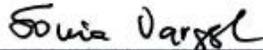
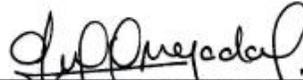


**CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE  
PROYECTO DE GRADUACIÓN**

Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Sonia Vargas Calderón, Ing. Giannina Ortiz Quesada, Ing. Juan Carlos Coghi Montoya, Ing. Ana Grettel Leandro Hernández, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



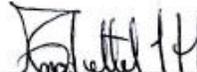
Ing. Sonia Vargas Calderón.  
En representación del Director



Ing. Giannina Ortiz Quesada.  
Profesora Guía



Ing. Juan Carlos Coghi Montoya.  
Profesor Lector



Ing. Ana Grettel Leandro Hernández.  
Profesora Observadora

# Mejoramiento de los procesos constructivos en las actividades de colocación de concreto e instalación de acero de refuerzo en rehabilitación de puentes.



# Abstract

The cross sections of the ground plates, the columns, and the concrete beams were widened during the rehabilitation project for the Costa Rican National Highway N°1, over the Virilla River, by CODOCSA, company in charge of the project. For this task, it was necessary to attach rebar (reinforcing steel) to the preexisting structure through a drilling process and epoxy adhesive injection. Then, the concrete was placed on the new reinforced section.

CODOCSA, with its continuous progress, proposes this task with the purpose of improving the construction process of the concrete positioning, and the installation of rebar attached with epoxy adhesive.

The drilling efficiency was determined by the diameter of the bit drill used and the most influential elements. On field, the epoxy real consumption was measured, and its efficiency was determined by the rebar diameter. Regarding the concrete, the efficiency of the surface preparation, that assures an appropriate adhesion, was determined, as well as the concrete positioning, according to the structural element and to the positioning method. The three methods used were: direct discharge, boom pups, and towed container.

Key words: rebar (reinforcing steel), concrete positioning, epoxy, performance, drilling.

# Resumen

En el proyecto de rehabilitación del puente sobre el río Virilla en la ruta nacional N°1, a cargo de la empresa CODOCSA se realizó como parte del reforzamiento, un ensanchamiento de las secciones transversales en placas de fundación, columnas y vigas de concreto. Para dicho trabajo fue necesario instalar acero de refuerzo fijado a la estructura existente a través de una perforación y la inyección de epóxico; para luego hacer la colocación de concreto en la nueva sección reforzada.

Como parte del pensamiento de mejora continua de la empresa CODOCSA, se plantea este trabajo con el objetivo de hacer mejoras en el proceso constructivo de las actividades de colocación de concreto e instalación de acero de refuerzo fijado mediante epóxico.

Se determinaron los rendimientos de perforación según el diámetro de la broca utilizada, así como los factores que más influyen en los mismos. Se midieron los consumos de epóxico reales en campo y se determinó el rendimiento del mismo según el diámetro de la varilla. En el caso del concreto se determinaron los rendimientos de preparación de la superficie para asegurar una adecuada adherencia, así como la colocación del concreto según el elemento estructural y el método de colocación utilizado, que en este caso fueron tres: descarga directa, bomba telescópica y balde izado con grúa.

Palabras Clave: Acero de refuerzo, colocación de concreto, epóxico, rendimientos, perforaciones.

# **Mejoramiento de los procesos constructivos en las actividades de colocación de concreto e instalación de acero de refuerzo en rehabilitación de puentes.**

SEBASTIÁN CAMPOS ALVARADO

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

Junio del 2014

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

# Contenido

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| PREFACIO .....                  | 1  |
| RESUMEN EJECUTIVO .....         | 2  |
| INTRODUCCIÓN .....              | 4  |
| MARCO TEÓRICO .....             | 5  |
| METODOLOGÍA .....               | 10 |
| RESULTADOS .....                | 11 |
| ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .... | 26 |
| CONCLUSIONES .....              | 33 |
| RECOMENDACIONES .....           | 35 |
| APÉNDICES.....                  | 37 |
| REFERENCIAS.....                | 43 |

# PREFACIO

El proyecto desarrollado durante la práctica profesional dirigida, permitirá el mejoramiento de los procesos constructivos de la empresa CODOCSA en las actividades de colocación de concreto y acero de refuerzo inyectado con epóxico.

Producto de los resultados obtenidos, la empresa podrá presupuestar futuros trabajos similares con rendimientos reales y podrá tener un mejor control sobre las actividades ya mencionadas, así como un incremento en la productividad, que les permita realizar una mejor labor.

El objetivo principal planteado para el desarrollo de este trabajo de grado, fue realizar una propuesta de mejoramiento de los procesos constructivos en las actividades de colocación de concreto e instalación de acero de refuerzo con epóxico.

Se extiende el agradecimiento al personal de la empresa CODOCSA, por el amable trato y la constante ayuda brindada en el desarrollo de este proyecto. A los profesores de la carrera de Ingeniería en Construcción del Tecnológico de Costa Rica por el apoyo brindado. A mis padres por su ayuda incondicional.

# Resumen ejecutivo

El proyecto de rehabilitación del puente sobre el río Virilla sobre la ruta nacional No 1 mejor conocido como "La Platina", es un proyecto en el cual se pretende aumentar la capacidad estructural del puente, adecuándolo así a las condiciones de tránsito actuales y a las sollicitaciones sísmicas con las cuales se diseñan las estructuras actuales. Este puente es uno de los muchos en nuestro país que sufren problemas, debido al abandono y falta de mantenimiento por parte de las instituciones encargadas, mismos que en su momento pueden estar siendo sometidos a procesos de rehabilitación similares.

En el caso específico del proyecto en estudio, como parte de los trabajos de rehabilitación, se da una ampliación de las secciones de la subestructura del puente. Esto implica aumentar las dimensiones de placas, vigas, pantallas y columnas entre otros. Las nuevas secciones llevan acero de refuerzo y concreto estructural. En el caso del acero de refuerzo para lograr una correcta unión entre lo nuevo y lo existente, parte del acero colocado va introducido en perforaciones realizadas sobre la estructura existente que se inyectan luego con epóxico. En el caso del concreto para lograr dicha unión lo que se hace es buscar darle a la superficie existente una rugosidad adecuada que garantice la adherencia entre ambos concretos, para ello se llevan a cabo dos procesos denominados martelinado y picado.

La intención de este trabajo fue realizar un análisis y un estudio de los procesos constructivos de perforación, inyección de epóxico, limpieza y preparación de la superficie, así como de la colocación del concreto, con el objetivo de mejorarlos y tener un mejor entendimiento de los factores que afectan las mismas.

Se comenzó por determinar los diagramas de flujo de cada una de las actividades, así como los recursos involucrados en las mismas, para así tener un mejor panorama de las variables involucradas en los procesos.

Seguidamente se planteó la necesidad de determinar rendimientos de interés para la empresa CODOCSA, que tiene a cargo la construcción del proyecto. En el caso de las perforaciones se buscó determinar el tiempo que se tarda en realizar cada perforación según el diámetro de la broca utilizada, para la inyección lo que se buscó fue determinar el consumo de epóxico que se da en cada inyección según el diámetro de la varilla instalada y la profundidad de la perforación. Para los procesos de martelinado y picado se buscó la cantidad de metros cuadrados que se realizan por hora, y por último para la colocación de concreto se determinó el rendimiento de colocación en metros cúbicos por hora para tres métodos de descarga de concreto utilizados en el proyecto.

Se crearon formularios que sirvieran de guía en campo para llevar a cabo la toma de datos que permitiera obtener los resultados ya mencionados. Para el procesamiento de dicha información se crearon hojas de cálculo en Excel que facilitaran los cálculos y que al mismo tiempo sirvieran como respaldo de la información recolectada.

En el estudio de las perforaciones se concluyó que los rendimientos van desde 27 cm/min para la broca de 1,59 cm hasta 9 cm/min para la de 3,81 cm. Al mismo tiempo se determinó que con el uso del accesorio de extensión el rendimiento es de 60% el determinado en condiciones normales. El otro factor que afecta el rendimiento es tener que perforar en posición vertical hacia arriba, en cuyo caso el rendimiento es del 80% del normal.

Con respecto al consumo de epóxico se determinó que va desde 1,05 cm<sup>3</sup>/cm para la barra #4 a 1,96 cm<sup>3</sup>/cm para la #8, habiendo un salto significativo para la #9 y #10 con 4,06 cm<sup>3</sup>/cm y 4,45 cm<sup>3</sup>/cm respectivamente. La causa de este saltó es debido a que la broca utilizada para la perforación es de 0,32 cm al de la barra en el intervalo de la #4 a la #8 y de 0,64 cm para la #9 y mayores.

Para los procesos de martelinado y picado se obtuvieron rendimientos de 1,6 m<sup>2</sup>/h y 2,7 m<sup>2</sup>/h respectivamente. En este caso se determinó que el uso de equipos más pesados al HILTI TE-500 implica que el rendimiento sea del 40% respecto al normal; al mismo tiempo que utilizarlo en posición vertical hacia arriba el resultado es el 70% respecto al normal.

Los tres métodos de descarga del concreto analizados son la descarga directa, la bomba telescópica y el balde izado con grúa. De estos el que más recursos requiere, tanto en mano de obra como en equipo, es del balde izado con grúa, seguido de la bomba telescópica y por último de la descarga directa.

Los rendimientos se determinaron para cada método utilizado y se clasificaron según el elemento estructural colado. Dichos elementos corresponden a placas o sustituciones, pantallas de bastiones, columnas, vigas de amarre y vigas intermedias. En términos generales se determinó que el método de colocación con el cual se tienen los mayores rendimientos son: la bomba telescópica, seguido de la descarga directa y por último el balde izado con grúa. Con respecto a los elementos los rendimientos menores se obtuvieron para las columnas y pantallas de bastiones; y los mayores para las placas y sustituciones.

Con base en estos resultados la empresa CODOCSA puede presupuestar futuros proyectos similares con rendimientos y consumos reales medidos en campo, que le lleve así a ser más competitivo en el precio respecto a los de la competencia.

# Introducción

Las industrias modernas se desarrollan bajo el concepto de mejora continua. Se vive en una época donde la competencia comercial es sumamente fuerte y sobrevive aquel que mejor se adapte a los nuevos requisitos de mercado. Es por esta razón que la industria de la construcción debe enfocar sus actividades hacia una mejora constante que le permita satisfacer las demandas del mercado.

Los nuevos mercados exigen altas eficiencias en los procesos de fabricación, disminuyendo así el desperdicio de recursos y aumentando la productividad de sus tareas sin el descuido de la calidad. Hoy el sector construcción compite como cualquier otra industria. La alta oferta de servicios ha hecho que las empresas se vean obligadas a ofrecer mejores condiciones a sus clientes. Ante esta necesidad de mejorar, las compañías constructoras quieren analizar sus procesos constructivos e introducir mejoras en los mismos que los lleve a ser cada vez más competitivos.

La empresa constructora CODOCSA ha entendido muy bien el concepto de mejora continua y por esta razón ha decidido implementar en sus trabajos, mediante los proyectos de graduación de estudiantes universitarios, el estudio de los procesos constructivos con el fin de plantear mejoras en los mismos y obtener mayores rendimientos y productividades que les lleven a ser cada vez más competitivos.

Uno de sus proyectos más importantes es la rehabilitación del puente sobre el río Virilla en la ruta 1. Dicho proyecto involucra un reforzamiento de la subestructura, en donde se agrandan las secciones de los elementos existentes. Como parte de los trabajos, se realiza la colocación de acero de refuerzo en perforaciones inyectadas con epóxico y luego entre otras tareas se da la colocación de concreto.

Ante la posibilidad de que la empresa ofrezca sus servicios para proyectos similares a

este, en donde las dos actividades mencionadas se repiten con regularidad. Se considera útil hacer una valoración de las prácticas constructivas con las que se están llevando a cabo dichas tareas y por ende se procede a plantear el presente trabajo con el objetivo de satisfacer dicha necesidad.

Se define así el objetivo de realizar una mejora en los procesos constructivos que permita incrementar la productividad, calidad y efectividad en la colocación de concreto e instalación de acero de refuerzo inyectado con epóxico.

Siendo esta la primera oportunidad en la que se estudian dichas actividades por parte de la empresa, se inicia por identificar y entender todas las tareas y recursos involucrados en las mismas.

Se proponen esquemas y formatos para la toma de datos en campo que permitan llegar a identificar los factores más importantes que afectan la calidad y la productividad de las tareas. Las mediciones son procesadas en hojas de cálculo elaboradas para dicho fin en específico, que permiten un rápido procesamiento de los datos.

Además se hace un estudio del estado del arte sobre las prácticas constructivas recomendadas, así como las especificadas en el CR-2010, con el objetivo de implementar mejoras en los procedimientos.

Finalmente se logró dar a la empresa una guía de los procedimientos constructivos a seguir con las mejoras que se determinaron con base al estudio, y además se brindaron los rendimientos reales de la empresa en las actividades mencionadas que pueden ser aplicados en la determinación de gastos o tiempos de trabajo para una mejor presupuestación y programación de actividades en futuros trabajos a realizar.

# Marco Teórico

## Generalidades

El proyecto “Rehabilitación integral del puente sobre el río Virilla, ruta nacional 1” corresponde al cartel de licitación mediante contratación directa No.2013CD-000017-0DI00, cuyo objetivo es el reforzamiento y rehabilitación de la estructura actual sobre el río Virilla (ruta nacional 1) y el incremento de su resistencia, para que sea capaz de soportar en forma segura las demandas que en su condición de servicio se espera que sobre él actúen.



Figura 1. Estructura de puente a rehabilitar.

El reforzamiento propuesto se divide en 6 principales actividades: readecuación de las fundaciones de bastiones, readecuación de las fundaciones de las pilas de apoyo intermedias, readecuación del tramo de cercha central, readecuación de las vigas de la superestructura, sustitución de la losa de rodamiento y construcción de los bloques de anclaje longitudinales.

Como parte de los trabajos de readecuación de bastiones y pilas del puente, se propone construir un ensanchamiento de las dimensiones de los elementos (placas, columnas y vigas). Para ello se debe de realizar la

Instalación de acero de refuerzo y la posterior colocación del concreto sobre el mismo. Parte importante del acero de refuerzo se debe inyectar con epóxico a la estructura existente y el resto debe ser colocado simplemente amarrado. Es esta actividad de instalación de acero de refuerzo junto con la colocación de concreto en lo que se centra el siguiente trabajo.

## Acero de refuerzo

El acero de refuerzo utilizado es de grado 60 con límite de fluencia mínimo de 4200 kg/cm<sup>2</sup>, según la especificación ASTM 706. Dicho acero es utilizado en el ensanchamiento de las dimensiones de los elementos que conforman los bastiones y las pilas del puente con el objetivo de incrementar su resistencia.

Para lograr una adecuada interacción entre el elemento ya existente y el reforzamiento que se le realiza al mismo, es necesario que el acero a colocar trabaje en conjunto con el acero existente, así como el concreto a colocar con el existente.

En el caso del acero de refuerzo, dicho trabajo en conjunto se logra mediante la perforación e inyección con epóxico del mismo sobre la estructura existente a reforzar. Es el diseño estructural el que indica la cantidad de acero que se debe de colocar con este procedimiento; así mismo es el diseñador quien indica la profundidad de las perforaciones y el tipo de epóxico a utilizar según sean sus necesidades estructurales.

## Perforación

El equipo utilizado para la perforación es de la marca HILTI, y en este caso en específico se utilizaron los modelos TE-60 y TE-80.



Figura 2. Equipos de perforación.

Son equipos aptos para realizar perforaciones sobre concreto y además pueden trabajar en demolición para cargas medias. Las principales características de estos equipos se muestran en el siguiente cuadro:

| <b>CUADRO 1. Características de equipo perforador</b> |           |                           |             |
|---|-----------|---------------------------|-------------|
| Modelo  | Peso (kg) | Dimensiones (L x A x H)cm | Brocas (in) |
| TE - 60   | 7,7       | 48 x 10 x 28              | 5/8 - 1-1/2 |
| TE - 80   | 10,2      | 55 x 12,5 x 31            | 5/8 - 1-1/2 |

Fuente: Catálogo 2013 Hilti

Estos equipos trabajan con brocas también de marca Hilti aptas para concreto, con una cabeza de carburo sólido. Existe desde la broca de 1/2 "hasta la broca de 2", en longitudes variables.



Figura 3. Broca para perforación

Existe un accesorio para conectar a brocas de diámetro mínimo de 1-1/4 que permite realizar perforaciones 80 cm más profunda que lo que permite la broca por ella misma. Este accesorio se denomina extensión y trabaja con un acople que permite unir la extensión con la broca.

TE-FY Prolongación de broca



Figura 4. Accesorio extensión de broca

## Inyección

La inyección de epóxico tiene como objetivo asegurar la fijación del acero de refuerzo nuevo a la estructura existente logrando así el

trabajo en conjunto que se mencionó anteriormente. En este proyecto se utilizaron dos tipos de epóxicos, el HY-150 y el RE-500; ambos de la marca Hilti al igual que los perforadores.



Figura 5. Epóxicos para inyección

Este tipo de epóxico es apto para inyecciones en concreto cuya condición sea seca o húmeda, sin embargo es indispensable que el orificio de la perforación se encuentre limpio, libre de polvo o cualquier sustancia que pueda afectar la adherencia de la resina.

Ambos tipos de epóxico se comercializan en tres volúmenes de presentación por cartucho:

| <b>CUADRO 2. Volumen de epóxicos</b> |                    |                           |
|--------------------------------------|--------------------|---------------------------|
| Tipo                                 | Volumen total (ml) | Volumen aprovechable (ml) |
| HY-150                               | 330                | 270                       |
|                                      | 500                | 440                       |
|                                      | 1400               | 1340                      |
| RE-500                               | 330                | 270                       |
|                                      | 500                | 440                       |
|                                      | 1400               | 1340                      |

Fuente: Guía técnica del producto

El fabricante del producto recomienda según sea el diámetro de la barra a inyectar, el diámetro de la perforación que se debe de realizar. Además indica el consumo de epóxico requerido por pulgada de perforación.

| <b>CUADRO 3. Diámetro de perforaciones y rendimiento de epóxico</b> |            |                               |
|---|------------|-------------------------------|
| Varilla   | Broca (cm) | Consumo (cm <sup>3</sup> /cm) |
| #3  | 1,27       | 0,71                          |
| #4  | 1,59       | 0,94                          |
| #5  | 1,91       | 1,14                          |
| #6  | 2,22       | 1,41                          |
| #7  | 2,54       | 1,62                          |
| #8  | 2,87       | 1,93                          |
| #9  | 3,49       | 3,88                          |
| #10   | 3,81       | 4,25                          |

Fuente: Guía técnica del producto

El consumo de epóxico que se indica en el cuadro 3, es un valor teórico que va a variar según las condiciones propias de cada trabajo a realizar. En la figura 6 se muestran las diferentes variables que existen en el trabajo y que influyen en el consumo de epóxico.

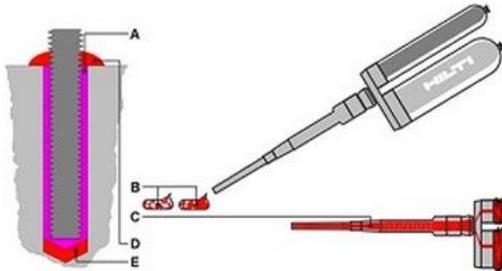


Figura 6. Variables en el consumo de epóxico.

De acuerdo a la figura 6 la letra A indica el volumen teórico de consumo y demás son las variables que lo afectan:

- B: Volumen de sobros de mortero
- C: Volumen en el mezclador.
- D: Volumen de mortero en anillo.
- E: Volumen adicional por incremento de profundidad.

Con base a la magnitud de estas variables se determinan tres condiciones básicas de trabajo.

- **Óptima:** Se define una condición óptima cuando se usa un solo mezclador por cartucho, con una dosificación exacta de epóxico, y un control en la profundidad de perforación. En esta condición se considera un desperdicio del 10%.
- **Normal:** En la condición normal se dan pequeñas variaciones en la dosificación del epóxico, en la profundidad de perforación y en otras variables. Para esta condición el desperdicio es del 20%.
- **Pobre:** Esta condición se debe al uso de múltiples mezcladores, profundidades de perforación mayores, exceso de volumen en anillos y uso de tubos de extensión para las profundidades mayores. En este caso el desperdicio es del 30%.

La diferencia entre el epóxico RE-500 y el HY-150 es el tiempo de curado. El HY-150 es un

epóxico de curado rápido, esta característica hace que el tiempo trabajable del mismo sea mucho menor y por lo tanto se deba de introducir la barra en un tiempo muy corto.

| CUADRO 4. Tiempos de curado de epóxico |                   |               |                   |               |
|--|-------------------|---------------|-------------------|---------------|
| °C                                     | HY-150            |               | RE-500            |               |
|  | Tiempo trabajable | Tiempo curado | Tiempo trabajable | Tiempo curado |
| 10                                     | 8 min             | 1 h           | 2 h               | 48 h          |
| 20                                     | 5 min             | 30 min        | 30 min            | 12 h          |
| 30                                     | 3 min             | 30 min        | 20 min            | 8 h           |

Fuente: Catálogo 2013 Hilti

Existe una herramienta con la cual se hace la inyección del epóxico, esta se llama dispensador o pistola de inyección. Estos dispositivos están en versión manual o una con batería de 12 V al cual se le puede ajustar la dosificación para un mayor control y exactitud en el volumen de inyección.



Figura 7. Dispensadores de epóxico

## Concreto

El concreto utilizado para la ampliación de las secciones de los elementos reforzados es de resistencia 280 kg/cm<sup>2</sup>. Con el objetivo de que exista una correcta adherencia con el concreto existente, se obliga a realizar trabajos que limpien la superficie existente y brinden una superficie lo suficientemente rugosa para garantizar la adherencia.

Para estos trabajos se realizan dos actividades previas a la colocación del concreto. La primera da una limpieza y una rugosidad inicial a la superficie, la segunda lo que permite es aumentar esa rugosidad inicial, sus nombres se denominan martelinado y picado respectivamente.

## Martelinado

El martelinado consiste en hacer una demolición superficial en toda el área del elemento sobre el cual se va a colocar concreto. Para hacer dicho trabajo se utiliza equipo de demolición de la misma marca comercial HILTI, en este caso en específico se usan los modelos TE-500 y TE-700.



Figura 8. Equipo para martelinado

Ambos son equipos aptos para la demolición, sus características técnicas son similares sin embargo existen diferencias que los hacen adaptarse mejor según sea el trabajo a realizar.

| CUADRO 5. Características de equipo demoledor |              |              |
|---|--------------|--------------|
| Característica                                | Equipo       |              |
|   | TE-500       | TE-700       |
| Peso (kg)                                     | 5,0          | 7,9          |
| Dimensiones (L x A x L) cm                    | 47 x 11 x 24 | 56 x 13 x 25 |
| Frecuencia (golpes/min)                       | 3180         | 2760         |

Fuente: Catálogo 2013 HILTI

Para poder llevar a cabo la demolición estos equipos deben de ser dotados de un accesorio según sea el trabajo que se vaya a realizar. Para el caso del martelinado existe uno específico para esta labor llamado martelinador.

TE-T-SKHM Bujarda



Figura 9. Accesorio martelinador

## Picado

El picado consiste en hacer demoliciones de mayor profundidad distribuidas en toda la superficie del concreto existente. Su objetivo es aumentar la rugosidad y por tanto permitir una mejor adherencia del concreto nuevo al existente. Para realizar este tipo de trabajo se utilizan los mismos dos equipos mostrados en la figura 8, sin embargo estos se dotan con dos posibles accesorios que permiten hacer la demolición. Dichos accesorios son cinceles cuyo final puede ser punta o plano.



Figura 10. Accesorios para picado.

## Métodos de colocación

Existen distintos métodos de colocación de concreto, todos con el objetivo de hacer llegar el concreto de una forma continua y los más cerca de su posición final para evitar la segregación del mismo. Existen diferentes factores que condicionan la selección del método a utilizar como por ejemplo el acceso, el volumen, la altura, el costo, entre otros.

En el caso del proyecto en estudio se utilizaron principalmente 3 métodos: bomba telescópica, descarga directa y balde movilizado con grúa.

## Descarga directa

Este método consiste en la descarga del concreto en su posición final directamente desde el camión de transporte, sin necesidad de utilizar otro equipo para movilizar el concreto. Se limita su uso únicamente a elementos accesibles por el camión y sus canoas. Es el método más económico de colocación de concreto premezclado y si se da una adecuada planificación puede permitir una colocación continua y eficiente.

Por lo general los camiones de transporte traen dos canoas adicionales que se pueden fijar a la de descarga que traen y que permite un mayor alcance de colocación.



Figura 11. Colocación mediante descarga directa

## Bomba telescópica

En este caso el concreto premezclado es depositado sobre un camión que tiene la capacidad de bombear el concreto a través de una tubería metálica. A este camión se le denomina bomba telescópica.

La bomba telescópica permite mediante su brazo alcanzar a colocar concreto en lugares donde el camión de transporte no puede llegar y además permite una colocación continua siempre y cuando se le abastezca de concreto oportunamente. Tiene el inconveniente que el concreto premezclado debe ser un concreto con un revenimiento que permita el bombeo y además las concreteeras cobran un precio extra al del concreto por metro cúbico de concreto bombeado.



Figura 12. Bomba telescópica



Figura 13. Colado mediante 2 bombas telescópica

## Balde izado con grúa

En este caso se utiliza un balde o cubo fabricado en metal, al cual el camión de transporte del concreto premezclado le descarga el concreto. Una vez que se da la descarga, una grúa se

encarga de transportar el balde hasta el sitio de colocación final, en donde un operario y un ayudante abren y cierran la tapa de descarga del cubo y así este baja por una manguera de hule que llega al sitio de colocación.

Al ser una grúa el que lo moviliza, se puede así colocar el concreto en cualquier lugar donde la grúa lo pueda llevar, alcanzando así muchos lugares en los cuales la descarga directa no se puede dar. Tiene la ventaja de que si la empresa cuenta con la grúa y el balde propios, se evita así los cargos por el bombeo del concreto. Sin embargo este método tiene el inconveniente de que constantemente se detiene la colocación por mientras la grúa lleva el balde a donde está el camión, lo cargan y lo vuelve a llevar al sitio de descarga, es un ciclo en el cual hay más tiempos muertos debidos a la espera.

Es muy importante en este método la capacidad de la grúa, dependiendo de esta, así va a ser el aprovechamiento total o parcial del volumen del balde. Siempre se debe buscar el lugar más cercano, entre el llenado del balde y la descarga del mismo en el sitio final, esto con el fin de que se aproveche la máxima capacidad de la grúa y por tanto pueda transportarse la totalidad del volumen del cubo.



Figura 14. Balde utilizado en el proyecto



Figura 15. Colocación de concreto con el balde

# Metodología

Todo el trabajo fue llevado a cabo en el sitio del proyecto propiamente. Se planteó al inicio del mismo una secuencia de actividades que permitiera cumplir con los objetivos propuestos en el tiempo adecuado.

Primeramente se inició con la observación detallada de las actividades en estudio, llegando así a determinar mediante diagramas de flujo la secuencia de tareas realizadas en cada proceso para poder cumplir con el trabajo. Además de ello se determinó el tipo y cantidad de los recursos involucrados. Todo ello con el fin de entender claramente la actividad en estudio y sus variables.

Seguidamente con ayuda de los profesionales responsables se definieron los datos más importantes a determinar mediante mediciones en campo. Esto con base al interés de la empresa y a lo observado al inicio del trabajo. De esta forma se elaboraron machotes que sirvieron de guía a la hora de realizar la toma de datos en campo. Cada uno de ellos se ajustaba a las necesidades de cada actividad. En el caso del acero se buscó determinar el tiempo de perforación con la broca y la cantidad de epóxico gastado en cada inyección. Para el concreto lo que se determinó fueron los tiempos de transporte, mezclado y descarga de cada uno de los camiones.

Una vez que se tenía claro lo anterior, se realizaron las mediciones de los datos según el machote de cada actividad. Los días, los sitios y las cuadrillas de estudio se seleccionaron arbitrariamente, se tomaron datos tanto en horario nocturno como en diurno. Además se trató de ser discreto a la hora de medir, esto con el objetivo de que los trabajadores no notaran las anotaciones sobre su desempeño y por tanto actuaran con naturalidad según su costumbre.

Se prepararon hojas de cálculo en Excel con el objetivo de facilitar el procesamiento de los datos recolectados en campo mediante los

machotes. Además se buscó que sirviera como una herramienta para que la empresa aproveche los resultados y pueda ajustar sus presupuestos y programas de trabajo; al mismo tiempo que pueda ir introduciendo más datos conforme se presenten más proyectos.

Se tabularon todas las mediciones de campo y se alimentaron las hojas de Excel ya mencionadas para obtener así la información de interés. Terminado esto se analizaron las hojas en conjunto con los profesionales de la empresa para hacerle las mejoras según sus necesidades u observaciones.

Se analizaron los resultados obtenidos y se determinaron aquellos factores que influyen sobre los mismos. Además se analizó el comportamiento de los datos para encontrar relaciones entre los factores importantes y los resultados obtenidos. Dichos factores y relaciones se analizaron con los encargados de las labores y los profesionales de la empresa, para así oír su opinión al respecto.

Se hizo un estudio de los capítulos del CR-2010 relacionados con las actividades en estudio, así como una lectura de bibliografía cercana al tema. Esto con el objetivo de conocer el estado del arte de los procesos en estudio y analizar posibles mejoras a las prácticas actuales de la empresa.

Con base a los resultados obtenidos, la información técnica encontrada en la bibliografía, y la experiencia y criterio de los profesionales se plantearon recomendaciones a implementar en los procesos constructivos con el objetivo de mejorar no solo su rendimiento sino también su calidad. Al mismo tiempo se elaboraron documentos con las buenas prácticas a seguir en cada proceso que estén al alcance de las personas responsables de los procesos.

# Resultados

## Acero de refuerzo

### Diagramas de flujo y recursos involucrados

Con base en la observación de los procesos constructivos que se realizó al inicio del trabajo, se lograron determinar las tareas y la secuencia de las mismas que componen la instalación del acero de refuerzo. Es importante aclarar que se consideran dos tipos de acero de refuerzo. Acero

1 como aquel que simplemente va amarrado a otro acero y acero 2 como aquel que va inyectado con epóxico en una perforación. Además de esto se definieron los recursos necesarios en cada tarea.

| <b>Cuadro 6. Recursos necesarios para la instalación de acero de refuerzo</b> |                          |   |                        |
|---|--------------------------|---|------------------------|
| Proceso   | Recursos                 |   |                        |
|   | Mano de obra             | Equipo  | Materiales             |
| Perforación   | 1 operario<br>1 ayudante | Hilti TE 60 o TE 80<br>Broca<br>Extensión Eléctrica<br>Accesorios |                        |
| Limpieza de agujeros  | 1 operario<br>1 ayudante | Compresor<br>Arturito<br>Mangueras<br>Boquilla                    |                        |
| Inyección   | 1 operario<br>1 ayudante | Pistola de inyección  | Epóxico<br>Acero       |
| Armado de acero   | Variable                 | Tenazas<br>Grifas   | Alambre Negro<br>Acero |

Fuente: Elaboración propia

Las primeras tareas permiten llevar a cabo el procedimiento de colocación de acero de una manera ordenada, permitiendo así la instalación del mismo según lo indican los planos y facilitando las labores de los trabajadores, por lo

tanto incrementando la efectividad. El cumplimiento de la secuencia mostrada lleva a la buena realización de la labor de ahí que los encargados de las cuadrillas lo deban cumplir.

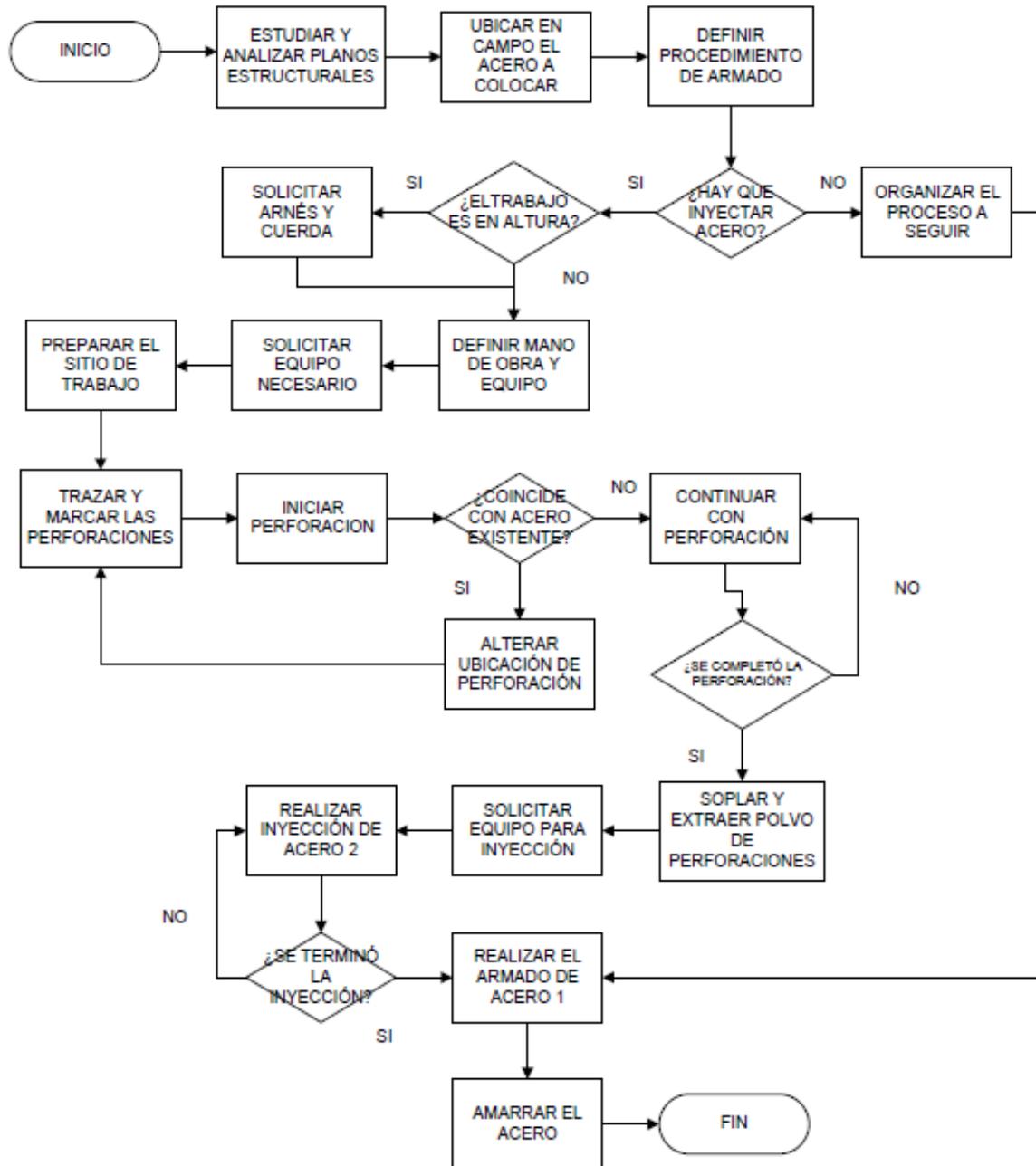


Figura 16. Diagrama de flujo para la instalación del acero de refuerzo

## Formularios para toma de datos

Una vez que se determinó el diagrama de flujo y los recursos involucrados, se prosiguió con la elaboración de formularios que permitiera llevar a cabo la toma de datos en campo para las tareas de perforación e instalación del epóxico. Para el caso de la perforación lo que se busca es

determinar el tiempo que se tarda en realizar cada una de las mismas dependiendo del tamaño de la broca utilizada. En el caso del epóxico lo que interesa es determinar el volumen colocado en cada una de las perforaciones y el rendimiento del mismo según la varilla que se vaya a colocar.

| RENDIMIENTOS DE PERFORACION |        |          |                         |             |        |
|-----------------------------|--------|----------|-------------------------|-------------|--------|
| PROYECTO: _____             |        |          |                         |             |        |
| FECHA: _____                |        |          |                         |             |        |
| <b>MANO DE OBRA</b>         |        |          | <b>EQUIPO</b>           |             |        |
| NOMBRE                      | PUESTO |          | CANTIDAD                | DESCRIPCION |        |
|                             |        |          |                         |             |        |
|                             |        |          |                         |             |        |
|                             |        |          |                         |             |        |
|                             |        |          |                         |             |        |
| HORA INICIAL: _____         |        |          | PROFUNDIDAD (cm): _____ |             |        |
| HORA FINAL: _____           |        |          | CANTIDAD TOTAL: _____   |             |        |
| MEDICIONES INDIVIDUALES     |        |          |                         |             |        |
| MEDICION                    | TIEMPO | MEDICION | TIEMPO                  | MEDICION    | TIEMPO |
| 1                           |        | 6        |                         | 11          |        |
| 2                           |        | 7        |                         | 12          |        |
| 3                           |        | 8        |                         | 13          |        |
| 4                           |        | 9        |                         | 14          |        |
| 5                           |        | 10       |                         | 15          |        |
| OBSERVACIONES               |        |          |                         |             |        |
|                             |        |          |                         |             |        |
|                             |        |          |                         |             |        |
|                             |        |          |                         |             |        |

Figura 17. Formulario para toma de datos de perforación

**RENDIMIENTOS DE INYECCIÓN**

---

PROYECTO: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_

| MANO DE OBRA |        |
|--------------|--------|
| NOMBRE       | PUESTO |
|              |        |
|              |        |
|              |        |
|              |        |

| EQUIPO Y MATERIALES |             |
|---------------------|-------------|
| CANTIDAD            | DESCRIPCIÓN |
|                     |             |
|                     |             |
|                     |             |
|                     |             |

HORA INICIAL: \_\_\_\_\_

HORA FINAL: \_\_\_\_\_

**MEDICIONES INDIVIDUALES**

---

| DATOS POR APUNTAR |                 |              |             |          |                  |
|-------------------|-----------------|--------------|-------------|----------|------------------|
| #                 | TIPO DE EPOXICO | VOLUMEN (ml) | VARILLA (#) | CANTIDAD | PROFUNDIDAD (cm) |
| 1                 |                 |              |             |          |                  |
| 2                 |                 |              |             |          |                  |
| 3                 |                 |              |             |          |                  |
| 4                 |                 |              |             |          |                  |
| 5                 |                 |              |             |          |                  |
| 6                 |                 |              |             |          |                  |
| 7                 |                 |              |             |          |                  |
| 8                 |                 |              |             |          |                  |
| 9                 |                 |              |             |          |                  |
| 10                |                 |              |             |          |                  |

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Figura 18. Formulario para toma de datos de consumo de epóxico**

## Perforación

En el caso de la perforación con base en las mediciones tomadas en campo mediante los formularios mostrados anteriormente, se logró así determinar los rendimientos dependiendo del tamaño de la broca que se utilice, y además se determinaron los valores de los factores que

afectan el rendimiento. Utilizando estos datos se realizó una hoja de cálculo que facilitara el cálculo de los tiempos necesarios para realizar una serie de perforaciones según los rendimientos y los factores determinados.

| <b>Cuadro 7. Rendimientos para la perforación</b> |            |                      |
|---|------------|----------------------|
| Varilla (#)                                       | Broca (cm) | Rendimiento (cm/min) |
| 4   | 1,59       | 27                   |
| 5   | 1,91       | 24                   |
| 6   | 2,22       | 19                   |
| 7   | 2,54       | 15                   |
| 8   | 2,86       | 14                   |
| 9   | 3,49       | 13                   |
| 10  | 3,81       | 9                    |

Fuente: Obtenidos con base en los datos de campo

| <b>Cuadro 8. Factores de modificación de rendimientos</b> |       |
|---|-------|
| Factor  | Valor |
| Uso de extensión y acople                                 | 0.6   |
| Posición vertical hacia arriba                            | 0.8   |

Fuente: Obtenidos con base en los datos de campo

**PERFORACIONES**

| RESUMEN DE LOS RENDIMIENTOS EN PERFORACION |              |                      |
|--|--------------|----------------------|
| VARILLA (#)                                | BROCA (pulg) | RENDIMIENTO (cm/min) |
| 4  | 5/8          | 24                   |
| 5  | 3/4          | 27                   |
| 6  | 7/8          | 19                   |
| 7  | 1            | 15                   |
| 8  | 1 1/8        | 14                   |
| 9  | 1 3/8        | 13                   |
| 10   | 1 1/2        | 9.2                  |

| FACTORES DE MODIFICACION DE RENDIMIENTOS |       |
|--|-------|
| FACTOR                                   | VALOR |
| USO DE EXTENSION Y ACOPLA                | 0.6   |
| POSICION VERTICAL HACIA ARRIBA           | 0.8   |

| CALCULO DE TIEMPOS |         |                   |          |                  |                   |                   |
|--------------------|---------|-------------------|----------|------------------|-------------------|-------------------|
| TIPO               | VARILLA | PROFUNDIDA D (cm) | CANTIDAD | ESO DE EXTENSION | POSICION VERTICAL | DURACION (min)    |
| 1                  | 9       | 26                | 1        | <u>SI</u>        | <u>NO</u>         | 4.64              |
| 2                  | 4       | 12                | 15       | <u>NO</u>        | <u>NO</u>         | 10.42             |
| 3                  | 5       | 15                | 10       | <u>SI</u>        | <u>NO</u>         | 12.73             |
| 4                  | 6       | 18                | 52       | <u>NO</u>        | <u>NO</u>         | 68.73             |
| 5                  | 7       | 20                | 13       | <u>NO</u>        | <u>NO</u>         | 23.11             |
| 6                  | 8       | 23                | 14       | <u>NO</u>        | <u>NO</u>         | 30.97             |
| 7                  | 9       | 26                | 18       | <u>NO</u>        | <u>SI</u>         | 66.21             |
| 8                  |         |                   |          |                  |                   |                   |
| 9                  |         |                   |          |                  |                   |                   |
| 10                 |         |                   |          |                  |                   |                   |
| 11                 |         |                   |          |                  |                   |                   |
| 12                 |         |                   |          |                  |                   |                   |
| 13                 |         |                   |          |                  |                   |                   |
| 14                 |         |                   |          |                  |                   |                   |
| 15                 |         |                   |          |                  |                   |                   |
| 16                 |         |                   |          |                  |                   |                   |
| 17                 |         |                   |          |                  |                   |                   |
| 18                 |         |                   |          |                  |                   |                   |
| 19                 |         |                   |          |                  |                   |                   |
| 20                 |         |                   |          |                  |                   |                   |
| <b>TOTAL</b>       |         |                   |          |                  |                   | <b><u>217</u></b> |

Figura 19. Hoja de cálculo elaborada para determinar los tiempos de perforación.

## Inyección de epóxico

Como se indicó anteriormente para el epóxico lo que se determinó fueron los rendimientos del volumen de epóxico para cada una de las barras instaladas. Además con base en los datos tomados de campo se determinó el desperdicio promedio y así la calificación de trabajo según los

criterios que establece Hilti. Por último se realizó una hoja de cálculo que permita determinar la cantidad de cartuchos necesarios para llevar a cabo una serie de inyecciones con características dadas.

| Barra | Rendimiento (cm <sup>3</sup> /cm) |
|-------|-----------------------------------|
| 4     | 1.05                              |
| 5     | 1.33                              |
| 6     | 1.63                              |
| 7     | 1.81                              |
| 8     | 1.96                              |
| 9     | 4.06                              |
| 10    | 4.45                              |

Fuente: Obtenidos con base en los datos de campo

| Barra | Desperdicio (%) | Calificación |
|-------|-----------------|--------------|
| 4     | 11              | Normal       |
| 5     | 17              | Normal       |
| 6     | 15              | Normal       |
| 7     | 11              | Normal       |
| 8     | 9               | Óptima       |
| 9     | 8               | Óptima       |
| 10    | 9               | Óptima       |

Fuente: Obtenidos con base en los datos de campo

| EPOXICO HILTI                                 |                                   |                   |   |   |                |               |
|---|-----------------------------------|-------------------|---|---|----------------|---------------|
| <b>RENDIMIENTOS DE LA EMPRESA</b>             |                                   |                   | <b>RENDIMIENTOS DE HILTI CON DESPERDICIO DE 10%</b> |   |                |               |
| BARRA   | RENDIMIENTO (cm <sup>3</sup> /cm) |                   | BARRA   | RENDIMIENTO (cm <sup>3</sup> /cm)         |                |               |
| 3   | 0.93                              |                   | 3   | 0.78                                      |                |               |
| 4   | 1.05                              |                   | 4   | 1.04                                      |                |               |
| 5   | 1.33                              |                   | 5   | 1.25                                      |                |               |
| 6   | 1.63                              |                   | 6   | 1.55                                      |                |               |
| 7   | 1.81                              |                   | 7   | 1.79                                      |                |               |
| 8   | 1.96                              |                   | 8   | 2.12                                      |                |               |
| 9   | 4.06                              |                   | 9   | 4.27                                      |                |               |
| 10  | 4.45                              |                   | 10  | 4.68                                      |                |               |
| <b>CALCULOS PARA UN UNICO TAMAÑO DE BARRA</b> |                                   |                   |   |   |                |               |
| <b># DE VARILLA:</b>                          |                                   | 8                 |   | <b>CANTIDAD MAXIMA DE INYECCIONES POR</b> |                |               |
| <b>PROFUNDIDAD DE INYECCION:</b>              |                                   | 50.00 cm          |   | 4   |                |               |
| <b>CANTIDAD DE INYECCIONES</b>                |                                   | 20                |   | <b>TOTAL DE CARTUCHOS A NECESITAR</b>     |                |               |
| <b>VOLUMEN DE CARTUCHO A</b>                  |                                   | 500 ml            |   | <b>MINIMA</b>                             | 5              | <b>MAXIMA</b> |
|   |                                   |                   |   | 5   |                | 5             |
| <b>PRESUPUESTAR DIFERENTES BARRAS</b>         |                                   |                   |   |   |                |               |
| TIPO  | # DE BARRA                        | PROFUNDID AD (cm) | CANTIDAD  | VOL DE CARTUCH                            | # DE CARTUCHOS |               |
|   |                                   |                   |   |   | MINIMA         | MAXIMA        |
| 1   | 9                                 | 75.00             | 180   | 500 ml                                    | 131            | 180           |
| 2   | 4                                 | 11.43             | 43  | 500 ml                                    | 2              | 2             |
| 3   | 5                                 | 14.29             | 14  | 500 ml                                    | 1              | 1             |
| 4   | 6                                 | 17.15             | 53  | 500 ml                                    | 4              | 4             |
| 5   | 7                                 | 20.00             | 42  | 500 ml                                    | 4              | 4             |
| 6   | 8                                 | 50.00             | 20  | 500 ml                                    | 5              | 5             |
| 7   | 9                                 | 75.00             | 90  | 500 ml                                    | 66             | 90            |
| 8   |                                   |                   |   |   |                |               |
| 9   |                                   |                   |   |   |                |               |
| 10  |                                   |                   |   |   |                |               |
| <b>TOTAL</b>                                  |                                   |                   |   |   | <b>213</b>     | <b>286</b>    |

Figura 20. Hoja de cálculo realizada para determinar la cantidad de cartuchos a necesitar.

# Concreto

## Diagramas de flujo y recursos involucrados

Al igual que con el acero de refuerzo, se realizaron observaciones a los procesos de colocación de concreto y se determinaron con base en ellas las tareas, secuencias y recursos involucrados. Se contempló y analizó el proceso de preparación de la superficie (martelinado y picado). De esta forma se realizaron los

diagramas de flujo y las tablas de recursos asociadas. Se analizaron los datos tomados de los distintos métodos de colocación de concreto usados en el proyecto y a partir de ellos se obtuvo el rendimiento de los mismos, así como información útil para el mejoramiento del proceso.

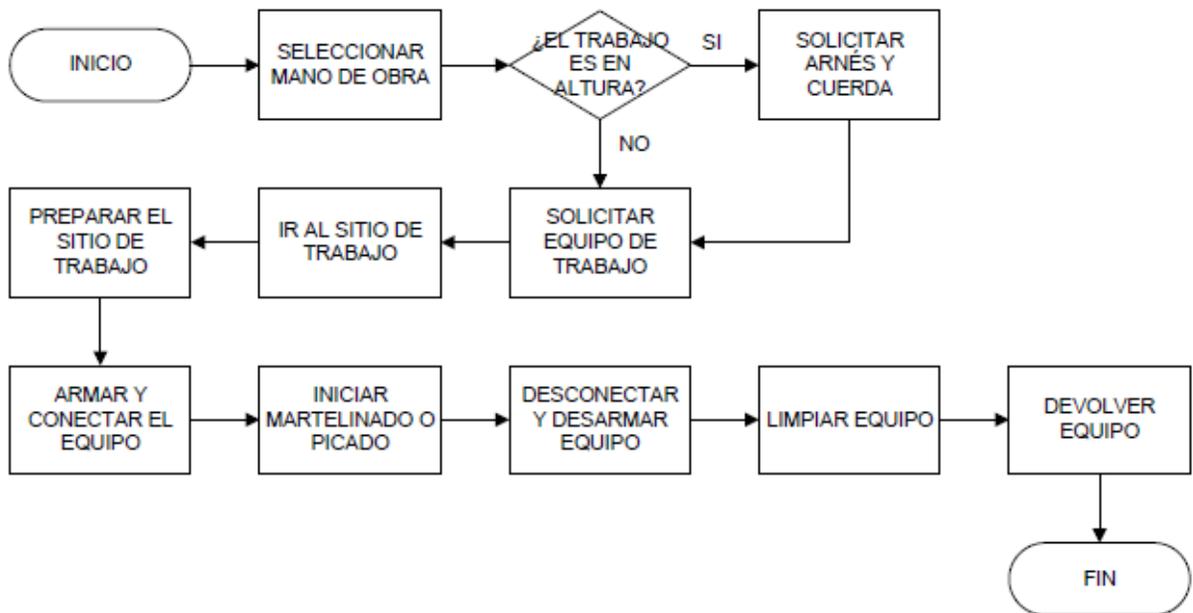


Figura 21. Diagrama de flujo para el martelinado y picado de la superficie

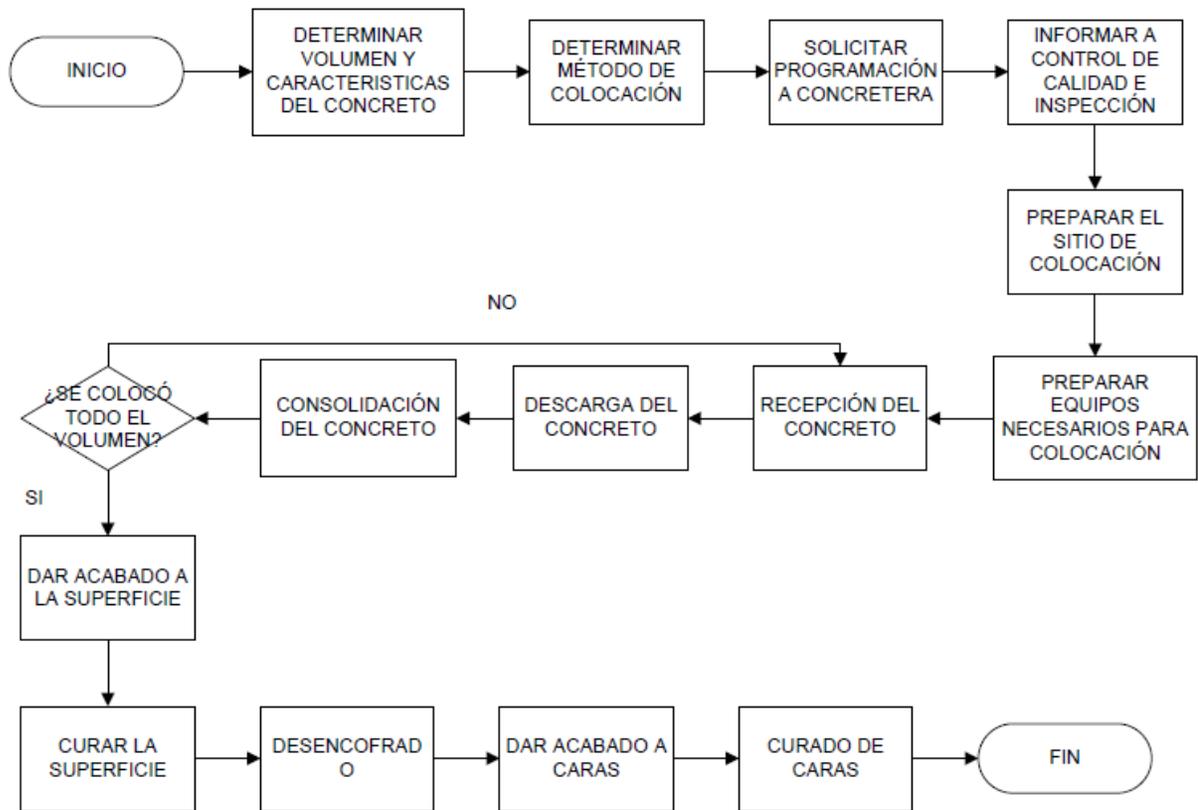


Figura 22. Diagrama de flujo para la colocación de concreto

| Cuadro 11. Recursos para la preparación de la superficie |                          |  |            |
|--|--------------------------|--|------------|
| Proceso  | Recursos                 |  |            |
|  | Mano de obra             | Equipo   | Materiales |
| Martelinado  | 1 Operario<br>1 Ayudante | 1 Hilti TE-500 ó Hilti TE-700<br>1 Accesorio martelinador<br>1 extensión eléctrica         |            |
| Picado   | 1 Operario<br>1 Ayudante | 1 Hilti TE-500 ó Hilti TE-700<br>1 Accesorio cincel punta o plano<br>1 extensión eléctrica |            |

Fuente: Elaboración propia

| <b>Cuadro 12. Recursos necesarios según el método de descarga del concreto</b> |                                      |   |            |
|--|--------------------------------------|---|------------|
| Método   | Recursos                             |   |            |
|  | Mano de obra                         | Equipo                                    | Materiales |
| Descarga Directa   | 2 peones                             | 1 Pala<br>1 juego de canoas               | Concreto   |
| Bomba Telescópica  | 3 peones                             | 1 Pala                                    | Concreto   |
| Balde izado con grúa   | 1 operario<br>1 operador<br>4 peones | 1 Balde<br>1 Grúa<br>1 Vibrador<br>1 Pala | Concreto   |

Fuente: Elaboración propia

| <b>Cuadro 13. Recursos necesarios en las actividades de colocación de concreto</b> |                            |   |                            |
|--|----------------------------|---|----------------------------|
| Proceso  | Recursos                   |   |                            |
|  | Mano de obra               | Equipo  | Materiales                 |
| Descarga   | Ver cuadro 12              |   |                            |
| Consolidación  | 2 operarios<br>2 ayudantes | 2 vibradores<br>2 extensiones eléctricas            | Concreto                   |
| Acabado  | 2 operarios<br>2 ayudantes | 2 planchas<br>2 codales<br>2 llanetas<br>2 cucharas | Concreto                   |
| Curado   | 1 operario<br>1 ayudante   | 1 bomba de espalda<br>Manguera                      | Membrana de curado<br>Agua |

Fuente: Elaboración propia.

| <b>Cuadro 14. Rendimiento en el martelinado de la superficie</b> |                  |          |       |
|--|------------------|----------|-------|
| Rendimiento  | Variable         | Unidad   | Media |
| Mano de obra   | Horas hombre     | HH/OP/m2 | 0.63  |
|  |                  | HH/AY/m2 | 0.63  |
| Avance   | Área martelinada | m2/h     | 1.6   |

Fuente: Obtenidos de las mediciones realizadas en campo.

| <b>Cuadro 15. Rendimiento en el picado de la superficie</b> |              |          |       |
|---|--------------|----------|-------|
| Rendimiento   | Variable     | Unidad   | Media |
| Mano de obra  | Horas hombre | HH/OP/m2 | 0.37  |
|   |              | HH/AY/m2 | 0.37  |
| Avance  | Área picada  | m2/h     | 2,74  |

Fuente: Obtenidos de las mediciones realizadas en campo.

| <b>Cuadro 16. Factores de modificación de rendimientos</b> |              |        |
|--|--------------|--------|
| Factor   | Mano de obra | Avance |
| Equipo inadecuado  | 1.1          | 0.4    |
| Posición vertical hacia arriba                             | 1.3          | 0.7    |

Fuente: Obtenidos de las mediciones realizadas en campo

| <b>Cuadro 17. Rendimientos en la colocación de concreto según el método de descarga y el elemento a colar.</b> |                       |                    |
|--|-----------------------|--------------------|
| Elemento   | Método de descarga    | Rendimiento (m3/h) |
| Placas o sustituciones   | 1 Bomba telescópica   | 23,5               |
|  | 2 Bombas telescópicas | 46,9               |
|  | Descarga directa      | 17,9               |
| Viga de Amarre   | 1 Bomba telescópica   | 10,5               |
| Columnas   | 1 Bomba telescópica   | 8,0                |
|  | Balde                 | 4,7                |
| Pantallas de Bastión   | 1 Bomba telescópica   | 6,5                |
| Viga intermedia  | 1 Bomba telescópica   | 13,2               |

Fuente: Obtenidos de las mediciones realizadas en campo.

| <b>INFORME DE COLADA</b>  |  |  |      |
|---|--|--|------|
| <b>PROYECTO:</b>  | PUENTE SOBRE EL RIO VIRILLA, RUTA 1 "LA PLATINA" |  |      |
| <b>FECHA:</b>   | 19/11/2013                                       |  |      |
| <b>ACTIVIDAD:</b>   | SUSTITUCION PILA 2, AGUAS ARRIBA                 |  |      |
| <b>INGENIERO:</b>   | CARLOS LEON ARAYA                                |  |      |
| <b>MAESTRO DE OBRAS:</b>  | REYNALDO ALTAMIRANO                              |  |      |
| <b>CONCRETERA:</b>  | CEMEX  |  |      |
| LABORATORIOS EN CONTROL DE CALIDAD  |  |  |      |
| CODOCSA   | INSPECCION                                       | CONCRETERA   | OTRO |
| LGC   |  | LABORATORIO CEMEX  |      |
| <b>FOTOGRAFIAS</b>  |  |  |      |
|  |  |  |      |
|   |  |  |      |

Figura 23. Página principal de la hoja de cálculo

| METODO DE COLOCACIÓN: |                  | BOMBA TELESCÓPICA |                    |              |                 |                | MUESTREO |       |       |      | REVENIMIENTO |
|-----------------------|------------------|-------------------|--------------------|--------------|-----------------|----------------|----------|-------|-------|------|--------------|
| # de viaje            | VEHICULO (PLACA) | SALIDA DE PLANTA  | LLEGADA A PROYECTO | VOLUMEN (m3) | INICIO DESCARGA | FINAL DESCARGA | CODOC    | INSPE | CONCR | OTRO |              |
| 1                     | 155898           | 03:11 p.m.        | 03:35 p.m.         | 6            | 03:39 p.m.      | 03:47 p.m.     |          |       |       |      |              |
| 2                     | 159902           | 03:33 p.m.        | 03:58 p.m.         | 6            | 04:03 p.m.      | 04:10 p.m.     | X        |       | X     |      | 18.5         |
| 3                     | 149657           | 04:00 p.m.        | 04:26 p.m.         | 6            | 04:33 p.m.      | 04:43 p.m.     |          |       |       |      |              |
| 4                     | 159886           | 04:17 p.m.        | 04:40 p.m.         | 6            | 04:58 p.m.      | 05:05 p.m.     |          |       |       |      |              |
| 5                     | 159863           | 04:37 p.m.        | 05:00 p.m.         | 6            | 05:13 p.m.      | 05:18 p.m.     |          |       |       |      |              |
| 6                     | 149768           | 04:46 p.m.        | 05:08 p.m.         | 6            | 05:21 p.m.      | 05:28 p.m.     |          |       |       |      |              |
| 7                     | 159888           | 04:54 p.m.        | 05:20 p.m.         | 6            | 05:33 p.m.      | 05:41 p.m.     | X        |       | X     |      | 14.5         |
| 8                     | 149781           | 04:59 p.m.        | 05:22 p.m.         | 6            | 05:45 p.m.      | 05:56 p.m.     |          |       |       |      |              |
| 9                     | 159970           | 05:08 p.m.        | 05:27 p.m.         | 6            | 06:04 p.m.      | 06:12 p.m.     |          |       |       |      |              |
| 10                    | 155904           | 05:14 p.m.        | 05:33 p.m.         | 6            | 06:18 p.m.      | 06:26 p.m.     |          |       |       |      |              |
| 11                    | 159342           | 05:20 p.m.        | 05:44 p.m.         | 6            | 06:32 p.m.      | 06:41 p.m.     | X        |       | X     |      | 13           |
| 12                    | 149635           | 05:25 p.m.        | 05:44 p.m.         | 6            | 07:00 p.m.      | 07:06 p.m.     |          |       |       |      |              |
| 13                    | 158313           | 05:30 p.m.        | 05:57 p.m.         | 6            | 07:13 p.m.      | 07:18 p.m.     |          |       |       |      |              |
| 14                    | 155898           | 06:34 p.m.        | 06:53 p.m.         | 6            | 07:32 p.m.      | 07:39 p.m.     |          |       |       |      |              |
| 15                    | 159902           | 06:51 p.m.        | 07:13 p.m.         | 6            | 07:43 p.m.      | 07:50 p.m.     |          |       |       |      |              |
| 16                    | 149657           | 07:04 p.m.        | 07:23 p.m.         | 6            | 08:00 p.m.      | 08:07 p.m.     | X        |       | X     |      | 9            |
| 17                    | 159880           | 07:15 p.m.        | 07:35 p.m.         | 6            | 08:11 p.m.      | 08:20 p.m.     |          |       |       |      |              |
| 18                    | 159970           | 07:28 p.m.        | 07:42 p.m.         | 6            | 08:23 p.m.      | 08:32 p.m.     |          |       |       |      |              |
| 19                    | 159886           | 07:49 p.m.        | 08:07 p.m.         | 6            | 08:33 p.m.      | 08:44 p.m.     |          |       |       |      |              |
| 20                    | 159863           | 08:06 p.m.        | 08:20 p.m.         | 6            | 08:47 p.m.      | 08:59 p.m.     |          |       |       |      |              |
| 21                    | 149768           | 08:19 p.m.        | 08:35 p.m.         | 6            | 09:04 p.m.      | 09:12 p.m.     | X        |       |       |      | 10           |
| 22                    | 159342           | 08:32 p.m.        | 08:47 p.m.         | 6            | 09:19 p.m.      | 09:26 p.m.     |          |       |       |      |              |
| 23                    | 149635           | 08:40 p.m.        | 08:57 p.m.         | 6            | 09:32 p.m.      | 09:39 p.m.     |          |       |       |      |              |
| 24                    | 155898           | 08:46 p.m.        | 09:01 p.m.         | 6            | 09:43 p.m.      | 09:49 p.m.     |          |       |       |      |              |
| 25                    | 159902           | 09:01 p.m.        | 09:13 p.m.         | 6            | 09:55 p.m.      | 10:04 p.m.     | X        |       |       |      | 24           |
| 26                    | 159886           | 10:01 p.m.        | 10:08 p.m.         | 6            | 10:21 p.m.      | 10:28 p.m.     |          |       |       |      |              |
| 27                    | 159863           | 10:09 p.m.        | 10:23 p.m.         | 6            | 10:31 p.m.      | 10:38 p.m.     |          |       |       |      |              |

Figura 24. Página de introducción de datos a la hoja de cálculo

| ANÁLISIS DE LOS DATOS DEL INFORME DE VIAJES  |            |                |            |
|--|------------|----------------|------------|
| PROYECTO: PUENTE SOBRE EL RIO VIRILLA, RUTA 1 "LA PLATINA"<br>FECHA: 19/11/2013<br>ACTIVIDAD: SUSTITUCION PILA 2, AGUAS ARRIBA |            |                |            |
| <b>METODO DE DESCARGA: BOMBA TELESCÓPICA</b>   |            |                |            |
| HORA DE INICIO:  | 03:39 p.m. | HORA DE FINAL: | 10:56 p.m. |
| TOTAL DE VIAJES:   |            | 28             |            |
| VOLUMEN TOTAL:   | 168 m3     | RENDIMIENTO:   | 23.1 m3/h  |
| PROMEDIO DE TIEMPO PARA LLEGAR EL CAMION AL PROYECTO:  |            | 12 min         |            |
| PROMEDIO DE TIEMPO PARA DESCARGAR EL CONCRETO DEL CAMION:  |            | 5 min          |            |

Figura 25. Página resumen con los resultados de la hoja de cálculo

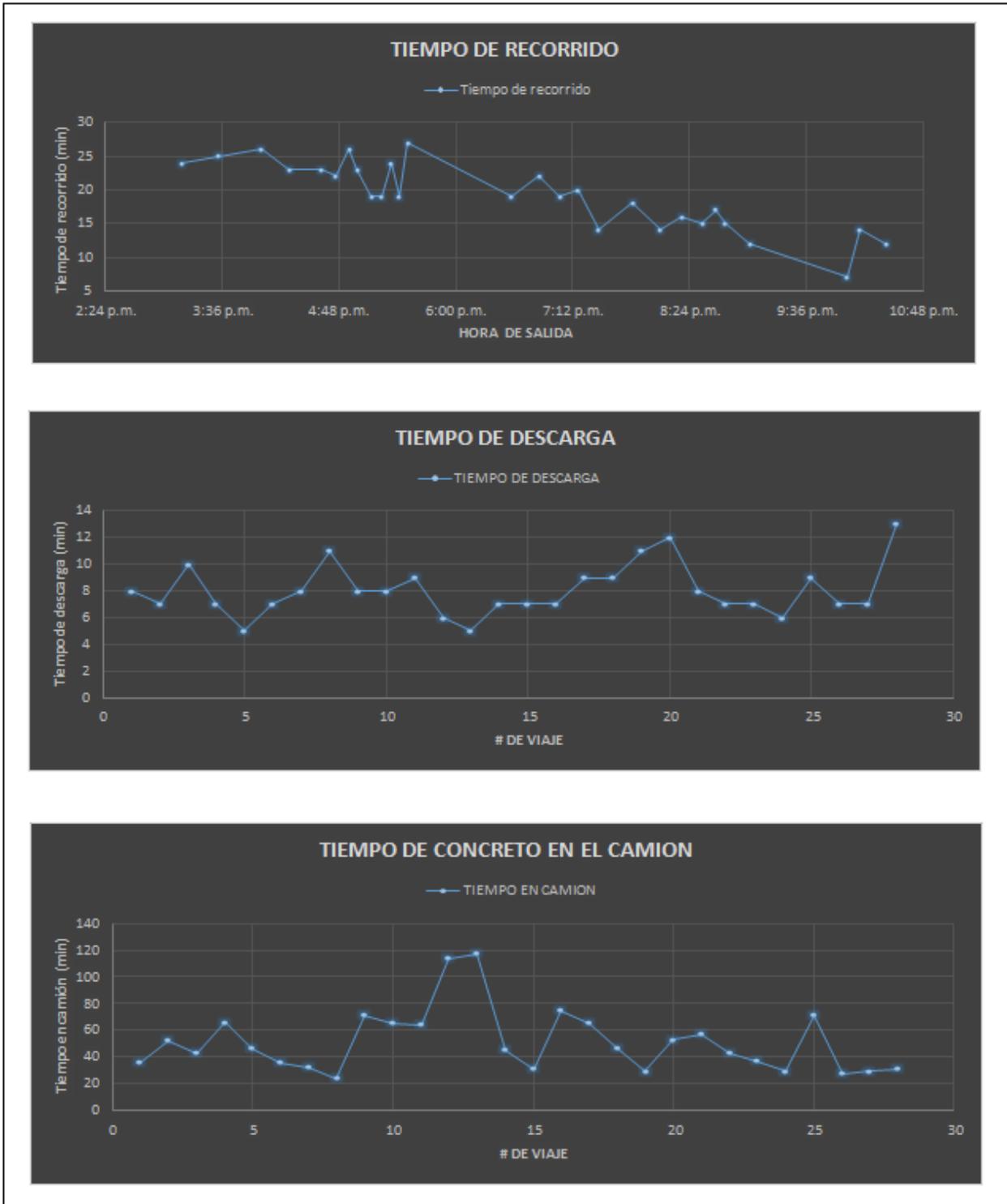


Figura 26. Gráficos obtenidos en la hoja de cálculo

# Análisis de los resultados

## Acero de refuerzo

La figura 16 muestra la secuencia con la que se deben de realizar los distintos procesos para llevar a cabo un trabajo seguro y sobre todo ordenado. El inicio debe ser de estudio y planificación por parte de los encargados e ingenieros, esto para que se tenga claro el procedimiento a seguir. La instalación del acero de refuerzo debe ser planificada para que el orden de colocación sea tal que permita un armado cómodo y sin complicaciones. La misma figura indica que en caso de que se tenga que inyectar acero se debe realizar esta primero antes de seguir con el armado del denominado "acero 1", esto es para que en el momento de realizar la perforación y la inyección no haya acero que estorbe o impida trabajar cómodamente.

Si bien es cierto, las perforaciones se marcan en el lugar que indican los planos, hay que tener presente que se está trabajando sobre una estructura ya reforzada con acero y que por tanto puede suceder que este obstruya la perforación. Es por esto que en el diagrama de flujo se indica que en caso de que la perforación pegue con una varilla, lo que se debe de realizar es detener la perforación y reubicarla en un punto cercano a la original pero que esquivé la varilla encontrada. Todas aquellas perforaciones que sean obstruidas por acero hace que la efectividad del trabajo disminuya y además que el equipo se vaya dañando, de ahí que se tenga que tener cuidado a la hora de seleccionar el sitio de perforación.

Se observó que es preferible que los procesos sean llevados a cabo de tal forma que hasta que se termine todo el proceso no se continúe con el otro. La idea con esto es que primero se deben de realizar todas las perforaciones en el área seleccionada y luego una vez que se complete la totalidad, empezar la limpieza de todos los orificios, ya que si se continúa perforando después de limpiar se puede

volver a ensuciar la perforación y por tanto habría que volver a limpiar, perdiendo así efectividad en el trabajo.

Ya una vez que se tenga el acero inyectado, se continúa con el armador del "acero 1", hasta completar la totalidad del armado de la estructura según lo indican los planos.

Por lo general los procesos de perforación, limpieza e inyección se trabajan en grupos de dos personas como lo indica el cuadro 6. Se selecciona un operario y un ayudante por cada equipo que se utilice. En el caso de la perforación esto hace que el equipo no pare de trabajar, ya que cuando el operario se cansa de perforar, el ayudante continúa el trabajo mientras el operario descansa, siempre bajo la supervisión del mismo que debe velar por el correcto manejo del equipo y la buena labor. Para el proceso de inyección se debe de considerar que el grupo de trabajo puede estar formado por dos personas siempre y cuando la manejabilidad de la varilla a inyectar sea aceptables, diámetros y longitudes mayores, pueden requerir el trabajo de más ayudantes de ahí que la mano de obra pueda variar.

Los frentes de trabajo que se puedan tener al mismo tiempo, tanto en perforación como en inyección, va a depender de la disponibilidad de los equipos Hilti (taladros y pistolas), de ahí que se deba analizar las necesidades del proyecto y el avance esperado para definir la cantidad de equipos a comprar. Mantener el balance de que haya un operario y un ayudante es sumamente importante, ya que si bien es cierto el ayudante puede operar el equipo sin ningún problema, el operario es quien tiene más conocimiento y practica con el mismo, por lo que se espera le dé un mejor uso y cuidado, de igual forma el trabajo en conjunto hace que sea más efectivo.

La mano de obra involucrada en el armado de acero no está definida por un único número de trabajadores como lo indica el cuadro 6. Esto se debe a que es variable según el elemento que se esté armando y el procedimiento de armado que se realice. En armaduras de placas y vigas por lo general se requiere de muchos trabajadores, contrario al armado de columnas donde se requieren pocos.

Se establecieron dos formularios para la toma de datos en campo mostrados en las figuras 17 y 18. En el caso de la perforación la idea principal fue determinar el tiempo efectivo que se tarde en realizar una perforación dada. Con el formulario se logra además de determinar el rendimiento efectivo, también se obtiene el rendimiento real de la cuadrilla, es por esto que se anota la hora inicial y la final en la que se lleva a cabo la medición así como la cantidad de perforaciones realizadas en ese lapso.

En el rendimiento efectivo lo que se indica es el tiempo que se requiere para llevar a cabo la perforación. Se comienza a medir en el momento que se activa el taladro y termina cuando saca el mismo. Este es el tiempo que se debe anotar en las mediciones individuales, en este caso el formulario trae para un máximo de 15 mediciones individuales.

El rendimiento real mide el tiempo total que transcurre para hacer una cantidad dada de perforaciones. En este tiempo se contemplan todos aquellos tiempos muertos en los que incurra la cuadrilla y que por tanto afectan la productividad de la misma.

Para el caso de la inyección lo que se quiso medir fue el consumo de epóxico en las inyecciones realizadas. Las mediciones al igual que en la perforación se hacen por cuadrilla de trabajo. Se deben anotar la cantidad de inyecciones que se realizan por cada cartucho de epóxico, indicando el tipo de epóxico, el volumen, la varilla y la profundidad de la perforación.

En ambos formularios se deben anotar todas aquellas observaciones que se noten a la hora de realizar la medición que puedan influir sobre los datos obtenidos. Con estos formularios se facilita la toma de datos en forma ordenada y por tanto se obtienen mejores resultados.

Con base en el procesamiento de la información que se obtuvo de los formularios llenados en campo, se llegó a construir el cuadro 7. En él se indican los rendimientos efectivos promedios de perforación según el diámetro de

la broca utilizada. Como se observa en el cuadro conforme se aumenta la medida de la broca, disminuyen los centímetros de perforación que se realizan por minuto. Esta es una relación lógica y esperada, ya que entre mayor sea el diámetro de la broca, mayor es el volumen que debe extraer por cada centímetro de perforación.

Los resultados se obtuvieron a partir del promedio de las mediciones individuales tomadas en campo para cada una de las barras. La población más pequeña con la que se trabajó fue de 10 mediciones en el caso de la broca de 3,81 cm, esto por cuanto fueron las únicas que se realizaron. Si bien es cierto la población no es muy amplia para realizar un análisis estadístico de los resultados, se da a la empresa al menos un rendimiento medido en sitio cuyo dato debe irse actualizando conforme se vayan realizando futuras mediciones.

Los datos del cuadro 7 no se pudieron comparar con resultados anteriores de la empresa, ya que esta no contaba con ningún otro estudio y tampoco se encontraron rendimientos teóricos de la empresa HILTI para poder realizar dichas comparaciones.

Se determinaron dos factores que afectan considerablemente el rendimiento de la perforación el primero corresponde al uso del accesorio denominado extensión que se utiliza para realizar perforaciones más profundas que lo que la broca por sí sola permite. Para hacer uso de la extensión se debe de utilizar un acople que va colocado entre la broca y la extensión. El problema del acople se debe a que impide la salida del polvo producto de la perforación, por lo que el operario debe de estar sacando constantemente toda la broca para extraer el polvo y volver a introducirla hasta completar la perforación, este saca y mete hace que el rendimiento sea mucho menor. Para obtener su valor se realizaron medidas individuales con el uso de la extensión y se compararon con aquellas que no la utilizaron, el promedio de las comparaciones dio como resultado 0.6, lo que señala que el rendimiento es el 60% del indicado en el cuadro 7.

El segundo factor de modificación se da cuando se realizan perforaciones en la posición vertical hacia arriba. Esta posición afecta el rendimiento debido a que el operador debe sostener el total del peso del equipo, y que cuando perfora todo el polvo le cae sobre la cara lo que complica la visibilidad. Se determinó que

en esta posición, el rendimiento es el 80% del rendimiento normal por lo que debe de considerarse cuando así lo amerite.

Con base en estos resultados de los cuadros 7 y 8 se desarrolló una hoja de cálculo para estimar las duraciones de cualquier grupo de perforaciones que se deba de realizar. El usuario simplemente debe de indicar las características de cada una de las perforaciones y obtendrá el tiempo total que requiera para realizarlas según los rendimientos de la empresa. La empresa debe aplicar un factor de tiempo muerto para pasar a tiempo real necesario como se discutió anteriormente.

Para el caso del epóxico se obtuvo el rendimiento según la varilla a inyectar. El cuadro 9 muestra los resultados obtenidos, en el mismo se puede observar que cuanto mayor sea el diámetro de la varilla, mayor es el consumo de epóxico por cada centímetro de perforación, al mismo tiempo que se nota un aumento considerable de consumo para las barras #9 y #10. El comportamiento de consumo es similar al teórico que indica el manual Hilti y que se muestra en el cuadro 3.

Para analizar los datos del cuadro 9 se debe utilizar la información que se muestra en la figura 6. Considerando que para las barras que van desde la #3 hasta la #8, el diámetro de la broca que se utiliza es 0,32 cm más grande que la barra; siendo el aumento tanto en la barra como en la perforación el volumen teórico a ocupar por el epóxico y que se indica en la figura 6 con la letra A es el mismo para todas. El aumento en el consumo se debe a que conforme mayor sea el diámetro de la barra mayor es el volumen de epóxico que se deposita en el anillo (punto D de la figura), además de que entre mayor sea el diámetro de la broca utilizado, rellenar con epóxico lo que se dé por un incremento en la profundidad como lo indica la letra E en la figura 6, requiere de una mayor cantidad de volumen por lo que el consumo se ve afectado.

Los factores discutidos en el párrafo anterior aplican también para las barras #9 y mayores, sin embargo el incremento en el consumo que se nota en el cuadro 9 respecto a las barras anteriores, se debe principalmente a que en este caso se utiliza 0,64 cm más grande para la broca, por lo que el volumen teórico (letra A de la figura 6) ya no es el mismo que las otras barras sino más grande.

De igual forma debe de aclararse que cuando se realiza la medición en sitio de la cantidad de barras inyectadas por cartucho, muchas veces se debe aproximar la última unidad ya que por lo general no se dan números enteros por cartucho. Considerar solo la cantidad que inyecte completamente es desprestigiar un volumen de epóxico que está siendo bien utilizado y que por tanto no debe ser considerado desperdicio. Por otro lado redondear a la unidad próxima sería engañar el resultado y obtener mayores rendimientos de los reales. De esta forma lo que se debe hacer es aproximar con un decimal la cantidad de barras inyectadas para un mejor resultado.

Considerando los desperdicios calculados con base en las mismas mediciones hechas en campo se puede clasificar la calidad del trabajo como se mencionó al inicio del trabajo que lo hace la empresa Hilti. De esta forma se observa en el cuadro 10 que de la barra #4 a la #7 el desperdicio es mayor al 10% pero menor al 20% por lo que se considera como un trabajo normal. En el caso de las barras mayores el desperdicio es menor al 10% por lo que el trabajo se considera óptimo.

Si bien es cierto las barras mayores a la #8 presentan un desperdicio menor al 10% y su calificación se da como óptima; se encontró que algunas de las mediciones hechas en campo no tenían ni la mínima cantidad de epóxico que teóricamente se necesita para llenar la perforación. Esto lejos de ser un trabajo óptimo es más bien un daño en la calidad del trabajo, ya que puede suceder que la barra no quede adherida por el epóxico en toda la longitud de perforación que se realizó. La causa de esto se puede deber a que en ocasiones el manejo por parte de los trabajadores en barras con diámetros mayores a la #8 se complica por el peso y longitud de la misma, teniendo así que golpear la barra con mazo para poder introducirla en la perforación; este procedimiento hace que con los golpes se expulse el epóxico rápidamente lo que lleva a creer en los trabajadores que colocaron mucho epóxico y por tanto disminuyen la dosis de inyección. En estas inyecciones el volumen que se forma en el anillo no es indicador de que el orificio está lleno sino que se puede deber a una mala práctica de colocación.

Además del peso y la longitud como factores importantes que llevan a la mala práctica de colocación; estos se ven acompañados en la

mayoría de los casos por perforaciones mal realizadas. A la hora de hacer la perforación sucede que si no se tiene el cuidado necesario el operario puede inclinar el equipo en cualquier dirección, impidiendo así que la perforación sea recta. A la hora de introducir la varilla se tiene que luchar con dicha inclinación de la perforación por lo que los instaladores deben luchar contra la fricción que se genera entre la varilla y las paredes de la perforación teniendo así que utilizar el mazo para poder ir dando a la varilla la inclinación de la perforación y por tanto se inyecte la longitud esperada.

Otro factor importante que afecta la colocación de la varilla en la perforación son los finales de varilla con filos muy pronunciados que se introducen sobre el concreto existente e impiden el deslizamiento de la varilla por lo que se tiene que recurrir al mazo para poder introducirla, siendo esto una mala práctica como ya se mencionó.

Al igual que en el caso de la perforación se realizó una hoja de cálculo que permitiera utilizar los rendimientos de epóxico obtenidos en campo y así calcular la cantidad de cartuchos de epóxico que se requieran para realizar un número dado de inyecciones. En caso de que el rendimiento medido en campo sea mayor al máximo que indica el catálogo cuyo desperdicio corresponde a un 10%, la hoja selecciona el del catálogo y desecha el medido en campo; esto por cuanto como se mencionó anteriormente puede ser que en realidad se haya inyectado menos epóxico del mínimo, siendo esto una mala práctica.

En la figura 20 se muestra la interfaz de la hoja de cálculo. La primera parte muestra los rendimientos de la empresa y los rendimientos del catálogo, en la segunda sección se pueden calcular la cantidad de inyecciones con características dadas que puedo realizar dependiendo del volumen del cartucho que utilice, así como la cantidad de cartuchos que se requiere para la cantidad de inyecciones indicada. La tercera parte está hecha para que el usuario indique mediante una lista los distintos tipos de perforaciones que se deben de realizar según el diámetro de la varilla y la longitud de perforación para que así el sistema le indique la cantidad de cartuchos a necesitar según el volumen seleccionado del mismo.

En dicha hoja de cálculo viene indicado una mínima y máxima cantidad de cartuchos a

necesitar. La cantidad mínima se da cuando se realizan todas las inyecciones seguidas sin dejar cartuchos con gastos parciales debido a la detención del trabajo; esto quiere decir que a cada cartucho se le utiliza todo su volumen aprovechable según el cuadro 2. Contrario a esto la cantidad máxima de cartuchos se da cuando en cada uno de ellos utilizo únicamente el volumen que me permita hacer la máxima cantidad de inyecciones completas, esto implica que los sobrantes no los aprovecho en otra perforación sino que lo desecho, de ahí que el desperdicio aumente.

## Concreto

En el caso del concreto se obtuvieron resultados tanto para las actividades de preparación de la superficie como para colocación de concreto en la tarea de descarga del mismo. Para la preparación de la superficie si bien es cierto se realizan dos procesos (martelinado y picado), se obtuvo un único diagrama de flujo que abarca ambas como lo muestra la figura 21; esto debido a que lo único que cambia en todo el proceso es el accesorio que se le coloca al equipo Hilti, de ahí que las tareas involucradas sean las mismas.

La figura 22 muestra todo el flujo de tareas que se debe dar para realizar la colocación del concreto. Al igual que en el caso de la instalación de acero debe de haber una serie de tareas que permitan una adecuada planificación del procedimiento que se va a seguir según las características propias de la colada. De todas las que aparecen en la figura, únicamente se trabajó en la recepción del concreto y en la descarga del mismo, esto debido a solicitud de la empresa. En el caso de la recepción lo que se pretende es monitorear la duración que tarda el concreto en salir y de la planta y comenzar la descarga del mismo. Por otro lado lo que se mide en la descarga es la velocidad con la que el concreto se descarga del camión según el método de colocación y el elemento que se esté colando.

Los cuadros 11, 12 y 13 muestran los recursos involucrados en los procesos mencionados anteriormente. En el caso de la preparación de la superficie, tanto el martelinado como el picado muestran recursos similares a los que se mostraron para la perforación. Se requiere de un operario y un ayudante por cada

frente de trabajo que se quiera tener. Si bien es cierto los taladros TE-60 y TE-80 tienen la opción de demoler y no solo de perforar, en el cuadro 11 se muestra únicamente el TE-500 o TE-700 como equipo necesario, esto por cuanto según la HILTI no es recomendable utilizar los taladros durante tiempos largos seguidos en la función de demolición, de ahí que no se indiquen. En cuanto al accesorio para el picado tanto el cincel plano como la punta dan el acabado que el ingeniero estructural busca, por lo que cualquier puede ser utilizado; su uso va a depender principalmente de la disponibilidad y estado de los mismos.

En el caso de la descarga del concreto según el método que se utilice se muestran los recursos en el cuadro 12. La descarga directa es el método que menos recursos requiere; únicamente dos peones que lo que deben realizar es el manejo de las canoas y la limpieza de las mismas. El que sigue en cantidad de recursos es la bomba telescópica que requiere de dos peones en el sitio de colado para sostener y ubicar la manguera y un peón que ayude en la descarga del camión a la tolva de la bomba. El balde izado con grúa es el método que más recursos consume ya que se requiere una grúa con su operador respectivo, un operario y un peón que realicen la descarga del concreto en el balde, así como dos peones que ayuden a la descarga del concreto del camión al balde.

Si se analiza respecto al equipo necesario, se puede observar en el cuadro 12 que el método de balde izado con grúa es el que más necesita por cuanto requiere de una grúa, el balde y un vibrador para utilizar en la descarga del balde. Los métodos de descarga directa y bomba telescópica prácticamente lo único que requieren es de una pala para la limpieza de las canoas de los camiones de transporte de ahí que el equipo necesario sea poco.

Además del análisis de los recursos involucrados en la descarga del concreto; se analizaron lo que tienen que ver con las tareas de consolidación, acabado y curado del concreto. Los resultados se muestran en el cuadro 13. En el caso de la consolidación, todas las coladas del proyecto se realizan con al menos dos vibradores de ahí que se requiera un operario y un ayudante por cada uno de ellos. El acabado de igual forma se le asigna a dos operarios que con ayuda de dos peones van dando el acabado superficial antes de que se endurezca el concreto. En el caso del curado se utiliza ya sea un operario en

caso de que lo que se utilice sea la membrana o un ayudante en caso de que sea con agua de ahí que aparezcan las dos opciones en el cuadro.

El cuadro 14 muestra los resultados en la medición de los rendimientos en el martelinado de la superficie. Se obtuvieron tanto para la mano de obra como para el avance. El resultado es el promedio de 6 mediciones realizadas a distintas cuadrillas y en momentos distintos, todas ellas debidamente documentadas según los formularios utilizados. Como se mostró en el cuadro 11 la mano de obra está compuesta al mismo tiempo por un operario y un ayudante de ahí que aunque solo uno sea el que opere el equipo a la hora de considerar el rendimiento se considera el tiempo de los dos. Ambos trabajadores realizan el trabajo alternándose el uso del equipo para así poder descansar sin detener la actividad.

En el caso del picado los resultados se muestran en el cuadro 15, al igual que en el martelinado la mano de obra involucrada es la misma y el rendimiento se obtuvo a partir del promedio de la misma cantidad de mediciones. Como se puede observar el rendimiento en el picado es mayor que en el martelinado 2,7 versus 1,6 m<sup>2</sup>/h. Si se considera que la única diferencia en el diagrama de flujo que se mostró de las actividades, es el accesorio que se utiliza, se podría decir que la causa de que en el picado el rendimiento sea mayor sea debido a que el accesorio no se pasa sobre toda la superficie, sino que se hace en zonas puntuales, dejando algunas inalteradas, caso contrario al martelinado cuyo accesorio debe ser pasado sobre toda la superficie medida. Dicho de otra forma el área real de demolición es mayor en el martelinado de ahí que el rendimiento sea menor.

Otro aspecto importante respecto a estos dos procesos es el hecho de que en el picado los rendimientos van a depender de la cantidad de aplicaciones que hagamos del accesorio sobre el área estudiada, siendo esto muy variable de una medición a la otra. Este aspecto se debe a que no existe una definición ni una forma de cuantificar la cantidad de aplicaciones que se deben de hacer, quedando así esto a criterio del trabajador que este con el taladro. En el caso del martelinado el trabajo se puede cuantificar fácilmente debido a que la superficie una vez que se martelina su aspecto es diferente tanto en color como en rugosidad respecto al existente, de ahí que el área medida es efectivamente el área trabajada.

Tanto en el picado como en el martelinado, existen factores en común que se determinaron inciden sobre el rendimiento. Los resultados de su afectación se muestran en el cuadro 16 y aplican igual para ambos. El primero de ellos se denomina equipo inadecuado y aplica en los casos que se utiliza un equipo diferente al TE-500 para realizar los trabajos, este factor se debe a la diferencia de peso que existe entre los equipos, el TE-500 es el más liviano por lo que se le facilita mucho el manejo del mismo al trabajador, de ahí que su rendimiento sea mayor; la afectación de usar un equipo más pesado es un rendimiento del 40% respecto al indicado en los cuadros 14 y 15.

El otro factor que incide es el usar el equipo en posición vertical hacia arriba, esto al igual que el caso de las perforaciones, la incomodidad para el trabajador, así como la fuerza que se debe de aplicar para sostener el equipo son la causa de que el rendimiento sea del 70% del indicado en los mismos cuadros.

Respecto a los rendimientos medidos para la descarga del concreto, los resultados de muestran en el cuadro 17. Se obtuvieron resultados según el elemento colado y método utilizado en el mismo. Dicha clasificación se hizo para no generalizar el rendimiento según únicamente el método de descarga ya que como se puede observar el elemento juega un papel importante en el rendimiento obtenido.

En el caso de elementos más masivos como las placas o las sustituciones se realizaron coladas con una y dos bombas simultáneamente, así como por descarga directa. Los resultados indican que con dos bombas se descarga casi el doble del concreto que con una bomba en el mismo tiempo. En el caso de la descarga directa el rendimiento es 5,6 m<sup>3</sup>/h más bajo que con una bomba telescópica. Dichos resultados tienen una relación lógica si se analiza desde el punto de vista de procedimiento de colocación. En el caso de las dos bombas la ventaja radica en poder descargar dos camiones al mismo tiempo, sin embargo para poder realizar este método se debe tener el campo suficiente para poder ubicar los camiones así como una adecuada planificación que permita llevar a cabo un ciclo eficiente en la llegada de los camiones de descarga, además debe existir la disponibilidad por parte de la concretera para disponer de los equipos en ese momento, de ahí que no se puede utilizar en toda colada. Respecto a la descarga directa, la necesidad de instalarle al camión las canoas

adicionales, así como el manejo de las mismas hace que se dure más descargando el camión y que por tanto el rendimiento sea menor.

Viendo los resultados en el elemento de columnas se puede comparar el rendimiento de la bomba versus el balde izado con grúa. En este caso el rendimiento con la bomba es de casi el doble respecto al del balde. La razón de esto está en el tiempo que se requiere para hacer la manipulación del balde por parte de la grúa, así como el hecho de que para descargar el camión de transporte se requiere de varios ciclos de carga y descarga del balde lo que hace que no sea tan continua la colocación como cuando se realiza con la bomba.

Analizando los rendimientos de la bomba telescópica en diferentes elementos se puede observar como el menor rendimiento con bomba se obtiene en las pantallas de los bastiones y en las columnas. Esto se debe a que en estos elementos se da una mayor maniobrabilidad por parte del brazo de la bomba ya que constantemente se debe estar desplazando. Sumado a esto, la concentración de acero de refuerzo en estos elementos es mayor, provocando así que el vibrado sea más lento, además se debe considerar que estos elementos por lo general son mayores en altura lo que implica una velocidad de colado lenta para un mejor manejo de las presiones por parte de las formaletas utilizadas.

Las figuras 23, 24, 25 y 26 muestran lo que corresponde a la hoja de cálculo que se formuló para el almacenamiento y procesamiento de los datos recolectados en campo durante la descarga del concreto. La figura 23 muestra la página principal de la hoja, en ella la idea es introducir los datos básicos de la colada realizada como lo son los responsables, la fecha, el control de calidad y registro fotográfico.

En figura 24 se muestra la hija en la cual se deben de introducir los datos anotados en campo. Se utiliza el mismo formato y orden del formulario utilizado para recolectar la información. De esta forma una vez que se introducen los datos, la hoja automáticamente calcula los tiempos de interés para la obtención de los datos.

Las figuras 25 y 26 muestran la forma en la que la hoja da los resultados. En este caso es de interés observar la cantidad de metros colocados, el total de viajes realizados, el rendimiento de colocación obtenido. Además muestra un gráfico en el cual se observa el

tiempo que tarda el camión en llegar al proyecto desde que sale de la planta; en dicho gráfico se puede ubicar las horas en las cuales la densidad del tránsito hace más lenta la llegada de los camiones, con esto se puede planear de una mejor forma las horas de las coladas con el objetivo de que los camiones puedan llegar en un tiempo menor al proyecto.

El segundo gráfico lo que pretende mostrar es el tiempo que se tarda en el proyecto para llevar a cabo la descarga de un camión. Este tiempo va a depender del elemento que se esté colando y del método que se esté utilizando para la descarga, entre otros. Con el promedio de los datos se le puede indicar a la concretera cada cuanto tiempo se quiere que llegue el camión al sitio, con ello se logran disminuir tiempos de espera por parte del camión o de los trabajadores, además de que se permite una colocación continua de concreto como se recomienda.

Por último, el tercer gráfico lo que pretende mostrar es el tiempo que transcurre en el concreto desde que este es despachado en la planta hasta que se termina de descargar en el proyecto. Esto permite tener un control sobre posibles concretos con inicios de fraguado que vayan a afectar la calidad de la estructura. El CR-2010 indica los tiempos máximos que puede tener un concreto desde que se mezcla hasta que se coloca, el mismo va a depender del tipo de concreto que se utilice de ahí que no exista un único tiempo.

Como se observa, dicha hoja de cálculo sirve para realizar un análisis de la colada, sus resultados sirven para planear futuras coladas y disminuir problemas con la calidad de la misma. Además permite crear un historial de las diferentes coladas del proyecto que puede ser consultado en cualquier momento para cualquier información de interés al respecto.

# Conclusiones

## Acero de refuerzo

- El proceso de instalación de acero de refuerzo se inicia con una planificación del orden de colocación a seguir para evitar la interferencia entre aceros.
- Se realiza primero la colocación del acero inyectado con epóxico y luego el resto del acero amarrado.

## Perforación

- Los rendimientos de perforación obtenidos van desde 27 cm/min para la #4, hasta 9 cm/min para la #10.
- Los principales factores que afectan el rendimiento de la perforación son el uso del accesorio de extensión y acople, y la perforación en posición vertical hacia arriba.
- Con el uso del accesorio de extensión y acople el rendimiento es el 60% del determinado en condiciones normales.
- La perforación en posición vertical hacia arriba tiene un rendimiento del 80% del determinado en condiciones normales.
- No se logró encontrar rendimientos de referencia con los cuales poder comparar el resultado.
- La hoja de cálculo realizada sirve para mantener registrados los tiempos de perforación de la empresa, con los cuales se pueden estimar duraciones para futuros proyectos.
- Los rendimientos obtenidos no contemplan los tiempos muertos que se dan en todas las cuadrillas.

## Inyección

- La cantidad de trabajadores necesarios para llevar a cabo la inyección va a depender del peso de la barra, su longitud y la posición donde esta vaya colocada.
- El consumo de epóxico se incrementa con forme aumenta el diámetro de la varilla, habiendo un salto mayor de la #9 en adelante.
- Se determinaron consumos en el rango de los 1.05 cm<sup>3</sup>/cm para la #4, a los 1.96 cm<sup>3</sup>/cm para la #8. En el caso de la #9 y #10, los rendimientos fueron de 4.06 y 4.45 cm<sup>3</sup>/cm respectivamente.
- Según el desperdicio medido y su clasificación correspondiente, de la #4 a la #7 la calidad del trabajo es normal; de la #8 a la #10 la calidad es óptima.
- Cuando se procede a introducir las varillas mediante golpes, el hecho de que se expulse epóxico no necesariamente obedece a volumen extra inyectado, de ahí que la barra no quede recubierta con la cantidad de epóxico adecuada.
- La hoja de cálculo realizada sirve para llevar un control en la calidad de los trabajos de inyección, además permite con base a los rendimientos obtenidos en campo hacer estimaciones de cantidad de epóxico necesario para futuros trabajos a realizar.

# Concreto

## Limpieza y preparación de superficie

- La única diferencia en recursos respecto del martelinado y el picado es el accesorio Hilti que se utiliza.
- Los equipos aptos para realizar estos trabajos de forma ininterrumpida son el TE-500 y TE-700.
- El rendimiento determinado en el caso del martelinado es de 1,6 m<sup>2</sup>/h.
- El rendimiento en el caso del picado fue de 2,7 m<sup>2</sup>/h.
- Los factores que afectan estos rendimientos obtenidos son el uso de un equipo diferente al TE-500 y el uso del equipo en posición vertical hacia arriba. El primero de ellos da un rendimiento del 40% respecto al normal y el segundo un 70%.
- La densidad de demolición durante el picado es variable en todos los casos. No existe un patrón definido.
- Los rendimientos de descarga menores se dan en elementos como columnas y pantallas de bastión.
- Para la consolidación del concreto por cada vibrador que se utilice, se debe tener un operario y un ayudante.
- En el curado del concreto, cuando se hace con membrana de curado se utiliza un operario y cuando se hace con agua se utiliza un ayudante.
- La hoja de cálculo realizada permite llevar un registro de la información más importante de la colada, además sirve para planificar futuras coladas.
- En la hoja de cálculo se obtiene el tiempo que pasa en el concreto desde que se mezcla hasta que se coloca. Este sirve para control de calidad.
- El gráfico de tiempo de recorrido de los camiones permite ver cuáles son las horas en las cuales las condiciones vehiculares de la carretera afectan más el transporte del concreto.

## Colocación de concreto

- En cuanto a recursos necesarios en mano de obra y equipo, el método de descarga que menos necesita es la descarga directa, seguido de la bomba telescópica y por último el balde izado con grúa.
- Sin importar el elemento a colar, el método que mayor rendimiento permite es mediante la bomba telescópica, seguido de la descarga directa y por último el balde izado con grúa.
- En placas o elementos masivos, el uso de dos bombas telescópicas permite tener un rendimiento de casi el doble del que se obtiene con una.

# Recomendaciones

Como parte de las observaciones y anotaciones que se realizaron durante la práctica profesional, se procede a realizar una serie de recomendaciones con el objetivo de mejorar la calidad y la productividad de los procesos constructivos estudiados.

## Perforación

- Se debe implementar un protocolo o procedimiento tal que antes de iniciar a perforar el encargado deba revisar y aprobar el diámetro de la broca que se va a utilizar, así como asegurarse de que marquen en la broca la profundidad correcta de perforación. Esto para evitar consumos extras de epóxico.
- En las zonas donde existan altas concentraciones de acero existente y quede poco espacio para la perforación, se recomienda realizar una ventana de demolición en la cual se pueda observar el acero existente y por tanto se pueda ubicar correctamente la perforación a realizar de manera tal que el primer intento de perforación sea efectivo.
- En todas las perforaciones el trabajador que no esté operando el taladro debe guiar al otro de tal forma que en todo momento la perforación se realice lo más recta posible.
- Se recomienda que en la medida de lo posible se adapten los andamios y sitios de trabajo para que las perforaciones queden a la altura del pecho del trabajador y así este tenga más control sobre el equipo, así como mayor comodidad.

- Se recomienda comprar brocas en diferentes longitudes de forma tal que se eviten en la medida de lo posible el uso de extensiones o brocas excesivamente largas que complican el proceso de perforación.
- Se debe pedir a la empresa SUPERBA charlas de capacitación en campo para que los trabajadores conozcan las características y las funciones de los equipos, así como el mantenimiento que se les debe dar.
- Se debe implementar junto con el personal de la empresa SUPERBA un programa de mantenimiento preventivo del equipo, para evitar la falla de los mismos en momentos importantes de uso.
- Se debe implementar un programa de evaluación en campo que permita llevar el registro de los tiempos de diferentes cuadrillas y así poder aumentar la población de datos con los cuales poder hacer un análisis estadístico de los rendimientos de perforación, así como de los factores que los afectan.

## Inyección

- Se recomienda que antes de llevar a cabo el proceso de inyección, se esmerilen todas las puntas de las barras que se van a inyectar para así se lleve a cabo más fácil la instalación.
- Todas las perforaciones deben de ser limpiadas mediante el aire del compresor, por lo que se debe de asegurar se realice

este trabajo antes de llevar a cabo la colocación del epóxico.

- Se debe monitorear en campo el consumo de epóxico que se está dando, compararlo con el esperado y corregir inmediatamente cualquier variación entre ellos, de tal forma que no hayan desperdicios mayores o consumos menores al mínimo.
- Se recomienda indicar a los trabajadores según la cantidad y el diámetro de las barras a inyectar, la cantidad de inyecciones esperadas por cada cartucho a utilizar.
- Las pistolas de inyección deben ser limpiadas antes de que los restos de epóxico se sequen, además se deben almacenar sin cartuchos abiertos instalados en la misma. Estos últimos en caso de que no se vayan a utilizar pronto, deben ser desechados.
- Para estimar el consumo de epóxico en futuros trabajos, se recomienda utilizar los rendimientos obtenidos en campos siempre y cuando el desperdicio considerado no sea menor del 10%.

## **Limpieza y preparación de la superficie**

- Para estos trabajos se recomienda utilizar únicamente el equipo TE-500, por lo que se debe considerar la compra de más unidades de este equipo.
- Siendo el picado una actividad cuyo rendimiento depende de la cantidad de aplicaciones que haga el operario o el ayudante, se recomienda en la medida de lo posible utilizar siempre a las mismas personas en esta actividad para así disminuir un poco la variabilidad.
- La limpieza y preparación de la superficie debe ser llevada a cabo antes de realizar el cierre con la formaleta. Se debe asegurar limpiar el área de colado antes de colocar la formaleta. Se puede

continuar con la demolición hasta que se termine de colar.

## **Colocación de concreto**

- Antes de decidir que método de descarga del concreto utilizar, se deben analizar las condiciones del sitio, preferiblemente por los operadores de los equipos utilizados como camiones, bombas u grúas según corresponda al método. Hacer caso a sus sugerencias y facilitarles lo necesario.
- Es recomendable realizar todas las chorreas en horarios de la mañana para evitar complicaciones en caso de lluvias.
- Se recomienda con base a las fechas programadas de coladas, establecer un protocolo de preparación en el cual se asegure con anticipación el estado de los vibradores, balde u otros equipos involucrados.
- Es conveniente realizar una comparación de costos entre los métodos de bomba telescópica y balde izado con grúa para determinar si realmente el último es más barato que el primero.
- Cuando se tiene un único camino de acceso al sitio de colado es recomendable que haya una persona equipada con radio a la entrada del proyecto y que coordine con quien está en sitio de colada, la entrada de los camiones de forma tal que no se topen y se tenga que devolver uno de los dos.
- En elementos masivos de concreto donde se tenga que colocar una cantidad grande de concreto, se debe evaluar la posibilidad de utilizar dos bombas telescópicas para disminuir así el tiempo de chorrea. Para esto debe haber una buena coordinación entre la concretera y los encargados del proyecto.

# Apéndices

## Perforaciones

| DATOS DE CAMPO PARA LAS PERFORACIONES |          |         |          |                  |
|---------------------------------------|----------|---------|----------|------------------|
| BARRA                                 | MEDICIÓN | TIEMPO  |          | PROFUNDIDAD (cm) |
|                                       |          | MINUTOS | SEGUNDOS |                  |
| 4                                     | 1        | 0       | 47       | 20               |
|                                       | 2        | 0       | 41       | 20               |
|                                       | 3        | 0       | 43       | 20               |
|                                       | 4        | 0       | 41       | 20               |
|                                       | 5        | 0       | 46       | 20               |
|                                       | 6        | 0       | 45       | 20               |
|                                       | 7        | 0       | 57       | 20               |
|                                       | 8        | 0       | 43       | 20               |
|                                       | 9        | 0       | 40       | 20               |
|                                       | 10       | 0       | 43       | 20               |
|                                       | 11       | 0       | 52       | 20               |
|                                       | 12       | 0       | 45       | 20               |
| 5                                     | 1        | 0       | 36       | 15               |
|                                       | 2        | 0       | 42       | 15               |
|                                       | 3        | 0       | 36       | 15               |
|                                       | 4        | 0       | 31       | 15               |
|                                       | 5        | 0       | 54       | 15               |
|                                       | 6        | 0       | 42       | 15               |
|                                       | 7        | 0       | 43       | 15               |
|                                       | 8        | 0       | 34       | 15               |
|                                       | 9        | 0       | 31       | 15               |
|                                       | 10       | 0       | 44       | 15               |
|                                       | 11       | 0       | 39       | 15               |
|                                       | 12       | 0       | 41       | 15               |
|                                       | 13       | 0       | 35       | 15               |
|                                       | 14       | 0       | 32       | 15               |
|                                       | 15       | 0       | 34       | 15               |
|                                       | 16       | 0       | 45       | 15               |
| 17                                    | 0        | 32      | 15       |                  |
| 18                                    | 0        | 30      | 15       |                  |

|    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|
|    | 19 | 0  | 45 | 15 |
|    | 20 | 0  | 38 | 15 |
|    | 21 | 0  | 50 | 15 |
|    | 22 | 0  | 37 | 15 |
|    | 23 | 0  | 52 | 15 |
|    | 24 | 0  | 37 | 15 |
|    | 25 | 0  | 35 | 15 |
|    | 26 | 0  | 43 | 15 |
|    | 27 | 0  | 36 | 15 |
|    | 28 | 1  | 4  | 30 |
|    | 29 | 1  | 10 | 30 |
|    | 30 | 1  | 4  | 30 |
|    | 31 | 1  | 16 | 30 |
|    | 32 | 1  | 6  | 30 |
|    | 33 | 1  | 10 | 30 |
|    | 34 | 1  | 10 | 30 |
|    | 35 | 1  | 26 | 30 |
|    | 36 | 1  | 22 | 30 |
|    | 37 | 1  | 16 | 30 |
|    | 38 | 1  | 12 | 30 |
| 39 | 1  | 24 | 30 |    |
| 6  | 1  | 2  | 20 | 45 |
|    | 2  | 2  | 5  | 45 |
|    | 3  | 2  | 10 | 45 |
|    | 4  | 2  | 15 | 45 |
|    | 5  | 2  | 19 | 45 |
|    | 6  | 2  | 30 | 45 |
|    | 7  | 3  | 25 | 45 |
|    | 8  | 2  | 15 | 45 |
|    | 9  | 2  | 10 | 45 |
|    | 10 | 2  | 25 | 45 |
|    | 11 | 2  | 30 | 45 |
|    | 12 | 2  | 42 | 45 |
|    | 13 | 2  | 12 | 45 |
|    | 14 | 2  | 13 | 45 |
|    | 15 | 2  | 15 | 45 |
|    | 16 | 3  | 8  | 45 |
|    | 17 | 2  | 29 | 45 |
|    | 18 | 2  | 18 | 45 |
|    | 19 | 2  | 2  | 45 |
|    | 20 | 3  | 13 | 45 |
|    | 21 | 2  | 45 | 45 |
|    | 22 | 1  | 50 | 45 |
|    | 23 | 2  | 17 | 45 |
|    | 24 | 2  | 25 | 45 |
| 7  | 1  | 2  | 25 | 42 |
|    | 2  | 2  | 40 | 42 |
|    | 3  | 3  | 0  | 42 |
|    | 4  | 2  | 55 | 42 |

|    |    |   |    |    |
|----|----|---|----|----|
|    | 5  | 2 | 15 | 42 |
|    | 6  | 2 | 38 | 42 |
|    | 7  | 2 | 43 | 42 |
|    | 8  | 2 | 48 | 42 |
|    | 9  | 3 | 5  | 42 |
|    | 10 | 2 | 54 | 42 |
|    | 11 | 2 | 52 | 42 |
|    | 12 | 2 | 38 | 42 |
| 8  | 1  | 5 | 5  | 70 |
|    | 2  | 4 | 23 | 70 |
|    | 3  | 4 | 36 | 70 |
|    | 4  | 7 | 20 | 70 |
|    | 5  | 4 | 58 | 70 |
|    | 6  | 4 | 32 | 70 |
|    | 7  | 4 | 40 | 70 |
|    | 8  | 4 | 52 | 70 |
|    | 9  | 4 | 42 | 70 |
|    | 10 | 4 | 32 | 70 |
|    | 11 | 5 | 2  | 70 |
|    | 12 | 4 | 37 | 70 |
| 9  | 1  | 5 | 48 | 75 |
|    | 2  | 6 | 10 | 75 |
|    | 3  | 5 | 51 | 75 |
|    | 4  | 7 | 1  | 75 |
|    | 5  | 5 | 15 | 75 |
|    | 6  | 6 | 5  | 75 |
|    | 7  | 5 | 41 | 75 |
|    | 8  | 6 | 15 | 75 |
|    | 9  | 5 | 47 | 75 |
|    | 10 | 5 | 38 | 75 |
|    | 11 | 5 | 56 | 75 |
|    | 12 | 5 | 55 | 75 |
| 10 | 1  | 4 | 51 | 44 |
|    | 2  | 4 | 7  | 44 |
|    | 3  | 6 | 39 | 44 |
|    | 4  | 4 | 31 | 44 |
|    | 5  | 3 | 56 | 44 |
|    | 6  | 4 | 2  | 44 |
|    | 7  | 5 | 13 | 44 |

| <b>DATOS DE CAMPO PARA LAS PERFORACIONES CON EXTENSIÓN</b> |          |         |          |                  |
|--|----------|---------|----------|------------------|
| BARRA  | MEDICIÓN | TIEMPO  |          | PROFUNDIDAD (cm) |
|  |          | MINUTOS | SEGUNDOS |                  |
| 10   | 1        | 13      | 46       | 70               |
|  | 2        | 10      | 8        | 70               |
|  | 3        | 12      | 55       | 70               |
|  | 4        | 11      | 15       | 70               |
|  | 5        | 12      | 54       | 70               |
|  | 6        | 12      | 49       | 70               |
|  | 7        | 13      | 20       | 70               |
|  | 8        | 13      | 7        | 70               |

| <b>DATOS DE CAMPO PARA LAS PERFORACIONES EN POSICIÓN VERTICAL</b> |          |         |          |                  |
|---|----------|---------|----------|------------------|
| BARRA   | MEDICIÓN | TIEMPO  |          | PROFUNDIDAD (cm) |
|   |          | MINUTOS | SEGUNDOS |                  |
| 8   | 1        | 3       | 50       | 42               |
|   | 2        | 4       | 0        | 42               |
|   | 3        | 3       | 35       | 42               |
|   | 4        | 3       | 52       | 42               |
|   | 5        | 3       | 45       | 42               |
|   | 6        | 4       | 15       | 42               |
|   | 7        | 4       | 3        | 42               |
|   | 8        | 3       | 42       | 42               |
|   | 9        | 3       | 35       | 42               |
|   | 10       | 4       | 48       | 42               |
|   | 11       | 3       | 37       | 42               |
|   | 12       | 3       | 35       | 42               |

# Inyección

| DATOS DE CAMPO PARA CONSUMO DE EPÓXICO EN INYECCIONES |               |                          |          |                  |
|---|---------------|--------------------------|----------|------------------|
| BARRA   | # DE CARTUCHO | VOLUMEN DE CARTUCHO (ml) | CANTIDAD | PROFUNDIDAD (cm) |
| 4   | 1             | 500                      | 13.5     | 30               |
|   | 2             | 500                      | 14.5     | 30               |
|   | 3             | 500                      | 28       | 15               |
| 5   | 1             | 500                      | 11       | 30               |
| 6   | 1             | 500                      | 9        | 30               |
|   | 2             | 500                      | 10       | 30               |
|   | 3             | 500                      | 9        | 30               |
|   | 4             | 500                      | 8.5      | 30               |
|   | 5             | 500                      | 9        | 30               |
| 7   | 1             | 500                      | 5.5      | 45               |
|   | 2             | 500                      | 5        | 45               |
|   | 3             | 500                      | 6        | 45               |
|   | 4             | 500                      | 5        | 45               |
|   | 5             | 500                      | 5.5      | 45               |
|   | 6             | 500                      | 5        | 45               |
|   | 7             | 500                      | 6        | 45               |
| 8   | 1             | 500                      | 3        | 70               |
|   | 2             | 500                      | 4        | 70               |
|   | 3             | 500                      | 3        | 70               |
|   | 4             | 500                      | 3        | 70               |
|   | 5             | 500                      | 3        | 70               |
|   | 6             | 500                      | 3        | 70               |
|   | 7             | 500                      | 4        | 70               |
|   | 8             | 500                      | 3        | 70               |
| 9   | 1             | 500                      | 1.5      | 70               |
|   | 2             | 500                      | 1.5      | 70               |
|   | 3             | 500                      | 1.5      | 70               |
|   | 4             | 500                      | 1.5      | 70               |
|   | 5             | 500                      | 2        | 70               |
|   | 6             | 500                      | 1.5      | 70               |
|   | 7             | 500                      | 1.5      | 70               |
|   | 8             | 500                      | 1.5      | 70               |
| 10  | 1             | 500                      | 1.5      | 70               |
|   | 2             | 500                      | 1.5      | 70               |
|   | 3             | 500                      | 2        | 42               |
|   | 4             | 500                      | 2        | 42               |
|   | 5             | 500                      | 2.5      | 42               |
|   | 6             | 500                      | 2.5      | 42               |

# Concreto

| RENDIMIENTOS OBTENIDOS EN LAS COLADAS ANALIZADAS |                      |                    |
|--|----------------------|--------------------|
| ELEMENTO   | MÉTODO DE COLOCACIÓN | RENDIMIENTO (m3/h) |
| PLACA FUNDACIÓN                                  | 2 BOMBAS             | 44,7               |
|  | 2 BOMBAS             | 49,1               |
|  | BOMBA                | 25,3               |
|  | BOMBA                | 14,4               |
|  | BOMBA                | 27,8               |
|  | DIRECTA              | 17,9               |
| VIGA DE AMARRE                                   | BOMBA                | 7,7                |
|  | BOMBA                | 8,8                |
|  | BOMBA                | 15,1               |
| COLUMNAS   | BOMBA                | 9,3                |
|  | BOMBA                | 6,8                |
|  | BALDE                | 4,8                |
|  | BALDE                | 4,0                |
|  | BALDE                | 3,9                |
|  | BALDE                | 5,6                |
|  | BALDE                | 4,9                |
|  | BALDE                | 5,3                |
|  | BALDE                | 5,0                |
|  | BALDE                | 4,4                |
|  | BALDE                | 4,3                |
| PANTALLA   | BOMBA                | 4,7                |
|  | BOMBA                | 9,6                |
|  | BOMBA                | 5,2                |
| VIGA INTERMEDIA                                  | BOMBA                | 12,5               |
|  | BOMBA                | 13,8               |
| SUSTITUCION                                      | BOMBA                | 27,4               |
|  | BOMBA                | 23,1               |
|  | BOMBA                | 23,0               |

# Referencias

Comite ACI 311. 1992. **Manual para Supervisar Obras de Concreto**. México: Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto.

HILTI. 2013. **Catálogo de productos y servicios 2013**. Estados Unidos

Leandro, A. 2013. **Notas del curso Diseño de Procesos Constructivos**, impartido en el primer semestre del 2013. Escuela de Ingeniería en Construcción. Tecnológico de Costa Rica.

MOPT. 2010. **Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes**. Costa Rica: MOPT.

Neville, A; Brooks, J. 2010. **Tecnología del Concreto**. México: Trillas.

