

Optimización del Proceso de Producción de Encalado Mediante la Implementación de Técnicas de Ingeniería Gerencial

*José Luis Torres Pagán
Programa de Ingeniería Gerencial
Dr. Héctor J. Cruzado
Escuela Graduada
Universidad Politécnica de Puerto Rico*

Resumen — *La Iglesia San José, en el Viejo San Juan, es uno de los monumentos más antiguos en Puerto Rico. Durante los últimos años de su proceso de restauración, en la Iglesia San José se han definido procedimientos y especificaciones que rigen el tipo de encalado que se desea utilizar. El encalado es una mezcla de uno ú más agentes aglutinantes (entre ellos cal), agregado, agua y en algunas ocasiones aditivos. El tiempo que involucra el proceso de producción de encalado, depende principalmente de la accesibilidad a la materia prima (cal, arena y ladrillo), de las herramientas ó equipo utilizados, de la familiarización del empleado con las mezclas de encalado y de un equipo de trabajo diestro y acoplado. En estos procesos de producción de encalado se han identificado ciertos factores que conllevan a retrasos y costos para esta entidad. El identificar los factores que estuvieron afectando el proceso de producción de encalado, permitió buscar alternativas y aplicar soluciones prácticas que van dirigidas en garantizar una mejor optimización de los procesos de restauración de la Iglesia San José, en el Viejo San Juan.*

Términos Clave — *Cal, encalado, ingeniería gerencial, optimización.*

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la necesidad de restaurar y preservar monumentos históricos ha llevado a una reactivación de los morteros a base de cal, también conocidos como encalado. El encalado es una mezcla de uno ú más agentes aglutinantes (entre ellos cal), agregado, agua y en algunas ocasiones aditivos [1]. La cal se utilizó comúnmente en los morteros históricos de edificios y estructuras construidas tradicionalmente hasta el comienzo del

siglo XX, cuando su uso fue reemplazado en gran medida por el cemento Portland [2].

Desde entonces, los morteros a base de cemento Portland reemplazaron a los tradicionalmente morteros a base de cal, debido a que brindaban un índice más rápido de endurecimiento y desarrollo de resistencia mecánica. Sin embargo, su mayor contracción, agrietamiento y rigidez han llevado a que la cal hidratada se implemente nuevamente como aglutinante único ú en combinación con cemento Portland, para el revestimiento externo e interno de paredes de ladrillo, restauración de monumentos y edificios históricos.

La Iglesia San José, en el Viejo San Juan, es uno de los monumentos históricos más antiguos en Puerto Rico. Durante los últimos años de su proceso de restauración, en la Iglesia San José se han definido procedimientos y especificaciones que rigen el tipo de encalado que se desea utilizar. En estos procesos de producción de encalado se han identificado ciertos factores que conllevan a retrasos y costos para esta entidad. Entre los principales factores cabe mencionar la distancia entre el lugar donde se prepara la mezcla y el almacenamiento de la arena, el tiempo que involucra el tamizar la materia prima (cal, arena y ladrillo), las herramientas ó equipo utilizado, la experiencia del personal y el tiempo en general que toma el proceso de producción de encalado.

El identificar cada uno de los factores que conllevan a retrasos y costos para la Iglesia San José, y la implementación de un enfoque dirigido en técnicas de ingeniería gerencial ha permitido optimizar el proceso de producción de encalado en la restauración de la Iglesia.

CAL EN LA CONSTRUCCIÓN

La cal es el nombre genérico dado al hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Esta se utiliza para diferentes aplicaciones en la construcción y se selecciona por sus propiedades físicas específicas y características de rendimiento. Las propiedades del encalado dependen de la naturaleza del aglutinante de cal utilizado, así como de los efectos de los aditivos que se introducen a la mezcla. Generalmente, el encalado tiene baja resistencia a la compresión y características de fraguado lento, pero ofrece buena manejabilidad, alta retención de agua, excelente adherencia y durabilidad.

La cal de construcción tiene ciertas cualidades que la hacen perfectamente adecuada para su uso en construcciones de mampostería ó de construcciones tradicionales. Algunas de las cualidades que definen a la cal son las siguientes:

- **Permeabilidad:** La relativamente alta permeabilidad al vapor de la cal permite que la humedad se mueva a través de ella [2]. La absorción y evaporación de la humedad del material ayuda a regular la humedad dentro de un edificio y difunde el agua penetrante, protegiendo posteriormente la estructura del daño asociado a la humedad.
- **Flexibilidad:** La cal le permite absorber movimientos estructurales menores asociados con las tensiones de expansión y contracción que experimenta un edificio debido a los cambios de temperatura y humedad, siendo esta menos vulnerable al agrietamiento [2].
- **Eco-amigable:** La cal no contiene compuestos orgánicos volátiles, petroquímicos, plomo ú otros contaminantes. La alcalinidad de la cal ayuda a inhibir el crecimiento de moho y otros patógenos.
- **Estética:** Los acabados de cal complementan la apariencia y las cualidades visuales de la piedra natural y el ladrillo.

METODOLOGÍA

Tras varios meses de familiarizarse con todos los procesos que involucra la producción de

encalado, se pudo identificar ciertos factores que pudieran provocar retrasos y costos en la restauración de la Iglesia San José, en el Viejo San Juan.

Los factores identificados durante los procesos de producción de encalado fueron:

- Los inicios de semana (lunes), no había mezcla de encalado preparada, lo cual provocaba que 6 albañiles se quedaran esperando por la mezcla.
- Cada mezcla de encalado tardaba aproximadamente 20 minutos en prepararse, y se repartía entre 2 a 3 albañiles. Esto usualmente dependía del tipo de mezcla que necesitaban.
- Se preparan 7 tipos de mezclas de encalado, cada una de estas mezclas varía en uso, cantidad de cal, arena, fibra y ladrillo.
- Las mezclas de encalado se pueden utilizar solo durante 3 a 4 días; mezcla no utilizada, mezcla desperdiciada.
- Un solo empleado se encargaba de preparar todas las mezclas. Cuando este empleado se ausentaba, personal no familiarizado en preparar mezclas de encalado ocupaba su lugar, lo cual atrasaba el proceso.
- La arena debía pasarse por 2 tamices antes de ser utilizada, para separar el grano fino del grueso, material primario del cual depende la mezcla.
- La ubicación del almacenamiento de arena se encontraba a 227 pies de distancia del lugar donde se prepara la mezcla. Esta es una distancia considerable.
- El ladrillo debía pasarse por 6 tamices antes de ser utilizada, para separar el grano fino del grueso. Material secundario del cual depende la mezcla.
- La cal debía pasar por 2 tamices antes de ser utilizada, proceso lento que permitía separar cualquier partícula indeseada.
- Las herramientas ó equipo utilizado dependía de la cantidad y tipo de mezcla deseada. Para cantidades pequeñas, la utilización de carretilla y pala eran convenientes, debido a que no se

desperdiciaba la mezcla. Mientras que para mezclas grandes, el equipo de mezclado tipo trompo ú rodillo era el esencial.

En resumidas cuentas, el tiempo que involucra el proceso de producción de encalado, depende principalmente de la accesibilidad a la materia prima (cal, arena y ladrillo), de las herramientas ó equipo utilizados, de la familiarización del empleado con las mezclas de encalado y de un equipo de trabajo diestro y acoplado.

TÉCNICAS DE INGENIERÍA GERENCIAL

La toma de decisiones es esencial en el rol de un gerente. Actualmente, un gerente es una persona que planifica, organiza y coordina las actividades de trabajo para lograr los objetivos de una organización. Entre las funciones de planificación, los gerentes planifican los recursos necesarios para realizar un proceso en particular. Esto les permite organizar a los empleados que vayan a realizar las actividades y poder fijar estrategias para alcanzar los objetivos establecidos.

Las organizaciones con estructuras organizativas bien definidas y descripciones de puestos de trabajo permiten a los empleados desenvolverse y desempeñar sus funciones de manera organizada. Por lo tanto, establecer metas claras y roles de responsabilidad, para que cada empleado conozca cuáles son sus responsabilidades, es esencial para un óptimo desempeño.

Adaptar estrategias como el empoderamiento y la delegación de responsabilidades trae consigo ciertas ventajas para la organización. Estas permiten que los empleados adquieran los conocimientos y criterios necesarios para que se desarrollen y demuestren su potencial.

Algunos puntos claves a la hora de delegar son los siguientes:

- Identificar las tareas que se puedan delegar.
- Determinar el empleado correcto para dicha tarea.
- Comunicar claramente las expectativas deseadas al empleado.

- Motivar al empleado por su buen desempeño.

ANÁLISIS

Uno de los principales factores que atrasaba el proceso de producción de encalado era la distancia entre los materiales. La ubicación original del almacenamiento de la arena se encontraba a 227 pies de distancia del lugar donde se preparaba la mezcla de encalado. Teniendo en cuenta que es una distancia considerable, se decidió implementar un cambio. Se relocizó el almacenamiento de arena a un lugar más próximo de donde se preparaba la mezcla de encalado. La nueva ubicación se encontraría entonces a 72 pies de distancia, facilitando considerablemente el proceso de producción de encalado. Los resultados obtenidos de la comparación entre la ubicación original de almacenamiento de arena y la nueva ubicación se presentan en la Tabla 1. Los resultados reflejan que el tiempo en que demora buscar la arena desde la nueva ubicación de almacenamiento de arena hasta el lugar donde se prepara la mezcla toma alrededor de 3:10 minutos, 1.47 veces más rápido en comparación a la ubicación original. Siendo esta nueva ubicación el primer cambio implementado.

Tabla 1
Tiempo que Demora Buscar Arena a Diferentes Ubicaciones

Alternativa	Distancia de Arena (227')	Distancia de Arena (72')	Tiempo
Original	X		4:40
Nueva		X	3:10

Entre algunas de las adaptaciones que los empleados han aplicado durante el proceso de tamizado, se encuentra el secado de la arena antes de ser tamizada. A raíz de esta sugerencia, se decidió realizar dos pruebas para comprobar la efectividad en términos de tiempo que tiene el proceso de tamizar arena seca, en comparación con tamizar arena húmeda. Los resultados de esta prueba se presentan en la Tabla 2 y Tabla 3. Al observar los resultados obtenidos se puede apreciar que la arena seca en el Tamiz #1 se tamizó cinco veces más rápido que la arena húmeda para ese mismo tamiz. Por otra parte, en el Tamiz #2 se

puede apreciar que la arena seca tiene la misma tendencia que ocurre en el Tamiz #1, pero en este caso la arena seca se tamizó diez veces más rápido que la arena húmeda. La adaptación que los empleados han implementado definitivamente agiliza el proceso de tamizado, motivos por los cuales se debe incorporar como una nueva especificación que se debe cumplir en todos los procesos de tamizado.

Tabla 2
Tiempo de Tamizado entre Arena Seca y Arena Húmeda para el Tamiz #1

Tamiz	Arena Seca	Arena Húmeda	Tiempo
#1	X		0:24
#1		X	2:00

Tabla 3
Tiempo de Tamizado entre Arena Seca y Arena Húmeda para el Tamiz #2

Tamiz	Arena Seca	Arena Húmeda	Tiempo
#2	X		0:28
#2		X	4:42

Una última prueba para poder identificar como ciertos factores pudieran estar afectando los procesos de producción de encalado se elaboró de la siguiente manera. Se identificaron cinco factores manipulables que pudieran demorar ó de cierta manera agilizar el proceso de producción de encalado. A partir de ahí, se definieron cuatro alternativas para crear cuatro posibles escenarios. En la Tabla 4 se muestran los resultados de esta prueba. El mejor tiempo obtenido durante el proceso de producción de encalado ocurrió en la Cuarta alternativa. Esta Cuarta alternativa consistió en la utilización de la mezcladora para la preparación de la mezcla, de la utilización de la nueva ubicación del almacenamiento de arena a 72 pies de distancia del lugar donde se prepara la mezcla y de la incorporación de un ayudante de mezclero para agilizar la preparación de la mezcla de encalado. En comparación con la Primera, Segunda y Tercera alternativa, la preparación de la producción de encalado para la Cuarta alternativa

fue 1.72, 1.36 y 1.21 veces más rápido respectivamente, que las primeras tres alternativas.

Tabla 4
Tiempo que Involucra la Producción de Encalado

Alternativa	Utilización de Herramientas	Utilización de Mezcladora	Distancia de Arena (227')	Distancia de Arena (72')	Mezclero con Ayudante	Tiempo
Primera	X		X			22:56
Segunda		X	X			18:12
Tercera		X		X		16:05
Cuarta		X		X	X	13:20

CONCLUSIÓN

El identificar los factores que estuvieron afectando los procesos de producción de encalado, permitió buscar alternativas y aplicar soluciones prácticas que van dirigidas en garantizar una mejor optimización de los procesos de restauración de la Iglesia San José, en el Viejo San Juan. Entre la incorporación de nuevas medidas en conjunto a la toma de buenas decisiones se obtuvo una reducción de tiempo y costos en los procesos de producción de encalado.

REFERENCIAS

- [1] ANDACE (2009). *Practical Guide to Lime Mortars*.
- [2] Historic Environment Scotland (2014). *Lime Mortars in Traditional Buildings: Short Guide 6*.