



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**ANÁLISIS DE RENDIMIENTOS DE EQUIPOS EN EL PROCESO DE
PERFORACIONES DE ANCLAJES PARA TALUDES SEGÚN EL TIPO DE
SUELO E IMPREVISTOS.**

LIZETH KARINA ROJAS TORRES

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Medellín, Colombia
2020



ANÁLISIS DE RENDIMIENTOS DE EQUIPOS EN EL PROCESO DE PERFORACIONES DE ANCLAJES PARA TALUDES SEGÚN EL TIPO DE SUELO E IMPREVISTOS.

LIZETH KARINA ROJAS TORRES

Informe de práctica como requisito para optar al título de:
Ingeniera Civil

ASESORES:

Alba Nury Gallego Hernández, Geóloga
Mario Vásquez Morales, Ingeniero civil

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Departamento, Escuela Ambiental
Medellín, Colombia
2020

CONTENIDO

1. RESUMEN	4
2. INTRODUCCIÓN.....	4
3. OBJETIVOS.....	6
3.1. Objetivo General.	6
3.2. Objetivos Específicos.	6
4. MARCO TEÓRICO	7
4.1. Generalidades de los proyectos mencionados.....	7
4.2. Geología regional.....	10
5. METODOLOGÍA	12
5.1. Para alcanzar a cumplir los objetivos de la propuesta se comenzó con un pertinente reconocimiento de las zonas donde se llevaron a cabo los proyectos: 12	
5.1.1. Construcción de vía nueva en doble calzada:	12
5.1.2. construcción de un kilómetro de vía superior del vaso Altaír vía el zancudo:.....	15
5.2. Para llevar un control en toda la ejecución de la obra fue necesario realizar diariamente las siguientes actividades:	17
5.3. Relación entre el tipo de suelo y los imprevistos con el rendimiento de las maquinas:	17
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS	18
6.1. Proyecto de perforación para instalación de anclajes activos en VINUS.....	18
6.2. Proyecto de perforación para instalación de anclajes pasivos	24
7. CONCLUSIONES.....	27
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28
9. Anexos.....	30
9.1 Anexo 1. Base de datos, tablas, gráficas de VINUS.....	30
9.2 Anexo 2. Base de datos, tablas, gráficas EMVARIAS.....	30

ANÁLISIS DE RENDIMIENTOS DE EQUIPOS EN EL PROCESO DE PERFORACIONES DE ANCLAJES PARA TALUDES SEGÚN EL TIPO DE SUELO E IMPREVISTOS.

1. RESUMEN

Este trabajo presenta el resultado de un análisis sobre rendimientos de maquinaria y equipos en actividades de perforación e instalación de anclajes en taludes realizados en los *proyectos de la concesión Vías del Nus-VINUS.S.A.S* y en la construcción de la *vía superior del vaso Altaír vía El Zancudo, dentro del relleno sanitario "La Pradera" perteneciente a EMVARIAS*. Se recolectaron datos de rendimientos de los equipos y de los diferentes imprevistos ocurridos durante 4 meses en el primer proyecto mencionado y un mes en el segundo, respectivamente; con el fin de poseer los suficientes datos para garantizar que el análisis posteriormente realizado sea realista con lo que pasa en campo.

Se creó una base de datos de todos los rendimientos e imprevistos observados en campo, y se calculó un rendimiento de maquinaria (m/h) con el fin de obtener un valor estándar o referencia para cada equipo presente en obra; además de poder identificar el nivel de afectación por distintos causas o imprevistos comparando el rendimiento estándar ya calculado con los tomados in-situ.

2. INTRODUCCIÓN.

Existen procesos geológicos muy destructivos que afectan la cotidianidad del ser humano como lo son los deslizamientos de tierra; Colombia tiene en gran parte de su territorio zonas con un relieve montañoso, las zonas montañosas son muy susceptibles a sufrir problemas de inestabilidad geológica, debido a que interactúan factores como la meteorización, lluvias intensas, sismicidad, entre otros.

En los proyectos de ingeniería, especialmente en la construcción de vías, constantemente surge la necesidad de intervenir los taludes o laderas existentes dentro del proyecto con el propósito de incrementar su estabilidad. Según Sanhueza (2013), "la estabilidad del talud está determinada por factores geométricos, como su altura e inclinación; factores geológicos; hidrogeológicos; y geotécnicos" (p.2). Dichos factores son indicadores esenciales que se tienen en cuenta para un buen estudio y así proceder a realizar un buen diseño y escoger el método de estabilización más pertinente para luego ser ejecutado.

Entre los métodos de estabilización, uno de los más conocidos es el sistema de anclajes, el cual puede ser activo o pasivo. En la construcción de anclajes, una de las actividades principales para la ejecución de estas técnicas es la perforación en suelos. Es importante establecer una definición clara y específica de lo que es un anclaje y cuál es su utilidad, es por ello que Hurtado (2017) constituye que:

Los anclajes son una forma de estabilizar taludes (terreno artificial) o laderas (terreno natural), por lo que son muy importantes para el desarrollo de nuevas construcciones civiles y en muchos casos son una forma preventiva o correctiva de proteger vidas humanas en aquellos lugares propensos a deslizamiento de taludes. (p.15)

Por otro lado, en la ejecución de toda obra para que sea rentable, se deben de tener en cuenta varios factores, pues muchas veces se tiende a responsabilizar a los trabajadores y se deja a un lado aspectos importantes como son:

- ✓ El entorno en el que se desarrolla la obra: clima, tipo de suelo, geomorfología, entre otros.
- ✓ El método de trabajo: es o no es el adecuado el proceso constructivo.
- ✓ El personal de trabajo: si está o no está capacitado
- ✓ El estado de los equipos y herramientas: si necesitan o no mantenimiento preventivo o correctivo.
- ✓ Los materiales y recursos disponibles.

Es por ello que un proyecto tiene éxito siempre y cuando no se descuide ninguno de estos aspectos y la responsabilidad recae en una buena administración y dirección de obra: **planeación, programación y presupuesto**. Serpell (2011), en su trabajo de investigación, concluye que, "Los errores directivos no solo causan retrasos e interrupciones de los trabajos, sino que además reducen la productividad debido a las persistentes frustraciones del personal al no poder cumplir con realizaciones tangibles en su trabajo" (p.59).

Hay tres variables importantes en un proyecto: planos, presupuesto y plazo. Cuando hablamos de planos nos referimos a diseño; presupuesto, se refiere a dinero y plazo se refiere a tiempo. En una obra los malos diseños y el dinero son problemas que se pueden solucionar más fácilmente que cuando hablamos de tiempo, ya que el tiempo no se puede recuperar de ninguna manera. Para no tener problemas que

involucren pérdida de tiempo se debe de tener una buena programación y planeación, para esto hay que prever rendimientos de mano de obra, rendimientos de máquinas y equipos y tener en cuenta que existen imprevistos que involucran tiempo en la obra.

Es por esto que, en este trabajo, se realizará un detallado análisis en los rendimientos de las máquinas y equipos que se utilizan en la perforación para anclajes, teniendo en cuenta el tipo de suelo existente en los taludes intervenidos y los imprevistos que se pueden presentar como el clima o el estado de los equipos.

Específicamente este análisis se llevó a cabo en los taludes existentes de los siguientes proyectos:

- Construcción de vía nueva en doble calzada; proyecto de la concesión Vías del Nus-VINUS.S.A.S en donde Procopal S.A. es subcontratado para realizar perforaciones para anclajes activos en la unidad funcional N1 (Tramo Barbosa-Porcesito)
- Construcción de un kilómetro de vía superior del vaso Altaír vía El Zancudo, dentro del relleno sanitario "La pradera" perteneciente a EMVARIAS, donde Procopal S.A realizará en su totalidad todo el proceso constructivo, por supuesto en la perforación para anclajes pasivos.

Este análisis se realiza con el fin de hacer mejoras en la planeación y programación futuras de las obras de perforación y anclajes en la empresa.

3. OBJETIVOS.

3.1. Objetivo General.

- Analizar el rendimiento de los equipos y los imprevistos que se van presentando en los taludes intervenidos en la perforación para anclajes según el tipo de suelo, de los proyectos VINUS unidad funcional N°1 y EMVARIAS, para así mejorar la programación en las futuras obras de la empresa.

3.2. Objetivos Específicos.

- Analizar los tipos de suelo que se van presentando en los taludes intervenidos por los equipos de la empresa y así identificar el rendimiento de las máquinas

en los proyectos de perforación para anclajes de las obras VINUS unidad funcional N°1 y EMVARIAS.

- Reconocer en campo los imprevistos más comunes que se presentan en la actividad de perforación para anclajes en las obras VINUS Y EMVARIAS y relacionarlos con el rendimiento de los equipos, con el fin de comparar dichos rendimientos en campo vs. rendimientos teóricos, es decir rendimientos previstos.
- Evaluar los avances en las obras de perforación para anclajes de los proyectos VINUS unidad funcional N°1 y EMVARIAS a través de informes diarios para llevar un control de la obra.

4. MARCO TEÓRICO

En ingeniería civil enfrentarse a problemas es algo cotidiano y resolverlos con ingenio es el reto que se debe asumir. Uno de los problemas más usuales es encontrarse inestabilidad en algunos terrenos, como los taludes¹, a la hora de construir una vía o estructura. Construir una vía o una estructura segura es un deber e intervenir dichos taludes es de suma importancia, ya que cuando existen condiciones de inestabilidad, la función principal es reforzar y contener suelos y masas rocosas parcialmente sueltas, fracturadas o incompetentes que de otra manera pudieran estar sujetas a falla².

Antes de realizar cualquier procedimiento para la estabilización de taludes, es conveniente realizar estudios geotécnicos y con ellos obtener la información pertinente para saber qué tipo de método es el más conveniente, también para realizar diseños y así poder ejecutar correctamente el proyecto ya sea de una vía o estructura.

4.1. Generalidades de los proyectos mencionados.

En los proyectos vigentes de VINUS unidad funcional N°1 tramo (La pradera- Porcesito) y en la construcción de la vía superior vaso Altaír vía El Zancudo

¹ Los términos básicos más aceptados universalmente son el de "talud" para identificar una superficie con relieve inclinado, que se conformó artificialmente; se pueden agrupar en tres categorías generales: los terraplenes, los cortes de laderas naturales y los muros de contención., y el de una "ladera" una masa de tierra que no es plana, sino que presenta una pendiente o cambios significativos de altura de forma natural (Geotecniaonline)

² Las fallas de talud se definen en términos de derrumbe o colapsos de toda índole, que no dejan duda en pensar que ha ocurrido algo que pone en sino entredicho la función estructural; o en términos de movimiento, al grado de ser incompatibles con la concepción ingenieril del comportamiento del talud y con la función para la que fue constituido. (Navarro,2008) **tipos de falla de taludes:** desprendimientos, derrumbes (rotacionales o planares), avalanchas, flujo de escombros y repteo (OPS,1997).

(servicio prestado a EMVARIAS S.A. E.S.P. dentro el relleno sanitario "La Pradera"); se les realizará tratamiento a los taludes existentes en cada uno de los proyectos, el método utilizado será anclajes (activos y pasivos). Los anclajes logran mejorar la estabilidad del suelo cuando existen condiciones de inestabilidad. Para explicar mejor el concepto de un anclaje se expone en el texto Ucar (2004), que: El objetivo del anclaje es sostener y, por lo tanto, reforzar las masas de suelos que, debido a la baja capacidad portante que poseen, están propensas a fallar. Entonces, estas masas son potencialmente inestables, pero pueden ser estabilizadas por los anclajes. Esto debido a que generan un incremento en las tensiones normales y en la resistencia al esfuerzo cortante del terreno mediante la transmisión de fuerzas externas a la profundidad de diseño. Por ello, es esencial tener un conocimiento de las características geotécnicas del suelo a trabajar. (p.19)

Por otro lado, la técnica de suelo enclavado o soil nailing cuenta con dos metodologías constructivas que tienen procesos de construcción un poco parecidos, pero su finalidad y su funcionamiento difieren en algunos aspectos, Arias (2014), en su trabajo de grado expone la definición y diferencia de estos métodos de una manera clara, así:

Anclajes pasivos (perno): anclaje constituido por una o más barras, no posee longitud libre y generalmente no se pretensa. El término pasivo se debe a que, al terminar la colocación de este, este no ejerce ningún tipo de esfuerzo sino es hasta que la masa de material que contiene se mueve, el anclaje empieza a trabajar.

Anclaje activo: barra o cable, con longitud libre y de bulbo³. Este elemento sí es de clasificación pretensado. Al contrario del anterior, el anclaje activo empieza a trabajar a tensión desde el momento en que, con gatos hidráulicos o algún dispositivo de presión, se somete el anclaje a esfuerzos de tensión mientras que el suelo sufre esfuerzos de compresión. (p.16-17).

Uno de los principales pasos en el proceso constructivo de esta técnica de estabilización es **la perforación**; dichas perforaciones "poseen determinado grado de inclinación, generalmente de 15-20 grados, estas son realizadas con maquinaria

³ **El bulbo** consiste en una zona inyectada de cemento que se encarga de resistir la carga, transmitiéndola al terreno por medio de la adherencia entre la lechada y el material adyacente.

que posee brocas especiales de grandes diámetros, estas brocas también son utilizadas para realizar estudios de análisis de suelos". (Arias,2014. p.29).

La profundidad de las perforaciones en VINUS son para anclajes activos de 30m, 25m y 20m con una inclinación de 15°, la profundidad de las perforaciones en EMVARIAS es de 12m son para anclajes pasivos con una inclinación de 15°, para la ejecución de esta técnica se sigue la norma NSR10⁴ título H (Estudios geotécnicos), pero también se apoya en la norma UNE⁵-EN 795 para taludes y UNE-EN 12715 para la ejecución de trabajos geotécnicos. Los equipos con los que cuenta la empresa son perforadoras de oruga, referencia Beretta T46 y T46S2, con sus respectivos compresores.

En Arévalo (2014), nos recuerda en su texto que, es de suma importancia en todo proyecto de obra civil que el Ingeniero tenga claro a la hora de ejecutar sus labores que el éxito del buen desarrollo de las actividades de obra radica no solo en la búsqueda de la economía, sino en la adecuada selección de la maquinaria a emplear para diferentes fines constructivos. (p.62). No sólo es el tipo de maquinaria sino también factores importantes como el estado de los equipos y la capacitación que tiene los operadores, todos estos parámetros tienen repercusiones en el rendimiento de los equipos; Para Camelo (2015), existen algunos factores que influyen en los rendimientos de los procesos constructivos especialmente en el rendimiento de máquinas y equipos; como lo son: estado de la máquina, la experiencia que tenga el operario, selección del equipo de trabajo, ciclos de la maquinaria, el control para disminuir los tiempos muertos, prevenir con anterioridad los problemas que puedan presentarse como el mantenimiento del equipo de tal forma que los rendimientos no se vean afectados. Camelo menciona también que algunas causas que pueden retrasar la productividad de los equipos pueden ser: el cambio de sitio de la máquina, lubricación y mantenimientos accidentales, errores humanos y demoras varias.

Los factores mencionados anteriormente implican un tiempo perdido, tiempo que no genera ganancia al proyecto y que además implica una disminución en el rendimiento de maquinaria y equipos; esto hace que la entrega de muchas obras

⁴ Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (**NSR-10**) es el reglamento colombiano encargado de regular las condiciones con las que deben contar las construcciones con el fin de que la respuesta estructural a un sismo sea favorable.

⁵ Los documentos normativos **UNE** (acrónimo de Una Norma Española) son un conjunto de normas, normas experimentales e informes (estándares) creados en los Comités Técnicos de Normalización (CTN) de la Asociación Española de Normalización (UNE, antes llamada AENOR).

descripción de cada una de las unidades geológicas mostradas en la ilustración 1, las unidades que sólo se explican a continuación corresponden a las unidades que hay en la zona donde se realizarán los trabajos mencionados en el documento.

Batolito Antioqueño (K2ba) Unidad geológica constituida por rocas homogéneas de composición intermedia de composición granodiorítica, con una mineralogía general compuesta por plagioclasa, feldespato potásico, cuarzo, hornblenda y biotita. La textura es fanerítica, equigranular de grano medio a grueso. En superficie, debido al grado de fracturamiento, la composición y las condiciones climáticas, se encuentran alteradas en horizontes limo-arcillosos y limo-arenosos, con espesores del orden de 10 m a 15 m. En estado fresco estas rocas son duras, competentes, abrasivas y de buena calidad geotécnica. En general, estas rocas desarrollan un perfil de meteorización, que varía desde suelo residual y zonas de gruss, con texturas areno limosas, en el techo, hasta roca parcialmente meteorizada, hacia la base; donde es común observar el desarrollo de una meteorización esferoidal. Los suelos característicos del lote en estudio por la meteorización de las rocas ígneas se describen a continuación, según la propuesta de Deere y Patton (1971).

- El Horizonte IB corresponde al suelo limo-arcilloso, de coloración pardo amarillento a rojizo a parda, limoso con algún contenido de fragmentos de cuarzo con espesores aflorantes hasta 3.0 m.
- El Horizonte IC corresponde al saprolito, suelo limo-arenoso, de coloración parda a rosada a blanco hueso, con moteados; guarda rasgos texturales de la roca parental, posee una baja cohesión o muchas veces no la presenta. Se trata de un material muy susceptible a procesos de carcavamiento cuando se deja al descubierto.

Dado que uno de los proyectos estudiados en el documento se encuentra dentro del relleno sanitario La Pradera a continuación se hace una descripción de los depósitos antrópicos.

Depósito Antrópico (Qan) Derivados de la actividad constructiva de las vías y adecuación del relleno La Pradera, que genera gran cantidad de escombros y materiales de rezaga, que deben ser dispuestos. La composición de estos depósitos

presenta heterogeneidad, desde materiales homogéneos conformados con algunas normas técnicas hasta basura.

5. METODOLOGÍA

5.1. Para alcanzar a cumplir los objetivos de la propuesta se comenzó con un pertinente reconocimiento de las zonas donde se llevaron a cabo los proyectos:

5.1.1. Construcción de vía nueva en doble calzada:

Proyecto de la concesión Vías del Nus (VINUS.S.A.S) en donde Procopal S.A. es subcontratado por la empresa SP para realizar perforaciones de 30m para anclajes activos en la unidad funcional N1 (Tramo Barbosa-Porcesito).

a) Localización del proyecto 1:

Esta unidad funcional comprende la construcción en doble calzada desde el empalme de la concesión Hatovial en Pradera (empalme con la ruta 25) hasta Porcesito. Con una longitud aproximada de 9,6 kilómetros. En la Ilustración 2 la línea roja gruesa representa el tramo de vía de la doble calzada Medellín-Pradera, la línea roja delgada representa el tramo de vía que va desde El Hatillo hacia Don Matías. La línea azul representa la unidad funcional 1 que va desde La Pradera hasta Porcesito.

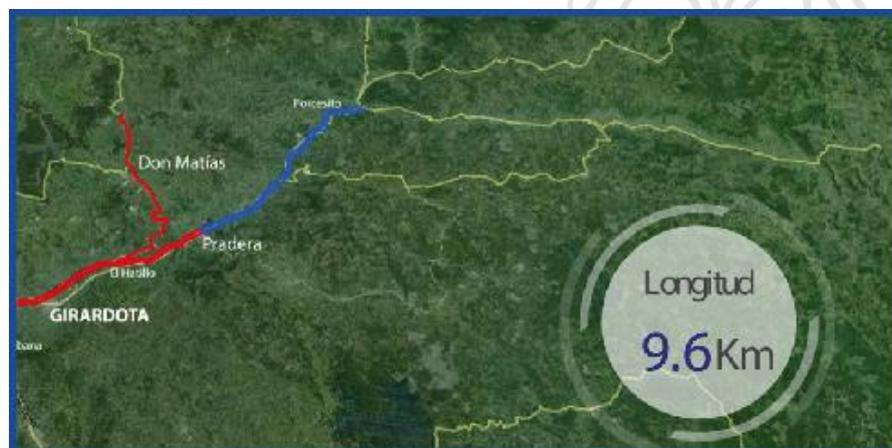


Ilustración 2-Localización del proyecto VINUS UF1 (Fuente página web VINUS)

b) Revisión de planos existentes del proyecto 1:

Se revisaron cada uno de los planos de los diseños para cada uno de los taludes que Procopal S.A intervino, esta revisión se realizó con anterioridad a medida que SP Ingenieros, empresa que subcontrató a Procopal S.A; iba asignando los taludes a medida que avanzaba el proyecto.

Los taludes intervenidos por Procopal desde febrero hasta junio en el proyecto VINUS fueron: Sitios críticos #3 (Ver Ilustración 3), Talud 11 (ver Ilustración 4), Talud 12 A (Ver Ilustración 5) y Talud 12 B (Ver Ilustración 6).

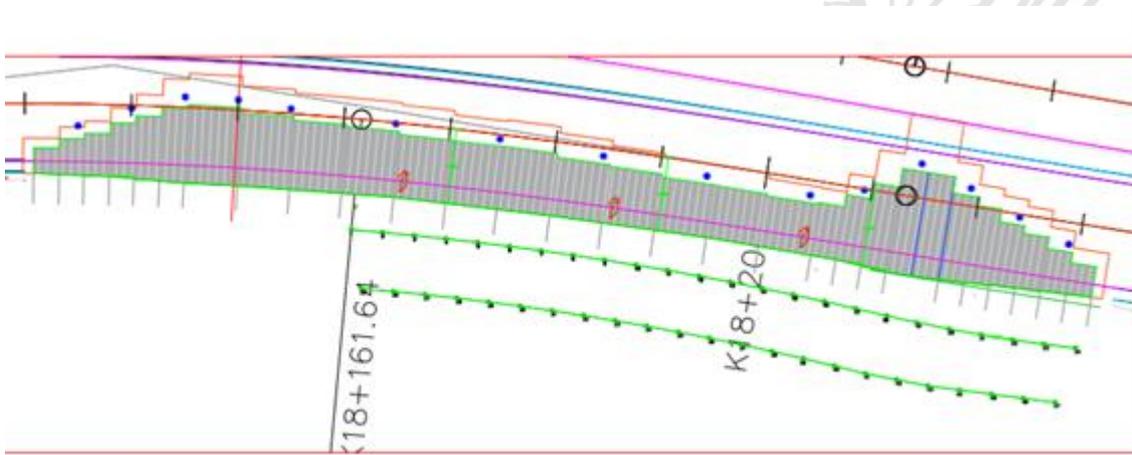


Ilustración 3-Vista en planta de Sitios críticos #3 correspondiente a proyecto VINUS (Suministrado por SP)

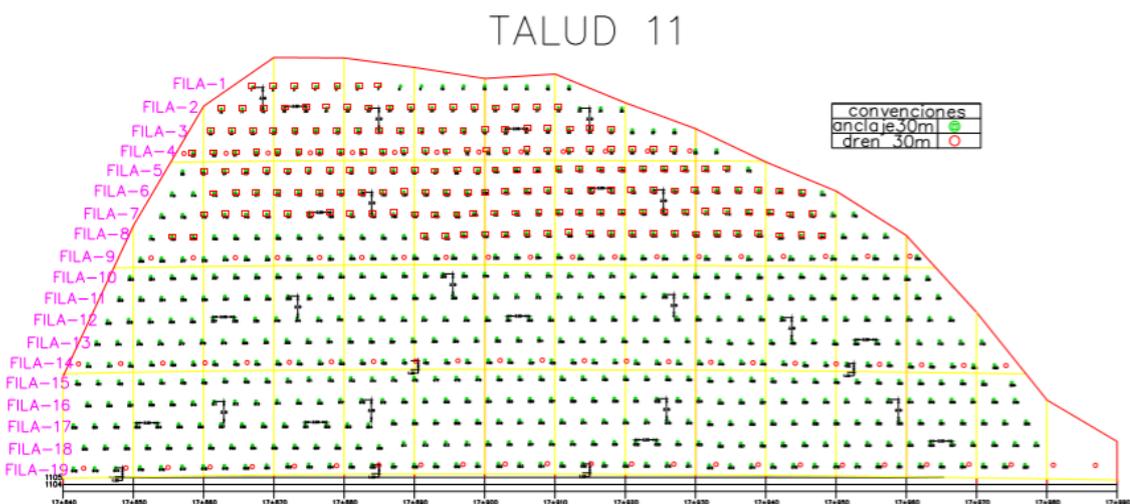


Ilustración 4-Vista frontal de Talud 11 correspondiente a proyecto VINUS (Suministrado por SP)

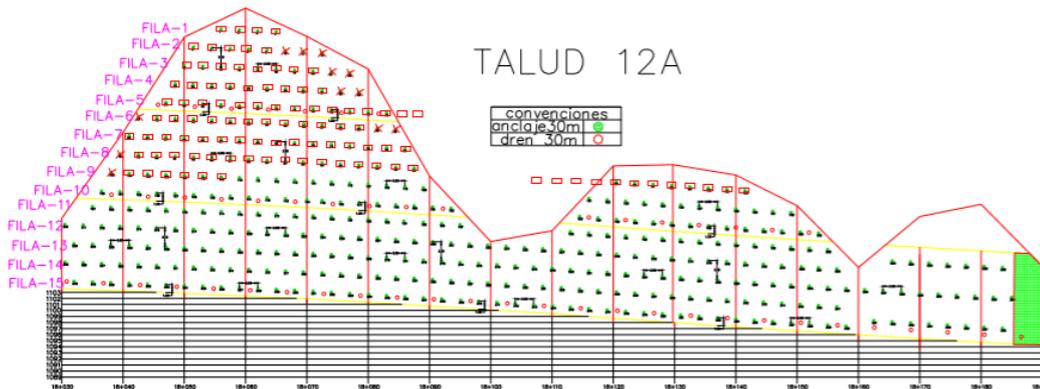


Ilustración 5-Vista frontal de Talud 12A correspondiente a proyecto VINUS (Suministrado por SP)

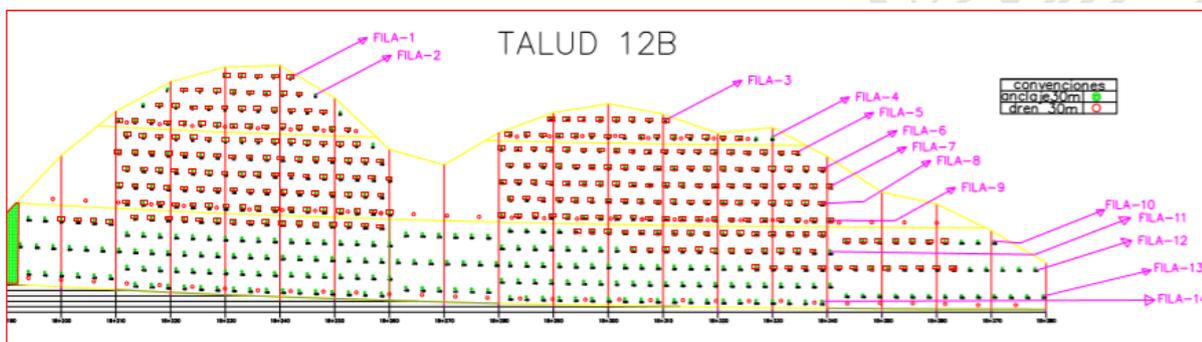


Ilustración 6-Vista frontal del Talud 12B correspondiente a proyecto VINUS (Suministrado por SP)

c) Condiciones iniciales de los equipos del proyecto 1:

La Tabla 1 muestra las condiciones iniciales en las que los equipos ingresan al proyecto VINUS, es decir una inspección general de cada uno de ellos; nos enseña el estado inicial, el funcionamiento, si requiere mantenimiento preventivo o mantenimiento correctivo y unas observaciones generales de cada equipo

Tabla 1-Condiciones iniciales de los equipos en proyecto VINUS. (Fuente propia)

INSPECCIÓN DE EQUIPOS									
EQUIPO	ESTADO			FUNCIONAMIENTO			MANTENIMIENTO		OBSERVACIONES
	Bueno	Regular	Malo	Bueno	Regular	Malo	Preventivo	Correctivo	
T46		X		X			NO	SI	Fuga de aceite, tubería en mal estado y portamanguera malo
T46S2		X		X			NO	SI	Fuga de aceite, tubería y martillo en mal estado
T46 Alqui		X		X			NO	SI	Ninguna
C. 750	X			X			SI	NO	Ninguna
C. 450	X			X			SI	NO	Ninguna
C. 400		X			X		NO	SI	Motor fallando
C.400 Alqui		X			X		NO	SI	Motor fallando

5.1.2. construcción de un kilómetro de vía superior del vaso Altaír vía el zancudo:

Dentro del relleno sanitario "La Pradera" perteneciente a EMVARIAS, la empresa Procopal S.A realizará en su totalidad todo el proceso constructivo de la proyección de un kilómetro de vía, donde se realizará tratamiento a los taludes existentes en el tramo, se construirán pernos con una perforación de una profundidad de 12m.

a) Localización del proyecto 2:

La proyección de la vía superior del vaso Altaír, vía El Zancudo es dentro del relleno sanitario "La Pradera" ubicado en el municipio de Donmatías a 57 kilómetros de Medellín. La Ilustración 7 muestra la localización del proyecto dentro del relleno sanitario La Pradera

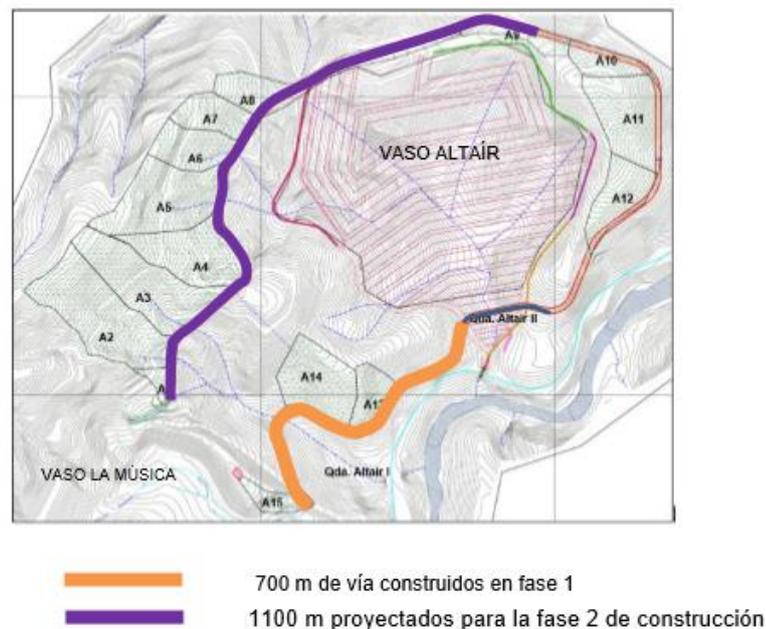


Ilustración 7-Localización del proyecto del relleno sanitario `La pradera` (Fuente informes INTEINSA, 2018)

b) Revisión de planos existentes del proyecto 2:

Se revisaron con anterioridad los diseños propuestos por la empresa INTEINSA ingeniería inteligente. Es pertinente exponer en este trabajo que a los diseños se le hicieron varias modificaciones. Dichas modificaciones se realizaron ya que el diseño inicial se realizó con un levantamiento topográfico por medio de drones, a partir de ese levantamiento topográfico se realizaron los diseños y se estimaron unas

cantidades de pernos, pero al realizar un levantamiento en campo con otros equipos se encontraron que en realidad no eran esas cantidades iniciales, es por ello que fue un problema decir con exactitud las cantidades de anclajes que se debieron realizar; esto atrasó demasiado el comienzo de actividades, sin embargo, en la Ilustración 8 se plasma la vista frontal de los taludes en la versión final de los diseños.

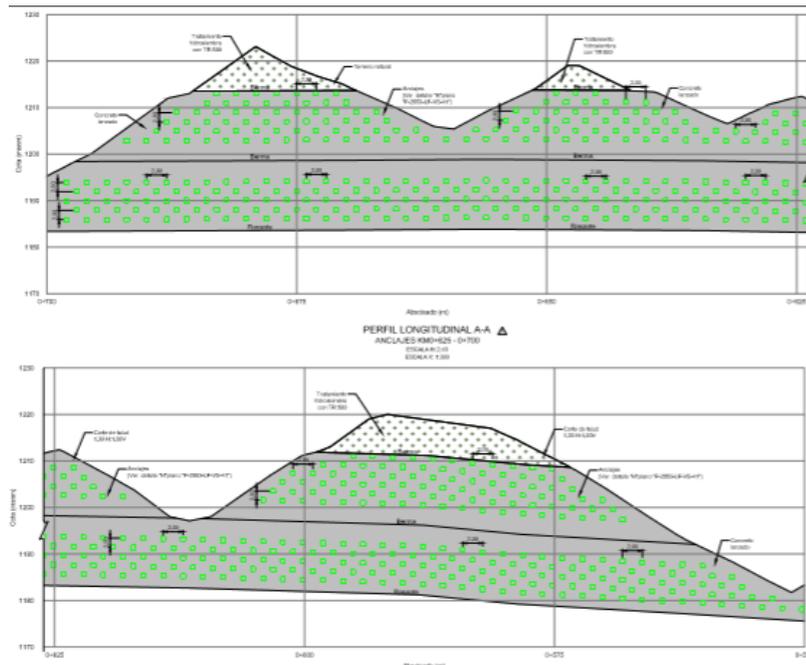


Ilustración 8- Vista frontal de los Taludes del proyecto del relleno sanitario `La pradera` (Planos suministrados por INTEINSA)

c) Condiciones iniciales de los equipos del proyecto 2:

Se muestra en la Tabla 2 las condiciones iniciales de los equipos ingresados al proyecto de la obra EMVARIAS, plasmando en la tabla el estado, su funcionamiento, tipo de mantenimiento requerido y observaciones generales de cada equipo.

Tabla 2- Condiciones iniciales de los equipos en el proyecto del relleno `la pradera` (Fuente propia)

EQUIPO	INSPECCIÓN DE EQUIPOS								OBSERVACIONES
	ESTADO			FUNCIONAMIENTO			MANTENIMIENTO		
	Bueno	Regular	Malo	Bueno	Regular	Malo	Preventivo	Correctivo	
T19		X		X			NO	SI	Fuga de aceite, tubería en mal estado y portamanguera malo
T43		X			X		SI	SI	Fuga de aceite, tubería y martillo en mal estado
C. 400		X			X		SI	SI	Motor fallando

5.2. Para llevar un control en toda la ejecución de la obra fue necesario realizar diariamente las siguientes actividades:

- Visitas a campo todos los días
- Comunicación constante con todos los operadores.
- Reconocimiento de imprevistos que se presentaron día a día.
- Caracterización física de los suelos que se presentan en los taludes intervenidos por las máquinas de la empresa y las empresas subcontratadas.
- Informes diarios
- Evaluación de cantidades ejecutadas diariamente, es decir llevar la trazabilidad del proyecto.
- Entrega de reportes diarios por parte de los operadores.

5.3. Relación entre el tipo de suelo y los imprevistos con el rendimiento de las maquinas:

En una base de datos se llevó un registro de todos los datos que fueron adquiridos diariamente mediante las visitas de campo y la comunicación de los operadores, datos importantes como estado de equipos, clima, condiciones del lugar, traslado de maquinaria, caracterización física del suelo encontrado en la perforación, estado de salud de los trabajadores (operadores y ayudantes), gasto de combustible de cada equipo y cantidad de metros lineales perforados y número de perforaciones por máquina. Dicha base de datos se encuentra en los anexos. (Ver Anexo1 y ver Anexo 2)

- ✓ Para cada proyecto se realizó una hoja de Excel donde se recolectó día a día los siguientes datos:
 - Fecha
 - Equipo
 - Horómetros (Inicial, final y total)
 - Número de anclajes perforados
 - Profundidad del anclaje
 - Metros iniciales

- Imprevistos
- Suelo

Esta tabla fue denominada base de datos y a partir de toda la información obtenida diario se realizó varias tablas dinámicas donde se hizo más fácil agrupar toda la información obtenida, puesto que relacionar todos estos datos y poder hacer un análisis las tablas dinámicas hicieron un trabajo más fácil, así se pudo crear filtros según el tipo de análisis que se quisiera realizar. A partir de esos datos se fueron obteniendo las tablas y gráficas dinámicas deseadas, es decir tablas relacionando los imprevistos con los rendimientos y a su vez tablas relacionando el tipo de suelo y materiales encontrados con los promedios de los rendimientos de los equipos. Para un análisis detallado y síntesis de la información se utiliza filtros por equipos y se agrupan las fechas.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Como se explicó anteriormente en la metodología, a través de tablas y gráficas dinámicas que sintetizan los resultados obtenidos de los rendimientos de los equipos utilizados en los proyectos vigentes de perforaciones para anclajes activos y pasivos donde tiene participación la empresa Procopal S.A. A continuación, se expone los resultados y análisis obtenidos por proyecto:

6.1. Proyecto de perforación para instalación de anclajes activos en VINUS

Donde Procopal S.A fue subcontratado por SP Ingenieros. Se contó con la participación de 7 equipos; 3 perforadoras referencia Beretta y 4 compresores que se fueron rotando según su disposición.

De acuerdo a la Ilustración 9 se observa que la perforadora que más rendimiento tiene todos los meses (desde febrero a junio) es la perforadora Beretta T46 con rendimientos con valores mensuales de 13.9 a 19.7 m/h. La perforadora Beretta T46S2 el mes de marzo tuvo el menor rendimiento con un valor de 11.1 m/h, pero los otros meses tuvo el segundo lugar con una gran diferencia con respecto a la T46 con valores mensuales entre 9.2 a 17.4 m/h. La perforadora T46 alquilada tuvo buen rendimiento en el mes de marzo, pero en el mes de mayo y junio tuvo muy poco

rendimiento, su rendimiento oscila entre 5.1 a 15.1 m/h Más adelante se muestra el porqué de los rendimientos buenos y malos.

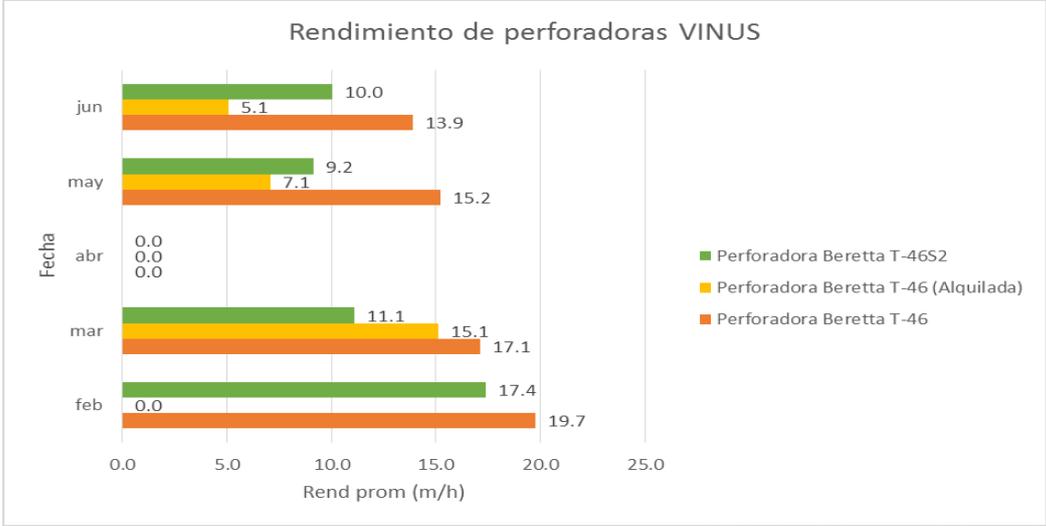


Ilustración 9- Gráfica de promedio de rendimiento general de perforadoras en la obra VINUS (Fuente propia)

De acuerdo a la Ilustración 10 se observa que el compresor 750 tiene un rendimiento promedio mensual de 12.3 a 32.6 m/h, siendo casi siempre el compresor con mayor rendimiento en los meses de permanencia en la obra. El compresor 450 también es un compresor que presenta buen rendimiento con un promedio mensual de 11.6 a 25.3 m/h. El compresor 400 tiene un rendimiento muy similar al anterior con un promedio mensual de 16.3 a 24.7 m/h durante su permanencia en la obra. Y finalmente, el compresor alquilado tiene de los rendimientos menores con un promedio mensual de 5.3 a 20.8 m/h durante su permanencia en la obra.

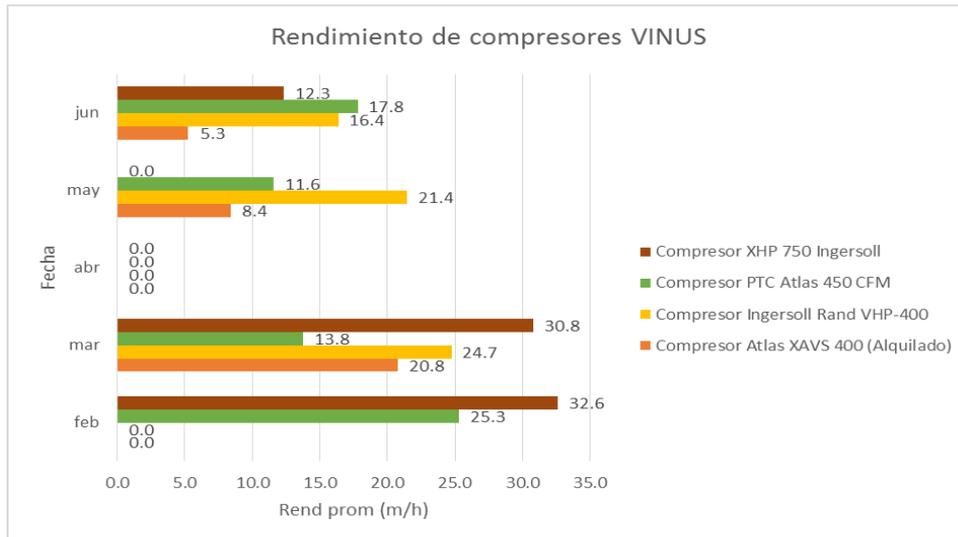


Ilustración 10- Gráfica de promedio de rendimiento general de compresores en la obra VINUS (Fuente propia)

Nota: Para facilitar la visualización de los valores obtenidos, se utiliza una escala condicional de colores en todas las Tablas, donde se establece que el valor mínimo se resalta de rojo y el máximo de verde, cabe aclarar que los demás valores son resaltados en tonalidades según sea su cercanía a alguno de estos dos valores

En la Tabla 3 se puede observar que en abril no se obtiene rendimiento en ninguno de los equipos, esto es debido a que a finales del mes de marzo y durante todo abril se comenzó a presentar una pandemia donde por varios días el país se encontraba en cuarentena, es decir no hubo actividad laboral, puesto que las políticas generadas por la cuarentena impidieron que empresas pertenecientes al sector de construcción, Decreto 457 de 2020 con una expedición del 22 de marzo de 2020 (Declaración de cuarentena por la vida) y las actividades se podían retomar a finales de abril según el Decreto 531 de 2020 con una expedición del día 08 de abril de 2020, "Por el cual se imparten instrucciones en virtud de la emergencia sanitaria generada por la pandemia del coronavirus COVID-19, y el mantenimiento del orden público".

La disminución de los rendimientos en todos los equipos a partir de la pandemia se debe a un numeroso recorte de personal en toda la obra, muchos operadores no se encontraban en condiciones de salud aptas para retomar actividades, otra razón evitar aglomeraciones, tampoco se permite el ingreso a la obra personas que tuvieran conexión con personas infectadas o estuvieran en localidades donde

existieran contagios; también aparte del recorte del personal las jornadas laborales en toda la obra fueron más restringidas, es decir la obra antes llevaba un ritmo de trabajo 24/7 repartidos en 2 jornadas laborales, a partir de la fecha sólo se permitió una sola jornada laboral. Más adelante en los imprevistos se mostrará con más detalle que debido a estas medidas de sanidad y seguridad para los integrantes de la obra y también por la afectación del clima muchas actividades correlacionadas con la perforación para anclajes afectaron los rendimientos de los equipos, en especial los mencionados en este documento.

Después del bajo rendimiento en abril se tiene que el menor rendimiento en los equipos es en mayo y junio con un rendimiento promedio de 13 y 11 m/h, respectivamente. El mayor rendimiento fue en los meses febrero y marzo, antes de las restricciones que se dieron a partir de las políticas impuestas por la pandemia. Este bajo rendimiento se analizará en relación a los imprevistos y tipo de suelo encontrado.

Tabla 3-Rendimiento promedio mensual de los equipos. (Fuente propia)

Equipo (Todas) ▼	
Fecha ▼	Promedio de Rendimiento (m/h)
feb	23.0
mar	17.0
abr	0.0
may	13.0
jun	11.0

Dado que junio fue el mes donde menor rendimiento tiene los equipos se realiza una agrupación de los imprevistos que se presentan en junio de cada uno de los equipos (ver Tabla 4). Si bien se puede observar se presentan imprevistos como retardos por corte e instalación de anclajes dichas actividades son correlacionadas con la perforación y se presentaron estos retrasos por falta de personal y por las restricciones generadas por la pandemia. Otro imprevisto son los factores climáticos; el clima tiene una alta influencia en el rendimiento de las actividades en este tipo de obras que son movimiento de tierra (excavación y perforación) ya que es sumamente peligroso e inadecuado realizar estas actividades bajo la lluvia,

dependiendo de la intensidad de la lluvia es la afectación en el rendimiento de los equipos y actividades.

Retardos por corte en los equipos donde se presentó los más afectados fueron la perforadora T46S2 0 m/h, el compresor alquilado 0 m/h y la perforadora alquilada 7.1 m/h (Cuando aparece NA, quiere decir que no aplica este imprevisto). En junio el compresor alquilado tuvo fallas y tuvo un rendimiento de 6.7 m/h. El retardo para la instalación de anclajes no fue un imprevisto que afectara el rendimiento de los equipos, pero era algo que ocurría frecuentemente. Cuando en los taludes intervenidos se debió revestir, los equipos tuvieron un bajo rendimiento, la perforadora y el compresor alquilado con un rendimiento de 4.3 y 5.5 m/h respectivamente, principalmente estos equipos ya que se encontraban en sitios críticos #3 (Ver Ilustración 4) y todas sus perforaciones necesitaron revestimiento, por el tipo de suelo y la inestabilidad del talud. Los retardos por lluvia afectaron en general a todos los equipos ya que cuando había fuertes lluvias se suspendían actividades el resto de día o si llovía en la noche se tardaba el comienzo de actividades por las condiciones en las que amanecía la obra.

Tabla 4-Rendimiento promedio según los imprevistos en el mes de junio de VINUS (Fuente propia)

Fecha		Equipos						
Promedio de Rendimiento (m/h)		Compresor Atlas XAVS 400 (Alquilado)	Compresor Ingersoll Rand VHP-400	Compresor PTC Atlas 450 CFM	Compresor XHP 750 Ingersoll	Perforadora Beretta T-46	Perforadora Beretta T-46 (Alquilada)	Perforadora Beretta T-46S2
Imprevistos								
Corte	0.0	NA	16.4	25.0	12.1	7.1	0.0	
Equipo Varado	6.7	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
Instalación de anclaje	NA	16.4	NA	NA	14.1	NA	NA	
Movilización equipos	5.7	NA	14.6	13.9	11.5	2.9	11.0	
Ninguno	5.0	NA	18.4	12.9	14.5	6.2	14.2	
Retardo por Lluvia	5.0	NA	17.6	6.3	14.0	4.4	4.0	
Revestimiento	5.5	NA	NA	12.5	NA	4.3	NA	
Revestimiento	NA	NA	NA	NA	NA	NA	8.8	

La Tabla 5 representa el rendimiento promedio de los equipos según el tipo de suelo clasificación SUCS en el mes de junio (Cuando aparece NA quiere decir que el equipo no se encontró ese tipo de suelo). El menor rendimiento es 0 m/h cuando no se encontró ningún tipo de suelo esto le ocurrió a la perforadora y compresor alquilado, al compresor 750 y a la T46S2, no encontraron ningún tipo de suelo

cuando no realizaron perforación debido a algún imprevisto. Los mejores rendimientos en todos los equipos son cuando sólo se encuentra SM (Arena limosa) rendimientos de 11.4 a 19.5 m/h. El menor rendimiento seguido a no encontrar ningún tipo de suelo es cuando los equipos encontraron SM (Arena limosa), SP (Arena mal gradada), lodo y roca rendimientos de 5 a 8.1 m/h; este mal rendimiento se debe a que dichos equipos estuvieron en el mencionado anteriormente talud sitios críticos, la arena encontrada hacía que la perforación se derrumbara rápidamente y debido a esto se debió revestir la mayoría de las perforaciones realizadas en este lugar.

Tabla 5- el rendimiento de los equipos según el tipo de suelo clasificación SUCS en el mes de junio. (Fuente propia)

Fecha		jun				
Promedio de Rendimiento (m/h)		Suelo SUCS				
Equipo	NA	SM	SM/Lodo/Roca	SM/Roca	SM/SP/Lodo/Roca	
Compresor Atlas XAVS 400 (Alquilado)	0.0	NA	NA	4.6	6.2	
Compresor Ingersoll Rand VHP-400	NA	NA	NA	16.4	NA	
Compresor PTC Atlas 450 CFM	NA	NA	13.2	18.2	NA	
Compresor XHP 750 Ingersoll	0.0	19.5	12.9	9.1	8.1	
Perforadora Beretta T-46	NA	NA	NA	13.9	NA	
Perforadora Beretta T-46 (Alquilada)	0.0	11.4	NA	5.1	5.0	
Perforadora Beretta T-46S2	0.0	14.0	9.6	10.9	NA	

La Tabla 6 representa el rendimiento promedio de los equipos según el tipo de suelo clasificación AASHTO en el mes de junio (Cuando aparece NA quiere decir que el equipo no se encontró ese tipo de suelo). El menor rendimiento es 0 m/h cuando no se encontró ningún tipo de suelo esto le ocurrió a la perforadora y compresor alquilado, al compresor 750 y a la T46S2, no encontraron ningún tipo de suelo cuando no realizaron perforación debido a algún imprevisto. Los mejores rendimientos en todos los equipos son cuando sólo se encuentra A-5 (Suelo limoso) rendimiento promedio entre 11.4 y 19.5 m/h. El menor rendimiento es cuando se encuentra A-4 (Suelo limoso) A-2 (Arena con poca cantidad de limo y arcilla) lodo y roca; rendimientos entre 5 y 8.1 m/h.

Tabla 6- Rendimiento promedio de los equipos según el tipo de suelo clasificación AASHTO en el mes de junio. (Fuente propia)

Fecha		jun				
Promedio de Rendimiento (m/h)	Suelo AASHTO					
Equipos	A-4/A-2/Lodo/Roca	A-4/Lodo/Roca	NA	A-5	A-5/Roca	
Compresor Atlas XAVS 400 (Alquilado)	6.2	NA	0.0	NA	4.6	
Compresor Ingersoll Rand VHP-400	NA	NA	NA	NA	16.4	
Compresor PTC Atlas 450 CFM	NA	13.2	NA	NA	18.2	
Compresor XHP 750 Ingersoll	8.1	12.9	0.0	19.5	9.1	
Perforadora Beretta T-46	NA	NA	NA	NA	13.9	
Perforadora Beretta T-46 (Alquilada)	5.0	NA	0.0	11.4	5.1	
Perforadora Beretta T-46S2	NA	9.6	0.0	14.0	10.9	

Cuando las perforaciones se realizan en la parte superior del talud por lo general los equipos se encuentran un suelo muy homogéneo, en el caso de la perforadora T46, en el mes de junio estuvo en la parte superior del Talud 11 (ver Ilustración 5). Mientras que cuando se realizan perforaciones en la parte inferior del talud el suelo es más heterogéneo y es muy común encontrarse con otros materiales como lodo y roca; como lo es en los casos de la perforadora T46S2 y la T46 alquilada.

6.2. Proyecto de perforación para instalación de anclajes pasivos

Donde Procopal S.A fue contratado por EMVARIAS E.S.P Se contó con la participación de 3 equipos 2 perforadoras referencia Beretta y un compresor.

La Ilustración 11 representa el rendimiento semanal que se obtuvo en cada uno de los equipos utilizados para la perforación para anclajes pasivos en la obra EMVARIAS, este análisis solo se realizó desde el 21 de mayo del 2020 hasta el 30 de junio del mismo año, la razón es que, aunque se había programado comenzar con la ejecución de las actividades de perforación en el mes de marzo, los diseños existentes tuvieron que ser replanteados y sin la revisión y aprobación de los diseños existentes no se podía comenzar con la ejecución y eso generó un retraso en dichas actividades. Dicho esto, y analizando solo el rendimiento de los equipos de perforación se observa en la Ilustración 11 un crecimiento casi progresivo en el rendimiento de los equipos, es decir se comenzó con un rendimiento bajo y se fue mejorando el rendimiento al pasar las semanas. También se observa que la semana que mayor rendimiento tuvieron los equipos fue la semana del 11 de junio al 17 de junio y los días que menor rendimiento tuvieron los equipos fueron a finales de mayo, es decir cuando se comenzaron las actividades. Más adelante se mostrarán cifras y

se analizará a fondo el porqué de los buenos y malos rendimientos en los equipos. Haciendo una comparación entre las dos perforadoras la que mayor rendimiento obtuvo fue la Beretta T-19 rendimiento semanal entre 11.47 a 34.84 m/s, también se observa que el compresor tuvo un buen rendimiento entre 13.18 a 30.55 m/h.

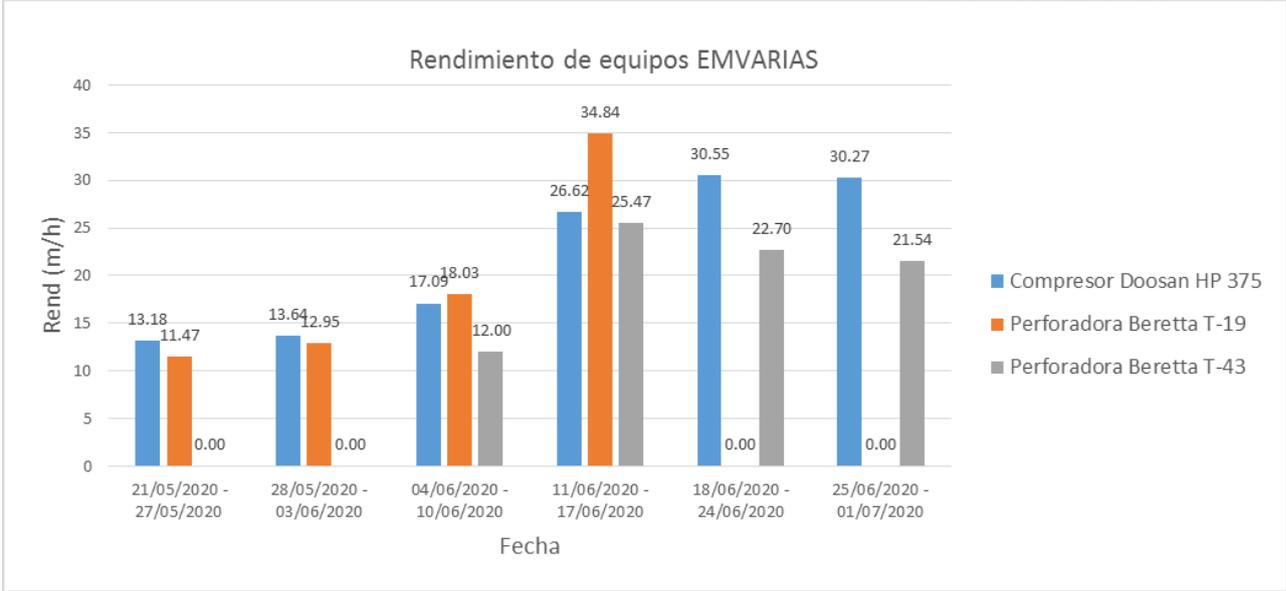


Ilustración 11- Rendimiento promedio de los equipos en la obra EMVARIAS (Fuente propia)

En la Tabla 7 se muestra los imprevistos que se presentaron mediante el mes de mayo y junio en las actividades de perforación para anclajes pasivos. La perforadora T-19 en el imprevisto que menor tuvo rendimiento fue en retardo por corte con un rendimiento de 8.6 m/h. El retardo por corte se daba generalmente por causa de la lluvia, pues si llovía la noche anterior había que raspar la vía para el acceso a las otras máquinas necesarias para las actividades correlacionadas con la perforación, ejemplo retro excavador y volquetas. La perforadora T-43 tuvo su menor rendimiento en la movilización de los equipos con un rendimiento de 11.2 m/h, pues la máquina necesitaba ser movida de un talud a otro. El compresor 375 en general obtuvo muy buen rendimiento, pero cuando a la T-19 se le perdió el martillo fue cuando afectó solo un poco el rendimiento del compresor en esa semana con un rendimiento de 10.6 m/h.

Tabla 7- Rendimiento de los equipos en la obra EMVARIAS según los imprevistos (Fuente propia)

Fecha (Todas)		Promedio de Rendimiento (m/h)		
Imprevistos		Equipos		
		Compresor Doosan HP 375	Perforadora Beretta T-19	Perforadora Beretta T-43
Corte		17.3	8.6	17.6
Lanzado de concreto		21.1	15.3	25.0
Movilización de Equipos		13.7	NA	11.2
Ninguno		22.9	17.3	24.9
Perdida de martillo		10.6	9.0	NA
Retrasos por lluvia		19.3	NA	16.8

La Tabla 8 representa el rendimiento promedio de los equipos según el tipo de suelo clasificación SUCS en mayo y junio de la obra EMVARIAS. Cuando menor rendimiento se tiene es cuando no encuentra ningún suelo (NA) esto es debido a que no se realizó ninguna perforación por la ocurrencia de algún imprevisto. El compresor 375 obtuvo menor rendimiento cuando encontró SM (Arena limosa), rendimiento de 19.8 m/h. La perforadora T-19 obtuvo menor rendimiento cuando encontró SM (Arena limosa) y además encontró un poco de roca, un rendimiento de 9 m/h. La T-43 obtuvo menor rendimiento cuando encontró SM (Arena limosa) un rendimiento de 20.5 m/h. En general los equipos se encontraron con un suelo muy homogéneo y la variación en sus rendimientos es muy poca, todo esto es porque los taludes intervenidos son seguiditos y en la misma zona (Ver Ilustración 9). Además, como este mes es el comienzo de las actividades de perforación, comenzaron por la parte superior de los taludes y lo más probable es que a medida que se vaya bajando se encuentre otros materiales como roca u otro tipo de suelo.

Tabla 8- Rendimiento de los equipos según el tipo de suelo clasificación SUCS en la obra EMVARIAS. (Fuente propia)

Fecha (Todas)		Promedio de Rendimiento (m/h)		
Equipos		Suelo SUCS		
		NA	SM	SM/Roca
Compresor Doosan HP 375		0.0	19.8	24.4
Perforadora Beretta T-19		0.0	15.6	9.0
Perforadora Beretta T-43		0.0	20.5	23.6

La Tabla 9 representa el rendimiento promedio de los equipos según el tipo de suelo clasificación AASHTO en mayo y junio de la obra EMVARIAS. El menor rendimiento se tiene es cuando no encuentra ningún suelo (NA) esto es debido a que no se realizó

ninguna perforación por la ocurrencia de algún imprevisto. El compresor 375 tiene su menor rendimiento al encontrarse A-4 (Suelo limoso) y además un poco de roca, con un rendimiento de 10.6 m/h; el mayor rendimiento lo tuvo cuando se encontró A-75 (Suelo arcilloso) y roca con un rendimiento de 31.9 m/h. La perforadora T-19 al igual que el compresor obtuvo su menor rendimiento de 9 m/h al encontrarse un suelo A-75 y roca; y su mayor rendimiento de 16.3 m/h al solo encontrarse A-75. La perforadora T-43 su mejor rendimiento fue de 24.7 m/h al encontrarse A-75 y su menor rendimiento de 17.1 al encontrarse A-4.

Tabla 9- Rendimiento de los equipos según el tipo de suelo clasificación AASHTO en la obra EMVARIAS. (Fuente propia)

Fecha		(Todas)				
Promedio de Rendimiento (m/h)		Suelo AASHTO				
Equipo	A-4	A-4/Roca	NA	A-75	A-75/Roca	
Compresor Doosan HP 375	18.1	10.6	NA	21.4	31.9	
Perforadora Beretta T-19	14.8	9.0	NA	16.3	NA	
Perforadora Beretta T-43	17.1	NA	NA	24.7	23.6	

7. CONCLUSIONES

- Cuando se realiza la programación de una obra aparte de revisar el diseño de los planos para poder apropiarse del diseño es pertinente analizar aspectos también importantes como geología de la zona para saber qué tipo de suelo se encontrará al realizar las perforaciones y revisar las condiciones del lugar donde se ejecutará el proyecto particularmente de la ejecución de la actividad de perforación que es la de interés en el documento todo esto para estimar un rendimiento apropiado de los equipos y dar cumplimiento al plazo inicial de la ejecución de los proyectos.
- Muchas veces ocurren situaciones muy particulares que nadie prevé y que ni si quiera un buen programador tiene en cuenta a la hora de planear y programar tiempos y cantidades de obra. Las restricciones que hubo a partir de la pandemia COVID-19 tuvo una gran influencia a la hora de ejecutar cada uno de los proyectos de perforación para anclajes vigentes de la empresa Procopal S.A en "VINUS" y en "la Pradera"; puesto que generó retardos en actividades que tienen co-relación con la perforación y

por ende a partir de la fecha los rendimientos de los equipos en los dos proyectos disminuyeron notablemente, más que todo en "VINUS" puesto que el recorte de personal fue una medida que se debió tomar, pues no todas las personas estaban en condiciones de salud para continuar sus labores.

- Como se mostró en la Tabla 4 (Rendimiento promedio según los imprevistos en el mes de junio de VINUS) y la Tabla 7 (Rendimiento de los equipos en la obra EMVARIAS según los imprevistos) al observar la disminución en los rendimientos que se obtuvieron por los retardos que genera las fuertes lluvias son muy considerables, por eso hay que tener muy presente la estimación de los rendimientos en una programación dependiendo de la época en la que se está ejecutando, hay que razonar también que el pronóstico del clima es algo que no es 100% confiable y se puede tener un margen de error importante.
- La agrupación de los datos obtenidos de los imprevistos presentados en las obras de VINUS y EMVARIAS que se mostró en las Tablas 4 y 7, nos dice que el imprevisto que más influye en el descenso en los rendimientos de los equipos es cuando se debe parar por falta de corte, claro está que todos los imprevistos generan retardos en todas las actividades de la obra.
- Según el tipo de suelo encontrado de acuerdo a la clasificación SUCS y AASHTO los equipos pueden presentar un buen o mal rendimiento. Como se mostró en la unificación de los datos presentada en las Tablas 5, 6, 8 y 9; en general cuando los equipos se encuentran con un suelo homogéneo ya sea sólo SM (Arena limosa) según la clasificación SUCS o A-4 (Suelo limoso) según la clasificación AASHTO los rendimientos son mejores que cuando se encuentran un suelo más heterogéneo, es decir cuando ya se encuentran aparte de ese suelo limoso, materiales como lodo y roca.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arévalo, L.F. (2014). Análisis comparativo de especificaciones técnicas y rendimiento en campo de maquinaria para extracción de tierra. Recuperado el 27/03/2020, de

- https://repository.uniminuto.edu/bitstream/handle/10656/3448/TIC_ArevaloBal lenLuis_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Arias, L.M. (2014). Seguridad industrial en la estabilización de taludes por el método de soil nailing según normas OSHA. Recuperado el 26 de marzo de 2020, de http://www.repositorio.usac.edu.gt/1678/1/08_3722_C.pdf
- Camelo, V. H. & Pereira, Y. C. (2015). Factores que afectan los rendimientos de las motoniveladoras y compactadoras en las construcciones de obras viales urbanas en Bogotá. Recuperado el 26/03/2020, de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1006&context=ing_civil
- Decreto número 457 de 2020, República de Colombia, 22 de marzo de 2020.
- Decreto número 531 de 2020, Republica de Colombia, 08 de abril de 2020.
- Hurtado, L.G. (2017). Acompañamiento en los procesos de formulación y ejecución de la empresa tag perforaciones en proyectos de anclajes pasivos y activos en el municipio de Ibagué. Recuperado el 26 de marzo de 2020, de https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/13899/1/2017_Acompanamiento_procesos_formulacion.pdf
- INGEOMINAS, 2010. Mapa Geológico de la Plancha 131 Santa Rosa de Osos, recuperado el 26 de junio de 2020 de https://www.researchgate.net/publication/270882940_MEMORIA_EXPLICATIVA_DEL_MAPA_GEOLOGICO_DE_LA_PLANCHA_131_SANTA_ROSA_DE_OSOS_ESCALA_1100000
- INTEINSA, 2018. Estudios y Diseños Vía Superior Relleno Sanitario La Pradera. Pdf suministrado por la entidad (documento con información confidencial)
- Navarro. (2008) Estabilidad de taludes. Recuperado el 26/03/2020, de <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/09/estabilidad-de-taludes.pdf>
- Norma Española UNE-EN 795 protección individual contra caídas y deslizamientos. Dispositivos de anclaje, (2012)
- Norma Española UNE-EN 12715. Trabajos Geotécnicos Especiales. Inyecciones, (2001).
- OPS. (1997). Estudio de Caso: Vulnerabilidad de los Sistemas de Agua Potable Frente a Deslizamientos. Recuperado el 26/03/2020, de <http://helid.digicollection.org/es/d/Jh0206s/4.1.html>

Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR-10 Título H. Estudios geotécnicos, (2010).

Sanhueza Plaza, C., & Rodríguez Cifuentes, L. (2013). Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales. Recuperado el 26/03/2020, de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-915X2013000100003&script=sci_arttext

Serpell, A. (2011). Productividad en la construcción. Revista Ingeniería de Construcción, 1(1), 53-59.

Ucar, R. (2004). Manual de anclajes en ingeniería civil. Recuperado el 26/03/2020, de https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/13899/1/2017_Acompañamiento_procesos_formulacion.pdf.

9. Anexos

9.1 Anexo 1. Base de datos, tablas, gráficas de VINUS

9.2 Anexo 2. Base de datos, tablas, gráficas EMVARIAS

