

Optimización del proceso constructivo de la primera etapa de una obra de restauración de hormigón

Daniela Rúa Cortés

Maestría en Gerencia de Ingeniería

Dr. Héctor J. Cruzado

Departamento de Ingeniería Civil, Ingeniería Ambiental y Agrimensura

Universidad Politécnica de Puerto Rico

Resumen — En este artículo se identifican y analizan las variables que influyen en un proyecto de restauración de concreto localizado en la ciudad de Coral Gables, cuyo objetivo es optimizar el rendimiento de obra. La metodología empleada fue la ruta crítica ya que identifica qué actividades y procedimientos se pueden mejorar. En primera instancia se enfoca el análisis en el personal y sus habilidades, en cómo se puede mejorar la eficacia en la ejecución y reducir el tiempo total de la construcción, pero la disponibilidad del material se vuelve crucial para el avance de obra. La escasez de materiales se ve influenciada debido a dos variables: la baja producción en años anteriores por las restricciones establecidas durante la pandemia, y actualmente hay mayor demanda de restauración de concreto y, por lo tanto, de materiales luego del desplome de una edificación en la ciudad de Surfside. El enfoque inicial se redireccionó debido a que la eficacia de la mano de obra no es tan relevante cuando no hay recursos para trabajar. Ahora bien, los objetivos planteados al comienzo de este proyecto no fueron alcanzados dentro del periodo de análisis ya que la disponibilidad de material no es una variable que se pueda manipular desde la gerencia de obra.

Palabras clave — Programación, Rendimiento, Ruta crítica, Tiempo de ejecución.

INTRODUCCIÓN

La construcción es una industria que siempre está en movimiento y tiene una expectativa de crecimiento en Estados Unidos en este año, considerando las inversiones y el dinero destinado dentro del plan de gobierno para este sector [1], enfocarse en este sector acarrea ventajas económicas, y mejorar las prácticas y procedimientos en obra

traen grandes ventajas para todos los involucrados, especialmente el contratista.

El proyecto se basa en la evaluación del proceso constructivo durante la restauración de hormigón en una edificación localizada en la ciudad de Coral Gables, Florida. Este proyecto se firmó con el contratista como restauración de concreto y pintura, pero la firma de ingeniería que está liderando las inspecciones y figuran como responsables ante el Departamento de Planificación de la ciudad debe garantizar la mitigación del problema latente de infiltración de agua en ciertas unidades residenciales.

El problema que este proyecto pretende abordar es la optimización del desempeño en la ejecución de las actividades típicas de restauración de hormigón para permitir que la evaluación de la infiltración de agua no afecte la entrega de la primera fase del proyecto y no se incurra en incumplimiento de términos del contrato.

Los objetivos de este proyecto son:

- Optimizar el rendimiento de ejecución de obra en un porcentaje igual o superior al 15% para garantizar la entrega dentro de los términos de tiempo establecidos en el contrato.
- Disminuir el tiempo de ejecución de rutinas eficientes para las actividades constructivas.

MARCO TEÓRICO

Optimizar el proceso de construcción en una obra de restauración de hormigón tiene ciertas variables a evaluar con el objetivo de definir su impacto en el rendimiento de obra, el cual es uno de los indicadores directos de mejoría. Las variables que se han identificado en el proyecto son clasificadas en los siguientes grupos basados en la naturaleza de la interacción con la obra: la gerencia

con la planificación, la logística de los recursos, el control de obra, y la mano de obra.

Desde la gerencia se puede plantear el camino a seguir e influye en gran medida la experiencia y el conocimiento de quienes planifican la obra antes de comenzar. En esta etapa las herramientas a usar son decisivas en la programación de obra. La metodología de ruta crítica es usada frecuentemente en la construcción para evaluar posibles opciones para mejorar su uso y obtener una programación más consciente de todas las variables que se ven envueltas en la obra, como discriminar las actividades de obra en segmentos [2]. Al discriminar las actividades en más detalle se puede identificar una ruta crítica con mayor definición y de tal manera controlar la ejecución de esta y considerando la disponibilidad de los recursos en las actividades [3]. Se crea una planificación más eficiente, ya que siempre hay materiales que deben ordenarse con anterioridad ya que la producción de estos no es constante, bien sea por demanda o considerando la realidad actual, debido a los limitantes para la industria durante la pandemia.

Se ha mencionado los recursos como un punto determinante en la ejecución de obra, y el mejorar la logística de estos puede impactar positivamente el avance de obra. Se ha planteado la posibilidad de incluir un punto de ensamblaje de paquetes para los materiales ordenados en obra con la intención de sortear tanto la calidad como el estado de los recursos que llegan a obra y organizarlos en grupos de acuerdo a la actividades que se están realizando, lo que ayuda a mejorar el control de obra al tener un inventario más detallado y mejor manejo del rendimiento del material en comparación con la actividad, lo que impacta el presupuesto y el tiempo de ejecución [4].

El control de obra es otra de las etapas que afecta directamente el avance de obra. En esta función se pretende verificar que la ejecución se está realizando dentro del presupuesto y del tiempo contractual. Es común que los actores responsables de estas funciones usen la presión como una herramienta [5] la cual, al ser usada desmedidamente, trae en más ocasiones resultados

negativos. El trabajador bajo presión sin estándares cae en la ejecución de su labor sin verificar la calidad de esta bajo la premisa de una obra terminada antes les traerá más beneficios lo que incurre en muchos casos en problemas técnicos que pueden ser completamente desastrosos.

La mano de obra fue la última variable mencionada que se iba a evaluar. Los seres humanos son propensos a errores. Estos errores se pueden dar por falta de experiencia, presión por ejecutar la labor en tiempo récord [5] o por fatiga [6]. Esta última genera un impacto significativo ya que la demanda física que requiere las actividades en construcción es alta y supera muchas otras profesiones, por lo que plantear estrategias para dar descanso a los trabajadores, verificación del estado físico de los trabajadores antes de comenzar el día laboral y proveer planes para la salud física de los empleados son acciones que pueden generar un impacto positivo sobre el rendimiento de obra.

REVISIÓN DE INFORMACIÓN TÉCNICA

Este proyecto cuenta con especificaciones técnicas, las cuales son una guía detallada de las reparaciones dentro del alcance del proyecto, incluyendo secuencias para los procesos constructivos y fichas técnicas de los materiales aprobados a usar, junto a esto se cuenta con un set de planos estructurales.

El proyecto se ha dividido en cuatro fases, que coinciden con los puntos cardinales, (sur, este, norte y oeste). El alcance de este trabajo es el análisis de la fase 1, también nombrada fachada este y que se muestra en la Figura 1.

Los trabajos de reparación a ejecutar en referencia a hormigón son: Reparación de anclaje de postes de pasamanos, Reparación de área circundante a borde de losa e Impermeabilización del borde de losa en balcones. También, la actividad de estuco y pintura hacen parte del alcance.

Todos los materiales especificados son fabricados por “Master Builders solutions” y tienen procedimientos de aplicación específicas, sumado a

esto los procedimientos especificados implican que la mano de obra debe ser calificada para estas labores por lo que el equipo de trabajo debe componerse de trabajadores entendidos, lo que implica que la carga salarial es mayor en este proyecto.



Figura 1
Fachada Este

ANÁLISIS DE INFORMACIÓN DE OBRA

La ruta crítica es la metodología que se adoptó para abordar el análisis de este proyecto. Se ha establecido la ruta crítica inicial del proyecto, en donde las reparaciones de hormigón conforman la actividad con mayor tiempo requerido. Por lo tanto, se focaliza el análisis en este grupo de actividades. La Figura 2 muestra el diagrama de Gantt inicial del proyecto.

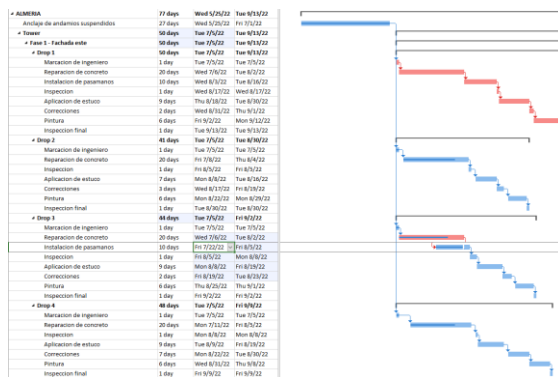


Figura 2
Ruta crítica inicial marcada en programación

Análisis en medio de la ejecución

La disponibilidad de materiales es el problema central, el tiempo de entrega de materiales es de cuatro (4) hasta en algunos casos doce (12) o más semanas, esto debido a la baja adquisición de materia prima y baja producción por parte de los fabricantes durante la pandemia, además de la alta demanda actual considerando el precedente del desplome de la edificación en la ciudad de Surfside en el estado de la Florida.

Particularmente se identificaron productos que no están disponibles y se evaluaron posibles equivalentes producidos por la misma compañía manufacturera y con las mismas características técnicas, pero de un costo mayor, lo que implica un aumento en el costo unitario de las actividades que requieran de dichos materiales.

Se evaluaron dos (2) materiales que por su escasez deben de ser cambiados:

- MasterProtect P 8100AP como reemplazo de MasterEmaco ADH 326
- MasterEmaco 501/502 como reemplazo de MasterInject 1380

Se muestra el análisis de rendimiento y de precio en la Tabla 1 y Figura 3 para el primer producto, y en Tabla 2 y Figura 4 para el segundo producto.

Tabla 1
Análisis de costo MasterEmaco ADH 326 vs. MasterProtect P8100AP

Análisis de costo							
Rendimiento de material		Cantidad requerida		Costo material		Costo total de material requerido	
MasterEmaco ADH 326 [SF/gal]	MasterProtect P8100AP [SF/qt]	MasterEmaco ADH 326 [gal]	MasterProtect P8100AP [qt]	MasterEmaco ADH 326 [gal]	MasterProtect P8100AP [qt]	MasterEmaco ADH 326	MasterProtect P8100AP
100	19.6	1	5	\$ 157.99	\$ 157.63	\$ 157.99	\$ 788.15

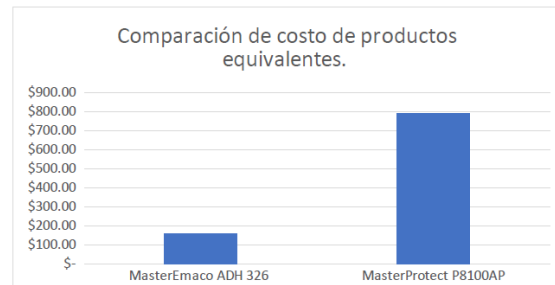


Figura 3
Análisis de costo MasterEmaco ADH 326 vs. MasterProtect P8100AP

Tabla 2
Análisis de costo MasterEmaco 501/501 vs. MasterInject 1380

Análisis de costo							
Volumen de material		Cantidad requerida		Costo material		Costo total de material requerido	
MasterInject 1380 [gal]	MasterEmaco 501/502 [gal/k1]	MasterInject 1380 [gal]	MasterEmaco 501/502 [gal/k1]	MasterInject 1380 [gal]	MasterEmaco 501/502 [k1]	MasterInject 1380	MasterEmaco 501/502
1	0.29	1	4	\$ 162.28	\$ 331.70	\$ 162.28	\$ 1,326.80

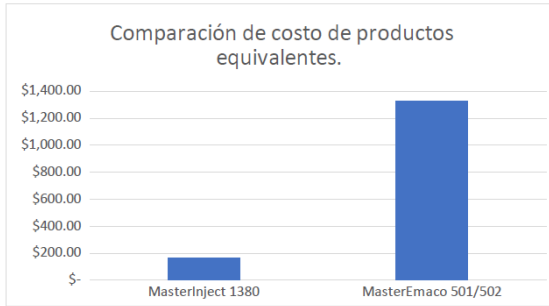


Figura 4
Análisis de costo MasterEmaco 501/501 vs. MasterInject 1380

Esta situación deriva a un cambio de enfoque en el proyecto, ya que la disponibilidad de materiales es muchísimo más crítico que el rendimiento de la mano de obra.

Reevaluación de la programación

En contenido, la ruta crítica no cambió, las reparaciones de hormigón continúan siendo neurálgicas en el proyecto, pero los tiempos se han incrementado por disponibilidad de materiales en aproximadamente una semana, y es apreciable en la

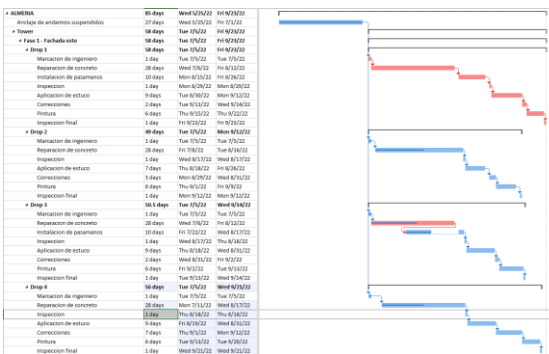


Figura 5
Programación de obra reevaluada

TOMA DE DATOS EN OBRA

Durante el tiempo de evaluación del proceso constructivo, se realizó la toma del tiempo de ejecución desde dos diferentes marcos de referencia, el primero enfocándose en la actividad y el segundo enfocándose en la cuadrilla. Esto con la intención de identificar posibles cambios para mejorar la productividad, una reorganización de cuadrilla o asignar ciertas actividades a cuadrillas específicas cuya ejecución es más eficiente.

ANÁLISIS Y REVISIÓN DE DATOS

Considerando las características del proyecto, se confirmaron dos cuadrillas de trabajo incluyendo trabajadores entendidos y ayudantes, y se estudió su rendimiento al asignarles la misma actividad de reparación del área circundante al borde de losa y al final de la jornada se identificó que ambas cuadrillas completaban el mismo número de pisos. Así se estructuró una semana en donde ambas cuadrillas trabajaban simultáneamente en la misma actividad con la intención de identificar puntos a mejorar, pero los rendimientos no variaban en más del 3%, por lo que se determinó que no había una avenida que explorar con esta variable. Así que se introdujo una cuadrilla conformada con personal de mayor experiencia para servir como marco de referencia, esta nueva cuadrilla si bien ejecutaba las actividades un en menor tiempo, la mejoría no superó el 9%, y explorar la posibilidad de variar la conformación de los equipos de trabajo paso a un segundo plano cuando los materiales estaban tardando más de cuatro semanas en llegar a la obra.

CONCLUSIONES

Ninguno de los dos objetivos planteados al comienzo de este proyecto fue alcanzado, en medio de la ejecución se identificó que algunos materiales no estaban disponibles, y generaron retrasos en la ejecución de actividades dentro de la ruta crítica y por lo tanto la optimización del rendimiento no fue posible bajo estas condiciones.

Durante el tiempo de análisis de este caso de estudio, se halló que, dada la naturaleza de la industria de la construcción y los precedentes que influyen la dinámica de la misma, el recurso de los materiales se ha vuelto un limitante importante en el sur de la florida, no solo se esta experimentando los resultados de la baja producción durante la pandemia, sino que se ha aumentado en gran medida la demanda de material considerando el desplome de la edificación el año pasado.

Como un posible trabajo por ejecutar en el futuro se considera implementar un sistema de abastecimiento de material con mayor antelación a lo que se consideraba convencional, para permitir un análisis de optimización del proceso constructivo.

REFERENCIAS

- [1] ResearchAndMarkets.com, "United States of America (USA) Construction Market Size, Trends and Forecasts by Sector - Commercial, Industrial, Infrastructure, Energy and Utilities, Institutional and Residential Market Analysis, 2022-2026," ResearchAndMarkets.com, 2022.
- [2] T. & M. W. Hegazy, "Critical Path Segments Scheduling Technique.," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 136, no. 10, p. 1078–1085, 2010.
- [3] M. & L. H. Lu, "Resource-Activity Critical-Path Method for Construction Planning," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 129, no. 4, p. 412–420, 2003.
- [4] M. P. A. S. O. L. M. & H. J. Tetik, "Kitting Logistics Solution for Improving On-Site Work Performance in Construction Projects," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 147, no. 1, 2021.
- [5] M. P. P. M. & S. B. Nepal, "Effects of Schedule Pressure on Construction Performance.," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 132, no. 2, pp. 182-188, 2006.
- [6] J. L. S. & S. J. Seo, "Simulation-Based Assessment of Workers' Muscle Fatigue and Its Impact on Construction Operations.," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 142, no. 11, 2016.