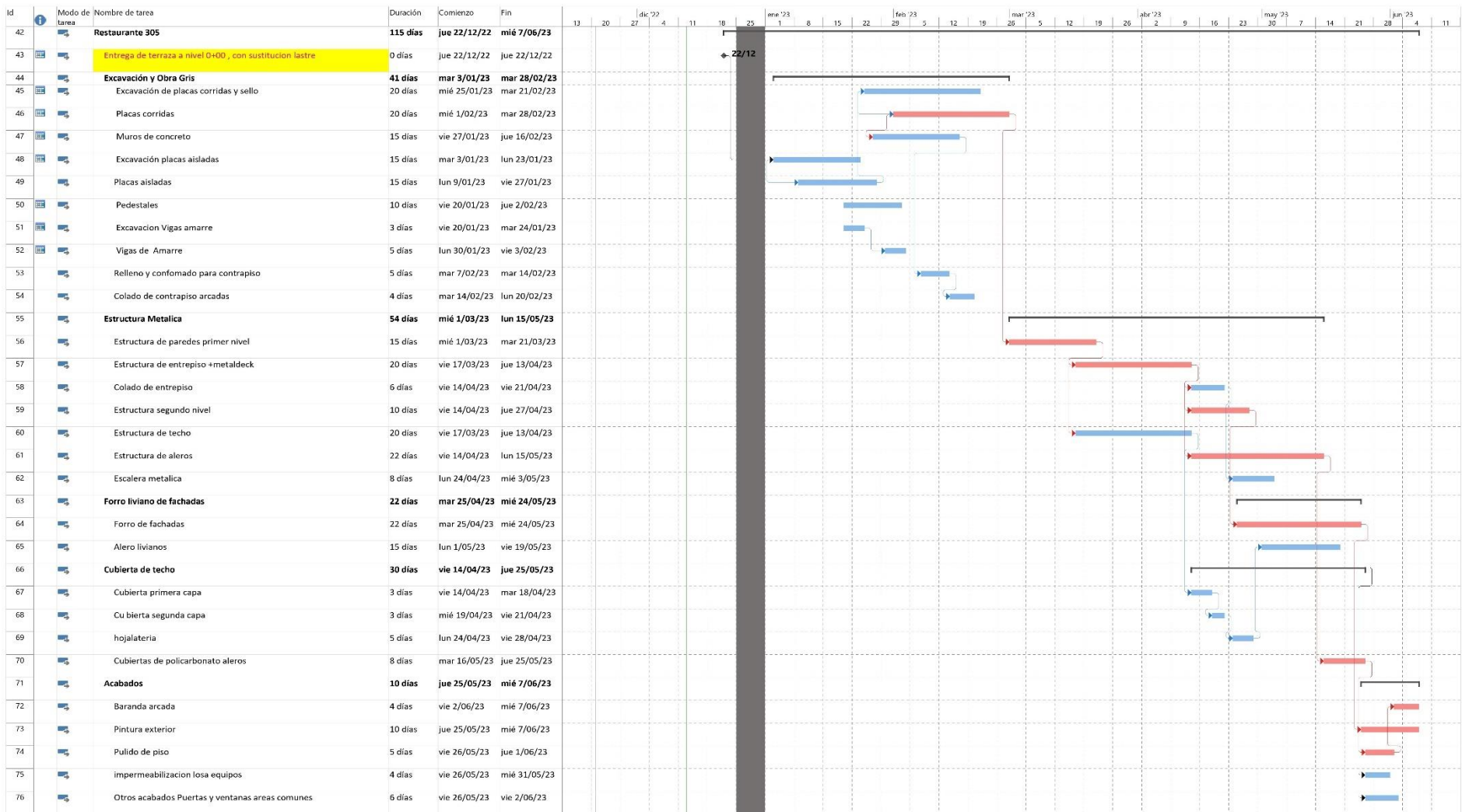
Los anexos por presentar serán los cronogramas de obra correspondientes, brindados por el desarrollador, Portafolio Inmobiliario y por las empresas constructoras correspondientes.

Aleste 201

EDIFICIO 201 ALESTE																		
ACTIVIDAD	2021							2022										
	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre
FUNDACIONES Y S300																		
MUROS S200 Y ENTREPISO S100																		
MUROS S100 Y ENTREPISO N100																		
MUROS N100 Y ENTREPISO N200																		
MUROS N200 Y ENTREPISO N300																		
MUROS N300 Y ENTREPISO N400																		
MUROS N400 Y ENTREPISO N500																		
MUROS N600 Y ENTREPISO N700																		
MUROS N700 Y AZOTEA																		
MUROS AZOTEA Y LOSAS DUCTOS																		
ESTRUCTURA Y CUBIERTA DE TECHOS																		
ESTRUCTURA METÁLICA FACHADA																		
ACABADOS DE FACHADA EXTERNA																		
ACABADOS INTERNOS																		
ACABADOS DE INFRAESTRUCTURA Y PLAZA																		
LIMPIEZA GENERAL																		

Aleste 300





Proyecto: Cronograma restaura
 Fecha: mar 13/12/22

	Resumen		Hito inactivo		solo duración		solo el comienzo		Hito externo		División critica
	Resumen del proyecto		Resumen inactivo		Informe de resumen manual		solo fin		Fecha limite		Progreso
	Tarea inactiva		Tarea manual		Resumen manual		Tareas externas		Tareas criticas		Progreso manual

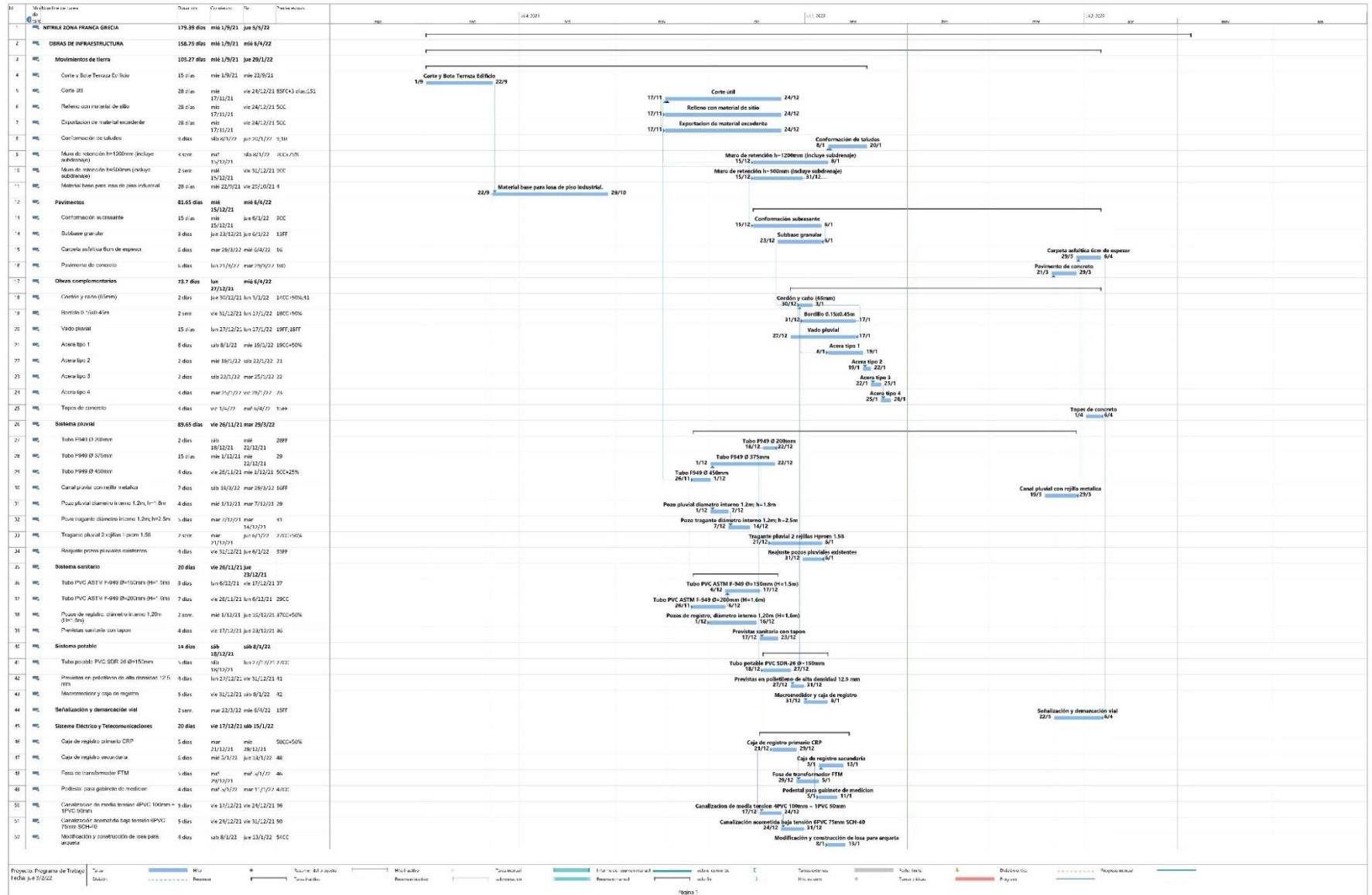
Proyecto Aletee restaurantes 305-306-308

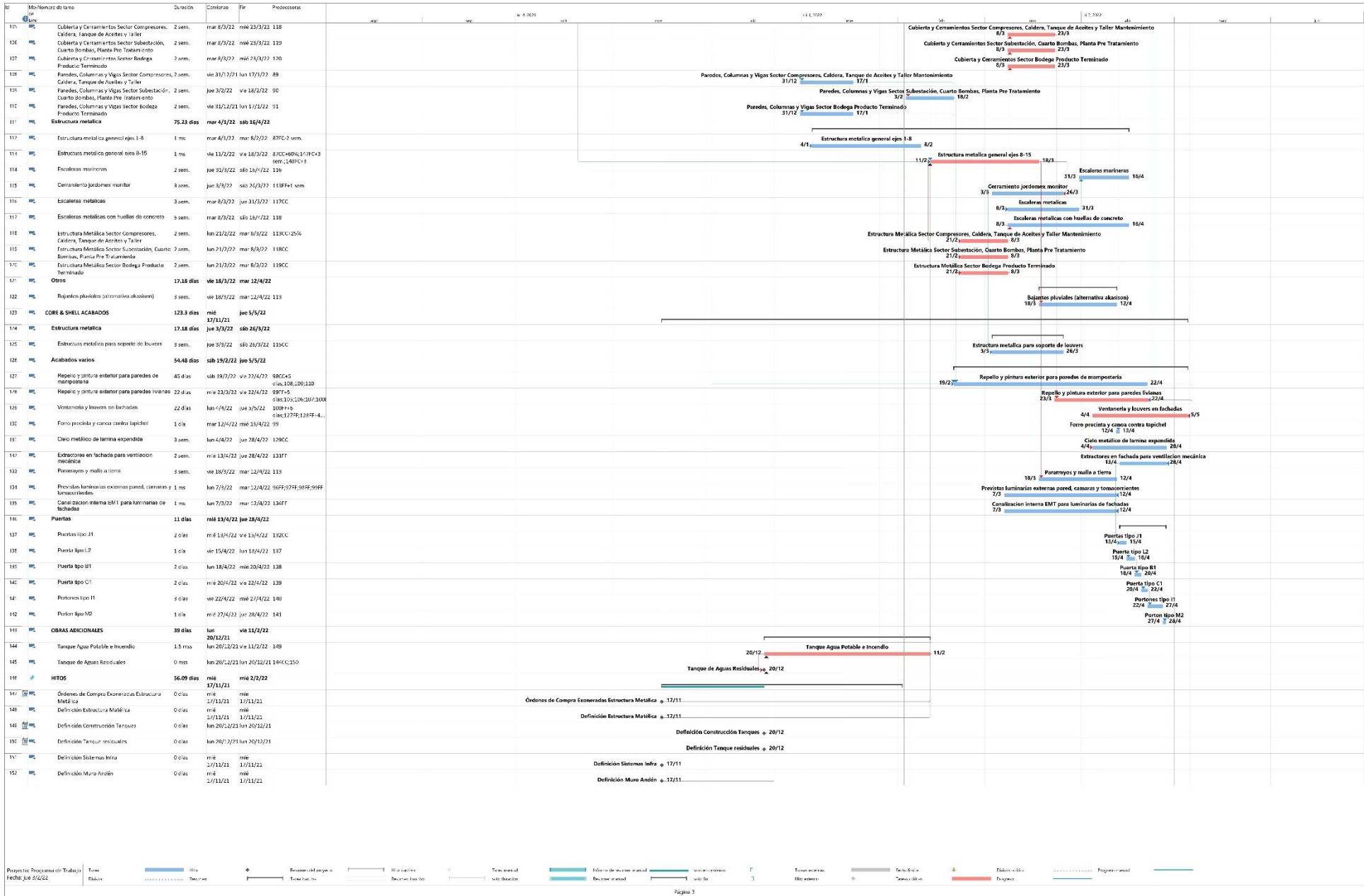
Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	enero		marzo			mayo			julio	
							F	M	P	F	M	P	F	M	P	F
118		Instalacion Ventanería Eje A.	4 días	09/08/23 09:	14/08/23 07:117FC+9 días											
119		Pruebas con agua	2 días	15/08/23 09:	16/08/23 07:118,56											
120		ENTREGA OBRAS C&S	1 día	17/08/23 09:	17/08/23 07:											
121		ENTREGA	1 día	17/08/23 09:	17/08/23 07:17,119,111											

Proyecto: CRGV-DDS LAB_ Cronog Fecha: 27/03/24 11:36 p. m.	Tarea		Hito externo		Informe de resumen manual		División crítica	
	División		Tarea inactiva		Resumen manual		Retrasada	
	Hito		Hito inactivo		Sólo el comienzo		Progreso	
	Resumen		Resumen inactivo		Sólo fin			
	Resumen del proyecto		Tarea manual		Fecha límite			
	Tareas externas		Sólo duración		Tareas críticas			

Página 4

Nitrile





Nueve 84

20220706 N84A 13 meses (Construcción) V3							
Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	% completado	2022
							F M A M
1		Nueve 84 Torre A	331 días	01/04/22 06:00	01/05/23 02:00	81%	
2	✓	Inicio	0 días	01/04/22 06:00	01/04/22 06:00	100%	01/04
3	✓	Obras provisionales	13 días	01/04/22 06:00	19/04/22 02:00	100%	100%
4	✓	Montaje grúa torre	3 días	22/04/22 06:00	25/04/22 02:00	100%	100%
5	✓	Obra gris	123 días	26/04/22 06:00	20/09/22 02:00	100%	
12	✓	Estructura Techos y cubierta	33 días	14/09/22 06:00	22/10/22 02:00	100%	
13		Acabados apartamentos	210 días	03/08/22 06:00	07/04/23 02:00	88%	
14	✓	Nivel 100	138 días	03/08/22 06:00	13/01/23 02:00	100%	
41	✓	Nivel 200	138 días	18/08/22 06:00	27/01/23 02:00	100%	
68	✓	Nivel 300	138 días	01/09/22 06:00	10/02/23 02:00	100%	
95		Nivel 400	138 días	16/09/22 06:00	24/02/23 02:00	91%	
122		Nivel 500	138 días	30/09/22 06:00	10/03/23 02:00	83%	
149		Nivel 600	138 días	14/10/22 06:00	24/03/23 02:00	74%	
176		Nivel 700	138 días	28/10/22 06:00	07/04/23 02:00	65%	
203		Acabados áreas comunes	190 días	21/09/22 06:00	01/05/23 02:00	51%	
223		Fachadas exteriores	140 días	21/09/22 06:00	03/03/23 02:00	87%	
224		Finalización de obra	0 días	01/05/23 02:00	01/05/23 02:00	0%	

Tareas críticas		solo fin		Resumen manual	
División crítica		solo duración		Resumen del proyecto	
Progreso de tarea crítica		Línea base		Tareas externas	
Tarea		División de la línea base		Hito externo	
División		Hito de línea base		Tarea inactiva	
Progreso de tarea		Hito		Hito inactivo	
Tarea manual		Progreso del resumen		Resumen inactivo	
solo el comienzo		Resumen		Fecha límite	

Página 1

