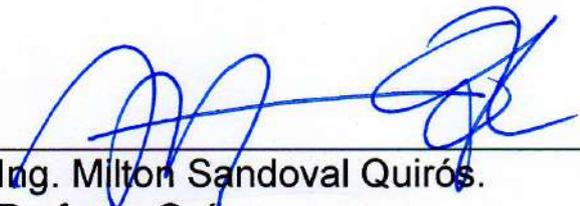


CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

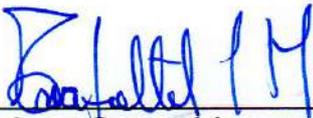
Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Gustavo Rojas Moya, Ing. Milton Sandoval Quirós, Ing. Ana Grettel Leandro Hernández, Ing. Manuel Alán Zúñiga, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



Ing. Gustavo Rojas Moya.
Director



Ing. Milton Sandoval Quirós.
Profesor Guía



Ing. Ana Grettel Leandro Hernández
Profesora Lectora



Ing. Manuel Alán Zúñiga.
Profesor Observador

Determinación de rendimientos y productividad en la construcción de pilotes pre excavados de concreto en el proyecto de Circunvalación Norte (Etapa IV).

Abstract

The construction of pre-excavated piles in Costa Rica has become a very frequent solution in recent years, due to the need to have deep foundations in soils with little support capacity, capable of transmitting large loads to the ground.

This report was based on the determination of yields for the pre-excavated pile process, which was subdivided into 3, drilling, reinforcement and concrete placement. Additionally, a quantitative productivity analysis was carried out using 3 methods of productivity measurement, work sampling, five minute rating and crew balance, applied to the 3 subprocesses mentioned above. A qualitative productivity analysis was also carried out on the pile construction process, to determine global causes that affected productivity with a ishikawa diagram.

Obtained yields related to the 3 subprocesses of piles, as well as yields of materials such as steel and concrete for 251 piles, as well as the correlation of drilling yields with the geotechnical profile of the project. Finally, the productivity that was obtained for the construction of piles was presented, which allows having a reference of yields and productivity for the construction of piles built on site.

Key words: Pre- excavated piles, yields, productivity, work sampling, five-minute rating, crew balance.

Resumen

La construcción de pilotes pre excavados en Costa Rica, se ha vuelto una solución muy frecuente en los últimos años, debido a la necesidad de tener cimentaciones profundas en suelos con poca capacidad de soporte, capaces de transmitir grandes cargas al terreno.

Este informe se basa en la determinación de rendimientos para el proceso de pilotes pre excavados, el cual se subdividió en tres etapas: perforación, colocación de armadura y de concreto. Adicionalmente se realizó un análisis de productividad mediante tres métodos de medición, *work sampling*, *five minute rating* y *crew balance*, aplicados a los tres subprocessos mencionados anteriormente. También se realizó un análisis de productividad cualitativa al proceso de construcción de pilotes, para determinar causas a nivel global, que afectaban la productividad con un diagrama de Ishikawa.

Se obtuvieron rendimientos relacionados a los tres subprocessos de pilotes, así como rendimientos de materiales como el acero y el concreto para 251 pilotes, así como la correlación de los rendimientos de perforación con el perfil geotécnico del proyecto. Finalmente se presenta la productividad que se obtuvo para la construcción de pilotes, lo cual permite tener una referencia de rendimientos y productividad para la construcción de pilotes colados en sitio.

Palabras clave: Pilotes pre excavados, rendimientos, productividad, *work sampling*, *five minute rating*, *crew balance*.

Determinación de rendimientos y productividad en la construcción de pilotes pre excavados de concreto en el proyecto de Circunvalación Norte (Etapa IV).

GERSON PORRAS GONZÁLEZ

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

Junio del 2019

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

1

Prefacio.....	1
Resumen ejecutivo	2
Introducción	4
Marco teórico	5
Metodología.....	9
Resultados.....	12
Proceso constructivo de pilotes pre-excavados.	12
Composición de cuadrillas.....	14
Equipo y herramientas.....	14
Resultados de Rendimientos.....	19
Resultados de productividad.	24
Productividad cuantitativa.....	24
Productividad cualitativa.	37
Causas que afectan el proceso constructivo.....	37
Propuesta de mejoras a los subprocesos de pilotes.	38
Análisis de los resultados	40
Proceso constructivo de pilotes pre-excavados.	40
Composición de cuadrillas.....	41
Equipo y herramientas.....	41
Resultados de Rendimientos.....	42
Resultados de productividad.	47
Productividad cuantitativa.....	47
Productividad cualitativa.....	53
Propuesta de mejoras a los subprocesos de pilotes.	56
Conclusiones	59
Recomendaciones.....	60
Apéndices	61
Anexos.....	98
Referencias.....	107

Prefacio

El avance en la infraestructura vial de Costa Rica se ha vuelto una necesidad impostergable, debido a que, el avance en estas obras no ha ido de la mano con el desarrollo del país, en cuanto a crecimiento poblacional y flotilla vehicular. Esta situación ha sido una lucha constante para los últimos gobiernos, para poder compensar esa falta de infraestructura para los costarricenses. Con el propósito de satisfacer estas necesidades, ha encargado a empresas nacionales e internacionales la construcción de proyectos fundamentales para que el país avance hacia el desarrollo económico y social de la población.

El proyecto corredor de circunvalación norte ha sido una necesidad para el país desde hace décadas y finalmente, de la mano del consorcio de la empresa H. Solís y Estrella se construye, dejando a su paso, muchos beneficios. De esta manera se han podido ejecutar proyectos ambiciosos, novedosos, que terminan siendo de valiosa experiencia para el país, las empresas y los trabajadores de un proyecto tan multidisciplinario y beneficiosos como el de circunvalación norte.

En esta práctica, se realizó un esfuerzo, para sentar un precedente para la construcción de pilotes de gran diámetro, donde se describiera el proceso constructivo, los equipos y maquinaria requeridos, y el personal necesario, para tener referencias confiables y poder tener rendimientos de los subprocesos referentes a la construcción de pilotes pre excavados. Se toma en cuenta para ello, la perforación, la colocación de armadura y de concreto, de las cuales se encuentra poca información desarrollada en el país, pero que sirve para validar muchos datos obtenidos en este y otros proyectos que han podido ser documentados.

Sumado a lo expuesto, se realizó un análisis de la productividad en la ejecución de pilotes, desde un punto de vista cualitativo y cuantitativo, que pretende establecer referencias para los valores de productividad para la construcción de pilotes pre excavados, los cuales

podrán servir para próximos trabajos y servir como comparación de productividades obtenidas en otros proyectos con características similares.

Finalmente, es necesario agradecer a todas aquellas personas que hicieron posible la realización de esta práctica, como lo fue la empresa H. Solís, dirigida por el Señor Roberto Acosta, el cual abrió las puertas de su empresa para desarrollar esta práctica profesional, así como al Ingeniero Bernardo Jiménez, por su acompañamiento y a toda la cuadrilla de pilotes quienes ayudaron en todo lo que les fue posible. También, se hace extensivo un agradecimiento al Ingeniero Milton Sandoval, quien fue el profesor guía de este proyecto académico y que se mostró siempre atento a las necesidades referentes a dicho proyecto de graduación, así como la Ingeniera Ana Grettel Leandro, quien también apoyó con su experiencia y conocimiento para evacuar dudas referentes al proyecto. Y mi mayor agradecimiento a Dios, por mis padres, quienes en todo momento me brindaron su apoyo, su amor y su confianza para seguir a lo largo de los años y poder concluir con éxito este proceso de capacitación académica, permitiéndome concluir mis estudios como profesional.

Resumen ejecutivo

El proyecto de graduación descrito a continuación, responde al trabajo realizado para la empresa H. Solís, en la construcción del corredor vial de circunvalación norte, enfocado en el área de la construcción de pilotes. Los objetivos de este informe surgen para dar respuesta a una serie de estudios y análisis de datos que deseaba tener la empresa para conocer acerca de sus rendimientos y su productividad en la construcción de pilotes pre excavados. A raíz de esto, se establecen 5 objetivos, los cuales encerraban a grandes rasgos la información que se deseaba obtener de esta práctica.

Para efectos académicos y de posibles lectores interesados en la construcción de pilotes, se estableció como primer objetivo, determinar las cuadrillas necesarias para la construcción de pilotes colados en sitio, así como la maquinaria y las herramientas necesarias para desarrollar dicho proceso. El segundo objetivo se relacionó con el cálculo de rendimientos de la perforadora y su correlación con el perfil geotécnico suministrado por la empresa, así como la colocación de la armadura y del concreto. El tercer objetivo se relacionó con la determinación del consumo de concreto y acero de los pilotes, así como el factor de desperdicio del concreto. Finalmente, los objetivos cuatro y quinto, se relacionaron con el análisis de la productividad de las cuadrillas desde el punto de vista cuantitativo y cualitativo en los subprocesos de la construcción de pilotes, así como posibles causas de la baja productividad.

Para lograr todos los objetivos mencionados, fue necesario realizar una revisión bibliográfica, para conocer acerca de antecedentes, procedimientos y posibles trabajos relacionados con el que se deseaba desarrollar como práctica profesional, esto con el fin de tener parámetros de referencia que permitieron posteriormente, validar la información analizada, relacionándola con otra literatura desarrollada dentro y fuera del país. Inicialmente, para el primer objetivo, se visitó el proyecto en repetidas ocasiones, con la intención de poder tener un

panorama claro del proceso constructivo de pilotes, así como la composición de las cuadrillas, las herramientas utilizadas y el equipo necesario para esta labor constructiva.

Posteriormente, para el desarrollo del segundo y tercer objetivo, se coordinó con la empresa para recolectar los datos relacionados con los rendimientos que se deseaban obtener, debido a que existía información de un número importante de pilotes, almacenada por la empresa, se decidió utilizar dicha información en conjunto con los pilotes nuevos que se iban ejecutando a lo largo del proyecto, lo cual permitió analizar 36 pilas de 49, con un total de 251 pilotes, de 350 aproximadamente que se iba a ejecutar, lo cual permitió tener una muestra suficientemente amplia para tener información válida del proyecto estudiado.

Los pilotes son de 1 m a 1.2 m de diámetro y hasta 40 m de profundidad. A partir de esa base de datos, se ordenó y se clasificó la información brindada por la empresa para calcular los rendimientos y posteriormente realizar un análisis de los datos con estadística descriptiva, utilizando el nivel de confianza del 95 %, con ayuda de la herramienta de *Excel*, llamada análisis de datos, esto permitió resumir la gran cantidad de información obtenida y analizada referente a rendimientos, permitiendo tener datos promedios, desviaciones estándar e intervalos de confianza que facilitarían entender los resultados obtenidos.

Posteriormente, se realizó un análisis cuantitativo de la productividad, mediante el uso de tres técnicas, que permitieron ver de manera global el desempeño de la cuadrilla de pilotes en cada subproceso de perforación, colocación de armadura y de concreto, así como el porcentaje de trabajo realizado por cada trabajador y equipo, lo cual se entendía mejor conociendo para cada trabajador en qué actividades invertía su tiempo de trabajo. Lo anterior hace referencia a las técnicas de work sampling, five minute rating y crew balance respectivamente, para las cuales se grabaron 24 muestras de 30 minutos cada una, lo cual correspondían 8 al proceso de perforación, 8 al proceso de colocación de armadura y 8 a la colocación del concreto, videos de los cuales se tomaron como base para aplicar las técnicas de productividad cuantitativa, antes mencionadas, permitiendo realizar 480 observaciones para cada trabajador de manera independiente, en cada subproceso de construcción de pilotes.

² Determinación de rendimientos y productividad en la construcción de pilotes pre excavados de concreto en el proyecto de Circunvalación Norte (Etapa IV).

Para el análisis cualitativo, lo que se desarrolló fue un diagrama de Ishikawa, que resumía en cuatro grandes grupos, las principales causas que se observaron a lo largo del desarrollo del proyecto, que al final, unido con los resultados de productividad cuantitativa, permitieron desarrollar una propuesta para mejorar algunos aspectos importantes que afectaban la productividad del proceso de construcción de pilotes, colados en sitio, lo cual se reforzó con listas de verificación muy elementales, que buscaban mejorar a corto plazo, algunas causas de baja productividad.

Al final del proyecto se logró determinar los trabajadores necesarios en H. Solís para la construcción de pilotes, así como la maquinaria y las herramientas, que permitieron documentar el proceso constructivo de pilotes en general. Además, se lograron obtener los rendimientos propuestos como objetivos, de los cuales, algunos se pudieron comparar con otros datos obtenidos en una tesis similar de Bolaños Chaves, H. (2012), lo cual permitió documentar y analizar los rendimientos obtenidos para la empresa en el proyecto de circunvalación norte en lo referente a construcción de pilotes y realizar una correlación de los rendimientos de perforación(ml/h) con el perfil geotécnico del sitio.

Sumado a esto, se obtuvieron los resultados de productividad para los tres subprocesos, de los cuales se determinó que el proceso de colado de concreto fue el menos productivo de los tres procesos, seguido del proceso de perforación y de la colocación de la armadura, donde los resultados de los tres procesos fueron de productividades bajas según Botero, (2002). Además, con los diferentes métodos aplicados, se explicó a qué se debían principalmente los resultados obtenidos en la productividad y sumado a las causas de baja productividad determinadas de manera cualitativa, se abarcó en forma extensa, la productividad del proceso de construcción de pilotes pre excavados en sitio.

³ Determinación de rendimientos y productividad en la construcción de pilotes pre excavados de concreto en el proyecto de Circunvalación Norte (Etapa IV).

Introducción

La empresa H Solís, remonta sus inicios a los años 1964, cuando comienza como empresa constructora, fundada por Hernán Solís, dando sus primeros pasos en obras de infraestructura vial. Posteriormente se consolida como una de las empresas de mayor éxito en el país, con proyectos de mucha importancia en infraestructura vial, así como aeropuertos (Aeropuerto de Liberia, 1990) construcción de muelles como el de Moín, en 1996, construcción de proyectos para la generación de energía eléctrica e inmobiliaria. Es así como después de 55 años, logra que se le adjudique la construcción de uno de los proyectos más ambiciosos y necesarios para del país, la construcción del corredor vial de circunvalación norte, el cual requería la construcción de puentes, carreteras, intersecciones a desnivel de hasta tres niveles (las primeras en construirse en el país con tres niveles) así como un viaducto de 3.3 km aproximadamente, lo cual resume a grandes rasgos, el nivel de complejidad del proyecto.

Para el desarrollo del proyecto de circunvalación norte, se requería la construcción de pilotes de gran diámetro (de 1 a 1.2 m) y profundidades de hasta 40 metros. En Costa Rica, la construcción de pilotes de gran diámetro es una práctica cada vez más necesaria en los proyectos de infraestructura, los cuales requieren la claridad y planificación de los procesos constructivos, así como de los insumos de equipo, mano de obra y materiales para realizar este tipo de obra. Sin embargo, en el país es escasa la información relacionada con este tema ya que no hay muchos proyectos que hayan utilizado la construcción de pilotes, además de información relevante como los rendimientos y la productividad de los procesos.

Para este proyecto, se establecieron los siguientes objetivos:

- 1) Describir los procesos constructivos requeridos para la construcción de pilotes pre excavados.
- 2) Determinar los rendimientos de la perforación (ml/h) (y correlacionarlos con el perfil geotécnico), colocación de armadura (ml/h) y colocación del concreto (ml/h).
- 3) Determinar el consumo de materiales de acero (kg/ml) y concreto (m³/ml) así como el factor de desperdicio del concreto.
- 4) Determinar la productividad del proceso de pilotes basado en los métodos de work sampling, five minute rating y crew balance.
- 5) Determinar las causas de baja productividad del proceso de pilotes.

Un aspecto importante que sienta un precedente, es la falta de información relacionada con la determinación de la productividad cualitativa y cuantitativa del proceso de pilotes pre excavados de gran diámetro, ya que de este tema en específico, no se logró encontrar información que permitiera tener referencia de la productividad de dicho proceso en otros proyectos, por lo que se utilizaron algunos parámetros establecidos para la construcción en general, como los de (Botero Botero & Álvarez Villa, 2004), descritos en el marco teórico.

Marco teórico

Pilotes pre excavados y colados en sitio.

Los pilotes pre excavados y colados en sitio son un tipo de cimentación profunda, que permite realizar construcciones en sitios donde la capacidad de soporte del terreno no es buena o no es suficiente para las solicitaciones de carga que transmiten ciertas edificaciones o infraestructuras al suelo. En estos casos es muy importante buscar una alternativa que redistribuya la forma en la que se puedan disipar dichas cargas y que permitan garantizar la estabilidad de la estructura, evitando asentamientos no deseados o que comprometan la condición estructural de la construcción. Es en estos casos donde el uso de pilotes se convierte en una solución muy apropiada, ya que permite transmitir y disipar las cargas de manera más efectiva.

Los pilotes son elementos que trabajan principalmente a compresión, aunque algunas veces también a flexión. Los mismos pueden trabajar por fuste (fricción), que es cuando se le da una longitud de diseño al pilote debido a que no se llega a un estrato rocoso o estable que le permita transferir las cargas, sino que las mismas se transfieren por la fricción generada entre el suelo y el pilote, o por punta que es cuando se lleva el elemento hasta una profundidad donde hay un estrato rocoso o algún suelo firme que permita transmitir las cargas. Las cimentaciones superficiales están condicionadas a la capacidad portante del suelo y a los costos asociados de los volúmenes de concreto que resulten en su construcción. Cuando los costos son muy altos o la capacidad de carga del suelo superficial es muy baja, puede resultar más adecuado el diseño y construcción de pilotes, para lograr llevar las cargas a un estrato más resistente del suelo. (Montoya Vallecilla, 2018)

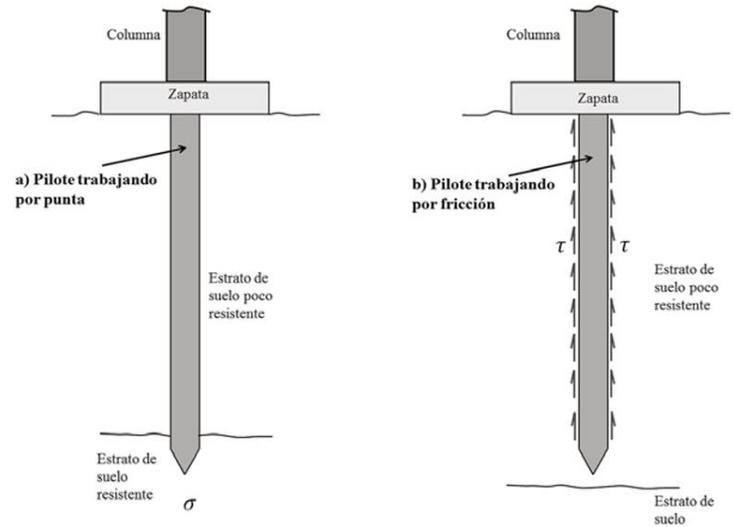


Figura 1. Descripción de pilote trabajando por punta y por fricción. Fuente: (Montoya Vallecilla, 2018).

Existen diferentes tipos de pilotes, como los barrenados, armados, prefabricados, hincados y vaciados *in situ*. En este caso, es de interés los pilotes vaciados *in situ*, por lo que se define a continuación. Según (Montoya Vallecilla, 2018), se tiene la siguiente información para pilotes vaciados *in situ*:

“Los pilotes *in situ* son excavados, armados y vaciados en el sitio de localización. Los mismos presentan algunas ventajas y desventajas. Las siguientes son algunas ventajas de estos pilotes:

- Los pilotes pueden adecuarse al terreno.
- No tienen límite de longitud, más allá de los procedimientos de excavación.
- Al perforar, se puede verificar la calidad del terreno.
- Se puede seleccionar una gran variedad de diámetros.
- Los refuerzos se adecuan a esfuerzos de servicio.
- Puede ensancharse la base, si se desea, para el trabajo por punta.

Las siguientes son algunas desventajas de los pilotes *in situ*:

- Producen descompresión del terreno.
- Su proceso es lento y produce suciedad en la obra.

- No hay certeza del acabado final del pilote (riesgo de cortes, lavado del concreto y estrechamiento de la sección, contaminación del concreto, recubrimiento defectuoso, flotación del refuerzo).”

Los pilotes se pueden clasificar según su diámetro de la siguiente manera:

Clasificación	Tamaño
Gran diámetro	Mayor de 100 cm
Ordinarios	Entre 35 y 100 cm
Pequeño diámetro	Entre 30 y 35 cm
Micro pilotes	Menores de 30 cm

Figura 2. Clasificación de los pilotes de acuerdo con su diámetro. Fuente: (Montoya Vallecilla, 2018).

Rendimientos y productividad.

En el campo de la construcción, la definición de rendimiento está relacionada con la cantidad de tiempo que requiere un trabajador, cuadrilla o maquinaria, para realizar una cantidad de obra determinada. Los rendimientos pueden verse afectados por diferentes factores como los que se mencionan a continuación (Botero,2000):

- Aspectos laborales: tener buenas condiciones laborales favorecen a un mejor desempeño de los trabajadores. Afecta el tipo de contrato, los incentivos otorgados, el salario ofrecido, así como el ambiente laboral con los demás trabajadores.
- Clima: en este factor se considera la afectación a la construcción y los trabajadores por la temperatura, el estado del tiempo y las condiciones del suelo, las cuales afectan el rendimiento cuando hay luvias de por medio.
- La actividad: cada proceso implica una serie de factores que afectan el rendimiento, como el grado de dificultad, el riesgo, el orden y aseo o discontinuidades en el proceso constructivo.
- Equipamiento: Tener a disposición las herramientas y el equipo

necesario, así como el adecuado mantenimiento y oportuno suministro del equipamiento, favorecen un mejor rendimiento.

- Supervisión: El rendimiento debe ir de la mano con la supervisión para garantizar calidad, por lo que se requiere dar instrucciones claras, seguimiento y supervisión a los trabajadores, así como criterios de aceptación para el control de calidad.
- El trabajador: todos los trabajadores son distintos y se ven afectados por su situación personal, ritmo de trabajo, habilidad y experiencia.

Según Bolaños Chaves. (2012), en su proyecto de graduación obtuvo los siguientes resultados para el caso de los rendimientos del proceso de pilotes pre excavados de 1 metro de diámetro y 30 m de profundidad, con suelos como limos, arcillas y tobas similares a los del proyecto de circunvalación norte.

Cuadro 5.27. Valores estadísticos para datos de rendimiento de perforación en suelo

Rendimiento de perforación en suelo (ml/h)	
Media	4,06
Error típico	0,19
Mediana	4,16
Desviación estándar	1,10
Varianza de la muestra	1,21
Curtosis	-0,48
Rango	4,34
Mínimo	1,92
Máximo	6,27
Suma	133,95
Cuenta	33
Nivel de confianza (95.0%)	0,39

Figura 3. Resultados de rendimientos de perforación(ml/h). Bolaños Chaves, H. (2012)

Cuadro 5.34. Valores estadísticos para datos de colocación de armaduras

Valor estadístico	Resultado Obtenido
Media	53,24
Error típico	1,06
Mediana	55
Moda	55
Desviación estándar	7,60
Varianza de la muestra	57,82
Curtosis	-0,35
Coefficiente de asimetría	-0,19
Rango	35
Mínimo	35
Máximo	70
Suma	2715
Cuenta	51
Nivel de confianza (95.0%)	2,14

Figura 4. Resultados de colocación de armadura(min). Bolaños Chaves, H. (2012)

Cuadro 5.10. Valores estadísticos para datos de rendimiento de concreto.

Valor Estadístico	Resultado Obtenido m ³
Media	0,945
Error típico	0,006
Mediana	0,941
Moda	0,941
Desviación estándar	0,045
Varianza de la muestra	0,002
Curtosis	6,923
Coefficiente de asimetría	1,969
Rango	0,265
Mínimo	0,879
Máximo	1,144
Suma	48,189
Cuenta	51
Nivel de confianza (95,0%)	0,0128

Figura 5. Resultados de colocación de concreto(m³/ml). Bolaños Chaves, H. (2012)

Cuadro 5.15. Valores estadísticos para datos de sobreconsumo de concreto.

Valor estadístico	Resultado obtenido
Media	0,236
Error típico	0,006
Mediana	0,229
Moda	0,220
Desviación estándar	0,044
Varianza de la muestra	0,002
Curtosis	7,157
Coefficiente de asimetría	2,197
Rango	0,250
Mínimo	0,180
Máximo	0,430
Suma	12,059
Cuenta	51
Nivel de confianza (95,0%)	0,0123

Figura 6. Resultados de factor de desperdicio de concreto. Bolaños Chaves, H. (2012)

La productividad en la construcción está definida por la cantidad de trabajo que se realiza por unidad de tiempo, lo cual permite evaluar la eficiencia en porcentaje de los recursos y permite mejorar su gestión en la construcción.

Para la medición de productividad en la construcción, según Leandro, A. (2018), se puede implementar el uso de las siguientes técnicas de medición de productividad que permite obtener en porcentajes, la cantidad de trabajo realizado de la cuadrilla, para cada trabajador o maquinaria dependiendo del método utilizado:

Work Sampling: Para tener una medición total se requieren métodos de recolección de información continua, que permita evaluar todos los procesos constructivos que se deseen medir, sin embargo esto se vuelve muy costo y difícil de realizar en una construcción, por lo que el método de *Work Sampling* resulta ser más funcional, ya que permite realizar un

muestreo que permite hacer una aproximación muy eficiente de la productividad de los procesos constructivos y eventualmente, permite también tomar decisiones para la mejora de la productividad. Es necesario que la muestra seleccionada sea de un tamaño apropiado para que se pueda tener un nivel de confianza aceptable para el método.

Para aplicar de manera correcta el método, debe considerarse que un límite de confianza del 95 % es aceptable, así como un error de +5 % y una muestra mínima de 384 observaciones, según Leandro, A. (2018).

Este método permite evaluar el trabajo de la cuadrilla de la siguiente manera:

- Trabajo productivo: Se refiere a la labor que realiza la cuadrilla y contribuye directamente al proceso que se está evaluando. Por ejemplo, en la construcción de una pared, la pega de bloques es un trabajo productivo.
- Trabajo contributivo: Es cuando se realizan acciones complementarias al proceso constructivo, que aportan de manera indirecta al proceso que se está realizando. Por ejemplo, en la construcción de paredes, preparar la mezcla del mortero o traer los bloques al sitio es un trabajo contributivo.
- Trabajo no productivo: Se refiere a las acciones que no aportan trabajo al proceso constructivo de ninguna forma, se considera como trabajo improductivo. Por ejemplo, en la construcción de paredes de mampostería, hablar por teléfono, esperar, no hacer nada, son parte de trabajo no productivo.

La distribución en porcentajes de los trabajos antes mencionados, se divide de la siguiente manera según Botero & Álvares (2004).

Cuadro 1. Valores de productividad para trabajo productivo, contributivo y no productivo.

Categoría	T.P.	T.C	T.N.P	Observaciones
Óptimo	60 %	25 %	15 %	Estudio Chile 1995, muestra de 370 000m ²
Normal	55 %	25 %	20 %	Estudio Chile 1995, muestra de 370 000m ²

Fuente: (Botero & Álvarez, 2004)

Además, clasifica la eficiencia de la productividad de la siguiente manera:

Cuadro 2. Eficiencia de la productividad en la construcción.

Eficiencia en productividad	Rango (%)
Muy baja	10-40
Baja	41-60
Normal (Promedio)	61-80
Muy buena	81-90
Excelente	91-100

Fuente: (Botero,2002).

Five minute rating: es un método que permite evaluar a cada trabajador por separado, para poder estimar cuánto porcentaje de tiempo el trabajador se encuentra trabajando o no trabajando.

Según Hizen (2009), “Este método permite evaluar de forma rápida el nivel de productividad de un grupo de trabajadores que desempeña una tarea específica. Los resultados obtenidos son subjetivos; ya que dependen del criterio de cada observador. Sin embargo, son una base para establecer conclusiones.”

Crew balance: según Leandro, A. (2018), esta técnica permite evaluar a cada trabajador o maquinaria de manera independiente, y tiene la ventaja que permite conocer el porcentaje de tiempo que se invierte en las actividades más importantes que realiza cada trabajador o maquinaria, asociada al proceso constructivo. Es muy importante porque permite justificar en qué se invierte el tiempo y da un panorama más claro de las acciones que se deben mejorar en el proceso, para aumentar la productividad.

Según Leandro, A. (2018), la productividad cualitativa es otra forma de valorar la

productividad, la cual no se basa en un método numérico, sino, en evaluar la forma en que se está ejecutando un proceso, con el fin de determinar causas de baja productividad, considerando aspectos como el diseño de sitio, equipo y materiales, mano de obra y ubicación del proyecto.

Metodología

A continuación, se presenta la metodología que se utilizó en el desarrollo de esta práctica profesional dirigida, la cual se realizó con la empresa H. Solís, en el proyecto de construcción del corredor de Circunvalación Norte, en la Etapa IV, la cual se ubica en San José, en las cercanías de Calle Blancos.

Determinación de rendimientos.

Para el cálculo del rendimiento de la máquina pilotera, se inició con un acercamiento al proceso de perforado del hueco para colar posteriormente el pilote, por lo que primero se observó cómo se realizaba dicho proceso. Para la recolección de datos se consultó con el ingeniero si se llevaba algún control sobre este y otros procesos habitualmente en la empresa, y el Ingeniero Jiménez mencionó que sí se llevaba un control muy riguroso con lo que eran los tiempos de perforación, tiempos de colocación de armadura, volumen de concreto y cantidad de acero utilizados para cada pilote, lo cual permitió tener una muestra de los pilotes mucho mayor y que permitió analizar 251 pilotes en el proyecto de Circunvalación Norte, donde se construiría el viaducto, posteriormente.

La manera en la que se recolectó la información de las duraciones de la perforación se realizó con ayuda del maestro de obras. Se empezó a medir el tiempo desde que la máquina se ubicaba en el sitio para comenzar a perforar. Dentro de estos tiempos de perforación se consideraron también los tiempos de cambios de herramienta, así como cambio de dientes gastados y cualquier actividad necesaria para concluir la perforación del pilote.

Par el estudio geotécnico del proyecto, se coordinó con el ingeniero Bernardo Jiménez, encargado del área de geotecnia, quien facilitó un perfil geotécnico para realizar una correlación entre los rendimientos de perforación obtenidos en las pilas y las capas de suelo que se perforaron, lo cual permitió establecer, para cada pila analizada, el rendimiento de la perforación que se obtuvo, además de colocarse un color a

cada rendimiento para poder observar si se encontraba dentro de una desviación estándar, es decir, dentro de lo normal para este proyecto se utilizó el color amarillo, o si el rendimiento era muy bueno con verde o muy malo, con rojo.

Para la empresa es de interés generar rendimientos de acuerdo con el trabajo que se estaba realizando, ya que no contaban con ninguna información propia de los rendimientos que H. Solís tenía como empresa en este tipo de procesos constructivos. De esta forma, con la información recolectada a lo largo del proyecto desde su inicio, permitió hacer una base de datos donde se recolectó la siguiente información para cada pilote, en cada pila analizada.

PILA #	Pilote 1	Pilote 2	Pilote n
Diámetro (mm)			
Longitud Real Perforación(m)			
Longitud efectiva de pilote(m)			
Diferencia de longitud de perforación efectiva			
Area(m2)			
Volumen teórico de perforación(m3)			
Volumen teórico del concreto(m3)			
Volumen real concreto(m3)			
Expansión del concreto			
Tiempo de perforación(h)			
Rendimiento de perforación (ml/h)			
Tiempo de colocación de armadura(h)			
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)			
Tiempo de colado del concreto(h)			
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)			
Cantidad de acero (kg)			
Rendimiento de acero(kg/ml)			
Rendimiento de perforación (hPer/ml)			
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)			
Cantidad total de acero de pilotes(ton)			
Cantidad total de concreto de pilotes(m3)			
Rendimiento del concreto de pilotes(m3/ml)			

Cuadro 3. Formato de análisis de pilotes. Fuente: El Autor.

Microsoft Excel 2016.

El cuadro anterior fue el formato utilizado para organizar la información suministrada por la empresa relacionada con el proceso constructivo de pilotes, que además, permitió realizar el cálculo de los rendimientos de pilotes analizados.

Para el cálculo del rendimiento de la mano de obras, materiales y equipos utilizados

en la colocación de la armadura y el concreto, también se pudo recolectar información por parte de la empresa, con ayuda del maestro de obra o el ingeniero residente que permanecían en sitio y llevaban el control de todos los tiempos que duraba la colocación de la armadura y la colocación del concreto con los equipos y mano de obra que disponía la empresa para esa labor.

Para el caso de la colocación de armadura, se comenzaba a medir el tiempo desde el momento en que la grúa comenzaba a levantar el primer cuerpo de acero. Esta medición se mantenía hasta el momento en que todos los cuerpos de la armadura se encontraban debidamente empalmados, y las conexiones realizadas.

Con respecto a la colocación del concreto, el maestro de obras o el ingeniero residente, anotaba las horas en que iba llegando cada camión mezclador de concreto, así como el tiempo que duraba en verter todo el concreto que contenía, por lo que, para esta duración, se consideraba todo el tiempo que transcurría desde que el primer camión mezclador empezaba a verter el concreto, hasta que se terminara completamente la chorro. Es decir, que los tiempos en los que se quitaban tubos de la tubería que se usaba para verter el concreto por gravedad, también están incluidos en este tiempo de colocación de concreto, así como cambios de camiones mezcladores y todo lo necesario en dicho proceso, es decir los tiempos tomados son globales.

Determinación de consumo de materiales

Una vez que se tenían los datos del tiempo de perforación, de colocación de armadura y de colado, los cuales eran suministrados por la empresa, se coordinó con el ingeniero para conocer los pesos del acero y cantidad real de concreto utilizado, datos que se llevaban en conjunto con los tiempos de los subprocesos antes mencionados. Luego, con dicha información, se procedía a hacer uso del formato del cuadro 3, para administrar y analizar de manera individual cada pilote y posteriormente cada pila, donde se calculaban datos de mucha relevancia como desperdicios de concreto, rendimientos de perforado, colocación de armadura y colocación de concreto, así como la cantidad total de concreto y acero utilizado por pilote y por pila.

Análisis estadístico de los rendimientos.

Posteriormente, se generó una tabla que contenía los promedios por pila de los rendimientos obtenidos de equipo y materiales utilizados, para así poder comparar los promedios de cada pila, y poder tener un promedio general de la muestra analizada de rendimientos, cantidades de material, desperdicio de concreto y su rendimiento obtenido en campo con las cuadrillas que utilizaba habitualmente la empresa.

Para el caso del análisis estadístico de los datos, se utilizó una herramienta de *Excel* llamada análisis de datos, que permitió obtener datos de estadística descriptiva que evalúa todos los pilotes analizados y permite conocer valores como el promedio, la mediana, la desviación estándar, la varianza y otros que permiten validar la confiabilidad de los datos a un 95 % de confianza.

Determinación de productividad mediante *work sampling, five minute rating y crew balance.*

En conjunto con lo anterior, también se realizaron mediciones de productividad, utilizando diferentes métodos. Para determinar la productividad del proceso de pilotes se implementó el uso de tres técnicas: *Work Sampling* (W.S), *Five Minute rating* (F.M.R) y *Crew Balance* (C.B), las mismas se aplicaron a los tres subprocesos principales de pilotes. Para aplicar dichas técnicas fue necesario tomar videos de cada proceso que se iba a evaluar. En este caso se tomaron para la perforación, colocación de la armadura y colocación del concreto, que resume a grandes rasgos el proceso constructivo de pilotes pre excavados. Se decidió realizar ocho grabaciones distintas de media hora cada una, para cada proceso antes mencionado, lo cual permitió tener información de varios sectores del proyecto, incluidas la pila1, pila 34 y pila 40 a pila 44, que además permitieron considerar el trabajo realizado en varios puntos del proyecto.

Al final se obtuvieron 24 videos de 30 minutos cada uno, ocho para perforación, ocho para colocación de armadura y ocho para la colocación del concreto.

Para la medición de la producción general de la cuadrilla se implementó el método de *Work Sampling*, en el cual se evaluó en cuál

porcentaje de tiempo la cuadrilla estaba realizando trabajo productivo, no productivo, o trabajo contributivo, con ayuda de los videos tomados para cada uno de los procesos de la construcción de pilotes.

También se utilizó la técnica de *Five minute Rating*, la cual permitió evaluar la productividad de cada trabajador de manera independiente. Los lapsos de medición utilizados eran de 30 segundos y se realizaban 480 mediciones para tener un 95 % de confianza en los datos obtenidos.

Otra de las técnicas utilizadas para la medición de la productividad fue *Crew balance*, la cual permitió evaluar la productividad de cada trabajador, relacionando las diferentes labores que realizaba en campo.

Para todos los casos de cálculo de productividad, se realizaron observaciones cada 30 segundos, lo cual permitió obtener 60 observaciones por video, 480 observaciones en total ya que se tomaron ocho videos por proceso.

Para el análisis de los datos de productividad, se realizó un conteo de las observaciones obtenidas para determinar en porcentaje, el valor que correspondía para cada caso. Por ejemplo, para *work sampling*, se sumaba todas las observaciones donde los trabajadores realizaban trabajo productivo, contributivo y no productivo individualmente y se dividía entre el total de las observaciones. Esto se realizó de la misma manera para los siguientes métodos, considerando las variaciones propias de cada método.

Determinación de causas de baja productividad.

En relación con las causas que afectaban la productividad del proyecto, se estuvo observando todo el proceso constructivo por varias semanas para poder determinar dichas causas. También se complementó dicha información, consultándole de manera verbal a los diferentes trabajadores cuáles eran las posibles causas que afectaban la productividad en sus labores, entre ellos, ayudantes, operadores, maestro de obras e ingenieros, presentes en la obra.

Finalmente, se realizó un diagrama de Ishikawa para resumir, de manera global, las causas más importantes que afectaban la productividad en el proceso de pilotes, seguido

por una propuesta de mejora del proceso y listas de verificación realizadas para optimizar la productividad a corto plazo.

Resultados

Proceso constructivo de pilotes pre-excavados.

Actividades previas a la perforación.

- Estudios geotécnicos.
- Limpieza del terreno general.
- Movimiento de tierras con retroexcavadora/pala excavadora para crear acceso a pilotera.
- Ubicación de los pilotes con ayuda de topografía.



Figura 7. Colocación de las marcas para perforación con equipo de topografía. Fuente: El autor,2019.

Perforación a Rotación del pilote.

- Posicionamiento de la máquina pilotera.
- Selección de herramientas de perforación (Barrena con dientes, balde con dientes).
- Inicio de la perforación.
- Extracción de material con herramientas de perforación utilizadas.
- Recolección del material excavado con ayuda de la retroexcavadora.
- Medición de la profundidad deseada del pilote de forma manual y con los sensores de la máquina perforadora.
- Eventualmente, dependiendo del suelo y del desgaste de los dientes de las herramientas de corte, se deben realizar cambios de dichos dientes o de las herramientas de corte que mejor se adecuen al terreno.
- Una vez alcanzada la profundidad deseada, se realiza una limpieza con el balde limpiador cortador o balde limpiador.



Figura 8. Perforación con perforadora Soilmec SR-45. Fuente: El autor,2019.

Colocación de la armadura del pilote.

- Las armaduras llegan del taller en cuerpos de longitud variable, según se requieran para los pilotes.
- Se descargan los cuerpos de las armaduras del camión de transporte al suelo con ayuda de la grúa.
- Levantamiento del primer cuerpo de acero e introducción de este a la perforación previamente realizada.
- Colocación de tubos estructurales de 5 pulgadas y varillas #10 entre la armadura para evitar que la misma se vaya al fondo y poder montar el siguiente cuerpo.
- Levantamiento del segundo cuerpo, el cual debe traslaparse con el primer cuerpo para realizar los empalmes necesarios, así como las conexiones de los tubos galvanizados de dos pulgadas de diámetro que posteriormente sirven para realizar control de calidad con ensayos como *Cross Hole*.
- El proceso de empalme y conexión de tubos se realiza las veces necesarias, dependiendo de la profundidad del pilote.
- Una vez empalmada toda la armadura, se levanta completamente y se realiza una limpieza final de la perforación, que busca sacar el material que haya quedado, así como la mayor cantidad de agua, si es que existe.
- Se vuelve a introducir la armadura completa y previamente lavada la perforación.



Figura 9. Colocación de la armadura de acero con uso de grúa Tadano ATF60-03. Fuente: El autor, 2019.

Colado del concreto.

- De ser necesario, se realizan accesos para los camiones mezcladores de concreto, así como desagües por si existe agua dentro del pilote.
- Se debe esperar a que haya en campo al menos tres camiones mezcladores para garantizar que el colocado del concreto se ejecute de manera continua para evitar juntas frías.
- Con ayuda de la grúa, se debe armar la tubería que llega casi al fondo del pilote para colar el concreto. En las conexiones de los tubos se utiliza plástico adhesivo para evitar que se derrame ninguna parte del contenido del concreto en el recorrido, hasta el fondo del pilote.
- Colocación del balde y la rejilla en la tubería.
- Colocación del camión mezclador de concreto cerca del sitio de colado (una vez que se hayan tomado las muestras para las pruebas de laboratorio).
- Inicio del vertido del concreto en la tubería. Durante este paso se puede sacar y meter la tubería unos 40 cm para ayudar al concreto autocompactante a acomodarse más fácilmente.
- Durante la colocación del concreto es importante sacar aquellos grumos de

concreto que por algún motivo no se mezclaron de manera apropiada.

- Conforme aumenta la cantidad de concreto en el pilote, se puede ir sacando parte de la tubería, la cual tiene secciones principalmente de 3 m, aunque hay de 2 m y de 1 m.
- Una vez vaciado el primer camión mezclador, se debe colocar el siguiente de manera continua. Este proceso se repite las veces que sean necesarias para llenar la excavación de concreto.
- El proceso finaliza una vez que se haya llenado por completo de concreto la perforación del pilote.



Figura 10. Colocación del concreto con chompipa y tubería. Fuente: El autor 2019.

Composición de cuadrillas.

Cuadrilla de perforación:

- 1 máquina pilotera Soilmec SR-45.
- 1 operador de máquina pilotera.
- 1 ayudante de máquina pilotera.
- 1 retroexcavadora.
- 1 operador de retroexcavadora.
- 1 vagoneta.
- 1 operador de vagoneta.

Cuadrilla de colocación de armadura:

- 1 grúa.
- 1 operador de grúa.
- 1 ayudante.
- 4 armadores.¹

Cuadrilla de colocación de concreto:

- 1 grúa.
- 1 operador de grúa.
- 1 ayudante.
- 1 mezcladora de concreto de 8 m³.
- 1 chofer de camión mezclador de concreto.
- 3 ayudantes para la colocación del concreto.

Además, se requiere el uso permanente de una tanqueta de agua y su chofer para disminuir el polvo en la zona de trabajo.

Equipo y herramientas.

A continuación se presentan los equipos utilizados para la construcción de pilotes, así como las herramientas de corte necesarias.

Máquina pilotera SR-45: Corresponde a un equipo utilizado para realizar las excavaciones de los pilotes. En el proyecto de Circunvalación Norte, se utiliza una pilotera marca Soilmec SR-45, la cual pesa 42 toneladas y posee un torque de 185 kNm, con la cual se pueden realizar perforaciones de hasta 1.5m de diámetro y 61 m de profundidad con extensión del mástil. ("SR-45 | Soilmec S.p.A.", 2019)

¹ Los armadores son subcontratados.



Figura 11. Máquina pilotera Soilmec SR-45. Fuente: ("SR-45 | Soilmec S.p.A.", 2019).

A continuación, se presentan las herramientas de corte más comunes en el proyecto:



SR-100

BKH-85

Figura 12. Dientes de corte SR-100 y BKH-85. Fuente: El autor,2019.

Barrena o broca con dientes: Utilizada principalmente para iniciar la perforación, además funciona muy bien cuando los estratos de suelo son cohesivos y poco rocosos. Utiliza dientes SR-100. En el proyecto los diámetros más utilizados son de 1000 y 1200 mm.



Figura 13. Broca con dientes SR-100 de 1200mm de diámetro. Fuente: El autor,2019.

Cortador: Utilizado cuando existe algún estrato rocoso o un estrato que ofrece una resistencia al corte del suelo mayor. Utiliza dientes BKH-85, de mayor tamaño que los de la barrena o broca.



Figura 14. Cortador. Fuente: El autor,2019.

Balde Cortador limpiador: Utilizado para cortar y limpiar terreno al mismo tiempo. Utiliza dientes BKH-85.



Figura 15. Balde Cortador limpiador. Fuente: El autor,2019.

Balde limpiador: Se utiliza principalmente al final de las perforaciones para realizar la limpieza del fondo del pilote. No Posee dientes de corte.



Figura 16. Balde limpiador. Fuente: El autor,2019.

Base para encamisar: Se utiliza para montar el sistema de encamisado de pilotes, muy útil cuando hay estratos inestables que generan desprendimientos en la perforación.



Figura 17. Base para encamisar. Fuente: El autor, 2019.

Grúa Tadano Faun ATF 60-03: Equipo utilizado para el izado de elementos en las construcciones. Posee una capacidad de 60 toneladas, un motor Mercedes Benz de 6 cilindros, Diesel, además posee tracción 6x6 y suspensión hidroneumática con regulación de nivel. En la construcción de pilotes se utiliza principalmente para la colocación de los cuerpos de acero y la tubería para la colada de concreto.



Figura 18. Grúa Tadano ATF 60-03. Fuente: El autor, 2019.

Retroexcavadora CAT 416F2: Equipo utilizado en la construcción de pilotes para labores de recolección y movimiento de material generado al excavar los pilotes.



Figura 19. Retroexcavadora CAT 416F2. Fuente: ("Cat | Retroexcavadora Cargadora 416F2 | Caterpillar", 2019).

Vagoneta International 7600: Utilizada para el acarreo del material extraído de las perforaciones, así como herramientas de corte.



Figura 20. Vagoneta International 7600 año 2008. Fuente: El autor.

Tanqueta International 7600: Vagoneta equipada con tanque de agua para el riego de la zona de trabajo, de gran importancia debido a la cantidad de polvo en el lugar de trabajo.



Figura 21. Vagoneta Tanqueta International 7600 año 2008.

Fuente: El autor.

Concreteira Mack: Equipo utilizado para mezclar y transportar el concreto al sitio.



Figura 22. Concreteira utilizada en el proyecto. Fuente: El

autor.

Concreto autocompactante: Se refiere a un tipo de concreto el cual tiene la capacidad de compactarse con su propio peso, sin necesidad de utilizar equipos de vibración, lo cual mejora la eficiencia a la hora de la colocación del concreto y disminuye el costo en mano de obra. ("CEMEX México", 2019)

Resultados de Rendimientos.

En la siguiente sección, se muestran los resultados obtenidos para los rendimientos en la construcción de pilotes, así como el análisis estadístico de los datos recopilados.

Cuadro 4. Resultados de rendimientos obtenidos para la construcción de pilotes									
PILA	# Pilotes	Longitud promedio(m)	Rendimiento de equipo					Rendimiento de materiales	
			Rendimiento de perforación(ml/hperforadora)	Rendimiento Colocación de Armadura(ml/hgrúa)	Rendimiento Colocación de Concreto(ml/hgrúa)	Rendimiento de perforación(hperforadora ² /ml)	Rendimiento Colocación de Armadura(hgrúa ³ /ton)	Rendimiento de Acero (kg/ml)	Rendimiento de concreto(m3/ml)
3	6	38.32	10.219	14.444	32.013	0.124	0.312	102.725	1.183
4	5	36.64	11.432	12.296	29.487	0.097	0.332	103.770	1.165
6	6	39.98	8.028	11.146	30.961	0.130	0.449	74.232	0.984
7	6	39.18	12.168	10.351	30.525	0.090	0.371	89.851	0.863
8	6	38.07	9.147	11.800	30.678	0.113	0.504	84.537	0.863
9	6	32.00	10.538	12.500	27.013	0.101	0.651	63.375	0.875
10	5	33.38	9.252	13.728	30.614	0.117	0.585	63.871	0.890
13	6	30.00	9.727	21.038	25.614	0.109	0.472	85.133	0.872
14	6	28.00	10.554	16.158	32.565	0.098	0.399	87.500	0.821
15	6	33.18	10.818	20.564	31.695	0.095	0.431	83.717	0.856
16	6	32.00	8.584	19.554	24.010	0.119	0.515	82.313	0.904
17	6	29.15	14.047	15.642	33.859	0.072	0.463	89.439	0.843
21	6	40.30	11.195	16.931	36.811	0.097	0.356	79.854	0.835
22	6	31.47	11.881	14.524	36.835	0.088	0.352	79.836	0.895
23	6	31.17	15.728	13.160	36.834	0.065	0.347	80.599	0.893
24	6	31.37	15.974	10.007	49.131	0.064	0.267	80.087	0.821
25	6	25.07	12.894	13.191	54.464	0.079	0.359	52.103	0.818
26	6	25.10	10.884	19.326	44.068	0.112	0.442	52.033	0.803
27	5	22.96	13.533	15.370	40.051	0.077	0.194	168.730	0.845
28	4	23.58	16.247	20.620	57.283	0.063	0.114	165.202	0.758
29	6	24.63	11.310	26.125	47.897	0.098	0.140	157.981	0.832
30	4	25.60	10.357	13.878	52.675	0.113	0.126	151.984	0.850
32	6	24.16	7.602	13.536	23.752	0.157	0.389	116.159	0.990
34	10	20.43	5.513	14.300	31.152	0.208	0.316	118.865	0.930
35	7	20.24	6.235	12.301	31.511	0.173	0.293	118.834	0.995
36	10	21.07	12.938	16.407	37.376	0.099	0.310	97.919	0.921
37	12	21.21	8.793	16.793	36.089	0.119	0.421	78.244	0.904
38	9	20.24	8.273	18.952	36.435	0.139	0.386	75.337	0.900
40	16	22.25	8.187	16.799	42.719	0.136	0.283	84.078	0.944
41	14	24.34	9.407	16.570	41.295	0.145	0.260	98.373	0.948
42	6	25.50	12.617	12.748	38.510	0.089	0.263	99.418	0.935
43	6	26.88	12.521	11.757	56.975	0.082	0.194	94.299	0.887
44	6	33.65	13.554	14.115	47.021	0.075	0.176	123.094	0.892
47	8	31.74	7.212	13.712	37.731	0.184	0.227	123.058	0.902
48	8	30.66	7.680	12.562	39.208	0.145	0.026	134.604	0.934

² Horas-perforadora Soilmec SR-45.

³ Horas grúa.

49	8	30.74	4.790	12.266	35.264	0.227	0.319	99.140	0.960
----	---	-------	-------	--------	--------	-------	-------	--------	-------

Cuadro 5. Datos de estadística descriptiva realizados a los resultados de rendimientos de la construcción de pilotes

Descripción estadística	Rendimiento de maquinaria					Rendimiento de materiales	
	Rendimiento de perforación	Rendimiento Colocación de Armadura	Rendimiento Colocación de Concreto	Rendimiento de perforación	Rendimiento Colocación de Armadura	Rendimiento de Acero	Rendimiento de concreto
Media	10.551(ml/hperforadora)	15.144(ml/hgrúa)	37.503(ml/hgrúa)	0.1138(hperforadora/ml)	0.335(hgrúa/ton)	98.341(kg/ml)	0.903(m3/ml)
Error típico	0.471	0.584	1.485	0.007	0.022	4.918	0.014
Mediana	10.546(ml/hperforadora)	14.208(ml/hgrúa)	36.623(ml/hgrúa)	0.105(hperforadora/ml)	0.340(hgrúa/ton)	89.645(kg/ml)	0.892(m3/ml)
Desviación estándar	2.827(ml/hperforadora)	3.506(ml/hgrúa)	8.907(ml/hgrúa)	0.039(hperforadora/ml)	0.135(hgrúa/ton)	29.506(kg/ml)	0.086(m3/ml)
Varianza de la muestra	7.990	12.292	79.339	0.002	0.018	870.619	0.007
Curtosis	-0.329	1.337	-0.080	1.320	0.140	0.392	4.093
Coefficiente de asimetría	0.111	1.090	0.722	1.174	-0.010	0.891	1.675
Rango	11.457(ml/hperforadora)	16.118(ml/hgrúa)	33.531(ml/hgrúa)	0.164(hperforadora/ml)	0.624(hgrúa/ton)	116.697(kg/ml)	0.425(m3/ml)
Mínimo	4.790(ml/hperforadora)	10.007(ml/hgrúa)	23.752(ml/hgrúa)	0.063(hperforadora/ml)	0.026(hgrúa/ton)	52.033(kg/ml)	0.758(m3/ml)
Máximo	16.247(ml/hperforadora)	26.125(ml/hgrúa)	57.283(ml/hgrúa)	0.227(hperforadora/ml)	0.651(hgrúa/ton)	168.730(kg/ml)	1.183(m3/ml)
Suma	379.841(ml/hperforadora)	545.169	1350.124	4.098	12.046	3540.294	32.510
Cuenta	36 pilas	36 pilas	36 pilas	36 pilas	36 pilas	36 pilas	36 pilas
Nivel de confianza (95.0%)	0.956	1.186	3.014	0.013	0.046	9.983	0.029
Intervalo de confianza	(7.84 a 13.25) (ml/hperforadora)	(10.98 a 19.30) (ml/hgrúa)	(10.66 a 64.35(ml/hgrúa)	(0.1133-0.1144) (hperforadora/ml)	(0.3284 a 0.3408) (hgrúa/ton)	(196.23 a 392) (kg/ml)	(0.90 a 0.91) (m3/ml)

Cuadro 6. Resultados de diferencia con la perforación efectiva, desperdicio de concreto y cantidades de acero y concreto por pila.

PILA	# Pilotes	Longitud promedio(m)	Diferencia en perforación efectiva ⁴ (%)	Factor de desperdicio concreto ⁵ (%)	Total Acero (Ton)	Total Concreto(m3)
3	6	38.32	4.98 %	4.60 %	23.62	272.00
4	5	36.64	6.20 %	3.05 %	19.01	213.50
6	6	39.98	2.52 %	25.20 %	17.81	236.00
7	6	39.18	5.90 %	9.94 %	21.12	203.00
8	6	38.07	2.88 %	9.81 %	19.31	197.00
9	6	32.00	0.00 %	11.41 %	12.17	168.00
10	5	33.38	0.54 %	13.27 %	10.66	148.50
13	6	30.00	0.00 %	11.05 %	15.32	157.00
14	6	28.00	0.00 %	4.59 %	14.70	138.00
15	6	33.18	0.86 %	9.03 %	16.67	170.50
16	6	32.00	0.00 %	15.06 %	15.80	173.50
17	6	29.15	0.52 %	7.39 %	15.64	147.50
21	6	40.30	0.75 %	6.36 %	19.31	202.00
22	6	31.47	1.18 %	13.99 %	15.07	169.00
23	6	31.17	0.21 %	13.71 %	15.07	167.00
24	6	31.37	0.86 %	4.53 %	15.07	154.50
25	6	25.07	0.27 %	4.14 %	7.84	123.00
26	6	25.10	0.40 %	2.29 %	7.84	121.00
27	5	22.96	31.20 %	2.90 %	19.36	97.00
28	4	23.58	20.90 %	2.62 %	15.56	71.50
29	6	24.63	17.30 %	5.98 %	23.34	123.00
30	4	25.60	11.30 %	8.14 %	15.56	87.00
32	6	24.16	12.37 %	26.61 %	16.76	143.50
34	10	20.43	18.09 %	18.44 %	24.28	190.00
35	7	20.24	19.08 %	26.66 %	16.84	141.00
36	10	21.07	19.72 %	17.23 %	20.63	194.00
37	12	21.21	6.04 %	15.09 %	19.91	230.00
38	9	20.24	1.22 %	14.66 %	13.73	164.00
40	16	22.25	23.61 %	20.27 %	29.87	336.00
41	14	24.34	9.13 %	20.70 %	33.50	323.00
42	6	25.50	3.66 %	19.00 %	15.21	143.00
43	6	26.88	7.53 %	12.88 %	15.21	143.00
44	6	33.65	8.55 %	13.52 %	24.85	180.00
47	8	31.74	5.79 %	14.87 %	31.24	229.00
48	8	30.66	9.90 %	18.72 %	33.00	229.00
49	8	30.74	9.78 %	22.21 %	24.38	236.00

⁴ Diferencia entre la perforación real y la de diseño

⁵ Cantidad de concreto adicional en % en relación con el volumen teórico.

Cuadro 7. Datos estadísticos del cuadro anterior				
Descripción estadística	<i>Diferencia en perforación efectiva</i>	<i>Factor de desperdicio concreto</i>	<i>Total Acero (Ton)</i>	<i>Total Concreto(m3)</i>
Media	7.31 %	12.50 %	-	-
Error típico	0.01	0.01	-	-
Mediana	5.38 %	13.08 %	-	-
Moda	0	-	-	-
Desviación estándar	8.13 %	7.06 %	-	-
Varianza de la muestra	0.007	0.005	-	-
Curtosis	0.844	-0.739	-	-
Coficiente de asimetría	1.224	0.334	-	-
Rango	31.20 %	24.36 %	-	-
Mínimo	0.00 %	2.29 %	-	-
Máximo	31.20 %	26.66 %	-	-
Suma	2.63	4.50	675.242	6421
Cuenta	36 pilas	36 pilas	36 pilas	36 pilas
Nivel de confianza (95.0%)	2.75	2.3904	-	-

Resultados de la correlación de rendimientos de perforación y el modelo geotécnico.

A continuación, se presenta el modelo geotécnico suministrado por la empresa, con los resultados promedios de los rendimientos, así como una distinción de colores, dependiendo de qué tan buenos fueron los rendimientos obtenidos.

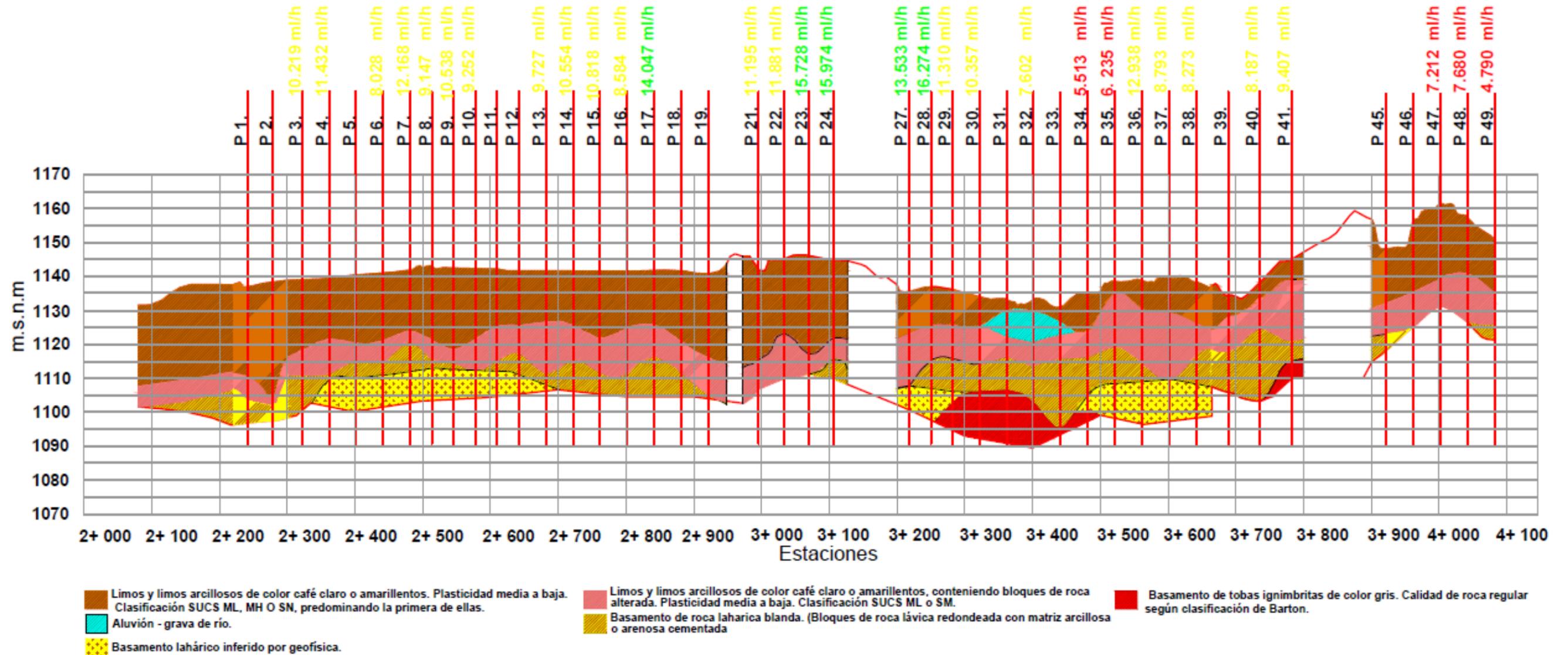


Figura 23. Correlación de los rendimientos de perforación respecto al perfil geotécnico del corredor vial "Circunvalación Norte". Fuente: Ing. Bernardo Jiménez, 2019. ⁶

⁶ La figura fue editada por el autor para colocar los rendimientos obtenidos.

Resultados de productividad.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para la productividad, evaluada con los métodos de *work sampling*, *five minute rating* y *crew balance*, en el proceso de construcción de pilotes pre-excavados *in situ*.

Productividad cuantitativa

Cuadro 8. Número de observaciones para cada proceso utilizando <i>Work Sampling</i>.				
Proceso	Productivo	Contributivo	No productivo	Total observaciones
Perforación	445	159	356	960
Armadura	1347	507	1026	2880
Concreto	1133	592	1155	2880

Cuadro 9. Resultados de las 480 observaciones por trabajador en cada cuadrilla, de acuerdo con cada proceso, según método de *Five Minute Rating*.

Descripción	Trabajando	No trabajando
Perforación		
Perforadora	461	19
Ayud. Perforadora	149	331
Colocación de armadura		
Grúa	430	50
Ayud.grúa	35	445
ayud.1	344	136
ayud.2	305	175
ayud.3	365	115
Colocación de concreto		
Camión mezclador	429	51
Grúa	408	72
Ayudante. Grúa	62	418
ayud.1	315	165
ayud.2	254	226
ayud.3	272	208

En el siguiente cuadro, se muestran los resultados de la eficiencia de la productividad, evaluada por medio de la técnica de *crew balance*, así como la forma en que se consideró el trabajo realizado por la cuadrilla.

Cuadro 10. Resultado de <i>Crew Balance</i> para la perforadora y tipificación de trabajo productivo, contributivo y no productivo.			
Equipo/trabajador	Observaciones	%	Tipo de trabajo
Perforadora			
Perforando	400	83.33	T.P ⁷
cambiando	51	10.63	T.C ⁸
detenido	20	4.17	T.N.P ⁹
Encamisando	9	1.88	T.C
TOTAL	480	100.00	
Ayudante perforadora			
nada	333	69.38	T.N.P
cambiando	51	10.63	T.P
trayendo	18	3.75	T.C
limpiando	36	7.50	T.C
ayudando	42	8.75	T.C
TOTAL	480	100.00	

⁷ Trabajo productivo.

⁸ Trabajo contributivo.

⁹ Trabajo no productivo.

Cuadro 11. Resultado de *Crew Balance* para la colocación de armadura y tipificación de trabajo productivo, contributivo y no productivo.

Equipo/trabajador	Observaciones	%	Tipo de trabajo	Equipo/trabajador	Observaciones	%	Tipo de trabajo
Grúa				Ayudante 2			
Recogiendo	20	4.17	T.C	armando	236	49.17	T.P
esperando	49	10.21	T.N.P	trayendo	11	2.29	T.C
Sosteniendo	411	85.63	T.P	ayudando	45	9.38	T.C
TOTAL	480	100.00		alistando	13	2.71	T.C
Ayudante. Grúa				nada	175	36.46	T.N.P
Ayudando	7	1.46	T.C	TOTAL	480	100.00	
Nada ¹⁰	446	92.92	T.N.P	Ayudante 3			
dirigiendo	8	1.67	T.P	armando	288	60.00	T.P
enganchando	19	3.96	T.P	trayendo	0	0.00	T.C
TOTAL	480	100.00		ayudando	42	8.75	T.C
Ayudante 1				alistando	10	2.08	T.C
armando	119	24.79	T.P	nada	140	29.17	T.N.P
trayendo	5	1.04	T.C	TOTAL	480	100.00	
ayudando	39	8.13	T.C	Ayudante 4			
alistando	174	36.25	T.C	armando	192	40.00	T.P
nada	143	29.79	T.N.P	trayendo	7	1.46	T.C
TOTAL	480	100.00		ayudando	41	8.54	T.C
				alistando	107	22.29	T.C
				nada	133	27.71	T.N.P
				TOTAL	480	100.00	

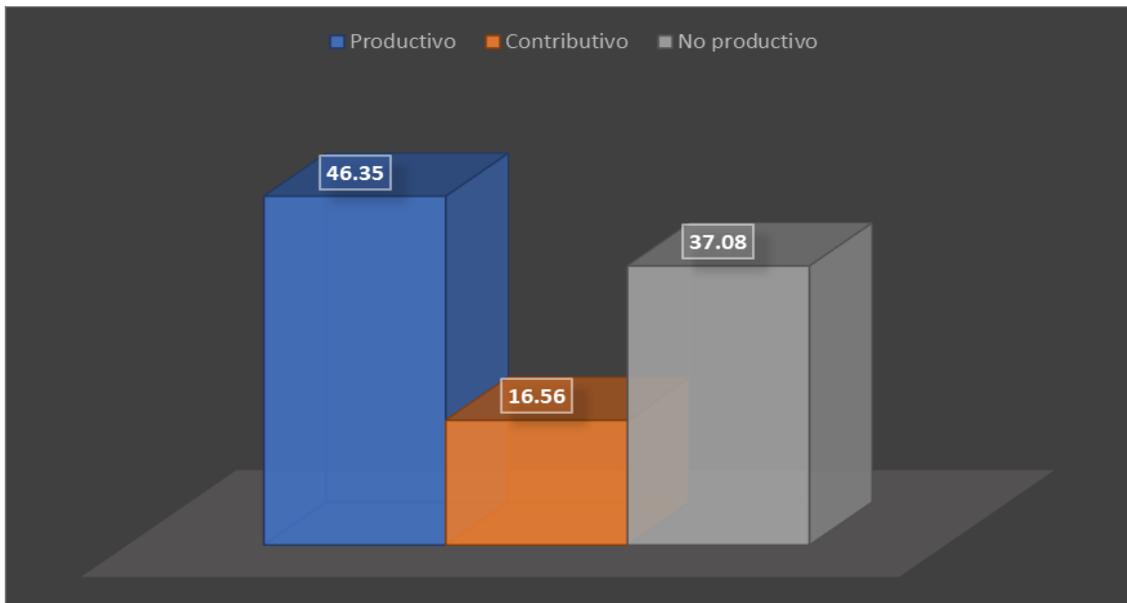
¹⁰ Equivale a tiempo de ocio.

Cuadro 12. Resultado de *Crew Balance* para la colocación de concreto y tipificación de trabajo productivo, contributivo y no productivo.

Equipo/trabajador	Observaciones	%	Tipo de trabajo	Equipo/trabajador	Observaciones	%	Tipo de trabajo
Chompipa				Ayudante 1			
Colando	250	52.08	T.P	Colando	200	41.67	T.P
esperando	56	11.67	T.N.P	esperando	26	5.42	T.N.P
cambiando	168	35.00	T.C	quitando	39	8.13	T.C
nada	6	1.25	T.N.P	nada	85	17.71	T.N.P
TOTAL	480	100.00		midiendo	30	6.25	T.C
Grúa				trayendo	16	3.33	T.C
Colando	250	52.08	T.P	ayudando	17	3.54	T.C
esperando	77	16.04	T.N.P	NP	60	12.50	T.N.P
quitando	151	31.46	T.C	dirigiendo	7	1.46	T.C
nada	2	0.42	T.N.P	TOTAL	480	100.00	
TOTAL	480	100.00		Ayudante 2			
Ayud. Grúa				Colando	161	33.54	T.P
Colando	17	3.54	T.P	esperando	18	3.75	T.N.P
trayendo	0	0.00	T.C	quitando	34	7.08	T.C
quitando	8	1.67	T.C	nada	105	21.88	T.N.P
midiendo	1	0.21	T.C	midiendo	26	5.42	T.C
nada	178	37.08	T.N.P	trayendo	1	0.21	T.C
ayudando	5	1.04	T.C	ayudando	12	2.50	T.C
NP	240	50.00	T.N.P	NP	120	25.00	T.N.P
dirigiendo	4	0.83	T.P	dirigiendo	3	0.63	T.C
mantenimiento	27	5.63	T.P	TOTAL	480	100.00	
TOTAL	480	100		Ayudante 3			
				Colando	35	7.29	T.P
				esperando	0	0.00	T.N.P
				quitando	61	12.71	T.C
				nada	238	49.58	T.N.P
				midiendo	2	0.42	T.C
				ayudando	7	1.46	T.C
				lavando	122	25.42	T.P
				encendiendo	15	3.13	T.C
				TOTAL	480	100.00	

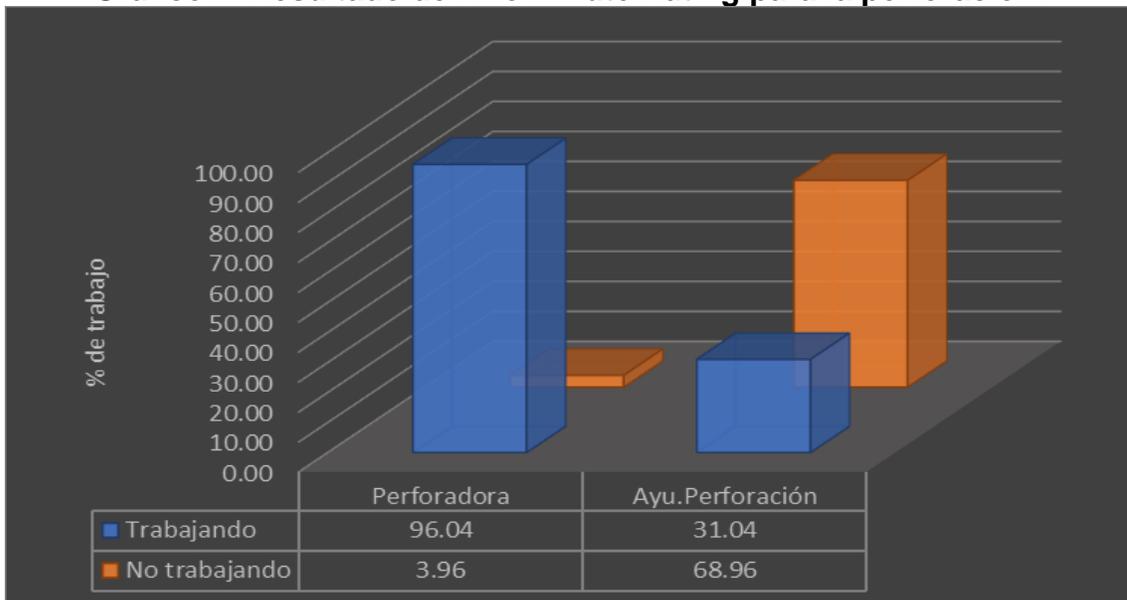
Resultados de productividad de la perforación.

Gráfico 1. Productividad de la perforación mediante *Work Sampling*.



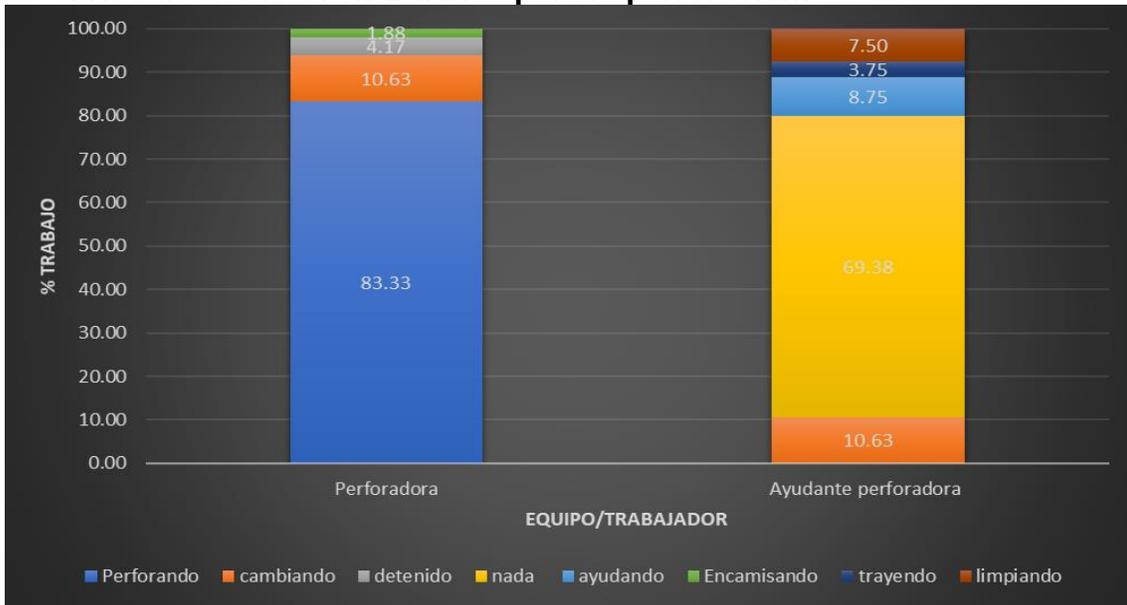
Fuente: El autor,2019. Excel 2016.

Gráfico 2. Resultado de Five Minute Rating para la perforación.



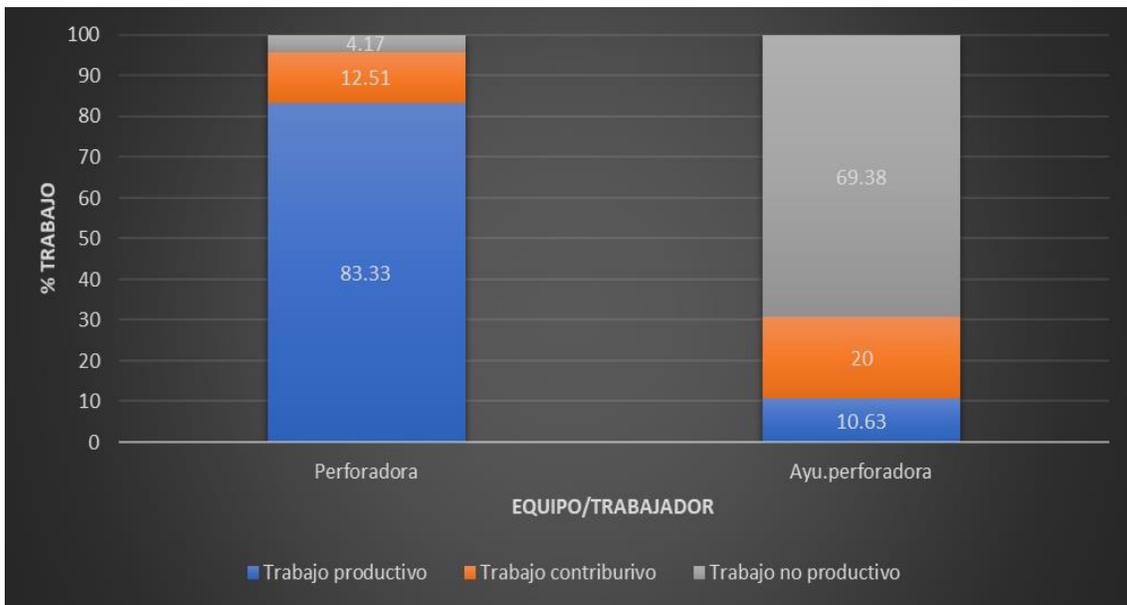
Fuente: El autor,2019. Excel 2016.

Gráfico 3. Resultado de Crew Balance para la perforación.



Fuente: El autor,2019. Excel 2016.

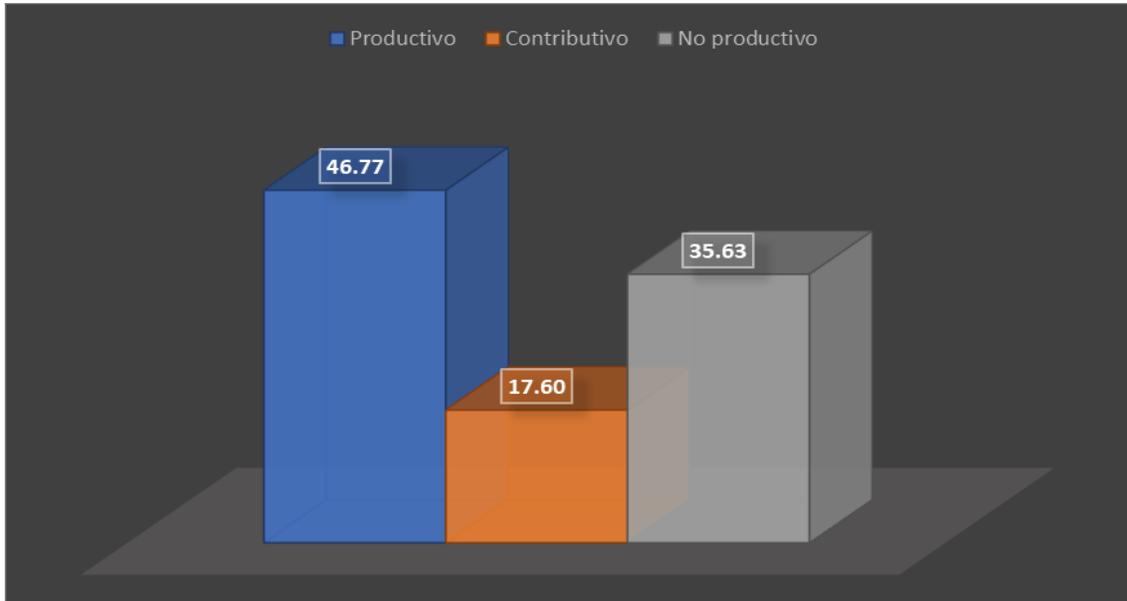
Gráfico 4. Trabajo productivo, contributivo y no productivo para cada trabajador y equipo de perforación.



Fuente: El autor,2019. Excel 2016.

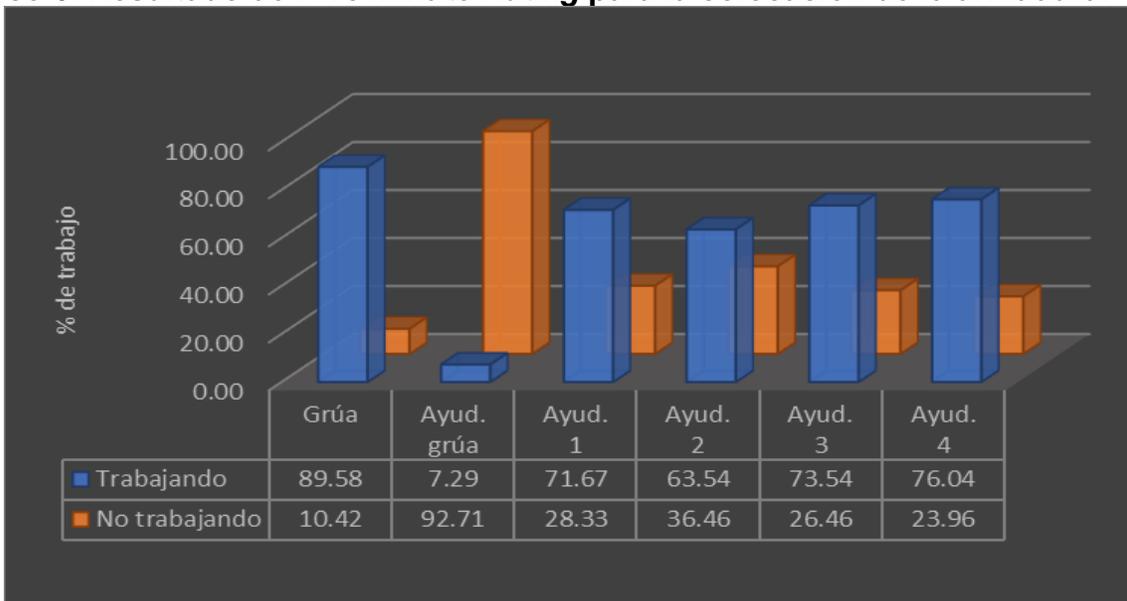
Resultados de productividad de la colocación de armadura.

Gráfico 5. Productividad de la colocación de la armadura mediante *Work Sampling*.



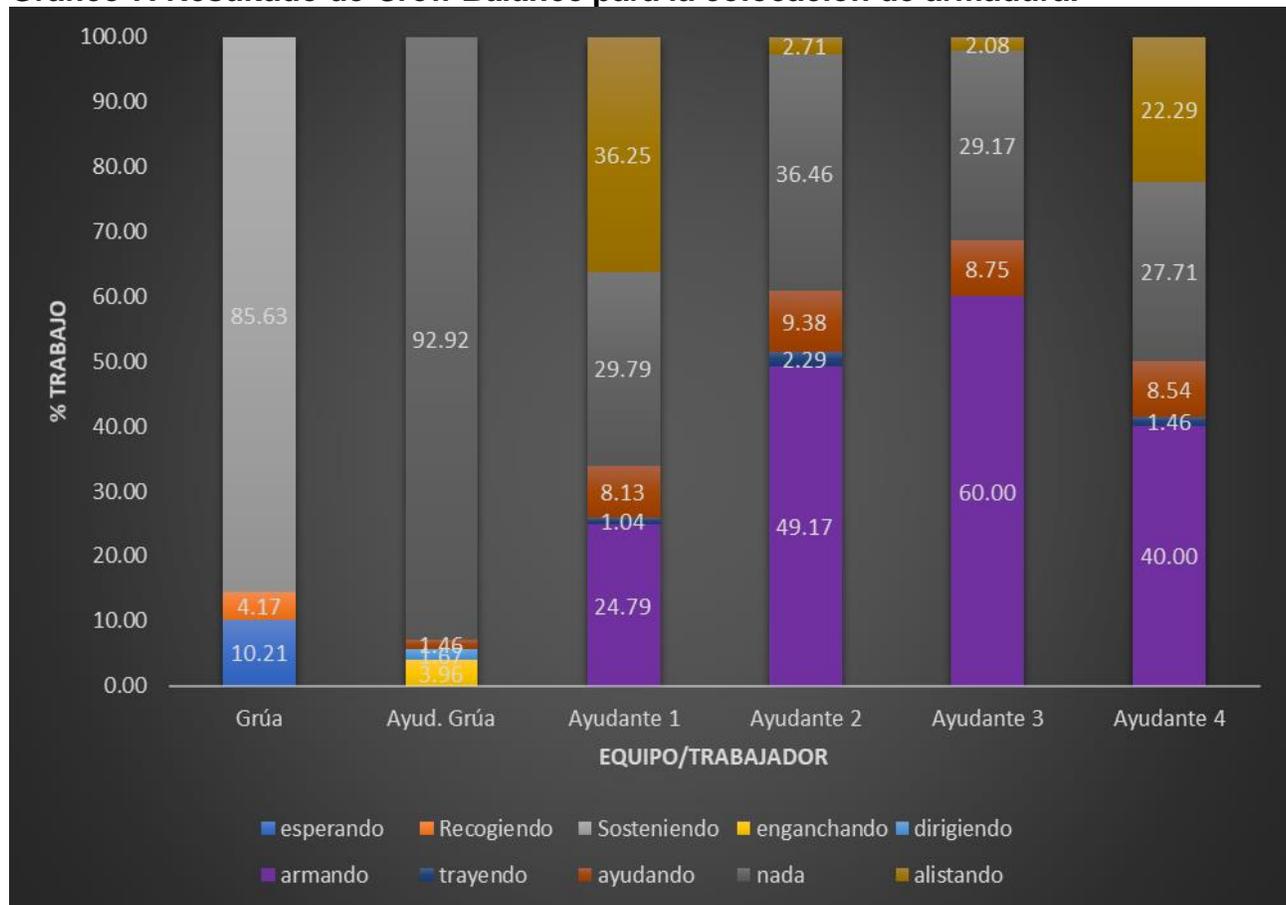
Fuente: El autor,2019. Excel 2016.

Gráfico 6. Resultado de *Five Minute Rating* para la colocación de la armadura.



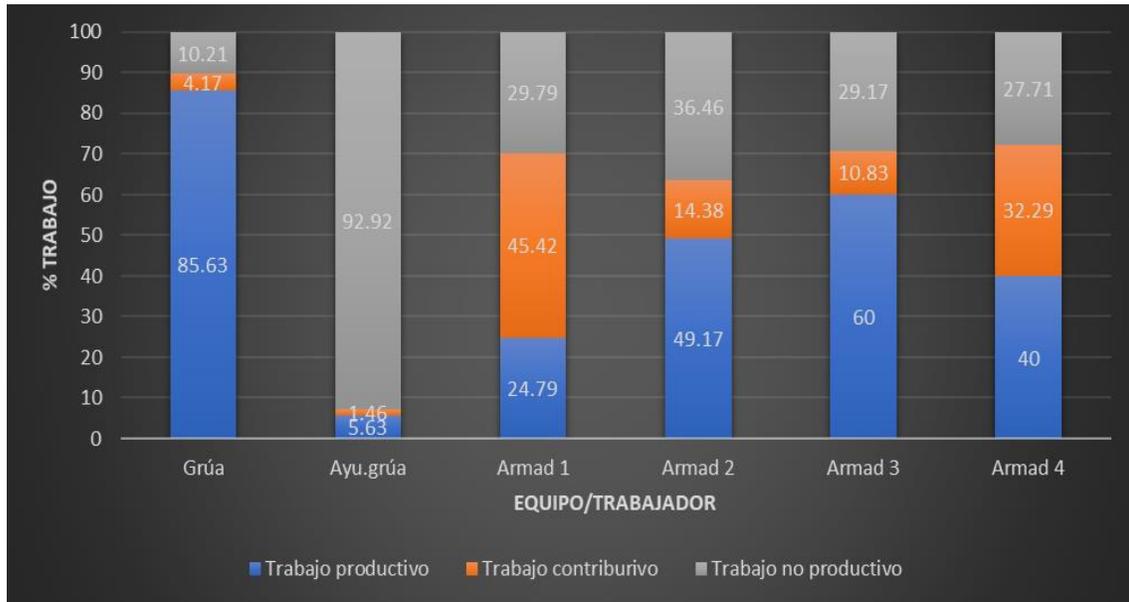
Fuente: El autor,2019. Excel 2016.

Gráfico 7. Resultado de Crew Balance para la colocación de armadura.



Fuente: El autor, 2019. Excel 2016.

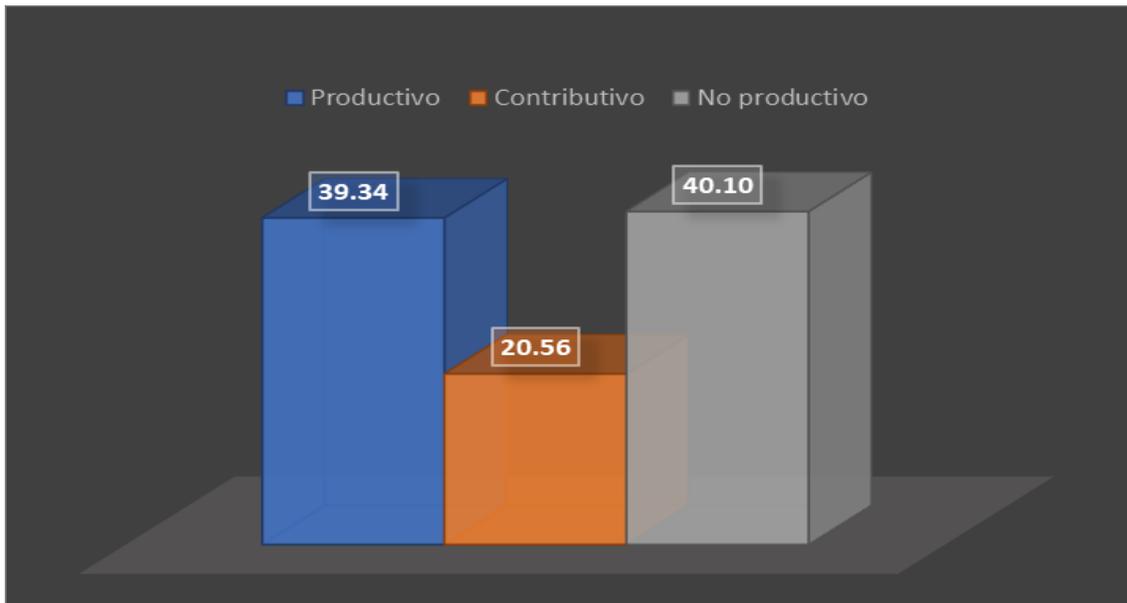
Gráfico 8. Trabajo productivo, contributivo y no productivo para cada trabajador y equipo de colocación de armadura.



Fuente: El autor,2019. Excel 2016.

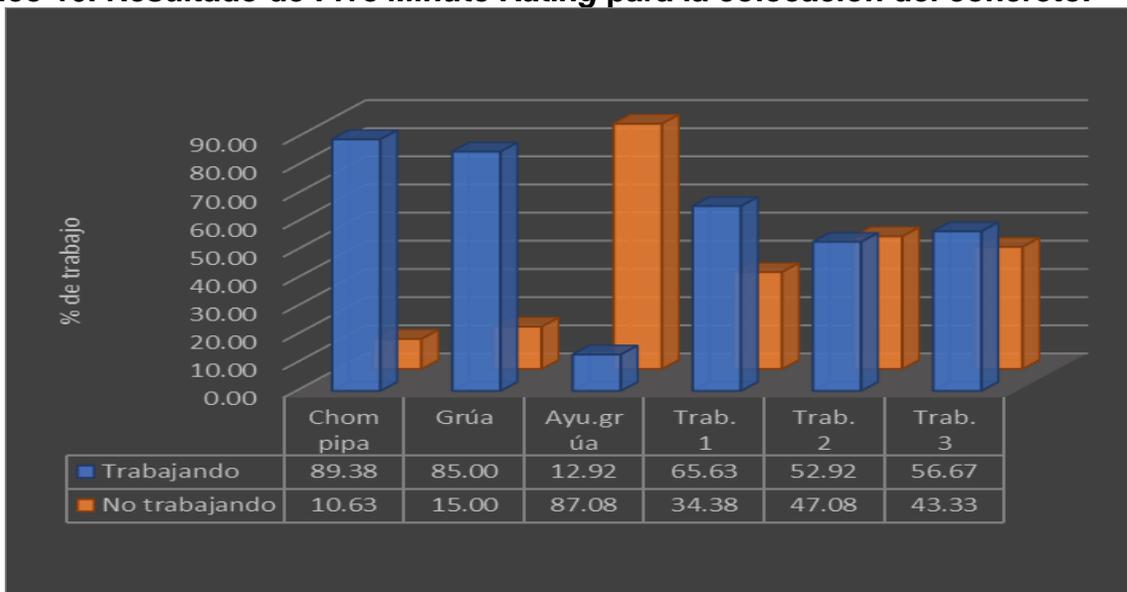
Resultados de productividad de la colocación de concreto.

Gráfico 9. Productividad de la colocación del concreto mediante *Work Sampling*.



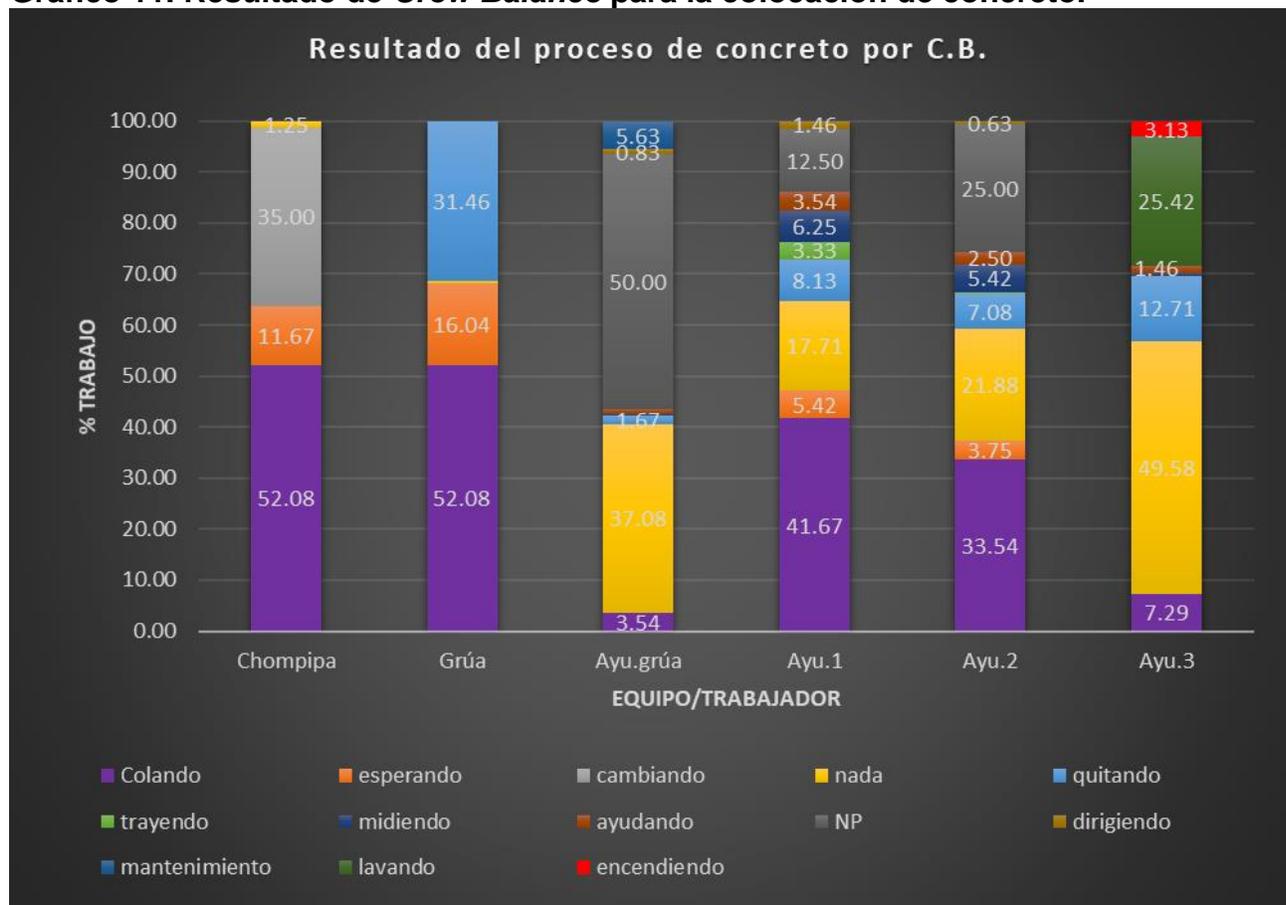
Fuente: El autor, 2019. Excel 2016.

Gráfico 10. Resultado de *Five Minute Rating* para la colocación del concreto.



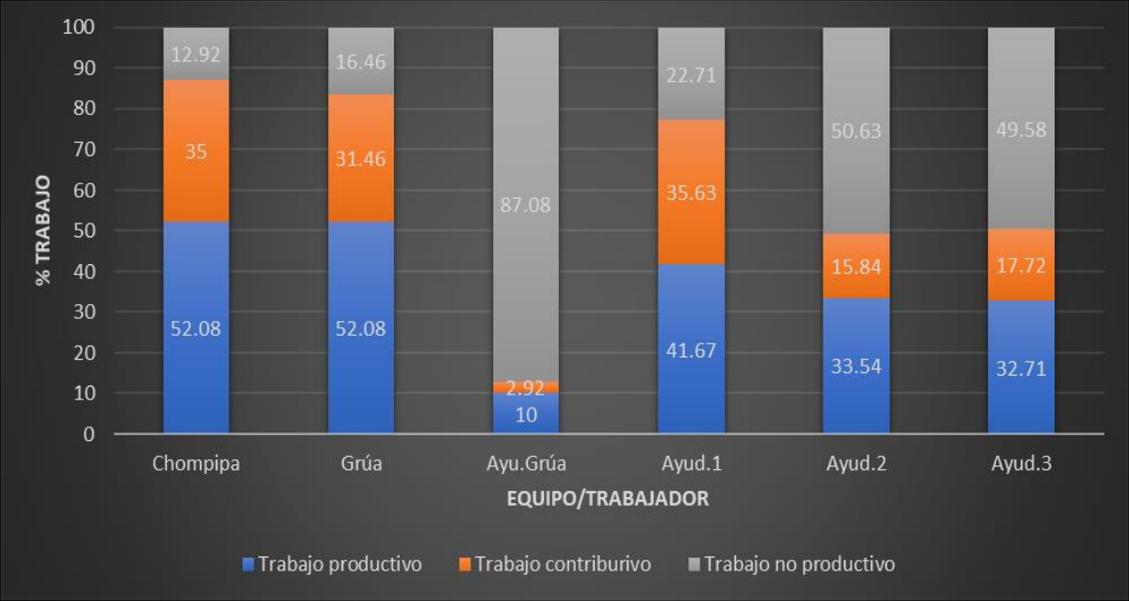
Fuente: El autor, 2019. Excel 2016.

Gráfico 11. Resultado de *Crew Balance* para la colocación de concreto.



Fuente: El autor,2019. Excel 2016.

Gráfico 12. Trabajo productivo, contributivo y no productivo para cada trabajador y equipo de colocación de concreto.



Fuente: El autor,2019. Excel 2016.

Productividad cualitativa.

Causas que afectan el proceso constructivo.

A continuación se presenta de forma gráfica, las principales causas que afectan la productividad en la construcción de pilotes en el proyecto de Circunvalación Norte, considerado desde una perspectiva cualitativa.

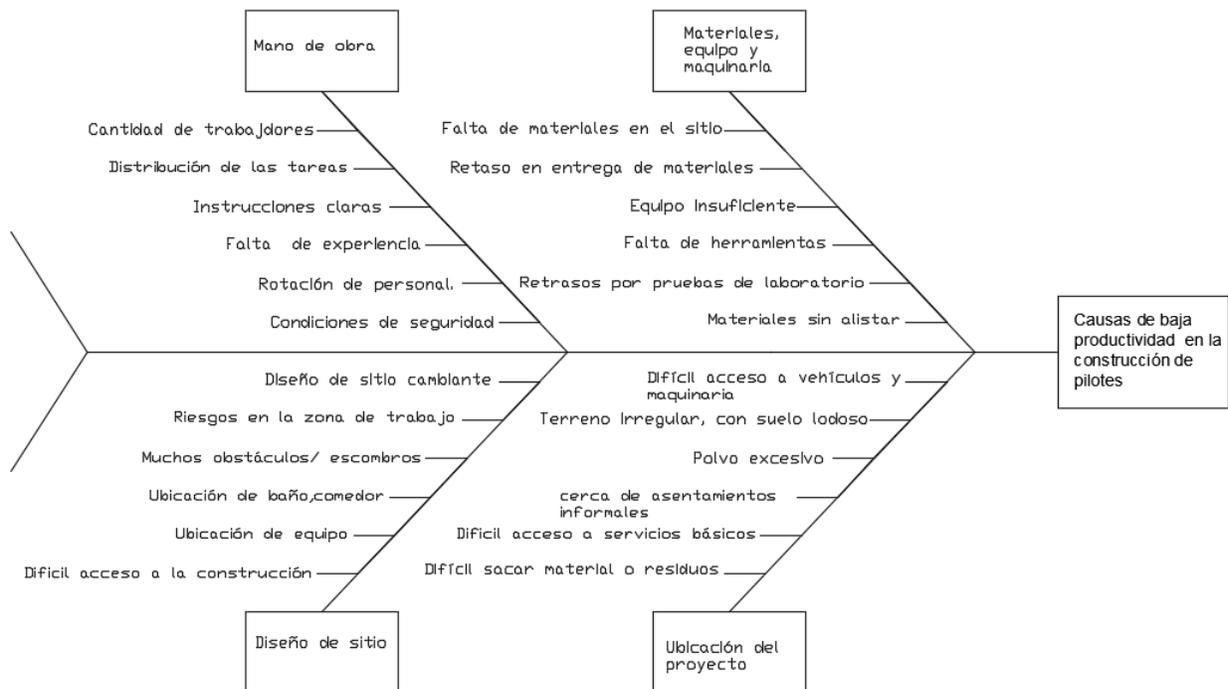


Figura 24. Diagrama de Ishikawa, causas de baja productividad en la construcción de pilotes. Fuente: El autor, 2019. AutoCAD 2017.

Propuesta de mejoras a los subprocesos de pilotes.

A continuación, se presentan listas de verificación para cada subproceso, lo cual pretende mejorar la productividad de la cuadrilla. Su uso es para verificar que los rubros descritos, se encuentren listos a la hora de realizar cada subproceso.

Cuadro 13. Lista de verificación para proceso de perforación			
Descripción		Estado	Observación
1	Limpieza del terrero		
2	Ubicación con topografía		
3	Colocación de la maquinaria		
4	Herramientas de corte		
5	Estado de herramientas de corte		
6	<i>Back hoe</i> disponible		
7	Vagoneta disponible		
8	Pala		
9	Cinta		
10	Rejilla para tapar la perforación		

Cuadro 14. Lista de verificación para colocación de armadura			
Descripción		Estado	Observación
1	Acero completo descargado		
2	Colocación de maquinaria		
3	Alambre negro		
4	separadores		
5	Conectores y tapas de tubos		
6	Tenaza y "llave perro"		
7	Plástico y cuchillo		
8	Varillas para sostener armadura		
9	Mecate		
10	Tucas de madera		

Cuadro 15. Lista de verificación para colocación de concreto			
Descripción		Estado	Observación
1	Colocación de la grúa		
2	Tubería de colado		
3	plástico		
4	cables de unión de tubos		
5	machete		
6	cinta		
7	pala		
8	manguera lista		
9	Pruebas de laboratorio		
10	Tubos de apoyo a tubería de colado		
11	varillas para sostener armadura		

Análisis de los resultados

Proceso constructivo de pilotes pre-excavados.

El proceso constructivo de pilotes pre-excavados de gran diámetro es complejo y existe poca información sobre cómo se construyen estos pilotes en Costa Rica. En esta sección, se recopiló información en campo de cuáles eran los procesos que se debían realizar para realizar este tipo de construcciones.

El proceso constructivo se puede subdividir en cuatro grandes subprocesos, los cuales se representan en las figuras 7,8,9 y 10. Se inicia con un conjunto de actividades previas, las cuales son de suma importancia para poder construir los pilotes. Dentro de ellas se pudo determinar, que, para el caso de los pilotes realizados en este proyecto, se inicia con una serie de estudios geotécnicos, donde se pueden mencionar pruebas de penetración como CPT y pruebas geofísicas como MAS W, las cuales permiten tener características físicas del suelo, necesarias para realizar los diseños estructurales de los pilotes y finalmente los planos respectivos.

También la limpieza y movimientos de tierra realizados, cumplen con una labor muy importante, ya que, al tratarse de un proyecto dentro de la capital, fue necesario expropiar muchas propiedades para construir el viaducto, por lo que se debía limpiar y en muchos casos demoler infraestructura existente. Una vez lista la zona de trabajo, con los accesos necesarios para la maquinaria, es necesario realizar la ubicación espacial de los pilotes, la cual se logra mediante la utilización de equipo y profesionales en el campo de la topografía.

Posteriormente a las actividades previas, donde se alista el terreno para la perforación, se

coordina la colocación de la pilotera, un trabajo de logística, que, debido a la extensión del proyecto, a las diferencias topográficas y a la cantidad de pilotes que se requerían, se analizó de manera independiente en cada perforación y se localizaba la máquina perforadora en el sitio más conveniente, según el criterio del ingeniero, el maestro de obras y el operador. En el proceso de perforación de los pilotes, se requiere el uso de diferentes herramientas de corte, las cuales eran seleccionadas por el operador y el ingeniero a cargo, dependiendo del estrato que se estaba perforando. Cabe destacar que el desgaste de los dientes en las herramientas de corte dependía del tipo de suelo que se estaba perforando, por lo que no todo el tiempo era necesario realizar cambios de dientes, y si era necesario utilizar diferentes herramientas para perforar.

El proceso de la colocación de la armadura se realizaba en conjunto con una empresa que se dedicaba a armar todo lo referente a armaduras para pilotes, sin embargo, el transporte y el equipo era aportado por la empresa H. Solís. Al tratarse de pilotes de gran diámetro y de profundidades importantes (hasta 40 metros), en la mayoría de los casos requería trasladarse la armadura en partes llamadas en campo "cuerpos", esto con el fin de poder transportarlos en un tráiler con carreta de tipo plataforma.

Para el montaje y desmontaje de la armadura se realizaba con la grúa de la cuadrilla de pilotes, así como levantarla para colocar la armadura en la perforación. Dentro de este proceso se realizaban todos los empalmes necesarios para fijar todos los cuerpos que requería el pilote, así como la colocación de tubos de sección circular, con diámetros de dos pulgadas, los cuales permitían realizar pruebas de control de calidad denominadas *Cross Hole*. Estas se realizaban con un equipo especial que utilizaba dos o cuatro sondas que emitían ondas (dependiendo de la disponibilidad del equipo), donde se registraban el primer tiempo de velocidad de la onda, lo cual permitía ver de manera preliminar en el equipo, si había alguna

contaminación de concreto o fisuras a lo largo del pilote. Finalmente, al completar la colocación de la armadura, se retiraba completamente para realizar una limpieza final de la perforación, esto debido a que, en muchos casos, el nivel freático se encontraba a profundidades cercanas a la superficie del terreno, considerando que la profundidad de los pilotes alcanzaba hasta los 40 metros, por lo que era común tener agua almacenada en los huecos y era necesario sacarla para evitar daños en el pilote, principalmente en la punta.

Posteriormente a este proceso, se iniciaba la etapa final, la cual era la colocación del concreto. Para este proceso, se iniciaba colocando la tubería que sería utilizada para descargar el concreto, la cual se colocaba y se sostenía durante todo el proceso con ayuda de la grúa de la cuadrilla de pilotes. Una vez concluida la colocación de la tubería, se podía dar inicio al colado del concreto, siempre y cuando estuvieran presentes los ingenieros, el personal de laboratorio y al menos tres camiones mezcladores de concreto en el sitio, esto con el fin de garantizar la continuidad en la descarga de concreto del pilote y evitar planos de fallas, ya que el concreto utilizado contenía aditivos fluidificantes y acelerantes, que además permitía una colocación del concreto sin necesidad de utilizar equipo de vibración, debido a que parte de las características del concreto es que era autonivelante. Sin embargo, con forme se colocaba el concreto, la tubería se movía verticalmente para ayudar un poco en la compactación de dicho concreto. Una vez vaciado cada camión mezclador, se analizaba con el ingeniero si era necesario retirar parte de la tubería, ya que el nivel de concreto en la perforación subía algunos metros dependiendo de la regularidad de la perforación y debía sacarse para evitar que el sistema se tapara y colapsara. Finalmente, al terminar de llenar el pilote con concreto, se procedía a retirar todo el equipo utilizado para esta actividad y se daban al menos 3 días para realizar la prueba de control de calidad *Cross Hole*.

Composición de cuadrillas.

La cuadrilla de pilotes puede subdividirse en tres, esto debido a que el proceso constructivo se divide igualmente en tres subprocesos principales, aunque cabe destacar que los trabajadores y la maquinaria en algunos casos eran los mismos. La primera cuadrilla que se observó fue la de la perforación, en donde la perforadora, así como su operador y su ayudante eran los más indispensables, esto debido a que eran los encargados propiamente de la perforación de los pilotes, sin embargo, dentro del proceso, era necesario también tener una retroexcavadora y una vagoneta con sus respectivos operadores, esto debido al material que se extraía en el proceso del perforado.

La cuadrilla de la colocación de la armadura trabajaba en conjunto, ya que había personal de la empresa H. Solís y personal de una empresa externa encargada de alistar la armadura. En el caso de la colocación del concreto era necesario combinar equipos como la grúa y las concreteiras de la empresa, debido a la manera en que se colocaba el concreto. Al tratarse de perforaciones, normalmente no era necesario utilizar equipo de lanzadora de concreto telescópica, solamente cuando la topografía del sitio no permitía hacerlo de manera normal a gravedad debido al alcance de los camiones mezcladores de concreto.

Equipo y herramientas.

La construcción de pilotes pre-excavados requiere el uso de maquinaria especial para perforación, por lo que se usa una perforadora Soilmec SR-45 la cual permitía realizar las perforaciones con las dificultades propias del proceso que se debían principalmente al tipo de suelo, sin embargo, en este proyecto de circunvalación norte, la mayoría del terreno era material cohesivo, lo cual permitía realizar perforaciones importantes en un tiempo razonable, también debido a que dicho equipo tenía menos de cinco años de antigüedad, por lo que era relativamente nueva.

Uno de los principales elementos de la perforación eran los dientes de corte, como se observa en la figura 12, donde se muestra los dos tipos de dientes utilizados en las distintas herramientas de corte. La principal diferencia, aparte del tamaño, ya que los SR-100 eran un

poco más pequeños, era el uso que se les daba a cada uno, normalmente los SR-100 se utilizan en suelos más blandos, suelos cohesivos, que ejercían poca resistencia al corte, y los BKH-85 se utilizaban más en suelos con material granular o incluso algún estrato rocoso.

Es importante mencionar que, aunque los “dientes” contaban con una resistencia importante para cortar el terreno, su uso constante hacía indispensable el mantenimiento periódico de las herramientas de corte, donde no solamente los dientes se debían cambiar, sino que también las bases e incluso los baldes se debían reforzar para evitar perder el diámetro de perforación, debido al desgaste, situación que se presentó en la pila 27 y 28.

En las figuras 13 a la 17, se recopiló imágenes de las herramientas de corte, las cuales son las más utilizadas en campo para la perforación de los pilotes. Dentro de ellas, las más utilizadas eran la broca con dientes de 1000mm de diámetro, las cuales eran muy útiles con terrenos cohesivos, así como el cortador para terrenos un poco más resistentes al corte, además del balde limpiador y el balde limpiador cortador que permiten hacer una limpieza final del fondo del pilote.

Otros equipos utilizados son los mostrados en las figuras 11 y 18 al 22, donde se muestran la maquinaria utilizada, como la perforadora Soilmec SR-45, la retroexcavadora, la cual es modelo CAT 416F2 año 2018, equipos muy modernos y costosos, así como la grúa Tadano Faun ATF 60-03 que posee una capacidad de 60 toneladas y era de mucha utilidad en la cuadrilla de pilotes. Además, la vagoneta, la cual era muy importante para el acarreo de materiales, así como la concretera para el acarreo de concreto y la tanqueta para regar cerca de las zonas de trabajo y disminuir la afectación del polvo en los trabajadores.

Resultados de Rendimientos.

El cuadro 4, muestra los resultados de los rendimientos obtenidos para una muestra de 36 pilas, de las cuales, se evaluaron 251 pilotes

ejecutados por la empresa en el proyecto del viaducto de circunvalación norte. La cantidad de pilas por ejecutar son 49 y el total de los pilotes son aproximadamente, 350. Los pilotes analizados son en su mayoría de 1 metro de diámetro, aunque las pilas 3 y 4 tienen pilotes de 1.2 metros. El cuadro mencionado anteriormente, resume los rendimientos obtenidos de todas las pilas evaluadas, las cuales están enumeradas de la misma manera que para la empresa, además, en la sección de apéndices, también se muestran detalladamente, los resultados obtenidos por pila y para cada pilote.

Para cada pila, se puede observar el número de pilotes que se analizó, así como la longitud promedio de las perforaciones, esto con el fin de entender de mejor manera, los valores obtenidos en cada rendimiento, sabiendo que solamente la pila 3 y 4 son de 1.2 metros de diámetro y la pila 27 y 28 tienen pilotes de 0.97 m y 1.2 m. En el primer caso debido principalmente al desgaste de las herramientas de corte, ya que su uso era constante, llegó a desgastarse a tal punto que se tuvo una pérdida de sección de 30 mm para esos pilotes y para el segundo caso, se debió a una armadura que no se logró acomodar de manera apropiada por lo que se tuvo que ampliar la perforación a 1.2 m, después de estos pilotes, todos eran de 1 m de diámetro.

En el cuadro 4, también es posible observar para cada pila, el rendimiento de la perforación, la cual se determinó, considerando las horas que demoraba la perforadora, entre la cantidad de metros perforados, para el caso del rendimiento de la colocación de la armadura, se consideró el tiempo que era necesario para colocar la armadura y se dividía entre la cantidad de metros perforados que coincidía aproximadamente con los metros longitudinales de armadura. Para el caso del rendimiento de la colocación de la armadura, se consideró el tiempo global que tardaba el proceso de colado y se dividía entre la perforación que se debía rellenar con el concreto. Adicionalmente, se calculó el rendimiento del acero consumido para cada pilote, considerando la cantidad de acero consumido por pilote entre la cantidad de metros de la perforación, para posteriormente obtener el dato mostrado, promediando los resultados de dicho rendimiento para cada pila. Para el concreto, se calculó también, el rendimiento de este material, considerando el volumen utilizado entre la longitud de la perforación de cada pilote,

y posteriormente se promedió para obtener el rendimiento del concreto en m³/ml, con el fin de poder estimar con mayor precisión los cierres de concreto que se determinaban en campo de manera aproximada. Otra perspectiva para el cálculo del rendimiento de la perforación fue considerar el tiempo que se requería tener la perforadora, entre la cantidad de metros lineales que podía perforar, lo cual permitió determinar el rendimiento en horas-perforadora por metro lineal de perforación. Para el caso de la colocación de armadura se calculó de manera similar, sin embargo, se tomaron las horas requeridas para colocar la armadura, entre la cantidad de acero que se colocaba por hora-grúa.

Debido a la gran cantidad de datos obtenidos entre los diferentes rendimientos calculados, se realizó un análisis de estadística descriptiva, la cual permite rescatar los valores más importantes del cuadro 4. Dicha información se explica con el cuadro 5, donde se determinó una serie de valores estadísticos que permitieron evaluar los datos, para cada caso se tiene lo siguiente y se explica de manera general para mencionar posteriormente los más valiosos, ya que en algunos casos hay datos que se repiten o que no son de mucha importancia para entender los datos analizados.

La media es el promedio obtenido en cada caso para los datos analizados, el error típico es un valor que permite evaluar el intervalo de confianza de la media si se desea replicar el cálculo de los rendimientos con una población igual a la analizada, la mediana es el valor central de la muestra, la desviación estándar permite tener los límites en donde se encontraban el 68.3 % de los datos, la varianza se calculó para obtener la desviación estándar, en el caso del valor de curtosis, permitió analizar la concentración de los datos que estaban cerca de la media, el coeficiente de asimetría, permite ver si en una distribución normal se comportaba similar a la media por lo que podría ser negativa o positiva, lo cual indica si el comportamiento de los datos era de la media hacia arriba o hacia abajo, el rango se calculó como la diferencia entre el valor máximo y mínimo de los datos analizados, así como la suma que representa la suma de todos los datos, los cuales eran más importantes para saber la cantidad total del concreto y acero utilizado para los pilotes y la cuenta que determinaba la cantidad de pilas analizadas. El nivel de confianza se estableció en el 95 % para

tener la mejor precisión posible de los datos y poder compararlos con los resultados obtenidos en la tesis mencionada en el marco teórico, según Bolaños Chaves, H. (2012).

Para el caso del rendimiento de perforación en (ml/hperforadora), el valor de la media o promedio obtenido fue de 10.551 (ml/hperforadora), lo que permite tener un valor que considera todos los datos analizados, además, la desviación estándar es de 2.827, lo que significa que el 68.3 % de los datos oscilan entre la media más o menos la desviación estándar, visto de manera numérica con los intervalos de confianza encontrados en dicho cuadro, los cuales indican que los valores más comunes obtenidos para el rendimiento de perforación fueron de 7.84 a 13.25 ml/hperforadora.

Además, se obtuvo que el valor máximo obtenido fue de 16.247 ml/hperforadora y el mínimo de 4.790 ml/hperforadora, lo cual dio como resultado un rango de 11.457 ml/h entre ambos valores, que es una diferencia importante debido a que había pilotes que se lograban perforar mucho más rápido que otros. Esto por cuanto no en todas partes se tenían los mismos estratos ni espesores de un tipo de estrato u otro, que dio como resultado que una parte de las perforaciones, tuviera mejores rendimientos que otros. Según Bolaños Chaves, H. (2012), los resultados obtenidos en su tesis para el rendimiento de la perforación en suelos similares a los del proyecto de circunvalación norte, fueron en promedio de 4.06 ml/hperforadora (ver figura 3), lo cual indica, que los valores obtenidos para este proyecto, fueron mejores, debido a que el promedio obtenido fue mayor.

Para el rendimiento de la colocación de la armadura, se determinó que la media era de 15.144 ml/hgrúa, lo cual significa que en promedio se podía colocar esa cantidad de metros lineales de armadura por hora, además la desviación estándar fue de 3.506 ml/hgrúa, lo que indica que los valores oscilaban de acuerdo con dicha desviación, respecto al promedio obtenido. Los valores máximos y mínimos correspondieron a 26.125 y 10.007 ml/hgrúa, lo cual dio un rango de 16.118 ml/hgrúa para la colocación de la armadura en la muestra de 36 pilas analizadas. El intervalo de confianza, donde se determinó entre 10.98 y 19.30 ml/hgrúa, lo cual indica que la mayoría de los datos analizados se encontraron en ese intervalo de confianza. La dispersión en

los datos de este rendimiento se debe principalmente a que, en muchos casos, la colocación de la armadura se veía atrasada porque algunos cuerpos debían terminarse de alistar en campo y en ocasiones factores como el viento y la productividad de los trabajadores afectaban el proceso. Para este caso no se estableció una relación con lo descrito en la figura 4, debido a que las unidades utilizadas por el autor de dicha tesis no coincidían con las utilizadas en este proyecto de graduación.

En el rendimiento de la colocación del concreto en (ml/hgrúa) se obtuvo un valor promedio de 37.5 ml/hgrúa con una desviación estándar de 8.907 ml/hgrúa, lo cual es un valor no tan bueno de la desviación estándar, lo que también se pudo ver en los valores máximos y mínimos que fueron de 52.283 y 23.752 ml/hgrúa y un rango de 33.531 ml/hgrúa, que resultan debido a la dispersión de los datos obtenidos. Esto se debía principalmente a factores que afectaban el proceso, como el diseño de sitio, los tiempos de cambio de los camiones mezcladores de concreto, así como la velocidad de descarga del concreto, que eran muy variables en el proyecto.

Todo lo anterior afectó de manera negativa el rendimiento, por lo que el nivel de confianza alcanzado fue de 95 % ya que se obtuvo un valor de 3.014, lo cual es alto para este parámetro, así como el coeficiente de Curtosis que es un valor muy pequeño y negativo, lo cual indica que existe mucha dispersión en los datos. Por lo anterior, no se puede garantizar para estas unidades analizadas la confiabilidad de los datos, ya que los intervalos de confianza no son representativos debido a la forma en la que se ejecutaba dicho procedimiento. Probablemente, si se mejoraran los aspectos antes mencionados, podría mejorarse la dispersión de los datos y obtener rendimientos más precisos para estas unidades.

En el rendimiento del acero (kg/ml), se obtuvo que en promedio se utilizaba 98.34 kg/ml de acero colocado, sin embargo, los valores de la desviación estándar de 89.645 kg/ml, el rango de 116.697 kg/ml, el nivel de confianza de 9.983 y los intervalos de confianza de los datos, muestran que los valores obtenidos para este rendimiento, se basaron en datos muy dispersos, lo cual se explica porque el consumo del acero dependía de distintos factores, los cuales afectaban principalmente, el diseño estructural que definía

la cantidad de acero que requería, así como el diámetro de los pilotes y la profundidad. Era habitual tener más o menos acero dependiendo de los factores antes mencionados, lo cual indica que el rendimiento del acero en kg/ml no es un valor confiable, ya que hay muchas diferencias en los aceros utilizados en el proyecto.

Un dato más preciso, es el caso del rendimiento del concreto (m³/ml), para el que se obtuvo un promedio de 0.903 m³/ml de perforación, esto responde principalmente a las perforaciones de 1 metro de diámetro, la desviación estándar fue de 0.086 m³/ml lo cual es un valor bastante bajo que indica que la mayoría de los datos de este rendimiento se mantuvieron en el promedio más o menos la desviación estándar. Además, el valor máximo y mínimo fue de 1.183 y 0.758 m³/ml, lo cual dio un rango de 0.425 m³/ml, indicando que los datos se encontraban bastante cercanos entre sí. Además de esto, el nivel de confianza es de 0.029, lo que significa que se obtuvo un valor muy confiable, lo cual se ratifica con los intervalos de confianza calculados, que van entre 0.90 y 0.91 m³/ml, dando resultados muy precisos, los cuales podrían ser utilizados en los cierres del colado de los pilotes para estimar de manera más precisa la cantidad requerida y no solamente con el valor teórico, que no considera los factores que afectan el volumen como el factor de desperdicio del concreto así como las irregularidades de la perforación. El dato promedio obtenido se pudo comparar con el obtenido por Bolaños Chaves, H. (2012) en su tesis, el cual se muestra en la figura 5, donde él obtuvo 0.945 m³/ml, lo que indica que el rendimiento obtenido por el autor fue mayor al de la tesis de Heiner Bolaños.

Para el caso del rendimiento de la perforación (hperforadora/ml) se obtuvo que, en promedio, se requería 0.1138 horas de la perforadora para perforar 1 metro, además, la desviación estándar fue de 0.039 hperforadora/ml, lo cual es bastante bajo y resulta positivo para validar los datos, ya que la mayoría se encontraban dentro del intervalo del rendimiento promedio más o menos, la desviación estándar. También, el rango fue de 0.164 hperforadora/ml ya que el valor máximo y mínimo fueron respectivamente de 0.227 y 0.063 hperforadora/ml, con un nivel de confianza de 0.013 e intervalos de confianza entre 0.01133 a 0.1144 hperforadora/ml, lo cual es un rango bastante pequeño, lo que permitió tener un dato

de rendimiento de perforación en hperforadora/ml bastante bueno.

Para la correlación del tipo de suelo con los rendimientos obtenidos en las pilas analizadas, se identificó, según el número de sondeo realizado por el área de geotecnia, cada pila, así como sus estratos. El estrato predominante eran limos y limos arcillosos, los cuales eran estratos con baja capacidad soportante, lo cual favorecía los rendimientos de la perforación en general. Además, existía un segundo estrato de limos y limos arcillosos con bloques de roca alterada, lo cual era un terreno similar al antes mencionado. El tercer estrato de mayor existencia en el proyecto era de basamento de roca lahárica blanda, la cual poseía una matriz arcillosa o arenosa cementada. También existían tres estratos más en algunos sectores del proyecto, como aluviones o gravas de río, basamento lahárico (inferido por pruebas geofísicas) y basamento de tobas ignimbritas de color gris.

De acuerdo con los estratos antes mencionados, los primeros tres, se describieron de menor a mayor resistencia, además de que el basamento es de un solo tipo, únicamente que se determinó mediante estudios de CPT y pruebas geofísicas, para el caso del basamento con tobas ignimbritas, era ligeramente más resistente al basamento lahárico. Finalmente, el aluvión se localizó en una zona cercana a un río, lo cual explica la existencia de este estrato en el proyecto. Los sondeos realizados para obtener el perfil geotécnico eran de entre 30 y 40 m de profundidad en la mayoría de los casos.

En la figura 23 se muestra el perfil geotécnico antes descrito con sus diferentes estratos de terreno, donde se pudo identificar la mayoría de las pilas. Para el caso de pila tres y la pila cuatro, se obtuvieron rendimientos similares, debido a la similitud en los estratos perforados, así como las profundidades perforadas y los diámetros que eran de 1.2 m. En el sector comprendido desde pila 6 hasta pila 10, se obtuvieron rendimientos entre 8.028 a 12.468 ml/h para las perforaciones, donde las principales diferencias se debieron a los espesores de las capas. De manera similar se presentó en el sector de pila 13 a pila 17, donde los valores de los rendimientos fueron entre 8.584 y 14.047 ml/h.

Para el caso de la zona de pila 21 a pila 24, se obtuvieron rendimientos bastante buenos,

entre 11.195 y 15.974 ml/h, los cuales se asociaron a que las capas predominantes eran de limos y limos arcillosos, los cuales, eran considerados como los estratos de menor resistencia para la perforación, así como estratos pequeños en pila 23 y 24 de basamentos laháricos. Entre pila 27 y pila 30, los rendimientos obtenidos variaban entre las pilas comprendidas en esa zona, lo cual se refleja en el modelo geotécnico, debido a la variedad de capas existentes en dicha zona, así como las diferencias en los espesores de capas. La pila 32 tuvo un rendimiento promedio de 7.602 ml/h, lo cual se debió principalmente a que el estrado de limos y arcillas menos resistente era menor a 5 m de profundidad, siendo el más pequeño en todo el proyecto para este tipo de estrato y que además, se encontraba el estrato de aluvión, el cual presentaba mayor resistencia a la perforación y al tratarse de un terreno poco cohesivo, se requirió utilizar el sistema de encamisado de pilotes para evitar el desprendimiento de las perforaciones.

Entre las pilas 34 y pila 38, los rendimientos fueron un poco menores en la mayoría de los casos a otras zonas antes mencionadas, y según lo observado en el perfil geotécnico, pudo deberse a que los estrados menos resistentes eran menores que en otras zonas, y los estratos predominantes eran de mayor resistencia y espesor, lo cual se mantuvo de manera similar para las pilas 40 y 41. La zona donde se obtuvieron los menores rendimientos fueron entre las pilas 47 a la 49, donde se alcanzaron resultados entre los 4.790 y 7.680 ml/h, sin embargo, para este caso, no se tuvieron claras las causas que influyeron para tener dichos rendimientos, ya que los estratos existentes, favorecía para tener mejores datos.

Finalmente en la figura 23, los colores utilizados en los rendimientos explican el comportamiento de los datos según la campana de Gauss, indicando que, para el color amarillo, los datos se encuentran del valor promedio más o menos una desviación estándar, lo cual indica que dichos rendimientos pueden ser considerados como normales para el proceso de perforación, para el caso del color verde, son datos que se encuentran hasta dos desviaciones estándar positivas, lo que indica que los valores obtenidos, son mejores a lo normal en dichas pilas, y finalmente, para el color rojo, indica que son valores que se encuentran hasta dos

desviaciones estándar negativas, lo que indica un rendimiento pobre, de acuerdo con el promedio de los datos obtenidos por todos los pilotes analizados.

El rendimiento de la colocación de la armadura también se calculó en unidades de hgrúa/ton, esto por ser una unidad utilizada de manera más frecuente para estimar dicho rendimiento. Se obtuvo que el promedio era de 0.335 hgrúa/ton, además de una desviación estándar de 0.135, un rango de 0.624 hgrúa/ton y un valor máximo y mínimo de 0.026 y 0.651 hgrúa/ton respectivamente. Se determinó el nivel de confianza al 95 % que fue de 0.046 y los intervalos de confianza fueron de 0.3284 a 0.3408 hgrúa/ton, lo cual resultan datos bastante buenos para el caso de este rendimiento, ya que permite estimar la cantidad de horas que se requiere el equipo de la grúa para colocar una tonelada de acero, lo cual compensa el rendimiento en ml/hgrúa el cual no era representativo para utilizarlo.

El cuadro 6, muestra los resultados obtenidos para algunos datos que podrían resultar de relevancia para la empresa, como el caso de la diferencia entre la perforación efectiva y la perforación real en % que se hizo en campo. Esto se calculó para cada pilote y posteriormente se promedió para cada pila. Otro dato relevante obtenido es el volumen extra del concreto, que representa el gasto adicional al calculado teóricamente para cada pilote y que se muestra también en el cuadro antes mencionado, además, la cantidad de acero total por pila, así como la cantidad total del concreto utilizado igualmente por pila.

Todos los datos, antes mencionados, se entienden mejor con los resultados obtenidos en el análisis de estadística descriptiva, la cual se presenta en el cuadro 7, donde se muestra que el 7.31 % es la diferencia promedio entre las perforaciones teóricas y reales en el proyecto, además, la desviación estándar es de 8.13 % lo que representa un valor alto debido a que es mayor que el valor promedio. Sumado a esto, se obtuvo que el rango es de 31.20 % ya que valor mínimo es de 0 %, lo que quiere decir que algunos pilotes se perforaban exactamente igual a la profundidad de diseño, a como había otros que alcanzaban el 31.20 % más que dicha longitud, siendo este el caso más extremo, obtenido en la pila 27, donde se perforó una

cantidad considerable mayor a la perforación de diseño.

El factor de desperdicio del concreto se refiere a la diferencia entre el volumen teórico y el real de concreto utilizado, lo cual podría verse como un factor de desperdicio real. Se obtuvo que en promedio el desperdicio del concreto era de 12.5 %, lo cual era mayor al utilizado en campo, ya que comentando con el ingeniero Bernardo Jiménez, en campo se utilizaba el 10 % para la estimación del desperdicio. La desviación estándar fue de 7.06 % lo cual es un indicador de que existía mucha variación en la cantidad de concreto adicional que se requería, también el rango fue de 24.36 % lo que indica que hubieron coladas muy optimizadas, como la del valor mínimo de 2.29 %, a como hubo otras con consumos adicionales de casi el doble del promedio.

Esto se debía principalmente a que las perforaciones no siempre eran tan regulares en diámetro, como se deseaba, debido a que algunos suelos permitían perforar sin desprenderse suelo adicional, sin embargo hubo casos donde las perforaciones se ensanchaban en sectores debido a que el suelo se desprendía. Este valor de desperdicio es comparable con el de la figura 6, donde se obtuvo que, para la construcción de un Silo en Cartago con pilotes con condiciones similares, se obtuvo un factor de desperdicio de concreto de 23.6 % según Bolaños Chaves, H. (2012), lo cual refleja que los rendimientos obtenidos en el proyecto de circunvalación norte fueron menores, lo cual es muy positivo para la empresa.

Respecto a la cantidad de acero utilizado en total para las 36 pilas, de las cuales se analizaron 251 pilotes, se utilizó 672.2 toneladas de acero, lo cual es una cantidad bastante considerable, y solo toma en cuenta armaduras de los pilotes. Además, existían procesos paralelos a la construcción de pilotes como las columnas, vigas y dinteles que también consumían grandes cantidades de acero. De igual forma ocurrió con el concreto, donde para la muestra analizada se utilizaron 6 421 m³ de concreto solamente para la actividad de pilotes. Para estos datos anteriores no se aplicó el análisis estadístico, hay que lo que se deseaba era mostrar los consumos totales reales.

Resultados de productividad.

Productividad cuantitativa

Para el análisis cuantitativo de la productividad de pilotes se realizaron tres métodos de medición de productividad a los subprocesos más relevantes de la construcción de pilotes, los cuales se establecieron anteriormente como perforación, colocación de armadura y de concreto. Para este caso, el estudio se realizó mediante las tres técnicas ya descritas, las cuales permiten evaluar la productividad, determinar el porcentaje de trabajo que realiza cada trabajador, así como las actividades en las que invierte el tiempo cada trabajador según su rol en cada proceso. Cabe destacar que las observaciones se realizaron únicamente cuando cada proceso estaba desarrollándose y no se considera el tiempo en que las cuadrillas se encontraban detenidas por diferentes motivos que se explicarán más adelante en la sección de productividad cualitativa.

El cuadro 8 muestra los resultados generales obtenidos para cada subproceso de pilotes, donde se puede observar el número de observaciones que se realizaron para analizar la productividad con el método de *Work sampling*.

Para la selección de la muestra que se analizó, lo que se hizo fue grabar ocho videos de 30 minutos cada uno, para cada subproceso, lo cual permitió determinar los resultados de la tabla antes mencionada. Las observaciones tomadas fueron 480 por trabajador, por lo que, por ejemplo, en el caso de la perforación se realizaron 960 observaciones, esto debido a que, en ese proceso, solo se medía la productividad de la perforadora, así como del ayudante. En el caso de la armadura y colocación del concreto se realizaron 2880 observaciones porque la cuadrilla se constituía de seis personas cada una. Seguidamente se tiene el cuadro 9 el cual muestra los resultados generales de F.M.R. para los tres subprocesos, donde se puede ver las observaciones que representan dichos porcentajes. Los cuadros 10,11 y 12 muestran los

resultados generales de *crew balance*, donde se puede ver los valores numéricos de forma precisa, ya que, al tratarse de muchos datos, de esta manera se pretendió dar mayor claridad a dichos datos, así como la caracterización de cómo se consideró el trabajo productivo, contributivo y no productivo para cada trabajador en cada subproceso.

El gráfico 1 resume la productividad de la cuadrilla de perforación, la cual está constituida por la máquina perforadora, su operador y su ayudante. En este caso, se consideró que el operador de la grúa y la máquina se evalúan en conjunto, por lo que las mediciones se realizaron a la perforadora y al ayudante. Para la perforadora se consideró que era trabajo productivo solamente cuando se encontraba perforando, contributivo cuando estaba realizando cambios de herramientas de corte y no productivo cuando la maquinaria se encontraba detenida sin hacer ningún tipo de trabajo. Para el caso del ayudante, se consideró trabajo productivo cuando se realizaban cambios de herramienta, ya que esta era la función principal delegada al ayudante de la perforadora. También se consideró trabajo contributivo cuando se encontraba limpiando la zona de la perforación, cuando ayudaba a pasar herramientas a otros trabajadores de otras cuadrillas o cuando traía herramientas como la pala o las rejillas utilizadas para tapar temporalmente las perforaciones así como no productivo, cuando no hacía nada que aportara al proceso.

Es importante mencionar, que este método evaluó la productividad de la cuadrilla en general, lo cual indica que la productividad era de **46.35 %**, esto se puede clasificar según Botero (2002) en el cuadro 2 como una eficiencia de la productividad baja, ya que no alcanza ni siquiera el 55 % para tener una productividad normal, según el cuadro 1, donde se establecen los valores normales y óptimos para el T.P,T.C y T.N.P según Botero & Álvarez (2004)

El trabajo contributivo es de 16.56 %, lo cual es un valor bajo, lejano al valor normal u óptimo, lo que implicó que el trabajo no productivo fuera un valor de 37.08 %, el cual es significativamente alto en comparación a valores deseados según Botero (2004).

Las causas de la baja productividad en la cuadrilla de perforación se pueden entender mejor con la técnica de *Five minute rating* (F.M.R.), que permitió evaluar de manera

independiente a cada trabajador, clasificando su desempeño en trabajando o no trabajando. En el gráfico 2 se muestra los resultados obtenidos mediante la técnica antes mencionada para cada trabajador; en el caso de la perforadora, se obtuvo que el **96.04 %** del tiempo la máquina se encontraba realizando algún tipo de trabajo productivo o contributivo, el cual aportaba directa o indirectamente en la productividad de la cuadrilla de manera positiva y un **3.96 %** no trabajando. Sin embargo, para el ayudante de la perforadora, el 68.96 % del tiempo no estaba trabajando, lo cual afecta de manera muy negativa la productividad global de la perforación y además posee solo un 31.04 % de tiempo trabajando, el cual es muy bajo; considerando que toma en cuenta el trabajo productivo y contributivo en conjunto.

Estos resultados del F.M.N permiten entender mejor por qué se tiene una productividad tan baja en esta cuadrilla y es debido al poco aporte del ayudante de la perforadora, que además pasaba una parte importante del tiempo sin realizar ningún tipo de trabajo que aporte al proceso constructivo, lo cual da como resultado, baja productividad, poco trabajo contributivo y alto trabajo no productivo, por lo que más adelante se propondrán mejoras para este proceso. Sin embargo, la presencia de dicho ayudante es fundamental y se debía tener, aunque su rendimiento no fuera el deseado.

Finalmente, para este proceso se realizó un estudio con el método de *Crew balance*, el cual permitió realizar un estudio de balance a la cuadrilla, para determinar las actividades más importantes que realiza cada trabajador, y de esta manera entender el porqué se tiene baja productividad en este proceso. Para el caso de la perforadora, según el gráfico 3 se tiene que el 83.33 % del tiempo, la maquinaria se encuentra perforando, lo cual era muy positivo para el proceso, ya que permitía tener una buena continuidad a la hora de perforar, un 10.63 % cambiando herramientas de corte, lo cual también es bueno ya que es parte de un trabajo contributivo que se debía realizar, así como un 1.88 % encamisando, este valor era muy bajo debido a que el encamisado se utilizó en zonas muy puntuales, donde el terreno se desprendía y era necesario utilizar este sistema de contención temporal para la perforación y solamente el 4.17 % del tiempo la maquinaria se encontraba detenida, en este caso no aporta nada al proceso

pero es un porcentaje bastante bajo lo cual podría considerarse como aceptable dentro del proceso.

Para el caso del ayudante de la perforadora, el 69.38 % del tiempo, el trabajador se encuentra sin hacer ningún tipo de trabajo, lo cual refleja que gran parte del tiempo no hace nada productivo para el proceso, esto debido principalmente a que la maquinaria pasaba la mayor parte del tiempo perforando, por lo que el trabajador solamente se paraba a ver la perforación por si se observaba algún diente gastado en la herramienta de corte o ver la profundidad del hueco, lo cual no aportaba mucho al trabajo de la cuadrilla. El 10.63 % del tiempo, al igual que la perforadora, se dedicaba a cambiar las herramientas de corte, lo cual es poco tiempo considerando que este era el trabajo productivo del ayudante; 7.5 % del tiempo limpiaba los alrededores del hueco de la perforación así como las urugas de la máquina perforadora, 8.75 % ayudando en labores de acarreo de herramientas o eventualmente ayudar en alguna tarea necesaria como limpiar una armadura con cepillo por ejemplo, así como un 3.75 %, trayendo alguna herramienta que necesitaba para realizar su trabajo, lo anterior hace referencia a trabajos considerados como contributivos.

Con el mismo gráfico 3 donde se presentan los resultados de *crew balance* para la perforación, se puede realizar una sumatoria para ver el trabajo productivo, el trabajo contributivo y el trabajo no productivo para cada trabajador, como se observa en el gráfico 4. De esta manera, la perforadora tiene un 83.33 % de trabajo productivo, 12.51 % de trabajo contributivo y 4.17 % de trabajo no productivo. Estos datos permiten determinar que el trabajo realizado por la perforadora es bastante bueno en general, ya que el trabajo contributivo es muy bajo y el trabajo no productivo también. Para el caso del ayudante de la perforación, el 10.63 % era trabajo productivo, el 20 % trabajo contributivo y el 69.38 % trabajo no productivo, lo cual son resultados muy negativos para este trabajador.

El gráfico 5 muestra los resultados de W.S para el proceso de la colocación de la armadura. Dicha cuadrilla se estableció de la siguiente manera: la grúa y su operador se analizaron en conjunto, el ayudante de la grúa, y 4 armadores los cuales eran de una empresa externa encargada para labores relacionadas al

armado de acero. Para el caso de la grúa, se consideró como trabajo productivo cuando la misma se encontraba sosteniendo la armadura para que los armadores realizaran los empalmes necesarios a los cuerpos de acero del pilote, se consideró como trabajo contributivo el tiempo que tardaba la grúa en soltar un cuerpo y recoger el siguiente cuerpo, para continuar los empalmes y se consideró como trabajo no productivo el tiempo que la grúa se encontraba esperando a que se terminara de alistar la armadura que se iba a colocar.

En el caso del ayudante se definió como trabajo productivo cuando enganchaba la armadura, debido a que esta era la razón principal de que el ayudante se encontrara presente en la colocación de la armadura, así como también dirigir al operador de la grúa cuando debía maniobrar la máquina. Se consideró trabajo contributivo cuando tenía que traer alguna herramienta o ayudaba en labores relacionadas como colocar varillas, atravesando las armaduras para apoyarlas temporalmente o incluso ayudar en el empalmado de la armadura sosteniendo alguna herramienta, tubo o varilla; el trabajo no productivo se consideró como el porcentaje de tiempo en que no realizaba ninguna labor que aporte directa o indirectamente al proceso constructivo.

En el gráfico antes mencionado, se muestran que el 46.77 % del trabajo de la cuadrilla era productivo, lo cual según Botero (2002) es una eficiencia de la productividad baja, el 17.60 % era trabajo contributivo, lo cual es menor al valor normal u óptimo de dicho trabajo según Botero & Álvarez (2004). Esto dio como resultado que el 35.63 % correspondía a trabajo no productivo, valores muy desfavorables para este proceso, debido a que se alejaban de los valores deseados en la productividad normal de la construcción.

Los resultados de F.M.R para la colocación de armadura se presentan en el gráfico 6, donde se observa que el 89.58 % del tiempo, la misma realiza algún tipo de trabajo ya sea productivo o contributivo que favorece al proceso estudiado, así como un 10.42 % donde no se encontraba trabajando. Los valores de porcentaje trabajando, obtenidos, son bastante altos, lo cual refleja que la maquinaria se está trabajando casi el 90 % del tiempo y el tiempo restante se considera *muerto* en el que no se realiza trabajo, pero que es parte de la

construcción, ya que siempre hay factores que generan estos espacios que afectan la productividad. Sin embargo, específicamente para este caso se puede observar que la cantidad de trabajo realizada por la grúa es bastante buena.

Para el caso del ayudante de la grúa, se obtuvo un panorama completamente opuesto, donde el 92.71 % el trabajador no se encuentra trabajando ni realizando ninguna labor que aporte al proceso constructivo estudiado y solamente un 7.29 % del tiempo se encuentra trabajando mediante acciones de trabajo productivo y contributivo en conjunto, lo cual realmente es un rendimiento bastante bajo del trabajo realizado por parte de dicha persona. En el caso de los armadores se obtuvieron algunas diferencias en los porcentajes de trabajo obtenido, los cuales se pueden entender mejor con los resultados del estudio de *crew balance* que se mencionará posteriormente, sin embargo, para el armador 1,3 y 4, los porcentajes de trabajo oscilaron entre los 71.67 % hasta los 76.04 % y no trabajando con valores de entre 23.96 % y 28.33 %, lo cual permitió ver que los armadores tenían un buen porcentaje de trabajo realizado entre trabajo productivo y contributivo, así como un valor regular en el caso de no trabajando, ya que no era un valor demasiado alto, pero que podría mejorarse con algunas observaciones que se detallaran más adelante. El armador 2 fue el que tuvo resultados un poco menores, ya que el 63.54 % del tiempo se encontraba trabajando y un 36,46 % se encontraba no trabajando y se considera un desempeño normal o regular que también podría mejorarse.

La figura 7 muestra los resultados del método de *crew balance*, donde se puede observar que para el caso de la grúa, el 85.63 % del tiempo, se pasaba sosteniendo la armadura, lo cual era necesario para realizar los empalmes entre los cuerpos de acero, además, el 10.21 % la grúa se encontraba esperando, esto debido principalmente a que algunos cuerpos llegaban al campo sin algunos accesorios fijados con alambre, como lo son las varillas donde se engancha la armadura con la grúa, así como amarras sueltas que debía terminarse en campo y generaban tiempos muertos para la grúa, también se obtuvo que el 4.17 % del tiempo se invertía en recoger la armadura, este proceso consideraba el tiempo que se demoraba la grúa para acercar y sujetar un cuerpo nuevo para

empalmarlo, se realizaba al menos 2 veces en cada pilote, dependiendo de la profundidad del pilote y la cantidad de cuerpos necesarios.

Para el caso del ayudante de la grúa, el 92.92 % del tiempo no hacía nada relevante al proceso, lo cual se debía principalmente a que mientras realizaban los empalmes, el ayudante de la grúa no tenía prácticamente nada que hacer en ese proceso, y además de esto, los mismos armadores muchas veces suplían la labor del ayudante de la grúa, sin embargo, al igual que en el caso del ayudante de la perforadora, era necesario tenerlo para asistir al operador de la grúa, cuando era necesario. El 3.96 % del tiempo realizaba la labor de enganchar los cuerpos, ya que principalmente esta era su función, la cual como se mencionó anteriormente, algunas veces era realizada por los mismos armadores. Solamente el 1.67 % pasaba dirigiendo a la grúa para las maniobras que debía realizar y 1.46 % ayudaba en alguna labor relacionada al proceso, como jalar varillas o ayudar a acomodar la armadura.

En el caso de los armadores, El primero estuvo armando 24.79 % del tiempo, lo cual fue bastante poco considerando que es la actividad estimada como el trabajo productivo, lo cual indica que la productividad de este trabajador fue muy baja, además, se obtuvo que el 36.25 % del tiempo se encontraba alistando la armadura, donde principalmente alistaba las agarraderas de la armadura, así como fijación de los tubos y demás detalles que pudieran faltar para poder utilizar dicha armadura y empalmarla, se consideró que es un porcentaje bastante alto, más, sin embargo se consultó al ingeniero y explicó que era necesario ajustar los cuerpos de acero debido al movimiento que se generaba en el transporte y que podían aflojar las amarras. Además, sumado a esto, el 8.13 % del tiempo, se dedicaba a ayudar en labores de acomodar la armadura, sostener cuerdas para dirigir el cuerpo que se iba a colocar y acciones similares de apoyo al proceso. Solamente un 1.04 % era dedicado a traer herramientas, lo cual indica que tenía a mano lo que necesitaba para trabajar. El 29.79 % del tiempo, el trabajador no se encontraba realizando ninguna labor que aportara a la productividad del proceso, lo cual también se considera que es un porcentaje bastante alto de trabajo no productivo. El caso del trabajador cuatro es similar al del trabajador uno, solamente que 40 % del tiempo desarrollaba trabajo

productivo, armando los empalmes del acero, así como ajuste de los tubos para las pruebas de control de calidad, además, el 22.29 % alistaba armadura con acciones como las mencionadas para el caso del armador uno, un 27.71 % donde no hacía nada, simplemente se quedaba de pie, viendo o revisando el teléfono, también solamente un 8.54 % ayudaba en acciones mencionadas con el trabajador 1 y un 1.46 % traía alguna herramienta o separadores utilizados en la armadura para evitar el contacto del acero con la pared de suelo y generar el recubrimiento necesario para proteger la armadura.

Para el caso de los armadores dos y el tres, los porcentajes de armado eran superiores a los armadores uno y dos, esto debido principalmente a que solamente el 2.71 % y 2.08 % del tiempo de los trabajadores dos y tres eran invertidos en alistar la armadura, debido a que esta labor se recargaba en los otros dos trabajadores y ellos aprovechaban para armar entre dos los empalmes. El 49.17 % y el 60 % del tiempo respectivamente para los armadores dos y tres era gastado armando, lo cual quiere decir que desempeñaban acciones relacionadas con los empalmes de varillas y tubos, así como poner los separadores a la armadura.

Sin embargo, el 36.46 % y el 29.17 % respectivamente, los trabajadores dos y tres no realizaban ningún trabajo, lo cual son valores muy altos de trabajo no productivo y solamente el 9.38 % y 8.75 % respectivamente, era para ayudar en acciones antes mencionadas para los trabajadores uno y cuatro. También el trabajador dos, normalmente no traía ninguna herramienta o solamente 1.46 % del tiempo del trabajador tres era gastado para este fin, lo cual ratifica que las herramientas necesarias estaban cerca. Lo anterior se debe a que básicamente se utilizaban dos herramientas, una "llave perro" para conectar los tubos y una tenaza para los empalmes. De hecho, lo único que se pudo observar que debían traer de un lugar a otro eran los conectores de los tubos, así como tapas para los tubos y separadores para la armadura.

Si se consideran las actividades de cada trabajador, se puede sumar las que son trabajo productivo, contributivo y no productivo, como se muestra en el gráfico 8, así que para la grúa se obtuvo que el 85.63 % del trabajo era productivo, el 4.17 % era contributivo y el 10.21 % era no productivo, lo cual refleja que la productividad de la grúa individualmente era bastante buena, sin

embargo los tiempos de espera están directamente relacionados para tener que alistar parte de la armadura en campo, lo cual afecta la productividad del subproceso en general. Para el caso del ayudante se tenía que el trabajo productivo alcanzaba apenas el 5.63 %, el contributivo 1.46 % y no productivo 92.92 %, lo cual son números muy desfavorables para dicho trabajador y muestra que el trabajo realizado era mínimo y que debería mejorarse, por lo que más adelante se proponen algunas alternativas para mejorar la productividad.

Para el caso de los armadores uno y cuatro, se tiene respectivamente lo siguiente: 24.79 % y 40 % corresponde a trabajo productivo, 45.42 % y 32.29 % son de trabajo contributivo y 29.79 % y 27.71 % son del trabajo no productivo. Los datos anteriores permiten ver que la productividad obtenida para estos trabajadores es baja, debido a que el trabajo contributivo es muy alto, así como el trabajo no productivo y hay mucho que se puede mejorar.

Para el caso de los trabajadores dos y tres, se tiene respectivamente que el 49.17 % y 60% corresponde a trabajo productivo, el 14.38 % y 10.83 % es trabajo contributivo y el 36.46 % y 29.17 % se refiere a trabajo no productivo. Estos datos permitieron ver que la productividad de los trabajadores dos y tres era bastante superior a los trabajadores uno y cuatro, los cuales tomaban gran parte del tiempo para alistar la armadura a diferencia de los armadores uno y dos. Sin embargo, los porcentajes de tiempo en donde los trabajadores dos y tres son similares o incluso mayores a sus compañeros, por lo que es importante realizar mejoras en el proceso y se mencionaran más adelante.

Para el estudio realizado para el proceso de colado de concreto, se evaluó el trabajo realizado por cada trabajador y maquinaria de la siguiente manera: para el caso del camión mezclador de concreto, se consideró trabajo productivo cuando se encontraba descargando concreto al pilote, trabajo contributivo cuando se encontraba cambiando de vehículo mezclador y se consideró no productivo cuando la concretera debía esperar o simplemente no hacía nada que aportara al proceso de colado. Para el caso de la grúa, se consideró trabajo productivo cuando se encontraba sosteniendo la tubería mientras se colaba el concreto, contributivo cuando debía quitar los tubos que se indicaban según iba subiendo el nivel de concreto y finalmente se

consideró trabajo no productivo cuando debía esperar a que el camión mezclador se acomodara o se alistara todo lo necesario para poder continuar la descarga del concreto.

El ayudante de la grúa se evaluó como trabajo productivo cuando se encontraba colando, dirigiendo o dando mantenimiento a la maquinaria, ya que estas eran sus funciones principales. Se consideró contributivo cuando ayudaba a quitar los tubos, a medir, ayudando en la zona de trabajo, además se consideró no productivo cuando no hacía nada o no estaba presente en campo. Se tomó en cuenta las veces que no estaba presente para evaluar que tan indispensable era su presencia en el proceso de colado, al igual que algunos trabajadores que eventualmente no se presentaron a las coladas porque estaban en otra zona del proyecto, colaborando en otros procesos.

Para el caso de los ayudantes uno y dos, su trabajo productivo consistía en sostener la cabeza de los tubos por donde se descargaba el concreto, para evitar que se pasaran grumos de cemento no deseados en el pilote. El trabajo contributivo era cuando debían quitar los tubos que ya no se necesitaban, medir la distancia desde el nivel de terreno hasta donde se encontraba el concreto, traer alguna herramienta, ayudar en alguna labor relacionada con el proceso, como acomodar las varillas o la base donde se sentaba la tubería de descarga de concreto, así como acomodar las luces que en algunos casos eran indispensables debido a que algunas chorreas eran de noche, finalmente para estos trabajadores se consideró trabajo no productivo cuando no se encontraban presentes o se encontraban esperando por el concreto o que acomodaran la tubería con la grúa. Para el caso del ayudante tres, aplica lo mismo que para los dos anteriores, sin embargo, hay que agregar que se consideró también trabajo productivo mientras se encontraba lavando tubos y contributivo, cuando debía encender la bomba de agua para lavar dichos tubos, la cual normalmente se encontraba bastante lejos alrededor de 30 o 40 m de distancia.

Se puede observar en el gráfico 9, donde se muestran los resultados de dicha cuadrilla, en la cual se determinó, que el 39.34 % era trabajo productivo realizado por los trabajadores en conjunto, según el método de *Work sampling*, siendo este el resultado más bajo de los tres procesos, y considerando el resultado, según

Botero (2002), la eficiencia de la productividad es muy baja para este proceso. El trabajo contributivo obtenido fue de 20.56 %, lo cual es un valor cercano al deseado, sin embargo, el trabajo no productivo fue del 40.10 %, lo cual representa un porcentaje considerable de tiempo donde no se realizaba ningún trabajo que contribuyera al proceso constructivo.

En el gráfico 10, se muestra el resultado obtenido por la técnica de *Five minute rating* para cada trabajador. En el caso de los camiones mezcladores de concreto, el 89,38 % del tiempo se encontraban realizando trabajo, ya fuera productivo o colaborativo y un 10.63 % se encontraban no trabajando, lo cual es un porcentaje deseable para dicho equipo al ser un valor relativamente bajo. En el caso de la grúa, el 85 % del tiempo, se encontraba trabajando en labores que aportaban directa o indirectamente dicho proceso y un 15 % no trabajando, lo cual seguía siendo un valor óptimo según Botero & Álvarez (2004) para un trabajo no productivo. El caso del ayudante de la grúa, el porcentaje no trabajando fue del 87.08 %, lo cual era muy alto y preocupante, debido a que este trabajador realizaba apenas un 12.92 % del tiempo se encontraba trabajando, lo cual era un resultado negativo para este trabajador y sus causas se pueden ver reflejadas en el gráfico 11 de *crew balance*. En el caso de los ayudantes uno, dos y tres, se tiene que el 65.63 %, 52.92 % y 56,67 % respectivamente, fueron los valores obtenidos para cuando se encontraban trabajando. Estos resultados muestran que el trabajo realizado debería mejorar, ya que los porcentajes de no trabajando los cuales fueron 34.38 %, 47,08 % y 43.33 % respectivamente, son valores muy altos y afectan el desempeño global del subproceso.

El gráfico 11 muestra los resultados de *crew balance* para la cuadrilla antes mencionada, para el caso de un camión mezclador de concreto, el 52.08 % pasaba descargando concreto, lo cual se definió como colando, así mismo el 35 % se demoraba cambiando de un camión mezclador de concreto a otro. Cabe destacar que este porcentaje es un poco alto y podría mejorarse, ya que en este caso se consideró desde que el camión mezclador de concreto dejaba de descargar y volvía la siguiente, muchas veces las muestras para laboratorio atrasaban dicho proceso. También, el 11.67 % debía esperar principalmente porque los

tubos se estaban quitando y el 1.25 % representa otro tiempo muerto donde no se realizaba nada.

La grúa, al igual que el encargado del camión mezclador, se dedicaba a colar el 52.08 % del tiempo, el 31.46 % debía quitar tubos y alistar la tubería para continuar la chorrea, así como un 16.04 % donde debía esperar a que la mezcladora de concreto se acomodara y un 0.42 % donde no hacía nada. En el caso del ayudante de la grúa, cabe destacar que el 50% del tiempo no se encontraba en las descargas de concreto, esto debido principalmente a que su jornada laboral habitual terminaba a las 4 p.m. y muchas de las coladas se realizaban de noche. Además de esto, el 37.08 % del tiempo no hacía nada y esto es considerando solamente las veces que se encontraba presente, durante la colada, solamente el 3.54 % se dedicaba a colar y lo hacía porque faltaba algún ayudante y debía colaborar para cubrir ese puesto, el 5.63 % corresponde a mantenimiento de la maquinaria como limpieza y engrase, lo cual se realiza eventualmente según se requiera, también en algunos casos ayudaba a quitar los tubos, lo cual correspondía a un 1.67 % y un 0.83 % dirigía a la grúa, lo cual es demasiado bajo considerando que es una de sus principales funciones, sin embargo cabe destacar que para la hora de la colada, los mismos ayudantes colaboran a dirigir la grúa, por lo que el trabajo del ayudante de la grúa es bastante escaso.

En el caso de los ayudantes uno y dos, se tiene que el 41,67 % y el 33.54 % del tiempo se encontraban colando, lo cual comparado con la grúa y el camión mezclador es menor e indica que no siempre estaban simultáneamente los dos trabajadores, sino que en algunos casos uno se dedicaba a otras labores o simplemente no hacía nada. El 5.42 % y 3.75 % representan tiempos de espera, donde debía dar tiempo a la mezcladora o la grúa para que alistara todo para chorrear. También el 17.71 % y 21.88 % los trabajadores uno y dos, respectivamente, no hacían nada, lo cual es muy negativo para la productividad de la cuadrilla. Además, el 8.13 % y 7.08 % del tiempo debían quitar la tubería conforme subía el nivel de concreto en el pilote. El 6.25 % y 5.42 % respectivamente los trabajadores debían medir la profundidad del pilote para ver a cuántos metros estaba el nivel de concreto y así determinar cuántos tubos sacaban y cuánto concreto aproximadamente necesitarían en el cierre, 12.5 % y 25 % se ausentaron los trabajadores

mencionados, lo cual realmente no afectaba la colocación del concreto ya que siempre había suficientes personas para realizar la colada ya que normalmente faltaba una persona solamente, cuando no estaba la cuadrilla completa por algún motivo. El 1.46 % y el 0.63 % corresponden a los ayudantes uno y dos, dirigiendo a la grúa y para el caso del ayudante uno, el 3.33 % fue cuando debía traer herramientas como machetes o pala. En el caso del trabajador tres, su principal función era lavar los tubos, y el 25.42 % correspondía a esta labor, el 7.29 % colaboraba en el colado, principalmente cuando faltaba algún compañero, así como un 12.71 % quitando tubos que también era de sus funciones principales, sin embargo, el 49.58 % no hacía nada, lo cual refleja que casi la mitad del tiempo no trabajaba en nada productivo. Además, el 3.13 % era necesario para ir a encender la bomba, la cual se encontraba un poco lejos, debido al diseño de sitio, y solamente un 1.46 % ayudaba en labores como acomodar la manguera para poder lavar los tubos.

Individualmente, con el gráfico 12, se tiene lo siguiente, sabiendo de antemano cuáles son las acciones consideradas como productivas, contributivas o no productivas para cada trabajador. Para la mezcladora de concreto, el 52.08 % es trabajo productivo, el 35 % es trabajo contributivo y el 12.92 % corresponde a trabajo no productivo, lo cual refleja una productividad de dicho equipo como bajo, según Botero 2002, debido principalmente a la cantidad de trabajo contributivo que es mayor que el deseado para el campo de la construcción. En el caso de la grúa, el 52.08 % era trabajo productivo, el 31.46 % trabajo contributivo y el 16.46 % trabajo no productivo, lo cual refleja una situación similar a la del equipo anterior en cuanto a resultados y causas. En el caso del ayudante de la grúa, solamente el 10 % corresponde al trabajo productivo, un 2.92 % de trabajo contributivo y un 87.08 % de trabajo no productivo, en este caso, es notable que la productividad de dicho trabajador fue baja en los procesos de colado y armadura, sin embargo en este caso se ve muy afectado debido a que muchas veces no estaba presente en las coladas, ya que algunas se realizaban en la noche y el ayudante ya no se encontraba en campo, también hay que rescatar que el ayudante de grúa trabajaba un poco más en actividades previas, como cargar la armadura para transportarla al proyecto, así como descargarla, además de encargarse de banquear

la grúa cada vez que se iba a realizar algún trabajo con la misma. Para el ayudante uno, el 41.67 % correspondía a trabajo productivo, el 35.63 % era trabajo contributivo y el 22.71 % trabajo no productivo, lo cual muestra que el trabajador tenía una productividad baja, la cual se ve afectada por la cantidad de trabajo no productivo y trabajo contributivo. El ayudante dos, el 33.54 % era trabajo productivo, 15.84 % trabajo contributivo y 50.63 % trabajo no productivo, en este caso el trabajador obtuvo una productividad muy baja debido a la gran cantidad de trabajo no productivo que realizaba, y la cual en parte se debía a que algunas veces el trabajador se ausentó porque debía estar en otro sector del proyecto, apoyando otras labores. Para el ayudante tres, el 32.71 % era trabajo productivo, el 17.72 % trabajo contributivo y el 49.58 % corresponde al trabajo no productivo, lo cual son valores muy poco productivos para este trabajador también evaluado de manera individual.

Productividad cualitativa

Causas de baja productividad

Con el fin de evaluar de una manera más integral la productividad del proceso constructivo de pilotes, se realizó un diagrama de Ishikawa, el cual se muestra en la figura 24, la cual comprueba las principales causas que generan baja productividad. Esto se logró durante los meses en que se estuvo en campo observando el proceso y tomando mediciones, lo que permitió ver algunas causas más globales que afectan también la productividad en la construcción de pilotes.

El gráfico mencionado anteriormente, se divide en cuatro grandes grupos donde se puede evaluar desde distintos puntos de vista las causas que afectan la productividad. Desde el punto de vista de materiales, equipo y maquinaria, se pudo observar que la falta de materiales y el retraso de estos es una de las causas más importantes que afectan la productividad, esto debido a que en muchos casos las perforaciones se realizan y los materiales principales, como lo son el acero y el concreto no estaban a tiempo en campo como para tener una continuidad del proceso. En el caso del acero, lo que se pudo saber por parte

del ingeniero a cargo, es que la empresa que realiza los armados de los cuerpos de acero en muchos casos incumple con los pedidos de la empresa, provocando algunas veces retrasos de horas o incluso que un pilote no se pueda colar hasta el día siguiente debido a esta situación, aunque también, existían retrasos en los pagos acordados.

En el caso del concreto, el proveedor del concreto era la planta de la empresa que se encontraba en la colima de Tibás, cerca de la zona del proyecto, sin embargo, dicha planta era la encargada de abastecer todo lo referente a concretos del proyecto y los volúmenes diarios de concreto eran bastante altos, ya que se fabricaban elementos prefabricados, así como los elementos estructurales que se construían en campo. En algunos casos, el pilote estaba listo para colar, pero simplemente no había disponibilidad por parte de la planta debido a que estaban enviando concreto a otras zonas que el proyecto requería.

Otro de los factores que afectaban, era que, en algunos casos, el equipo de la cuadrilla de pilotes era solicitado por otros ingenieros dentro del proyecto que requerían ejecutar alguna actividad y necesitaban del equipo de pilotes, en este caso se pueden mencionar la retroexcavadora, la tanqueta y la grúa principalmente. En algunas actividades paralelas a la construcción de pilotes, como es el caso de la soldadura requerida para preparar y dar mantenimiento a las herramientas de corte, tuberías y reparaciones que impliquen soldadura, se notó que el trabajo realizado por el soldador se veía muy poco productivo, debido a que faltaban elementos necesarios para desarrollar su trabajo, tanto en herramientas como en materiales, así como para el caso de reparaciones de tuberías de agua potable, por ejemplo, que debían arreglarse con el ingenio de los trabajadores, ya que se carecían de herramientas básicas para ese fin, probablemente por tratarse de actividades de menos importancia para la empresa, pero que eran daños causados por la maquinaria de la empresa y debían solucionarse.

Las pruebas de laboratorio que se debían realizar al concreto en algunos casos también generaban retrasos, esto porque por motivos desconocidos, los camiones mezcladores de concreto, llegaban al campo y pasaban bastante tiempo esperando a que al menos tres de estos se encontraran listos para descargar, y las

pruebas de laboratorio se realizaban con muy poco tiempo antes de iniciada la colada, lo que generaba que la primera descarga terminara y no se pudiera continuar con la siguiente porque se debía realizar las pruebas necesarias al concreto de la siguiente mezcladora. Con el acero se observó que, en algunos casos, el acero llegaba con algunos elementos que se debían terminar en campo, lo que también generaba atrasos en el proceso de la colocación de la armadura o incluso cuerpos que no correspondían a dicho pilote.

Desde el punto de vista de la mano de obra, se pudo observar que la cantidad de los trabajadores en algunos de los procesos era mayor a la realmente necesaria. En el caso de la perforación, se observó que se tiene la cantidad mínima posible, ya que solamente era el operador y el ayudante de la perforadora, sin embargo, en el caso de la colocación de la armadura, la cantidad de armadores eran cuatro, los cuales en algunos casos perdían mucho tiempo porque otros de sus compañeros compensaban cuando no trabajaba alguno, y se pudo determinar en la sección de productividad cuantitativa, que la productividad de los cuatro armadores, era baja o muy baja.

Además, el ayudante de la grúa realmente no tenía casi nada de participación en el proceso, ya que era prácticamente innecesario debido a que en muchos casos su labor era cubierta por los armadores. Incluso, en algunos casos, solamente llegaban tres armadores al campo y desarrollaban sin problemas el armado de los cuerpos de acero, sin embargo, las mediciones se realizaron cuando estaba la cuadrilla completa. En la cuadrilla de colocación de concreto pasa de manera similar, ya que, en la mayoría de los casos, los trabajadores al ser tantos, tenían muy poco trabajo que hacer, como se mostró anteriormente con ayuda de los gráficos de productividad cuantitativa. En algunos casos, algunos de los trabajadores se ausentaban, como era el caso de alguno de los ayudantes del colado o de la grúa, sin embargo, el colado se terminaba de manera normal ya que, por ejemplo, los días en que faltaba algún ayudante de colado, se distribuían el trabajo entre los tres ayudantes que quedaban, considerando el de la grúa y no tenían ningún inconveniente. De igual manera cuando faltaba el ayudante de la grúa, sus labores se cubrían sin problemas con los que estaban presentes. Lo anterior permitió

ver de manera general, que las cuadrillas tienen baja productividad debido a que el número de trabajadores no es el óptimo, debido a que algunas tenían más trabajadores de los que en realidad requerían, lo cual hacía que la distribución de las tareas fuera holgada y generara baja productividad.

Las instrucciones claras en la distribución de las tareas también era un factor que afectaba, ya que, en algunos casos, aunque el proceso era repetitivo, al tratarse de una zona de trabajo tan extensa, implicaba que se giraran siempre instrucciones por parte de los encargados, las cuales muchas veces debían pasar por los ingenieros, luego por el maestro de obras y en algunos casos por otros trabajadores que alteraban la clara comunicación de lo que realmente se requería hacer. Sumado a esto, en algunos casos, la falta de experiencia en las labores de construcción de pilotes, se reflejaba en algunos trabajadores, los cuales muchas veces demoraban más tiempo que otros o trabajaban menos que otros a la hora de realizar alguna actividad. Además, en muchos casos se rotaba el personal para diferentes labores, lo cual no permitía desarrollar mejor la experiencia de cada trabajador en cada proceso que le correspondía.

Otro aspecto importante era las condiciones de seguridad, ya que en el proyecto se realizaban movimientos de tierra importantes, se trabajaba en zonas con exposición o riesgos de caídas o deslizamientos, los cuales muchas veces contaban con poca señalización o señalización mínima, lo cual requería de un esfuerzo adicional para los trabajadores respecto al cuidado que debían tener a la hora de desarrollar sus trabajos.

En la perspectiva del diseño de sitio, se pudo observar que era algo que no se analizaba demasiado, debido a que básicamente, todos los días debían cambiar de sitio de trabajo, aunque se trataba de distancias cortas en la mayoría de las veces, algunas ocasiones debían pasar de un sector del proyecto a otro, lo cual también afectaba mucho, ya que esa labor atrasaba prácticamente un día las labores de la construcción de pilotes y en algunos casos se realizaba todo ese esfuerzo para uno o dos pilotes y se devolvían al sitio anterior, estos cambios de sitio, generaban baja productividad ya que se perdía demasiado tiempo trayendo el equipo de una parte del proyecto a otra. En

algunos casos se debía al hecho de que había pilotes que eran más urgentes que otros, o que no se contaban con ciertos permisos por parte de la administración de la empresa para perforar, lo cual debería manejarse con mejor organización para optimizar tiempos. Habitualmente lo que se hacía era acomodar todo de la mejor manera sin pensar demasiado en los tiempos perdidos por las distancias de acarreo o necesarias para acomodar el equipo. Un aspecto importante, es que, a pesar de los esfuerzos de la empresa por velar por la seguridad de los trabajadores, la mitigación de los riesgos es algo que no se consideró demasiado importante para la empresa, puesto que, en muchas zonas de trabajo, existían gavetas o huecos con profundidades importantes que tenían poca o nada de señalización, además de alto tránsito de maquinaria pesada y muchos escombros. La prevención de accidentes es vital en la construcción, debido a que el tipo de trabajo que se realiza, conlleva a muchos riesgos asociados a los procesos constructivos.

Otro aspecto que afectaba era el difícil acceso al proyecto, tanto por encontrarse en una zona de tránsito vehicular importante, como por la topografía del proyecto, donde en algunos casos había pendientes importantes y con suelos lodosos que en tiempo de lluvias podrían generar accidentes importantes, ya que las maquinarias utilizadas eran muy pesadas.

En relación con la ubicación del proyecto, se observó, aparte del difícil acceso y las condiciones del terreno antes mencionadas, que el polvo en muchos casos era realmente preocupante, debido a que, al estar en época de verano, la intensidad del sol contribuía a que los suelos se secaran y los vientos de la zona levantaran grandes cantidades de polvo que afectaban a los trabajadores, los cuales tenían que utilizar lentes para mitigar un poco la afectación del polvo, con ayuda también de una tanqueta que muchas veces resultaba insuficiente debido a las grandes áreas de trabajo que habían en el proyecto.

Además, en algunas zonas como en el triángulo de la solidaridad, se presentaban asentamientos informales de personas que vivían a la par del proyecto, lo cual en muchos casos se prestaba para distraer a los trabajadores que en ocasiones conversaban con los vecinos e incluso tomaban parte de su tiempo de trabajo para ir a comprar alimentos que vendían dentro de los

asentamientos informales, lo cual además de provocar baja productividad, podría implicar riesgos de salud. Además de esto, el acceso al agua era un poco limitado, normalmente se utilizaba una hielera con agua que en ocasiones se mantenía a temperatura ambiente o un poco más caliente debido al sol, ya que solo en ocasiones se utilizaba hielo, esto en parte afectaba debido a que los trabajadores requerían hidratarse de manera apropiada para hacerle frente al calor habitual en la época de verano. En el caso de los residuos generados en la construcción, muchas veces es complicado sacarlos del proyecto, por lo que se iban acumulando y generaban más escombros, lo cual complica el movimiento de los trabajadores y la maquinaria.

Propuesta de mejoras a los subprocesos de pilotes.

En el proceso de perforación se determinó mediante diferentes métodos, la productividad, la cual se vio afectada principalmente por el poco aporte del ayudante de la perforadora. En este caso, a pesar de que el ayudante aporta poco trabajo a la cuadrilla, es indispensable que se encuentre presente en el tiempo de perforación o al menos cerca, sin embargo, puede asignársele algunas tareas complementarias a dicho trabajador para que tenga un mejor rendimiento de su trabajo, como asistir a otras cuadrillas que se encuentren cerca del sitio de perforación y que necesiten ayuda, o realizar alguna actividad que le permita asistir a la perforadora y aportar en alguna otra labor. Además de esto, se recomienda utilizar la lista de verificación del cuadro 13, ya que permite evaluar algunas acciones básicas o herramientas necesarias en el proceso de perforación y que en algunos casos afectan la productividad ya que, por ejemplo, con el caso de ciertas herramientas o elementos que son indispensables y se requieren siempre y el ayudante no los tenía a mano y debía gastar tiempo en traerlos en vez de tener todo listo desde el principio. El cambio de los dientes en las herramientas de corte, muchas veces se realizaban en medio de las

perforaciones, lo cual implicaba que la máquina se detuviera y esperara al ayudante a que hiciera dicho cambio, por lo que se recomienda realizar los cambios de dientes cuando las herramientas estén sin usarse, o revisarlas antes cada vez que inicie una perforación para mejorar la productividad. También es importante coordinar de una manera más eficiente con los ingenieros de Topografía, ya que en muchos casos se generan retrasos debido a esto, y simplemente lo que se debe realizar es estar más pendiente y coordinar con mayor anticipación con los topógrafos.

Se considera que el *back hoe* es de mucha importancia en este proceso de perforación, no solo para retirar el material excavado, sino también para asistir a la perforadora en acercar las herramientas de corte, ya que son muy pesadas y esta es una labor que no siempre se realiza, el operador del *back hoe* debería acercar desde el principio las herramientas más básicas de corte y limpieza de la perforación, ya que el ayudante no puede asistir en esto a la perforadora, y si la perforadora se va a buscar las herramientas de corte se pierde demasiado tiempo, ya que es un equipo de oruga que su desplazamiento es lento, además de tener que acomodarse nuevamente. Habitualmente las perforaciones se tardan alrededor de tres a seis horas, dependiendo del tipo de suelo un poco más o un poco menos, lo cual, permitiría realizar al menos dos perforaciones diarias, ya que la jornada inicia a las 6 am aproximadamente hasta las 10 de la noche, sin embargo, normalmente se perfora solamente un hueco o en algunos casos dos por día, esto debido a atrasos en los subprocesos siguientes a la perforación, por lo que es necesario realizar un esfuerzo para mejorar la coordinación con el acero y la planta de concreto para garantizar el suministro de los materiales y poder tener un mejor aprovechamiento de la maquinaria de la empresa. Una vez que se trabaje en esta coordinación, podría establecerse una rutina diaria, que permita perforar en el transcurso de la mañana hasta las 2 o 3 de la tarde, lo cual permitiría también coordinar con anticipación que el acero y los armadores se encuentren en campo cerca de las 9 am en adelante. Esto lo permitiría la continuidad que no se tiene actualmente, debido a los atrasos en el concreto y el acero. La idea es poder perforar y armar durante el día y hasta la tarde, debido a que estos subprocesos, teniendo el material en sitio, es viable tener listo los pilotes para el colado a tempranas horas de la noche, alrededor de las 6 p.m. en adelante, sin embargo, para lograr colar y completar

los pilotes es necesario garantizar el concreto para pilotes a esas horas y darle prioridad. Según se pudo observar en la construcción, no hay un orden para el colado de los pilotes y demás elementos que se construyen en el proyecto, lo cual es una de las principales causas para los retrasos del concreto en los pilotes, por lo que la empresa debe hacer un esfuerzo para organizar todas las actividades que requieren concreto y acordar horas aproximadas de colado, que permita garantizar el concreto a tiempo a todos los frentes de trabajo.

Se observó que se disponía de una planta para abastecer todo el proyecto, sin embargo, abastecer un proyecto de tal magnitud, donde todos los días se requerían grandes cantidades de concreto en varios frentes de trabajo, muchas veces no era suficiente, por lo que podría ser razonable hacer un estudio de viabilidad para ampliar la capacidad de la planta que estaba en el proyecto o adquirir una planta que complemente la existente, igualmente en el caso del acero, puede valorarse el contratar otras empresas que trabajen el acero, ya que la cantidad requerida en el proyecto es muy alta y con la empresa que tenían no daban abasto. La idea es poder darle un uso optimizado a la maquinaria y al personal de pilotes, ya que debido a la falta de materiales y algunas causas ya mencionadas afectaban la productividad del proceso de pilotes en general. La intención con esta propuesta es poder colar más pilotes diarios en los estratos de suelos menos resistentes al corte, ya que había días en que no se lograba colar por los atrasos en el acero o en el concreto y se acumulaba el trabajo para el siguiente día, atrasando el nuevo ciclo de perforación.

En el subproceso de la colocación de la armadura, se recomienda valorar la cantidad de trabajadores de la cuadrilla, ya que, según los resultados obtenidos, la productividad de dicha cuadrilla es baja, lo cual se debe a varios factores que ya se mencionaron en los resultados de productividad cuantitativa, sin embargo, cabe mencionar que la cantidad de trabajadores hace que el desempeño individual sea bajo, por lo que es válido pensar en que la cuadrilla posee más trabajadores de los que realmente necesita, por lo que podría ser interesante trabajar con al menos un armador menos normalmente, ya que ocasionalmente se ha hecho de esa manera y no hay afectación en el subproceso. Además, es necesario implementar la lista de verificación del cuadro 14 referente a colocación de la armadura, ya que había muchas herramientas y elementos que se necesitaban todo el tiempo y muchas veces los

armadores andaban buscando en los alrededores lo que necesitaban para la colocación de la armadura y perdían tiempo valioso.

Para el caso de la colocación del concreto, es importante mejorar la forma en que se realizan las pruebas de laboratorio, ya que en muchos casos generaban atrasos debido a que no se realizaban con anticipación, cuando los camiones mezcladores estaban en campo y en algunos casos interrumpían la colada para sacar las muestras del concreto. Sería de utilidad en este subproceso, hacer uso de la lista de verificación de colado de concreto que se encuentra en el cuadro 15, para tener todos los implementos necesarios cerca y evitar perder tiempo de manera innecesaria.

También vale la pena valorar la distancia a la que normalmente se coloca la tanqueta de agua para lavar los tubos, ya que muchas veces se encontraba bastante lejos y el ayudante encargado de lavar debía desplazarse bastante para encender la bomba de agua. En esta cuadrilla de colado, la cantidad de trabajadores también muestra ser más de la que realmente se necesitan, ya que la productividad de la cuadrilla es baja y según se observó en los gráficos obtenidos por los diferentes métodos evaluados, individualmente, los trabajadores pasaban mucho tiempo sin hacer nada. Algunas veces faltaba algún ayudante de colado y no era necesario sustituirlo, ya que, con dos ayudantes, se observó que era suficiente para la colada, pues normalmente hay dos personas trabajando con los tubos, sosteniéndolos o quitándolos cuando se requería, mientras que el tercero simplemente no hacía nada y esperaba a que quitaran tubos para empezar a lavarlos. En los casos en que algún ayudante faltaba, sin dificultad, el ayudante que lavaba los tubos bajaba a colaborar al que quedaba con los tubos y realizaban de manera más eficiente el trabajo.

Al final de la práctica se pudo observar que la cuadrilla de pilotes también tenía a cargo otras construcciones complementarias eventuales, como la construcción de un muro pasivo con anclajes, por lo que en algunos lapsos del día los trabajadores pasaban realizando trabajo en otras zonas del proyecto. Ese tipo de trabajos paralelos al trabajo de pilotes, podría mejorar el trabajo de las cuadrillas propias de pilotes, ya que podría asignársele más tareas a los ayudantes de la perforadora y grúa, para que sus compañeros puedan avanzar en otras actividades que puedan surgir simultáneas a la construcción de pilotes y sea asignada a esta misma cuadrilla, por ejemplo, en las horas donde se deba

trabajar en otras actividades complementarias como el muro anclado, se puede dejar a los ayudantes de la perforadora y de la armadura asistiendo en procesos de colado si se realizara en tiempos donde coincidan con los horarios de trabajo de los ayudantes, esto permitiría obtener más productividad por parte de los ayudantes de la perforadora y la grúa que eran los que tenían menor productividad. También, en general, por un tema de productividad y seguridad, es importante limitar el uso de los teléfonos celulares a todos los trabajadores, ya que en muchas ocasiones perdían tiempo y concentración, viendo los celulares, lo cual afectaba la productividad e implicaba un riesgo asociado debido a la peligrosidad del proceso constructivo, por lo que su uso debería ser solamente para lo indispensable.

Conclusiones

- 1) Para la construcción de pilotes, se puede subdividir el proceso en tres grandes subtarefas: la perforación, colocación de armadura y colocación de concreto, para las cuales se requiere una cuadrilla con suficiente equipo y personal que permita construir de manera eficiente los pilotes.
- 2) Los rendimientos promedio obtenidos para los 251 pilotes analizados fue de 10.551 ml/hperforadora para la perforación, el de la colocación de la armadura fue de 15.144 ml/hgrúa y la colocación del concreto fue de 37.503 ml/hgrúa.
- 3) El consumo total para los 251 pilotes analizados fue de 675.24 toneladas de acero y 6421 m3 de concreto, con un rendimiento promedio de 98.34 kg/ml para el caso del acero y 0.903 m3/ml para el caso del concreto, donde se determinó que el factor de desperdicio promedio del concreto fue de 12.5%, siendo mayor al utilizado en campo que es del 10%.
- 4) Los resultados de la productividad para los tres subprocesos según el método de *work sampling* fueron bajos, según Botero (2002), donde el resultado menor de productividad de la cuadrilla fue de 39.34 % para la colocación de concreto, seguida por la cuadrilla de perforación con 46.35 % y finalmente la cuadrilla de colocación de armadura con 46.77 %. Además, por el método de *five minute rating*, se determinó que, para el caso de la productividad de la cuadrilla de perforación, el ayudante de la perforadora fue quien contribuyó de manera negativa a la productividad debido a su poco trabajo, sin embargo, su presencia era indispensable. Para el caso de la colocación de la armadura, el ayudante de la grúa aportó de manera muy significativa a la baja productividad del proceso, así como los armadores que se encontraban no trabajando entre el 23.96 % y el 36.46 %. Para colocación del concreto, se considera que la productividad del proceso se vio afectada por el desempeño del ayudante de la grúa y los trabajadores que ayudaban en dicho proceso. Además, con la técnica de *crew balance*, se logró determinar las actividades que realizaban de manera independiente cada trabajador y maquinaria, lo cual permitió ver por qué la productividad era tan baja en los diferentes subprocesos.
- 5) Se estableció, para el proyecto de circunvalación norte, mediante el uso de un diagrama de Ishikawa, las principales causas de la baja productividad, enfocada en cuatro aspectos principales, la mano de obra, diseño de sitio, ubicación del proyecto, además de materiales, equipo y maquinaria.
- 6) No se recomienda utilizar los rendimientos de colocación de concreto en ml/hgrúa ni del acero en kg/ml, debido a los múltiples factores que generaron mucha dispersión en los datos obtenidos.

Recomendaciones

- 1) Valorar el número de trabajadores de la cuadrilla de colocación de armadura y de concreto, ya que se observó que dichas cuadrillas lograban efectuar su trabajo con un armador menos y un ayudante menos para el caso de la colocación de armadura y de concreto respectivamente. Para el caso de los armadores, también se pueden subdividir en grupos de dos para que se dividan la labor de alistado de la armadura y el empalme de los cuerpos para avanzar de manera más eficiente.
- 2) Se debería estandarizar las diferencias entre las perforaciones efectivas y las perforaciones reales, específicamente para la sobre perforación que se realizaba para generar un sello de concreto en la punta del pilote que era muy variable y afectaba tanto la perforación como el excedente de concreto requerido.
- 3) El rendimiento promedio de concreto de $0.903\text{m}^3/\text{ml}$ se ajusta mejor a los pilotes de 1 metro de diámetro y no se garantiza su fiabilidad en los pilotes de 1.2 m. Sin embargo, en los cierres puede ser útil para estimar el concreto necesario, así como el factor de desperdicio del concreto de 12.5 % que es el promedio obtenido en el proyecto y es mayor al que normalmente se utilizaba en campo que era del 10 %.
- 4) Se recomienda utilizar las listas de verificación en campo, las cuales pretenden mejorar la productividad a corto plazo del proceso de pilotes.
- 5) En el caso de la correlación del modelo geotécnico, se podría profundizar en dicho estudio, conociendo los espesores de los estratos perforados para poder generar rendimientos de perforación que relacione el rendimiento de la perforadora en cada estrato de suelo y no de manera general como se realizó en este trabajo.
- 6) Para el caso de los rendimientos de acero en kg/ml , se podría tipificar el tipo de armadura utilizado en los pilotes y comparar los rendimientos para cada tipo de armadura, ya que variaban de acuerdo con el diseño estructural.
- 7) Se recomienda estudiar posibles soluciones a las causas de baja productividad que no se abordaron en este trabajo.

Apéndices

Apéndice 1. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 3.							
PILA 3	Pilote 13	Pilote 14	Pilote 15	Pilote 16	Pilote 17	Pilote 18	Promedio
Diámetro (mm)	1200	1200	1200	1200	1200	1200	
Longitud Real Perforación(m)	38.00	38.20	38.30	38.50	38.50	38.40	38.32
Longitud efectiva de pilote(m)	36.50	36.50	36.50	36.50	36.50	36.50	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	4.11 %	4.66 %	4.93 %	5.48 %	5.48 %	5.21 %	4.98 %
Área(m ²)	1.131	1.131	1.131	1.131	1.131	1.131	
Volumen teórico de perforación(m ³)	42.98	43.20	43.32	43.54	43.54	43.43	43.34
Volumen teórico del concreto(m ³)	42.98	43.20	43.32	43.54	43.54	43.43	43.34
Volumen real concreto(m ³)	44.00	44.00	44.00	44.00	53.00	43.00	45.33
Desperdicio del concreto	2.38 %	1.84 %	1.58 %	1.05 %	21.72 %	-0.99 %	4.60 %
Tiempo de perforación(h)	3.87	3.83	2.75	2.17	9.00	6.92	4.76
Rendimiento de perforación (ml/h)	9.83	9.97	13.93	17.77	4.28	5.55	10.22
Tiempo de colocación de armadura(h)	2.00	2.75	2.08	4.27	2.92	2.92	2.82
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	19.00	13.89	18.38	9.02	13.20	13.16	14.44
Tiempo de colado del concreto(h)	1.13	1.03	1.17	1.08	1.27	1.68	1.23
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	33.54	36.98	32.82	35.54	30.39	22.81	32.01
Cantidad de acero (kg)	3936.00	3936.00	3936.00	3936.00	3936.00	3936.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	103.58	103.04	102.77	102.23	102.23	102.50	102.73
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.10	0.10	0.07	0.06	0.23	0.18	0.124
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/ton)	0.29	0.26	0.30	0.28	0.32	0.43	0.312
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	23.62						
Cantidad total de concreto de pilotes(m ³)	272.00						
Rendimiento del concreto de pilotes(m ³ /ml)	1.18						

Apéndice 2. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 4.						
PILA 4	Pilote 20	Pilote 21	Pilote 22	Pilote 23	Pilote 24	Promedio
Diámetro (mm)	1200	1200	1200	1200	1200	
Longitud Real Perforación(m)	36.80	37.00	36.50	36.50	36.40	36.64
Longitud efectiva de pilote(m)	34.50	34.50	34.50	34.50	34.50	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	6.67 %	7.25 %	5.80 %	5.80 %	5.51 %	6.20 %
Área(m ²)	1.131	1.131	1.131	1.131	1.131	
Volumen teórico de perforación(m ³)	41.62	41.85	41.28	41.28	41.17	41.44
Volumen teórico del concreto(m ³)	41.62	41.85	41.28	41.28	41.17	41.44
Volumen real concreto(m ³)	44.00	42.00	42.00	41.50	44.00	42.70
Desperdicio del concreto	5.72 %	0.37 %	1.74 %	0.53 %	6.88 %	3.05 %
Tiempo de perforación(h)	3.83	3.92	2.33	5.33	2.33	3.55
Rendimiento de perforación (ml/h)	9.60	9.45	15.65	6.85	15.62	11.43
Tiempo de colocación de armadura(h)	3.33	2.28	3.67	3.58	2.58	3.09
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	11.04	16.20	9.96	10.19	14.09	12.30
Tiempo de colado del concreto(h)	1.38	1.53	1.20	1.10	1.10	1.26
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	26.61	24.14	30.42	33.18	33.09	29.49
Cantidad de acero (kg)	3802.00	3802.00	3802.00	3802.00	3802.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	103.32	102.76	104.16	104.16	104.45	103.77
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.10	0.11	0.06	0.15	0.06	0.097
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.36	0.40	0.32	0.29	0.29	0.332
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	19.01					
Cantidad total de concreto de pilotes(m ³)	213.50					
Rendimiento del concreto de pilotes(m ³ /ml)	1.17					

Apéndice 3. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 6.							
PILA 6	Pilote 31	Pilote 32	Pilote 33	Pilote 34	Pilote 35	Pilote 36	Promedio
Diámetro (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Longitud Real Perforación(m)	40.10	40.00	40.20	40.10	39.80	39.70	39.98
Longitud efectiva de pilote(m)	39.00	39.00	39.00	39.00	39.00	39.00	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	2.82 %	2.56 %	3.08 %	2.82 %	2.05 %	1.79 %	2.52 %
Área(m2)	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	
Volumen teórico de perforación(m3)	31.49	31.42	31.57	31.49	31.26	31.18	31.40
Volumen teórico del concreto(m3)	31.49	31.42	31.57	31.49	31.26	31.18	31.40
Volumen real concreto(m3)	36.00	36.00	56.00	36.00	36.00	36.00	39.33
Desperdicio del concreto	14.31 %	14.59 %	77.37 %	14.31 %	15.17 %	15.46 %	25.20 %
Tiempo de perforación(h)	6.17	4.50	6.17	4.25	3.83	6.17	5.18
Rendimiento de perforación (ml/h)	6.50	8.89	6.52	9.44	10.38	6.44	8.03
Tiempo de colocación de armadura(h)	2.67	6.42	4.33	3.42	2.25	5.75	4.14
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	15.04	6.23	9.28	11.74	17.69	6.90	11.15
Tiempo de colado del concreto(h)	1.47	1.42	1.58	0.92	1.40	1.22	1.33
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	27.34	28.23	25.39	43.74	28.43	32.63	30.96
Cantidad de acero (kg)	2968.00	2968.00	2968.00	2968.00	2968.00	2968.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	74.01	74.20	73.83	74.01	74.57	74.76	74.23
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.15	0.11	0.15	0.11	0.10	0.16	0.130
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.49	0.48	0.53	0.31	0.47	0.41	0.449
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	17.81						
Cantidad total de concreto de pilotes(m3)	236.00						
Rendimiento del concreto de pilotes(m3/ml)	0.98						

Apéndice 4. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 7.							
PILA 7	Pilote 37	Pilote 38	Pilote 39	Pilote 40	Pilote 41	Pilote 36	Promedio
Diámetro (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Longitud Real Perforación(m)	38.50	38.70	38.90	40.00	39.30	39.70	39.18
Longitud efectiva de pilote(m)	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	4.05 %	4.59 %	5.14 %	8.11 %	6.22 %	7.30 %	5.90 %
Área(m ²)	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	
Volumen teórico de perforación(m ³)	30.24	30.39	30.55	31.42	30.87	31.18	30.77
Volumen teórico del concreto(m ³)	30.24	30.39	30.55	31.42	30.87	31.18	30.77
Volumen real concreto(m ³)	33.00	33.00	34.00	33.00	34.00	36.00	33.83
Desperdicio del concreto	9.13 %	8.57 %	11.29 %	5.04 %	10.15 %	15.46 %	9.94 %
Tiempo de perforación(h)	3.08	2.75	3.50	3.50	2.25	6.17	3.54
Rendimiento de perforación (ml/h)	12.49	14.07	11.11	11.43	17.47	6.44	12.17
Tiempo de colocación de armadura(h)	3.67	3.50	2.67	4.33	4.00	5.75	3.99
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	10.50	11.06	14.59	9.23	9.83	6.90	10.35
Tiempo de colado del concreto(h)	1.42	1.25	1.20	1.65	1.10	1.22	1.31
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	27.18	30.96	32.42	24.24	35.73	32.63	30.53
Cantidad de acero (kg)	3520.00	3520.00	3520.00	3520.00	3520.00	3520.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	91.43	90.96	90.49	88.00	89.57	88.66	89.85
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.08	0.07	0.09	0.09	0.06	0.16	0.090
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.40	0.36	0.34	0.47	0.31	0.35	0.371
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	21.12						
Cantidad total de concreto de pilotes(m ³)	203.00						
Rendimiento del concreto de pilotes(m ³ /ml)	0.86						

Apéndice 5. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 8.							
PILA 8	Pilote 43	Pilote 44	Pilote 45	Pilote 46	Pilote 47	Pilote 48	Promedio
Diámetro (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Longitud Real Perforación(m)	38.00	38.30	38.00	38.10	38.00	38.00	38.07
Longitud efectiva de pilote(m)	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	2.70 %	3.51 %	2.70 %	2.97 %	2.70 %	2.70 %	2.88 %
Área(m ²)	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	
Volumen teórico de perforación(m ³)	29.85	30.08	29.85	29.92	29.85	29.85	29.90
Volumen teórico del concreto(m ³)	29.85	30.08	29.85	29.92	29.85	29.85	29.90
Volumen real concreto(m ³)	35.00	35.00	30.00	33.00	32.00	32.00	32.83
Desperdicio del concreto	17.27 %	16.35 %	0.52 %	10.28 %	7.22 %	7.22 %	9.81 %
Tiempo de perforación(h)	3.92	4.00	3.25	4.00	5.00	5.60	4.29
Rendimiento de perforación (ml/h)	9.70	9.58	11.69	9.53	7.60	6.79	9.15
Tiempo de colocación de armadura(h)	7.50	3.50	2.00	3.25	3.00	3.33	3.76
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	5.07	10.94	19.00	11.72	12.67	11.40	11.80
Tiempo de colado del concreto(h)	2.93	1.52	1.52	1.20	2.03	0.54	1.62
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	12.95	25.25	25.05	31.75	18.69	70.37	30.68
Cantidad de acero (kg)	3218.00	3218.00	3218.00	3218.00	3218.00	3218.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	84.68	84.02	84.68	84.46	84.68	84.68	84.54
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.10	0.10	0.09	0.10	0.13	0.15	0.113
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.91	0.47	0.47	0.37	0.63	0.17	0.504
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	19.31						
Cantidad total de concreto de pilotes(m ³)	197.00						
Rendimiento del concreto de pilotes(m ³ /ml)	0.86						

Apéndice 6. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 9.							
PILA 9	Pilote 49	Pilote 50	Pilote 51	Pilote 52	Pilote 53	Pilote 54	Promedio
Diámetro (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Longitud Real Perforación(m)	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00
Longitud efectiva de pilote(m)	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %
Área(m ²)	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	
Volumen teórico de perforación(m ³)	25.13	25.13	25.13	25.13	25.13	25.13	25.13
Volumen teórico del concreto(m ³)	25.13	25.13	25.13	25.13	25.13	25.13	25.13
Volumen real concreto(m ³)	29.00	30.00	29.00	27.00	26.00	27.00	28.00
Desperdicio del concreto	15.39 %	19.37 %	15.39 %	7.43 %	3.45 %	7.43 %	11.41 %
Tiempo de perforación(h)	3.00	4.50	3.00	4.00	2.00	2.97	3.24
Rendimiento de perforación (ml/h)	10.67	7.11	10.67	8.00	16.00	10.79	10.54
Tiempo de colocación de armadura(h)	3.00	3.67	5.00	1.75	2.25	1.92	2.93
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	10.67	8.73	6.40	18.29	14.22	16.70	12.50
Tiempo de colado del concreto(h)	1.30	0.82	2.32	0.97	1.38	1.13	1.32
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	24.62	39.18	13.81	33.10	23.13	28.24	27.01
Cantidad de acero (kg)	2028.00	2028.00	2028.00	2028.00	2028.00	2028.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	63.38	63.38	63.38	63.38	63.38	63.38	63.38
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.09	0.14	0.09	0.13	0.06	0.09	0.101
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.64	0.40	1.14	0.48	0.68	0.56	0.651
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	12.17						
Cantidad total de concreto de pilotes(m ³)	168.00						
Rendimiento del concreto de pilotes(m ³ /ml)	0.88						

Apéndice 7. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 10.						
PILA 10	Pilote 55	Pilote 56	Pilote 57	Pilote 59	Pilote 60	Promedio
Diámetro (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	
Longitud Real Perforación(m)	33.50	33.50	33.20	33.40	33.30	33.38
Longitud efectiva de pilote(m)	33.20	33.20	33.20	33.20	33.20	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	0.90 %	0.90 %	0.00 %	0.60 %	0.30 %	0.54 %
Área(m ²)	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	
Volumen teórico de perforación(m ³)	26.31	26.31	26.08	26.23	26.15	26.22
Volumen teórico del concreto(m ³)	26.31	26.31	26.08	26.23	26.15	26.22
Volumen real concreto(m ³)	32.50	31.00	30.00	28.00	27.00	29.70
Desperdicio del concreto	23.52 %	17.82 %	15.05 %	6.74 %	3.24 %	13.27 %
Tiempo de perforación(h)	4.67	4.92	4.50	2.78	2.58	3.89
Rendimiento de perforación (ml/h)	7.18	6.81	7.38	12.00	12.89	9.25
Tiempo de colocación de armadura(h)	6.00	2.50	3.25	2.13	1.40	3.06
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	5.58	13.40	10.22	15.66	23.79	13.73
Tiempo de colado del concreto(h)	1.98	0.66	1.00	1.45	1.15	1.25
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	16.89	50.99	33.20	23.03	28.96	30.61
Cantidad de acero (kg)	2132.00	2132.00	2132.00	2132.00	2132.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	63.64	63.64	64.22	63.83	64.02	63.87
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.14	0.15	0.14	0.08	0.08	0.117
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.93	0.31	0.47	0.68	0.54	0.585
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	10.66					
Cantidad total de concreto de pilotes(m ³)	148.50					
Rendimiento del concreto de pilotes(m ³ /ml)	0.89					

Apéndice 8. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 13.							
PILA 13	Pilote 73	Pilote 74	Pilote 75	Pilote 76	Pilote 77	Pilote 78	Promedio
Diámetro (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Longitud Real Perforación(m)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
Longitud efectiva de pilote(m)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %
Área(m ²)	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	
Volumen teórico de perforación(m ³)	23.56	23.56	23.56	23.56	23.56	23.56	23.56
Volumen teórico del concreto(m ³)	23.56	23.56	23.56	23.56	23.56	23.56	23.56
Volumen real concreto(m ³)	26.00	27.00	28.00	25.00	25.00	26.00	26.17
Desperdicio del concreto	10.35 %	14.59 %	18.84 %	6.10 %	6.10 %	10.35 %	11.05 %
Tiempo de perforación(h)	2.13	3.08	3.00	3.42	3.17	4.75	3.26
Rendimiento de perforación (ml/h)	14.06	9.73	10.00	8.78	9.47	6.32	9.73
Tiempo de colocación de armadura(h)	1.45	1.37	1.08	1.67	1.58	1.58	1.46
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	20.69	21.95	27.69	18.00	18.95	18.95	21.04
Tiempo de colado del concreto(h)	1.55	1.08	1.20	1.42	0.98	1.00	1.21
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	19.35	27.69	25.00	21.18	30.51	29.95	25.61
Cantidad de acero (kg)	2554.00	2554.00	2554.00	2554.00	2554.00	2554.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	85.13	85.13	85.13	85.13	85.13	85.13	85.13
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.07	0.10	0.10	0.11	0.11	0.16	0.109
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.61	0.42	0.47	0.55	0.39	0.39	0.472
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	15.32						
Cantidad total de concreto de pilotes(m ³)	157.00						
Rendimiento del concreto de pilotes(m ³ /ml)	0.87						

Apéndice 9. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 14.							
PILA 14	Pilote 79	Pilote 80	Pilote 81	Pilote 82	Pilote 83	Pilote 84	Promedio
Diámetro (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Longitud Real Perforación(m)	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00
Longitud efectiva de pilote(m)	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %
Área(m2)	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	
Volumen teórico de perforación(m3)	21.99	21.99	21.99	21.99	21.99	21.99	21.99
Volumen teórico del concreto(m3)	21.99	21.99	21.99	21.99	21.99	21.99	21.99
Volumen real concreto(m3)	23.00	24.50	23.00	22.50	22.00	23.00	23.00
Desperdicio del concreto	4.59 %	11.41 %	4.59 %	2.31 %	0.04 %	4.59 %	4.59 %
Tiempo de perforación(h)	2.58	2.42	3.58	2.25	3.42	2.25	2.75
Rendimiento de perforación (ml/h)	10.84	11.59	7.81	12.44	8.20	12.44	10.55
Tiempo de colocación de armadura(h)	1.83	2.42	1.47	1.33	1.75	2.00	1.80
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	15.27	11.59	19.09	21.00	16.00	14.00	16.16
Tiempo de colado del concreto(h)	1.13	1.83	0.80	0.65	0.75	0.70	0.98
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	24.71	15.27	35.00	43.08	37.33	40.00	32.56
Cantidad de acero (kg)	2450.00	2450.00	2450.00	2450.00	2450.00	2450.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	87.50	87.50	87.50	87.50	87.50	87.50	87.50
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.09	0.09	0.13	0.08	0.12	0.08	0.098
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.46	0.75	0.33	0.27	0.31	0.29	0.399
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	14.70						
Cantidad total de concreto de pilotes(m3)	138.00						
Rendimiento del concreto de pilotes(m3/ml)	0.82						

Apéndice 10. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 15.							
PILA 15	Pilote 85	Pilote 86	Pilote 87	Pilote 88	Pilote 89	Pilote 90	Promedio
Diámetro (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Longitud Real Perforación(m)	33.20	33.20	33.20	33.20	33.10	33.20	33.18
Longitud efectiva de pilote(m)	32.90	32.90	32.90	32.90	32.90	32.90	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	0.91 %	0.91 %	0.91 %	0.91 %	0.61 %	0.91 %	0.86 %
Área(m ²)	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	
Volumen teórico de perforación(m ³)	26.08	26.08	26.08	26.08	26.00	26.08	26.06
Volumen teórico del concreto(m ³)	26.08	26.08	26.08	26.08	26.00	26.08	26.06
Volumen real concreto(m ³)	30.50	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.42
Desperdicio del concreto	16.97 %	7.38 %	7.38 %	7.38 %	7.71 %	7.38 %	9.03 %
Tiempo de perforación(h)	3.25	3.83	2.33	3.67	3.00	2.83	3.15
Rendimiento de perforación (ml/h)	10.22	8.66	14.23	9.05	11.03	11.72	10.82
Tiempo de colocación de armadura(h)	1.67	1.50	1.58	1.47	1.95	1.60	1.63
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	19.92	22.13	20.97	22.64	16.97	20.75	20.56
Tiempo de colado del concreto(h)	2.22	0.77	1.30	1.17	0.75	0.98	1.20
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	14.98	43.30	25.54	28.46	44.13	33.76	31.70
Cantidad de acero (kg)	2778.00	2778.00	2778.00	2778.00	2778.00	2778.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	83.67	83.67	83.67	83.67	83.93	83.67	83.72
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.10	0.12	0.07	0.11	0.09	0.09	0.095
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.80	0.28	0.47	0.42	0.27	0.35	0.431
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	16.67						
Cantidad total de concreto de pilotes(m ³)	170.50						
Rendimiento del concreto de pilotes(m ³ /ml)	0.86						

Apéndice 11. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 16.							
PILA 16	Pilote 91	Pilote 92	Pilote 93	Pilote 94	Pilote 95	Pilote 96	Promedio
Diámetro (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Longitud Real Perforación(m)	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00
Longitud efectiva de pilote(m)	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %
Área(m ²)	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	
Volumen teórico de perforación(m ³)	25.13	25.13	25.13	25.13	25.13	25.13	25.13
Volumen teórico del concreto(m ³)	25.13	25.13	25.13	25.13	25.13	25.13	25.13
Volumen real concreto(m ³)	29.00	28.00	27.00	27.00	27.00	35.50	28.92
Desperdicio del concreto	15.39 %	11.41 %	7.43 %	7.43 %	7.43 %	41.25 %	15.06 %
Tiempo de perforación(h)	3.00	4.17	3.33	3.98	3.87	4.42	3.79
Rendimiento de perforación (ml/h)	10.67	7.68	9.60	8.03	8.28	7.25	8.58
Tiempo de colocación de armadura(h)	1.88	1.75	1.25	1.83	1.62	1.67	1.67
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	16.99	18.29	25.60	17.45	19.79	19.20	19.55
Tiempo de colado del concreto(h)	1.12	1.18	1.32	1.37	1.55	1.60	1.36
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	28.66	27.04	24.30	23.41	20.65	20.00	24.01
Cantidad de acero (kg)	2634.00	2634.00	2634.00	2634.00	2634.00	2634.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	82.31	82.31	82.31	82.31	82.31	82.31	82.31
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.09	0.13	0.10	0.12	0.12	0.14	0.119
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.42	0.45	0.50	0.52	0.59	0.61	0.515
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	15.80						
Cantidad total de concreto de pilotes(m ³)	173.50						
Rendimiento del concreto de pilotes(m ³ /ml)	0.90						

Apéndice 12. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 17.							
PILA 17	Pilote 97	Pilote 98	Pilote 99	Pilote 100	Pilote 101	Pilote 102	Promedio
Diámetro (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Longitud Real Perforación(m)	29.40	29.00	29.50	29.00	29.00	29.00	29.15
Longitud efectiva de pilote(m)	29.00	29.00	29.00	29.00	29.00	29.00	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	1.38 %	0.00 %	1.72 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.52 %
Área(m ²)	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	
Volumen teórico de perforación(m ³)	23.09	22.78	23.17	22.78	22.78	22.78	22.89
Volumen teórico del concreto(m ³)	23.09	22.78	23.17	22.78	22.78	22.78	22.89
Volumen real concreto(m ³)	24.00	24.50	24.50	24.00	24.50	26.00	24.58
Desperdicio del concreto	3.94 %	7.57 %	5.74 %	5.37 %	7.57 %	14.15 %	7.39 %
Tiempo de perforación(h)	2.00	1.72	2.25	2.33	2.03	2.25	2.10
Rendimiento de perforación (ml/h)	14.70	16.89	13.11	12.43	14.26	12.89	14.05
Tiempo de colocación de armadura(h)	2.03	1.83	1.83	2.00	1.75	1.77	1.87
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	14.46	15.82	16.09	14.50	16.57	16.41	15.64
Tiempo de colado del concreto(h)	0.53	0.77	1.03	0.65	1.03	3.23	1.21
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	55.13	37.82	28.55	44.62	28.07	8.97	33.86
Cantidad de acero (kg)	2607.00	2607.00	2607.00	2607.00	2607.00	2607.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	88.67	89.90	88.37	89.90	89.90	89.90	89.44
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.07	0.06	0.08	0.08	0.07	0.08	0.072
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.20	0.29	0.40	0.25	0.40	1.24	0.463
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	15.64						
Cantidad total de concreto de pilotes(m ³)	147.50						
Rendimiento del concreto de pilotes(m ³ /ml)	0.84						

Apéndice 13. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 21.							
PILA 21	Pilote 121	Pilote 122	Pilote 123	Pilote 124	Pilote 125	Pilote 126	Promedio
Diámetro (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Longitud Real Perforación(m)	40.60	40.20	40.60	40.00	40.00	40.40	40.30
Longitud efectiva de pilote(m)	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	1.50 %	0.50 %	1.50 %	0.00 %	0.00 %	1.00 %	0.75 %
Área(m ²)	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	
Volumen teórico de perforación(m ³)	31.89	31.57	31.89	31.42	31.42	31.73	31.65
Volumen teórico del concreto(m ³)	31.89	31.57	31.89	31.42	31.42	31.73	31.65
Volumen real concreto(m ³)	34.00	33.00	36.00	34.00	33.00	32.00	33.67
Desperdicio del concreto	6.63 %	4.52 %	12.90 %	8.23 %	5.04 %	0.85 %	6.36 %
Tiempo de perforación(h)	3.25	4.75	2.33	5.50	4.00	3.50	3.89
Rendimiento de perforación (ml/h)	12.49	8.46	17.40	7.27	10.00	11.54	11.20
Tiempo de colocación de armadura(h)	2.00	3.50	3.00	3.00	2.50	1.50	2.58
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	20.30	11.49	13.53	13.33	16.00	26.93	16.93
Tiempo de colado del concreto(h)	1.12	1.38	0.88	1.45	1.23	0.82	1.15
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	36.36	29.06	45.96	27.59	32.43	49.47	36.81
Cantidad de acero (kg)	3218.00	3218.00	3218.00	3218.00	3218.00	3218.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	79.26	80.05	79.26	80.45	80.45	79.65	79.85
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.08	0.12	0.06	0.14	0.10	0.09	0.097
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.35	0.43	0.27	0.45	0.38	0.25	0.356
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	19.31						
Cantidad total de concreto de pilotes(m ³)	202.00						
Rendimiento del concreto de pilotes(m ³ /ml)	0.84						

Apéndice 14. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 22.							
PILA 22	Pilote 127	Pilote 128	Pilote 129	Pilote 130	Pilote 131	Pilote 132	Promedio
Diámetro (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Longitud Real Perforación(m)	31.40	31.40	32.00	31.30	31.50	31.20	31.47
Longitud efectiva de pilote(m)	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	0.96 %	0.96 %	2.89 %	0.64 %	1.29 %	0.32 %	1.18 %
Área(m ²)	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	
Volumen teórico de perforación(m ³)	24.66	24.66	25.13	24.58	24.74	24.50	24.71
Volumen teórico del concreto(m ³)	24.66	24.66	25.13	24.58	24.74	24.50	24.71
Volumen real concreto(m ³)	32.00	26.00	27.00	26.00	29.00	29.00	28.17
Desperdicio del concreto	29.76 %	5.43 %	7.43 %	5.76 %	17.22 %	18.35 %	13.99 %
Tiempo de perforación(h)	3.33	2.50	3.00	2.17	3.67	2.00	2.78
Rendimiento de perforación (ml/h)	9.42	12.56	10.67	14.45	8.59	15.60	11.88
Tiempo de colocación de armadura(h)	3.00	2.50	2.50	2.50	1.75	1.50	2.29
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	10.47	12.56	12.80	12.52	18.00	20.80	14.52
Tiempo de colado del concreto(h)	0.87	0.90	0.77	0.93	1.18	0.65	0.88
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	36.23	34.89	41.74	33.54	26.62	48.00	36.84
Cantidad de acero (kg)	2512.00	2512.00	2512.00	2512.00	2512.00	2512.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	80.00	80.00	78.50	80.26	79.75	80.51	79.84
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.11	0.08	0.09	0.07	0.12	0.06	0.088
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.35	0.36	0.31	0.37	0.47	0.26	0.352
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	15.07						
Cantidad total de concreto de pilotes(m ³)	169.00						
Rendimiento del concreto de pilotes(m ³ /ml)	0.90						

Apéndice 15. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 23.							
PILA 23	Pilote 133	Pilote 134	Pilote 135	Pilote 136	Pilote 137	Pilote 138	Promedio
Diámetro (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Longitud Real Perforación(m)	31.20	31.20	31.20	31.20	31.10	31.10	31.17
Longitud efectiva de pilote(m)	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	0.32 %	0.32 %	0.32 %	0.32 %	0.00 %	0.00 %	0.21 %
Área(m2)	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	
Volumen teórico de perforación(m3)	24.50	24.50	24.50	24.50	24.43	24.43	24.48
Volumen teórico del concreto(m3)	24.50	24.50	24.50	24.50	24.43	24.43	24.48
Volumen real concreto(m3)	30.00	27.00	27.00	27.00	29.00	27.00	27.83
Desperdicio del concreto	22.43 %	10.18 %	10.18 %	10.18 %	18.73 %	10.54 %	13.71 %
Tiempo de perforación(h)	2.00	2.17	2.75	1.75	2.00	1.58	2.04
Rendimiento de perforación (ml/h)	15.60	14.40	11.35	17.83	15.55	19.64	15.73
Tiempo de colocación de armadura(h)	2.00	3.00	2.00	2.50	2.50	2.50	2.42
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	15.60	10.40	15.60	12.48	12.44	12.44	13.16
Tiempo de colado del concreto(h)	0.92	0.77	0.85	0.75	1.22	0.73	0.87
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	34.04	40.69	36.71	41.60	25.56	42.41	36.83
Cantidad de acero (kg)	2512.00	2512.00	2512.00	2512.00	2512.00	2512.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	80.51	80.51	80.51	80.51	80.77	80.77	80.60
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.06	0.07	0.09	0.06	0.06	0.05	0.065
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.36	0.31	0.34	0.30	0.48	0.29	0.347
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	15.07						
Cantidad total de concreto de pilotes(m3)	167.00						
Rendimiento del concreto de pilotes(m3/ml)	0.89						

Apéndice 16. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 24.							
PILA 24	Pilote 139	Pilote 140	Pilote 141	Pilote 142	Pilote 143	Pilote 144	Promedio
Diámetro (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Longitud Real Perforación(m)	31.50	31.10	31.50	31.40	31.30	31.40	31.37
Longitud efectiva de pilote(m)	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	1.29 %	0.00 %	1.29 %	0.96 %	0.64 %	0.96 %	0.86 %
Área(m ²)	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	
Volumen teórico de perforación(m ³)	24.74	24.43	24.74	24.66	24.58	24.66	24.64
Volumen teórico del concreto(m ³)	24.74	24.43	24.74	24.66	24.58	24.66	24.64
Volumen real concreto(m ³)	26.00	26.00	26.00	25.50	26.00	25.00	25.75
Desperdicio del concreto	5.09 %	6.44 %	5.09 %	3.40 %	5.76 %	1.37 %	4.53 %
Tiempo de perforación(h)	1.75	2.17	1.67	1.92	2.00	2.50	2.00
Rendimiento de perforación (ml/h)	18.00	14.35	18.90	16.38	15.65	12.56	15.97
Tiempo de colocación de armadura(h)	2.75	2.08	2.92	6.08	2.33	7.33	3.92
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	11.45	14.93	10.80	5.16	13.41	4.28	10.01
Tiempo de colado del concreto(h)	0.90	0.85	0.57	0.50	0.57	0.63	0.67
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	35.00	36.59	55.58	62.80	55.23	49.58	49.13
Cantidad de acero (kg)	2512.00	2512.00	2512.00	2512.00	2512.00	2512.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	79.75	80.77	79.75	80.00	80.26	80.00	80.09
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.06	0.07	0.05	0.06	0.06	0.08	0.064
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.36	0.34	0.23	0.20	0.23	0.25	0.267
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	15.07						
Cantidad total de concreto de pilotes(m ³)	154.50						
Rendimiento del concreto de pilotes(m ³ /ml)	0.82						

Apéndice 17. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 25.							
PILA 25	Pilote 145	Pilote 146	Pilote 147	Pilote 148	Pilote 149	Pilote 150	Promedio
Diámetro (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Longitud Real Perforación(m)	25.40	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.07
Longitud efectiva de pilote(m)	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	1.60 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.27 %
Área(m ²)	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	
Volumen teórico de perforación(m ³)	19.95	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.69
Volumen teórico del concreto(m ³)	19.95	19.63	19.63	19.63	19.63	19.63	19.69
Volumen real concreto(m ³)	20.00	22.00	20.00	20.00	21.00	20.00	20.50
Desperdicio del concreto	0.26 %	12.05 %	1.86 %	1.86 %	6.95 %	1.86 %	4.14 %
Tiempo de perforación(h)	1.83	2.42	1.50	2.00	2.08	2.08	1.99
Rendimiento de perforación (ml/h)	13.85	10.34	16.67	12.50	12.00	12.00	12.89
Tiempo de colocación de armadura(h)	1.75	2.00	1.67	2.42	1.75	2.00	1.93
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	14.51	12.50	15.00	10.34	14.29	12.50	13.19
Tiempo de colado del concreto(h)	0.45	0.48	0.38	0.60	0.42	0.48	0.47
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	56.44	51.73	65.22	41.67	60.00	51.73	54.46
Cantidad de acero (kg)	1306.00	1306.00	1306.00	1306.00	1306.00	1306.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	51.42	52.24	52.24	52.24	52.24	52.24	52.10
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.07	0.10	0.06	0.08	0.08	0.08	0.079
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.34	0.37	0.29	0.46	0.32	0.37	0.359
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	7.84						
Cantidad total de concreto de pilotes(m ³)	123.00						
Rendimiento del concreto de pilotes(m ³ /ml)	0.82						

Apéndice 18. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 26.							
PILA 26	Pilote 151	Pilote 152	Pilote 153	Pilote 154	Pilote 155	Pilote 156	Promedio
Diámetro (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Longitud Real Perforación(m)	25.30	25.00	25.10	25.20	25.00	25.00	25.10
Longitud efectiva de pilote(m)	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	1.20 %	0.00 %	0.40 %	0.80 %	0.00 %	0.00 %	0.40 %
Área(m ²)	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	
Volumen teórico de perforación(m ³)	19.87	19.63	19.71	19.79	19.63	19.63	19.71
Volumen teórico del concreto(m ³)	19.87	19.63	19.71	19.79	19.63	19.63	19.71
Volumen real concreto(m ³)	21.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.17
Desperdicio del concreto	5.68 %	1.86 %	1.45 %	1.05 %	1.86 %	1.86 %	2.29 %
Tiempo de perforación(h)	2.25	2.00	4.67	4.67	1.58	1.67	2.81
Rendimiento de perforación (ml/h)	11.24	12.50	5.38	5.40	15.79	15.00	10.88
Tiempo de colocación de armadura(h)	1.00	2.08	0.58	2.50	2.00	1.92	1.68
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	25.30	12.00	43.03	10.08	12.50	13.04	19.33
Tiempo de colado del concreto(h)	0.70	0.57	0.58	0.47	0.55	0.60	0.58
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	36.14	44.12	43.03	54.00	45.45	41.67	44.07
Cantidad de acero (kg)	1306.00	1306.00	1306.00	1306.00	1306.00	1306.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	51.62	52.24	52.03	51.83	52.24	52.24	52.03
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.09	0.08	0.19	0.19	0.06	0.07	0.112
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.54	0.43	0.45	0.36	0.42	0.46	0.442
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	7.84						
Cantidad total de concreto de pilotes(m ³)	121.00						
Rendimiento del concreto de pilotes(m ³ /ml)	0.80						

Apéndice 19. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 27.						
PILA 27	Pilote 157	Pilote 158	Pilote 160	Pilote 161	Pilote 162	Promedio
Diámetro (mm)	970	1200	970	970	970	
Longitud Real Perforación(m)	22.50	24.00	22.90	22.70	22.70	22.96
Longitud efectiva de pilote(m)	17.50	17.50	17.50	17.50	17.50	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	28.57 %	37.14 %	30.86 %	29.71 %	29.71 %	31.20 %
Área(m ²)	0.739	1.131	0.739	0.739	0.739	
Volumen teórico de perforación(m ³)	16.63	27.14	16.92	16.77	16.77	18.85
Volumen teórico del concreto(m ³)	16.63	27.14	16.92	16.77	16.77	18.85
Volumen real concreto(m ³)	17.00	28.00	17.50	17.00	17.50	19.40
Desperdicio del concreto	2.24 %	3.16 %	3.41 %	1.34 %	4.32 %	2.90 %
Tiempo de perforación(h)	1.42	2.33	1.33	2.00	1.75	1.77
Rendimiento de perforación (ml/h)	15.88	10.29	17.18	11.35	12.97	13.53
Tiempo de colocación de armadura(h)	1.92	1.50	1.50	0.92	2.50	1.67
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	11.74	16.00	15.27	24.76	9.08	15.37
Tiempo de colado del concreto(h)	0.40	1.02	1.48	0.45	0.42	0.75
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	56.25	23.65	15.44	50.44	54.48	40.05
Cantidad de acero (kg)	3872.00	3872.00	3872.00	3872.00	3872.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	172.09	161.33	169.08	170.57	170.57	168.73
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.06	0.10	0.06	0.09	0.08	0.077
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.10	0.26	0.38	0.12	0.11	0.194
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	19.36					
Cantidad total de concreto de pilotes(m ³)	97.00					
Rendimiento del concreto de pilotes(m ³ /ml)	0.84					

Apéndice 20. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 28.					
PILA 28	Pilote 165	Pilote 166	Pilote 167	Pilote 168	Promedio
Diámetro (mm)	970	970	970	970	
Longitud Real Perforación(m)	24.80	22.50	23.50	23.50	23.58
Longitud efectiva de pilote(m)	19.50	19.50	19.50	19.50	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	27.18 %	15.38 %	20.51 %	20.51 %	20.90 %
Área(m ²)	0.739	0.739	0.739	0.739	
Volumen teórico de perforación(m ³)	18.33	16.63	17.37	17.37	17.42
Volumen teórico del concreto(m ³)	18.33	16.63	17.37	17.37	17.42
Volumen real concreto(m ³)	19.00	17.50	17.50	17.50	17.88
Desperdicio del concreto	3.67 %	5.25 %	0.77 %	0.77 %	2.62 %
Tiempo de perforación(h)	1.25	1.33	1.58	1.75	1.48
Rendimiento de perforación (ml/h)	19.84	16.88	14.84	13.43	16.25
Tiempo de colocación de armadura(h)	1.33	1.33	1.00	1.00	1.17
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	18.60	16.88	23.50	23.50	20.62
Tiempo de colado del concreto(h)	0.33	0.65	0.45	0.35	0.45
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	75.15	34.62	52.22	67.14	57.28
Cantidad de acero (kg)	3890.00	3890.00	3890.00	3890.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	156.85	172.89	165.53	165.53	165.20
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.05	0.06	0.07	0.07	0.063
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.08	0.17	0.12	0.09	0.114
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	15.56				
Cantidad total de concreto de pilotes(m ³)	71.50				
Rendimiento del concreto de pilotes(m ³ /ml)	0.76				

Apéndice 21. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 29.							
PILA 29	Pilote 169	Pilote 170	Pilote 171	Pilote 172	Pilote 173	Pilote 174	Promedio
Diámetro (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Longitud Real Perforación(m)	25.30	25.30	24.00	24.50	24.50	24.20	24.63
Longitud efectiva de pilote(m)	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	20.48 %	20.48 %	14.29 %	16.67 %	16.67 %	15.24 %	17.30 %
Área(m ²)	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	
Volumen teórico de perforación(m ³)	19.87	19.87	18.85	19.24	19.24	19.01	19.35
Volumen teórico del concreto(m ³)	19.87	19.87	18.85	19.24	19.24	19.01	19.35
Volumen real concreto(m ³)	21.00	21.00	21.00	20.00	20.00	20.00	20.50
Desperdicio del concreto	5.68 %	5.68 %	11.41 %	3.94 %	3.94 %	5.23 %	5.98 %
Tiempo de perforación(h)	4.17	2.40	2.00	1.33	2.33	2.33	2.43
Rendimiento de perforación (ml/h)	6.07	10.54	12.00	18.38	10.50	10.37	11.31
Tiempo de colocación de armadura(h)	1.50	0.50	0.67	2.60	1.00	1.25	1.25
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	16.87	50.60	36.00	9.42	24.50	19.36	26.12
Tiempo de colado del concreto(h)	0.43	0.43	0.42	0.60	0.60	0.78	0.54
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	58.39	58.84	57.60	40.83	40.83	30.89	47.90
Cantidad de acero (kg)	3890.00	3890.00	3890.00	3890.00	3890.00	3890.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	153.75	153.75	162.08	158.78	158.78	160.74	157.98
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.16	0.09	0.08	0.05	0.10	0.10	0.098
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.11	0.11	0.11	0.15	0.15	0.20	0.140
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	23.34						
Cantidad total de concreto de pilotes(m ³)	123.00						
Rendimiento del concreto de pilotes(m ³ /ml)	0.83						

Apéndice 22. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 30.					
PILA 30	Pilote 176	Pilote 177	Pilote 178	Pilote 179	Promedio
Diámetro (mm)	1000	1000	1000	1000	
Longitud Real Perforación(m)	25.50	25.20	25.50	26.20	25.60
Longitud efectiva de pilote(m)	23.00	23.00	23.00	23.00	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	10.87 %	9.57 %	10.87 %	13.91 %	11.30 %
Área(m ²)	0.785	0.785	0.785	0.785	
Volumen teórico de perforación(m ³)	20.03	19.79	20.03	20.58	20.11
Volumen teórico del concreto(m ³)	20.03	19.79	20.03	20.58	20.11
Volumen real concreto(m ³)	20.00	23.00	20.00	24.00	21.75
Desperdicio del concreto	-0.14 %	16.21 %	-0.14 %	16.63 %	8.14 %
Tiempo de perforación(h)	3.92	3.92	1.58	2.12	2.88
Rendimiento de perforación (ml/h)	6.51	6.43	16.11	12.38	10.36
Tiempo de colocación de armadura(h)	1.75	2.83	1.25	2.25	2.02
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	14.57	8.89	20.40	11.64	13.88
Tiempo de colado del concreto(h)	0.58	0.45	0.48	0.45	0.49
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	43.72	56.00	52.76	58.22	52.68
Cantidad de acero (kg)	3890.00	3890.00	3890.00	3890.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	152.55	154.37	152.55	148.47	151.98
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.15	0.16	0.06	0.08	0.113
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.15	0.12	0.12	0.12	0.126
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	15.56				
Cantidad total de concreto de pilotes(m ³)	87.00				
Rendimiento del concreto de pilotes(m ³ /ml)	0.85				

Apéndice 23. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 32.							
PILA 32	Pilote 187	Pilote 188	Pilote 189	Pilote 190	Pilote 191	Pilote 192	Promedio
Diámetro (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Longitud Real Perforación(m)	25.60	25.66	26.20	22.50	22.40	22.60	24.16
Longitud efectiva de pilote(m)	21.50	21.50	21.50	21.50	21.50	21.50	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	19.07 %	19.35 %	21.86 %	4.65 %	4.19 %	5.12 %	12.37 %
Área(m2)	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	
Volumen teórico de perforación(m3)	20.11	20.15	20.58	17.67	17.59	17.75	18.98
Volumen teórico del concreto(m3)	20.11	20.15	20.58	17.67	17.59	17.75	18.98
Volumen real concreto(m3)	24.00	24.00	24.00	24.00	23.50	24.00	23.92
Desperdicio del concreto	19.37 %	19.09 %	16.63 %	35.81 %	33.58 %	35.21 %	26.61 %
Tiempo de perforación(h)	2.00	6.25	3.00	2.25	4.00	5.17	3.78
Rendimiento de perforación (ml/h)	12.80	4.11	8.73	10.00	5.60	4.37	7.60
Tiempo de colocación de armadura(h)	3.50	2.50	2.00	1.25	1.67	1.18	2.02
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	7.31	10.26	13.10	18.00	13.44	19.10	13.54
Tiempo de colado del concreto(h)	1.53	1.00	0.80	0.93	1.43	0.82	1.09
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	16.70	25.66	32.75	24.11	15.63	27.67	23.75
Cantidad de acero (kg)	2793.00	2793.00	2793.00	2793.00	2793.00	2793.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	109.10	108.85	106.60	124.13	124.69	123.58	116.16
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.08	0.24	0.11	0.10	0.18	0.23	0.157
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.55	0.36	0.29	0.33	0.51	0.29	0.389
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	16.76						
Cantidad total de concreto de pilotes(m3)	143.50						
Rendimiento del concreto de pilotes(m3/ml)	0.99						

Apéndice 24. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 34.											
PILA 34	Pilote 199	Pilote 200	Pilote 201	Pilote 202	Pilote 203	Pilote 204	Pilote 205	Pilote 206	Pilote 207	Pilote 208	Promedio
Diámetro (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Longitud Real Perforación(m)	20.80	20.50	20.50	20.50	20.70	20.20	19.80	20.50	20.30	20.50	20.43
Longitud efectiva de pilote(m)	17.30	17.30	17.30	17.30	17.30	17.30	17.30	17.30	17.30	17.30	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	20.23 %	18.50 %	18.50 %	18.50 %	19.65 %	16.76 %	14.45 %	18.50 %	17.34 %	18.50 %	18 %
Área(m ²)	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	
Volumen teórico de perforación(m ³)	16.34	16.10	16.10	16.10	16.26	15.87	15.55	16.10	15.94	16.10	16.05
Volumen teórico del concreto(m ³)	16.34	16.10	16.10	16.10	16.26	15.87	15.55	16.10	15.94	16.10	16.13
Volumen real concreto(m ³)	18.00	20.00	20.50	20.00	17.00	20.00	18.00	20.00	18.50	18.00	19.00
Desperdicio del concreto	10.18 %	24.22 %	27.32 %	24.22 %	4.57 %	26.06 %	15.75 %	24.22 %	16.03 %	11.80 %	18 %
Tiempo de perforación(h)	7.92	2.53	5.00	4.58	2.33	6.00	4.17	3.83	2.57	3.67	4.26
Rendimiento de perforación (ml/h)	2.63	8.09	4.10	4.47	8.87	3.37	4.75	5.35	7.91	5.59	5.51
Tiempo de colocación de armadura(h)	3.50	1.75	1.93	1.25	3.42	1.50	0.83	0.83	1.08	1.75	1.78
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	5.94	11.71	10.60	16.40	6.06	13.47	23.76	24.60	18.74	11.71	14.30
Tiempo de colado del concreto(h)	0.58	0.72	1.42	0.50	0.45	0.67	1.02	0.58	0.45	1.30	0.77
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	35.66	28.60	14.47	41.00	46.00	30.28	19.48	35.14	45.11	15.77	31.15
Cantidad de acero (kg)	2428.00	2428.00	2428.00	2428.00	2428.00	2428.00	2428.00	2428.00	2428.00	2428.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	116.73	118.44	118.44	118.44	117.29	120.20	122.63	118.44	119.61	118.44	118.87
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.38	0.12	0.24	0.22	0.11	0.30	0.21	0.19	0.13	0.18	0.208
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.24	0.30	0.58	0.21	0.19	0.27	0.42	0.24	0.19	0.54	0.316
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	24.28										
Cantidad total de concreto de pilotes(m ³)	190.00										
Rendimiento del concreto de pilotes(m ³ /ml)	0.93										

Apéndice 25. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 35.

PILA 35	Pilote 209	Pilote 211	Pilote 212	Pilote 213	Pilote 215	Pilote 216	Pilote 217	Promedio
Diámetro (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Longitud Real Perforación(m)	20.10	20.00	20.50	20.10	19.80	20.70	20.50	20.24
Longitud efectiva de pilote(m)	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	18.24 %	17.65 %	20.59 %	18.24 %	16.47 %	21.76 %	20.59 %	19 %
Área(m ²)	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	
Volumen teórico de perforación(m ³)	15.79	15.71	16.10	15.79	15.55	16.26	16.10	15.90
Volumen teórico del concreto(m ³)	15.79	15.71	16.10	15.79	15.55	16.26	16.10	15.90
Volumen real concreto(m ³)	20.00	20.00	20.00	18.00	20.00	22.00	21.00	20.14
Desperdicio del concreto	26.69 %	27.32 %	24.22 %	14.02 %	28.61 %	35.32 %	30.43 %	27 %
Tiempo de perforación(h)	3.83	4.25	5.00	3.50	3.17	2.67	2.08	3.50
Rendimiento de perforación (ml/h)	5.24	4.71	4.10	5.74	6.25	7.76	9.84	6.24
Tiempo de colocación de armadura(h)	1.75	0.83	1.50	4.67	1.92	1.47	2.50	2.09
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	11.49	24.00	13.67	4.31	10.33	14.11	8.20	12.30
Tiempo de colado del concreto(h)	0.65	0.67	0.57	0.50	0.65	0.55	1.35	0.70
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	30.92	30.00	36.17	40.20	30.46	37.64	15.19	31.51
Cantidad de acero (kg)	2405.00	2405.00	2405.00	2405.00	2405.00	2405.00	2405.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	119.65	120.25	117.32	119.65	121.46	116.18	117.32	118.83
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.19	0.21	0.24	0.17	0.16	0.13	0.10	0.173
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.27	0.28	0.24	0.21	0.27	0.23	0.56	0.293
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	16.84							
Cantidad total de concreto de pilotes(m ³)	141.00							
Rendimiento del concreto de pilotes(m ³ /ml)	1.00							

Apéndice 26. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 36.											
PILA 36	Pilote 218	Pilote 219	Pilote 220	Pilote 221	Pilote 222	Pilote 223	Pilote 224	Pilote 225	Pilote 226	Pilote 227	Promedio
Diámetro (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Longitud Real Perforación(m)	21.10	21.00	21.20	20.90	21.10	20.70	21.30	20.90	21.30	21.20	21.07
Longitud efectiva de pilote(m)	17.60	17.60	17.60	17.60	17.60	17.60	17.60	17.60	17.60	17.60	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	19.89 %	19.32 %	20.45 %	18.75 %	19.89 %	17.61 %	21.02 %	18.75 %	21.02 %	20.45 %	20 %
Área(m ²)	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	
Volumen teórico de perforación(m ³)	16.57	16.49	16.65	16.41	16.57	16.26	16.73	16.41	16.73	16.65	16.55
Volumen teórico del concreto(m ³)	16.57	16.49	16.65	16.41	16.57	16.26	16.73	16.41	16.73	16.65	16.49
Volumen real concreto(m ³)	19.00	21.00	20.00	20.00	19.00	18.00	19.00	19.00	19.00	20.00	19.40
Desperdicio del concreto	14.65 %	27.32 %	20.12 %	21.84 %	14.65 %	10.72 %	13.58 %	15.75 %	13.58 %	20.12 %	17 %
Tiempo de perforación(h)	0.58	2.17	2.05	1.58	1.33	1.83	2.67	1.67	3.67	3.25	2.08
Rendimiento de perforación (ml/h)	36.17	9.69	10.34	13.20	15.83	11.29	7.99	12.54	5.81	6.52	12.94
Tiempo de colocación de armadura(h)	1.75	1.92	1.50	0.58	1.92	1.25	1.30	1.50	1.42	1.17	1.43
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	12.06	10.96	14.13	35.83	11.01	16.56	16.38	13.93	15.03	18.17	16.41
Tiempo de colado del concreto(h)	0.48	1.25	1.08	0.60	0.53	0.52	0.45	0.47	0.42	0.59	0.64
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	43.66	16.80	19.57	34.83	39.56	40.06	47.33	44.78	51.12	36.04	37.38
Cantidad de acero (kg)	2063.00	2063.00	2063.00	2063.00	2063.00	2063.00	2063.00	2063.00	2063.00	2063.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	97.77	98.24	97.31	98.71	97.77	99.66	96.85	98.71	96.85	97.31	97.92
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.03	0.10	0.10	0.08	0.06	0.09	0.13	0.08	0.17	0.15	0.099
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.23	0.61	0.53	0.29	0.26	0.25	0.22	0.23	0.20	0.29	0.310
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	20.63										
Cantidad total de concreto de pilotes(m ³)	194.00										
Rendimiento del concreto de pilotes(m ³ /ml)	0.92										

Apéndice 27. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 37.													
PILA 37	Pilote 228	Pilote 229	Pilote 230	Pilote 231	Pilote 232	Pilote 233	Pilote 234	Pilote 235	Pilote 236	Pilote 237	Pilote 238	Pilote 240	Promedio
Diámetro (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Longitud Real Perforación(m)	21.00	21.00	21.20	20.80	20.90	21.60	21.50	21.50	21.50	20.90	21.80	20.80	21.21
Longitud efectiva de pilote(m)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	5.00 %	5.00 %	6.00 %	4.00 %	4.50 %	8.00 %	7.50 %	7.50 %	7.50 %	4.50 %	9.00 %	4.00 %	6%
Área(m2)	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	
Volumen teórico de perforación(m3)	16.49	16.49	16.65	16.34	16.41	16.96	16.89	16.89	16.89	16.41	17.12	16.34	16.66
Volumen teórico del concreto(m3)	16.49	16.49	16.65	16.34	16.41	16.96	16.89	16.89	16.89	16.41	17.12	16.34	16.66
Volumen real concreto(m3)	20.00	19.00	20.00	20.00	19.00	18.00	18.00	20.00	19.00	20.00	20.00	17.00	19.17
Desperdicio del concreto	21.26 %	15.20 %	20.12 %	22.43 %	15.75 %	6.10 %	6.60 %	18.44 %	12.52 %	21.84 %	16.81 %	4.06 %	15 %
Tiempo de perforación(h)	2.92	2.08	3.67	1.92	1.92	2.50	2.33	3.25	2.00	2.00	3.25	2.50	2.53
Rendimiento de perforación (ml/h)	7.20	10.08	5.78	10.85	10.90	8.64	9.21	6.62	10.75	10.45	6.71	8.32	8.79
Tiempo de colocación de armadura(h)	0.92	1.25	1.75	1.67	1.67	0.93	1.83	1.00	1.83	1.83	1.25	0.75	1.39
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	22.91	16.80	12.11	12.48	12.54	23.14	11.73	21.50	11.73	11.40	17.44	27.73	16.79
Tiempo de colado del concreto(h)	0.47	0.38	0.58	0.45	0.58	0.55	0.75	1.81	0.88	0.85	0.68	0.38	0.70
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	45.00	54.79	36.34	46.22	35.83	39.27	28.67	11.85	24.34	24.59	31.90	54.27	36.09
Cantidad de acero (kg)	1659.00	1659.00	1659.00	1659.00	1659.00	1659.00	1659.00	1659.00	1659.00	1659.00	1659.00	1659.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	79.00	79.00	78.25	79.76	79.38	76.81	77.16	77.16	77.16	79.38	76.10	79.76	78.24
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.14	0.10	0.17	0.09	0.09	0.12	0.11	0.15	0.09	0.10	0.15	0.12	0.119
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.28	0.23	0.35	0.27	0.35	0.33	0.45	1.09	0.53	0.51	0.41	0.23	0.421
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	19.91												
Cantidad total de concreto de pilotes(m3)	230.00												
Rendimiento del concreto de pilotes(m3/ml)	0.90												

Apéndice 28. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 38.

PILA 38	Pilote 242	Pilote 243	Pilote 244	Pilote 245	Pilote 246	Pilote 247	Pilote 251	Pilote 253	Pilote 255	Promedio
Diámetro (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Longitud Real Perforación(m)	20.30	20.10	20.30	20.10	20.40	20.70	20.00	20.30	20.00	20.24
Longitud efectiva de pilote(m)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	1.50 %	0.50 %	1.50 %	0.50 %	2.00 %	3.50 %	0.00 %	1.50 %	0.00 %	1.22 %
Área(m ²)	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	
Volumen teórico de perforación(m ³)	15.94	15.79	15.94	15.79	16.02	16.26	15.71	15.94	15.71	15.90
Volumen teórico del concreto(m ³)	15.94	15.79	15.94	15.79	16.02	16.26	15.71	15.94	15.71	15.90
Volumen real concreto(m ³)	20.00	20.00	18.00	17.00	17.00	16.00	18.00	19.00	19.00	18.22
Desperdicio del concreto	25.44 %	26.69 %	12.90 %	7.69 %	6.10 %	-1.59 %	14.59 %	19.17 %	20.96 %	14.66 %
Tiempo de perforación(h)	2.25	1.58	3.33	3.83	4.83	1.92	3.75	1.75	2.12	2.82
Rendimiento de perforación (ml/h)	9.02	12.70	6.09	5.24	4.22	10.80	5.33	11.60	9.45	8.27
Tiempo de colocación de armadura(h)	0.58	1.08	1.00	1.33	0.83	2.00	1.33	1.50	1.08	1.19
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	34.80	18.55	20.30	15.08	24.48	10.35	15.00	13.53	18.46	18.95
Tiempo de colado del concreto(h)	0.58	0.48	0.47	0.50	0.68	0.38	0.88	0.63	0.68	0.59
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	34.80	41.59	43.50	40.20	29.86	54.00	22.64	32.05	29.27	36.43
Cantidad de acero (kg)	1525.00	1525.00	1525.00	1525.00	1525.00	1525.00	1525.00	1525.00	1525.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	75.12	75.87	75.12	75.87	74.75	73.67	76.25	75.12	76.25	75.34
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.11	0.08	0.16	0.19	0.24	0.09	0.19	0.09	0.11	0.139
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.38	0.32	0.31	0.33	0.45	0.25	0.58	0.42	0.45	0.386
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	13.73									
Cantidad total de concreto de pilotes(m ³)	164.00									
Rendimiento del concreto de pilotes(m ³ /ml)	0.90									

Apéndice 29. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 40.

PILA 40	Pilote 273	Pilote 274	Pilote 275	Pilote 276	Pilote 277	Pilote 278	Pilote 279	Pilote 280	Pilote 281	Pilote 282	Pilote 283	Pilote 284	Pilote 285	Pilote 286	Pilote 287	Pilote 288	Promedio
Diámetro (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Longitud Real Perforación(m)	20.90	20.90	20.80	23.20	22.70	23.50	23.00	21.40	22.00	21.10	22.50	22.60	23.90	23.00	23.00	21.50	22.25
Longitud efectiva de pilote(m)	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	16.11 %	16.11 %	15.56 %	28.89 %	26.11 %	30.56 %	27.78 %	18.89 %	22.22 %	17.22 %	25.00 %	25.56 %	32.78 %	27.78 %	27.78 %	19.44 %	24 %
Área(m ²)	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	
Volumen teórico de perforación(m ³)	16.41	16.41	16.34	18.22	17.83	18.46	18.06	16.81	17.28	16.57	17.67	17.75	18.77	18.06	18.06	16.89	17.48
Volumen teórico del concreto(m ³)	16.41	16.41	16.34	18.22	17.83	18.46	18.06	16.81	17.28	16.57	17.67	17.75	18.77	18.06	18.06	16.89	17.48
Volumen real concreto(m ³)	20.00	20.00	20.00	22.00	22.00	21.00	20.00	23.00	20.00	20.00	21.00	21.00	22.00	22.00	22.00	20.00	21.00
Desperdicio del concreto	21.84 %	21.84 %	22.43 %	20.74 %	23.40 %	13.78 %	10.72 %	36.84 %	15.75 %	20.69 %	18.84 %	18.31 %	17.20 %	21.79 %	21.79 %	18.44 %	20 %
Tiempo de perforación(h)	5.03	5.67	2.42	3.25	1.92	3.17	2.67	1.58	2.42	2.75	2.67	2.90	3.97	1.97	3.08	2.75	3.01
Rendimiento de perforación (ml/h)	4.15	3.69	8.61	7.14	11.85	7.42	8.62	13.52	9.10	7.67	8.44	7.79	6.03	11.69	7.46	7.82	8.19
Tiempo de colocación de armadura(h)	1.00	1.25	1.50	1.25	1.92	1.70	1.50	1.33	0.83	0.83	3.25	1.53	1.50	1.50	1.00	1.53	1.46
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	20.90	16.72	13.87	18.56	11.85	13.82	15.33	16.05	26.40	25.32	6.92	14.74	15.93	15.33	23.00	14.02	16.80
Tiempo de colado del concreto(h)	0.47	0.52	0.48	0.48	0.53	0.50	0.50	0.65	0.57	0.48	0.53	0.55	0.58	0.52	0.42	0.67	0.53
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	44.79	40.45	43.04	48.03	42.59	47.00	46.00	32.92	38.82	43.66	42.19	41.09	40.97	44.51	55.20	32.25	42.72
Cantidad de acero (kg)	1867.00	1867.00	1867.00	1867.00	1867.00	1867.00	1867.00	1867.00	1867.00	1867.00	1867.00	1867.00	1867.00	1867.00	1867.00	1867.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	89.33	89.33	89.76	80.47	82.25	79.45	81.17	87.24	84.86	88.48	82.98	82.61	78.12	81.17	81.17	86.84	84.08
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.24	0.27	0.12	0.14	0.08	0.13	0.12	0.07	0.11	0.13	0.12	0.13	0.17	0.09	0.13	0.13	0.136
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.25	0.28	0.26	0.26	0.29	0.27	0.27	0.35	0.30	0.26	0.29	0.29	0.31	0.28	0.22	0.36	0.283
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	29.87																
Cantidad total de concreto de pilotes(m ³)	336.00																
Rendimiento del concreto de pilotes(m ³ /ml)	0.94																

Apéndice 30. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 41.

PILA 41	Pilote 289	Pilote 290	Pilote 291	Pilote 292	Pilote 293	Pilote 294	Pilote 295	Pilote 296	Pilote 297	Pilote 298	Pilote 299	Pilote 300	Pilote 301	Pilote 302	Promedio
Diámetro (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Longitud Real Perforación(m)	24.70	25.10	24.70	24.30	24.20	23.70	23.70	23.70	23.60	24.70	24.30	24.70	24.30	25.00	24.34
Longitud efectiva de pilote(m)	22.30	22.30	22.30	22.30	22.30	22.30	22.30	22.30	22.30	22.30	22.30	22.30	22.30	22.30	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	10.76 %	12.56 %	10.76 %	8.97 %	8.52 %	6.28 %	6.28 %	6.28 %	5.83 %	10.76 %	8.97 %	10.76 %	8.97 %	12.11 %	9 %
Área(m2)	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	
Volumen teórico de perforación(m3)	19.40	19.71	19.40	19.09	19.01	18.61	18.61	18.61	18.54	19.40	19.09	19.40	19.09	19.63	19.11
Volumen teórico del concreto(m3)	19.40	19.71	19.40	19.09	19.01	18.61	18.61	18.61	18.54	19.40	19.09	19.40	19.09	19.63	19.11
Volumen real concreto(m3)	24.00	26.00	24.00	23.00	23.00	22.00	24.00	20.00	24.00	24.00	23.00	23.00	21.00	22.00	23.07
Desperdicio del concreto	23.72 %	31.89 %	23.72 %	20.51 %	21.01 %	18.19 %	28.94 %	7.45 %	29.48 %	23.72 %	20.51 %	18.56 %	10.03 %	12.05 %	21 %
Tiempo de perforación(h)	6.05	1.37	2.55	3.45	3.00	6.88	8.50	2.45	2.00	1.53	3.50	1.67	1.88	4.17	3.50
Rendimiento de perforación (ml/h)	4.08	18.37	9.69	7.04	8.07	3.44	2.79	9.67	11.80	16.11	6.94	14.79	12.90	6.00	9.41
Tiempo de colocación de armadura(h)	1.37	1.17	2.00	1.58	2.00	1.47	1.33	1.58	1.58	1.63	1.50	1.42	1.50	1.05	1.51
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	18.07	21.51	12.35	15.35	12.10	16.16	17.78	14.97	14.91	15.13	16.20	17.44	16.20	23.81	16.57
Tiempo de colado del concreto(h)	0.48	0.62	0.50	0.63	0.80	1.08	0.53	0.78	0.53	0.57	0.56	0.63	0.45	0.53	0.62
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	51.14	40.70	49.40	38.39	30.25	21.88	44.47	30.38	44.28	43.56	43.78	39.02	54.00	46.88	41.29
Cantidad de acero (kg)	2393.00	2393.00	2393.00	2393.00	2393.00	2393.00	2393.00	2393.00	2393.00	2393.00	2393.00	2393.00	2393.00	2393.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	96.88	95.34	96.88	98.48	98.88	100.97	100.97	100.97	101.40	96.88	98.48	96.88	98.48	95.72	98.37
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.24	0.05	0.10	0.14	0.12	0.29	0.36	0.10	0.08	0.06	0.14	0.07	0.08	0.17	0.145
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.20	0.26	0.21	0.26	0.33	0.45	0.22	0.33	0.22	0.24	0.23	0.26	0.19	0.22	0.260
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	33.50														
Cantidad total de concreto de pilotes(m3)	323.00														
Rendimiento del concreto de pilotes(m3/ml)	0.95														

Apéndice 31. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 42.

PILA 42	Pilote 303	Pilote 304	Pilote 305	Pilote 306	Pilote 307	Pilote 308	Promedio
Diámetro (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Longitud Real Perforación(m)	25.30	25.50	25.90	25.30	25.50	25.50	25.50
Longitud efectiva de pilote(m)	24.60	24.60	24.60	24.60	24.60	24.60	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	2.85 %	3.66 %	5.28 %	2.85 %	3.66 %	3.66 %	3.66 %
Área(m ²)	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	
Volumen teórico de perforación(m ³)	19.87	20.03	20.34	19.87	20.03	20.03	20.03
Volumen teórico del concreto(m ³)	19.87	20.03	20.34	19.87	20.03	20.03	20.03
Volumen real concreto(m ³)	24.00	24.00	24.00	23.00	24.00	24.00	23.83
Desperdicio del concreto	20.78 %	19.83 %	17.98 %	15.75 %	19.83 %	19.83 %	19.00 %
Tiempo de perforación(h)	1.82	4.17	2.67	1.57	1.62	1.82	2.28
Rendimiento de perforación (ml/h)	13.92	6.12	9.70	16.15	15.77	14.04	12.62
Tiempo de colocación de armadura(h)	3.15	1.58	2.00	2.17	1.28	3.25	2.24
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	8.03	16.11	12.95	11.68	19.88	7.85	12.75
Tiempo de colado del concreto(h)	0.68	0.63	0.63	0.77	0.60	0.68	0.67
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	37.04	40.28	40.92	33.00	42.50	37.32	38.51
Cantidad de acero (kg)	2535.00	2535.00	2535.00	2535.00	2535.00	2535.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	100.20	99.41	97.88	100.20	99.41	99.41	99.42
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.07	0.16	0.10	0.06	0.06	0.07	0.089
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.27	0.25	0.25	0.30	0.24	0.27	0.263
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	15.21						
Cantidad total de concreto de pilotes(m ³)	143.00						
Rendimiento del concreto de pilotes(m ³ /ml)	0.93						

Apéndice 32. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 43.

PILA 43	Pilote 309	Pilote 310	Pilote 311	Pilote 312	Pilote 313	Pilote 314	Promedio
Diámetro (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Longitud Real Perforación(m)	26.80	26.70	26.80	26.90	27.10	27.00	26.88
Longitud efectiva de pilote(m)	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	7.20 %	6.80 %	7.20 %	7.60 %	8.40 %	8.00 %	7.53 %
Área(m ²)	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	
Volumen teórico de perforación(m ³)	21.05	20.97	21.05	21.13	21.28	21.21	21.11
Volumen teórico del concreto(m ³)	21.05	20.97	21.05	21.13	21.28	21.21	21.11
Volumen real concreto(m ³)	23.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	23.83
Desperdicio del concreto	9.27 %	14.45 %	14.02 %	13.60 %	12.76 %	13.18 %	12.88 %
Tiempo de perforación(h)	2.40	2.35	2.72	1.82	2.25	1.70	2.21
Rendimiento de perforación (ml/h)	11.17	11.36	9.86	14.80	12.04	15.88	12.52
Tiempo de colocación de armadura(h)	2.33	3.43	1.42	3.25	2.00	2.57	2.50
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	11.50	7.78	18.92	8.28	13.55	10.52	11.76
Tiempo de colado del concreto(h)	0.55	0.38	0.48	0.68	0.38	0.47	0.49
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	48.73	69.71	55.45	39.39	70.76	57.82	56.98
Cantidad de acero (kg)	2535.00	2535.00	2535.00	2535.00	2535.00	2535.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	94.59	94.94	94.59	94.24	93.54	93.89	94.30
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.09	0.09	0.10	0.07	0.08	0.06	0.082
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.22	0.15	0.19	0.27	0.15	0.18	0.194
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	15.21						
Cantidad total de concreto de pilotes(m ³)	143.00						
Rendimiento del concreto de pilotes(m ³ /ml)	0.89						

Apéndice 33. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 44.

PILA 44	Pilote 315	Pilote 316	Pilote 317	Pilote 318	Pilote 319	Pilote 320	Promedio
Diámetro (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Longitud Real Perforación(m)	33.60	33.60	33.50	33.50	34.00	33.70	33.65
Longitud efectiva de pilote(m)	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	8.39 %	8.39 %	8.06 %	8.06 %	9.68 %	8.71 %	8.55 %
Área(m ²)	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	
Volumen teórico de perforación(m ³)	26.39	26.39	26.31	26.31	26.70	26.47	26.43
Volumen teórico del concreto(m ³)	26.39	26.39	26.31	26.31	26.70	26.47	26.43
Volumen real concreto(m ³)	29.00	30.00	30.00	31.00	30.00	30.00	30.00
Desperdicio del concreto	9.89 %	13.68 %	14.02 %	17.82 %	12.34 %	13.34 %	13.52 %
Tiempo de perforación(h)	2.67	2.28	2.83	2.05	2.75	2.50	2.51
Rendimiento de perforación (ml/h)	12.60	14.72	11.82	16.34	12.36	13.48	13.55
Tiempo de colocación de armadura(h)	6.13	2.25	1.57	2.00	3.83	1.95	2.96
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	5.48	14.93	21.38	16.75	8.87	17.28	14.12
Tiempo de colado del concreto(h)	0.83	0.72	0.73	0.57	0.83	0.68	0.73
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	40.34	46.86	45.70	59.08	40.80	49.34	47.02
Cantidad de acero (kg)	4142.00	4142.00	4142.00	4142.00	4142.00	4142.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	123.27	123.27	123.64	123.64	121.82	122.91	123.09
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.08	0.07	0.08	0.06	0.08	0.07	0.075
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.20	0.17	0.18	0.14	0.20	0.16	0.176
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	24.85						
Cantidad total de concreto de pilotes(m ³)	180.00						
Rendimiento del concreto de pilotes(m ³ /ml)	0.89						

Apéndice 34. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 47.

PILA 47	Pilote 333	Pilote 334	Pilote 335	Pilote 336	Pilote 337	Pilote 338	Pilote 339	Pilote 340	Promedio
Diámetro (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Longitud Real Perforación(m)	31.80	32.00	31.90	32.00	31.60	31.80	32.00	30.80	31.74
Longitud efectiva de pilote(m)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	6.00 %	6.67 %	6.33 %	6.67 %	5.33 %	6.00 %	6.67 %	2.67 %	6 %
Área(m ²)	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	
Volumen teórico de perforación(m ³)	24.98	25.13	25.05	25.13	24.82	24.98	25.13	24.19	24.93
Volumen teórico del concreto(m ³)	24.98	25.13	25.05	25.13	24.82	24.98	25.13	24.19	25.01
Volumen real concreto(m ³)	28.00	29.50	26.00	30.00	27.00	29.50	29.00	30.00	28.63
Desperdicio del concreto	12.11 %	17.38 %	3.78 %	19.37 %	8.79 %	18.11 %	15.39 %	24.02 %	15 %
Tiempo de perforación(h)	5.78	7.88	3.43	1.95	9.57	10.25	3.92	3.92	5.84
Rendimiento de perforación (ml/h)	5.50	4.06	9.29	16.41	3.30	3.10	8.17	7.86	7.21
Tiempo de colocación de armadura(h)	2.25	2.67	2.42	2.25	1.67	2.00	2.83	3.08	2.40
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	14.13	12.00	13.20	14.22	18.96	15.90	11.29	9.99	13.71
Tiempo de colado del concreto(h)	0.82	1.18	0.83	0.75	0.68	1.33	0.72	0.77	0.89
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	38.94	27.04	38.28	42.67	46.25	23.85	44.65	40.17	37.73
Cantidad de acero (kg)	3905.00	3905.00	3905.00	3905.00	3905.00	3905.00	3905.00	3905.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	122.80	122.03	122.41	122.03	123.58	122.80	122.03	126.79	123.06
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.18	0.25	0.11	0.06	0.30	0.32	0.12	0.13	0.184
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.21	0.30	0.21	0.19	0.17	0.34	0.18	0.20	0.227
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	31.24								
Cantidad total de concreto de pilotes(m ³)	229.00								
Rendimiento del concreto de pilotes(m ³ /ml)	0.90								

Apéndice 35. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 48.

PILA 48	Pilote 341	Pilote 342	Pilote 343	Pilote 344	Pilote 345	Pilote 346	Pilote 347	Pilote 348	Promedio
Diámetro (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Longitud Real Perforación(m)	30.90	30.80	31.40	31.30	29.20	29.80	30.90	31.00	30.66
Longitud efectiva de pilote(m)	27.90	27.90	27.90	27.90	27.90	27.90	27.90	27.90	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	10.75 %	10.39 %	12.54 %	12.19 %	4.66 %	6.81 %	10.75 %	11.11 %	10 %
Área(m ²)	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	
Volumen teórico de perforación(m ³)	24.27	24.19	24.66	24.58	22.93	23.40	24.27	24.35	24.08
Volumen teórico del concreto(m ³)	24.27	24.19	24.66	24.58	22.93	23.40	24.27	24.35	24.01
Volumen real concreto(m ³)	30.00	30.00	30.00	30.00	24.00	26.00	31.00	28.00	28.63
Desperdicio del concreto	23.62 %	24.02 %	21.65 %	22.04 %	4.65 %	11.09 %	27.74 %	15.00 %	19 %
Tiempo de perforación(h)	6.00	4.17	4.28	4.83	2.58	2.25	6.00	5.75	4.48
Rendimiento de perforación (ml/h)	5.15	7.39	7.33	6.48	11.30	13.24	5.15	5.39	7.68
Tiempo de colocación de armadura(h)	2.25	2.25	2.08	3.58	2.25	4.67	2.25	1.92	2.66
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	13.73	13.69	15.07	8.73	12.98	6.39	13.73	16.17	12.56
Tiempo de colado del concreto(h)	0.78	0.70	0.92	1.02	0.57	0.93	0.78	0.73	0.80
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	39.45	44.00	34.25	30.79	51.53	31.93	39.45	42.27	39.21
Cantidad de acero (kg)	4125.00	4125.00	4125.00	4125.00	4125.00	4125.00	4125.00	4125.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	133.50	133.93	131.37	131.79	141.27	138.42	133.50	133.06	134.60
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.19	0.14	0.14	0.15	0.09	0.08	0.19	0.19	0.145
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.026
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	33.00								
Cantidad total de concreto de pilotes(m ³)	229.00								
Rendimiento del concreto de pilotes(m ³ /ml)	0.93								

Apéndice 36. Cálculo de rendimientos de los pilotes de la pila 49.

PILA 49	Pilote 349	Pilote 350	Pilote 351	Pilote 352	Pilote 353	Pilote 354	Pilote 355	Pilote 356	Promedio
Diámetro (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Longitud Real Perforación(m)	30.70	30.70	31.40	30.80	30.50	30.20	30.80	30.80	30.74
Longitud efectiva de pilote(m)	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	
Diferencia de longitud de perforación efectiva	9.64 %	9.64 %	12.14 %	10.00 %	8.93 %	7.86 %	10.00 %	10.00 %	10 %
Área(m ²)	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	
Volumen teórico de perforación(m ³)	24.11	24.11	24.66	24.19	23.95	23.72	24.19	24.19	24.14
Volumen teórico del concreto(m ³)	24.11	24.11	24.66	24.19	23.95	23.72	24.19	24.19	24.12
Volumen real concreto(m ³)	28.00	28.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	29.50
Desperdicio del concreto	16.13 %	16.13 %	21.65 %	24.02 %	25.24 %	26.48 %	24.02 %	24.02 %	22 %
Tiempo de perforación(h)	6.60	8.00	12.00	4.75	5.50	4.50	6.67	8.00	7.00
Rendimiento de perforación (ml/h)	4.65	3.84	2.62	6.48	5.55	6.71	4.62	3.85	4.79
Tiempo de colocación de armadura(h)	2.00	3.67	3.50	2.17	2.50	2.50	2.83	1.92	2.64
Rendimiento de colocación armadura (ml/h)	15.35	8.37	8.97	14.22	12.20	12.08	10.87	16.07	12.27
Tiempo de colado del concreto(h)	0.93	0.75	1.30	0.57	1.07	1.67	0.75	0.73	0.97
Rendimiento de tiempo de colado(ml/h)	32.89	40.93	24.15	54.35	28.59	18.12	41.07	42.00	35.26
Cantidad de acero (kg)	3047.00	3047.00	3047.00	3047.00	3047.00	3047.00	3047.00	3047.00	
Rendimiento de acero(kg/ml)	99.25	99.25	97.04	98.93	99.90	100.89	98.93	98.93	99.14
Rendimiento de perforación (hPer/ml)	0.21	0.26	0.38	0.15	0.18	0.15	0.22	0.26	0.227
Rendimiento de colocación armadura (hGrua/h)	0.31	0.25	0.43	0.19	0.35	0.55	0.25	0.24	0.319
Cantidad total de acero de pilotes(ton)	24.38								
Cantidad total de concreto de pilotes(m ³)	236.00								
Rendimiento del concreto de pilotes(m ³ /ml)	0.96								

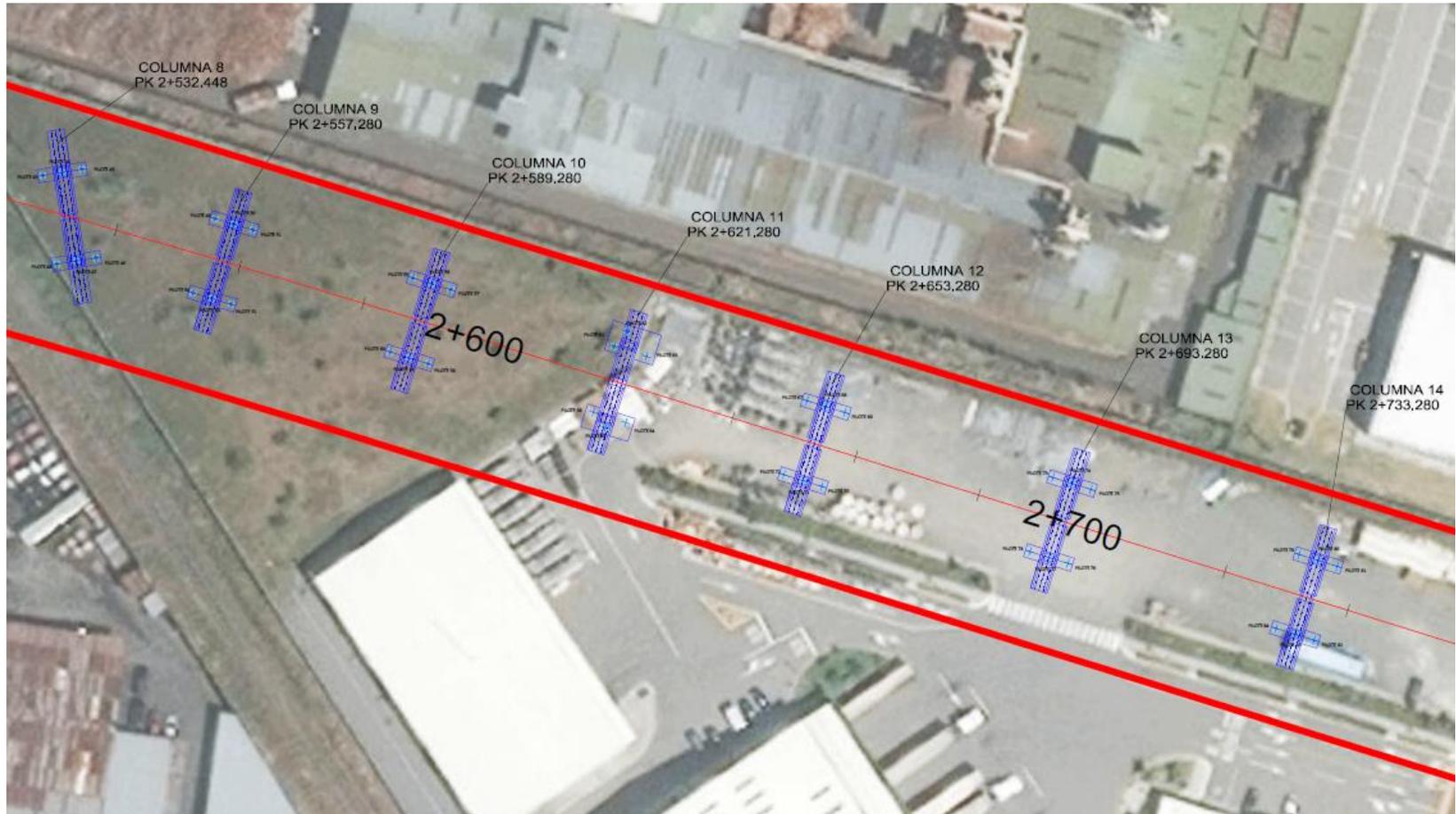
Anexos

Anexo A. Ubicación del proyecto. (Suministrado por Ingeniero Bernardo Jiménez, H. Solís)

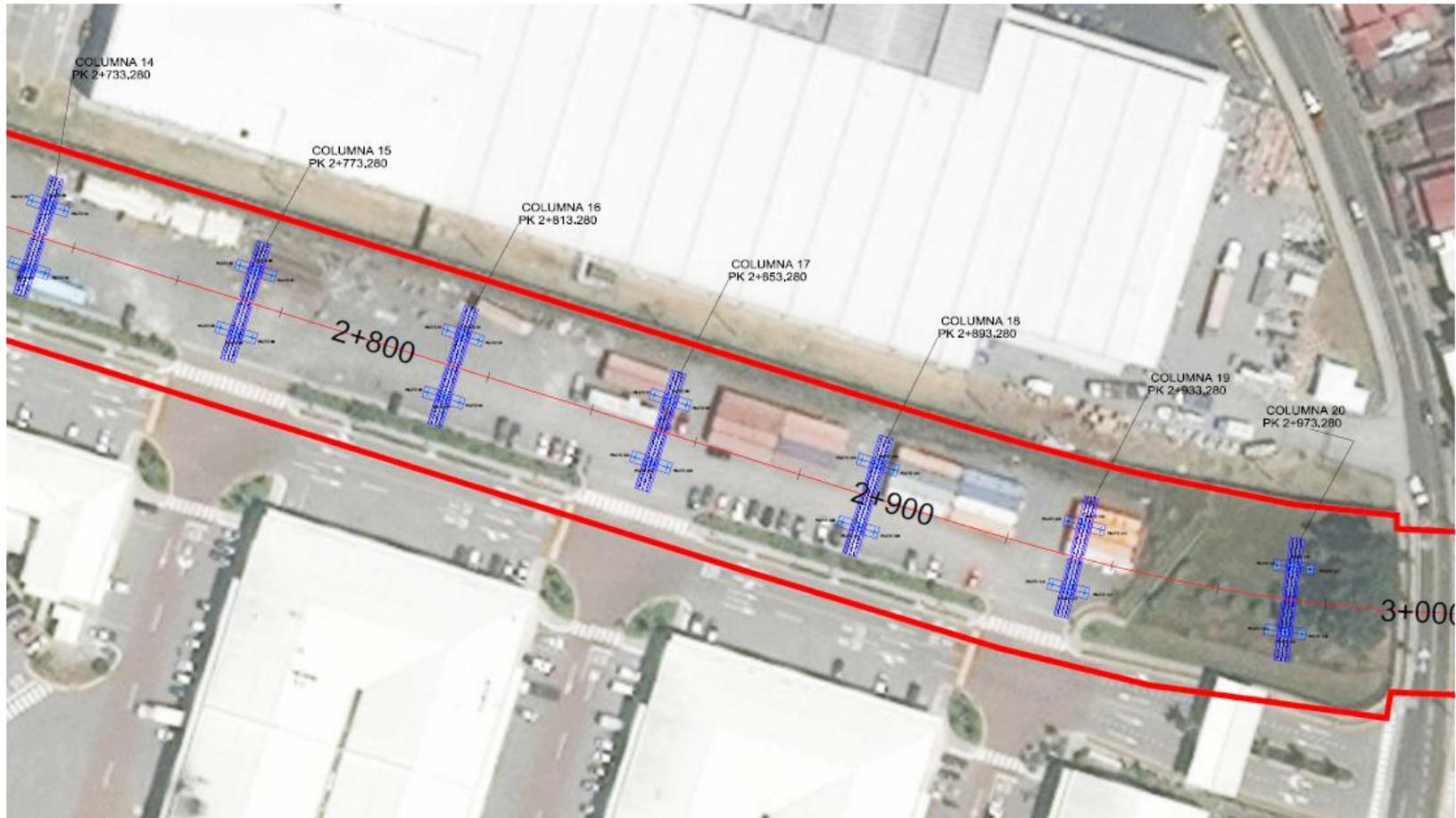
Anexo 1. Ubicación de pila 1 a pila 7.



Anexo 2. Ubicación de pila 8 a pila 14.



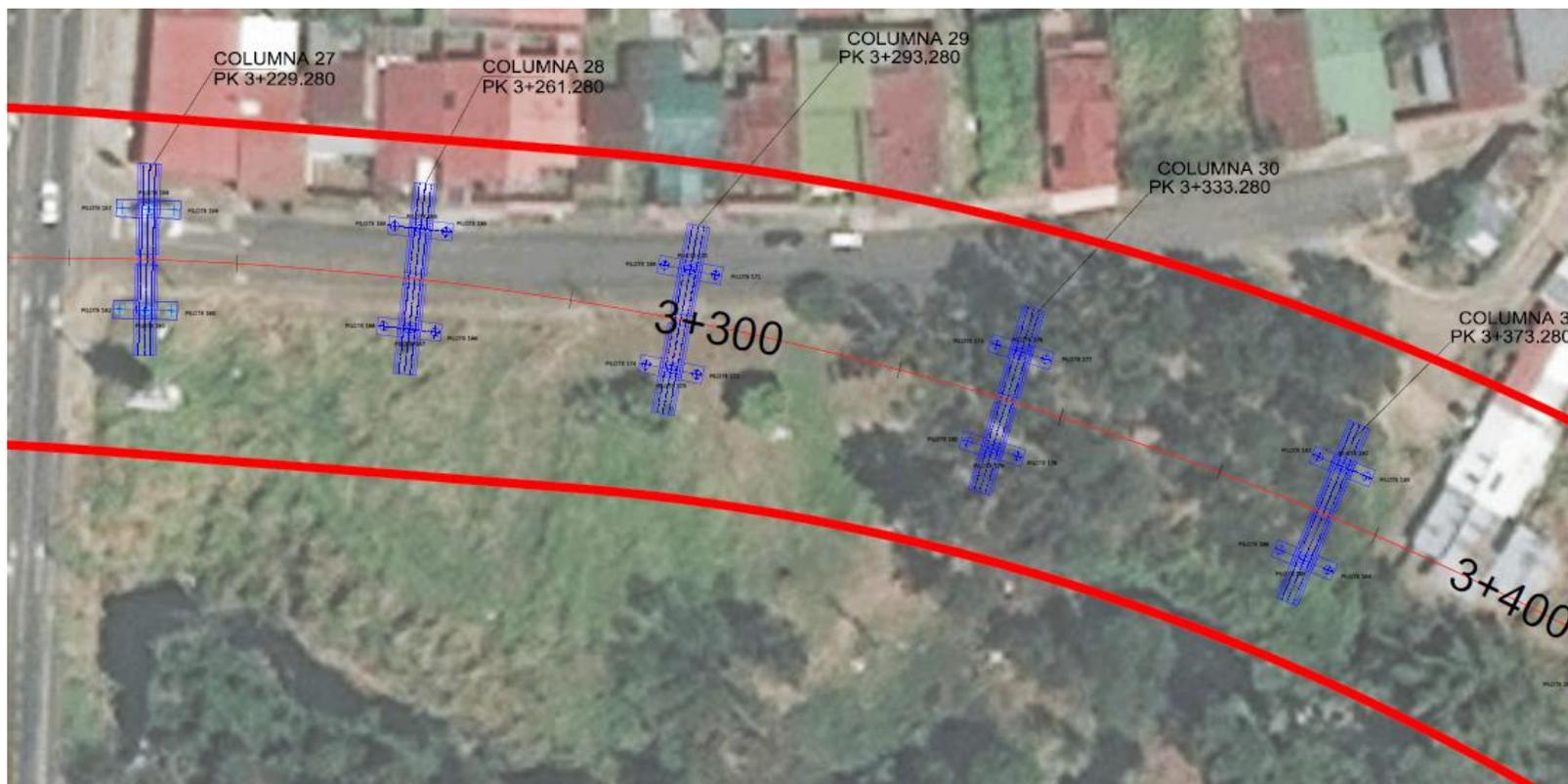
Anexo 3. Ubicación de pila 14 a pila 20.



Anexo 4. Ubicación de pila 21 a pila 26.



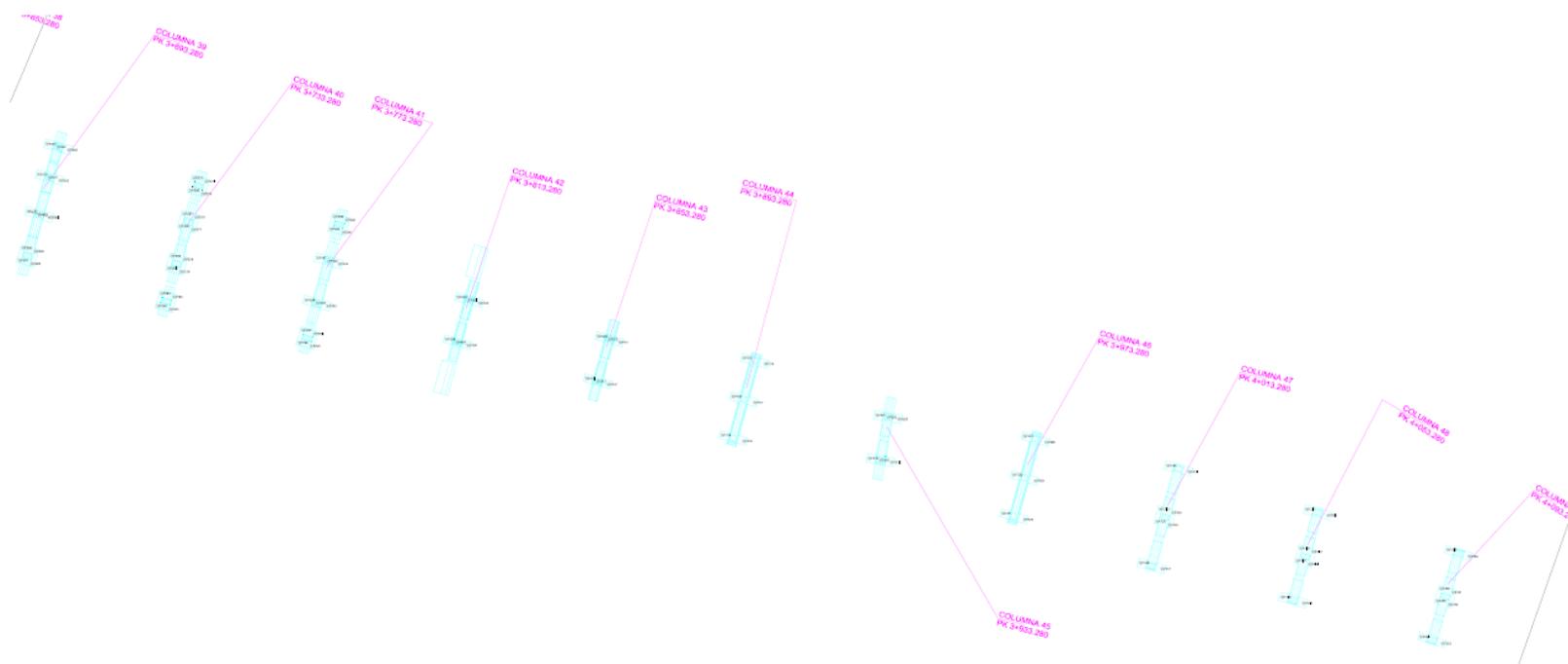
Anexo 5. Ubicación de pila 27 a pila 31.



Anexo 6. Ubicación de pila 30 a pila 38.



Anexo 7. Ubicación de pila 39 a pila 49.



Anexo B. Formato de control de información de pilotes en campo.¹¹
 (Suministrado por Ingeniero Bernardo Jiménez, H. Solís)

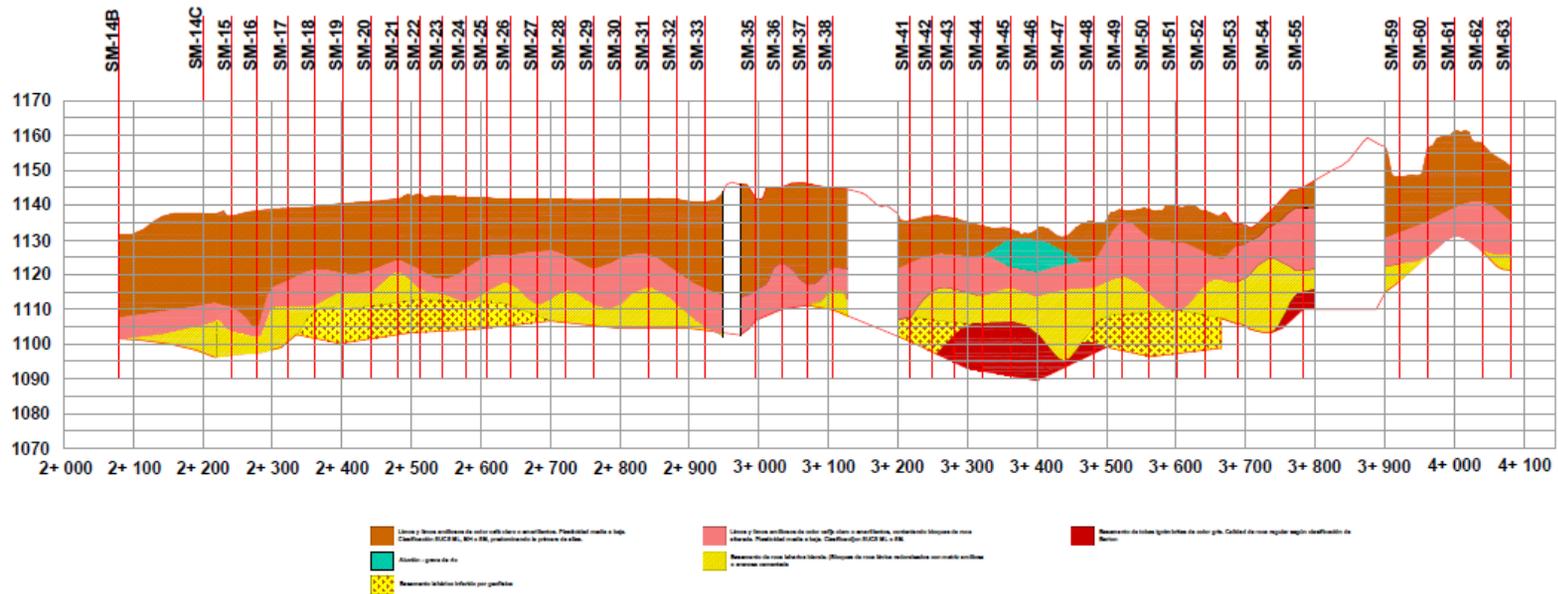
				Circunvalación Norte Colado de concreto en pilotes							
OBRA		VIADUCTO				SUPERVISIÓN		UNOPS			
COLUMNA	9	DIÁMETRO	1000 mm	NÚMERO PILOTE		53			FECHA REPORTE	20/5/2018	
PERFORACION A ROTACION				DIMENSIONES				NIVEL		FLUIDOS	
PROFUNDIDADES Y VOLÚMENES				LARGO (Mts)	32.00		TERRENO	0.00			
LONGITUD REAL PERFORACIÓN		32.00		DIÁMETRO (Mts)	1		FONDO	-32.00		BENTONITA	NO
VOLUMEN TEÓRICO PERFORACIÓN		25.13		ÁREA (M2)	0.785		ARMADURA	0.30		POLIMERO	NO
VOLUMEN TEÓRICO CONCRETO		25.13		TUBO GALVANIZADO 2"	128	Mts	CONCRETO	0.00		VISCOSIDAD	NO
VOLUMEN REAL CONCRETO		26.00		ENCAMISADO	0 Mts		FRÉATICO	--		PH	NO
EXPANSIÓN		3.45%		PESO DE ARMADURA	2242		PROF ROCA	-		DENSIDAD	NO
TIEMPO DE PERFORACIÓN			FECHA:	19/05/2018		TIEMPO COLOCACIÓN ARMADURA			FECHA:	20/05/2018	
HORA INICIAL		HORA FINAL		TOTAL		HORA INICIAL		HORA FINAL		TOTAL	
15:05		17:05		2:00		6:30		8:45		2:15	
11:22		12:45		1:23							

¹¹ Debido a la cantidad de pilotes, solamente se incluye 1 anexo a manera de ejemplo.

Anexo C. Perfil Geotécnico del proyecto. (Suministrado por Ingeniero Bernardo Jiménez, H. Solís)

Anexo 9. Perfil geotécnico del corredor vial "Circunvalación Norte"

CORREDOR VIAL "CIRCUNVALACIÓN NORTE", SEGUNDA ETAPA



PERFIL GEOTÉCNICO

Referencias

- Botero Botero, L., & Álvarez Villa, M. (2004). Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda. *Revista universitaria EAFIT*, 40(136), 59. Retrieved from https://www.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS_20/Ingenieria%20Sistemas/9.pdf
- Botero Botero, L. (2002). Análisis de rendimientos y consumos de mano de obra en actividades de construcción. *Revista Universitaria EAFIT*, 128, 11-15. Retrieved from https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwj3-5DH3s_hAhWE1FkKHVEICeQQFjAAegQIABAC&url=http%3A%2F%2Fpublicacion.es.eafit.edu.co%2Findex.php%2Frevista-universidad-eafit%2Farticle%2Fdownload%2F843%2F751%2F&usq=AOvVaw0CduC2TJCwV1hSg6G1b8wr
- Bolaños Chaves, H. (2012). *Pilotes de gran diámetros colados en sitio: Control en Obra y rendimientos para un proyecto de silo de cemento*. Licenciatura. Universidad de Costa Rica.
- Cat | Retroexcavadora Cargadora 416F2 | Caterpillar. (2019). Retrieved from https://www.cat.com/es_US/products/new/equipment/backhoe-loaders/center-pivot/1000001042.html
- Hizen, J. 2009. Work Measurement. UNIVERSITY OF FLORIDA. Extraído el 12 de abril del 2019 desde: <http://web.dcp.ufl.edu/hinze/Work%20Measurement.htm>
- Leandro, A. 2018. Presentaciones del curso Diseño de Procesos Constructivos, impartido el I Semestre del 2018. Escuela de Ingeniería en Construcción. INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA.
- Montoya Vallecilla, J. (2018). *Elementos de Concreto reforzado II* (p.263). Ibagué: Universidad de Ibagué.
- SR-45 | Soilmec S.p.A. (2019). Retrieved from http://www.soilmec.com/en/products/piling_rigs/sr45
- Trabajabilidad del Concreto Autonivelante | CEMEX México. (2019). Retrieved from https://www.cemexmexico.com/cemento-full-view/-/asset_publisher/8jqPNgVo6bhu/content/rabajabilidad-concreto-autonivelante