

Estudio de factibilidad técnica y de costeo en la aplicación de concretos deslizados en columnas y muros estructurales de la caverna de casa de máquinas en el proyecto hidroeléctrico Ituango

Jaime Andrés Ríos Castaño

Director:

Julian Andrés López Nuñez

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Escuela de Ciencias Administrativas, Contables y de Negocios

2022

Dedicatoria

Dedico el presente proyecto a mi familia quienes me han apoyado desde un principio y nunca han dejado de creer en mis capacidades, por la paciencia y amor que me han brindado siempre, viendo la necesidad de recompensarlos de una u otra forma.

De igual forma a mis amigos, compañeros de trabajo que estuvieron enterados de mi proceso y siempre me dieron una voz de apoyo para no desistir y seguir adelante.

Reconociendo que son más las personas que atribuyen moral y empatía que las personas sin ética humana.

Agradecimientos

A Dios principalmente por haberme dado la vida y la oportunidad de crecer profesionalmente.

A Yanceli Rodríguez mi esposa por su colaboración en cuanto a recomendaciones y ayuda en la estructuración de la monografía.

A mis hijos, que me han regalado la motivación de avanzar en mis proyectos y en todos los retos propuestos.

A los ingenieros Andrés Munera, Edinson García y Juan Pablo Flórez del proyecto hidroeléctrico Ituango, por su amplia experiencia en el tema y por la asistencia en la argumentación de los análisis.

A mis compañeros Camilo Amariles y Daniel Echeverry auxiliares técnicos del proyecto, por su motivación y acompañamiento en la recolección de información.

Al grupo de inspectores de calidad del proyecto Hidroituango por su valiosa información técnica y normativa de los procedimientos.

A la universidad, grupo de docentes y especialmente al tutor Julián López por su acompañamiento durante todo el proceso en la realización del proyecto.

Resumen

La técnica de concretos deslizados es un sistema de vaciado que nació hace varias décadas para la construcción de estructuras en proyectos hidroeléctricos, la primera aplicación se efectuó en una central hidroeléctrica de Brasil llamada Itaipú. Consiste en utilizar un cajón que es soportado sobre barras o cerchas alrededor de la estructura a intervenir, donde se aplicará la mezcla de concreto de una manera constante, mientras el cajón es impulsado con un sistema hidráulico, deslizándose contra el concreto para dar la forma requerida a la estructura. En el proyecto hidroeléctrico Ituango se implementa la técnica de aplicación de concreto deslizado en sus estructuras (columnas y muros estructurales) de la caverna de casa de máquinas considerando las necesidades de optimizar tiempos en la construcción, bajar costos respecto al sistema tradicional para establecer una alternativa de procesos tecnificados con el fin de lograr una seguridad estructural, costos adecuados, ahorrar los tiempos de construcción de los muros y columnas del proyecto que tardaban meses en ejecutarse cuando se utilizaban métodos tradicionales, ahora con el sistema deslizante se puede medir una variedad de condiciones expuestas en cada estructura y ratificar la durabilidad, la fuerza y resistencia. De igual modo con el sistema constructivo de concreto deslizado se puede construir una gran variedad de elementos y estructuras; posicionándose técnica y administrativamente por encima del sistema de vaciados tradicionales, ya que las formaletas son minimizadas e instaladas en un tiempo mínimo, no se detiene el vaciado ni se realiza por módulos, con el sistema de elevación hidráulica es capaz de auto soportarse y soportar algunos esfuerzos. Garantizando excelentes condiciones de seguridad y salud con los trabajadores, ahorrando costos en planificación, programación, ejecución y entregas al cliente.

Palabras claves: Concreto, deslizado, técnica, costos, tiempo

Abstract

The sliding concrete technique is a pouring system that was developed several decades ago for the construction of structures in hydroelectric projects. The first application was in a hydroelectric power plant in Brazil called Itaipu. It consists of using a caisson that is supported on bars or trusses around the structure to intervene, where the concrete mixture will be applied in a constant way, while the caisson is driven with a hydraulic system, sliding against the concrete to give the required shape to the structure. (In the Ituango hydroelectric project, the technique of sliding concrete application is implemented in its structures (columns and structural walls) of the powerhouse cavern considering the needs of optimizing construction times, lowering costs with respect to the traditional system to establish an alternative of technified processes in order to achieve structural safety, adequate costs, save construction times of the walls and columns of the project that took months to execute when traditional methods were used, now with the sliding system it is possible to measure a variety of conditions exposed in each structure and ratify the durability, strength and resistance. In the same way, with the sliding concrete construction system, a great variety of elements and structures can be built; positioning itself technically and administratively above the traditional casting system, since the forms are minimized and installed in a minimum time, the casting is not stopped nor is it done by modules, with the hydraulic elevation system it is capable of self-supporting and supporting some efforts. It guarantees excellent safety and health conditions for the workers, saving costs in planning, programming, execution and delivery to the client.

Keywords: Concrete, sliding, technique, costs, time.

Tabla de contenido

Dedicatoria.....	2
Agradecimientos.....	3
Resumen.....	4
Abstract.....	5
Tabla de contenido.....	6
Tabla de ilustraciones.....	10
Lista de tablas.....	12
Prólogo.....	13
Introducción.....	15
Planteamiento del problema.....	17
Hipótesis.....	19
Objetivos.....	20
Objetivo general.....	20
Objetivos específicos.....	20
Marco teórico.....	21
Desperdicios de los procedimientos convencionales en la construcción de estructuras.....	23
Productividad en las obras de construcción.....	24
Diferentes estructuras en concreto reforzado.....	24
El macizo de muros de contención.....	24
Columnas.....	25
Vigas.....	25
Los micro pilotes reforzados en la cimentación.....	26
Cimentación.....	27
Marco empresarial.....	28
Historia consorcio CCC Ituango.....	28

Descripción de la empresa.....	28
Misión.....	29
Visión.....	29
Ingeniería.....	29
Gestión humana.....	29
Gestión socio-ambiental.....	30
Gestión de seguridad y salud en el trabajo (SST).....	30
Política integrada.....	30
Proyecto hidroeléctrico Ituango.....	30
Aspectos metodológicos.....	32
Recolección de la información.....	32
Procesos constructivos para la aplicación de concretos en encofrado deslizante.....	33
Generalidades.....	34
Actividades previas al vaciado.....	34
Componentes y equipos de los concretos deslizados en muros y columnas reforzados.....	36
Tableros.....	36
Pernos de anclaje de la cercha.....	38
Cercha.....	38
Gato hidráulico.....	40
Manguera hidráulica.....	41
Barras de trepa.....	41
Andamios de trabajo.....	43
Concreto.....	44
Aplicación.....	44
Endurecimiento del concreto.....	47
Proceso constructivo para la aplicación de concretos en encofrado tradicional.....	48
Descripción del método.....	48

Modelo vertical a dos caras.....	49
Modelo tabular.....	50
Modelo horizontal.....	51
Componentes y equipos de los vaciados tradicionales para muros y columnas reforzados.....	51
Resumen de función de los elementos.....	52
Análisis presupuestal de la información.....	54
Análisis del sistema de encofrados y vaciados deslizantes.....	54
Análisis del sistema de encofrados y vaciados tradicionales.....	55
Análisis de precios unitarios (APU) para ambos sistemas constructivos.....	55
Análisis cualitativo y cuantitativo entre ambos métodos.....	56
Análisis para el estudio del muro tipo 2A de la caverna de casa de máquinas en el proyecto hidroeléctrico Itüango.....	57
Análisis del sistema deslizante para el muro 2A de la caverna de casa de máquinas del proyecto hidroeléctrico Itüango.....	58
Análisis de precios unitarios para el muro 2A con el sistema de encofrado deslizante.....	61
Análisis del sistema tradicional para el muro 2A de la caverna de casa de máquinas en el proyecto hidroeléctrico Itüango.....	63
Análisis de precios unitarios para el muro 2A con el sistema de encofrado tradicional.....	65
Punto de equilibrio económico.....	69
Ventaja económica con el modelo deslizante para el proyecto hidroeléctrico Itüango.....	70
Análisis técnico de la información.....	72
Análisis técnico del sistema de encofrado y vaciado deslizante.....	72
Generalidades.....	72
Actividades previas al vaciado.....	73
Aplicación del concreto.....	76
Curado.....	77
Curado del concreto con agua.....	77

Desencofrado.....	78
Reparación del concreto.....	78
Análisis técnico del sistema de encofrado y vaciado tradicional.....	79
Generalidades.....	79
Actividades previas al vaciado.....	80
Aplicación del concreto.....	82
Desencofrado.....	83
Curado y reparación del concreto.....	83
Punto de equilibrio técnico.....	84
Recomendaciones.....	86
Conclusiones.....	87
Referencias.....	89

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1 Encofrado completo para el vaciado de concreto deslizante.....	34
Ilustración 2 Tableros de la formaleta deslizante.....	37
Ilustración 3 Tableros encofrados en muro del proyecto hidroeléctrico Ituango.....	37
Ilustración 4 Pernos de anclaje de las cerchas metálicas.....	38
Ilustración 5 Cerchas instaladas en muro aguas arriba de la caverna de casa de máquinas del proyecto hidroeléctrico Ituango.....	39
Ilustración 6 Cerchas instaladas para el encofrado deslizante de una columna del proyecto hidroeléctrico Ituango.....	39
Ilustración 7 Gatos hidráulicos para la formaleta deslizante.....	40
Ilustración 8 Manguera hidráulica para el encofrado de formaleta deslizante.....	41
Ilustración 9 Método de instalación de las barras de trepa.....	42
Ilustración 10 Instalación de barra de trepa en muro del proyecto hidroeléctrico Ituango.....	42
Ilustración 11 Andamios de trabajo para el vaciado deslizante de una columna en el proyecto hidroeléctrica Ituango.....	43
Ilustración 12 Andamio de trabajo para el arranque de una columna del proyecto hidroeléctrico Ituango.....	44
Ilustración 13 Resane de la columna después de la elevación de la formaleta deslizante.....	46
Ilustración 14 Resane del muro después de la elevación de la formaleta deslizante.....	46
Ilustración 15 velocidad de deslizamiento en el vaciado del concreto.....	47
Ilustración 16 Encofrado tradicional para muro.....	49
Ilustración 17 Encofrado tradicional para una columna.....	50

Ilustración 18 Encofrado tradicional para una losa.....	51
Ilustración 19 Función de los elementos del vaciado tradicional.....	53
Ilustración 20 Muro tipo 2A con sus medidas externas.....	57
Ilustración 21 vista de encofrado en planta muro 2A.....	58
Ilustración 22 despiece de acero muro tipo 2A-1.....	60
Ilustración 23 despiece de acero muro tipo 2A-2.....	60
Ilustración 24 despiece de acero muro tipo 2A-3.....	61
Ilustración 25 sistema del encofrado tradicional para estudio.....	63
Ilustración 26 Plano CEN-CMA-REF-296 proyecto Hidroituango.....	73
Ilustración 27 Plano CEN-CMA-MET-308 proyecto Hidroituango.....	74

Lista de tablas

Tabla 1 Análisis de precios unitarios muro tipo 2A con el sistema deslizando.....	62
Tabla 2 Análisis de precios unitarios muro tipo 2A con el sistema tradicional.....	65
Tabla 3 Matriz comparativa sistema deslizando y sistema tradicional.....	68

Prólogo

Realizando un análisis detallado de los sistemas constructivos en concreto reforzado que se han realizado durante décadas en las obras de construcción, se evidencia los cambios representativos e innovadores que cada obra implementa para mejorar sus técnicas en los procesos constructivos y fortalecer de manera económica la administración de las organizaciones.

El interés de la investigación es encaminado por las vivencias laborales que he tenido en el proyecto hidroeléctrico Ituango, quien sobresale por los retos en la construcción de mega estructuras diseñadas para ser aplicadas en concreto reforzado y a su vez son de innovación para el mundo, tomando una postura de observador me parece que las ventajas que trae la factibilidad de concreto deslizado a la empresa es muy significativa en cuanto a los costos en el procedimiento y los tiempos en la ejecución. Especialmente en la caverna de casa de máquinas del proyecto se construye la mayor parte de las estructuras en concreto que son aplicadas con el método deslizado, sin embargo, creía que la investigación iba a ser más cómoda por tener las evidencias de los procedimientos cerca, pero no tuve en cuenta que carecía de información en cuanto a procesos administrativos de planificación y programación, normativa, procesos legales, riesgos ambientales y laborales por la implementación de la técnica, entre otros.

Es allí donde se complica un poco la investigación para seguir justificando el tema a tratar, ya que me faltaba considerable información que diera validez al objetivo del proyecto. Con el propósito de continuar sustentando los beneficios de la técnica en concretos deslizados, busco la ayuda de expertos e ingenieros involucrados en el tema, quienes me orientan y me comparten abundantes conocimientos e instructivos documentados para demostrar que la técnica en la aplicación de

concretos deslizados es una de las vías innovadoras y desarrolladas que garantiza los beneficios de las empresas constructoras y tiene mayores beneficios que los vaciados tradicionales.

No obstante, la información también es complementada con bibliografías documentadas de procesos estructurales, historias reales donde el éxito de la técnica sobresale y las teorías representativas sobre la importancia de estructuras en concreto deslizado y convencional.

Finalmente se realizará una MATRIZ comparativa donde se demostrará los beneficios en costos y tiempos de ejecución de la técnica.

Introducción

La construcción ha ido creciendo como actividad económica en los últimos tiempos por diferentes razones, sea por programas sociales propuestos por el gobierno financiando totalmente o de forma parcial la compra de vivienda a familias de estratos bajos, la industria turística con el fin de promover el turismo ha invertido en construcción de estructuras hoteleras y los proyectos de inversión energéticos en la construcción de centrales hidroeléctricas. Sin embargo, dicho crecimiento obliga a mejorar las técnicas de construcción en las obras, ya que los recursos que son destinados se van agotando y las ganancias de los proyectos van reduciendo.

La construcción de edificaciones estructurales en Colombia ha sido un proceso poco reconocido, en donde se necesita mucha mano de obra y tanto los tiempos en los procesos como los costos indirectos han sido relativamente altos, además de los bajos niveles de productividad. Es por esto que la implementación de nuevas tecnologías constructivas puede mejorar la productividad y la competitividad de las empresas dedicadas a la construcción de edificaciones.

La aplicación técnica del concreto deslizado es un proceso que se utiliza principalmente en estructuras verticales con gran altura, utilizando poca formaleta para el encofrado y sin usos de retajes, andamios o cimbras. Este método permite subir alturas de 3 a 7 metros por día laboral (Dinescu, Sandru y Radulesco, 1973), apoyándose sobre la estructura mediante cerchas ancladas entre sí o hastiales y muros previamente hechos. Pero este método no es muy conocido en la construcción de estructuras en Colombia probablemente por la falta de inversión en equipos y poco conocimiento del tema, y por eso es que este trabajo de grado pretende entender qué tan competitiva puede ser la empresa constructora del proyecto hidroeléctrico Ituango con la aplicación de los muros

y columnas en concreto deslizado, comparado bajo un enfoque económico con el método de vaciados tradicionales por medio de la matriz comparativa de cada una de las técnicas. Esta investigación serviría como material de apoyo y comparativo a la hora de tomar en cuenta los métodos constructivos en la aplicación de concretos, de forma que sea una opción viable para la construcción en Colombia.

Planteamiento del problema

Durante toda la vida el ser humano ha estado relacionado en temas de construcción de obras civiles para mejorar la calidad de vida de la población, implementando día a día conocimientos relevantes que ayuden a mejorar las técnicas constructivas, cumpliendo con todos los requisitos expuestos de confiabilidad, durabilidad y resistencia para las estructuras, es por ello que la tecnología en la construcción no se cansa de crear maneras sustanciales que den la facilidad y seguridad a todos los procesos constructivos con un fin benéfico para las empresas.

En la actualidad algunos proyectos de obras civiles están tomando fuerza en la tecnología constructiva de todos sus procesos y han alcanzado una alta calificación de sus obras que innovan por su facilidad, durabilidad, resistencia y calidad. Sin embargo, en algunas ocasiones se ha necesitado buscar maneras para que las obras se realicen en su menor tiempo posible por problemas de retrasos, facilidad, presura y rehabilitaciones por algunos eventos naturales, que se convierten en una gran presión para la entrega de cada obra, y es donde el sistema de concretos deslizados juega un importante papel ayudando a resolver los problemas de tiempo, calidad, recurso humanos y económicos.

También es aclaro que gran mayoría de las empresas de construcción están aún utilizando técnicas tradicionales que de igual forma son aceptadas por los entes de vigilancia, pero que a su vez están siendo limitadas por sus procedimientos engorrosos en gastos adicionales, mayor cantidad de tiempo, secases de recursos y la probabilidad de sucesos negativos en el resultado de la construcción de una u otra manera. Por ejemplo: la confabulación de maestros de obras con proveedores para convencer a la empresa de realizar las compras en busca de beneficios económicos, el vaciado por etapas de las estructuras dando probabilidad de pérdida de fuerza en las juntas de los módulos, los

eventos extra laborales de fiestas o actividades en donde hay posible riesgo que los trabajadores no asistan a continuar con el vaciado de la estructura, el desajuste de las formaleas que conlleva a malformaciones y aumento del volumen del concreto, entre otras causas.

Una forma de mejorar dicha problemática es el sistema de aplicación de concretos deslizados, que garantiza un crecimiento ideal para las empresas, ya que pueden innovar por su rapidez, ahorro en materiales, menos mano de obra, cortos tiempos, alta calificación de los procedimientos y la eficiencia de realizar sus obras de una forma técnicamente fuerte.

En el proyecto hidroeléctrico Ituango se han presentado algunos retrasos para la entrega de las obras por problemas constructivos y la mayoría de ellos se basan en las estructuras de concreto reforzado, algunas entregas se realizaban con un considerable tiempo de retraso y otras debían ser demolidas por sus deformaciones y mal procedimiento con el vaciado tradicional, es por ello que se optó por la técnica del vaciado deslizante para contrarrestar los tiempos perdidos y minimizar los costos anteriormente invertidos. Esta técnica ha presentado los resultados esperados y se cree que puede ser una propuesta de mejora para las obras siguientes en el proyecto, por su rapidez, innovación y calidad en el procedimiento.

Hipótesis

La falta de inversión para tecnificar los procesos constructivos en Colombia ayuda a que el estancamiento haya permanecido durante décadas. Sin embargo, la implementación de diferentes técnicas va acelerando la inclusión de nuevas tecnologías en el sector construcción, siendo así el proyecto hidroeléctrico Ituango una base fundamental para demostrar los beneficios de los concretos deslizados en comparación a los tradicionales.

Objetivos

Objetivo general:

Identificar los beneficios técnicos y de costos con la aplicación de concretos deslizados en los muros y columnas de la caverna de casa de máquinas en el proyecto hidroeléctrico Ituango.

Objetivos específicos:

Diagnosticar las falencias de la técnica en la aplicación de concretos con el vaciado tradicional.

Clasificar los problemas relevantes en costos y tiempos de la técnica tradicional.

Comparar los costos y tiempos de la colocación de concreto tradicional y la deslizada.

Proponer una matriz comparativa con el pos y contra de cada una de las técnicas.

Recomendar los usos adecuados para la aplicación de concreto mediante la técnica con el método deslizado.

Marco teórico

En Colombia se ha implementado las obras en concreto armado desde mediados del siglo XX y desde allí se viene implementando obras significativas para la civilización del país, dos de las personas más influyentes de las obras en concreto armado en Colombia son los ingenieros Doménico Parma y Guillermo González Zuleta, quienes con su conocimiento y dedicación han logrado ser reconocidos como los máximos maestros en la construcción y aportaron un sinnúmero de conocimientos al sistema en el desarrollo del concreto armado. Han sido tarea de estudio por sus excelentes procedimientos, la calidad y la técnica para el desarrollo de cada obra siendo una extensión, evolución y dominio de la construcción en el país.

Fueron símbolo de esperanza para la civilización urbana que en ese tiempo requería de sostenibilidad y desarrollo social, ejemplos de calidad constructiva en el ámbito internacional con el grado de innovación en sus propuestas formuladas. Doménico Parma (1920-1987)

A partir de sus conocimientos y sus obras aportó las investigaciones principales de su mejor obra desde 1949 hasta 1987. Se formó en diferentes actividades constructivas hasta conseguir ser un excepcional experto en estructuras de concreto armado, dio a investigar la viabilidad de sus propuestas, elaboró, revisó y divulgó manuales para el sistema de entrepiso reticular celular (armado en dos direcciones) y sistemas de losas prefabricadas. Como pedagogo fue fundamental para el desarrollo de la ingeniería en el país, fue científico, se encargó de los modelos complejos de edificios con paneles prefabricados, análisis de comportamiento bajo el fuego y atirantados.

Parma, sin embargo, es recordado con frecuencia por algunas de sus mayores proezas constructivas. En la torre de Avianca, limitado por las calculadoras manuales de la época, reformó la

concepción de la macro estructura para hacerla manipulable sin computador, convirtiéndola en una serie de seis súper losas que dividen en seis tramos más simples al edificio mayor de 36 pisos, Doménico Parma (1955) Guillermo González Zuleta (1919-1995).

Proveniente de una familia acoplada a la ingeniería adoptó dichos conocimientos y los rectificó mediante su proceso en sus obras, realizó algunos trabajos fuera de su ciudad de origen siendo catalogado uno de los mejores ingenieros de la época Desde temprano, se manifestó siempre curioso, informal en sus métodos de trabajo y cortés en su trato, claro en sus diagramas y simple aritmética para la arquitectura.

Trabajó en el celebrado laboratorio de la Sección de Edificios Nacionales del Ministerio de Obras Públicas, las obras mayores de este grupo (Plaza de Mercado de Girardot, Estadio de Baseball de Cartagena) son ya clásicas. En el primer caso, en medio del clima tropical y dentro el lenguaje de la racionalidad modernista, se planteó una cubierta de cáscaras ligeras, apoyadas sobre columnas-bajantes en V, para formar una techumbre elevada que conserva hoy la frescura y levedad demandadas por el contexto, González Zuleta (1960)

Desperdicios de los procedimientos convencionales en la construcción de estructuras

Como desperdicios en la construcción se puede entender que es toda actividad en la que son usados más recursos de los previstos, así lo afirma Soibelman (2000).

El cual nos dice que Desperdicio no solo es el material, sino en los equipos, trabajo, mano de obra, capital, y todo lo que se usa más de lo que es necesario en el proceso de producción. Si se usa de más y no está generando un valor agregado o un valor al producto final, esto es un desperdicio.

Otro de los autores más importantes en tratar el tema desperdicios de materiales se centra en Skoyles que plantea hacer una división de los desperdicios que pueden ser en pérdidas directas y pérdidas indirectas, de esta manera se logra hacer un mejor control de estos mismos, pero esto puede ser relativo. Skoyles (1999).

Plantea una clara e importante división entre dos tipos de desperdicio de materiales. En primer lugar, se presenta la pérdida directa, este desperdicio es el más evidente y el más sencillo de diagnosticar... El otro tipo de desperdicio presentado por este autor es el indirecto, el cual se refiere a todo material que es colocado dentro de la obra sin que esté considerado en los planos o especificaciones técnicas del proyecto. Galarza (2011).

En cuanto a Colombia se manejan porcentajes diferentes, pero estos no varían tanto y se siguen presentando porcentajes importantes en cuanto a los costos de los materiales en la construcción, así lo afirma el (ICCV 2011).

“Por grupos de insumos, el que más crece al interior del ICCV es el de materiales de construcción. Este grupo presentó un crecimiento anual en el mes de octubre del 7,7%. El ICCV de

mano de obra creció en 4,8%...” (ICCCV 2011)

Productividad en las obras de construcción

Es de suma importancia tener en cuenta la productividad en la obra ya que este término va ligado completamente a todos los recursos que tienen gran incidencia en el presupuesto de la misma, es decir, cuando existe un desperdicio en un recurso este está acompañado de otros recursos adicionales, la pérdida del material influye en la pérdida de otros recursos tales como el personal o recurso humano. Se necesitará analizar desde la teoría el porcentaje que se tiene frente a los desperdicios presentados en la obra, Galarza (2011).

Diferentes estructuras en concreto reforzado

El macizo de muros de contención: es una estructura que depende 100% del suelo y se eleva de forma vertical para contener un terreno cualquiera integrando suelo- refuerzo y es usado para tal fin con parámetros prefabricados, (Stewart et al, 1977).

Existen diferentes paramentos para los muros de contención como mallas metálicas, geotextil y estructuras en acero, a parte de los módulos prefabricados en hormigón. De igual modo hay varias metodologías para definir la resistencia necesaria en el refuerzo, la longitud de anclaje y separación de los mismos, siendo casi todos los métodos iterativos, Schmertmann et al. (1987).

Los paneles superpuestos o módulos en hormigón generalmente son de dimensiones parecidas en altura y longitud, casi siempre entre uno y dos metros, deben estar separados por juntas elásticas horizontales, que les proporcionan posibilidad de asiento y elasticidad al muro, Leshchinsky (1989). El Paramento es la parte exterior del muro y la más visible de la estructura, su papel es más local y consiste en evitar la degradación del macizo armado, y fijar la geometría en

planta y alzado, Boedecker (1989).

Columnas: las columnas son elementos que soportan esfuerzos de compresión o tracción, por lo que en consecuencia también soportan los esfuerzos de corte derivados de la flexión. Tienen como función principal transmitir al terreno las acciones que actúan sobre la estructura a través de todas sus fundaciones, lo cual las convierte en elementos estructurales de gran importancia.

Se dice que una columna no es esbelta cuando su carga última, está controlada por la resistencia de los materiales componentes y de sus dimensiones transversales, Carlos Ricardo Llopiz (2011).

En los módulos de elasticidad de las columnas el ingeniero Iván Forcada Quezada (2000), expone que: La curva esfuerzo-deformación para el concreto no es una línea recta aun a niveles normales, porque el módulo varía con diversos factores, tales como, la resistencia del concreto, la edad del mismo, las propiedades de los agregados, el cemento, y la definición del módulo de elasticidad.

Las deformaciones laterales que se producen en las columnas tienen una relación constante con las deformaciones axiales. Mientras que el material se mantenga dentro del rango elástico de esfuerzos, Robert W. FitzGerald. (1996).

Vigas: El armado de vigas estructurales en concreto consta de un importante trabajo el cual es, proporcionar la estabilización de toda la estructura por medio del abrasamiento de las columnas, siendo ésta su principal función, cueva del ingeniero civil (2015).

Existen dos tipos de vigas, las vigas de fundación que proporcionan la estabilidad de la obra o estructura desde su parte inferior y las vigas superiores que van abrazando las columnas para formar

una figura llamada pórtico, Souza, João Carlos (27 mayo 2021).

Los micro pilotes reforzados en la cimentación: Ya que los silos, pilotes o caisson son también opciones para vaciar de manera deslizada por su complejo en el sistema de encofrado, se obtiene en su construcción diversas maneras de soportarlos y armarlos para el recibimiento de placas o cubiertas.

En Colombia no se conocen textos específicos sobre Construcción de pilotes, sin embargo, sí existen algunas obras americanas al respecto como el libro Caissons and Cofferdams de R.E. White (1962) por McGraw Hill.

El mejor relato sobre el levantamiento de un cajón con cámara de aire comprimido, se encuentra en el libro de D. E. Sreinman Tite. BuddeTs of the Bridge (1945), New York, Harcourt, 457 pp., cap. XVIII, “Dawn in the Caissons.” El capítulo es parte de la historia de los Roeblings y estructuras tan famosas como el Puente Brooklyn.

El uso de cajones para pilotes a cielo abierto, completado por las campanas de aire comprimido fueron usadas por primera vez en San Francisco Bay Bridge y sirvieron para encaminar el excelente procedimiento de armado y vaciado de micro pilotes en todo el continente, Riggs (1966), ‘Tagus River Bridge Tower Piers.

Cimentación: La distribución para soportar una estructura en base a la cimentación es lineal y por ende se debe estudiar desde un principio la fuerza en sus cargas, se debe adoptar coeficientes de seguridad grandes, tales como colocar el mismo refuerzo en las vigas y columnas por las caras inferiores y superiores, incluir más acero con el fin de cubrir las incertidumbres derivadas de la simplificación, (Terzaghi 1943). La distribución de presión es muy distinta que la distribución lineal

para soportar estructuras cuando la diferencia de los diseños es muy grande, no solo en la magnitud sino también en el sentido de apreciación de las estructuras, (Herrón Durán 1988).

En los suelos el método que mejor resultados ofrece para calcular los índices de asentamiento en la cimentación, es un híbrido que muestra los esfuerzos inducidos en el componente del suelo, que se calculan por soluciones derivadas plasmadas en la teoría de la elasticidad, estudiando los movimientos, desplazamientos y volumen en las partículas mediante el tiempo, (Terzaghi, 1943) y (Zeevaert, 1983). Las propiedades en la cimentación en cuanto al esfuerzo-deformación-tiempo, se realizan a partir de estudios de laboratorio en pruebas inalteradas triaxiales y de consolidación, (Chamecki, S, 1956).

Uno de los métodos más importantes por no compartir la complejidad de la teoría usual fue publicado en 1975, llamado el método de Zeevaert y se diferencia de los de elementos finitos (Zienkiewicz & Cheung, 1967) que para su uso no es más que los métodos que usan los ingenieros estructurales y de suelos, no se implementan procedimientos complejos sino, el que se basa en las normas generales y el conocimiento característico del suelo. (Demeneghi, 1979), (Garza Vásquez, 1984) con base al método de Zeevaert han pretendido facilitar más los cálculos en la distribución de esfuerzos en la cimentación, evitando el uso de iteraciones para permitir una aplicación eficiente a las estructuras.

Marco empresarial

Historia consorcio ccc Itüango.

El consorcio está constituido por la unión de las firmas constructoras Camargo Correa Infra, Concreto y Coninsa Ramón H que se integran para construir la hidroeléctrica más grande de Colombia, la empresa fue nuevamente creada en el año 2012, ya que antes se habían unido para la construcción de una hidroeléctrica un poco más pequeña, el consorcio se adjudicó un contrato de concesión para la construcción de la central hidroeléctrica Ituango, de 2,4GW, que pertenece a la empresa basada en Medellín, EPM. Anteriormente, Consorcio CCC se unió en una primera instancia y participó en la construcción de la central hidroeléctrica Porce III (con una capacidad instalada de 660MW y una generación anual estimada en 3,6 GW). El proyecto, ubicado en el departamento de Antioquia más exactamente en Ituango, prevé la construcción de una represa de 220m de altura y un depósito de 79 kilómetros, que debió comenzar a operar en el año 2018.

Descripción de la empresa

Razón Social: Consorcio CCC Ituango. Ciudad:

Medellín.

Departamento: Antioquia.

Actividad: Construcción de proyectos y obras de ingeniería civil. Forma Jurídica:

Consorcio.

Valores empresariales: Respeto, integridad, transparencia, responsabilidad.

Misión

Dejar un legado social y ambiental en todas las regiones en que actuamos, siendo un agente transformador comprometido con el desarrollo social y económico. No sólo se trata de la perpetuación del negocio, sino sobre todo del medio ambiente, incluyendo iniciativas de lucha contra la contaminación y el derecho a la vida de las futuras generaciones.

Visión

Cumplir con los requisitos legales, contractuales y constructivos de una manera satisfactoria, con la prevención del medio ambiente, la accidentalidad, las enfermedades laborales y los riesgos ocupacionales para resaltar la seguridad social y contractual con nuestro grupo de interés.

Ingeniería

La empresa cuenta con los conocimientos científicos y tecnológicos altamente capacitados para la innovación, desarrollo, mejora de técnicas y calidad de herramientas para satisfacer las necesidades de las obras en cada proyecto.

Gestión humana

El área de gestión humana vela por la contratación, capacitación y espacios de esparcimiento, los cuales permiten contar con un equipo calificado, comprometido e involucrado con las metas del proyecto.

Gestión socio-ambiental

La empresa establece una gestión socio-ambiental para el acompañamiento de las buenas

prácticas ambientales en la obra y la integración armoniosa con la comunidad de la zona de influencia a través del Programa de Implementación de Medidas de Manejo Ambiental (PIMMA) e integración armónica comunal.

Gestión de seguridad y salud en el trabajo (SST)

Se promueve la seguridad y salud de todos los colaboradores mediante la identificación, evaluación y control de los peligros y riesgos asociados con la actividad laboral en todas las zonas productivas y de construcción del proyecto hidroeléctrico.

Política integrada

Trabajar duro y dentro de los estándares más altos de calidad, para entregar soluciones de infraestructura sostenibles que contribuyan a transformar la realidad de las próximas generaciones.

Proyecto hidroeléctrico Itüango

El proyecto comprende obras para la desviación temporal del río Cauca en la margen derecha, consistente en dos túneles que se taponarán una vez construida la presa; el vertedero para evacuación de crecientes del tipo canal abierto controlado por cinco compuertas y el túnel de descarga intermedia para el control del llenado del embalse y garantizar en cualquier evento la descarga hacia aguas abajo de la presa de un caudal mínimo exigido por la autoridad ambiental de 21 m³.

Las obras de la central localizadas en el macizo rocoso de la margen derecha, comprenden la caverna principal de la casa de máquinas, donde se alojan ocho unidades de 300 MW de potencia

nominal cada una, con turbinas tipo Francis; generadores sincrónicos de eje vertical; equipos auxiliares electromecánicos y de control; sala de control; sala de montaje y edificios de oficinas.

Aguas arriba de ella se localiza la caverna de transformadores monofásicos por grupo y aguas abajo, dos cavernas de almenaras, una para cada cuatro unidades que mediante sendos túneles de descarga retornan el agua al río Cauca, unos 1.400 m aguas debajo de las captaciones.

Cada unidad de generación es alimentada por un túnel de conducción, que se inicia en una excavación sobre la margen derecha, en donde se ubica el conjunto de las ocho captaciones. Los túneles están provistos de compuertas de cierre, instaladas en pozos verticales cercanos a las captaciones.

En el exterior se tiene la subestación principal de tipo encapsulada, a la cual llegan los cables de potencia aislados a 500 kv mediante un pozo inclinado.

Complementan el proyecto otras obras asociadas, como el túnel de acceso a la casa de máquinas, el túnel de ventilación y salida de emergencia, los pozos de aireación de las almenaras y de extracción de humos, así como obras de infraestructura: vías de acceso, campamentos, línea de transmisión y subestación de construcción.

Aspectos metodológicos

Recolección de la información

En dicho acápite se resalta el esfuerzo investigativo requerido para la solución y aclaración de argumentos en cuanto a los beneficios de la aplicación del concreto deslizado en la caverna de casa de máquinas del proyecto hidroeléctrico Ituango, es decir, la información que fue suministrada por profesionales de las áreas operativas y administrativas fueron de total contundencia para el proceso en cuanto al desarrollo de del proyecto. En las entrevistas a personal administrativo sobre el enfoque a desarrollar estructuras que causaron grandes resultados en el momento de su construcción, informan que en cuanto a la planeación y programación de las obras se tuvieron que hacer cambios estratégicos ya que se iban a enfrentar a una situación que traería riesgos económicos para la compañía si el resultado era negativo, pero en el desarrollo de la aplicación del concreto deslizado en las estructuras se fue tomando confianza, obteniendo resultados positivos en los tiempos y costos en comparación a la técnica del vaciado convencional. De allí es suministrada historias reales en cuanto a costos, tiempos y éxitos en la entrega.

El presente proyecto es una investigación metodológica cualitativa, ya que se realizó un estudio detallado de cada una de las cualidades positivas y negativas que tienen los procesos en cuanto a la aplicación de concreto con el método deslizado y la exploración de cada uno de los detalles en las obras de construcción del proyecto hidroeléctrico Ituango. En las visitas al sitio con los profesionales operativos se habló de los procesos constructivos en cuanto a los riesgos de la construcción de las estructuras, el porcentaje de accidentes en el proceso constructivo de la técnica, la facilidad de los vaciados y la coordinación con el personal para tener éxito en la entrega. Responden positivamente en cuanto al éxito de las construcciones, afirmando la nula accidentalidad

laboral, el corto tiempo que se demoran en la construcción y los beneficios recibidos por cumplir con la entrega de las estructuras antes de los tiempos estipulados.

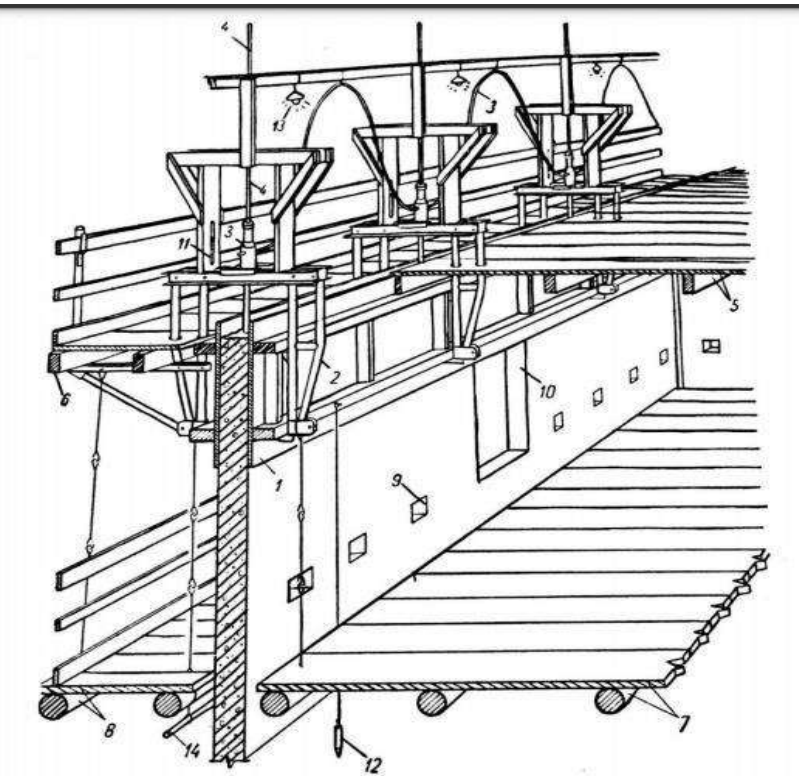
Es importante aclarar que la recolección de información se realizó de una manera práctica donde las consultas y entrevistas verbales fueron la principal fuente de investigación, de igual modo, el suministro de documentación interno en cuanto a procesos constructivos, normativas y éxito en las obras fueron importantes para la realización adecuada y convincente del proyecto investigativo.

Proceso constructivo para la aplicación de concretos en encofrado deslizante.

Este procedimiento es un concepto general aplicable para las estructuras reforzadas en concreto y acero; en su aplicación se incluyen generalmente cerchas metálicas, barras de trepa y sistema hidráulico para la posterior aplicación del concreto. Se instala a partir de un “arranque” o muro de pequeña dimensión (por lo general de 1.20 metros de altura) en donde se dejan las bases de los elementos que hacen parte del sistema del encofrado.

Ilustración 1

Encofrado completo para el vaciado de concreto deslizante



Fuente: Plano interno PHI 102245 proyecto Hidroitungo

Generalidades

Esta metodología se refiere a la construcción de muros y columnas las cuales se ejecutarán de acuerdo con los ejes, niveles, alineamientos, dimensiones, secciones y detalles mostrados en los planos de construcción, según se requiera y lo establezca las especificaciones técnicas de cada obra.

Actividades previas al vaciado

Instalación del acero pre armado mostrado en los planos de la obra a intervenir.

Adicionalmente, posicionar los elementos embebidos o demás si es el caso y se muestran en los planos.

Se deberá verificar que la estructura a vaciar en concreto, cumpla con la geometría, cantidad de acero de refuerzo. Además, verificar la cantidad y posición de los elementos solicitados en los planos.

Cada estructura que se prepare para el vaciado de concreto deberá estar limpia, libre de grasas y demás elementos ajenos a la estructura, (el acero de refuerzo no debe tener presencia de concreto endurecido que afecte la adherencia del nuevo concreto).

Se deberá verificar el alineamiento y verticalidad de los encofrados. Las caras interiores de los mismos deberán estar limpios, sin restos de concreto que afecten el acabado del mismo, antes de iniciar el vaciado se verificará el buen estado de los tableros de encofrado y se cubrirán con un producto desmoldante. En la formaleta deslizante se verificarán las caras de la cercha metálica como medida estándar para garantizar la verticalidad de la estructura. El personal de topografía estará haciendo la verificación de manera constante durante el proceso de deslizado para evitar complicaciones.

En el sitio deberá contar con un acceso a las plataformas de trabajo y resane para el vaciado del concreto ya que es una forma de facilitar los movimientos del personal y llevar control a los tiempos del vaciado.

Se debe hacer chequeo topográfico para verificación de los recubrimientos de acero según los planos de diseño de cada estructura a intervenir.

Se deberá contar con todos los equipos requeridos para el proceso de colocación del concreto, tales como: vibradores de inmersión, equipos de soldadura para ajustes en las formaletas, gatos hidráulicos, bomba hidráulica

Antes de cualquier vaciado de estas estructuras, se informará al personal capacitado anticipadamente al vaciado con el fin de que, si lo considera conveniente, verifique el alineamiento, formaletas, refuerzos y elementos adicionales constatando que se cumplen todos los requisitos de las especificaciones.

La empresa en ejecución dispondrá de diferentes equipos de respaldo que puedan suplir cualquier desperfecto mecánico de los equipos principales en los distintos frentes de obra.

Componentes y equipos de los concretos deslizados en muros y columnas reforzados

La formaleta deslizante metálica, está constituida principalmente por los siguientes elementos:

Tableros

Los tableros están constituidos por canales soldados que conforman el marco principal y un marco secundario para apoyo de la piel en lámina de acero. Son los encargados de darle forma al concreto una vez se haya endurecido, según Dinescu, (1973), los paneles deben satisfacer las siguientes condiciones:

La cara en contacto con el hormigón debe ser lo más lisa y regular posible.

No se debe deformar durante la colocación del encofrado por las cargas impuestas, ni por factores externos como la humedad.

Deben ser modulares, ósea se deben montar y desmontar con facilidad.

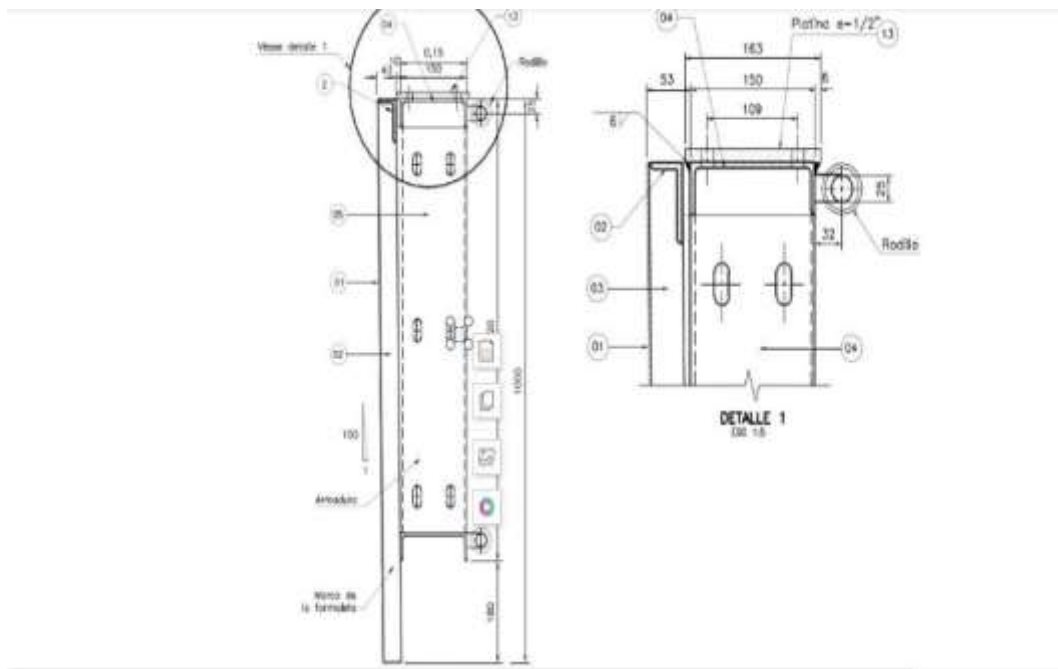
Ilustración 2*Tableros de la formaleta deslizante***Fuente:** Plano interno PHI 102245 proyecto Hidroituango

Ilustración 3

Tableros encofrados en muro del proyecto hidroeléctrico Itüango



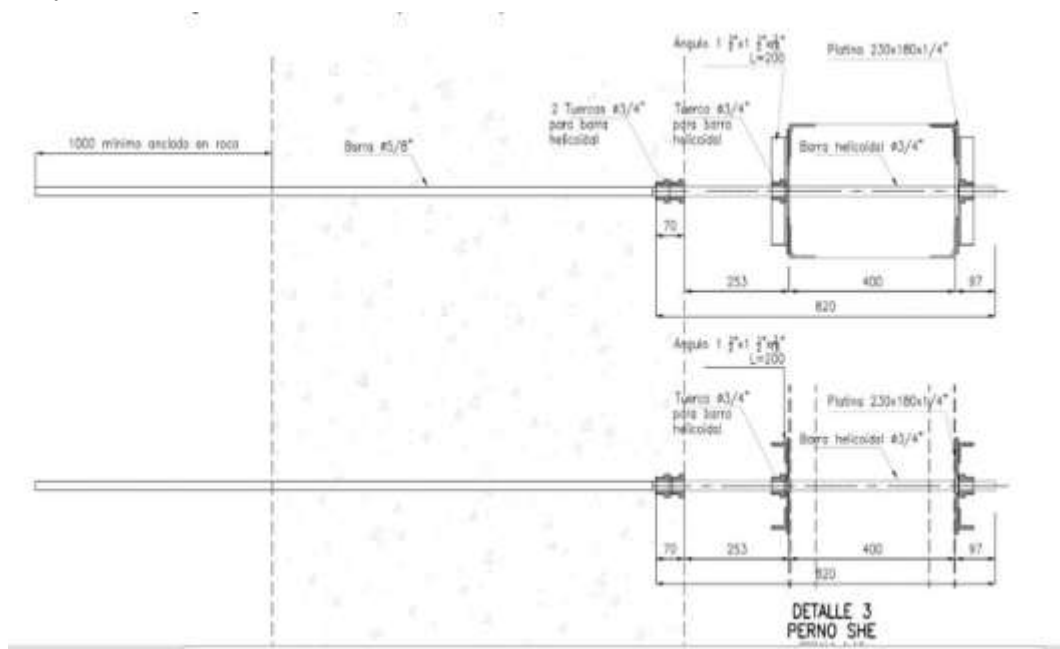
Fuente: Autoría propia

Pernos de anclaje de la cercha

Son un sistema de tensionamiento y firmeza para la cercha que en muchos casos cuando la formaleta es de una sola cara debe ir anclada ya sea en roca, ciclópeo o cualquier tipo de terreno que tenga la estructura en la parte trasera

Ilustración 4

Pernos de anclaje de las cerchas metálicas



Fuente: Plano interno PHI 102245 proyecto Hidroituango

Cercha

Serán fabricadas mediante el entramado de ángulos soldados que conforman una cercha de sección rectangular. Son elementos que se encargan de rigidizar y encarrilar los tableros durante el deslizado, vienen comercialmente con longitudes de 3, 6 y 9 metros y se anclan a muros previamente vaciados o entre ellas mismas con el uso de barras roscadas que al finalizar el deslizado se remueven con el uso de vainas recuperadoras o cortándose con oxicorte y resanando la superficie.

Ilustración 5

Cerchas instaladas en muro aguas arriba de la caverna de casa de máquinas del proyecto Hidroeléctrico Itüango



Fuente: Autoría propia

Ilustración 6

Cerchas instaladas para el encofrado deslizante de una columna del proyecto hidroeléctrico



Fuente: Autoría propia

Gato hidráulico

Ayuda con la capacidad de elevar la formaleta a una menor fuerza ya que la proporción del peso de la formaleta es muy alta. Estos dispositivos son los encargados del alto rendimiento de este método. Los primeros gatos requerían de mano de obra para su funcionamiento, transmitiendo movimientos en fuerzas para elevar el sistema de forma mecánica. Posteriormente se usó aire con los gatos neumáticos hasta llegar finalmente a los gatos hidráulicos que utilizan aceite a presión.

Ilustración 7

Gatos hidráulicos para la formaleta deslizante



Fuente: Autoría propia

Manguera hidráulica

Es la conducción entre los gatos y el motor para generar la fuerza en la elevación y bombear resistencia en el momento de ascender con el encofrado.

Ilustración 8

Manguera hidráulica para el encofrado de formaleta deslizante



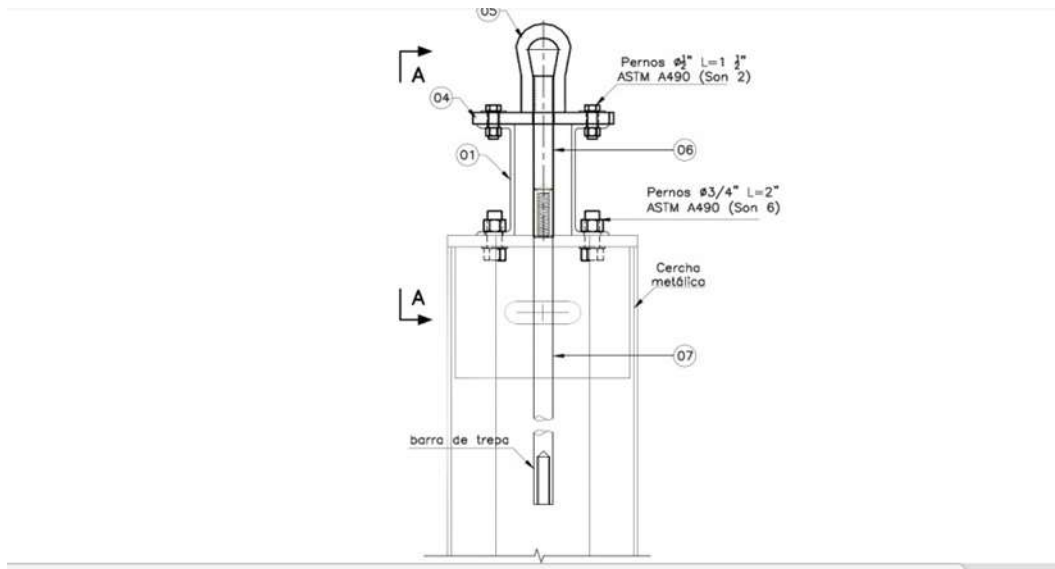
Fuente: Autoría propia

Barras de trepa

Las barras de trepa tendrán las longitudes requeridas para cada estructura, que se acoplan unas con otras hasta lograr la longitud requerida. Estas se conectarán a la parte superior de las cerchas mediante un dispositivo conformado por canales metálicos y una barra fija con rosca interna para el acople final.

Ilustración 9

Método de instalación de las barras de trepa



Fuente: Plano interno PHI 102245 proyecto Hidroituango

Ilustración 10

Instalación de barra de trepa en muro del proyecto hidroeléctrico Ituango



Fuente: Autoría propia

Andamios de trabajo

Corresponden a los andamios sobre los cuales se posicionarán los trabajadores que realizarán las actividades de resanes y curado de concreto. Están constituidos por ángulos soldados y se conectan a los tableros de la formaleta deslizante mediante conexión pernada. El andamio inferior es armado estrictamente para los resanes necesarios mediante la elevación del concreto deslizado.

Ilustración 11

Andamios de trabajo para el vaciado deslizante de una columna en el proyecto hidroeléctrico Ituango



Fuente: Autoría propia

Ilustración 12

Andamio de trabajo para el arranque de una columna del proyecto hidroeléctrico Itiango



Fuente: Autoría propia

Concreto***Aplicación***

Se debe garantizar una caída libre de la mezcla inferior a dos metros en el momento de la descarga, a menos que se evite la segregación mediante otro sistema.

Se tendrá en cuenta, para la fabricación de los concretos, que la temperatura deberá ser controlada en el momento de la colocación y la velocidad del vaciado estará dentro de los límites típicos sugeridos por el ACI (American Concrete Institute) de 6” a 15” (15.24cm a 38.1cm) ACI 311.1R-07, Capítulo 15, Numeral 15.1.

Para realizar un correcto manejo de las mezclas, mediante el control de asentamientos, temperaturas y manejabilidad, se requerirá una persona de laboratorio durante los vaciados de concreto. (Hablar de los asentamientos y las temperaturas adecuadas.

La colocación del concreto dentro de la formaleta puede ser variable mediante capas de 18cm \pm 5cm para evitar protuberancias del concreto al momento de ascender con la formaleta. Se tendrá en cuenta que la velocidad de ascenso dependerá de la consistencia de la mezcla.

Durante el avance de la estructura, se tendrá un personal dispuesto en la plataforma de resane que se encargará de darle acabado final al concreto que va quedando descubierto al paso ascendente de la formaleta, ejecutando los resanes necesarios y descubriendo los elementos que acompañan la estructura que se interviene.

Muy importante instalar en la plataforma de resane un sistema de riego de agua constante que garantice el curado de la estructura de acuerdo a las especificaciones, en caso de no tener el sistema de riego completo se empleará un curador químico de tipo Sika® Antisol o su equivalente.

Ilustración 13

Resane de la columna después de la elevación de la formaleta deslizante



Fuente: Autoría propia

Ilustración 14

Resane del muro después da la elevación de la formaleta deslizante



Fuente: Autoría propia

Endurecimiento del concreto.

Es una característica que define el rendimiento del método, ya que es necesario que el concreto adquiera cierta resistencia por lo menos para mantener su forma y de esta manera permitir el avance del tablero. Es recomendable tener un control en obra de la velocidad de endurecimiento del concreto, en función del volumen del elemento y de las condiciones externas que afectan directamente los tiempos de fragua del concreto. En Dinescu, (1973) se presenta una tabla que muestra el tiempo en el que cierta profundidad de concreto se endurece, en función del clima y demás condiciones externas, que a su vez definen la velocidad del deslizamiento:

Ilustración 15

velocidad de deslizamiento en el vaciado del concreto

Velocidad de deslizamiento — cm./h.	El hormigón llega a una profundidad de cm.					Observaciones
	45	65	85	105	125	
	después de horas					
5	8	12	16	20	24	Velocidad mínima de deslizamiento para 2-3 elevaciones por hora.
10	4	6	8	10	12	
15	2 h. 40 m.	4	5 h. 20 m.	6 h. 40 m.	8	Velocidad media en tiempo frío.
20	2	3	4	5	6	Velocidad media en tiempo cálido, t. $\geq 15^{\circ}$ C.
25	1 h. 35 m.	2 h. 20 m.	3 h. 10 m.	4	4 h. 50 m.	
						Velocidad máxima en tiempo cálido, t. $> 15^{\circ}$ C.

Fuente: Plano interno PHI 102245 proyecto Hidroitungo

Proceso constructivo para la aplicación de concretos en encofrado tradicional

Descripción del método.

El sistema tradicional es donde se utilizan tapas para el cajón y estas pueden ser de madera o metálicas, que den forma a un elemento x , los tableros o formaletas van en una altura máxima de 2.7 m, en el cual el vaciado de los elementos termina siendo un proceso de varias etapas. Dicho encofrado se traslada de manera mecánica o con ayuda de grúas y elevadores (se limita un peso máximo de hasta 70 kg para la manipulación) hasta el punto donde se encuentra ubicada la estructura para posteriormente instalar el tablero y la cimbra (Botero, 2006).

El retiro de la formaleta del sistema tradicional normalmente se hace pasado uno o dos días del vaciado, sin embargo, en el título C.6.2.1 de la NRS-10 se indica que el concreto expuesto luego del desmonte del encofrado no debe haberse deteriorado en dicho proceso, por lo que dependiendo de la resistencia del concreto y del clima el desmonte de la formaleta puede prolongarse más tiempo.

Luego del retiro la formaleta es utilizada nuevamente para la siguiente etapa del vaciado sobre la junta constructiva. Y así se requiere nuevamente el traslado e instalación del encofrado en cada etapa que vaya a ser vaciada. En la actualidad los encofrados para muros más utilizados son los módulos recuperables prefabricados, este sistema está diseñado para

Armarse en plantas, montarse y desmontarse con facilidad lo que ha facilitado el ciclo, sin embargo, todavía requiere de gran mano de obra o maquinaria para ejecutar este proceso, aumentando los costos en mano de obra y equipos (Botero, 2006).

El encofrado tradicional es un sistema de elevación vertical a dos caras, en donde predomina el plano vertical, lo que hace que quede inestable en la dirección normal y se obligue a reforzar

horizontalmente con retoques diagonales o puntales. Al ser estructuras armadas de gran altura, la presión del concreto en la base es mayor, y es allí donde se van a generar malformaciones a parte de los abombamientos de manera horizontal por desajustes del cajón.

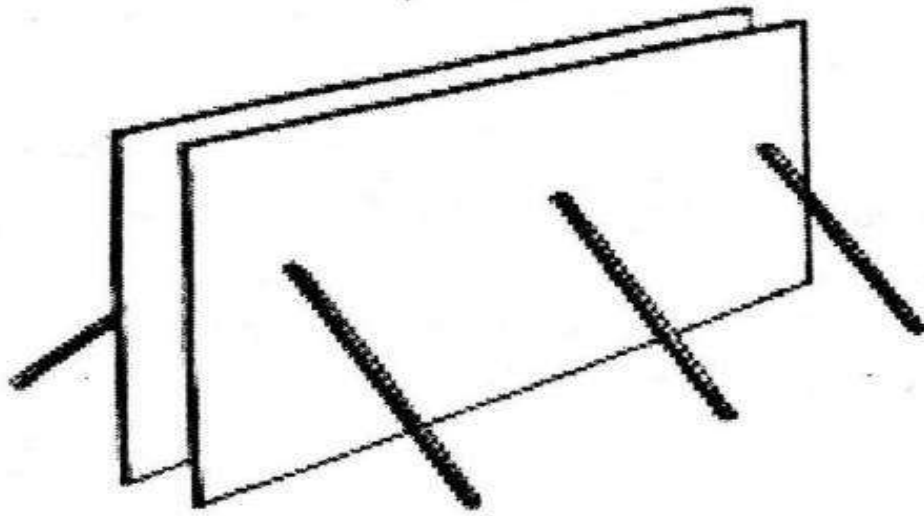
A continuación, se exponen los diferentes modelos de encofrado tradicional:

Modelo vertical a dos caras

Este modelo es el encofrado principal para muros reforzados y predomina en el plano vertical. Es común que falle su resistencia en el cajón por falta de aseguramiento de la base o por abombamiento en sentido horizontal debido al poco retaque diagonal, por lo que debe ser apuntalado correctamente y reforzado alrededor para garantizar la rigidez ante las malformaciones de la formaleta.

Ilustración 16

Encofrado tradicional para muro



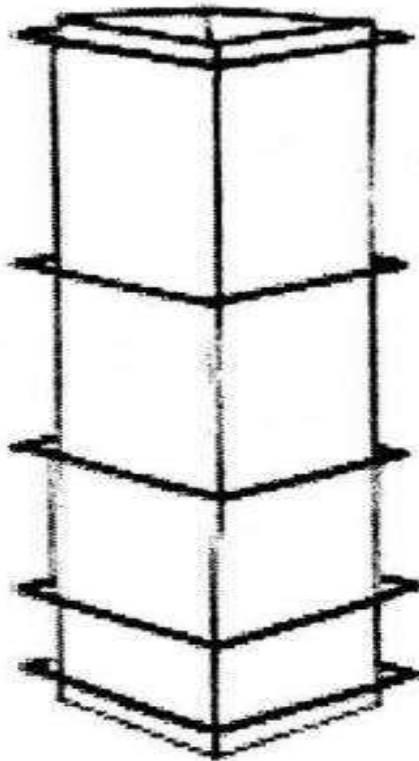
Fuente: peri.com.pe Encofrados, andamios e ingeniería

Modelo tubular

Es el encofrado común para el vaciado de las columnas reforzadas, resaltando por la altura que es la dimensión predominante. La principal falla en dicho encofrado se presenta por la presión del concreto fluido el cual causa mucha fuerza en la base, al no ser bien apuntalado o prensado hay grandes posibilidades de desplazamiento.

Ilustración 17

Encofrado tradicional para una columna



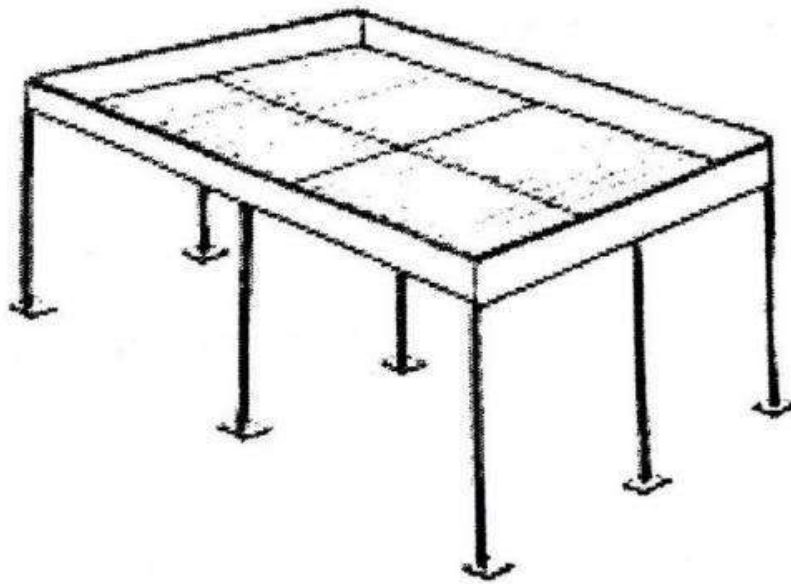
Fuente: peri.com.pe Encofrados, andamios e ingeniería

Modelo horizontal

Este modelo es comúnmente presentado para el encofrado de las losas, se caracteriza por su gran área horizontal y su poco espesor. Dicho encofrado recibe el peso en forma de cama para el concreto superpuesto, en el inferior es soportado por puntales distribuidos equitativamente para repartir el peso de la losa. La falla común es en los puntales que la sostienen, ya sea por desestabilización horizontal del conjunto o por pandeo de los mismos.

Ilustración 18

Encofrado tradicional para una losa



Fuente: peri.com.pe Encofrados, andamios e ingeniería

Componentes y equipos de los vaciados tradicionales para muros y columnas reforzados

Dentro de los encofrados para muros se distinguen dos categorías principales, los encofrados tradicionales en madera y los sistemas metálicos.

Los encofrados tradicionales en madera, en realidad cuentan con piezas metálicas en elementos que pueden sufrir gran afectación por las cargas y por el deterioro. Este encofrado está constituido por los siguientes componentes:

Tableros de madera.

Conjunto de piezas alineadoras, generalmente horizontales.

Tensores metálicos.

Puntales metálicos extensibles.

Clavos, tornillos, cuñas y otros accesorios.

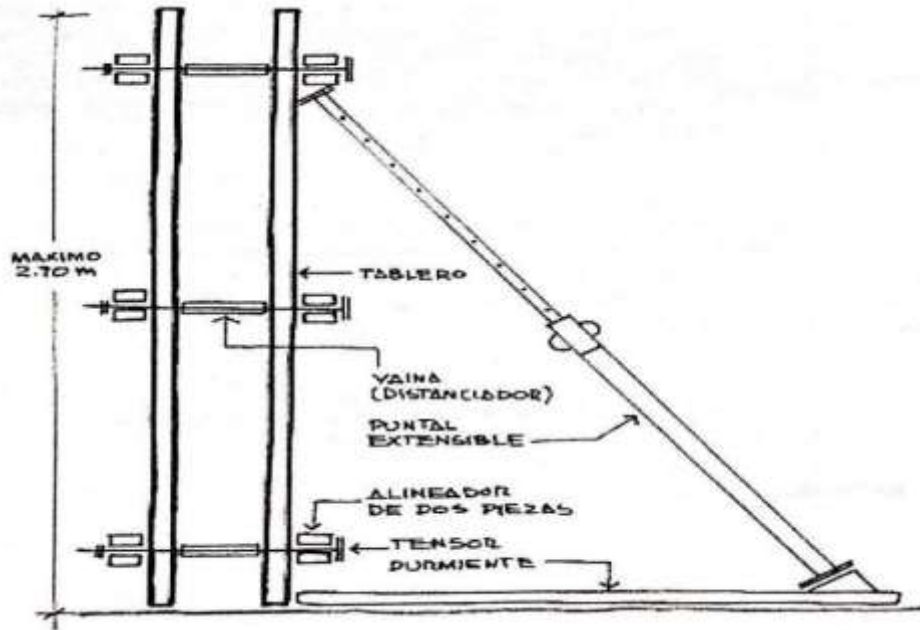
Resumen de función de los elementos

Aun con la introducción de los elementos metálicos, este encofrado sigue siendo propenso a deformaciones por el empuje del concreto, por la intemperie y la humedad. Gran parte de estos problemas se manifestaban en el acabado del concreto, en donde, por acción del agua la madera del tablero se deforma y el acabado terminaba con cambios en la verticalidad.

A continuación, se presenta un esquema tradicional de un encofrado para muro.

Ilustración 19

Función de los elementos del vaciado tradicional



Fuente: peri.com.pe Encofrados, andamios e ingeniería

Análisis presupuestal de la información

Análisis del sistema de encofrados y vaciados deslizantes

Las estructuras de estudio en la aplicación de concreto deslizante son los muros y columnas de la caverna de casa de máquinas del proyecto hidroeléctrico Ituango, que son construidos 100% en acero de refuerzo y concreto.

Es necesario estudiar y diseñar muy detalladamente el sistema del encofrado deslizante para determinar los costos y los tiempos en la ejecución del mismo. Principalmente se definen los tableros del panel y sus soportes para que no haya deformaciones con la aplicación del concreto. Luego se diseñan los andamios y plataformas para soportar los materiales y la mano de obra que va a ejecutar el procedimiento. Finalmente se instala un sistema de elevación con los gatos hidráulicos teniendo en cuenta las especificaciones técnicas de cada uno de ellos. Una vez se haya definido cada elemento del diseño del encofrado deslizante, se procede a hallar los costos de materiales y ejecución, compra o alquiler de los equipos mediante cotizaciones a diferentes proveedores, cantidad de mano de obra y tiempo de construcción.

Es necesario tener en cuenta que los equipos para la formaleta de los vaciados deslizantes son elementos costosos en su adquisición, pero su durabilidad y facilidad para la construcción de las estructuras sobrepasan las expectativas de éxito en cuanto al vaciado tradicional. Son equipos que se arman y desarman sin sufrir deterioros tempranos ya que son hechos por material mecánico como acero, cobre, entre otros.

Análisis del sistema de encofrados y vaciados tradicionales

El análisis se desarrolla igualmente para lo mencionado en el punto anterior, se procede a un estudio detallado de los elementos necesarios para el encofrado, mano de obra y tiempos de ejecución. Primero se debe reconocer los materiales necesarios para realizar la formaleta o cajón, teniendo en cuenta que para lograr la estabilidad necesaria debe contarse con puntales de madera o metálicos, tapas por módulos metálicas, plástico o madera, accesorios como uñas, tensores, mariposas, tornillos o en su defecto alambres galvanizados o dulces. Luego se define el tramo a vaciar de la estructura para determinar cuánto equipo, tiempo y mano de obra se necesita para la ejecución. Se debe tener en cuenta que el vaciado de la estructura con el sistema tradicional se realiza por tramos, al contrario que el sistema deslizante, que es un vaciado general para el 100% de la estructura en una sola intervención. Posterior a ello el equipo debe retirarse y armar de nuevo duplicando los tiempos, el trabajo y mano de obra, no obstante, se debe revisar cuál de los equipos retirados se puede reutilizar y cuales fueron dañados en el vaciado anterior. Igualmente se recurre a proveedores para la cotización de los elementos bien sea para alquiler o compra definitiva.

Todo lo antes mencionado concluye en la duplicación de tiempo, costos, mano de obra, correcciones en la programación y planeación para el cumplimiento de metas.

Análisis de precios unitarios (APU) para ambos sistemas constructivos

El análisis de precios unitarios (APU) es un sistema que permite controlar el rendimiento de las actividades en la obra, estimando los costos y tiempos en todos los procesos. Para obtener una exactitud cuantitativa de precios unitarios es muy importante la calidad de la información en los parámetros establecidos para dicha actividad, esto asegura la efectividad del análisis.

Un análisis de precios unitarios está compuesto por los siguientes elementos:

- a) Presupuesto

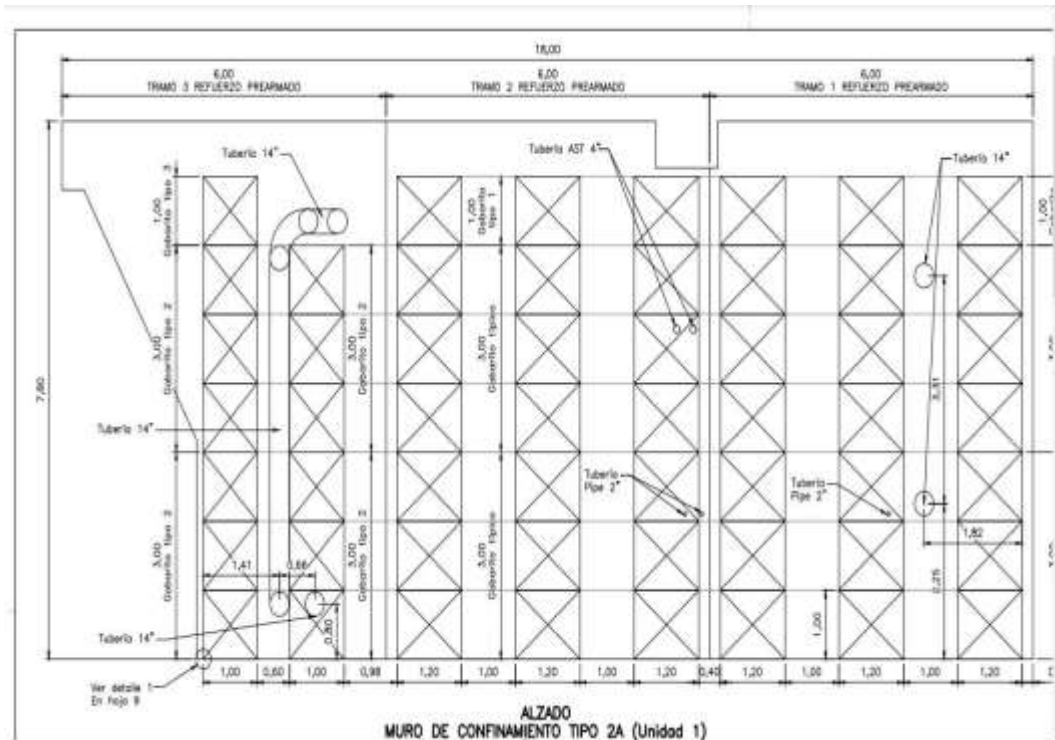
- b) Precio unitario:
 - Mano de obra
 - Material
 - Equipo
- c) Cantidad
- d) Costos
- e) Unidad de obra
- f) Tiempos de ejecución

Análisis cualitativo y cuantitativo entre ambos métodos

Se determinan todos los ítems en el análisis de precios unitarios para calcular el presupuesto, argumentando si la metodología utilizada es viable o inviable, teniendo en cuenta el costo de cada elemento, los cálculos de cada uno de ellos y la cantidad que se requiera para la actividad.

Posteriormente se confrontan todos los métodos directamente, se compara el costo unitario de los dos sistemas de vaciados para concluir con la diferencia en costos.

Análisis para el estudio del muro tipo 2A de la caverna de casa de máquinas en el proyecto hidroeléctrico Ituango

Ilustración 20*Muro tipo 2A con sus medidas externas*

Fuente: Plano interno PHI 102259 Alzado muro tipo 2A proyecto Hidroituangó

Como se puede observar en la imagen anterior el muro tipo 2A tiene una altura de 7.80 m, una base de 18.00 m y un espesor de 1.00 m, representado en la siguiente fórmula:

$$\text{Área} = b * h =$$

$$A = 18.00\text{m} * 7.80\text{m} = \mathbf{140.40 \text{ m}^2} * 2 \text{ lados } n = \mathbf{280.80\text{m}^2} \text{ (formaleta)}$$

$$M3 = b * h * e =$$

$$M3 = 18.00\text{m} * 7.80\text{m} * 1.00\text{m} = \mathbf{140.40 \text{ m}^3} \text{ (concreto)}$$

El muro requiere un cajón por ambos lados para soportar el concreto aplicado, el resultado del área en la fórmula anterior sólo se presentó en una sola cara, así que para presentar el análisis de

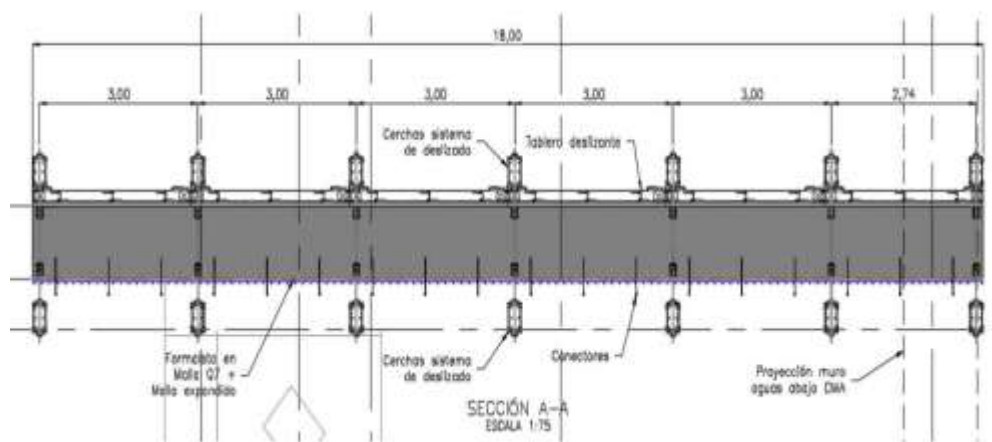
precios unitarios se duplica a **280.80 m²**. De igual modo, la fórmula para sacar los metros cúbicos de concreto arroja un resultado de **140.40 m³**. Con este resultado se tiene la información para determinar el análisis de precios unitarios en el sistema deslizante y sistema tradicional.

Análisis del sistema deslizante para el muro 2A de la caverna de casa de máquinas en el proyecto hidroeléctrico Ituango

A continuación, se presenta un encofrado de formaleta deslizante en planta del muro 2A para determinar los equipos necesarios en el análisis de precios unitarios.

Ilustración 21

Vista de encofrado en planta muro 2A



Fuente: Plano interno PHI 102259 En planta muro tipo 2A proyecto Hidroituango

En el proyecto hidroeléctrico se utiliza un tablero de una altura máxima de 1.00m para las diferentes estructuras que van a ser deslizadas, cuyo tablero será el cajón que se desplazará de manera vertical dando forma al concreto en este caso del muro tipo 2A.

Las cerchas metálicas y las barras de trepa tienen una altura de 9.00m y van distribuidas cada 3.00m en la base, por ambas caras del muro.

Los pernos de anclaje se instalan cada 3.00m en sentido vertical para soportar una cercha con otra y dar estabilidad en el armado de la formaleta deslizante, cada perno tiene una longitud de 2.00m.

Los gatos hidráulicos van instalados cada uno en una cercha para realizar la fuerza con un desplazamiento vertical por medio de la barra de trepa.

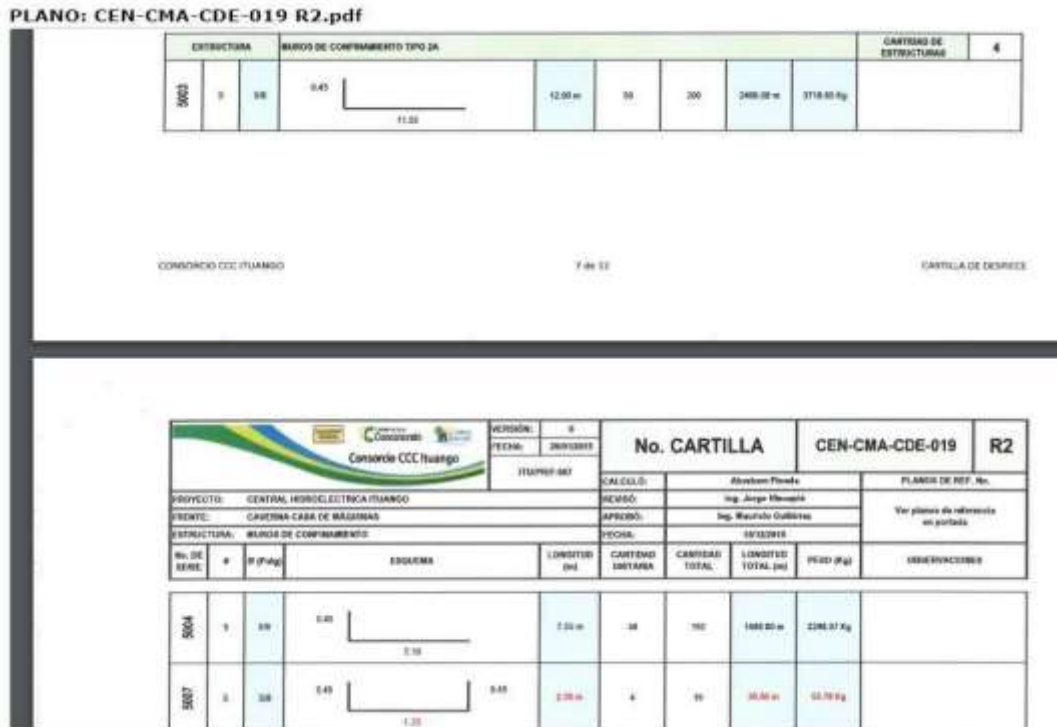
Los andamios de trabajo se instalan en dos tramos, el superior para la colocación del concreto y el inferior para resanes después de la elevación del tablero. En el muro tipo 2A se utilizarán dos andamios superiores y dos inferiores.

La mano de obra requerida para la construcción del muro tipo 2A con el sistema deslizante es un encargado, seis oficiales y seis ayudantes, quienes construirán el sistema de encofrado deslizante con todas las especificaciones técnicas y el equipo necesario. Posteriormente en el momento de la aplicación del concreto, tres oficiales y tres ayudantes se encargan de recibir el concreto para la aplicación, de igual modo, tres oficiales y tres ayudantes se instalarán en la parte inferior para encargarse de todo lo relacionado con resanes e imprevistos durante la ejecución. El encargado de la actividad deberá supervisar todos los procedimientos desde el principio hasta el final del vaciado.

El acero total para el muro tipo 2A es de 31,664.83kg, como se identifica en la siguiente cartilla de despiece de acero:

Ilustración 22

Despiece de acero muro tipo 2A-1



Fuente: Plano interno CEN-CMA-CDE-019 Cartilla acero muro tipo 2A proyecto Hidroituango

Ilustración 23

Despiece de acero muro tipo 2A-2

PLANO: CEN-CMA-CDE-019 R2.pdf

Item	Q	U	Altura	Longitud	Perímetro	Vol.	Peso	Peso	Detalle
5008	5	0.45	0.45	9.00	9.00 m	28	98	886.85 m	953.98 Kg Var. 4.70 / 4.80 / 5.04 / 5.21 / 5.39 / 5.56 / 5.73 / 5.90 / 6.07 / 6.25 / 6.42 / 6.60
5009	5	0.45	0.45	10.04	10.04 m	22	98	827.83 m	1427.14 Kg Var. 6.22 / 6.40 / 6.58 / 6.75 / 6.92 / 7.09 / 7.27 / 7.44 / 7.61 / 7.79 / 7.96
5010	5	0.45	0.45	9.00	9.00 m	22	98	436.90 m	1295.03 Kg
5011	5	0.45	0.45	4.00	4.00 m	22	98	448.90 m	886.21 Kg
5012	5	0.45	0.45	1.00	1.00 m	18	12	225.28 m	217.89 Kg
5013	5	0.45	0.45	6.04	6.04 m	9	28	168.98 m	243.28 Kg
5014	5	0.45	0.45	4.50	4.50 m	4	98	75.20 m	148.22 Kg
5015	5	0.45	0.45	11.75	11.75 m	15	98	470.85 m	726.26 Kg
8001	5	0.45	0.45	7.04	7.04 m	22	98	582.22 m	2847.08 Kg

Fuente: Plano interno CEN-CMA-CDE-019 Cartilla acero muro tipo 2A proyecto Hidroituango

Ilustración 24

Despiece de acero muro tipo 2A-3

PLANO: CEN-CMA-CDE-019 R2.pdf

8002	5	0.45	0.45	7.04	7.04 m	92	308	2132.26 m	12354.74 Kg
8007	5	0.45	0.45	3.38	3.38 m	28	112	325.92 m	1263.38 Kg Revisa de conexión si tiene espesor adicional
8008	5	0.45	0.45	5.90	5.90 m	3	28	169.29 m	726.87 Kg
8009	5	0.45	0.45	6.90	6.90 m	9	28	189.89 m	217.68 Kg
8010	5	0.45	0.45	5.64	5.64 m	8	98	191.28 m	848.00 Kg Var. 1.02 / 1.45 / 1.89 / 2.32 / 2.75 / 3.19 / 3.62 / 4.05
8011	5	0.45	0.45	3.38	3.38 m	8	38	161.22 m	425.88 Kg Var. 1.02 / 1.45 / 1.89 / 2.32 / 2.75 / 3.19 / 3.62 / 4.05
8012	5	0.45	0.45	3.38	3.38 m	1	4	34.36 m	155.09 Kg
8013	5	0.45	0.45	7.38	7.38 m	1	4	32.84 m	130.32 Kg
MUROS DE CONFINAMIENTO TIPO 2A								PESO PARCIAL (Kg)	31864.83 Kg

Fuente: Plano interno CEN-CMA-CDE-019 Cartilla acero muro tipo 2A proyecto Hidroituango

En cuanto al tiempo se necesitan tres días de 12 hr laborales para la instalación del acero, dos días de 12 horas laborales para la instalación de la formaleta deslizante y andamios de trabajo.

Teniendo en cuenta la altura del muro (7.80m) y el tramo deslizado por hora (0.20m) tabla 1 pág 41, se necesitan 39 hr laborales para la aplicación del concreto total en el muro tipo 2A.

Finalmente, la cantidad de concreto necesario para el vaciado del muro tipo 2A es de **140.40 m³**, como lo muestra la fórmula, pag 49.

Análisis de precios unitarios para el muro 2A con el sistema de encofrado deslizante

Tabla 1
Análisis de precios unitarios muro tipo 2A con el sistema deslizante

PRESUPUESTO OFICIAL - SISTEMA DE VACIADO DESLIZANTE						
°	ITEM DE PAGO	DESCRIPCIÓN	MEDIDA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
MATERIAL						
	ACERO	COLOCACIÓN DE ACERO	KG	31664.83	\$ 3,440	\$ 108,927,015
	CONCRETO	COLOCACIÓN DE CONCRETO	M3	140.4	\$ 399,974	\$ 56,156,349
EQUIPO						
	TABLERO	INSTALACIÓN TABLERO	M2	36	\$ 98,994	\$ 3,563,784
	CERCHAMETÁLICA	INSTALACIÓN CERCHA	UND	14	\$ 70,000	\$ 980,000
	BARRAS DE TREPA	INSTALACIÓN BARRAS	UND	14	\$ 60,000	\$ 840,000
	GATO HIDRÁULICO	INSTALACIÓN GATO	UND	14	\$ 150,000	\$ 2,100,000
	MANGUERA HIDRÁULICA	INSTALACIÓN MANGUERA	UND	14	\$ 20,000	\$ 280,000
	PERNOS DE ANCLAJE	INSTALACIÓN PERNOS	UND	14	\$ 18,000	\$ 252,000

	TABLONES PLATAFORMA	INSTALACIÓN TABLONES	UND	12	\$ 25,000	\$ 300,000
0	ANDAMIOS DE TRABAJO	INSTALACIÓN ANDAMIOS	UND	4	\$ 200,000	\$ 800,000
MANO DE OBRA						
1	1 ENCARGADO	SUPERVISIÓN	HORAS	99	\$ 13,333	\$ 1,319,967
2	6 OFICIALES	TRABAJO OPERATIVO	HORAS	297	\$ 6,250	\$ 1,856,250
3	6 AYUDANTES	TRABAJO OPERATIVO	HORAS	297	\$ 3,783	\$ 1,123,551
TOTAL COSTOS						\$ 178,498,916

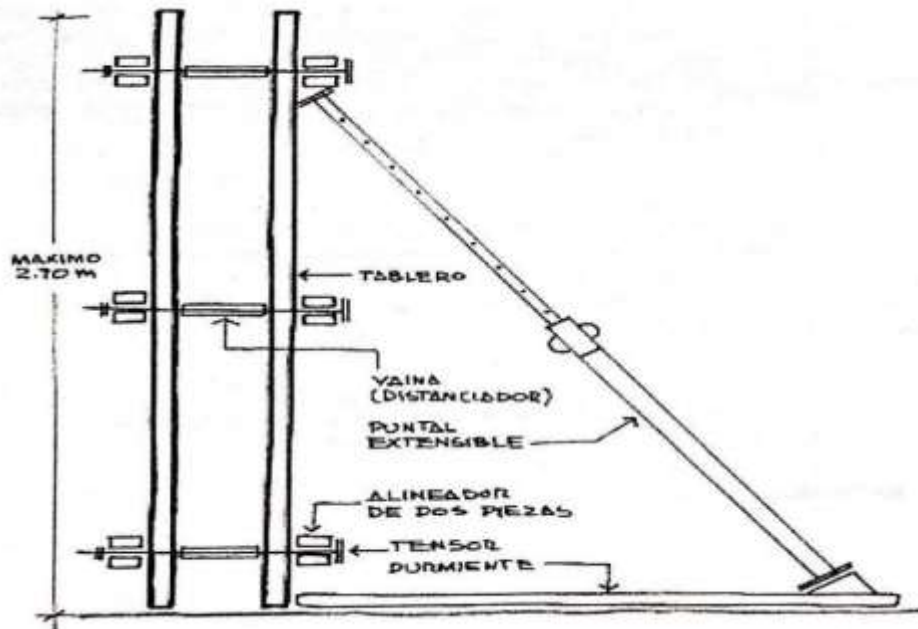
Fuente: Autoría propia

Análisis del sistema tradicional para el muro 2A de la caverna de casa de máquinas en el proyecto hidroeléctrico Ituango

A continuación, se presenta un encofrado de formaleta tradicional del muro 2A para determinar los equipos necesarios en el análisis de precios unitarios. Dicho encofrado es un armado para vaciar la primera etapa de un muro cuya altura por etapa es de 2.70 m, teniendo en cuenta que la regla para el encofrado tradicional indica que la máxima altura por etapas debe ser la antes mencionada y no puede sobrepasar los límites, con el fin de prevenir alteraciones, malformaciones y poca resistencia de las estructuras después de haber aplicado el concreto.

Ilustración 25

Sistema del encofrado tradicional para estudio



Fuente: peri.com.pe Encofrados, andamios e ingeniería

Si el vaciado del muro se realiza con el sistema tradicional, constaría de los siguientes factores y elementos:

Los tableros de la formaleta o tapas tienen que formar el cajón completamente del muro ya que será un encofrado estático, no obstante, el vaciado debe hacerse en tres etapas para no sobrepasar los 2.70m de altura permitido en la formaleta tradicional, como lo muestra la imagen anterior. La primera etapa se vaciará con una altura de 2.70m, la segunda etapa de igual modo, se vaciará con una altura de 2.70m y la tercera etapa con una altura de 2.40m, cumpliendo con la altura total del muro de 7.80m.

El proceso de la instalación de la formaleta y el vaciado iniciaría de la siguiente manera:

Después de instalar el acero correspondiente del muro, pag 52, se instalan y se alinean las tapas metálicas de 1.50m*2.00m cada una hasta lograr la totalidad del cajón del primer tramo. Después se instalan los tensores para delimitar el espacio entre las dos caras de la formaleta, posterior a ello se unen las tapas con ganchos metálicos para garantizar estáticamente la formaleta. Finalmente se ubican los diagonales metálicos, que constan de unos paralelos en sentido diagonal aportando la fuerza para la rigidez de la formaleta en el momento de la aplicación del concreto.

El tiempo del vaciado del muro con el sistema tradicional se aumenta ya que después de vaciar el primer tramo se debe esperar 48 horas para desencofrar, limpiar el equipo e instalarlo en el segundo tramo del muro y así consecuentemente.

La mano de obra debe aumentarse ya que se necesita mayor personal que en el sistema de vaciado deslizante por la complejidad de los procesos, 1 encargado, 12 oficiales y 12 ayudantes. Para cada tramo el tiempo de instalación de la formaleta es de tres días de 12 horas laboradas, la aplicación del concreto por tramo es de 12 horas laboradas, el desmonte y limpieza del equipo para la reutilización en cada tramo es de dos días de 12 horas laboradas.

A comparación del sistema deslizante se necesita una sola plataforma o andamio de trabajo en cada tramo, no hay plataforma para resane porque la formaleta es estática y cerrada totalmente, se identifican las malformaciones únicamente después de retirar el cajón.

Análisis de precios unitarios para el muro 2A con el sistema de encofrado tradicional

Tabla 2

Análisis de precios unitarios muro tipo 2A con el sistema tradicional

PRESUPUESTO OFICIAL - SISTEMA DE VACIADO TRADICIONAL
--

TRAMO 1 DEL MURO TIPO 2A

°	ITEM DE PAGO	DESCRIPCIÓN	MEDIDA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
MATERIAL						
	ACERO	COLOCACIÓN DE ACERO	KG	10554.94	\$ 3,440	\$ 36,308,993
	CONCRETO	COLOCACIÓN DE CONCRETO	M3	48.6	\$ 399,974	\$ 19,438,736
EQUIPO						
	TABLERO	INSTALACIÓN TABLERO	M2	280.8	\$ 98,994	\$ 27,796,392
	DIAGONALES METÁLICOS	INSTALACIÓN DIAGONALES	UND	72	\$ 40,000	\$ 2,880,000
	TENSORES	INSTALACIÓN TENSORES	UND	32	\$ 25,000	\$ 800,000
	GANCHOS O UÑAS	INSTALACIÓN GANCHOS	UND	108	\$ 15,000	\$ 1,620,000
	RIOSTRAS MK	INSTALACIÓN RIOSTRAS MK	UND	24	\$ 70,000	\$ 1,680,000
MANO DE OBRA						
	1 ENCARGADO	SUPERVISIÓN	HORAS	72	\$ 13,333	\$ 959,976.00
	6 OFICIALES	TRABAJO OPERATIVO	HORAS	432	\$ 6,250	\$ 2,700,000.00
	6 AYUDANTES	TRABAJO OPERATIVO	HORAS	432	\$ 3,783	\$ 1,634,256.00
	TOTAL COSTOS					\$ 95,818,353.00
TRAMO 2 DEL MURO TIPO 2°						
°	ITEM DE PAGO	DESCRIPCIÓN	MEDIDA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
MATERIAL						
	ACERO	COLOCACIÓN DE ACERO	KG	10554.94	\$ 3,440	\$ 36,308,993
	CONCRETO	COLOCACIÓN DE CONCRETO	M3	48.6	\$ 399,974	\$ 19,438,736
EQUIPO						

TABLERO	INSTALACIÓN TABLERO	M2	280.8	\$ 98,994	\$ 27,796,392
DIAGONALES METÁLICOS	INSTALACIÓN DIAGONALES	UND	72	\$ 40,000	\$ 2,880,000
TENSORES	INSTALACIÓN TENSORES	UND	32	\$ 25,000	\$ 800,000
GANCHOS O UÑAS	INSTALACIÓN GANCHOS	UND	108	\$ 15,000	\$ 1,620,000
RIOSTRAS MK	INSTALACIÓN RIOSTRAS MK	UND	24	\$ 70,000	\$ 1,680,000
MANO DE OBRA					
1 ENCARGADO	SUPERVISIÓN	HORAS	72	\$ 13,333	\$ 959,976
6 OFICIALES	TRABAJO OPERATIVO	HORAS	432	\$ 6,250	\$ 2,700,000
6 AYUDANTES	TRABAJO OPERATIVO	HORAS	432	\$ 3,783	\$ 1,634,256
TOTAL COSTOS					\$ 95,818,353
TRAMO 3 DEL MURO TIPO 2A					
ITEM DE PAGO	DESCRIPCIÓN	MEDIDA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
MATERIAL					
ACERO	COLOCACIÓN DE ACERO	KG	10554.94	\$ 3,440	\$ 36,308,993
CONCRETO	COLOCACIÓN DE CONCRETO	M3	43.2	\$ 399,974	\$ 17,278,876
EQUIPO					
TABLERO	INSTALACIÓN TABLERO	M2	280.8	\$ 98,994	\$ 27,796,392
DIAGONALES METÁLICOS	INSTALACIÓN DIAGONALES	UND	72	\$ 40,000	\$ 2,880,000
TENSORES	INSTALACIÓN TENSORES	UND	32	\$ 25,000	\$ 800,000
GANCHOS O UÑAS	INSTALACIÓN GANCHOS	UND	108	\$ 15,000	\$ 1,620,000

RIOSTRAS MK	INSTALACIÓN RIOSTRAS MK	UND	24	\$ 70,000	\$ 1,680,000
MANO DE OBRA					
1 ENCARGADO	SUPERVISIÓN	HORAS	72	\$ 13,333	\$ 959,976
6 OFICIALES	TRABAJO OPERATIVO	HORAS	432	\$ 6,250	\$ 2,700,000
6 AYUDANTES	TRABAJO OPERATIVO	HORAS	432	\$ 3,783	\$ 1,634,256
TOTAL COSTOS					\$ 93,658,493

Fuente: Autoría propia

Matriz Comparativa del sistema deslizante contra el sistema tradicional en la construcción del muro tipo 2A

Tabla 3

Matriz comparativa sistema deslizante y sistema tradicional

MATRIZ COMPARATIVA			
SISTEMA DESLIZANTE		SISTEMA TRADICIONAL	
DESCRIPCIÓN	COSTOS	DESCRIPCIÓN	COSTOS
MATERIAL	\$ 165,083,364	MATERIAL	\$ 165,083,364
EQUIPO	\$ 9,115,784	EQUIPO	\$ 104,329,176
MANO DE OBRA Y TIEMPO	\$ 4,299,768	MANO DE OBRA Y TIEMPO	\$ 15,882,696
TOTAL	\$ 178,498,916	TOTAL	\$ 285,295,236

Fuente: Autoría propia

Comparando los costos del sistema deslizante, contra el sistema tradicional se evidencia una

gran diferencia a la hora de ejecutar las estructuras de la caverna de casa de máquinas del proyecto. En este caso para la construcción del muro tipo 2A se comprueba la factibilidad técnica y de costeo al realizar el procedimiento con el vaciado de manera deslizante, ya que se obtiene un total en costos de **\$ 178'498,916** en la ejecución, a comparación del sistema tradicional que se realiza con un costo mayor de **\$ 285'295,236**, teniendo una diferencia del **37%** y un aumento de **\$ 106'796,320** en la construcción del muro. Es evidente que la utilización del método deslizante es viable en todos los sentidos y es una manera de soportar las cargas de la planeación y programación de una obra, controlar los tiempos en la ejecución de las estructuras en concreto y dar alivio al componente administrativo del proyecto.

Punto de equilibrio económico

Si bien se ve que el presupuesto total del muro es mayor con el sistema de vaciado tradicional en un **37%**, no quiere decir que el método sea inviable en su totalidad, ya que hay estructuras de un tamaño menor y es aceptable realizar el procedimiento con el sistema tradicional, lo que se debe tener en cuenta son los riesgos a los que se expone la estructura en el momento de ser desencofrada o realizar juntas en diferentes tramos que pierdan la fuerza específica, su estética y aumento de tiempos en la entrega. De igual modo el sistema deslizante tiene sus riesgos en algunos casos del procedimiento, uno por ejemplo es el sistema hidráulico que puede fallar en la inmersión de la fuerza y la formaleta quede estática por un tiempo considerable, poniendo en riesgo el fraguado del concreto y el aumento del tiempo, sin embargo, es un fallo técnico que tiene solución inmediata y agilidad en los casos, lo contrario del sistema tradicional que se debe esperar a que el concreto seque, se retire la formaleta, mirar malformaciones para ser demolido y perder 100% el material,

costo, mano de obra y tiempo en la ejecución de la estructura.

Por otro lado, el sistema tradicional puede conservar su equipo de formaleta si se hace un manejo cuidadoso y adecuado del mismo, pero en la mayoría de los casos dicho equipo es de madera que difícilmente pueda ser reutilizado, como los diagonales y los tableros que se deterioran con una primera intervención y hay que cambiarlos para los vaciados de nuevas estructuras. En cambio, en el sistema deslizante si se hace una inversión considerable de primera mano en los equipos, estos tienen una vida útil a largo plazo y pueden ser reutilizados constantemente en múltiples estructuras.

De igual modo con la anterior matriz de compatibilidad se pretende mostrar el alcance económico al que se puede llegar con la aplicación del método tecnológico y factible del sistema deslizante, demostrando con cálculos exactos el ámbito en costos de los dos sistemas constructivos, ya que, para las empresas la baja en costos es un aspecto importante en el crecimiento y desarrollo productivo.

Ventaja económica con el método deslizante para el proyecto hidroeléctrico Ituango

En la mega obra se están realizando estructuras resistentes para soportar presiones de agua provenientes del río Cauca, lo cual se convierte en un reto constructivo para los intereses de la ingeniería. En la caverna de casa de máquinas del proyecto se construyen muros y columnas de concreto reforzado que servirán como ruta de direccionamiento para el afluente del agua, dichas estructuras tienen espesores de 1m a 3m y altura de más de 50 m, es por ello que, para controlar y mitigar los costos en la realización de las obras, se opta por la factibilidad económica del encofrado

y vaciado deslizante. Ya que según los resultados del estudio se alcanza a demostrar que con el método deslizante las obras pueden mitigarse en costos y tiempo, lo que hace que el presupuesto para cada estructura disminuya y sea eficiente su construcción.

Algunas estructuras inicialmente se realizaron con el método de encofrados tradicional para emprender en el cronograma de trabajo y los tiempos de entrega, pero a medida que se extendían los costos y tiempos de la realización de cada estructura, nace un aspecto general de preocupación en el desarrollo del proyecto y en los altos costos que a su medida el encofrado y vaciado tradicional mostraban.

Un muro general tipo 2A tenía un costo en su construcción de más de 200 millones de pesos y los tiempos eran de hasta más de 10 días en su ejecución. Inmediatamente se realizan estudios de factibilidad económica y de tiempo para enfrentar la problemática y re indicarse con la construcción del proyecto. Es por ello que se iniciaron algunas pruebas de construcción con el método de encofrado deslizante y se llega a la conclusión que los costos en la construcción de un muro tipo 2A reduce en un 37% y los tiempos en la ejecución son de 3 a 5 días, por otro lado, la mano de obra para construir con el encofrado y vaciado tradicional para el muro tipo 2A era de 12 a 15 colaboradores, mientras que con el sistema deslizante solo se necesitaron 6 colaboradores y un supervisor, lo que hace y demuestra que los costos con el vaciado deslizante es mucho menor y los tiempos de entrega se acortan para brindar al cliente una mayor confianza en la realización del proyecto.

Análisis técnico de la información

Análisis técnico del sistema de encofrado y vaciado deslizante

La técnica en la ejecución del sistema de encofrados y vaciados deslizante es un procedimiento que se viene practicando en diferentes estructuras en Sudamérica hace aproximadamente más de 20 años, en Colombia dicha técnica ha sido esquiva para la construcción por falta de conocimientos exactos en su aplicación y el miedo de invertir recursos en su utilización, es por ello que la empresa Consorcio CCC ha hecho posible la implementación del método en el país desde el año 2001 con la realización de algunas estructuras en las hidroeléctricas Porce II y Porce III en el departamento de Antioquia. De allí, se viene perfeccionando la técnica y en la actualidad el consorcio CCC Itüango repercute en la facilidad de los procedimientos de sus estructuras utilizando el método deslizante para la innovación en la construcción.

A continuación, se presenta la técnica para realizar la ejecución de los concretos deslizados en los muros de confinamiento tipo 2A y las columnas de refuerzo. Este procedimiento es aplicable para los muros deslizados de la caverna de casa de máquinas del proyecto hidroeléctrico Ituango:

Generalidades

Esta técnica es aplicable y se refiere a la construcción de los concretos en la zona de todos los muros de confinamiento tipo 2ª y columnas de refuerzo para la caverna de casa de máquinas, los cuales se ejecutarán de acuerdo con los ejes, niveles, alineamientos, dimensiones, secciones y detalles plasmados en los documentos legales de construcción (planos, especificaciones, normas, etc.) lo está (planos, especificaciones, normas, etc.) según lo establezca las especificaciones técnicas

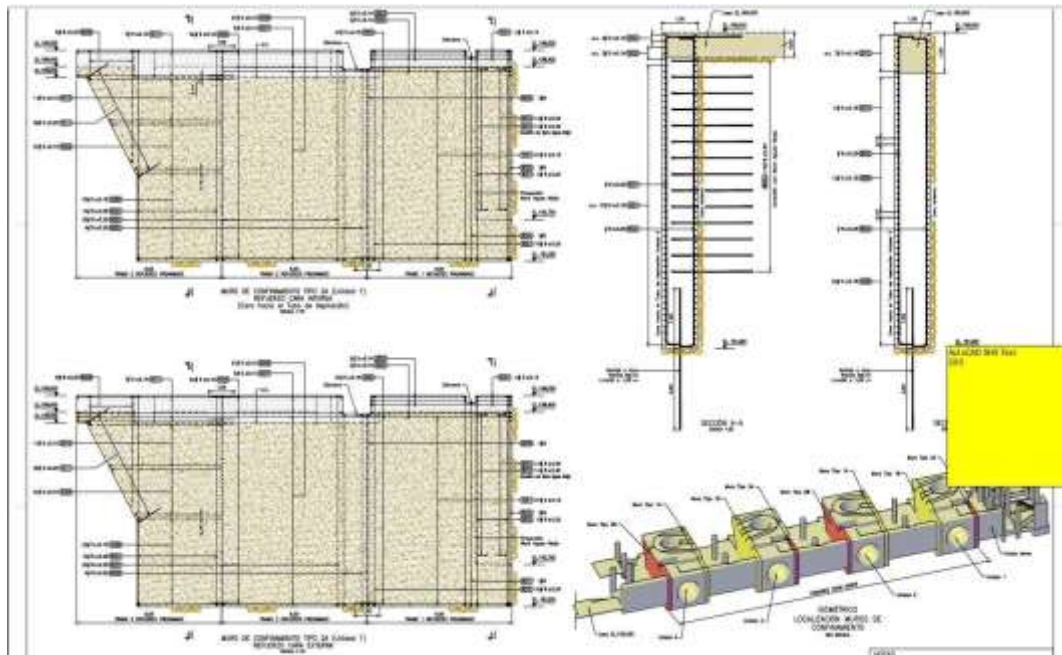
de construcción de la obra.

Actividades previas al vaciado

Instalación del acero pre armado mostrado en los planos de taller CEN-CMA- REF-296 utilizando el balancín metálico de acuerdo con los planos CEN-CMA-MET-308. Adicionalmente, posicionar los elementos embebidos que se muestran en dichos planos de taller.

Ilustración 26

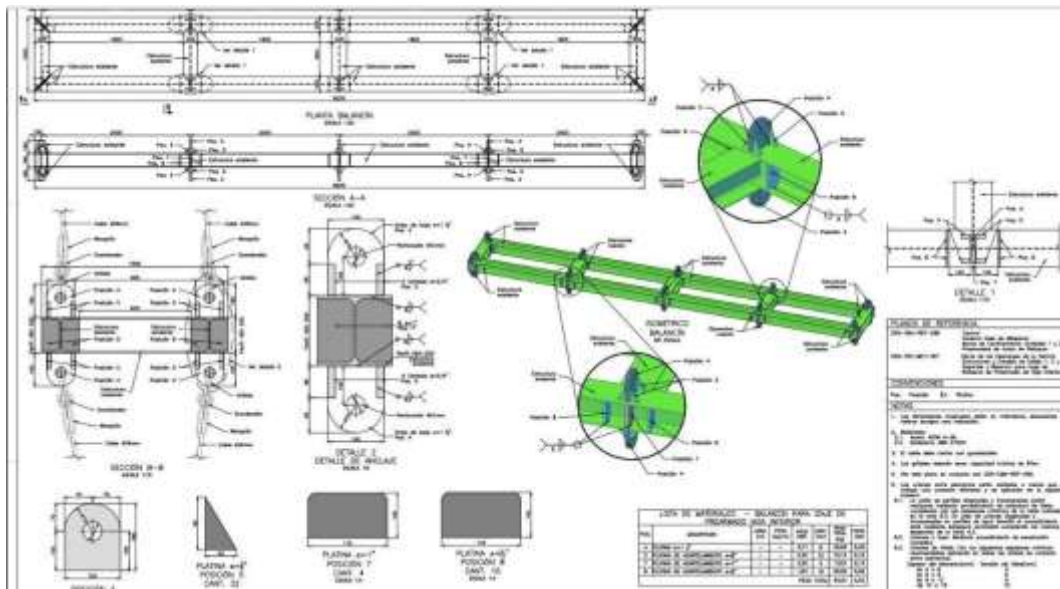
Plano CEN-CMA-REF-296 proyecto Hidroitungo



Fuente: Plano interno CEN-CMA-REF-296 proyecto Hidroitungo

Ilustración 27

Plano CEN-CMA-MET-308 proyecto Hidroituango



Fuente: Plano interno CEN-CMA-MET-308 proyecto Hidroituango

Se debe verificar que la estructura a vaciar en concreto, cumpla con la geometría, cantidad de acero de refuerzo del muro, gabaritos, acero de refuerzo de espera correspondiente a la losa a conectar. Además, verificar la cantidad, posición de los elementos embebidos en el muro.

Cada estructura que se prepare para el vaciado de concreto debe estar limpia, libre de grasas y demás elementos ajenos a la estructura, (el acero de refuerzo no debe tener presencia de concreto endurecido que afecte la adherencia del nuevo concreto).

Se debe verificar el alineamiento y verticalidad de los encofrados. Las caras interiores de los mismos deberán estar limpios, sin restos de concreto que afecten el acabado del concreto y antes de iniciar el vaciado se verificará el buen estado de los tableros de encofrado y se cubrirán con un producto desmoldante. En la formaleta deslizante se verificará la cara externa de la cercha metálica

como medida estándar para garantizar la verticalidad de la estructura. El personal de topografía estará haciendo la verificación de manera constante durante el proceso de deslizado.

En el sitio debe contar con un acceso a las plataformas de trabajo y resane para el vaciado del concreto.

Se realiza chequeo topográfico para verificación de los recubrimientos de acero según planos de diseño.

Se debe contar con todos los equipos requeridos para el proceso de colocación del concreto tales como vibradores de inmersión, equipos de soldadura para ajustes en las formaletas de espera, gatos hidráulicos, bomba hidráulica.

Antes de cualquier vaciado de estas estructuras, se debe llenar completamente el formato de orden de vaciado, el cual es firmado por todos los responsables del Contratista e Interventoría que figuren en el mismo. Este formato debe ser enviado previamente a la planta de mezclas como requisito para el despacho del concreto y se informará al interventor con 3 días de anticipación al vaciado con el fin de que, si lo considera conveniente, verifique el alineamiento, formaletas, refuerzos y elementos embebidos constatando que se cumplen todos los requisitos de las especificaciones.

El grupo de trabajo debe disponer de diferentes equipos de respaldo que puedan suplir cualquier desperfecto mecánico de los equipos principales en los distintos frentes de obra.

Aplicación del concreto

La máxima caída libre de la mezcla en el momento de la descarga no excederá 2,00m a menos que se evite la segregación mediante un sistema debidamente aprobado por la Interventoría.

El concreto que se utiliza para el vaciado de los muros y las columnas, corresponde a la mezcla DL-606 la cual tiene una resistencia de $f'c$: 28MPa, con un tamaño máximo de agregado de 1-1/2".

Se tiene en cuenta, para la fabricación de los concretos, que la temperatura debe ser controlada y no podrá sobrepasar los 25 grados Celsius, en el momento de la colocación, la velocidad del vaciado estará dentro de los límites típicos sugeridos por el ACI (American Concrete Institute) de 6" a 15" (15.24cm a 38.1cm) tal como se puede corroborar en el Comité ACI 311.1R-07, Capítulo 15, Numeral 15.1.

Para realizar un correcto manejo de las mezclas, mediante el control de asentamientos, temperaturas y manejabilidad, se dispone del personal de laboratorio al momento de los vaciados de concreto.

La colocación del concreto dentro de la formaleta se realiza mediante capas de 18cm \pm 5cm para evitar protuberancias del concreto al momento de ascender con la formaleta deslizante. Se tiene en cuenta que la velocidad de ascenso dependerá de la consistencia de la mezcla determinada mediante la incisión a realizar con la barra de verificación o "chuzo".

Durante el avance de la estructura, se tiene un personal dispuesto en la plataforma de resane que se encargará de darle acabado final al concreto que va quedando descubierto al paso de la formaleta, ejecutando los resanes necesarios y descubriendo los acoples de los pernos She-bolt que

arriostran las cerchas, luego de ascender completamente la plataforma por el punto de instalación del perno para evitar interferencias.

Sobre la plataforma de resane se instala un sistema de riego constante de agua que garantiza el curado de la estructura de acuerdo a las especificaciones, en caso de no tener el sistema de riego completo se emplea un curador químico o su equivalente.

El vibrado se realiza desde la plataforma de trabajo principal garantizando buena calidad en todo el perímetro de la estructura.

Durante el deslizado, se realizan constantes verificaciones topográficas, ajustando los pernos de anclaje She-Bolt para garantizar la verticalidad del sistema. Además, se tiene en cuenta la nivelación horizontal de la plataforma de trabajo para evitar desplazamientos en los muros.

Curado

El sistema de curado que se adopta para la construcción de los muros y columnas de concreto reforzado, se hará mediante el curado por agua o por compuestos sellantes según aprobación por parte de la interventoría y siguiendo los lineamientos de las Especificaciones Técnicas de construcción.

Curado del concreto con agua

Se realiza cubriendo totalmente las superficies expuestas del concreto, manteniendo su saturación durante un periodo de 14 días mediante un procedimiento de humectabilidad por empozamiento de agua o flujo constante sobre la superficie por un sistema de riego. La calidad del agua debe ser siempre la misma utilizada para la preparación del concreto.

Desencofrado

El desencofrado se realiza desacoplando y retirando uno a uno los módulos de formaleta mediante ayuda mecánica, verificando el aseguramiento de los tableros remanentes a las cerchas hasta tanto se finalice por completo el izaje. Luego se van retirando las cerchas y los she-bolt, iniciando el desacople desde la parte superior en módulos de máximo 2 secciones sin afectar el sistema de riego del muro, finalizando con el retiro de los tableros fijos.

Reparación del concreto

Se debe considerar para los casos en que sea necesaria cualquier reparación del concreto, el procedimiento para el resane y reparación de superficies de concreto de las especificaciones técnicas. El acabado final del revestimiento es de superficies tipo F4. Las rugosidades bruscas paralelas a la dirección del flujo, no deben exceder de 5 mm. Las irregularidades suaves tampoco deben exceder de 5 mm, ni deben tener una pendiente o relación de altura mayor a 1.50 m. Las rugosidades bruscas que excedan estos límites serán eliminadas y las irregularidades suaves se reducirán por lijado hasta que se obtengan los límites especificados, para lo cual se usará un equipo de lijado cuya cabeza tenga suministro de agua a presión. Las superficies con huecos que tengan una dimensión mayor de 10 mm deberán frotarse con tela de fique, tan pronto como sea posible, y una vez que las formaletas y/o encofrados se hayan removido; pero esta operación no se realiza antes de que se hagan en la superficie los resanes correspondientes.

Análisis técnico del sistema de encofrado y vaciado tradicional

La técnica del encofrado y vaciado tradicional es muy común en las diferentes estructuras de concreto reforzado en las obras construcción, con el pasar del tiempo dicha técnica se ha ido perfeccionando y ha demostrado la efectividad en los vaciados de las estructuras que no sobrepasan

algunos límites de longitudes o espesores considerables. En el proyecto hidroeléctrico Ituango se implementó el encofrado y vaciado tradicional en las primeras obras presentadas correspondientes al proyecto, dando como resultado un alza en costos, tiempo y complejidad en los procesos de ejecución. De allí se toma la decisión de cambiar la técnica tradicional por el sistema deslizante en los muros y columnas de la caverna de la casa de máquinas del proyecto.

A continuación, se presenta la técnica con la que se realizó la ejecución de los concretos de forma tradicional en los muros de confinamiento tipo 2A y las columnas de refuerzo en la caverna de casa de máquinas del proyecto hidroeléctrico Ituango:

Generalidades

Esta técnica se aplicó en algunas construcciones de los concretos en la zona de todos los muros de confinamiento tipo 2A y columnas de refuerzo para la caverna de casa de máquinas, los cuales se ejecutaron de acuerdo con los ejes, niveles, alineamientos, dimensiones, secciones y detalles plasmados en los documentos legales de construcción (planos, especificaciones, normas, etc.) según lo estableció las especificaciones técnicas de construcción. Vale aclarar que la regla en altura para los encofrados tradicionales de forma vertical es de 2.70 m por etapa.

Actividades previas al vaciado

Instalación del acero pre armado mostrado en los planos de taller CEN-CMA- REF-296 (fig. 26) utilizando el balancín metálico de acuerdo con los planos CEN-CMA- MET-308 (fig.27). Adicionalmente, posicionar los elementos embebidos que se muestran en dichos planos.

Limpiar el área de trabajo retirando los sobrantes que puedan estorbar en la colocación de las tapas para el encofrado y que no haya contra pies o elementos por fuera de los niveles de la formaleta que eviten una excelente alineación de las tapas. Dicha revisión se realiza antes y después de colocar los diferentes encofrados de manera tradicional.

Compactar el terreno con maquinaria especial o herramienta manual para que la resistencia de la superficie sea la adecuada en el momento de soportar las tapas y los tacos diagonales que sostienen el cajón después de estar encofrado, y que la misma superficie resista los demás elementos que se necesitan para la aplicación del concreto (Andamios, rampas, escaleras, maquinaria de carga, etc.)

Se selecciona el material para el encofrado del muro o columna a ejecutar. Para los tableros y laterales se preparan las tapas construidas en madera y metal más acordes y con menos deterioro. Para los refuerzos o diagonales se utilizan tacos metálicos, bastidores o cuartones. La madera que se utilice en el encofrado tradicional no debe estar encorvada ni reventada para evitar encofrados defectuosos, por el contrario, debe ser un tipo de madera fina, que soporte según las normas de ejecución la estructura a vaciar.

Los diagonales deben ubicarse de tal manera que la formaleta quede firme y garantice la rigidez en el momento de la aplicación del concreto, lo más conveniente es ubicar las diagonales a una medida de 2 m en sentido, vertical y horizontal.

Las tapas deben ir unidas y prensadas con ganchos o también llamadas garras para evitar dilatación del concreto y malformaciones en la estructura, cada gancho se ubica a una medida

vertical de 1m. Las tapas de la formaleta deben estar recubiertas internamente con algún producto químico que facilite el desmonte de las mismas.

Se realiza chequeo topográfico para verificación de los recubrimientos de acero según planos de diseño.

Se debe contar con todas las herramientas requeridas para el proceso de colocación del concreto tales como vibradores de inmersión y chapulín para golpear y evitar hormigqueo en la estructura.

Antes de cualquier vaciado de estas estructuras, se debe llenar completamente el formato de orden de vaciado, el cual es firmado por todos los responsables del Contratista e Interventoría que figuren en el mismo. Este formato debe ser enviado previamente a la planta de mezclas como requisito para el despacho del concreto y se informará al interventor con 3 días de anticipación al vaciado con el fin de que, si lo considera conveniente, verifique el alineamiento, formaletas, refuerzos y elementos embebidos constatando que se cumplen todos los requisitos de las especificaciones.

Aplicación del concreto

En el momento de la aplicación del concreto con el encofrado tradicional se debe manejar y controlar todas las causas que puedan segregar o separar los agregados del concreto.

En las primeras etapas del vaciado el concreto se aplica por gravedad, por ende, los vehículos transportadores del concreto deben colocarse lo más cerca posible a su disposición final.

El vaciado del concreto no debe sobrepasar una altura de 1.20 m desde el cimbrado final del encofrado, si sobrepasa el límite se debe instalar canaletas, tubos o puentes para evitar que la mezcla choque y se esparza por fuera del encofrado.

La pendiente para la disposición del concreto debe estar entre 30% y 50% cuando se realiza la aplicación por gravedad o hidráulica.

Se realizan golpes continuos al exterior de la formaleta para garantizar el esparcimiento total de la mezcla, ya que el concreto adquiere grandes cantidades de aire formando espacios llamados hormigueros, los cuales afectan la resistencia y el recubrimiento total de la estructura.

Se realiza un vibrado continuo al interior del encofrado para repartir el concreto de manera proporcional evitando de igual forma espacios por causa de aire. Debe hacerse de una forma responsable ya que, al contrario del encofrado deslizante, se aplica el concreto continuamente hasta terminar y sin calcular tiempos para deslizar.

Desencofrado

Después de haber terminado la aplicación del concreto se esperan 24 horas para retirar la formaleta de una manera cuidadosa y con ayuda mecánica para garantizar la presentación de la estructura, principalmente se retiran los diagonales para que las tapas queden libres y desmontarlas cuidadosamente de manera manual o si es el caso, con máquinas de fuerza que faciliten el izaje para posteriormente utilizar el equipo en la segunda etapa del vaciado, cumpliendo nuevamente con todo el procedimiento antes mencionado.

Curado y reparación del concreto

Es de vital importancia aclarar que las malformaciones o defectos en el concreto no se evidencian hasta después del desencofrado de la estructura, por ende, la incertidumbre en el procedimiento es mucho mayor que con el sistema de vaciado deslizante. Si los defectos en el concreto son mínimos, se resanan con productos químicos que garantizan el sellamiento de dilataciones y hormigueros de hasta 5 mm de profundidad. Pero si las malformaciones son mayores a lo especificado y si la interventoría lo considera, la estructura debe ser demolida en diferentes casos.

De igual forma el curado del concreto se realiza con agua constante después de ser desencofrada la estructura, utilizando un sistema de riego ubicado en la parte superior hasta comenzar la segunda etapa o utilizar una manguera para que de forma manual se realice el riego con ayuda de recurso humano.

Punto de equilibrio técnico

Si bien se ve en el análisis técnico, el encofrado deslizante en la actualidad garantiza una mejor ejecución de las estructuras y brinda confianza con todas las actividades preventivas que se desarrollan antes de la aplicación y vaciado del concreto. Es un sistema que genera retos de ingeniería e innovación por la forma en que se realizan los procedimientos, la garantía de éxito en el vaciado es mucho mayor que la que brinda el sistema tradicional, principalmente por su minuciosa verificación de los equipos y prueba de los mismos antes de iniciar el deslizado del concreto en las estructuras, cabe aclarar que la intervención del vaciado se realiza en una sola etapa y se completa el 100% del muro o columna sin interrupciones ni separación por módulos.

Uno de los factores más importante del sistema de encofrado y vaciado deslizante es la

inmediata reacción a reparaciones y resanes que se realizan a medida que la formaleta asciende, este procedimiento permite que cuando el concreto cure, la estructura quede totalmente reparada y estéticamente consolidada, el sistema de riego se realiza de igual modo en el momento que la formaleta asciende y garantiza una mejor resistencia a la estructura por la precoz intervención en la humectación del concreto.

El paso a paso con el sistema deslizante desde la instalación del acero de refuerzo hasta la aplicación del concreto es una técnica que atrae interesadamente a los clientes por las garantías que brinda y su pequeño margen de error, ya que en la actualidad las empresas generadoras de proyectos constructivos se la juegan por la tecnología y la innovación que se aplica para garantizar el éxito y la rapidez en la construcción de sus obras.

No quiere decir que la técnica del sistema tradicional sea 100% irregular y que no se pueda aplicar en las estructuras, pero sí genera incertidumbre en la ejecución de las obras y más cuando el tamaño es mucho mayor a 2.70 m, es allí donde el sistema tradicional empieza a disminuir su credibilidad por la interrupción del vaciado y la cantidad de juntas que deben hacerse para construir una estructura de un tamaño mayor, por otro lado, se expone el concreto a malformaciones o demolición completa si en el momento de desencofrar se evidencian errores en la aplicación del concreto.

La técnica tradicional es viable para los muros y columnas con tamaños pequeños y que la fuerza que van a soportar no sobrepase el doble de lo que pesa la estructura, esto ayuda igualmente a cumplir los tiempos de ejecución en las fechas establecidas y no se aumenta la crisis de las entregas, evitando lo ocurrido en el proyecto hidroeléctrico Ituango, cuando se iniciaron las primeras estructuras con el vaciado tradicional y no se analizaron los riesgos por la complejidad en la

ejecución de las obras, esto causó gran preocupación por incumplimiento en las entregas y la decisión de demoler dos muros que fueron vaciados en dos etapas. De allí se inicia con la perfección de la técnica en los vaciados estructurales de los muros y columnas, enfocándose el equipo de ingeniería 100% en el sistema de vaciados deslizantes y perfeccionando la técnica cada vez más, desde allí ha sido un éxito la ejecución de las obras y los reconocimientos positivos por la tecnificación de los vaciados han incrementado por parte de la interventoría y el cliente.

Recomendaciones

Una vez terminada la monografía de estudio de vaciados con el sistema deslizante para las estructuras reforzadas en concreto de la caverna de casa de máquinas del proyecto hidroeléctrico Ituango, se considera interesante proponer algunas ideas para seguir innovando en cada uno de sus procesos constructivos, planificación, programación y administración empresarial.

Extender los análisis expuestos para identificar el impacto social y ambiental que genera el proyecto con la aplicación de la técnica en las diferentes estructuras, con el fin de que la empresa identifique todos los factores negativos o positivos que impactan a la comunidad y el medio ambiente. Que se analice detenidamente los procesos de innovación en la construcción de las obras para definir hacia dónde exactamente se quiere llegar sin poner en riesgo la integridad física, empresarial y ambiental. Extender dicho análisis para iniciar procesos de desarrollo tecnológico constructivo, fomentar ideas de empleo y contribuir a la credibilidad del mercado laboral en la región.

Presentar las técnicas a las entidades territoriales de inspección municipal, departamental y nacional, para que sirvan de apoyo en el momento de contrataciones públicas en pro de contribuir a la innovación y el desarrollo en los proyectos.

Cooperar con entidades internacionales para extender el fortalecimiento laboral y de innovación en el municipio de Ituango.

Conclusiones

Primeramente, se puede concluir que el sistema constructivo con la técnica de vaciados y encofrados deslizantes como metodología para los procesos constructivos, es viable bajo todos los criterios mencionados anteriormente en dicho trabajo, no tanto por la factibilidad y credibilidad en el proceso, sino también por el ahorro de tiempo y gastos en la ejecución.

El sistema de vaciado y encofrado tradicional no es viable para la magnitud de complejidad en las obras del proyecto hidroeléctrico Ituango, ya que se atrasan los procesos por su engorrosa ejecución cuando las estructuras superan una altura de 2.70 m, incurriendo al aumento de tiempo, costos e incertidumbre en la calidad.

El valor directo del encofrado tradicional aumenta a medida que las cantidades de obra van incrementando (a partir de los 150m³ vaciados aproximadamente), sin tener en cuenta que el valor del acero se va amortizando cada día. Esto hace que, a mayor magnitud de la obra, sea más costoso realizarla con el sistema tradicional.

Los sistemas de vaciados deslizantes se deben industrializar y recrear para ser aplicados en vigas, losas y escaleras, ya que cuando culmina el proceso deslizado en la columna y el muro se debe optar por otra técnica para continuar con la construcción de dichas estructuras.

El costo del sistema de encofrado tradicional termina siendo un ítem muy relevante ya que, al ser más alto en costos, es mucho menor la reutilización del equipo por su desgaste al ser removido con frecuencia y a la fuerza.

En la realización de las obras de concreto se requiere de muchos esfuerzos en la planeación y programación para la correcta construcción de las mismas, por ende, la empresa busca la manera más

factible de ejecutar el proyecto evitando imprevistos y costos considerables en la ejecución. Esto lo obtuvo mediante el empoderamiento de la técnica de vaciado deslizante en columnas y muros del proyecto.

Referencias

Acosta, & Velásquez. (1993). "Análisis e Instrumentación de Lleno Aligerado de Icopor del Hospital de la Unión". Tesis de Grado. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

https://www.academia.edu/39200992/DISE%C3%91O_DE_ESTRUCTURAS_DE_CIMENTACION_DE_ACUERDO_A_NSR-10

Barrio García, N. (1985). El encofrado deslizante en la construcción de chimeneas industriales. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, (6), 25–27.

https://www.researchgate.net/publication/274783861_El_encofrado_deslizante_en_la_construccion_de_chimeneas_industriales

Botero.L. (2006). "Construcciones sin pérdidas". Bogotá D.C, Colombia. Legis S.A.

<https://biblioteca.ucatolica.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=76094>

Botero R, R. (2006). ENCOFRADOS (Centro de). Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/7300?show=full>

Calero C, R. A. (2015). Comparación de los métodos A.P.U. Y costeo ABC para el análisis de precios unitarios en la construcción. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

<http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/9718>

Dinescu, T., Sandru, A., & Radulescu, C. (1973). Los Encofrados Deslizantes Técnicas y Utilización. Madrid, España: ESPASA-CALPE. S.A.

<https://www.iberlibro.com/buscar-libro/titulo/encofrados-deslizantes/autor/tudor-dinescu/>

Galarza. M (2011).” Desperdicio de materiales en obras de construcción civil: métodos de medición y control.” Tomado de: <https://bit.ly/2HZyp0C>

Giannasi. E (2012).” INTI-Instituto nacional de tecnología industrial”. Recuperado de: <https://bit.ly/2I1YfS>

Halpin, D. W., & Senior, B. A. (2011). Construction management.

<https://www.coursehero.com/file/24010142/Halpin-Senior-2011-Chapter-1-bCoursespdf/>

Jiménez, F. A. (2017, March 31). Concreto acelera construcción de Hidroituango.

Retrieved from <https://m.elcolombiano.com/concreto-resalta-plan-de-innovacionMB6245860>

Ruano Peña, V. D. (2010). Análisis de los plazos de construcción de edificios en Chile y su relación con los métodos constructivos utilizados. UNIVERSIDAD DE

CHILE. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103722>

Soibelman.L (2000). “Material de desperdicio en la industria de la construcción:

incidencia y control”. Recuperado de: <https://bit.ly/2rsa20B>

Terzaghi, K. (1943). Theoretical Soil Mechanics. John Wiley and Sons, Inc.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9780470172766.fmatter>

Zeevaert, L. (1975a). "The Role of Soil Mechanics in Foundation Structure – Soil Interaction". Structural and Geotechnical Mechanics Symposium. University of Illinois,

Urbana.

https://www.academia.edu/44135052/DISE%C3%91O_DE_ESTRUCTURAS_DE_CIMENTACION_DE_ACUERDO_A_NSR_10

Zeevaert W, L. (1973). Foundation Engineering for Dificult Subsoil Conditions (2nd ed.). New York, U.S.A: Van Nostrand Reinold, Company.

https://www.academia.edu/43121449/FOUNDATION_ENGINEERING_FOR_DIFÍCULT_SUBSOIL_CONDITIONS