

Ejecución de la construcción del reforzamiento del edificio del centro comercial Plaza Wong

Abstract

This final graduation project entitled "Implementation of the construction of the reinforcement of the building of the Plaza Wong shopping center" is an informative document about the construction process necessary to carry out the reinforcement, both columns and foundations, of a work not only unfinished But defective.

The objective of this professional practice is the coordination, execution and supervision of the reinforcement of the building. From the review of the initial state of the construction it is clear that four global activities are required: excavation of columns, foundation, and reinforcement of columns and elaboration of subfloor. This required a daily field inspection, as well as gathering information on the materials and equipment of each task. Control of the cost and duration of the activities was carried out, as well as to identify the risks and how to mitigate them. All in order that the final implementation result fully complies with the new structural design, which does comply with the requirements of the Costa Rican seismic code and soil conditions

As a result, a detailed description of the building reinforcement process is shown. The reinforcement lasted 115 days and a total cost of 80.027.488 colones, including materials, machinery and labor. The resulting cost is not the least possible. In addition to several drawbacks during the activities, other factors such as a late soil study affect the final cost. It is for this reason that the documentation of the contingencies and their solutions are of great help to future constructions that require a process similar to the one described in this document.

Keywords: reinforcement, columns, implementation.

Resumen

Este proyecto final de graduación, titulado "Ejecución de la construcción del reforzamiento del edificio del centro comercial Plaza Wong", constituye un documento acerca del proceso constructivo necesario para llevar a cabo el reforzamiento estructural, tanto de columnas como de cimientos, de una obra inconclusa y defectuosa.

El objetivo de esta práctica profesional radica en coordinar, ejecutar y supervisar el reforzamiento del edificio. De acuerdo con el diagnóstico inicial sobre el estado del inmueble, se desprende la necesidad de cuatro actividades globales: la excavación de columnas, la cimentación, el reforzamiento de columnas y la elaboración del contrapiso. Para llevar a cabo lo anterior, fue necesario inspeccionar diariamente el campo, además, recopilar datos sobre los materiales y el equipo correspondiente a cada tarea. Se llevó un control del costo y la duración de las actividades, asimismo, se identificaron los riesgos y se resolvió cómo mitigarlos. Todo con el fin de que el resultado de implementación final cumpla a cabalidad con el nuevo diseño estructural, el cual cumple con los requerimientos del código sísmico de Costa Rica y las condiciones del suelo.

Como resultado, se muestra una descripción detallada del proceso de reforzamiento del edificio. Este duró 115 días y tuvo un costo total de 80 027 488 colones, el cual incluye materiales, maquinaria y mano de obra. El costo resultante no es el mínimo posible. Además de varios inconvenientes durante las actividades, otros factores, como un estudio de suelo tardío, afectaron el costo final. Por esta razón, registrar los problemas y sus soluciones será de gran ayuda a futuras construcciones que requieran un proceso similar al descrito en este documento.

Palabras clave: reforzamiento, columnas, ejecución.

Ejecución de la construcción del reforzamiento del edificio del centro comercial Plaza Wong

ULISES PEDRO RODRIGUEZ BLANCO

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

Diciembre del 2016

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio	1
Resumen ejecutivo.....	2
Introducción.....	5
Antecedentes	7
Metodología	11
Resultados	13
Análisis de los resultados	26
Conclusiones.....	29
Recomendaciones	30
Apéndices	31
Anexos	32
Referencias	33

Prefacio

El reforzamiento de un edificio representa una solución estructural cuando se han cometido errores al construir obras (como por ejemplo, en la dosificación de concreto y en el armado de acero), con el fin de hacer cumplir los requisitos estipulados en el código sísmico de Costa Rica 2010.

Normalmente, la demolición constituye una práctica muy común cuando existe poca experiencia en la ejecución de un reforzamiento de los elementos dañados o mal construidos. Estas demoliciones pueden ser más prolongadas e, incluso, más costosas que un reforzamiento.

La alternativa en cuestión conlleva un proceso de mucho cuidado. Tanto determinar los materiales como el equipo necesario resulta vital para las cotizaciones. Asimismo, para el desarrollo de un cronograma es recomendable organizarlo según los tiempos adecuados, tomando en cuenta los riesgos que pueden existir dentro de cada actividad de un proceso de reforzamiento y saber cómo solucionar las posibles eventualidades en el menor tiempo posible para minimizar atrasos y así cumplir con el plazo establecido.

Los estudios previos a un reforzamiento son de suma importancia, como la revisión del sitio, determinar los defectos de la construcción, el estudio de suelos, si es preciso, y ejecutar pruebas de laboratorio tanto a la estructura existente como al producto final.

Finalmente, agradezco, en primer lugar, a Dios, por darme la fuerza y voluntad para finalizar con mis estudios; al profesor Ing. Milton Sandoval Quirós, ya que sus consejos me sirvieron de guía para cumplir con este proyecto; al Arq. Esteban Sandí de Summa Consultores, por brindarme la oportunidad de trabajar en la ejecución del proyecto; a mis hermanos Juan y María, por apoyarme siempre; a mis padres, por mostrarme con su ejemplo que con esfuerzo y dedicación se puede llegar al éxito; y a mis amigos, por siempre estar conmigo en los momentos más difíciles. Siempre estaré muy agradecido con todos.

Resumen ejecutivo

El centro comercial Plaza Wong conforma una obra de 2063 m² de 2 plantas y está ubicado en San José sobre el bulevar Paseo de los Estudiantes (Barrio Chino) entre las avenidas 8 y 10 colindante a Palí. Dicha obra fue detenida en el 2014 por falta de permisos.

En Marzo del 2016, el Arq. Esteban Sandí, director de la empresa Summa Consultores, asume el proyecto con el fin de concluir con las obras. Durante los primeros 15 días de trabajo, se detectaron defectos críticos en la estructura, sobre todo en las columnas. Summa Consultores decide subcontratar a la empresa Impetwo, especializada en diseños estructurales, para realizar un análisis del estado de la construcción. Mediante este, se encontraron los siguientes defectos:

- Las columnas no están alineadas en planta.
- El repello se desprende fácilmente.
- Las columnas no cumplen con el acero mínimo.
- No hay continuidad en el acero de las columnas del primer nivel hacia el segundo nivel, están cortadas.
- Las placas existentes, de 1 m x 1 m x 0,20 m, son muy pequeñas.
- No se reporta un estudio de suelos.

Por todo lo anterior, la ingeniera estructural Evelyn Chaverri sugiere realizar un reforzamiento en las columnas, a partir del cual nacen los objetivos para esta práctica profesional como ingeniero residente del proyecto.

Objetivo general:

Dirigir la coordinación, ejecución y supervisión del reforzamiento del edificio del centro comercial Plaza Wong conforma el objetivo principal de la presente práctica profesional como ingeniero residente del proyecto.

Objetivos específicos:

- Establecer una lista de las tareas requeridas para el reforzamiento de columnas.
- Determinar la maquinaria y el equipo necesarios para cada tarea del proceso reforzamiento de columnas.
- Determinar los materiales necesarios para cada tarea del reforzamiento de columnas.
- Organizar la logística para la ejecución de tareas del proceso de reforzamiento.
- Especificar el costo y duración real de las tareas realizadas.
- Identificar los riesgos que puedan afectar el proceso de reforzamiento del edificio Plaza Wong.

La Ing. Evelyn Chaverri solicitó un estudio de suelos en la construcción para determinar el tipo y la resistencia correspondiente a este caso. El estudio de suelos lo realizó la empresa Castro & de la Torre. Se concluyó que la capacidad del suelo es de 7 ton/m², lo cual es un valor que indica muy baja capacidad. Una vez obtenidos los resultados del estudio de suelos, la ingeniera estructural realiza el plano del nuevo diseño de columnas y cimentaciones.

Una vez entregado dicho plano en sitio, se procede al proceso constructivo del reforzamiento del edificio del centro comercial Plaza Wong. Se contrata un *backhoe* y una vagoneta para iniciar con la excavación de las columnas. Seguidamente, se procede al arreglo o emparejamiento de los huecos para ajustar las dimensiones lo más cercano posible a lo indicado por el plano. Paralelamente a esta actividad, se confeccionan los aros y el acero vertical de las columnas. Estos se empiezan a colocar en las columnas que fueron excavadas inicialmente.

Luego, se procede a nivelar las cimentaciones existentes con un sello de concreto pobre hecho en sitio. La nivelación resulta de gran importancia para distribuir

equitativamente los esfuerzos, a lo largo y ancho de la nueva cimentación. Después de haber iniciado la colocación del sello, se procede con el armado de las cimentaciones, según las indicaciones del plano. Una vez que una cierta cantidad de columnas cuentan con el acero de cimentación, el acero de la columna y el encofrado de la cimentación, se procede al chorreo de las cimentaciones. Para esto se contrató a la empresa Meco, la cual brindó sus servicios de chompipas y de bomba estacionaria.

En un reforzamiento de columnas es de suma importancia que el concreto nuevo se adhiera correctamente al concreto existente. Por eso se colocan los ganchos "U" alrededor de toda la columna, como una forma de transmitir los esfuerzos del concreto nuevo al existente. Después de finalizada la colocación de todo el acero de las columnas, incluyendo los ganchos "U", se procede a encofrar las columnas a una dimensión de 45 cm x 45 cm. Seguidamente, se realiza el chorreo en el que se incluye la piedra quintilla como agregado grueso en la preparación del concreto para garantizar que este pase a través del acero y la formaleta. También, es indispensable la vibración en las columnas para el correcto acomodo del concreto, y así evitar hormigueros.

Una vez que las columnas estén chorreadas sobre nivel de contrapiso, se procede al relleno de los huecos con lastre compactado, utilizando una plancha compactadora. El relleno se compacta por capas de 15 cm a 20 cm de espesor. Se rellena de lastre hasta llegar a 10 cm por debajo del nivel del contrapiso existente. Luego de compactado el relleno de lastre, se une la malla electrosoldada nueva con la existente y se chorrea el contrapiso, de forma que se restaura el edificio en su totalidad.

Como resultado del proceso, se determinó que el costo final del reforzamiento del edificio centro comercial Plaza Wong es de 80 027 488 colones y tuvo una duración total de 115 días. En la figura 1 se muestra cómo se desglosa el costo total del reforzamiento por tipo de recurso.



Figura 1. Costo real y porcentaje por tipo de recurso

Resulta fundamental llevar un control de costos en cuanto a compra de materiales, ya que con este se puede determinar si el costo real se ajusta o no al presupuesto inicial. Un buen control de costos ayuda a identificar dónde se cometieron errores en el cálculo de materiales, en los casos en donde existe una diferencia. En el siguiente gráfico se muestra una comparación del costo real de los materiales contra los materiales presupuestados. (Ver figura 2).

Cabe destacar que, a pesar de que los materiales presupuestados se pudieron dividir por actividad, no se logró contabilizar la cantidad de material utilizada por actividad, pues, en el momento de desarrollo de las obras, muchas actividades se realizaban simultáneamente y necesitaban de los mismos materiales. Por esta razón los materiales se dividieron en concreto, acero, formaleta y contrapiso. En el apéndice 3 y apéndice 4, se puede apreciar el desglose de cada uno de los materiales, la cantidad de material, su costo unitario y su costo total, tanto el real como el presupuestado.

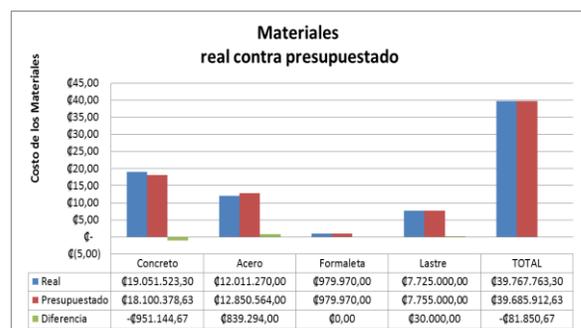


Figura 2. Materiales presupuestados vs costo real.

Es preciso subrayar que el uso del equipo adecuado para cada actividad le dio efectividad y calidad a los procesos de reforzamiento del edificio Plaza Wong. Sin embargo, tener un control dividido

de la administración (llevado a cabo directamente por el propietario) y efectuar los procesos de construcción influyeron en el costo y duración del procedimiento de reforzamiento.

Una de las recomendaciones principales consiste en realizar un examen minucioso a la construcción existente y un análisis comparativo del costo de una demolición contra el costo de un reforzamiento.

Introducción

El centro comercial Plaza Wong conforma una obra de 2063 m² de 2 plantas, ubicado en San José sobre el bulevar Paseo de los Estudiantes (Barrio Chino) entre las avenidas 8 y 10 colindante a Palí.



Figura 1. Ubicación del proyecto Plaza Wong

Hace 2 años, la municipalidad de San José detuvo la construcción de dicho centro comercial por falta de los permisos de construcción y la ausencia de una bitácora en el sitio por parte de la constructora a cargo en aquel entonces. En lugar de contratar una constructora, el dueño de edificación, el Sr. Carlos Wong, decide contratar directamente a un maestro de obras, operarios, peones y al arquitecto Esteban Sandí, director de Summa Consultores, encargado de la parte técnica (planos, permisos municipales, subcontratos, entre otros).



Figura 2. Estado inicial del proyecto Plaza Wong

La empresa Summa Consultores asume el proyecto con el fin de finalizar la obra inconclusa, que cuenta ya con el contrapiso, columnas, vigas de acero tipo americana, un tercio del entrepiso chorreado y las previstas de la instalación electromecánica.

La figura 2 ilustra el estado inicial del proyecto. Al retomar las obras, se detectaron defectos críticos en la estructura, sobre todo, en las columnas. Summa Consultores decide subcontratar a la empresa Impetwo, especializada en diseños estructurales, para revisar el estado de la construcción. De ese examen, se encontraron los siguientes defectos:

- Las columnas no están alineadas en planta.
- El repello se desprende fácilmente.
- Las columnas no cumplen con el acero mínimo.
- No hay continuidad en el acero de las columnas del primer nivel hacia el segundo nivel, están cortadas.
- Las placas existentes, de 1 m x 1 m x 0,20 m, son muy pequeñas.
- No se reporta un estudio de suelos.

Así las cosas, la ingeniera estructural, Evelyn Chaverri, sugiere realizar un reforzamiento en las columnas, para que pueda soportar las cargas muertas y cargas temporales. A partir de esta iniciativa, nacen los objetivos para esta práctica profesional como ingeniero residente del proyecto.

Objetivo general:

Dirigir la coordinación, ejecución y supervisión del reforzamiento del edificio del centro comercial Plaza Wong.

Objetivos específicos:

- Establecer una lista de las tareas requeridas para el reforzamiento de columnas.

- Determinar la maquinaria y el equipo necesarios para cada tarea del proceso reforzamiento de columnas.
- Determinar los materiales precisos para cada tarea del reforzamiento de columnas.
- Organizar la logística para la ejecución de tareas del proceso de reforzamiento.
- Especificar el costo y duración real de las tareas realizadas.
- Identificar los riesgos que puedan afectar el proceso de reforzamiento del edificio Plaza Wong

A Summa Consultores le interesa que el resultado de esta práctica profesional sea documentado como referencia para futuros proyectos que requieran el mismo proceso.

Antecedentes

Se presenta primordial mencionar los antecedentes de la obra, es decir, las actividades que se realizaron posteriores al proceso constructivo para poder entender el procedimiento emprendido en este proyecto.

Estudio de Suelos

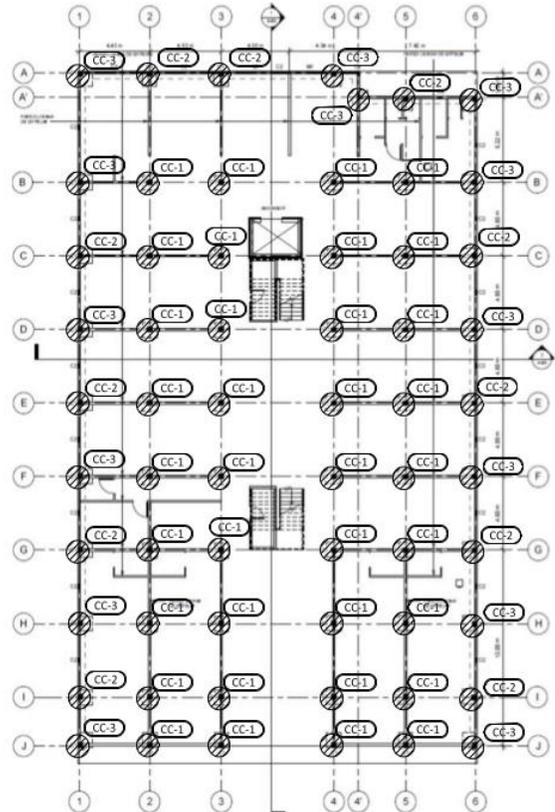
El estudio de suelos lo realizó la empresa Castro & de la Torre, para el cual, se determinaron primero 4 puntos estratégicos de la construcción. En cada punto, se extrajeron muestras, una a cada metro hasta llegar a una profundidad de 5 metros. El estudio concluyó que la capacidad del suelo es de 7 ton/m^2 , lo cual representa un valor de muy baja capacidad, según indica la ingeniera estructural. Con dicho resultado, se verificó que las placas existentes eran muy pequeñas, por lo tanto, es necesario rediseñar también los cimientos. En el diseño propuesto por la ingeniera estructural primero se clasifican las columnas según su propósito. Y a cada tipo de columna se le diseña una placa acorde a las necesidades.

Estado inicial de la Obra

Dentro de los defectos encontrados inicialmente en la obra, destaca, por ejemplo, la deficiencia de acero en las columnas, la falta de continuidad de este hacia la segunda planta y un repello de mala calidad. A partir de esta condición, se desprenden como actividades por realizar el removimiento del repello, el rediseño de la estructura de las columnas y el proceso de reforzamiento en sí mismo, para ajustar el nivel de acero que exige el código sísmico de Costa Rica.

La obra cuenta con 54 columnas, que se dividieron en columnas centrales y columnas de extremo. Las primeras tienen la abreviatura de CC-1, mientras que las segundas están divididas en dos tipos: CC-2 y CC-3. La figura 3 muestra la distribución de las columnas de acuerdo al tipo. Las abreviaturas CC-1, CC-2 y CC-3, a lo largo de este documento, se utilizan no solo para

referirse a las columnas, sino también a sus respectivas placas de cimentación.



PLANTA DE COLUMNAS A REFORZAR

ESCALA 1:100

Figura 3. Plano de distribución de columnas

Diseño

En este apartado se pretende describir el diseño de las cimentaciones y el diseño de las columnas, tomando en cuenta los factores que influyeron el estudio de suelos y el estado inicial de la obra. Dicho diseños fueron hechos por la ingeniera estructural, Evelyn Chaverri, de la empresa Impetwo.

Cimentaciones

Para las columnas CC-1, se aplicó una cimentación conocida como placas flotantes, que se caracteriza por cimentaciones de grandes dimensiones para evitar sedimentación en suelos de baja capacidad. Sobre una de estas placas CC-1 van 2 columnas, mientras que las columnas de extremo colindantes con los otros edificios tienen su propia placa y van intercaladas una entre la otra, tal y como se muestra en la figura 4. Nótese también que las placas CC-1 muestran distintos tamaños, dependiendo de su ubicación.

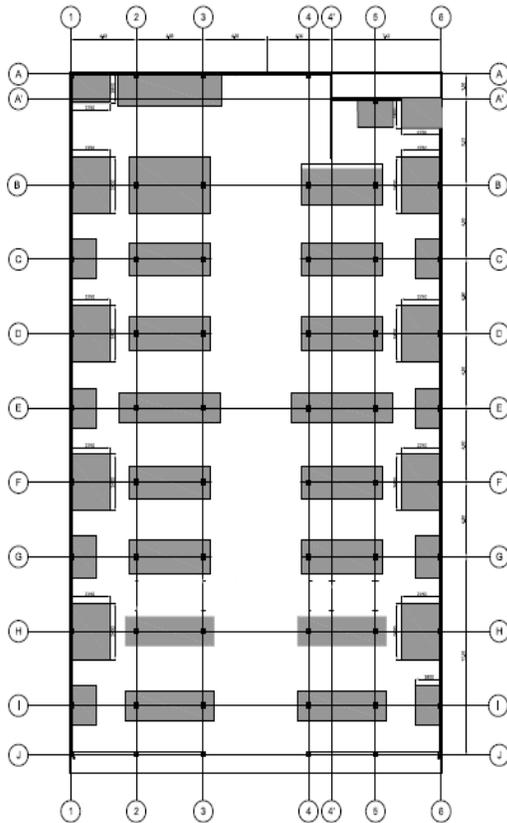


Figura 4. Plano de dimensiones de las cimentaciones.

Columnas

En cuanto al diseño específico de las columnas, las CC-1 y CC-2 comparten la característica de que finalizan hasta nivel de entrepiso, como se muestra en la figura 5, mientras que las columnas CC-3 suben un metro arriba de entrepiso. Este metro extra funciona como un pedestal en donde se colocan pernos para unir las columnas de

concreto con las columnas metálicas que serán parte de la estructura de la segunda planta. (Ver figura 6.)

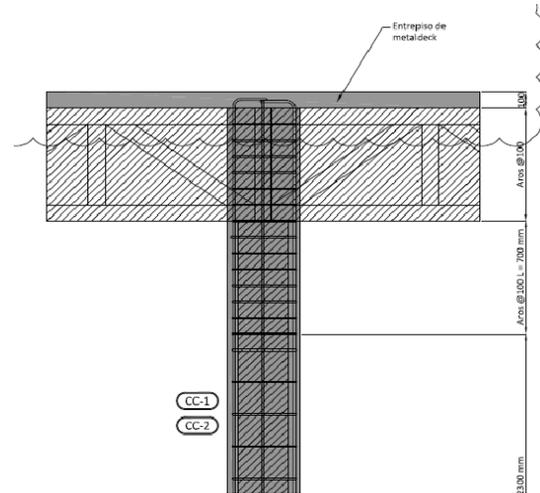


Figura 5. Diseño de las columnas CC-1 y CC-2.

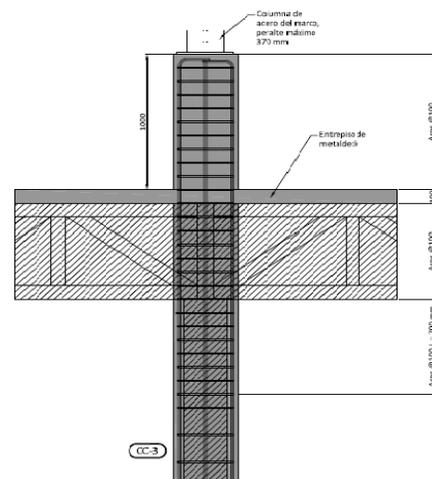


Figura 6. Diseño de las columnas CC-3.

El diseño del reforzamiento de las columnas fue realizado por la ingeniera estructural, Evelyn Chaverri, de la empresa Impetwo. En este apartado, se describe el diseño resultante, el cual constituye la referencia final para la ejecución del reforzamiento.

Las columnas de concreto originalmente son de 30 x 30 cm y tienen varillas 4#4 y aros #3 a cada 20 cm. La razón del área de refuerzo longitudinal al área bruta de la sección de concreto es de 0.0057, por lo que no cumple con el 0.01 solicitado en el artículo 8.3.3 del Código

Sísmico de Costa Rica 2010. Adicionalmente, no cumple con los requisitos de confinamiento de la sección 8.3.4.c, que dicta la separación del acero en la zona de confinamiento. La ingeniera estructural propone el siguiente diseño de reforzamiento de la columna:

Cuadro 1. Diseño de reforzamiento de la columna		
Tamaño	45x45 cm	
Acero longitudinal	8#5 + 4#4	21,2 cm ²
% de acero		1,04%
Acero transversal	aros #4 @ 10 cm	
	aros #4 @ 20 cm	
Separación máx. en zona de confinamiento		11,25 cm
Separación máx. en zona normal		22,5 cm

El cuadro 2 muestra la capacidad de resistencia de la columna original, la capacidad de resistencia del anillo perimetral adicional y la resistencia última nominal de la columna completa.

Cuadro 2. Resistencia del encamisado	
ΦPn Columna completa	276,41 ton
ΦPn Columna original	122,85 ton
ΦPn encamisado	153,56 ton

Para garantizar que la columna completa alcance dicha resistencia se debe calcular la cantidad de ganchos "U" para que la adherencia del concreto nuevo con el existente sea efectivo. El cuadro 3 muestra el cortante a transmitir a los ganchos "U" y la cantidad necesaria por columna.

Cuadro 3. Ganchos "U"	
Cortante a transmitir por los ganchos "U"	153,56 ton
Capacidad de un gancho "U"	3,58 ton
Cantidad de ganchos "U" necesarios por columna	43

A continuación, se muestran los diseños específicos para cada tipo de columna, siempre basados en el cuadro 1, con algunas modificaciones de acuerdo con el propósito de la columna. La armadura de la columna CC-1 está compuesta por 8 varillas verticales #5 y aros de varilla #4, tal y como se muestra en la figura 7. Esta columna coincide con la descripción del cuadro 1.

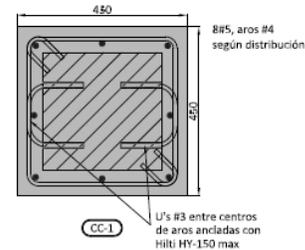


Figura 7. Diseño de las columnas CC-1

La columna CC-2 pierde 7.5 cm de encamisado por estar colindando con la pared del vecino, lo cual repercutió en la reducción del tamaño de la columna a 45 cm x 38.5 cm. La armadura está compuesta por 7 varillas verticales #5 y aros de varilla #4, tal y como se muestra en la figura 8. A pesar de la modificación del diseño en cuanto a tamaño (1732,5 cm²) y acero (18,9 cm²), esta sigue cumpliendo con el requisito del código sísmico.

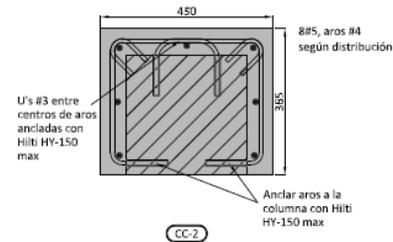


Figura 8. Diseño de las columnas CC-2

La columna CC-3 también colinda con la pared del vecino, pero, a diferencia de la columna CC-2, los 7,5 cm del encamisado es trasladado al frente de la columna, de forma que mantiene el tamaño de 45 cm x 45 cm. La armadura está compuesta por 9 varillas verticales #5 y aros de varilla #4, tal y como se muestra en la figura 9. Estos cambios de diseño con respecto al cuadro 1 se dan por el hecho de que estas columnas deben soportar el peso de las columnas y el techo de la segunda planta.

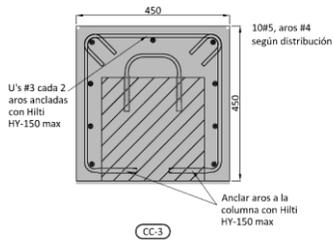
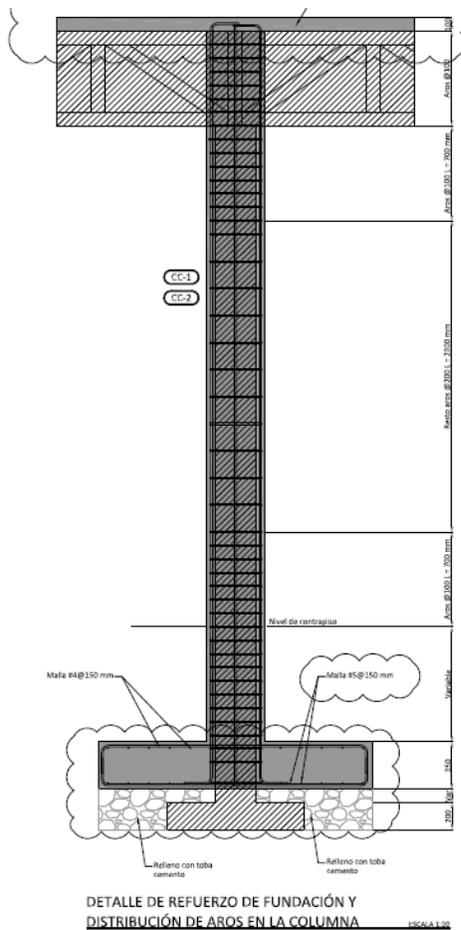


Figura 9. Diseño de las columnas CC-3.

La separación de aros se basa en la siguiente distribución por concepto de diseño: la separación consta de 10 cm desde el inicio de la cimentación hasta 70 cm por encima del contrapiso. Luego, cambia a 20 cm hasta llegar a un nivel 70 cm por debajo de la viga americana. A partir de este punto, la separación se vuelve a reducir a 10 cm hasta el nivel del entrepiso (Ver figura 10).



DETALLE DE REFUERZO DE FUNDACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AROS EN LA COLUMNA

Figura 10. Distribución de aros de las columnas

Metodología

Las soluciones y actividades específicas para el reforzamiento de un edificio dependen del estado inicial de la construcción, de las condiciones específicas de diseño y del resultado de un estudio de suelos. Una vez conocido el diseño de las cimentaciones y las columnas de acuerdo a su clasificación, se desprenden las siguientes actividades específicas.

OE1: Establecer una lista de las tareas requeridas para el reforzamiento de columnas

Con respecto al primer objetivo, se debe realizar una investigación en vistas de determinar las tareas necesarias para desarrollar el proceso de reforzamiento de columnas. También se puede buscar el apoyo de ingenieros estructurales expertos en el tema.

OE2: Determinar el equipo y maquinaria necesario para realizar el proceso reforzamiento de columnas

Con respecto a este objetivo, se plantea una investigación para determinar el equipo y la maquinaria precisa para realizar los trabajos de las tareas que se encuentran en lista. En este caso, el maestro de obras, Néstor Talavera, resulta de gran utilidad por su experiencia en campo, para determinar cuál maquinaria y qué equipo es el indicado para que los trabajos sucedan con mayor eficiencia.

OE3: Determinar los materiales necesarios para reforzamiento de columnas

Con ayuda de los planos entregados por Evelyn Chaverri, ingeniera estructural de la empresa Impetwo, se determina la cantidad de materiales requeridos para el desarrollo del proceso de reforzamiento de columnas. Entre estos materiales se destacan: la cantidad de acero, cantidad de concreto para las chorreas, sacos de cemento, piedra, arena, entre otros.

OE4: Organizar la logística para la ejecución de cada tarea

Antes de iniciar con el trabajo correspondiente a las tareas del proceso, se realizará un análisis de los materiales, el equipo y la maquinaria necesaria para el desarrollo. Este examen debería establecerse con una semana de anticipación, como mínimo.

Con la información recolectada según los anteriores objetivos, se procede a buscar cotizaciones en diferentes empresas con respecto al alquiler de equipos o compra de materiales, con el fin de minimizar los costos de la construcción del reforzamiento del edificio.

Se define el orden en el que se irán trabajando las columnas, de manera que una no interfiera con el desarrollo de las otras, de modo que el trabajo sea continuo.

Se debe coordinar las fechas y hora de entrega de los materiales con los proveedores para evitar problemas con la policía municipalidad, ya que estos no permiten el ingreso de vehículos dentro del bulevar. También es importante supervisar la cantidad de materiales que se encuentre en el sitio, esto ayuda a prevenir que los materiales no se agoten antes de que el nuevo material ingrese a la construcción, así se evitan atrasos incensarios.

Se debe supervisar y cuidar el equipo alquilado para evitar un mal uso o un posible robo, con el fin de minimizar costos y evitar atrasos.

Diariamente, es preciso coordinar con el maestro de obras el manejo de la mano de obra. Rotar a los trabajadores cada cierto periodo puede ayudar a determinar la capacidad de ellos en las diferentes labores.

OE5: Especificar el costo y duración real de las tareas realizadas

Para el cumplimiento de este objetivo, resulta útil contar con una libreta con todos los

días del año, donde se pueda apuntar los inicios de las actividades y su finalización. Esto ayudará a controlar la duración de los procesos cada semana.

Es importante llevar un registro de los materiales comprados por semana, en el cual se incluya también el costo del alquiler o compra de algún equipo y el costo de la mano de obra. La información del pago de la mano de obra lo proporciona el maestro de obras, ya que lleva el control de las horas laboradas por cada trabajador de la construcción.

En caso de no asistir algún día a la construcción, el maestro de obras puede indicar lo sucedido durante el día, si se presentó algún problema, cómo se solucionó, también, si se inició alguna actividad o si se finalizó, al igual, con los materiales que llegan al sitio o sobre el equipo de trabajo.

Mediante el programa Microsoft Project se puede desarrollar un cronograma con todas las actividades que conlleva el proceso de reforzamiento de columnas, de manera que se especifique su duración y su costo.

OE6: Identificar los riesgos que afecten el proceso de reforzamiento del edificio Plaza Wong

La supervisión se estima importante en el proceso de reforzamiento de las columnas, para poder atender cualquier problema presentado en campo y documentar la decisión tomada para solucionar el inconveniente. En caso de que exista una circunstancia complicada, sirve de gran ayuda tener a mano el contacto de algún ingeniero estructural, experto en el tema o que haya tenido experiencias en estos procesos de reforzamiento de edificios.

Durante todas las actividades, es conveniente documentar los problemas que sucedan y buscar una solución.

Para minimizar los atrasos, se deben planear los materiales y equipos indispensables para las futuras actividades con una semana de anticipación, como mínimo. Además, es preciso llevar un control tanto de los costos de los materiales comprados, la maquinaria alquilada y la mano de obra como de los días de inicio y finalización de las tareas, con el objetivo de determinar la duración de cada una.

Resultados

Como resultado de esta práctica se presenta una documentación de las siguientes 4 actividades globales que se determinaron como necesarias para llevar a cabo el reforzamiento del edificio del centro comercial Plaza Wong:

- Excavación de columnas
- Cimentación
- Reforzamiento de columnas
- Elaboración del contrapiso

Se describe, de manera cronológica, el proceso constructivo así como los detalles técnicos específicos de cada solución. También se describen cualquier problema de haberse presentado. Finalmente se presenta un reporte acerca del presupuesto y costo de todo el proceso.

Proceso Constructivo

A continuación se detallan todas las actividades del proceso constructivo del reforzamiento de columnas del edificio de Plaza Wong.

Excavación

El proceso de excavación de las cimentaciones se subdividió en 2 tareas:

- Excavación a mano
- Excavación con *Backhoe*

Excavación inicial a mano

Esta primera actividad inició el 04 de abril. Se procedió a verificar que las placas de 1 m x 1 m x 0,20 m mostradas en el plano existente eran como las que se encontraban en el sitio. No obstante, a pesar de que estas concordaban, por recomendación de la ingeniera estructural, son ampliadas. Por lo tanto, se ordena iniciar una excavación de 2 m x 2 m alrededor de las columnas.

Lo anterior se emplea como adelanto, mientras se realiza el estudio de suelos, el cual se utiliza posteriormente para diseñar las nuevas placas de las columnas.

Para esta actividad se utilizaron las siguientes herramientas:

- Palas.
- Macanas o barras de hierro.
- Picos o sachos.
- Carretillos.
- Rompedora de concreto.



Figura 11. Excavación a mano de las columnas.

Se le indicó al dueño que dichos trabajos eran muy pesados para los peones y que era más rápido y efectivo el uso y alquiler de un equipo como un Bobcat. Luego de presentarle varias cotizaciones y ofertas de diferentes empresas, todas fueron rechazadas por el propietario, ya que le parecían muy caras.

Producto de la excavación, el sitio se empezó a llenar de material, por tanto, fue necesaria la contratación de un camión para que transportara el material a algún botadero. Se sirvió de un camión de 4m³ de capacidad, el cual tenía un costo de 33 000 colones por viaje. Los trabajos de excavación se extendieron por 32 días y se realizaron una cantidad de 100 viajes, para un costo total de 3 300 000 colones.

Excavación con *backhoe*

Luego de que la ingeniera estructural enviara los planos de las nuevas cimentaciones, se realizó una reunión el 10 de mayo en donde se determinó que era indispensable suspender la excavación a mano y los viajes en camión e iniciar inmediatamente a trabajar con *Backhoe* y el transporte de material con vagoneta.

Esta actividad inició con la excavación de las columnas CC-1 y CC-2, ubicadas al fondo de la obra. Asimismo, la tarea sucedió el día 12 de mayo, tras la contratación de un *backhoe* por el precio de 15 000 colones por hora y el viaje de vagoneta a 45 000 colones.



Figura 12. Excavación de columnas centrales (CC-1).

La excavación de las columnas CC-3 se inició hasta el 11 de julio, por varios motivos:

- 1) Se debía esperar el diseño de la estructural para saber las dimensiones de los huecos.
- 2) El acceso del *backhoe* al área de trabajo de las CC-3 era imposible por la existencia de las excavaciones de las CC-1.
- 3) La bodega, los materiales y los talleres de armadura y carpintería debían ser reubicados.
- 4) Nuevas excavaciones cercanas a las ya finalizadas pueden provocar derrumbes.

Por lo anterior, se adelantaron los procesos de chorreo de columnas CC-1 y CC-2 hasta llegar a las actividades de colocación de lastre a nivel de entepiso. Esto se ejecutó para dar acceso al *backhoe* a las columnas CC-3 y así poder iniciar los trabajos de excavación.

Dentro de los riegos de la excavación se pueden destacar los siguientes:

- 1) El agua de las lluvias se empozaban en las excavaciones, esto provocaba dificultad en la limpieza o emparejamiento de estas.
- 2) Producto de las lluvias, ocurrieron derrumbes que ensuciaron excavaciones ya finalizadas.

La alternativa a estos problemas residió en el uso de bomba para sacar el agua y el empleo de plástico negro en el perímetro de los huecos para evitar que absorban agua y se derrumben.

Esta actividad finalizó el 25 de julio y obtuvo un tiempo efectivo total de *backhoe* de 84 horas, lo que equivale a un costo de 1 260 000 colones y 35 viajes de vagonetas con un costo de 1 575 000 colones, por lo tanto, el costo total de la actividad fue de 2 835 000 colones.



Figura 13. Excavación de columnas CC-3

Cimentación

La construcción de las cimentaciones tiene varias tareas entre ellas destacan:

- sello de nivelación
- armado de la cimentación
- chorrea de la cimentación

Sello de nivelación

Esta actividad inició el 16 de mayo y tiene como función rellenar con un concreto pobre o toba cemento hasta el nivel de las cimentaciones existentes. Cada placa CC-1 soporta dos columnas. Existía el problema que la mayoría de las cimentaciones no se encontraban a la misma profundidad. Por lo que se tomó la decisión de rellenar hasta la cimentación que tenía menor profundidad y así garantizar que la nueva

cimentación se va a sentar sobre una superficie fuerte y plana.

La actividad de nivelación requiere que los peones realicen el arreglo o emparejamiento del perímetro de las excavaciones que excavó el *backhoe*. Esto para darle una forma rectangular de acuerdo a la dimensión de cada cimentación.



Figura 14. Limpieza y arreglo de los huecos.

Para ubicar el sello de nivelación se utilizaron equipos de trabajo como

- Batidora de 2 sacos.
- Carretillos.

La dosificación para realizar este concreto pobre con la batidora de 2 sacos requiere:

- 16 cubetas de piedra cuarta.
- 10 cubetas de arena.
- 3 cubetas de agua con una relación agua-cemento de: $(A/C) = 0.66$.

El total de materiales que se necesitaron para colocar el sello de nivelación en todas las cimentaciones fue de:

- 463 sacos de cemento.
- 40 m^3 de piedra.
- 30 m^3 de arena.

La actividad finalizó el 29 de julio con todas las cimentaciones, las cuales incluían las columnas CC-3 y se consiguió un total de 66 m^3 de concreto pobre con un costo total de 3 723 284 colones. Por lo tanto, el metro cúbico obtuvo un valor de 56 242 colones.



Figura 15. Colocación del sello de nivelación.

Armadura de la cimentación

La colocación de la armadura de la cimentación inició el 17 de mayo. Un operario estaba a cargo de la confección de los dobleces de las varillas, mientras que otro operario junto con un ayudante iba armando y amarrando las mallas de la cimentación.

Las cimentaciones de las columnas CC-1 tienen diferentes dimensiones. El cuadro 4 muestra la cantidad de placas para cada tamaño y sus correspondientes dimensiones.

Cuadro 4. Dimensiones de las placas CC-1			
Nº de Placas CC-1	Largo (m)	Ancho (m)	Espesor (m)
1	7	2	0,35
1	5,5	3,45	0,35
1	5,5	2,5	0,35
8	5,5	2	0,35
6	6,4	2	0,35



Figura 16. Armado de cimentaciones de columnas CC-1

Todas las cimentaciones de las columnas CC-2 mantienen las mismas dimensiones, mientras que las de las columnas CC-3 son iguales, a excepción de las 2 esquineras al fondo de la construcción. (Ver cuadro 5 y figura 4).

Cuadro 5. Dimensiones de las placas CC-2 y CC-3			
Nº de Placas CC-2	Largo (m)	Ancho (m)	Espesor (m)
8	2,4	1,8	0,35
Nº de Placas CC-3	Largo (m)	Ancho (m)	Espesor (m)
8	3,4	2,75	0,5
2	2,75	1,85	0,5



Figura 17. Armado de cimentaciones de columnas CC-3

Para las cimentaciones con un espesor de 35 cm, la armadura se diseñó con ganchos de 25 cm. Mientras que las cimentaciones con 50 cm de espesor poseen ganchos de 40 cm. El recubrimiento mínimo de todas cimentaciones es de 5 cm.

Las armaduras CC-2 y CC-3 fueron armadas fuera de las excavaciones, ya que sus tamaños y formas lo permitían. Lo anterior brindó mayor comodidad y eficiencia en el proceso a la hora de colocarlas. Las armaduras CC-1, por el contrario, sí tuvieron que construirse directamente en el sitio de la excavación, pues la armadura debía rodear las columnas. Las armaduras de las cimentaciones están compuestas por la malla inferior de acero #5 y una malla superior de acero #4. Ambas con una separación en la malla de 15 cm x 15 cm.

Durante el proceso de construcción de las armaduras de las placas CC-1 y CC-2, hubo un problema con el proveedor del acero, quien indicó que la cantidad de varilla #5 solicitada no estaba disponible. Así las cosas, se tomó la

decisión de cambiar el diseño de algunas placas, sustituyendo la malla inferior #5 de 15 cm x 15 cm por una malla #4 de 10 cm x 10 cm con el fin que minimizar el atraso. Cabe destacar que este cambio fue avalado por la ingeniera estructural. Las placas que sufrieron dicho cambio se muestran en el cuadro 6.

Cuadro 6 Placas con malla inferior de acero #4			
N.º de Placas CC-1	Largo (m)	Ancho (m)	Espesor (m)
1	5,5	2,5	0,35
5	5,5	2	0,35
5	6,4	2	0,35
Nº de Placas CC-2	Largo (m)	Ancho (m)	Espesor (m)
4	2,4	1,8	0,35

Esta actividad finalizó el 30 de julio utilizando 1726 varillas #4 y 700 varillas #5 y 588 kg de alambre negro con un costo total de 6.027.512 colones

Chorro de la cimentación

Esta labor se efectuó con la ayuda de la empresa Meco, en 5 fechas, como se observa en el cuadro 7.

Cuadro 7. Cantidad de concreto real y teórica.					
	26-05	04-06	24-06	21-07	01-08
Real (m3)	30	21	36	24	24
Teórica (m3)	28	19	34	21	23

Además, en ese también se describe la cantidad de concreto que se calculó teóricamente y la que fue vertida en la realidad. Estos datos no son iguales por dos razones:

- 1) Los huecos no tienen las dimensiones perfectas como se describen en el plano.
- 2) La nivelación del concreto final que se coloca en cada cimentación no es exacta.

Para esta actividad se chorrearon un total 135 m³ con costo total de 10 771 500 colones. El costo por metro cúbico es de 74 000 colones.



Figura 18. Chorra de cimentación CC-1

Reforzamiento de Columnas

El proceso de reforzamiento de las columnas implica varias tareas, entre ellas destacan:

- Remoción del repello.
- Armado de las columnas.
- Colocación de ganchos “u”.
- Colocación de formaleta.
- Chorra de columnas.

Remoción del repello

Esta actividad inició el 28 de marzo, una semana antes de realizar el reforzamiento de columnas, puesto que el repello existente era de muy mala calidad y se desprendía fácilmente. Este trabajo finalizó el 25 de mayo con la totalidad de las columnas. Las herramientas, como una piqueta o un cincel, son efectivas para que esta tarea se realice con rapidez y facilidad.



Figura 19. Remoción del repello a las columnas.

Armado de las columnas

Esta es la tercera actividad en iniciar durante el proceso de reforzamiento. Inició el 06 de mayo. Los aros se caracterizan por la necesidad de confeccionarse en dos piezas, como una solución para poder colocarlos con eficiencia tal y como se muestra en la figura 20.



Figura 20. Aros de las columnas CC-1.

Los aros de las columnas CC-1 forman un cuadrado de 40 cm x 40 cm al ser colocados y unidos en la columna, esto pretende que la columna de 45 cm x 45 cm quede con un recubrimiento de 2.5 cm. Su armado se ilustra en la figura 21.



Figura 21. Armado de las columnas CC-1.

Con respecto a los aros de la columna CC-2, tienen la misma distribución que los de la columna CC-1, pero sus dimensiones (35 cm x 40 cm) varían ya que las columnas se encuentran colindando con la pared del vecino.



Figura 22. Aros de las columnas CC-2.

La figura 22 muestra los aros de la columna CC-2, los cuales debían ser anclados a la columna existente a una profundidad de 11.5 cm, utilizando un epóxico Hilti HY-200 de acuerdo al diseño de la figura 8. El procedimiento de anclado de estos aros es igual al empleado en la colocación de los ganchos “U” que se describirá detalladamente en el próximo apartado.



Figura 23. Armado de las columnas CC-2.

Al igual los aros de la columna CC-2, los aros de la columnas CC-3 debían ser anclados a la columna existente a una profundidad de 11.5 cm, utilizando un epóxico Hilti HY-200, como se especifica en el diseño de la figura 9. Su procedimiento de anclaje es el mismo.

Los aros de la columna CC-3 tienen las mismas dimensiones que los de la columna CC-1 (40 cm x 40 cm). Como se mencionó anteriormente, estas columnas deben soportar el peso de la estructura metálica de la segunda planta. Por lo tanto, en el diseño se procuró mantener las dimensiones, a pesar de que se encontraran colindando con la pared del vecino.

Para completar esta actividad, se utilizaron 430 varillas #4 para los aros, 626 varillas #5 para el acero vertical y 300 kg de alambre negro. El costo de materiales llegó a los 2 795 322 colones y finalizó el 11 de agosto.

Colocación de ganchos “U”

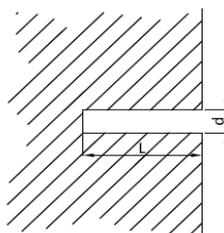
La actividad de la colocación de los ganchos “U” inició el 26 de mayo, 21 días después de haber iniciado el armado en las columnas. Esta tarea depende de que sus aros estén colocados. Entonces, se esperó a tener cierta cantidad de columnas armadas para realizar ambas actividades de manera simultánea.

Los ganchos “U” consisten en varillas #3 que se doblan de manera que se forme una “U” con 2 patas de 12.5 cm y un ancho de 20 cm, según se observa en el diseño de los 3 tipos de columna en las figuras 7, 8, y 9. Su función principal es poder conectar el nuevo concreto de reforzamiento con el concreto de la columna existente. Esto transmite los esfuerzos a todo el largo y ancho de la columna.

Seguidamente, se presenta el procedimiento general requerido para situar este tipo de ganchos, para garantizar un buen anclaje.

Procedimiento:

- 1) Realizar la perforación con una longitud L utilizando una broca de diámetro d de acuerdo a lo indicado en el cuadro de la figura 24, dependiendo del número de varilla que se desee colocar.
- 2) Limpiar la perforación de impurezas, una compresora de aire es de gran utilidad.
- 3) Inyectar el epóxico con la pistola Hilti HY-200 hasta rellenar 2/3 de la perforación.
- 4) Insertar la varilla en el hueco.
- 5) Esperar el tiempo de endurecimiento del epóxico.



Varilla	L (mm)	d (mm)
#3	100	12.7
#4	115	15.8
#5	150	19.1
#6	200	22.2

Figura 24. Detalle de profundidad de perforación con respecto al diámetro.

Este procedimiento también aplica para ubicar los aros de las columnas CC-2 y CC-3. Para esta actividad se requirió de 2 taladros de marca Hilti, especializada en trabajos de perforación de concreto. Además, estos taladros son ligeros y potentes, lo cual otorgó eficacia a la

actividad. También se necesitaron de 278 varillas #3 y 187 cartuchos de epóxico. Cabe destacar que estos cartuchos también fueron utilizados en el anclaje de los aros a las columnas CC-2 y CC-3.

El costo total de los materiales para esta actividad sumó 4 027 730 colones. La colocación de los ganchos "U" finalizó 12 de agosto, un día después de haber concluido el armado de las columnas, esto significa que terminaron casi simultáneamente, sin ningún atraso.



Figura 25. Colocación de ganchos "U"

Colocación de formaleta

Esta etapa inició el 09 de junio en las columnas CC-1y tuvo varias complicaciones que se enumeran a continuación:

- 1) Las columnas existentes estaban desplomadas, por lo que en varias partes de la columna se reducía o se ampliaba mucho el espacio entre la columna existente y la formaleta.
- 2) Las columnas estaban ligeramente giradas sobre su eje, de modo que en las esquinas se reducía el espacio.
- 3) No se le podía dar línea a las columnas, ya que la desviación una de la otra era considerable.



Figura 26. Columna girada sobre su eje.

En la figura 26, se observa cómo se reduce el espacio de concreto en la esquina más cercana, mientras que en la esquina del fondo se amplía. Para esta actividad se utilizaron 320 varas de tabla de 12" x 1" semidura y 416 varas de regla de 3" x 1" semidura como formaleta en las primeras columnas.



Figura 27. Encofrado de columnas con madera.

Se le recomendó al propietario el alquiler de paneles, ya que tienen muchas ventajas sobre la formaleta de madera, por ejemplo:

- La colocación de paneles es más sencilla, por lo tanto, se agilizaría el proceso considerablemente.
- Los paneles se pueden reutilizar muchas más veces que la madera.
- El acabado de los paneles es más estético que el de la madera.
- Se reduce la cantidad de puntales a colocar, pues los paneles soportan más la presión del concreto que la madera.

Sin embargo, ninguna de las cotizaciones fue aceptada por el dueño, puesto que consideraba que el alquiler era muy caro. Como alternativa para aligerar el proceso, se tomó la decisión de confeccionar los paneles. Para este trabajo se necesitaron 30 unidades de angulares

de 2 x 2 pulgadas y 5 láminas de *plywood*. Con dichos materiales se confeccionó 8 paneles de 3 metros y 8 paneles de 1.5 metros.



Figura 28. Encofrado de columnas con paneles confeccionados in situ.

Se deben tomar en cuenta ciertos cuidados para realizar un buen encofrado:

- 1) Asegurarse de que los paneles estén bien plomados, existen instrumentos como el plomo o el nivel con los que se puede verificar.
- 2) Colocar helados de 2 cm, como mínimo, entre el acero y la formaleta, con el fin de asegurar un buen recubrimiento.
- 3) Colocar desmoldante a la formaleta para que no se quede pegada al concreto.
- 4) Apuntalar la formaleta para darle plomo y para que no se abra por la presión que ejerce el concreto.

Esta tarea duró 51 días, finalizó el 13 de agosto con un costo total de 979 970 colones.

Chorro de columnas

Inició el 14 de junio con el chorro de las columnas CC-1. Esta actividad requiere de sumo cuidado, pues el espacio por donde debe introducirse el concreto es muy reducido, de tal manera, se tomaron estas precauciones:

- 1) Se utilizó una piedra de un tamaño nominal pequeño (19mm) conocida como piedra quintilla.
- 2) Se alquiló un vibrador pequeño que pudiera entrar entre la formaleta y el acero para así garantizar el acomodo del concreto y evitar hormigueros.
- 3) Se diseñó una dosificación con una resistencia mayor a 210 kg/cm^2 según tabla de dosificación de concretos del Ing. Mauricio Araya. (Anexo 3).

Para esta actividad se utilizaron equipos de trabajo como:

- Batidora de 2 sacos.
- Carretillos.
- Vibrador pequeño.

La dosificación adecuada para obtener una resistencia mayor a 210 kg/cm^2 al realizar el concreto para las columnas con la batidora de 2 sacos, contó con:

- 10 cubetas de piedra quintilla.
- 6 cubetas de arena.
- 3 cubetas de agua una relación agua-cemento de: $(A/C) = 0.66$.

El total de materiales necesarios para colocar el concreto de todas las columnas fue de:

- 218 sacos de cemento.
- 19 m^3 de piedra quintilla.
- 14 m^3 de arena.

Para agilizar esta y otras actividades, se tomó la decisión de chorrear inicialmente los primeros tres metros de las columnas, hasta sobrepasar el nivel de contrapiso, con el fin de poder iniciar con el proceso de compactación de lastre.



Figura 29. Chorrea de columnas hasta 3 metros de altura.

Una vez colocado el lastre se procedía a chorrear la segunda parte de la columna hasta casi tocar la viga americana. El resto de la columna o el nudo de la columna se coló con el entrepiso para que estos quedaran unidos por un mismo concreto.



Figura 30. Chorrea de columnas parte alta hasta entrapiso.

Las columnas CC-3 se chorrearon un metro encima del entrapiso, como soporte y unión con las columnas metálicas del segundo nivel, tal y como se había diseñado.



Figura 31. Pedestales de las columnas CC-3

La actividad finalizó el 18 de agosto con todas las columnas, sumó un total de 31 m³ de concreto, con un costo total de 1 741 066 colones. Por lo tanto, el metro cúbico tuvo un valor de 56163 colones.

Contrapiso

El proceso de la restauración del contrapiso se conforma por varias tareas, entre ellas destacan:

- Compactación del lastre.
- Colocación de la malla electrosoldada.
- Chorrea del contra piso.

Compactación del lastre

La compactación de lastre inició el 27 de junio, 2 semanas después de haber iniciado el colado de las columnas. Para obtener una buena compactación de lastre, este se debe realizar por capas. Cada capa de lastre debe rondar entre los 15 cm y 20 cm de espesor. Para esta actividad, el propietario compró una plancha compactadora de 800 000 colones. La plancha se utilizó para

compactar cada capa hasta rellenar a un nivel de -10 cm con respecto del contrapiso. En promedio, se calculó que se compactaban alrededor de 24 m³ diarios.



Figura 32. Compactación de las primeras capas de lastre

La eficacia al emprender este proceso era de mucha importancia, ya que de ella dependía el inicio de la excavación de las columnas CC-3, como se explicó en la actividad de excavación con *backhoe*. Hubo ocasiones donde la plancha compactadora sufrió algunas descomposturas, por ejemplo desgaste en las fajas y falla del tornillo que une la polea con el motor. Dichos inconvenientes forman parte del mantenimiento que se le debe dar al equipo y estos fueron intervenidos inmediatamente para minimizar los atrasos. El proceso finalizó el 20 de agosto, y se compactaron 500 m³ de lastre, con un costo total de 7 500 000 colones.



Figura 33. Compactación de lastre de las últimas columnas.

Colocación de malla electrosoldada

Inició el 01 de octubre. Esta actividad tuvo mucho atraso por el motivo de que se creía que la instalación mecánica iba por bajo el contrapiso. Como consecuencia de este inconveniente, se acordó que la instalación mecánica se ejerciera por arriba, sobre el cielorraso, para dar inicio a la construcción del contrapiso.

Para esta actividad se necesitaron 25 mallas de 2,2 m x 6,0 m cada una. Como parte de este proceso, se requiere picar el concreto del contrapiso ubicado alrededor de cada hueco. Se deja descubierta e intacta la malla existente para que esta se amarre a la nueva malla. La actividad finalizó el 13 de octubre, después de colocar las mallas en todas las excavaciones hechas para el reforzamiento. El costo sumó 225 000 colones.



Figura 34. Colocación de malla electrosoldada.

Chorro de contrapiso

Esta fase empezó el 03 de octubre, dos días después de haberse iniciado la colocación de la malla electrosoldada. La dosificación para obtener una resistencia mayor a 210 kg/cm^2 al realizar el concreto del contrapiso con la batidora de 2 sacos fue:

- 10 cubetas de piedra cuarta.
- 6 cubetas de arena.
- 3 cubetas de agua una relación agua-cemento de: $(A/C) = 0.66$.

El total de materiales que se necesitaron para rellenar de concreto los huecos del contrapiso fue:

- 232 sacos de cemento.
- 20 m^3 de piedra.
- 15 m^3 de arena.

La actividad finalizó el 15 de octubre, luego de restaurar todo el contrapiso, para el cual se necesitaron 33 m^3 de concreto, con un costo total de 1 864 527 colones. De este modo, el metro cúbico ascendió a los 56 500 colones.



Figura 35. Chorrea de contrapiso.

Control de avance

Para visualizar la duración del proceso constructivo, se realizó un diagrama de Gantt, el cual detalla cada una de las actividades ejecutadas para el reforzamiento del edificio Plaza Wong. Este diagrama se realizó con el programa Microsoft Project 2007. (Ver figura 36).

Las actividades de removimiento de repello y excavación a mano fueron las primeras en dar inicio con el proceso de reforzamiento, seguido del armado de columnas. Las demás actividades se realizaron de acuerdo al orden en que se colocaron en el diagrama de Gantt, esto significó que, para la mayoría de las actividades, su comienzo dependía de que la actividad anterior haya empezado.

Las actividades como la excavación con *backhoe* y el chorreo de las cimentaciones no fueron trabajos continuos, sino en intervalos de tiempo o, incluso, en días específicos donde se emprendieron dichas actividades durante todo el proceso de reforzamiento, como se observa en el control de seguimiento de actividades.

En la línea 26 y 27 de la figura 36, se puede observar que las actividades colocación de malla electrosoldada y chorrea de concreto en el contrapiso se encuentran totalmente desplazadas al resto de las actividades, debido a que estas actividades dependían de la finalización de la instalación mecánica.

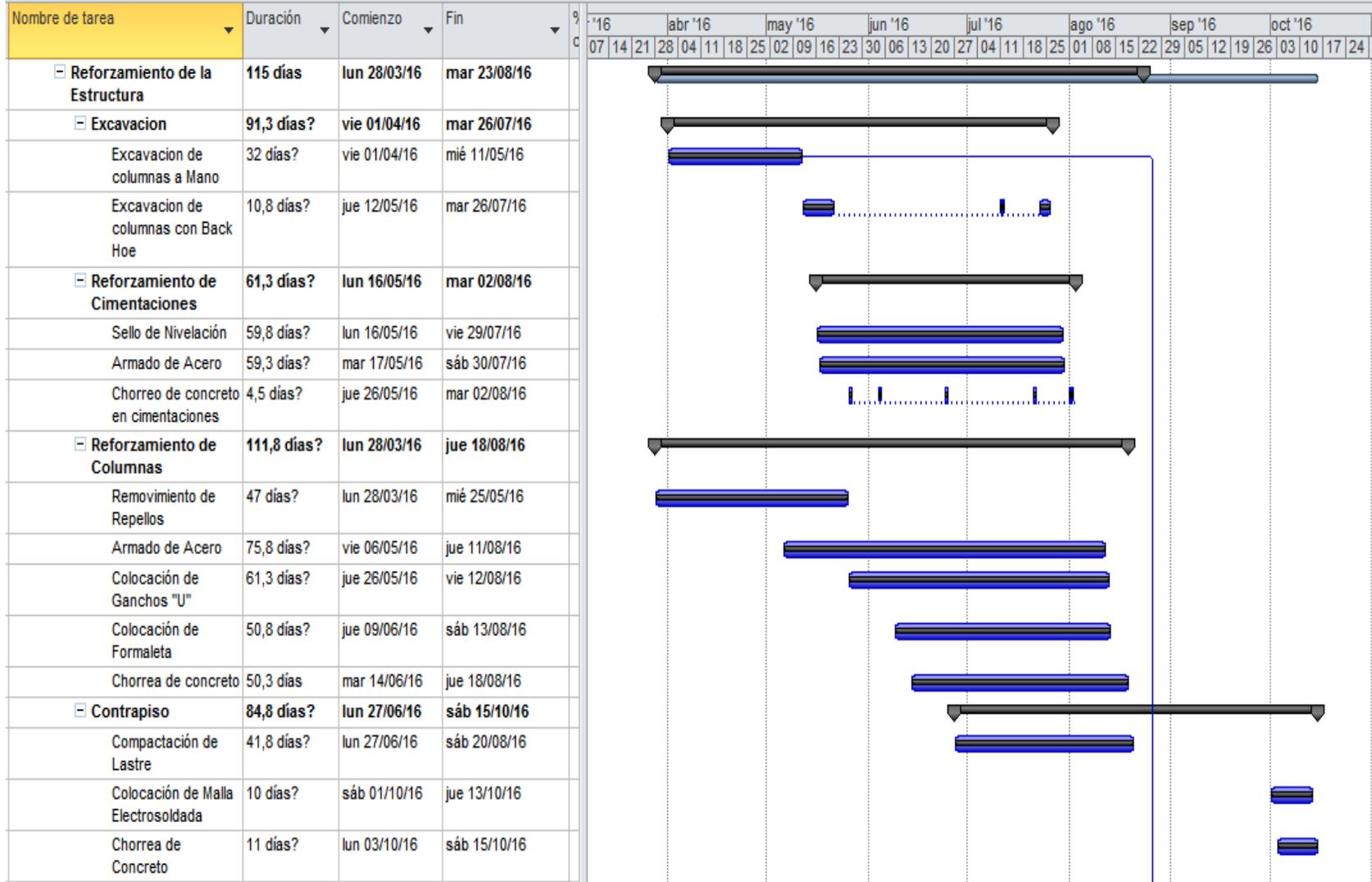


Figura 36. Diagrama de seguimiento de cada actividad

Presupuesto y Costo Real

Durante el reforzamiento del edificio Plaza Wong solamente se realizó el presupuesto de los materiales y maquinaria pesada de cada una de las actividades. El presupuesto del equipo y de la mano de obra no le correspondía a la empresa Summa Consultores, sino que lo manejaba directamente el propietario.

En la figura 37, se muestra la distribución del presupuesto en cada una de las actividades en relación con el costo de los materiales y la maquinaria pesada. En el apéndice 1, aparece un cuadro resumen que muestra el costo de cada actividad.

Como objetivo de este proyecto, se obtuvo el costo real del reforzamiento del edificio Plaza Wong. Además, se clasificó por tipo de recurso en materiales, mano de obra y equipo. En el apéndice 3, apéndice 5 y apéndice 6 se añaden los cuadros que describen con mayor detalle cada recurso. En la figura 38, se puede apreciar el costo de cada recurso y el porcentaje de gasto con respecto al total.

Resulta de suma importancia tener un control de costos en cuanto a compra de materiales, puesto que con este se puede determinar si el costo real se ajusta o no al presupuesto inicial. Un buen control de costos ayuda a identificar dónde se cometieron errores en el cálculo de materiales, en los casos en donde existe una diferencia. En el siguiente gráfico se muestra una comparación del costo real de los materiales contra los materiales presupuestados. (Ver figura 39).

Cabe destacar que, a pesar de que los materiales presupuestados se pudieron dividir por actividad, no se logró contabilizar la cantidad de material implementado en la realidad por actividad, ya que en el momento de desarrollo de las obras muchas actividades se ejercieron simultáneamente y necesitaban de los mismos materiales. Por esta razón, los materiales se dividieron en concreto, acero, formaleta y lastre. En el apéndice 3 y apéndice 4, se puede apreciar el desglose de cada uno de los materiales, la cantidad de material, su costo unitario y su costo total, tanto el real como el presupuestado.

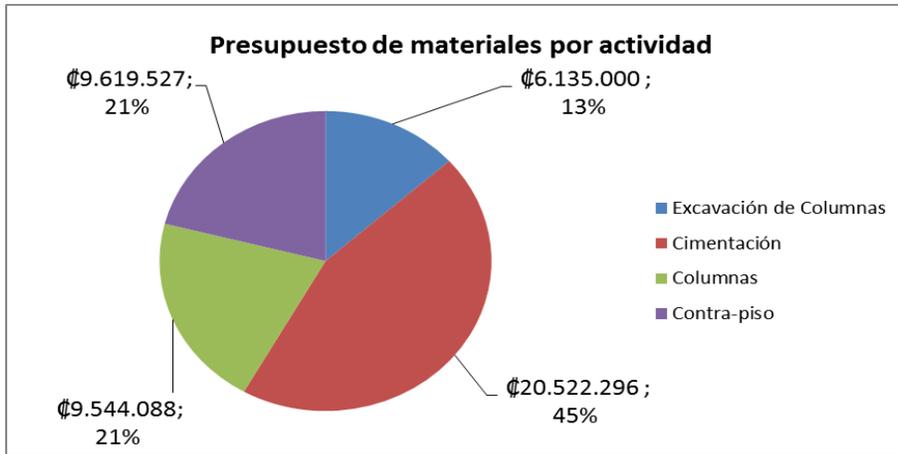


Figura 37. Presupuesto de cada actividad del reforzamiento

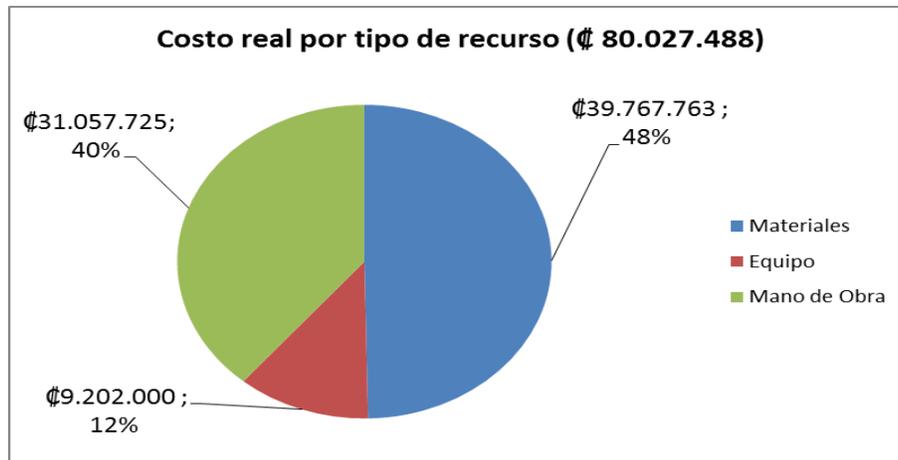


Figura 38. Costo real y porcentaje por tipo de recurso

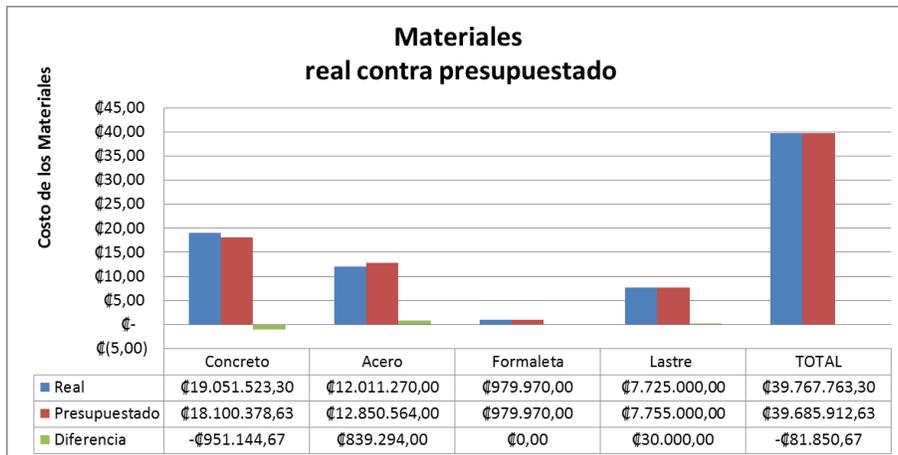


Figura 39. Materiales presupuestados vs costo real.

Análisis de los resultados

Proceso constructivo

Para mejorar el edificio no hubo una planificación o un cronograma por parte de Summa Consultores, ya que se identificó que el edificio requería de un reforzamiento tan solo 15 días después de haber reanudado la construcción del centro comercial.

El control de avance fue una tarea que involucró tanto los tiempos reales de cada actividad como los inconvenientes dentro de estas. Algunos de los riesgos identificados que alargaron notoriamente los procesos son:

- a) La revisión de la estructura y el estudio de suelos se realizaron durante el proceso constructivo, lo cual afectó la planificación de las actividades del reforzamiento. Por ejemplo, los planos finales del reforzamiento del edificio se realizaron durante el proceso constructivo, esto retrasó actividades como la excavación de las cimentaciones CC-3.
- b) El tipo de contrato que se estableció con el dueño, en el cual la administración y ejecución estaba a cargo de distintas partes, dificultó el proceso de compra y cotización de los materiales.
- c) Debido a la época de lluvias en el mes de mayo y junio se retrasaron los procesos, ya que durante varios días se perdieron horas laborables.
- d) La compra y alquiler de los equipos de trabajo eran muy lentas, pues en la mayoría de los casos al propietario le parecían caras o innecesarias.
- e) Varios equipos como la plancha compactadora, taladros de percusión y rompedoras requirieron reparaciones que atrasaban los procesos.

- f) La falta de una caja chica para la compra de materiales necesarios retrasó en gran medida varias labores.

Después de emprender un análisis por actividad, se identificaron aciertos y desaciertos para el proceso de reforzamiento del edificio. En la excavación, se pudo evitar el trabajo a mano y el uso de camiones pequeños, lo cual significa que desde el inicio se pudo haber usado el *backhoe* y vagoneta, de forma que se ahorraran no solo el tiempo de trabajo, sino también parte del costo. La actividad de la excavación fue realizado en un transcurso de 90 días, pero, si se suman los intervalos de tiempo de trabajo efectivo, al *backhoe* le tomó solamente 10 días en realizar dichas excavaciones.

Con respecto a la cimentación, hubo pequeños atrasos, como la entrega de material en el sitio, como acero o alambre negro. Sin embargo, se presentó también un gran avance al hacer uso de la chompipa y bomba estacionaria para el chorreo. Esto permitió continuar rápidamente con el chorreo de las columnas. Esta actividad tuvo una duración de 62 días.

En cuanto a la tarea de la colocación de la formaleta, hubo mucha demora en el uso de madera, puesto que requería de mucho tiempo de preparación y del uso de puntales para evitar que la formaleta se abriera por la presión del concreto. El alquiler de paneles hubiera acelerado este proceso, pero el propietario se reusó al alquiler, por lo que se decidió confeccionar los paneles en sitio, debido a las ventajas de los paneles ya descritas con respecto a las formaletas de madera. Por esta razón, el chorreo de las columnas duró 112 días.

En el contrapiso, el alargamiento en el proceso fue mínimo, ya que el flujo de entrega de material y la compactación de este fue muy efectivo. Cada día a las 6:30 a.m., se entregaban 2 vagonetas de lastre (24 m³) y estas siempre se lograban compactar en los huecos en el mismo día, de modo que otorgó espacio al lastre del

siguiente día. Solamente un día se presentó el inconveniente de que la plancha necesitó de mantenimiento por la descompostura en una de sus fajas. La duración de esta tarea se extendió por 42 días. Con respecto a la colocación de la malla electrosoldada y el chorreo de entrepiso, se prolongaron por 10 y 11 días, respectivamente. Cabe destacar que estas labores se desfazaron del proceso, ya que no dependían de la compactación de lastre, sino de la instalación mecánica. Por ese motivo, el proceso inició muchos días después de haber finalizado la colocación del lastre, lo que significa que, si no tomamos en cuenta el desfase de estas tareas, la etapa de reforzamiento se extendió por 115 días.

Presupuesto y costo real

Por un lado, el presupuesto de cada actividad se calculó solamente en términos de los materiales y maquinaria pesada, por otro lado, la mano de obra y el equipo le correspondía al Sr. Carlos Wong.

En la figura 37, se puede apreciar la distribución de los costos en cada una de las actividades, donde la actividad de mayor gasto fue la cimentación, con un valor de 20 522 296 colones, es decir, el 45 % del costo total. Este valor tan elevado se debe a las grandes medidas de las cimentaciones, por consecuencia de un suelo de baja capacidad. Las actividades correspondientes a la sección "Columnas" con un valor de 9 544 088 colones y "Contrapiso" de 9 619 527 colones, guardan apenas una diferencia de 75 000 colones, aproximadamente, y cada una abarca un 21 % del costo total. En último lugar, mas no menos importante, "Excavación", con un costo de 6 135 000 colones, completa la gráfica donde se representa el 13 % del costo total de materiales y maquinaria pesada.

En el cuadro resumen del apéndice, donde se desglosan los materiales que se presupuestaron para cada actividad, se puede apreciar el costo de cada tarea que conlleva cada actividad. A continuación, se analizan los factores que acarrearán el mayor costo en cada actividad.

- a) Para la actividad de excavación, fue mucho más costosa la empleada a mano que la hecha con *backhoe*. Primeramente, se

compara el uso de camión y el uso de vagoneta. El camión cargaba 4 m³ a un costo de 33 000 colones, es decir, a 8 250 colones el metro cúbico. La vagoneta posee una capacidad de 12 m³ y a un costo de 45 000 colones, por lo tanto, el valor del metro cúbico fue de 3 750 colones. Esto significa que el costo con camión resulta un poco más del doble que con vagoneta; además, la vagoneta puede cargar el triple de material por viaje que el camión. En cuanto al uso del *backhoe*, este excavó 420 m³ en 10 días a un costo de 1 260 000 colones. La excavación a mano tardó 32 días con el trabajo de 6 peones a un costo de 2 300 000 colones. Lo anterior quiere decir que el uso del *backhoe* es la mitad más barato y el triple de rápido que el trabajo a mano.

- b) Para la actividad de cimentación, la tarea de mayor gasto fue el chorreo de las cimentaciones, con una inversión de 10 771 500 colones, ya que se presupuestó chorrear 129 m³ de concreto. Fabricar un metro cúbico de concreto con batidora alcanzó un costo de 56 000 colones, mientras que comprar un metro cúbico a Meco costaba 74 000 colones. Así las cosas, es notorio que resulta 18 000 colones más barato fabricarlo que comprarlo a Meco, pero siempre es importante tomar en cuenta la productividad y la rapidez con la que se avanza en la obra, pues con Meco, el trabajo se realizó en solo 5 fechas, mientras que, de haberlo hecho con batidora, se hubiera tardado meses.
- c) En la actividad de columnas, la tarea más costosa fue la colocación de ganchos "U". Esto debido a la cantidad de epóxico que se necesitó para adherirlos. Cada cartucho cuesta de 20 000 colones y se cotizaron 187 cartuchos, lo cual sumó 3 740.000 colones, de forma que se estableció como más costoso que el concreto y el acero de las columnas.
- d) En la actividad del contrapiso, la tarea de mayor costo fue la compactación de lastre, la cual necesitó de 7 530 000 colones, como consecuencia de las grandes dimensiones de los huecos para construir las cimentaciones y, en algunos casos, también por su profundidad. En total se

- e) presupuestaron 502 m³ de lastre para rellenar todos los huecos.

En la figura 38, se muestra un gráfico del costo real del reforzamiento del edificio dividido por el tipo de recurso (material, mano de obra y equipo) en donde casi la mitad del costo total se utilizó en materiales, lo cual abarcó un 48 % y un total de 39 767 763 colones. En esta fase, los agregados, los sacos de cemento y el acero fueron los materiales más necesarios. El segundo recurso más caro fue la mano de obra, la cual alcanzó un costo de 31 057 725 colones, o sea, el 40% del total. Esta obra comenzó en abril con 7 trabajadores y finalizó en agosto con 20 trabajadores. En tercer lugar, con un 12 % del total, está la compra y alquiler de equipo y maquinaria; en este aspecto, el alquiler de *backhoe* y vagoneta fue indispensable. La suma de estos tres recursos da 78 183 977 colones, dato importante como el costo real de todo el proceso de reforzamiento del edificio centro comercial Plaza Wong.

En la figura 39, se muestra una comparación de los materiales presupuestados contra los materiales comprados. Según se explicó anteriormente, los materiales presupuestados se dividieron en concreto, acero, formaleta y contrapiso, pues no se logró contabilizar la cantidad de material usado realmente por actividad. Lo anterior se explica porque en el momento de desarrollo de las obras, muchas actividades se realizaban simultáneamente, de forma que se precisaron los mismos materiales. De acuerdo a la figura 39, se logró determinar que:

- a) El costo real de concreto fue de 19 051 523 colones, mientras que lo presupuestado se estimaba hacia 18 100 378 colones, una diferencia de 951 144 67 colones. Para muchas constructoras, esta diferencia representaría pérdidas, pero para el Sr. Wong significa que se utilizaron todos los materiales necesarios y no hubo sobrantes de material.
- b) Con respecto al acero, hubo un costo real de 12 011 270 colones, mientras que lo presupuestado fue de 12 850 564 colones, una diferencia de 839 294 colones. Caso contrario al concreto, en esta ocasión sumó más lo presupuestado que aquello que realmente se necesitó. Para el Sr. Wong, esto significa sobrantes de material,

pero. como había más actividades fuera del proceso de reforzamiento del edificio donde se necesitaría el acero, no hubo ningún problema con dicho sobrante.

- c) En relación con la formaleta, no fue presupuestada, sino que se fue comprando conforme a la necesidad, ya que la madera es un material que se puede reutilizar. En este caso, tanto lo calculado como lo real poseen el mismo valor de 979 970 colones.
- d) En torno al contrapiso, lo estimado se acercó bastante a la realidad, pues la diferencia fue de solamente 30 000 colones. Esta desavenencia radicó en el lastre, ya que se presupuestaron 502 m³ mientras que en realidad se necesitaron 500 m³. En cuanto a malla electrosoldada, todo lo comprado se utilizó. El cálculo fue bastante acertado porque se utilizaron medidas de campo y no de plano.

La diferencia total entre lo presupuestado con respecto a lo invertido fue de 81 850 colones. Con respecto a esto, resultó más alto el costo real, con 39 767 763 colones, frente al presupuestado, con 39 685 912 colones; esto significó para el propietario una buena noticia, ya que su dinero fue invertido correctamente, con mínimos desperdicios.

Conclusiones

Con base en lo observado y analizado en el desarrollo de la práctica profesional, se concluye que:

1. El recurso más costoso fue el de los materiales representando el 48% del total del reforzamiento.
2. La actividad más costosa del reforzamiento en cuestión de materiales fue la cimentación abarcando el 45 % con un costo total de 20 522 296 colones.
3. La diferencia del costo total de los materiales comprados vs los presupuestados fue de 81 850 colones, lo cual indica que el cálculo de los materiales fue bastante aproximado a la realidad, además implica que el desperdicio fue mínimo, influyendo positivamente en la economía del Sr. Wong. Esta diferencia mínima, comparada con el monto total invertido en el reforzamiento, se debe a que realmente no se realizó un presupuesto previo al inicio del reforzamiento, si no que las estimaciones se iban realizando sobre la marcha, conforme se iba ejecutando el proyecto.
4. El costo final del reforzamiento del edificio del centro comercial Plaza Wong es de 80 027 488 colones. El presupuesto estimado para iniciar la obra, cuando no se tenía estimado este imprevisto fue de 600 millones de colones, de manera que el costo de proyecto se incrementó en aproximadamente 13% solo por esta situación.
5. Este proceso de reforzamiento del edificio del centro comercial Plaza Wong tuvo una duración total de 115 días. El

estimado para terminar el edificio era de 6 meses. Finalmente el proyecto se desarrolló en 8 meses, dado que paralelo al reforzamiento se trabajó en otras actividades.

6. El uso de *backhoe* fue la mitad más barata y tres veces más rápido que la excavación a mano. Por tanto, la selección de un equipo adecuado influye en la efectividad, calidad y costo de los procesos de reforzamiento del edificio.
7. Una revisión de la construcción previa al inicio de los procesos constructivos como por ejemplo pruebas al estado del concreto y un estudio de suelos hubiera mitigado la mayoría de los riegos determinados durante la ejecución de este proyecto de reforzamiento.

Recomendaciones

Estas recomendaciones van dirigidas a los ingenieros que deseen realizar un reforzamiento de un edificio.

1. Realizar una revisión minuciosa a la construcción existente y un análisis del costo de una demolición y el costo de un reforzamiento.
2. Realizar un análisis de beneficio y costo entre las diferentes técnicas de reforzamiento.
3. Durante la ejecución de cada actividad, se debe cuidar que los trabajadores hayan comprendido bien las indicaciones, para evitar trabajos de baja calidad.
4. Es frecuente el gasto de materiales o herramientas de bajo costo que no requieren una aprobación previa. Por tanto, el manejo de una caja chica en campo sería de gran beneficio para evitar atrasos innecesarios en los procesos de reforzamiento.
5. Si el diseño lo permite, se recomienda realizar el armado de las cimentaciones afuera de las excavaciones para mayor comodidad y eficiencia en el proceso de reforzamiento.
6. Se debe considerar la cercanía entre los cimientos al realizar las excavaciones. De ser muy cercanos es recomendable no realizarlos todos simultáneamente para evitar derrumbes.
7. Se debe tomar en cuenta el orden de excavación de las cimentaciones para que la accesibilidad a otros cimientos no sea un inconveniente en la eficiencia del proceso de reforzamiento.

Apéndices

A continuación se presentan los apéndices preparados a lo largo del proyecto, desglosados de la siguiente manera:

Apéndice 1. Cuadro resumen de los costos y duración de cada actividad del reforzamiento del edificio del centro comercial Plaza Wong.

Apéndice 2. Diagrama de Gantt del reforzamiento del edificio del centro comercial Plaza Wong realizado en Microsoft Project del reforzamiento del edificio.

Apéndice 3. Cuadro de los costos reales de los materiales del reforzamiento del edificio del centro comercial Plaza Wong.

Apéndice 4. Cuadro del presupuestado de los materiales del reforzamiento del edificio del centro comercial Plaza Wong.

Apéndice 5. Cuadro de pago de la mano de obra.

Apéndice 6. Cuadro del equipo comprado y alquilado.

Anexos

Los materiales complementarios necesarios en este proyecto son tres. Los primeros 2 anexos son materiales realizados por la ingeniera estructural Evelyn Chaverri de la empresa Impetwo. El último es un material encontrado en un sitio web, realizado por el Ingeniero Mauricio Araya del Tecnológico de Costa Rica

Anexo 1. Plano de distribución de placas y diseño de columnas.

Anexo 2. Memoria de cálculo del diseño de las fundaciones.

Anexo 3. Tablas de dosificaciones de concreto.

Referencias

Acuña, A.; Bermúdez, J. CÓDIGO SÍSMICO DE COSTA RICA 2010. Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica

Raigosa Tuk, E. (2010). Técnicas de reforzamiento de estructuras construidas de concreto que presentan deficiencias estructurales.

Chaverri, E. REFORZAMIENTO DEL EDIFICIO DEL CENTRO COMERCIAL PLAZA WONG. 2016. San Jose, Construcción del centro comercial Plaza Wong. Comunicación personal.

Rodríguez, M. A. (2014). Dosificación de concretos. Revista Ingeniería en Construcción, 1(1), 24-29.