



Análisis de rendimientos de barras auto perforantes frente a torones de acero en anclajes activos.

Determinar la relación costo – beneficio ligado al equipamiento de barras auto perforantes frente a los torones de acero en anclajes activos empleados en el proyecto peaje las palmas.

Iván Andrés Toro Betancur

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Civil

Asesores

Carlos Alberto Vega Posada, Doctor (PhD) en Ingeniería Civil y Ambiental.

Alejandra Martínez Ríos, Ingeniera Civil.

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Civil

Medellín, Antioquia, Colombia

2022

Cita	(Toro Betancur, 2022)
Referencia	Toro Betancur, I. A. (2022). <i>Análisis de rendimientos de barras auto perforantes frente a torones de acero en anclajes activos</i> [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/director: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Diana Catalina Rodríguez Loaiza.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	6
Introducción.....	7
1. Objetivos	8
1.1 Objetivos generales.....	8
1.2 Objetivos específicos	8
2. Marco teórico	9
3. Metodología	11
3.1. Revisión bibliográfica:.....	11
3.2. Elaboración de la propuesta:	11
3.3. Recolección información de interés:.....	11
3.4. Investigación aplicada y conceptual:	11
3.5. Visitas de campo:.....	12
3.6. Procesamiento de base de datos de campo:	12
3.7. Elaboración de informe final y sustentación:	12
4. Resultados y análisis	13
4.1. Procedimiento de construcción.....	13
4.2. Equipamientos.	22
4.3. Tiempos ligados a cada actividad.	23
5. Conclusiones.	28
Referencias	29

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Procedimientos de construcción.....	13
Tabla 2 Valores torón 0,6”.....	22
Tabla 3 Información técnica barra auto perforante R38 tomada de DSI.....	23
Tabla 4 Tiempos actividades.....	23
Tabla 5 Perforación e instalación.....	25

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Fotografía armado de anclaje activo equipado con torones.....	15
Figura 2	Fotografía armado de anclaje activo equipado con barra auto perforante..	16
Figura 3	Fotografía equipo de perforación CDT 100 empleado en alturas.	18
Figura 4	Fotografía equipo de perforación CMV MK600M empleado en la perforación de ambos equipamientos.	18
Figura 5	Fotografía instalación anclaje activo equipado con torones..	19
Figura 6	Grafica relación perforación e instalación...	24
Figura 7	Grafica correlación de ítems..	26
Figura 8	Grafica correlación de ítems de re-perforación.....	27

Resumen

Actualmente en nuestro país el desarrollo de anclajes activos va ligado a la implementación de torones para la ejecución del tensionamiento, cambiar los paradigmas impuestos hacia nuevas herramientas no siempre es fácil, ya que clientes que llevan mucho tiempo desarrollando sus diferentes proyectos con torones no relacionan de una manera idónea las capacidades de las barras auto perforantes para satisfacer las condiciones de diseño. Es por esto que se desea realizar una investigación en la cual se relacionan tanto las capacidades, beneficios, ventajas, desventajas y costos de cada uno de los equipamientos en cuestión, para conocer dicha información se tomarán los datos ligados al proyecto peaje las palmas, en el que se realizaron 48 anclajes activos con torón de 0,5 y 0,6 con tres y dos puntas respectivamente, se analizarán los diferentes rendimientos, desde la fase de perforación hasta la puesta en servicio del anclaje para así correlacionar con una perforación de la misma longitud en la que se emplee barra auto perforante en un suelo con similar condiciones, a la par de su ejecución se tomarán datos de las capacidades ligadas a cada sistema, los tiempos de ejecución, eventualidades, costos, ventajas y desventajas para así llevar los diferentes datos a un sistema de correlaciones en el que se pueda concluir los diferentes comportamientos y el método más eficaz.

Palabras claves:

Anclajes activos, taludes, torón, barra auto perforante, estabilidad, tensionamiento, costos.

Introducción

El desarrollo tradicional de la estabilización de taludes con anclajes activos ha estado directamente correlacionado con la utilización de torones para el tensado del sistema, al pasar de los años nuevas tecnologías han surgido pero el sistema que se ha posicionado como tradicional ha tomado tal fuerza que concientizar tanto a los diseñadores como a los clientes no es una tarea fácil, el costo adicional que se ve reflejado de la aplicación de barras auto perforantes en un proyecto trae consigo un valor agregado tanto para el cliente como para el proveedor del servicio, por lo cual a la hora de desarrollar y decidir el enfoque de un proyecto se deberían analizar diferentes variables que indique bajo qué condiciones un sistema es más acertado que el otro.

Para esto se deben identificar y comparar todas las variables ligadas a los procesos, sintetizar cuáles son más determinantes a la hora de concluir las cualidades de un proyecto y generan más beneficios comunes, con el fin de mostrar a todo aquel que esté interesado variables que le permitan escoger entre equipar un anclaje activo con torones o con barras auto perforantes. Al identificar estas variables se tiene como objetivo concluir y certificar que los beneficios ligados al equipar los anclajes activos con barras auto perforantes son mayores en sus diferentes fases que al ser equipados con torones.

1. Objetivos

1.1 Objetivos generales

- Demostrar a partir de correlaciones las ventajas constructivas y de diseño en anclajes activos que ofrecen el equipar las barras auto perforantes frente a los torones

1.2 Objetivos específicos

- Generar los costos asociados a la ejecución de anclajes activos con torones y con barras auto perforantes.
- Desarrollar un diagrama de tiempos asociados a las actividades de perforación ligado a los métodos empleados.
- Analizar la factibilidad de realización de diferentes proyectos con una u otra alternativa de instalación de anclajes activos.

2. Marco teórico

Los anclajes son elementos que tienen como objetivo proporcionar fuerzas estabilizadoras a suelos inestables y suelos que en futuro van a estar bajo efecto de cargas considerables, este consiste en una estructura que se instala sobre rocas, suelos o estructuras con el fin de transmitir una tensión de carga al terreno. Los anclajes presentan una cantidad considerable de formas y variantes (Angel & Uriel, 2020), además su empleo para la estabilización de suelos ofrece la ventaja de poder construir sistemas unificados de gran altura, con la bondad de proveer deflexiones considerablemente menores respecto a otras alternativas, estos sistemas están diseñados para resistir las presiones laterales de la tierra y del agua que son desarrolladas en mayor medida, por las cargas derivadas del peso de los suelos retenidos, los movimientos sísmicos o las sobrecargas inducidas. (P.J. Sabatini, 1999)

En el enfoque particular del proyecto nos enfocaremos en los anclajes activos equipados con torones y con barras auto perforantes. Definimos un anclaje activo como un anclaje sometido a una carga de tensado luego de ejecución mayor al 50% de la máxima prevista en el proyecto, bajo ninguna circunstancia puede ser menor al 50% de la proyectada y a su vez definimos los equipamientos que le constituyen de los tirantes en anclajes de cables o barras. (Carreteras & AETESS, 2001).

En general podemos clasificar los anclajes mediante factores determinísticos como el material al cual corresponde, el tipo de trabajo que van a desempeñar y su vida útil. El enfoque del proyecto se basa en una serie de comparaciones en el apartado específico de materiales, específicamente entre las barras auto perforantes y cables(torones), además de este existen diferentes equipamientos, donde la barra roscada se desempeña como uno de los materiales que destacan sobre otras tecnologías. A su vez los anclajes se subdividen en anclajes pasivos y activos haciendo referencia al tipo de trabajo de estabilización de suelos que ejecutan y por último la vida útil se subdivide en anclajes de carácter provisional y permanentes según sea el caso. (Aguila, 2018)

Las características de dichos equipamientos son a su vez muy variables, pero poseen un alto rango de soluciones para satisfacer las necesidades de los diferentes diseños, en general ambos equipamientos pueden ser desarrollados bajo cualquier tipo de condición, pero cuando damos lugar a la descripción de los sistemas uno nos representa mayores favorabilidades que el otro, por ejemplo una ventaja de las barras auto perforantes es su uso bajo condiciones de barrenos inestables lo cual representa valores más óptimos de rendimiento en cuanto a tiempo y control en la estabilidad de terrenos (dywidag), usualmente la decisión de emplear este equipamiento se ve rechazada porque representa un mayor costo de manera directa(Aguila, 2018) pero debido a sus fortalezas operativas es donde representa una ventaja en la ejecución de los proyectos. La profundización de las bondades de cada equipamiento será material a desglosar a medida que se avance en la propuesta, pero en resumen la operatividad de tiempos se ve altamente favorable a las barras auto perforantes ya que estar brinda la unificación de los procesos de perforación, barrido e inyectado mediante el mismo elemento, dicha favorabilidad se ve traducida en rendimientos y tiempos de operación altamente favorables (Velásquez, 2018). Los anclajes de barras y anclajes de cables, aunque

tienen la misma función de equipamiento ofrecen variaciones ligadas a los componentes intrínsecos de cada una, desde sus límites elásticos hasta carga de rotura más los diferentes rangos según su tipo permiten el cumplimiento de las condiciones de diseño, el paso a paso de la ejecución del anclaje se divide en diferentes sub fases que van desde la perforación hasta el tensado y puesta en servicio. (Yepes Piqueras, 2022).

La ejecución de los factores constructivos debe de ir ligados siempre a métodos objetivos, en donde se da especial lugar a los factores de diseño de los esquemas de refuerzo, el fiel cumplimiento de estos lineamientos dará lugar a la garantía de operatividad del proyecto, el ofrecer las fuerzas de refuerzo puede emplear diferentes esquemas para satisfacer las necesidades pero la garantía de que estos funcionen en algunos casos no es algo que está bien definido, para esto por ejemplo, se debe profundizar más en la determinación de las posiciones y longitudes razonables del equipamiento del anclaje en la estabilización de los suelos que se proyectan. Existen diferentes métodos de diseño que consideran factores como el equilibrio de la fuerza total, los campos de tensionamiento y desplazamiento. El método de equilibrio limite es uno de los sistemas empleados, este tiene como metodología el satisfacer las dos primeras condiciones según sea el caso y a partir de esto dar solución a la problemática mas no considera todos los factores que se deben tener en consideración, el complemento de este con diferentes métodos como el numérico ofrecen más variables para resolver las diferentes necesidades. Existen diferentes consideraciones de diseño y su efectiva aplicación también va ligada al caso que se está analizando (Yang, Zhong, Zhang, & Fu, 2015).

3. Metodología

Con el objetivo de desarrollar un debido proceso en el orden de las ideas, se predetermina un paso a paso de trabajo en el que se permita estimar valores cualitativos, cuantitativo o mixtos para lograr estimaciones asertivas:

3.1. Revisión bibliográfica:

Apoyados en las bases fundamentales de cada uno de los conceptos se procede a la recolección de información en las bases de datos adscritas a la universidad de Antioquia y la documentación técnica ligada a la empresa (GEODIC S.A.S) esto con el fin de tener un fácil acceso a la red de información que nos permite identificar variables, analizar y sintetizar posibles herramientas que consoliden de una manera idónea la propuesta de investigación.

3.2. Elaboración de la propuesta:

En base a la información adquirida en la revisión bibliográfica se busca realizar la síntesis de las ideas en la que de manera clara y concisa se logre identificar el vacío del conocimiento, la justificación y viabilidad en cual se basa el proyecto.

3.3. Recolección información de interés:

En este ítem se tiene como objetivo desglosar cada una de las actividades ligadas a los anclajes activos, definiendo cada una de las variables y dando lugar a objetivos de análisis a partir de estas.

3.4. Investigación aplicada y conceptual:

A la par de la revisión bibliográfica y la recolección de información de interés se definen los diferentes procesos que teóricamente se deben realizar para la ejecución de un anclaje activo, estos se colacionan con la normatividad internacional en la cual se determinan los factores determinantes a la hora de seleccionar un equipamiento con barra auto perforante o con torones.

3.5. Visitas de campo:

Las visitas de campo tienen como fin realizar la recolección de datos en el proyecto peaje las palmas principalmente, se podrá también realizar visitas de campo a otros proyectos en los cuales se pueda tener relevancia para el desarrollo de la propuesta según como la asesora externa lo considere, en estas visitas se identificarán los diferentes procesos de construcción según el tipo de equipamiento que se le dé a los anclajes activos, el análisis general de la estabilidad que proveen los anclajes al talud y el análisis de costos asociados a cada actividad.

3.6. Procesamiento de base de datos de campo:

Una vez se tenga una base de datos en campo de los diferentes costos asociados a las actividades desarrolladas y del debido proceso a ejecutar en obra, se procede a crear una red de datos en las que se pueda tener conocimiento de los costos que genera cada una de las actividades, tanto en personal como en equipos, materiales, insumos y demás. La elaboración de esta base de datos permitirá además conformar un presupuesto base para la evaluación de factibilidad de nuevas obras.

Se dará lugar además a la comparación de la diferencia en los procesos cuando se emplea equipamiento de anclajes activos con barras auto perforantes y con torones y se concluirán los diferentes factores de eficiencia por los cuales un equipamiento destaca sobre el otro.

3.7. Elaboración de informe final y sustentación:

Con la información recolectada desde el primer instante del proyecto se realizará un informe final en donde se evidencien el paso a paso determinado en la metodología, los resultados alcanzados y las conclusiones generadas a partir de las diferentes variables, que permitan determinar los beneficios constructivos que el equipamiento del anclaje activo provee.

4. Resultados y análisis

El proceso de construcción de anclajes activos tiene en sus actividades de ejecución actividades idénticas y relacionadas independiente de si su equipamiento es con torones o anclajes activos, es por esto que primero se contextualizará acerca de estas actividades y posteriormente se dará lugar a la tabla de tiempos contenidos y demás resultados alcanzados.

Cuando hablamos de realizar anclajes activos para la estabilización de un talud, pantalla, o demás obras civiles no se nos habla en específico del equipamiento con el que se va a desarrollar dicho anclaje si no de las condiciones de diseño que se deben satisfacer para garantizar que el proceso constructivo cumpla a cabalidad con los requerimientos técnicos, tanto el equipamiento con torones como con auto perforantes logran suplir las necesidades de diseño, pero es en factores ligados a rendimientos donde se da a lugar a grandes márgenes entre el empleo y uso de uno u otro mecanismo.

Llamamos rendimiento en obra a la acción de desarrollar o suplir diferentes tareas a razón de un tiempo en específico debido a la acción de la operación de actividad humana, de herramientas, de equipos técnicos o las acciones conjuntas de ellos entre sí, desglosaremos a razón de las actividades ligadas a cada uno de los equipamientos para desarrollar anclajes activos.

4.1. Procedimiento de construcción.

Buscando contextualizar acerca de los diferentes procesos se explicarán las diferentes tareas en el proceso de construcción de anclajes activos ya sean equipados con barras auto perforantes, como cuando está equipado con torones deben cumplir una serie de actividades, estas son:

Tabla 1
Procedimientos de construcción.

NUMERAL	ACTIVIDAD
1	LOCALIZACIÓN
2	ARMADO DEL ANCLAJE
3	PERFORACIÓN
4	INSTALACIÓN DE ACERO
5	LLENADO INICIAL
6	INYECCIÓN

7	VACIADO DE DADOS
8	TENSIONAMIENTO

1. LOCALIZACIÓN.

La ubicación de los puntos de perforación es realizada por medio de topografía replicando los puntos de diseño.

2. ARMADO DEL ANCLAJE.

A continuación, listaremos el paso a paso a desarrollar para la fabricación del anclaje a ser instalado. Inicialmente listaremos el proceso en la fabricación del equipamiento con torones, este deberá contener:

- a. Inicialmente por facilidad y seguridad el rollo de torón, debe estar ubicado dentro de un devanador.
- b. Se retira el cable para ser cortado a la longitud de diseño, adicionalmente, debe ser cortado con 1 a 1,2 metros adicional para el proceso de tensado.
- c. Montaje de la línea de llenado, a base de manguera agro minera de 0,5" o 0,6" según disponibilidad. Esta debe llevar perforaciones a los 25, 50, 75 y 100 cm desde el inicio del bulbo buscando garantizar que, en caso de haber una obstrucción en la línea de llenado, esta pueda completar su llenado desde el final de la perforación hacia el inicio.
- d. Armado de la línea de inyección con obturadores (perforación de la tubería en ¼" demarcada con neumático y cinta). Los obturadores solo se dan en la longitud de bulbo establecida en el diseño, dicha obturación se debe realizar cada 70cm.
- e. Se posicionan las líneas de inyección y llenado en conjunto con los torones cortados sobre bancos de sostenimiento para proceder con el armado, estos bancos permiten que las puntas de acero no se vean contaminadas con material antes de su instalación, parte crucial debido a que se garantiza parcialmente que el acero tendrá una adherencia adecuada con la lechada de cemento.
- f. En la zona de bulbo se colocan separadores plásticos distanciados cada metro, con el fin de evitar que los cables se crucen entre sí y creen zonas de fracturación o espacios vacíos.
- g. Para proteger la zona libre del anclaje, se recubre con manguera agro minera 0,6" en toda la longitud libre cubierta con cinta en sus extremos para garantizar que la lechada no se adhiera en esta longitud al acero.
- h. Finalmente se procede con la fijación de todos los elementos mediante amarres de alambre aproximadamente +/- 50 cm en el que los componentes del anclaje deberán estar correctamente separados para

garantizar un correcto funcionamiento del anclaje activo en todo su proceso constructivo.

Figura 1

Fotografía armado de anclaje activo equipado con torones.



Para el proceso de fabricación del anclaje por medio de barras auto perforantes se listan las actividades descritas a continuación para su fabricación:

- a. Se realiza la medición de medio acople según la barra, el extremo superior orientado hacia la rotaria o exterior de la perforación, deberá ser sellado con cinta tipo PVC o industrial.
- b. Recubrimiento de manguera agro-minera a la barra autoperforante sobre la longitud libre.
- c. Sellado de la zona entre la barra y la manguera instalada en la zona libre por medio de cinta industrial.
- d. Colocación del acople.
- e. Instalación de segunda capa del sellante tipo cinta en contra del sentido de la perforación.
- f. Se realiza la medición, corte e instalación de espuma de PE en el extremo contrario al mencionado anteriormente. Esta deberá de ser al menos de 7cm de longitud.

- g. Se realiza el recubrimiento de la sección descrita por medio del sellante mencionado.

Figura 2

Fotografía armado de anclaje activo equipado con barra auto perforante.



3. PERFORACIÓN.

Al momento de ingresar a una obra siempre se evalúan las condiciones de diseño, de accesibilidad al terreno, situaciones de riesgo y demás variables, pero al momento en el que el cliente decide equipar los anclajes activos con barras auto perforantes se suma una variable más y esta es el equipo de perforación, el track drill a utilizar generalmente es un equipo con mayores prestaciones que el equipo de perforación empleado para ejecutar anclajes activos equipados con torones, vale la pena acotar que el track drill puede desarrollar las tareas enfocadas al equipamiento con torones sin eventualidad alguna, estos track drill poseen capacidades más altas de rendimiento, en GEODIC S.A.S existen equipos con las capacidades de perforar con barras auto perforantes cómo lo son la Comacchio MC 12, Casagrande C4, Furukawa HCRG 900, CMV MK 600 D, entre otros, como equipos para garantizar la perforación en espacios reducidos y en condiciones de alturas como el CQY 90 y el CDT 100. El empleo de track drill refuerzan aún más la calidad en prestaciones de las labores que se programan a realizar, puestos que al estar equipados con martillo en cabeza hacen de la actividad de perforación una operación que socava menos el suelo aferente a la longitud de perforación. Cuando no se usa el martillo en cabeza (método enfocado a la perforación con barras auto perforantes principalmente) en el método de

perforación se emplea el uso de un compresor o una bomba caracol en búsqueda de realizar el barrenado de la perforación, aunque el emplear aire reflejan tiempos de perforación considerablemente menores para ejecutar el barrenado en algunos casos es remplazado por agua, promoviendo menores afectaciones al suelo circundante en el desarrollo de la perforación. El dictamen entre emplear aire o agua para ejecutar la perforación va ligado a las condiciones del suelo, por lo cual el área de geotecnia en el apartado de diseño incluye cuál de estos métodos se deberá emplear.

Ahora bien, cuando el cliente decide equipar los anclajes activos con torones se da lugar a procesos adicionales que permitan la construcción de estos sistemas, el equipo de perforación puede ir desde una canasta hasta como se ha mencionado con anterioridad, un track drill, el sistema de perforación en este caso se basa en la realización de una perforación de la longitud requerida por diseño empleando martillo de fondo o trialeta para su avance, de un diámetro lo suficientemente mayor para permitir la instalación del anclaje una vez retirada la tubería de perforación. El proceso de perforación y retiro de tubería puede implicar diferentes hechos como la posibilidad de derrumbamiento de la perforación por diferentes condiciones de operación, también en caso de no realizarse el barrenado suficiente para la instalación exitosa del anclaje este se empezará a atorar con las paredes de la perforación y por consecuente dará lugar a un derrumbamiento de esta o apuntalamiento del anclaje contra las paredes, impidiendo el avance de este para completar su instalación.

El factor de perforación es el que operativamente ofrece rendimientos más distantes de uno a otro equipamiento, con igualdad de condiciones en el equipo de perforación (track drill), las actividades de avance pueden llegar a ser similares, pero a partir de la culminación de esta sub actividad es donde se marca el sesgo de los procesos, puesto que una vez alcanzada la longitud de diseño con las barras auto perforantes se da por entendido la culminación de la actividad de perforación. Por el contrario, el proceso constructivo en aras de la perforación para anclajes activos equipados con torones implica las sub actividades de: avance, retiro de tubería de perforación e instalación. Esta última en caso de que las condiciones del suelo no sean propicias obtendrá como resultado que la instalación no tenga éxito, repercutiendo así en procesos de re perforación que buscan consolidar las paredes de la perforación y que estas no se derrumben antes o durante el proceso de instalación, en praxis se da lugar a perforaciones en las cuales se re perfora en múltiples ocasiones y no se tiene éxito en su instalación, en estos casos se debe emplear tubería de revestimiento lo cual implica una nueva re perforación y un costo adicional que debe suplir el cliente para lograr completar la instalación del anclaje, aunque el proceso de revestimiento garantiza la instalación de la perforación es un proceso sumamente complicado y de un avance lento, que requiere de un track drill y un operador con altas capacidades y experiencia.

Figura 3

Fotografía equipo de perforación CDT 100 empleado en alturas.



Figura 4

Fotografía equipo de perforación CMV MK600M empleado en la perforación de ambos equipamientos.



4. INSTALACIÓN DE ACERO.

Llamamos instalación del acero al proceso en el cual el anclaje se encuentra ya adjunto al suelo, en cumplimiento con la longitud de diseño.

Dicho proceso en el caso de instalación del acero de barras auto perforantes no suma muchas complicaciones ya que el proceso de perforación es a la vez el proceso de instalación del acero.

Cuando es referente a la instalación del acero con torones este es el proceso más tedioso para el personal, debido a que es la labor que implica de mayor mano de obra y dependiendo el diseño del anclaje este deberá tener un personal mínimo que pueda completar la tarea. En orden de ideas el anclaje de referencia que se ha instalado en el proyecto peaje las palmas consta de dos puntas de torón de una longitud de 21 metros, 20 metros para satisfacer las condiciones de diseño y un metro adicional para el proceso de tensado en el exterior del talud, una vez armado el anclaje este tiene un peso por metro lineal de alrededor de 2.5 Kg para un total aproximado de 52.5Kg de todo el anclaje, el hecho del reto de su instalación se enfoca a que la zona de perforación en pocas ocasiones está en un punto ideal de accesibilidad del personal, por lo cual se pueden llegar a realizar maniobras en alturas con dichos anclajes, por demás una vez se empieza a insertar el anclaje por la perforación el anclaje se desliza a través del suelo, lo cual añade una resistencia al personal que debe empujarlo generalmente sin ayuda de medios mecánicos para completar su instalación.

Figura 5

Fotografía instalación anclaje activo equipado con torones.



5. LLENADO INICIAL

El proceso de llenado se realiza con una lechada de cemento o grouting por medio de una manguera agro minera de diámetro 1/2" o según disponibilidad para el caso de anclajes equipados con torones, cuando hablamos de barras auto perforantes la misma barra es el medio por el cual se realiza el llenado ya que esta es hueca, a medida que se avanza en la perforación se llena la perforación con una dosificación A/C pobre de 0.8 a 1 y una vez se culmine la perforación se realiza el llenado con la dosificación A/C establecida por diseño, esta expulsara la dosificación pobre y la establecida técnicamente será la que se adherida a la barra.

La relación A/C varia en un rango de 0.4 a 0.55 normalmente más depende del diseño estructural en específico el diseñador puede dar formulación al uso de otra relación. Con una relación A/C en el rango mencionado anteriormente se obtienen resistencias de 210 kg/cm² a los siete días y superiores a 250 kg/cm² a los 28 días, en caso que el proyecto requiera obtener resistencias en intervalos de tiempo menores se pueden emplear aditivos acelerantes y fluidicantes para la obtención de estas.

6. INYECCIÓN.

El proceso de inyección consiste en la expansión de la inyección de llenado con el objetivo de compactar el suelo circúndate y aumento del diámetro del bulbo, para así crear un área de contacto mayor y por tanto crear una zona de mayor fricción y resistencia. El proceso de inyección es realizado para barras auto perforantes por la misma barra, está inyecta a través de la broca y expande el bulbo, para anclajes equipados por torones se desarrolla a través de una tubería PVC de presión de 1" equipada con su perforación, recubierta con neumático y cinta cada 0.7m en la zona de bulbo.

7. DADOS.

Los dados tienen como función ser el bloque de apoyo o cabeza de anclaje que ofrece resistencia en el momento del tensado y acción del anclaje por movimientos de masa, sus dimensiones son variables ya que dependen de variables como la carga de tensionamiento, si están sobre pilas u otros sistemas estructurales, o sobre el suelo mismo. Su ejecución debe ser realizadas con las especificaciones técnicas diseñadas en específico para la obra, es decir con el concreto, refuerzo de acero y dimensiones que el diseñador establezca.

8. TENSIONAMIENTO.

Decimos que un anclaje esta puesto en servicio cuando su tensado se ha realizado exitosamente al 100% de la carga de diseño, para este se tiene un proceso bajo las recomendaciones expuestas por la FHWA, además de unos precedentes con el fin de garantizar su debido proceso, dichos precedentes son:

- a. 87% de la resistencia de la lechada según la FHWA.
- b. 100% de la resistencia de concreto para dados.
- c. Certificación de calidad de materiales.
- d. Certificación de calibración de manómetros.

Para un correcto procedimiento de tensado se procede al desarrollo de las labores mencionadas a continuación:

- a. Se realiza limpieza y adecuación de la longitud de tensado, en el que los torones o barra estén libre de todo material que no sea necesario para el correcto desarrollo de la actividad, impurezas como grasas, residuos de lechada u otro material que esté presente en el acero. Siempre se debe garantizar que el torón o barra este totalmente limpio sin ningún tipo de recubrimiento.
- b. Se procede a la adecuación del equipo de tesado para la ejecución de la actividad, para esto se debe ubicar el bocín o tuerca según sea el caso en la platina, posteriormente se instalarán las cuñas troncocónicas sobre el bocín, botón para el caso de los anclajes equipados con torones, los equipados de barra dispondrán de una tuerca que cumpla las características de la barra. El proceso de tensado será realizado por un gato multitorón (tensado simultaneo de cada uno de los torones) y un equipo de tracción hidráulica para barras, en ambos casos tensados por una bomba o unidad hidráulica equipada con un manómetro de presión certificado.
- c. Instalación del gato hidráulico.
- d. Puesta en servicio mediante aumentos progresivos en el tensionamiento, en cada uno de estos aumentos se toman las medidas de deformación, iniciando con un aumento del 5% generalmente no representativo y empleado para inicialmente alcanzar el alineamiento y medida de deformación de referencia, a continuación, se avanzará en incrementos y tomas de medidas al 25%, 50%, 75% y 100%.

Una vez culminado el tensado de dará lugar a la comparativa de la deformación alcanzada respecto a la comparación teórica bajo la carga de diseño expuesta, de cumplirse que la deformación real este en el rango teórico se confirmará que el anclaje estará puesto en servicio, de no cumplirse se procederá con la reinyección del anclaje y se deberá repetir el proceso de tensionamiento.

4.2. Equipamientos.

El equipamiento a emplear en el proyecto peaje las palmas ha constado de un anclaje equipado con dos puntas o guayas de 21 metros de 0.6" y su par en barra auto perforante es una barra R38-420.

Las consideraciones iniciales definidas para el proyecto es llevar cada uno de los anclajes ejecutados a una carga de puesta en servicio de 20 toneladas. Inicialmente para la construcción los anclajes activos están equipados con 2 guayas de 0,6" teniendo una carga admisible de 26 toneladas, por lo cual satisface las condiciones de diseño. En busca de su par en barra auto perforante se ha remitido al apoyo del catálogo de DSI underground, en este buscamos en los diferentes tipos de barras sus capacidades teniendo en consideración el condicionar su carga por un 60% brindando un factor de seguridad al anclaje. La carga ultima nominal de la barra R38-420 es de 420 KN, al multiplicar este valor por el 60% obtenemos una carga de 252 KN, equivalente a 25.4 Toneladas, cumpliendo con las condiciones de diseño.

Tabla 2
Valores torón 0,6".

Tipo de anclaje	Area teórica sección de acero (mm ²)	Límite elástico (t)	Carga de rotura (t)	Carga admisible (t)
1 de 0,6 "	139	22	24	13
2 de 0,6 "	278	44	48	26
3 de 0,6 "	417	66	72	39
4 de 0,6 "	556	88	96	52
5 de 0,6 "	695	110	120	65
6 de 0,6 "	834	132	144	78
7 de 0,6 "	973	154	168	91

Tabla 3
Información técnica barra auto perforante R38 tomada de DSI.

Información Técnica Series R38

Valor Característico / Tipo ¹⁾	Símbolo	Unidad	R38-420	R38-500	R38-550
Diámetro externo nominal	D _{e,nom}	[mm]		38	
Diámetro externo real	D _e	[mm]		37,8	
Diámetro interno promedio ²⁾	D _i	[mm]	21,5	19,0	17,0
Área de la sección transversal nominal ³⁾	S ₀	[mm ²]	660	750	800
Peso nominal ⁴⁾	m	[kg/m]	5,15	5,85	6,25
Área específica de nervadura	f _R	[-]		0,13	
Carga de fluencia nominal ⁵⁾	F _{p0.2,nom}	[kN]	350	400	450
Carga última nominal ⁶⁾	F _{m,nom}	[kN]	420	500	550
Resistencia a la fluencia ⁸⁾	R _{p0.2}	[N/mm ²]	530	530	560
Resistencia última ⁹⁾	R _m	[N/mm ²]	640	670	690
R _m /R _{p0.2} ⁷⁾	-	[-]		≥ 1,15	
Deformación a la carga última ⁷⁾	A _{gt}	[%]		≥ 5,0	
Resistencia a la fatiga 2-σ _a ⁸⁾	-	[N/mm ²]		190	
Resistencia a la adherencia ⁹⁾	τ _{ak}	[N/mm ²]		5,1	

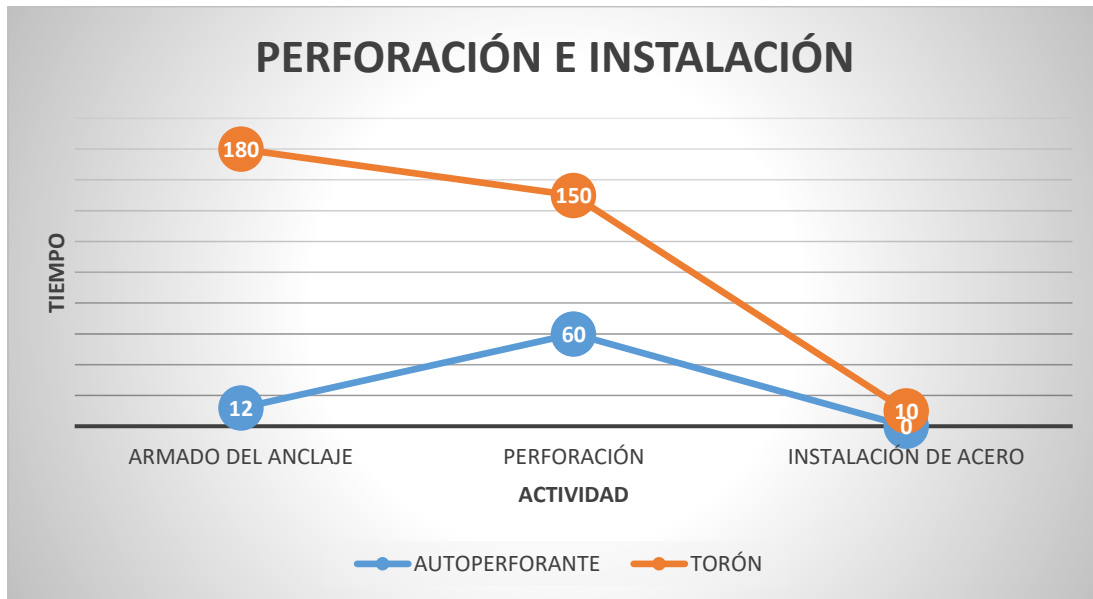
4.3. Tiempos ligados a cada actividad.

A partir del conocimiento de las actividades e individualización de las mismas se han tomado intervalos de tiempo en los diferentes procesos, unos no tendrán distinciones drásticas de uno a otro tipo de equipamiento mientras que en otros es considerable el margen y es en este apartado donde un equipamiento sobresale respecto al otro.

Tabla 4
Tiempos actividades.

ACTIVIDAD ASOCIADA	TIEMPO SEGÚN EQUIPAMIENTO (Minutos)	
	AUTOPERFORANTE	TORÓN
LOCALIZACIÓN	10	10
ARMADO DEL ANCLAJE	30	180
PERFORACIÓN	60	150
INSTALACIÓN DE ACERO	0	10
LLENADO INICIAL	25	25
INYECCIÓN	20	20
VACIADO DE DADOS	300	300
TENSIONAMIENTO	20	45

Figura 6
Grafica relación perforación e instalación..



Observamos en la gráfica anterior un amplio margen entre un equipamiento y otro, en donde los tiempos de operatividad son mucho mayores para el anclaje activo equipado con torón, en el proceso de armado del anclaje la principal diferencia es que cuando equipamos con barras auto perforantes el tiempo de armado del anclaje hace referencia a la unión de las barras en el proceso de perforación, siendo este una actividad directamente ligada y no diferenciada como lo es para el caso de los torones, aun así por hechos comparativos se le ha dado un margen de 1/5 de la actividad de perforación va ligada a su armado.

En el factor de perforación la diferencia de tiempo se debe principalmente a que para los equipamientos de torón esta actividad implica sub actividades de perforación y retiro de la tubería de perforación, además debido a que la perforación debe proveer un diámetro mayor al anclaje armado de torones, el diámetro de perforación es mayor respecto a su equipamiento contrincante, ofreciendo una mayor área de resistencia al avance, ampliando el tiempo de perforación. La principal bondad del sistema auto perforante es que ofrece todos los procesos incluidos en sí, usualmente se le es llamado “todo en uno” debido que a medida que se avanza en la perforación se va agregando tramos de barra, es decir, armando el anclaje y al culminar la perforación se culmina también el proceso de instalación.

El proceso de instalación del acero como lo hemos mencionado anteriormente, para el caso de barras auto perforantes va ligado directamente a la perforación, pero para el equipamiento de torón se debe esperar al retiro de la totalidad de la tubería para proceder con la instalación del anclaje, siendo esta una actividad de altas implicaciones en el proceso de avance de la ejecución del anclaje, de ser instalado con éxito se avanzaría normalmente con las actividades programadas, de no ser así esto induce al retiro del anclaje desde la longitud parcial que logro de instalación hacia el exterior y reinicio de las de perforación, repitiendo el proceso de instalación y perforación.

Por lo mencionado anteriormente cuando no es posible la correcta instalación del anclaje se procede al retiro parcial del anclaje instalado, re perforación e instalación, estos procesos repercuten en que los costos asociados a estas actividades se vean drásticamente incrementados, disminuyendo el rango de productividad de las actividades.

Tabla 5
Perforación e instalación.

PERFORACIÓN E INSTALACIÓN			
Ejecución	Tiempo empleado (min)		% Diferencial
	Auto perforante	Torón	
Perforación	72	340	486%
1° Re perforación	-	510	729%
2° Re perforación	-	680	971%
3° Re perforación	-	850	1214%

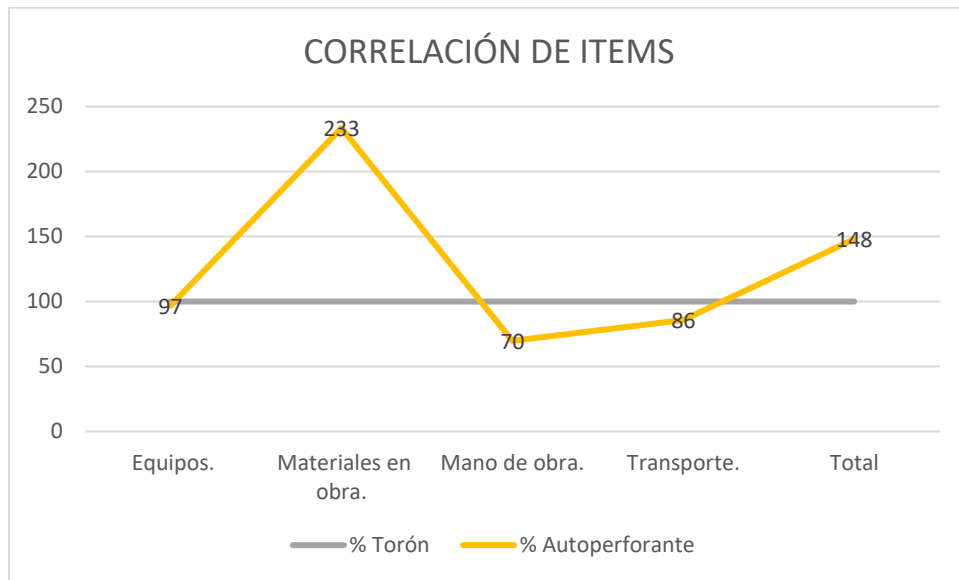
Como se puede observar en la anterior grafica el tiempo requerido para el desarrollo de las actividades de perforación e instalación provee tiempos más favorables a la actividad de perforación, pero lo más relevante son las implicaciones que tienen los tiempos adicionales que conlleva una re-perforación y su porcentaje respecto al desarrollo de las actividades cuando se emplea un equipamiento auto perforante.

Ahora bien, enfocándonos desde el punto del análisis de precios unitarios dividimos los procesos operativos de la empresa en:

- Equipos.
- Materiales en obra.
- Mano de obra.
- Transporte.

Basados en los anteriores ítems se ha realizado una correlación entre las variables en el AIU para uno y otro equipamiento, debido a políticas de privacidad de la empresa los costos de cada uno de los elementos que componen estos ítem es de carácter confidencial, pero buscando la practicidad es posible compartir los porcentajes de dichas actividades para dar una cifra comparativa real. Realizando el análisis de dichos procesos tenemos:

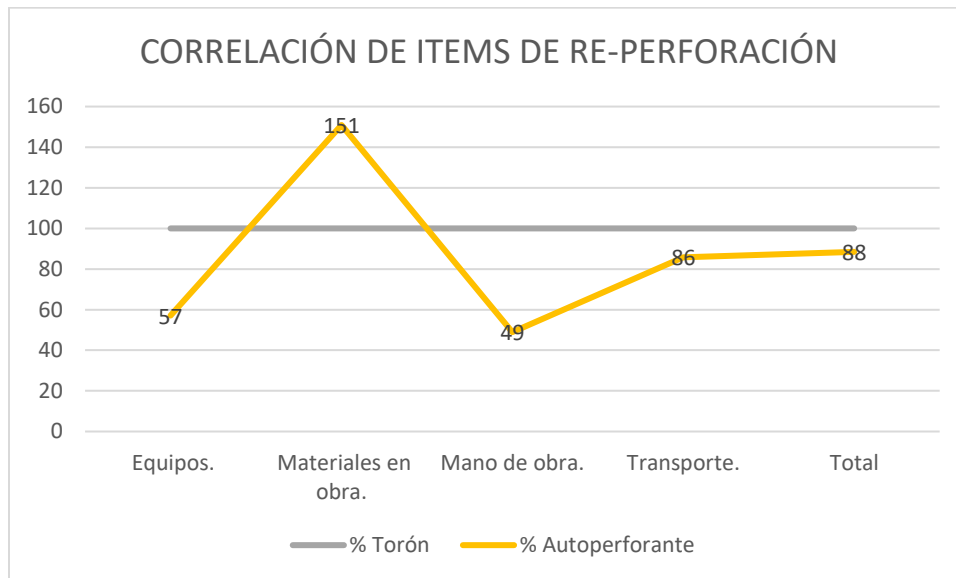
Figura 7
Grafica correlación de ítems.



En base a los ítems evaluados podemos inferir que el diferencial más alto se debe a los materiales en obra, en donde los costos asociados a la barra auto perforante respecto al torón evidencian costos por encima del duplico, siendo el factor más determinante, a favor del equipamiento de la barra auto perforante podemos observar que la mano de obra es la tarea que en un principio ofrece un nivel de favorabilidad mayor. En valores generales observamos una mejor relación para el anclaje equipado con barras auto perforantes debido a que

Ahora bien, un hecho interesante de analizar es cuando las condiciones del suelo no han sido propicias para la realización de perforación en anclajes activos equipados con torones y se da lugar a la re-perforación, considerando estos gastos adicionales tenemos:

Figura 8
Grafica correlación de ítems de re-perforación.



Cuando se produce una primera re-perforación se producen gastos no presupuestados adicionales como en la operatividad del equipo, combustible, mano de obra nuevamente empleada en las labores, entre otras variables. Al considerar estas podemos apreciar que en el balance general se produce una disminución radical de los gastos totales, pasando de significar un 158% a un 88% en barra auto perforantes respecto al 100% con el que se ha relacionado los anclajes activos equipados con torones, en donde los factores variables están ligados a las sub actividades mencionadas anteriormente, pero estas se encuentran englobadas en los ítems de equipos y mano de obra.

Cómo resultado podemos confirmar que el empleo de las barras auto perforantes ofrece índices de rendimientos y productividad mayores al empleo del equipamiento de torones cuando el suelo presenta condiciones desfavorables y se debe proceder a re-perforaciones, estas condiciones implican sobrecostos y además un coeficiente menor de productividad alcanzada, ya que la sumatoria de los atrasos que conllevan estas re-perforaciones en el cronograma de actividades y a su vez que los equipos de perforación no puedan ejecutar un mayor índice de obras.

5. Conclusiones.

- La construcción tradicional de anclajes activos, es decir equipados de torones ofrecen rendimientos favorables cuando las condiciones del suelo proveen rendimientos favorables a la perforación y la instalación del anclaje se logra alcanzar en la primera perforación.
- La consideración de uso o no de las barras auto perforantes deben de ser materia de estudio en los procesos constructivos en base a los resultados de estudio de suelos, debido a que estos pueden mostrarnos variables que sean características de suelos no propicias para la perforación con métodos tradicionales y proveer al constructor y cliente de elementos técnicos que permitan realizar un balance sobre el mejor método a emplear.
- Los valores comparativos alcanzados aplican si y solo si a las condiciones simuladas en dicho estudio, aunque su base es idéntica para la correlación de otros tipos de anclajes equipados con torones y la barra auto perforante, se debe volver a realizar la correlación entre estos para verificar que cumpla con sus mismas capacidades.
- Los rendimientos netamente al apartado de perforación ofrecen un margen mucho mayor a favor de las barras auto perforantes, resultado que era esperado debido a que este ofrece menos subactividades para el cumplimiento de dicha fase y aunque en el apartado de materiales en obra impliquen los valores más altos, su ejecución en suelos que ofrecen una complejidad de instalación mayor los convierte en el equipamiento que ofrece mejores beneficios.

Referencias

- Aguila, S. D. (10 de 2018). *Universidad de San Martín de Porres. Obtenido de Anclajes y micropilotes en estabilización de taludes*: https://www.usmp.edu.pe/vision2018/pdf/Jueves/GENERALES/VISION%202018%20-%20303/11-00%20Sostenimiento%20de%20taludes%20viales%20y%20micropilotes/Geocyma_Anclajes.pdf
- Angel, R. G., & Uriel, R. G. (30 de 6 de 2020). *Universidad Francisco De Paula Santander. Obtenido de criterios de interventoría para los controles técnicos en la construcción de anclajes activos*: <http://repositorio.ufpso.edu.co/handle/123456789/2727>
- Carreteras, D. T., & AETESS. (17 de 8 de 2001). *Normativa de carreteras. Obtenido de guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera*: <https://normativadecarreteras.com/listing/guia-para-el-diseno-y-la-ejecucion-de-anclajes-al-terreno-en-obras-de-carretera/>
- Dywidag. (s.f.). dsi-colombia. *Obtenido de Sistema de Barras Auto perforantes DYWI® Drill*: <https://www.dsi-colombia.co/fileadmin/downloads/dsi-columbia.co/dsi-dywidag-sistema-de-barras-autoperforantes-dywi-drill-la-sp.pdf>
- P.J. Sabatini, D. P. (6 de 1999). *The Federal Highway Administration. Obtenido de Geotechnical engineering circular No.4. Ground anchors and anchored systems*: <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/geotech/pubs/if99015.pdf>
- Velásquez, P. V. (5 de 4 de 2018). *Repositorio institucional universidad nacional. Obtenido de Estructuras de contención construidas a partir de barras de acero o tubos inyectados*: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/64179>
- Yang, G., Zhong, Z., Zhang, Y., & Fu, X. (8 de 2015). *ScienceDirect. Obtenido de Optimal design of anchor cables for slope reinforcement based on stress and displacement fields*: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674775515000657?via%3Dihub>
- Yepes Piqueras, V. (2022). *Universitat Politècnica De València. Obtenido de Ejecución de un anclaje*: <http://hdl.handle.net/10251/179408>