

PRACTICA EMPRESARIAL ORIENTADA EN EL ANÁLISIS, MONITOREO Y CONTROL DEL AVANCE FÍSICO DE LA EXCAVACIÓN DE LAS CAVERNAS DE LA CENTRAL SUBTERRÁNEA EN EL PROYECTO HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO MEDIANTE INFORMACIÓN TÉCNICA SUMINISTRADA SOBRE EL PROGRESO DE LA OBRA.

PAULA LIZETH RODRÍGUEZ LEÓN

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2013

PRACTICA EMPRESARIAL ORIENTADA EN EL ANÁLISIS, MONITOREO Y CONTROL DEL AVANCE FÍSICO DE LA EXCAVACIÓN DE LAS CAVERNAS DE LA CENTRAL SUBTERRÁNEA EN EL PROYECTO HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO MEDIANTE INFORMACIÓN TÉCNICA SUMINISTRADA SOBRE EL PROGRESO DE LA OBRA.

PAULA LIZETH RODRÍGUEZ LEÓN

**Trabajo de grado realizado en la modalidad de práctica empresarial
Para optar al Título de Ingeniero Civil**

Director

**Álvaro Viviescas Jaimes
Ingeniero Civil, Ph.D.**

Tutor Práctica Empresarial

**Ing. Juan Felipe Duque Marulanda
Profesional Proyecto Sogamoso**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2013

DEDICATORIA

A Dios, por acompañarme y darme la sabiduría para llegar a este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres y hermanas, quienes con su amor, apoyo y comprensión estuvieron siempre a lo largo del desarrollo de la tesis.

A Andrés, por su paciencia y compañía en los momentos de mayor importancia.

A ISAGEN S.A E.S.P, a todo el equipo del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso por darme la oportunidad de hacer parte del grupo de trabajo y por compartir su amplio conocimiento conmigo, en especial a Hedmer y Juan Felipe.

A INTEGRAL – VQ INGENIERÍA por la suministración de la información, en especial al Ingeniero Jorge Mario Herrera por su constante interés y apoyo en la realización de este proyecto.

A todos los practicantes de ISAGEN S.A E.S.P, quienes me hicieron muy amena la estadía en el campamento.

A la Universidad Industrial de Santander, especialmente al profesor Álvaro Viviecas por su incansable interés por conocer de cerca los grandes proyectos en pro de la formación profesional de sus alumnos.

CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN	15
1. OBJETIVOS.....	16
1.1 Objetivo General	16
1.2 Objetivos Específicos.....	16
2. GENERALIDADES DE LA EMPRESA.....	17
2.1 Descripción general	17
2.1 Misión	17
2.2 Visión	17
3. PROYECTO HIDROELECTRICO SOGAMOSO.....	18
3.1 Localización y área de influencia	18
3.2 Descripción General	20
4. ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL DESARROLLO DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL	23
4.1 Recorridos a los sitios de obra.....	23
4.2 Apoyo en la implementación del seguimiento del proyecto en el módulo de proyectos de SAP.	23
4.3 Estudio del proceso de excavación de las cavernas de la central subterránea.	24
4.4 Elaboración del informe mensual del proyecto que es entregado a ISAGEN S.A.	24
4.5 Apoyo en la elaboración de la presentación que se realiza para la junta directiva de ISAGEN S.A.	25
5. EXCAVACIÓN EN LAS CAVERNAS DE LA CENTRAL SUBTERRÁNEA	26
5.1 Método de excavación	26
5.1.1 Perforación y cargue de barrenos o explosivos.	26
5.1.2 Retiro de equipo, voladura y ventilación	29

5.1.3 Rezaga del material generado por la voladura	30
5.1.4 Desabombe y rezaga de desabombe	31
5.2 Etapas de excavación.....	32
5.2.1 Requisitos sobre la secuencia general de excavación de la caverna de máquinas y oscilación.....	33
5.2.2 Requisitos sobre la secuencia general de excavación en caverna de transformadores.....	35
5.2.3 Requisitos sobre la secuencia general de excavación en la central subterránea.....	37
6. SOPORTE EN LAS SUPERFICIES DE EXCAVACIÓN EN LAS CAVERNAS DE LA CENTRAL SUBTERRÁNEA.....	39
6.1 Tipo de soporte	39
6.1.1 Soporte primario	39
6.1.2 Soporte secundario.....	41
6.2 Dimensiones, características y distribución de los pernos de anclaje en las cavernas de la central.....	42
6.3 Secuencia general del soporte en las superficies de excavación de las cavernas de la central subterránea.....	42
6.3.1 Caverna de máquinas y oscilación	42
6.3.2 Caverna de transformadores	43
7. ANÁLISIS DE LAS EXCAVACIONES DE LAS CAVERNAS DE LA CENTRAL SUBTERRÁNEA.....	44
7.1 Recopilación de la información	44
7.2 Caverna de máquinas.....	44
7.2.1 Cálculo del rendimiento del volumen excavado	45
7.2.2 Actividades del ciclo de excavación.....	48
7.2.3 Maquinaria utilizada durante las excavaciones.....	49
7.2.4 Personal utilizado durante las excavaciones.	50
7.2.5 Consolidación de la información perteneciente a la excavación de caverna de máquinas.	51

7.3 Caverna de transformadores	53
7.3.1 Cálculo del rendimiento del volumen excavado	53
7.3.2 Actividades del ciclo de excavación	57
7.3.3 Maquinaria utilizada durante las excavaciones	58
7.3.4 Personal utilizado durante las excavaciones.	59
7.3.5 Consolidación de la información perteneciente a la excavación de caverna de transformadores.....	60
7.4 Caverna de oscilación.....	62
7.4.1 Cálculo del rendimiento del volumen excavado	62
7.4.2 Actividades del ciclo de excavación	65
7.4.3 Maquinaria utilizada durante las excavaciones	67
7.4.4 Personal utilizado durante las excavaciones.	68
7.4.5 Consolidación de la información perteneciente a la excavación de caverna de oscilación.	68
CONCLUSIONES	71
BIBLIOGRAFÍA.....	73
ANEXOS.....	74

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Localización del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso	18
Figura 2. Área de influencia Regional	19
Figura 3. Imagen Virtual del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso	20
Figura 4. Imagen Virtual de las cavernas de la central subterránea.	22
Figura 5. Ejemplo de un esquema de tiro	26
Figura 6. Zonas de la voladura	27
Figura 7. Perforación y cargue de barrenos.....	28
Figura 8. Imagen virtual de voladura y ventilación	29
Figura 9. Rezaga	30
Figura 10. Desabombe	31
Figura 11. Excavación por etapas.....	32
Figura 12. Etapas de excavación de las cavernas de la central subterránea	33
Figura 13. Aplicación de la primera capa de concreto lanzado en la superficie de excavación.....	40
Figura 14. Perforación e instalación de pernos.....	41
Figura 15. Etapas con mayor participación de los equipos de excavación en caverna de máquinas.....	52
Figura 16. Etapas con mayor participación de los equipos de excavación en caverna de transformadores.	61
Figura 17. Etapas con mayor participación de los equipos de excavación en caverna de oscilación.	70

LISTA DE ANEXOS

	Pág
Anexo 1.....	74
Anexo 2 Formato de los informes diarios de excavaciones de la central subterránea.....	79
Anexo 3 Forma en que se organizó los volúmenes excavados diariamente.	81
Anexo 4 Gráfica del avance acumulado de caverna de máquinas	82
Anexo 5 Gráfica del avance acumulado de caverna de máquinas por tramos	83
Anexo 6 Gráfica del % del rendimiento diario excavado Vs Tiempo en caverna de máquinas	84
Anexo 7 Histograma de frecuencias del % de rendimiento diario en caverna de máquinas	85
Anexo 8 Avance acumulado por frentes en caverna de máquinas	86
Anexo 9 Forma en que se organizó las duraciones de las actividades del ciclo de excavación.....	87
Anexo 10 Gráfica de duración de actividades del ciclo de excavación en caverna de máquinas	88
Anexo 11 Duración de cada actividad del ciclo de excavación por contrafuertes. .	89
Anexo 12 Histogramas de frecuencias y gráficas del tiempo de perforación Vs tiempo cronológico para cada contrafuerte.....	90
Anexo 13 Histogramas de frecuencias y gráficas del tiempo de rezaga Vs tiempo cronológico para cada contrafuerte.....	91
Anexo 14 Hoja de cálculo con el registro de la maquinaria utilizada y el número de horas trabajadas.	92
Anexo 15 Participación de los equipos en el proceso de excavación.	93
Anexo 16 Gráficas del volumen excavado acumulado Vs tiempo acumulado de la maquinaria para todos los equipos.	94

Anexo 17 Hoja de cálculo con el registro del personal utilizado durante la excavación de caverna de máquinas.....	98
Anexo 18 Volumen excavado acumulado Vs Número de personas utilizadas acumuladas.....	99
Anexo 19 % de personas necesarias de cada cargo durante la excavación de caverna de máquinas.....	100
Anexo 20 Tablas de los rendimientos de cada etapa con los recursos utilizados en caverna de máquinas.....	101
Anexo 21 Avance acumulado caverna de transformadores.....	103
Anexo 22 Avance acumulado por tramos caverna de transformadores.....	104
Anexo 23 % de Rendimiento diario excavado en caverna de transformadores. ...	105
Anexo 24 Histograma de frecuencias de los % de rendimiento diario.	106
Anexo 25 Volumen excavado acumulado por contrafuertes.	107
Anexo 26 Duración de cada actividad del ciclo de excavación y tratamiento superficial.....	108
Anexo 27 Duración de cada actividad del ciclo de excavación y tratamiento superficial por contrafuertes.....	109
Anexo 28 Histogramas de frecuencias y gráficas del tiempo de perforación Vs tiempo cronológico para cada contrafuerte.....	110
Anexo 29 Histogramas de frecuencias y gráficas del tiempo de rezaga Vs tiempo cronológico para cada contrafuerte.....	111
Anexo 30 Histogramas de frecuencias y gráficas del tiempo de pernos Vs tiempo cronológico para cada contrafuerte.....	112
Anexo 31 Participación de los equipos en el proceso de excavación.	113
Anexo 32 Volumen excavado acumulado Vs Horas trabajadas volquetas	114
Anexo 33 Volumen excavado acumulado Vs Número de personas utilizadas acumuladas.....	118
Anexo 34 % de personas necesarias de cada cargo durante la excavación de caverna de máquinas.....	119

Anexo 35 Tablas de los rendimientos de cada etapa con los recursos utilizados en caverna de transformadores.	120
Anexo 36 Avance acumulado caverna de oscilación.	123
Anexo 37 Avance acumulado por tramos en caverna de oscilación.	124
Anexo 38 % de Rendimiento diario excavado.	125
Anexo 39 Histograma de frecuencias de los % de rendimiento diario.	126
Anexo 40 Volumen excavado acumulado por contrafuertes.	127
Anexo 41 Duración de cada actividad del ciclo de excavación.	128
Anexo 42 Duración de cada actividad del ciclo de excavación y tratamiento superficial.	129
Anexo 43 Histogramas de frecuencias y gráficas del tiempo de perforación Vs tiempo cronológico para cada contrafuerte.	130
Anexo 44 Histogramas de frecuencias y gráficas del tiempo de rezaga Vs tiempo cronológico para cada contrafuerte.	131
Anexo 45 Histogramas de frecuencias y gráficas del tiempo de pernos Vs tiempo cronológico para cada contrafuerte.	132
Anexo 46 Participación de los equipos en el proceso de excavación.	133
Anexo 47 Volumen excavado acumulado Vs Horas trabajadas volquetas	134
Anexo 48 Volumen excavado acumulado Vs Número de personas utilizadas acumuladas.	138
Anexo 49 % de personas necesarias de cada cargo durante la excavación de caverna de máquinas.	139
Anexo 50 Tablas de los rendimientos de cada etapa con los recursos utilizados caverna de oscilación.	140

RESUMEN

TÍTULO: PRACTICA EMPRESARIAL ORIENTADA EN EL ANÁLISIS, MONITOREO Y CONTROL DEL AVANCE FÍSICO DE LA EXCAVACIÓN DE LAS CAVERNAS DE LA CENTRAL SUBTERRÁNEA EN EL PROYECTO HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO MEDIANTE INFORMACIÓN TÉCNICA SUMINISTRADA SOBRE EL PROGRESO DE LA OBRA.

AUTOR: PAULA LIZETH RODRIGUEZ LEON**

PALABRAS CLAVES: EXCAVACIONES, CAVERNAS, RENDIMIENTO, RECURSOS.

DESCRIPCIÓN

ISAGEN S.A. E.S.P. es una empresa colombiana de servicios públicos mixta, dedicada a la generación y comercialización de energía. La estrategia de ISAGEN está orientada al crecimiento de su capacidad de generación para atender la creciente demanda de energía eléctrica del país. En cumplimiento a esta estrategia, actualmente se encuentra en estado de ejecución el Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, localizado en la zona Nororiental de Colombia del Departamento de Santander, el cual aumentará la capacidad instalada de ISAGEN en 820 MW.

Dentro del proceso de construcción del proyecto, ISAGEN ha identificado la necesidad de conocer aspectos propios de la ejecución de las actividades pertenecientes a la obra como son los rendimientos reales, la duración de las actividades pertenecientes al ciclo de excavación y la utilización de recursos, tanto de equipo y mano de obra; esta información es obtenida con base en los registros diarios de actividades realizados por la interventoría de la obra.

Por ello, como aporte a la empresa, el objetivo final de la práctica empresarial es generar un documento de análisis que sirva de soporte para la gestión de futuros proyectos, permitiendo realizar una programación más acertada, basándose en los rendimientos reales y en el manejo de recursos en la construcción de las cavernas de la central subterránea del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso.

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director Ing. Civil - Ph.D. Álvaro Viviecas Jaimes. Tutor: Ing. Juan Felipe Duque Marulanda.

ABSTRACT

TITLE: INTERNSHIP ORIENTED IN ANALYSIS, MONITORING AND CONTROL OF PHYSICAL PROGRESS OF THE EXCAVATION OF THE CAVERNS AT THE UNDERGROUND POWERHOUSE IN THE SOGAMOSO HYDROELECTRIC PROJECT THROUGH TECHNICAL INFORMATION PROVIDED ON THE PROGRESS OF THE WORK.

AUTHOR: PAULA LIZETH RODRIGUEZ LEON**

KEYWORDS: EXCAVATIONS, CAVERN, EFFICIENCY, RESOURCES.

DESCRIPTION

ISAGEN S.A E.S.P. is a Colombian mixed public utility corporation. ISAGEN is dedicated to the generation and commercialization of electric energy. The strategy of ISAGEN is oriented towards the increment of its generation capacity, in order to respond to the growing energetic demand in the country. In accomplishment of this strategy, ISAGEN is currently developing the Sogamoso Hydroelectric Project. The project is located in northeastern of Colombia in the Department of Santander; this project will increase ISAGEN installed capacity in 820 MW.

In the process of construction of the project, ISAGEN has identified the need to know specific aspects of the implementation of the activities pertaining to the work such the real execution performance, the duration of the activities in the dig cycle and the use of resources, both equipment and labor, this information is obtained based on daily records of activities made by the auditing of the work.

Therefore, as a contribution to the company, the ultimate goal of the internship is to generate an analysis document that serves as support for the management of future projects, allowing a more accurate scheduling based on the execution performance and handling resources in the construction of the underground powerhouse caverns at Sogamoso Hydroelectric Project.

** Faculty of Mechanical and Physical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Civil Engineer - Ph.D. Alvaro Viviescas Jaimes. Tutor: Juan Felipe Duque Marulanda.

INTRODUCCIÓN

ISAGEN S.A. E.S.P. es una empresa colombiana dedicada a la generación y comercialización de energía, a la construcción de proyectos y la comercialización de soluciones energéticas. Actualmente, adelanta la construcción del proyecto hidroeléctrico Sogamoso localizado en el noroeste del país en el departamento de Santander, que hará aumentar la capacidad de ISAGEN en 820MW.

Para la construcción del proyecto hidroeléctrico Sogamoso se requirió desviar el río Sogamoso a través de dos túneles de desvío lo que permitirá la construcción de las obras superficiales. La obra principal, será una presa que tendrá en su extremo izquierdo un vertedero para rebose. La estructura de captación estará ubicada en la margen derecha del río, que conducirá el agua al sistema de carga llegando finalmente a los rodetes tipo francis de las turbinas ubicadas en la casa de máquinas; esta caverna aloja tres grupos de turbinas y generadores, en esta etapa del proceso la energía potencial se transformará en energía mecánica y esta a su vez en energía eléctrica. En forma paralela a la casa de máquinas se encuentra la caverna de transformadores; que alojara los tres transformadores que aumentarán el voltaje de la energía eléctrica producida para poder transportarla hasta la subestación y posteriormente al sistema interconectado nacional. Después de pasar por la caverna de máquinas, el agua llega a la caverna de oscilación en donde se disipa la energía residual del proceso de generación.

Para ISAGEN es una necesidad conocer los avances y rendimientos reales de cada una de las obras que componen el proyecto. Utilizando la información suministrada en los reportes diarios de las actividades, elaborados por la Interventoría del proyecto, se pueden determinar estos aspectos. Los resultados obtenidos de los análisis de esta información, permitirán a futuro garantizar la toma de decisiones acertadas con el fin de optimizar la planificación de proyectos, conservando o mejorando la calidad del trabajo.

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo General

Realizar la práctica empresarial como auxiliar de ingeniería durante el proceso de construcción del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso que está desarrollando la empresa ISAGEN S.A. E.S.P en el área de control de programación y presupuesto en la excavación de las cavernas de máquinas, transformadores y oscilación de la central subterránea.

1.2 Objetivos Específicos

- Recopilar y revisar la información relacionada con la excavación de las tres cavernas de la central subterránea como lo son los reportes diarios de los avances en obra, registros fotográficos, cronograma planeado y recursos utilizados en el proyecto para calcular los rendimientos reales de la actividad.
- Apoyo en la realización del informe mensual de las actividades realizadas y el control de obra en el Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso presentado a la gerencia y junta directiva de ISAGEN.
- Presentar un informe final que contenga con detalle las actividades de obra realizadas, el avance físico mensual, los rendimientos reales de obra y el análisis de los diferentes factores de los que depende el avance en la excavación de las tres cavernas que conforman la central subterránea.

2. GENERALIDADES DE LA EMPRESA

2.1 Descripción general

ISAGEN S.A. E.S.P. es una empresa colombiana de servicios públicos mixta, dedicada a la generación y comercialización de energía. Esta compañía posee y opera cinco centrales de generación, cuatro de ellas de origen hidráulico y una térmica, las cuales suman una capacidad instalada de 2132 MW, posicionándose como el 3er generador del país. Una vez terminada la construcción de los proyectos que adelanta actualmente, la compañía pasará a tener una capacidad instalada de 3032 MW.

2.1 Misión

ISAGEN desarrolla la capacidad de generación y produce y comercializa energía con el propósito de satisfacer las necesidades de sus clientes y crear valor empresarial. La gestión se desarrolla con ética, enfoque al cliente, sentido económico y responsabilidad social y ambiental.

2.2 Visión

ISAGEN es líder en generación y transacciones de energía en tiempo real en Colombia, es el aliado de la productividad de los clientes y es reconocido por sus negocios de energía en mercados internacionales.

El desarrollo integral de los trabajadores y la responsabilidad empresarial son la base de la creación conjunta de valor para los accionistas y la sociedad.

3. PROYECTO HIDROELECTRICO SOGAMOSO

3.1 Localización y área de influencia

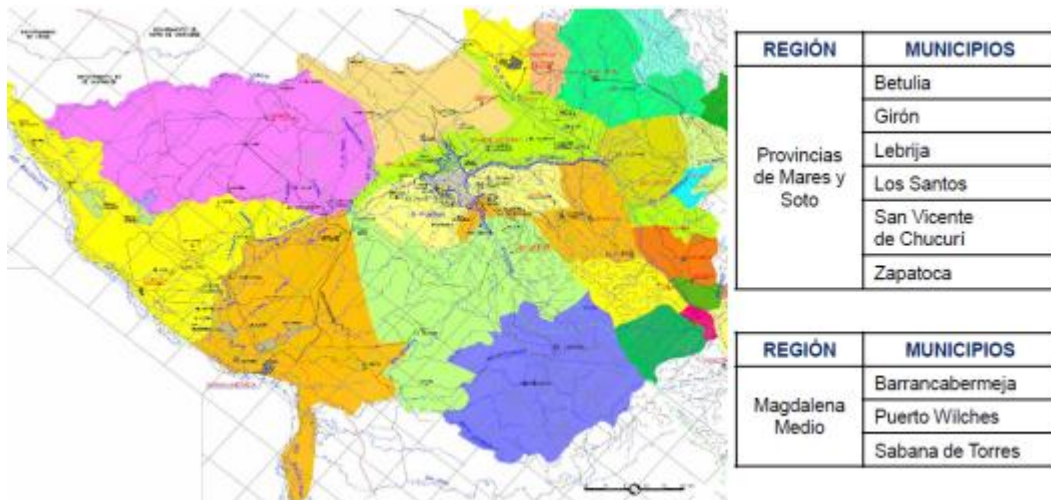
El conjunto de obras que conforman el Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso se encuentra localizado en el departamento de Santander, en el cañón donde el río Sogamoso cruza la Serranía de La Paz, 75 km aguas arriba de su desembocadura en el río Magdalena y 62 km aguas abajo de la confluencia de los ríos Suárez y Chicamocha. La presa y el embalse se localizan en jurisdicción de los municipios de Girón, Betulia, Zapatoca, Los Santos y San Vicente de Chucurí.

Figura 1. Localización del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso



Fuente: Información ISAGEN.

Figura 2. Área de influencia Regional



Fuente: Información ISAGEN.

Aparte de las obras del Proyecto, ISAGEN debe construir las obras necesarias para reponer la infraestructura que interfiere con su construcción:

- Vía Bucaramanga - Barrancabermeja, tramo comprendido entre Capitancitos y Linderos.
- Vía a San Vicente de Chucurí, en el tramo comprendido entre La Renta y La Cananá.
- Puente Gómez Ortiz sobre el río Sogamoso, en la vía al municipio de Zapatoca.
- Puente Geo Von Lenguerke sobre el río Sogamoso, en la vía que conduce al municipio de Betulia.
- Líneas de transmisión de energía, redes de fibra óptica y un tramo del poliducto Galán - Chimitá.

3.2 Descripción General

ISAGEN se encuentra ejecutando desde febrero del año 2009 la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, el objetivo consiste en aprovechar el caudal del río Sogamoso mediante la construcción de una presa de gravas con cara de concreto y la instalación de tres unidades de generación de energía ubicadas en la central subterránea.

Figura 3. Imagen Virtual del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso



Fuente: Proyecto hidroeléctrico Sogamoso, Material Audiovisual.

Aparte de la presa, las principales obras que componen el proyecto son: Las vías para acceder a los frentes de obra, incluyendo un puente provisional sobre el río Sogamoso; el sistema de desvío, conformado por dos túneles que permiten tener disponible la zona del cauce del río donde se construye la presa; el vertedero para control de crecientes durante operación; la bocatoma, que es la estructura a través de la cual se toma el agua del embalse; el sistema de carga, conformado por tres conductos y un sistema de compuertas.

La central subterránea del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso está compuesta por las cavernas de máquinas, transformadores y oscilación. El túnel de acceso a la central subterránea es la entrada principal a la caverna de máquinas y está localizado en la margen derecha del río Sogamoso. La sección del túnel es en forma de herradura, de paredes rectas y tiene un diámetro de 7,0 m y pendiente aproximada del 12%. Además, el acceso a la central subterránea estará conformado por tres galerías (N°1, N°2 Y N°3).

La caverna de máquinas tiene 142 m de longitud, 24 m de ancho y 49 m de altura y fue excavada desde su parte superior, habiendo excavado previamente las galerías de acceso. En ella se alojan 3 grupos de turbinas y generadores, contiene una estructura en concreto de 5 niveles destacándose los pisos de bombas, turbinas, equipos electromecánicos y el Nivel Principal, en el cual se encuentra el área de montajes y el Edificio de Control de 3 pisos.

En forma paralela a la casa de máquinas se excavó la caverna de transformadores, como su nombre lo indica tiene como finalidad alojar los tres transformadores de potencia de la central en forma aislada de los equipos de generación. Tiene 114 m de longitud, 14 m de ancho y 16 m de altura, y junto con la galería de cables se aprovechará, a su vez, como galería de construcción.

Para conducir el agua nuevamente al río Sogamoso, se cuenta con un sistema de almenara o caverna de oscilación en conjunto con un túnel de descarga, que funcionará a presión. La caverna de oscilación tiene sección de herradura abovedada de 20 m de base, 43 m de altura total, de los cuales, los últimos 6 m conforman la bóveda superior de la caverna, la longitud es de 100 m, de manera que el área efectiva de oscilación es de 2.000 m². Se localiza en paralelo a la caverna de máquinas, a 35 m de distancia.

Figura 4. Imagen Virtual de las cavernas de la central subterránea.



Fuente: Proyecto hidroeléctrico Sogamoso, Material Audiovisual.

Un sistema de descarga de fondo, que sirve para garantizar el caudal ecológico aguas abajo de la presa durante el llenado del embalse. A partir del momento del cierre del sistema de desvío, el embalse tardará tres meses en llenarse y llegar hasta su nivel de operación, reteniendo un total de 4.717 millones de metros cúbicos de agua y ocupando un área de 6.969 Ha de lámina de agua.

La Central Hidroeléctrica Sogamoso entrará en operación en el primer trimestre del 2014, aumentando la capacidad instalada de ISAGEN en 820 MW y su producción de energía en 5056 GW/hora/año, equivalentes a cerca del 10% del consumo de energía en Colombia.

4. ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL DESARROLLO DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL

Durante la realización de la práctica empresarial en el Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso que adelanta la empresa ISAGEN S.A realicé las siguientes actividades:

4.1 Recorridos a los sitios de obra.

El principal objetivo del equipo del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso es hacer un seguimiento a todas las actividades relacionadas con la construcción de la obra e intervenir en la toma de decisiones que sean en pro del avance del proyecto, siendo las visitas, parte fundamental del seguimiento. Básicamente estos recorridos consistían en ir a los sitios de la obra, la toma de registro fotográfico y la correspondiente información de campo con el apoyo e indicación del personal de Interventoría que se encuentra en el respectivo frente.

4.2 Apoyo en la implementación del seguimiento del proyecto en el módulo de proyectos de SAP.

ISAGEN identificó la necesidad de recibir apoyo para terminar la implementación del módulo de gestión de proyectos de SAP, con el propósito de llevar un total seguimiento a la etapa de construcción del Proyecto Sogamoso de forma centralizada en el ERP. Una de las actividades a realizar es la actualización de los datos del progreso de todas las actividades implementadas dentro del programa integrado del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso con sus respectivos avances según la fecha temprana, tardía y real en la ejecución del mismo, también se realizó la creación y actualización de los hitos correspondientes a las obras civiles y obras sustitutivas del Proyecto Sogamoso

4.3 Estudio del proceso de excavación de las cavernas de la central subterránea.

Para ISAGEN S.A es una necesidad mejorar el proceso constructivo, la planeación y los costos en las obras de sus futuros proyectos, por ello como parte de esta práctica empresarial se realizó como proyecto de grado el estudio de las excavaciones de las cavernas de la central subterránea, evaluando el impacto de los recursos utilizados (mano de obra y maquinaria) en el tiempo de ejecución de las excavaciones; adicionalmente se estudió sobre las actividades del ciclo de excavación y sobre el cambio del rendimiento ($m^3/día$) durante el proceso de la excavación en cada caverna. En el próximo capítulo se comienza con el desarrollo del proyecto de grado.

4.4 Elaboración del informe mensual del proyecto que es entregado a ISAGEN S.A.

Mensualmente se debe entregar a la gerencia de ISAGEN S.A un informe detallado sobre el avance físico que se obtuvo en cada uno de los frentes que constituyen el Proyecto Sogamoso, además se incluye la Curva S con los datos de avance en porcentaje y el presupuesto actualizado hasta la fecha.

Luego de terminado el informe del Proyecto Sogamoso este es enviado al personal de ISAGEN encargado de hacer la consolidación completa de todos los proyectos de generación que se encuentran en proceso de ejecución que adelanta la empresa ISAGEN S.A, constituyéndose en uno de los principales medios a través de los cuales reciben información de los proyectos en ejecución.

4.5 Apoyo en la elaboración de la presentación que se realiza para la junta directiva de ISAGEN S.A.

Mensualmente el grupo de profesionales del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso deben entregar una presentación sobre el avance general de la obra, que es suministrado a personal de ISAGEN, y que junto con la información de otros proyectos de generación de energía en proceso de ejecución, se crea una presentación general que es entregada a la junta directiva.

Para la elaboración de la presentación es necesaria la información suministrada en los informes diarios elaborados por interventoría, material fotográfico en donde se evidencie las actividades realizadas en el mes de estudio y que fueron fundamentales en el avance general de la obra y la asistencia a reuniones sobre el seguimiento al programa de ejecución.

5. EXCAVACIÓN EN LAS CAVERNAS DE LA CENTRAL SUBTERRÁNEA

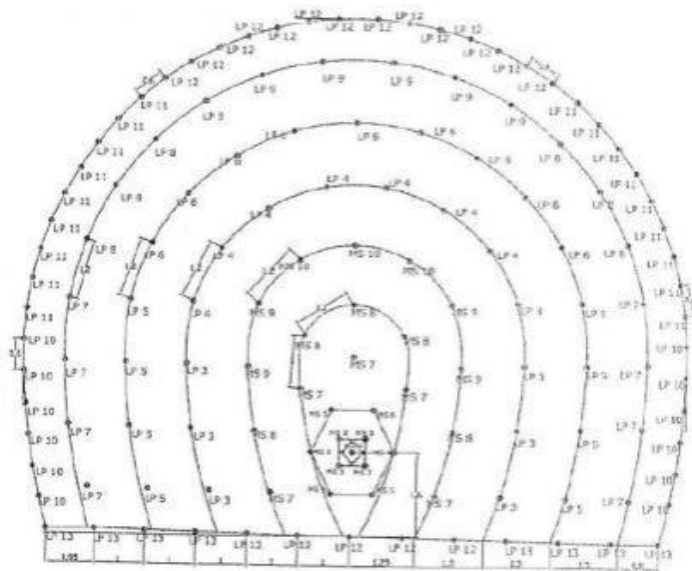
5.1 Método de excavación

La excavación de las cavernas de máquinas, oscilación y transformadores se realizó mediante el sistema convencional de perforación y voladura. Consiste principalmente en las siguientes actividades:

5.1.1 Perforación y cargue de barrenos o explosivos.

El esquema de tiro es un gráfico que muestra los procedimientos de perforación y voladura; número, localización y profundidad de los huecos; detalles de los barrenos de corte; cantidad y potencia de los explosivos por hueco y por juego de barrenos.

Figura 5. Ejemplo de un esquema de tiro

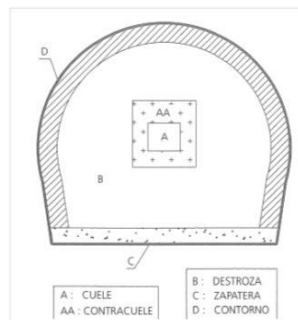


Fuente: Información ISAGEN.

Para la perforación y voladura, la sección se divide en zonas, en las que las exigencias, tanto de densidad de perforación, como de carga específica de explosivo y secuencia de encendido son distintas. Estas zonas son:

- Cuele: El cuele es la fase de la voladura que dispara en primer lugar. Su finalidad es crear una primera abertura en la roca que ofrezca al resto de las fases una superficie libre hacia la que puede escapar la roca con lo cual se posibilita y facilita su arranque.
- Destroza: La destroza es la parte central y más amplia de la voladura, cuya eficacia depende fundamentalmente del éxito de la zona del cuele y contracuele, que es la zona crítica de la voladura.
- Zapateras: La zapatera es la zona de la voladura situada en la base del frente, a ras del suelo. Los barrenos de las zapateras son los que más carga explosiva contienen ya que, aparte de romper la roca han de levantar ésta hacia arriba. Para evitar repiés, van ligeramente “pinchados” hacia abajo y son disparados en último lugar.
- Contorno: Los taladros perimetrales o de contorno son importantes pues de ellos dependerá la forma perimetral de la excavación resultante. Lo ideal es que la forma real del perímetro del túnel sea lo más parecida posible a la teórica, aunque las irregularidades y discontinuidades de la roca dificultan dicho objetivo.

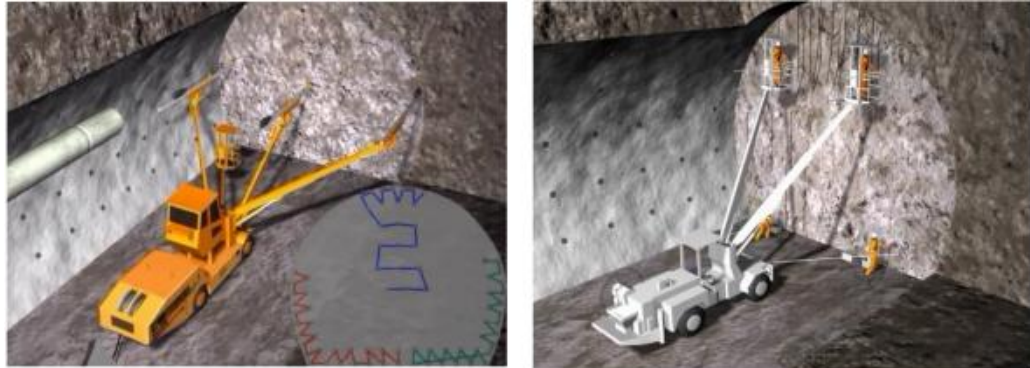
Figura 6. Zonas de la voladura



Fuente: (Julio González).

Figura 7. Perforación y cargue de barrenos

(a)



(b)



Fuente: (a) Imagen virtual extraída del Vídeo

<http://www.youtube.com/watch?v=4wWRlabkgsg&feature=related>

(b) Información de ISAGEN.

Por lo general, el equipo a utilizar en estas actividades eran el jumbo, el rockdrill y el tamrock para perforación y el elevador para la colocación de los barrenos.

El equipo de perforación debió ser tal, que la desviación de la perforación en los huecos de corte no fue mayor de 0,05 m por metro lineal de perforación en cualquier dirección y en especial de la línea de excavación.

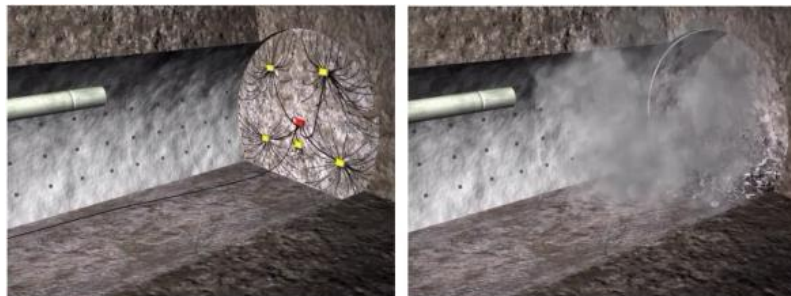
En las excavaciones subterráneas, el espaciamiento de las perforaciones de la periferia no fue mayor de 0,60 m; si las condiciones de la roca lo requirieron, este espaciamiento se redujo. La distancia entre las perforaciones de la periferia y de la primera fila para las voladuras de producción fue del orden de 1,3 veces el espaciamiento de las perforaciones de la periferia.

Se tuvo las siguientes limitaciones de carga para los huecos de la periferia: carga lineal entre 2,5 N/m (0,25 kg/m) y 3,5 N/m (0,35 kg/m) y carga máxima específica de 7,0 N/m³ (0,70 kg/m³). La carga específica se calcula dividiendo el peso del explosivo especial por barreno por el producto de multiplicar la longitud de los barrenos por la distancia entre los huecos de la periferia y por la distancia entre estos huecos y los huecos de la primera fila.

5.1.2 Retiro de equipo, voladura y ventilación

Cuando se termine la perforación y cargue de barrenos, se procede a retirar todo el equipo y personal para generar la voladura, por lo general se realizaba en los cambios de turno. Es necesario esperar un tiempo después de la voladura para que los gases generados se liberen y no afecte la salud física del personal.

Figura 8. Imagen virtual de voladura y ventilación



Fuente: Imagen virtual extraída del Vídeo
<http://www.youtube.com/watch?v=4wWRlabkgsg&feature=related>.

5.1.3 Rezaga del material generado por la voladura

La rezaga consiste en la extracción del material suelto generado por la explosión. La maquinaria a utilizar son las volquetas y el cargador.

Figura 9. Rezaga

(a)



(b)



Fuente: (a) Imagen virtual extraída del Vídeo

<http://www.youtube.com/watch?v=4wWRlabkgs&feature=related>

(b) Información de ISAGEN

5.1.4 Desabombe y rezaga de desabombe

El desabombe consiste en el retiro de la roca suelta que queda adherida al macizo. Esta actividad se realizó con martillo mecánico. Nuevamente se hace el retiro del material generado del desabombe

Figura 10. Desabombe

(a)



(b)



Fuente: (a) Imagen virtual extraída del Vídeo

<http://www.youtube.com/watch?v=4wWRlabkgs&feature=related>

(b) Información de ISAGEN.

5.2 Etapas de excavación

Dependiendo del tamaño de la sección del túnel, éste puede ser excavado en una sola etapa de avance o dividirlo en dos o más sub-secciones cuando es más grande. Por las dimensiones de las cavernas, se excavó por etapas.

Figura 11. Excavación por etapas

(a)



(b)



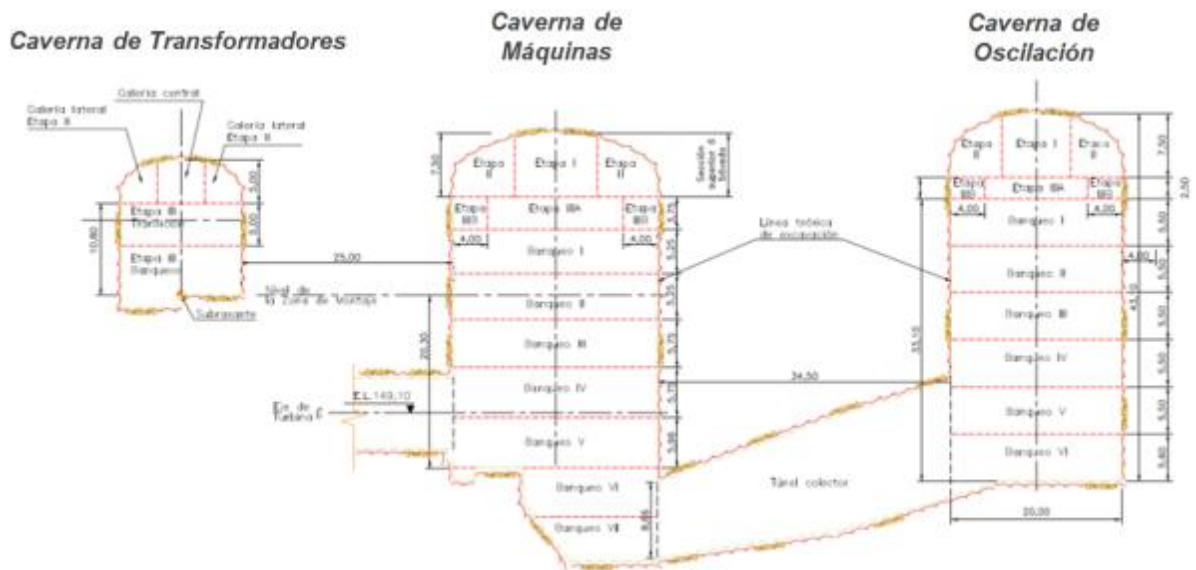
Fuente: (a) Imagen virtual extraída del Vídeo

<http://www.youtube.com/watch?v=4wWRIabkgsg&feature=related>

(b) Información de ISAGEN.

El siguiente gráfico muestra las etapas de las cavernas de máquinas, transformadores y oscilación.

Figura 12. Etapas de excavación de las cavernas de la central subterránea



Fuente: Plano E3-LT3.2-GEO-042, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños Ingetec

5.2.1 Requisitos sobre la secuencia general de excavación de la caverna de máquinas y oscilación

Se inició la ejecución de la obra excavando las etapas I y II; posteriormente se excavó la zona de transición (etapa III) y finalmente se completó la excavación del resto de la caverna (etapa IV).

No se podía proceder con la excavación para la zona de transición (etapa III) de la caverna, mientras no se hubiera completado la instalación de los drenajes en este sector. Cuando se terminó la excavación y soporte de la bóveda de la caverna, se pudo empezar con la zona de transición.

La excavación se inició con una galería central, cuyo techo coincidía con el techo del arco. El ancho de esta galería no fue mayor que la tercera parte del ancho del arco y su altura no fue mayor de 6,0m. En esta galería no se permitió avances por ciclo mayores de 3,0 m. Inmediatamente después de cada voladura, se debió proceder a retirar de la superficie excavada todos los fragmentos de roca suelta y a preparar la superficie.

Cuando se avanzó con la excavación y soporte de la galería central en una longitud mayor de 20 m, se pudo dar inicio a la excavación de la primera galería lateral para completar la excavación de uno de los lados del arco. Los avances por ciclo y el sistema de soporte de las galerías laterales fueron los mismos establecidos para la galería central. En ningún momento se permitió que la distancia entre el frente de excavación de la galería central y el frente de excavación de la primera galería lateral fuera menor de 20 m.

Cuando se avanzó con la excavación y soporte de la primera galería lateral en una distancia mayor de 15 m, se pudo dar inicio a la excavación de la segunda galería lateral. En ningún momento se permitió que la distancia entre los frentes de excavación de las dos galerías laterales fuera menor de 15 m ni mayor de 21 m.

La profundidad de banqueo en la excavación de la zona de transición no debió ser mayor de 4,0 m para la caverna de oscilación y de 5,25 m para la caverna de máquinas. La excavación de la zona de transición de la caverna se debió realizar mediante la excavación de un canal central de un ancho tal que permanezcan, entre las paredes de este canal y las paredes de la caverna, contrafuertes de roca con un espesor no menor de 4,0 m. No se permitía que la distancia entre el frente de excavación del canal central y el frente de excavación de los contrafuertes fuera mayor de 18 m. Las perforaciones perimetrales para llevar a cabo la excavación de los contrafuertes de roca fueron horizontales.

El primer banqueo por debajo de la transición debió tener una altura menor a 6,0 m y se realizó mediante la excavación de un canal central y dos contrafuertes laterales; el ancho de los contrafuertes no fue inferior a 6,0 m. La profundidad de los banqueos en la excavación del resto de la caverna no debió ser mayor de 6,0 m. Esta excavación se llevó a cabo mediante la excavación de un canal central de un ancho tal que permanezcan, entre las paredes de este canal y las paredes de la caverna, contrafuertes de roca con un espesor no menor a la profundidad de banqueo

La excavación de la caverna pudo hacerse por varios frentes pero en ningún caso pudo trabajarse en un frente dado en más de dos bancos sucesivos, ni pudo haber más de 6,0 m de diferencia vertical entre bancos, cuando se encuentren dos frentes de trabajo. En ningún momento se permitió que la distancia entre el frente del banqueo superior y el frente del banqueo inferior fuera menor de 15 m.

Para construcción de rampas de acceso entre banqueos, no se permitió que quede un bloque de roca entre esta rampa y la otra pared de la sección con un espesor menor de la altura de la sección inferior. Cuando se construyeron rampas con material de rezaga en un costado de la sección, se pudo ejecutarlas siempre y cuando estuviera instalado el soporte correspondiente a esa sección de las paredes que delimitan la rampa.

5.2.2 Requisitos sobre la secuencia general de excavación en caverna de transformadores

La excavación de la caverna de transformadores se llevó a cabo en tres etapas. En la etapa I se excavó una galería central en la sección superior y galerías laterales para completar la sección superior de la caverna. En la etapa II se ejecutó la transición con un canal central y dos galerías laterales. En la etapa III se excavó la sección inferior de la caverna.

No se podía proceder con la excavación de la sección inferior o etapa III de la caverna de transformadores, antes de que se haya completado la instalación de los drenajes en la sección superior. Cuando se utilizó una rampa de acceso, en un costado de la sección, se debió tener en cuenta que no se permitía que quede un bloque de roca entre esta rampa y la pared de la sección sin soporte con un espesor menor que la altura de la sección inferior.

La excavación de la etapa I de la caverna de transformadores se realizó con una galería central, cuyo techo coincidía con el techo del arco. El ancho de esta galería no debió ser mayor de 5,0 m y su altura no debió ser mayor a 4,0 m. Los avances por ciclo para esta galería no podían ser mayores de 3,0 m. Cuando se avanzó con la excavación y soporte de la galería central en una longitud no menor de 15 m, se inició la excavación de la primera galería lateral para completar la excavación de uno de los lados del arco. Los avances por ciclo y el sistema de soporte de las galerías laterales deberán ser los mismos establecidos para la galería central. En ningún momento se permitió que la distancia entre el frente de excavación de la galería central y el frente de excavación de la primera galería lateral fuera menor de 15 m ni mayor de 21 m.

Cuando se avanzó con la excavación y soporte de la primera galería lateral en una distancia superior a 15 m se pudo iniciar la excavación de la segunda galería lateral. En ningún momento se permitió que la distancia entre los frentes de excavación de las dos galerías laterales fuera menor de 15 m ni mayor de 21 m.

Cuando se avanzó con la excavación y soporte de la sección superior de la caverna de transformadores en una longitud no menor de 15 m se pudo iniciar la excavación de la parte inferior de la caverna. La excavación de la sección inferior se realizó en dos banqueos. En ningún momento se permitió que la distancia horizontal entre el frente de la sección superior y el frente de excavación del primer banqueo de la sección inferior fuera menor de 15 m, y que la distancia

horizontal entre los frentes de excavación del primer y segundo banqueos de la sección inferior fuera menor a 15 m.

5.2.3 Requisitos sobre la secuencia general de excavación en la central subterránea

Los siguientes son los requisitos sobre la secuencia general de las excavaciones subterráneas para la central:

- Las voladuras que se realizaron en una de las cavernas, no podían generar en las excavaciones de la otra caverna, una velocidad de partícula igual o superior a seis pulgadas por segundo.
- La excavación de la caverna de máquinas se inició primero que la caverna de transformadores y que la caverna de oscilación. Se debió mantener una distancia mínima de 20 m entre el frente de excavación de la galería central de la sección superior de la caverna de máquinas y el frente de excavación de la galería central de la sección superior de la caverna de transformadores y entre el frente de excavación de la galería central de la sección superior de la caverna de máquinas y el frente de excavación de la galería central de la sección superior de la caverna de oscilación. Se debió mantener una distancia mínima de 20 m entre el frente de excavación de la primera galería lateral de la bóveda de la caverna de máquinas y la primera galería lateral de la sección superior de la caverna de transformadores. En forma similar la distancia mínima entre frentes de galerías laterales de la bóveda para la caverna de máquinas y caverna de oscilación debió ser de 20 m. La distancia entre frentes de 20 m como mínimo de la galería central o la primera galería lateral, es igualmente válida para la excavación entre la caverna de transformadores y la caverna de oscilación.

- Se debió mantener una distancia horizontal en el sentido longitudinal mínima de 20 m entre los frentes de excavación de la segunda galería lateral del arco de la caverna de máquinas y de la segunda galería lateral de la sección superior de la caverna de transformadores y entre el frente de excavación de la segunda galería lateral de la sección superior de la caverna de oscilación. La distancia entre frentes de 20 m como mínimo de la segunda galería lateral, es igualmente válida entre la excavación de la caverna de transformadores y la caverna de oscilación.
- La excavación de la transición y sección inferior de la caverna de máquinas y de la transición o sección inferior de la caverna de transformadores o de oscilación, se llevó a cabo en el mismo sentido. No se podía iniciar la construcción de la sección inferior o de transición de la caverna de transformadores hasta que el frente de excavación de la sección transición o sección inferior de la caverna de máquinas hubiera avanzado 20 m. Esta distancia se debió mantener entre el frente de excavación de la sección transición de la caverna de máquinas y el frente de excavación de la sección inferior de la caverna de transformadores. Igualmente la restricción anterior aplica entre frentes de la transición o sección inferior de la caverna de máquinas y la caverna de oscilación. La distancia entre frentes de 20 m como mínimo de la transición o sección inferior, es igualmente válida para la excavación entre la caverna de transformadores y la caverna de oscilación.

6. SOPORTE EN LAS SUPERFICIES DE EXCAVACIÓN EN LAS CAVERNAS DE LA CENTRAL SUBTERRÁNEA

6.1 Tipo de soporte

El tipo de tratamiento se definía según la clasificación del terreno, para el caso de las cavernas de la central subterránea se definió una misma clase de soporte debido al grado de importancia de ellas en el proyecto. Una vez terminada la excavación de un sector dado, se limpiaba con agua y aire a presión las superficies excavadas y se removía de la superficie de la roca todos los fragmentos o bloques que quedaran sueltos.

El soporte para las superficies consistía principalmente en:

6.1.1 Soporte primario

- Aplicación de una capa de concreto lanzado o neumático de espesor 5 cm

Figura 13. Aplicación de la primera capa de concreto lanzado en la superficie de excavación

(a)



(b)



Fuente: (a) Imagen virtual extraída del Vídeo

<http://www.youtube.com/watch?v=4wWRlabkgsg&feature=related>

(b) Información de ISAGEN.

Para esta actividad el equipo que se utiliza es la bomba o el roboject y un elevador.

- Perforación e instalación de pernos de anclaje.

Figura 14. Perforación e instalación de pernos

(a)



(b)



Fuente: (a) Imagen virtual extraída del Vídeo

<http://www.youtube.com/watch?v=4wWRlabkgsg&feature=related>

(b) Información de ISAGEN.

Para esta actividad el equipo que se utiliza es el jumbo y el elevador.

6.1.2 Soporte secundario

- Aplicación de una segunda capa de concreto lanzado de 5 cm de espesor con una malla electrosoldada Q4

Para esta actividad el equipo que se utiliza es el elevador, la bomba o el roboject.

6.2 Dimensiones, características y distribución de los pernos de anclaje en las cavernas de la central.

El anexo 1 muestra la distribución de los pernos de anclajes en las cavernas de la central subterránea con sus respectivas dimensiones y características.

6.3 Secuencia general del soporte en las superficies de excavación de las cavernas de la central subterránea.

6.3.1 Caverna de máquinas y oscilación

La excavación del arco (etapa I y II) de la caverna se inició con una galería central, cuando se terminaba la voladura y la extracción del material se continuaba con la aplicación del soporte primario y a una distancia menor de 3,0 m del frente de excavación se colocaron los pernos correspondientes al Patrón "I". Los pernos correspondientes al Patrón "II" se colocaron a una distancia menor de 12 m del frente de excavación. Los avances por ciclo y el sistema de soporte de las galerías laterales son los mismos establecidos para la galería central.

A medida que se avanzaba con la excavación de la segunda galería lateral del arco y por consiguiente se fuera completando la excavación del arco, el soporte secundario se aplicaba a una distancia mayor de 9,0 m y menor de 15 m del frente de excavación de la segunda galería lateral del arco, y se colocó antes de los 10 días calendario de haberse excavado el arco a sección completa.

A medida que se avanzó con la remoción de los contrafuertes de roca se procedió a colocar el soporte de las paredes de la caverna en la zona de transición. En ningún caso se permitió avanzar la excavación de los contrafuertes de roca a una distancia mayor de 5,0 m de donde estuviera terminada la colocación del soporte

de las paredes en la zona de transición de la caverna. El contratista estaba obligado a instalar el soporte inmediatamente después del avance con la excavación y remoción de los contrafuertes.

En ningún caso se permitió avanzar la excavación de un banco que dejará descubiertas las paredes finales de la caverna a una distancia mayor de 6,0 m de donde estuviera terminada la colocación del soporte de las paredes de la caverna.

6.3.2 Caverna de transformadores

La excavación del arco de la caverna de transformadores se realizó con una galería central o etapa I, inmediatamente después de cada voladura se procedía a retirar de la superficie excavada todos los fragmentos de roca suelta y a preparar la superficie de roca. A continuación se aplicaba el soporte primario a una distancia menor de 3,0 m del frente de excavación, se colocaron los pernos correspondientes al patrón "I" de pernos y la instrumentación. A no más de cuatro avances del frente de excavación se instalaron los pernos correspondientes al patrón "II. Los avances por ciclo y el sistema de soporte de las galerías laterales fueron los mismos establecidos para la galería central.

A medida que se avanzaba con la excavación de la segunda galería lateral de la sección superior se colocaba el soporte secundario. Esta segunda capa de concreto lanzado se aplicó a una distancia mayor de 9,0 m y menor de 15 m del frente de excavación de la segunda galería lateral del arco y se colocó antes de cumplir los 10 días calendario de haberse terminado el arco a sección completa.

A una distancia no mayor de 5,0 m del frente de excavación de la sección inferior de la caverna de transformadores, se completó la instalación del soporte primario y secundario.

7. ANÁLISIS DE LAS EXCAVACIONES DE LAS CAVERNAS DE LA CENTRAL SUBTERRÁNEA.

7.1 Recopilación de la información

El registro de todas las actividades pertenecientes al ciclo de excavación y tratamiento en la superficies fue realizado por la interventoría INTEGRAL – VQ INGENIERÍA mediante informes hechos por cada turno realizado. Cabe destacar que durante las excavaciones de las cavernas de la central subterránea se trabajó doble turno (diurno y nocturno) con una duración de 12 hrs, de 7:00 am a 19:00 pm y de 19:00 pm a 7:00 am. En el anexo 2 se muestra un ejemplo del formato general de los informes.

En el numeral 5.2 Etapas de excavación, se explicó de forma detallada la forma en que se excavaron las cavernas, es por ello que por cada turno, diurno o nocturno, se tenían como mínimo 3 informes, el del canal central y los dos de los contrafuertes derecho e izquierdo.

De los informes se obtuvieron los siguientes datos:

- Volumen excavado por turno y por contrafuerte.
- Duración de las actividades que hacen parte del ciclo de excavación y tratamiento superficial.
- Equipos utilizados y número de horas trabajadas.
- Personal utilizado.

7.2 Caverna de máquinas

7.2.1 Cálculo del rendimiento del volumen excavado

En el anexo 3 se muestra la forma en que se organizó la información de los volúmenes excavados diariamente.

Con esos datos se realizó la gráfica del anexo 4, en la que se muestra el porcentaje del volumen excavado acumulado Vs el tiempo de duración de la excavación.

Para entender, definir y analizar las diferentes etapas de la excavación se dividió en partes la gráfica del anexo 5, (diferentes a las del numeral 5.2 Etapas de excavación) se realizó de acuerdo a la tendencia de los datos. Después se calculó el rendimiento, que sería la pendiente de la regresión lineal realizada y se extrajo las fechas de iniciación y finalización de cada una de las etapas, con esos datos, se consultó en los informes diarios en que parte de la excavación se estaba.

Las etapas creadas según la gráfica de avance acumulado son las siguientes:

- **Etapas I** (Corresponde a la bóveda y a la zona de transición)

Inicio: 07/05/2010 84 días
Finaliza: 30/07/2010 2,8 meses

$$249,76 \text{ [m}^3\text{/día]} = 0,23 \text{ [%/día]}$$

- **Inactividad** (Tratamiento secundario en la bóveda, calafateo de pernos)

Inicio: 30/07/2010 8 días
Finaliza: 07/08/2010

- **Etapas II** (Corresponde a los banqueos hasta la zona de montajes)

Inicio: 07/08/2010 136 días
Finaliza: 21/12/2010 4,5 meses

$$355,024 \text{ [m}^3\text{/día]} = 0,33 \text{ [%/día]}$$

- **Inactividad** (Inactivo por Diciembre)

Inicio: 21/12/2010 15 días
Finaliza: 05/01/2011

- **Etapas III** (Excavación de la Zona de unidades)

Inicio: 05/01/2011 140 días
Finaliza: 25/05/2011 4,6 meses

$$239,7 \text{ [m}^3\text{/día]} = 0,22 \text{ [%/día]}$$

- **Etapas IV** (Excavación de los fosos y del tanque de sentina)

Inicio: 25/05/2011 64 días
Finaliza: 28/07/2011 2,1 meses

$$76,48 \text{ [m}^3\text{/día]} = 0,0723 \text{ [%/día]}$$

Según la información mostrada anteriormente y las gráficas de los anexos 4 y 5 se puede sacar las siguientes conclusiones:

- El rendimiento más alto se presentó en la Etapa II, por la presión que se tenía con las fechas de programación y la necesidad de excavar las galerías de barras y el túnel de interconexión.

- El rendimiento en la Etapa IV es muy bajo con respecto a los otros porque en esa fase era prioridad la excavación de los túneles inferiores de carga, además los volúmenes a extraer eran pequeños.
- El rendimiento tiene forma de S, con rendimientos medio-alto-medio-bajo, este comportamiento se presenta en la mayoría de obras civiles.
- La etapa de mayor duración fue la III, debido a que corresponden a los banqueos y ocupa la mayor parte del volumen de la caverna.
- Cuando se le dice a una etapa inactiva se refiere a que no hubo avance, eso no quiere decir que no se estuviera haciendo algún tipo de actividad.

Con el fin de hacer un análisis que sirva para la ejecución de próximos proyectos se realizó la gráfica del anexo 6, se calculó el % de rendimiento diario (% del volumen total de la caverna que se excava diariamente). Con esos datos se hizo el histograma del anexo 7.

Para hacer el histograma del anexo 7 solo se tuvo en cuenta los días en donde hubo avance, cuando se dice que hay avance es cuando ocurrió voladura. Es normal que existan días sin avance por lo que para generar la voladura es necesario algunos preparativos y realizar el soporte de la superficie excavada anteriormente. La media es 0.31% con una desviación estándar de 0.2%, quiere decir que el rango de valores normales en donde debe estar el porcentaje de rendimiento diario está entre 0.1% y 0.5%. La desviación estándar es muy alta debido a los requisitos sobre la secuencia general de las excavaciones de la central subterránea (numerales 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3 y 6.3) y por las diferentes condiciones y necesidades que se presentaron en cada etapa de la excavación. El Q1 es el percentil 1, el 25% de los datos está por debajo de 0.17%, la mediana es el percentil 2, el 50% de los datos está por debajo de 0.26% y el percentil 3, el 75% de los datos está por debajo de 0.41%.

En el anexo 8 se muestra la gráfica del volumen excavado acumulado por frentes en la que se puede observar claramente que el contrafuerte central obtuvo un rendimiento de 112.2 [m³/día], mayor que los otros dos contrafuertes; la razón es porque en el central solo era necesario el tratamiento superficial en las culatas (superficies perpendiculares al piso de la caverna) y en la bóveda, permitiendo un avance más rápido. El rendimiento en los contrafuertes derecho e izquierdo fue muy similar, 87.38 [m³/día] y 88.4 [m³/día] respectivamente, esto se debe a que tienen condiciones muy parecidas.

7.2.2 Actividades del ciclo de excavación

Las actividades del ciclo de excavación son las nombradas en el numeral 5.1.1, 5.1.2, 5.1.3 y 5.1.4. En este análisis no se tuvo en cuentas las actividades relacionadas en el tratamiento o soporte de las superficies de excavación. En el anexo 9 se muestra la forma como se ordenaron los datos en una hoja de Excel.

En la gráfica del anexo 10 se muestra el porcentaje que tiene cada actividad con respecto a la duración de las actividades mencionadas, y no con el tiempo de excavación de la caverna de máquinas. En la gráfica del anexo 11 se muestra el porcentaje de cada actividad y para cada contrafuerte, las tortas presentan un comportamiento muy parecido. El desabombe en el contrafuerte derecho e izquierdo es del 11%, mientras que en el central es del 5%, esta diferencia es porque en el central las superficies laterales representaban los otros contrafuertes, en los que no era necesario limpiar el área.

Según las gráficas de los anexos 10 y 11, las actividades de mayor participación son las de perforación y rezaga, es por ello que se analizaron de forma independiente (anexo 12).

La media de la perforación en el canal central es de 5.11 [hrs/día], para el derecho de 3.4 [hrs/día] y para el izquierdo de 3.7 [hrs/día], el tiempo de perforación es mayor en el central por que se utilizó equipo de perforación vertical (Rockdrill,Tamrock), que tiene menor rendimiento que los jumbos usados en el contrafuerte derecho e izquierdo. La desviación en el tiempo de perforación para el canal central fue de 3.4 [hrs/día], de 2.5 [hrs/día] y de 2.9 [hrs/día] para el canal derecho e izquierdo respectivamente, el rango de valores aceptables para el contrafuerte central está entre 1.7 y 8.5 [hrs/día], en el derecho entre 0.9 y 5.9 [hrs/día] y en el izquierdo entre 0.8 y 6.6 [hrs/día].

En el anexo 13 se muestra los tiempos de rezaga en los tres contrafuertes, el comportamiento mostrado en la perforación es similar a la rezaga, siendo el central, el canal con los mayores tiempos de duración en sus actividades. El volumen excavado en el central es mayor que los laterales. En la rezaga, la media en el canal central es de 4.2 [hrs/día], para el derecho 3.7 [hrs/día] y para el izquierdo 3.6 hrs, con unas desviaciones estándar de 3.1 [hrs/día], 2.7 [hrs/día] y 2.4 [hrs/día] respectivamente. El rango de valores aceptables para el contrafuerte central está entre 1.7 y 8.5 [hrs/día], en el derecho entre 0.9 y 5.9 [hrs/día] y en el izquierdo entre 0.8 y 6.6 [hrs/día].

7.2.3 Maquinaria utilizada durante las excavaciones.

Para efecto de conocer y evaluar el impacto que tiene el equipo utilizado en el avance, se contabilizaron las horas trabajadas por cada maquinaria, en el anexo 14 se muestra la forma en que se organizó en una hoja de Excel.

En la gráfica del anexo 15 se puede evidenciar cuales son las máquinas que tienen mayor influencia en el avance. Los equipos de mayor participación, es decir los que requirieron más horas de trabajo para obtener un determinado volumen de excavación son el jumbo, las volquetas y el elevador. Es importante tener en

cuenta que el tiempo en las ordenadas de la gráfica del anexo 15 no corresponde al tiempo cronológico si no a las horas acumuladas.

Para obtener un mejor análisis sobre la relación que existe entre el avance y la maquinaria, se graficó el avance presentado Vs el equipo (horas trabajadas) para cada máquina utilizada (solo se tuvo en cuenta los equipos que influyeron de forma directa en el avance). En el anexo 16 se encuentran las gráficas mencionadas anteriormente, se dividieron (líneas verticales) según las etapas de excavación creadas en el numeral 7.2.1 y no las definidas en la figura 11. Esto se realizó con el fin de conectar o unir toda la información, sabiendo que si el rendimiento cambió durante la excavación de la caverna es porque los recursos utilizados también lo hicieron.

El objetivo es calcular los equipos y horas de trabajo necesarias para obtener 1 m³ de material excavado por cada etapa de excavación (creadas según la gráfica de avance del numeral 7.2.1), esto se realizó mediante la implementación de una regresión lineal por cada tramo, la pendiente de esa línea representa una medida de la rapidez o tasa de cambio de la variable “volumen excavado acumulado” cuando cambia “horas acumuladas trabajadas del equipo”, en otras palabras esa pendiente me da el número de horas necesarias para obtener un determinado volumen de excavación.

7.2.4 Personal utilizado durante las excavaciones.

En el anexo 17 se encuentra un pantallazo de la hoja de cálculo en donde se registró el número de personas utilizadas durante la excavación con su respectivo cargo.

En la gráfica del anexo 18 se muestra el volumen excavado acumulado Vs el personal utilizado acumulado, así mismo como se hizo en máquinas, de separar las gráficas con respecto a las etapas encontradas en la gráfica de avance para analizar como fue el comportamiento de la variable estudiada con respecto al volumen excavado, también se realizó con el personal. En cada etapa se realizó una regresión lineal, siendo la pendiente muy útil en el cálculo del número de personas necesarias para obtener un determinado volumen de excavación.

Durante las excavaciones se necesitaron personal con diferentes tipos de cargo, como lo son un ingeniero, un asistente, un capataz, un machinero o perforista, un operador, un electricista, un mecánico etc. Por tal motivo, se calculó del total de personas que se requirieron para las excavaciones, el porcentaje que se necesitó para cada cargo. La gráfica del anexo 19 muestra lo mencionado anteriormente.

Es interesante ver que tanto los gráficos de equipos y los del personal muestran un comportamiento muy similar al del avance (rendimiento de excavación), una pendiente media, alta, media y baja.

7.2.5 Consolidación de la información perteneciente a la excavación de caverna de máquinas.

El objetivo principal de este trabajo es conocer la cantidad de recursos necesaria que obtener un determinado volumen de excavación, lo anterior se realizó para cada etapa de excavación porque cada una tiene diferentes condiciones.

El anexo 20 se muestran unas tablas en donde se resume el tipo de equipo y la duración (de cada uno) que fueron necesarias para obtener el rendimiento de la etapa, el R2 es una medida de la bondad del ajuste del modelo lineal, entre más cercano sea ese valor a 1, mejor es la relación. Con el personal se realizó el

mismo procedimiento, se calculó el número de personas necesarias para obtener el rendimiento de cada etapa y el porcentaje que se necesitó de cada cargo. Cabe enunciar que el cálculo de los recursos necesarios para determinado rendimiento se hizo con base en la información encontrada en los informes diarios de interventoría, es decir teniendo en cuenta la forma en que se manejaron los recursos durante las excavaciones.

Algunas conclusiones que se pueden hacer del análisis anterior son las siguientes:

- La etapa de mayor rendimiento fue la correspondiente a la zona de transición hasta la zona de montajes (etapa II), después la zona de la bóveda hasta la transición (etapa I), sigue la zona de las unidades (etapa III) y por último la zona de los fosos y del tanque de sentina.
- Es racional pensar que si el rendimiento aumenta entonces los recursos también lo hacen en la misma proporción, a continuación se muestra un cuadro del equipo utilizado con la etapa en donde se requirió mayor número de horas.

Figura 15. Etapas con mayor participación de los equipos de excavación en caverna de máquinas.

Equipos	Máximo # de horas invertidas en una etapa	Etapa en donde ocurrió el máximo
Jumbo	12,29	Etapa I
Perforadora	10,76	Etapa III
Retromartillo	2,98	Etapa III
Bomba	5,17	Etapa I
Volquetas	6,67	Etapa III
Elevador	10,14	Etapa II
Cargador	5,52	Etapa I
Retroexcavadora	6,67	Etapa III

Fuente: Autor

- Podemos ver que la etapa en donde se requirió mayor número de horas trabajadas por parte del equipo fue la etapa III, que es la penúltima en cuanto al mejor rendimiento. Se puede inferir que en la etapa III no hubo un buen manejo de recursos debido a la excavación de la galería de barras. Por el contrario en la etapa II que obtuvo el mayor rendimiento durante las excavaciones, logró una buena optimización de los recursos.
- A partir de la Etapa II se implementó el uso de perforadoras tipo rockdrill, tamrock y atlas copco, una de las razones fue porque los jumbos utilizados presentaban deficiencias grandes que impedían un rendimiento más rápido.

7.3 Caverna de transformadores

7.3.1 Cálculo del rendimiento del volumen excavado

Con la información de los volúmenes excavados diariamente en caverna de transformadores se realizó la gráfica del anexo 21, esta se hizo con el porcentaje del volumen excavado acumulado Vs el tiempo de duración de la excavación.

Para entender, definir y analizar las diferentes etapas de la excavación se dividió en partes la gráfica del anexo 22, (diferentes a las del numeral 5.2 Etapas de excavación) se realizó de acuerdo a la tendencia de los datos. Después se calculó el rendimiento, que sería la pendiente de la regresión lineal realizada y se extrajo las fechas de iniciación y finalización de cada una de las etapas, con esos datos, se consultó en los informes diarios en que parte de la excavación se estaba.

Las etapas creadas según la gráfica de avance acumulado son las siguientes:

- **Etapa I** (Bóveda)

Inicio: 23/05/2010

61 días

Finaliza: 22/07/2010 2,03 meses

$$133,39 \text{ [m}^3\text{/día]} = 0,67 \text{ [%/día]}$$

- **Inactividad 1** (Tratamiento secundario en la bóveda por desprendimiento)

Inicio: 22/07/2010 12 días

Finaliza: 03/08/2010

- **Etapas II** (Zona de transición)

Inicio: 03/08/2010 14 días

Finaliza: 16/08/2010

$$96 \text{ [m}^3\text{/día]} = 0,48 \text{ [%/día]}$$

- **Inactividad 2** (Inactivo por terminación z. transición y falta de tratamiento)

Inicio: 16/08/2010 14 días

Finaliza: 29/08/2010

- **Etapas III** (Etapa III Banqueos)

Inicio: 29/08/2010 64 días

Finaliza: 31/10/2010 2,13 meses

$$111,04 \text{ [m}^3\text{/día]} = 0,56 \text{ [%/día]}$$

- **Etapas IV** (Etapa III Banqueos – Instalación pernos de 10m de longitud)

Inicio: 31/10/2010 29 días

Finaliza: 28/11/2010

$$39,57 \text{ [m}^3\text{/día]} = 0,2 \text{ [%/día]}$$

- **Etapa V** (Etapa III Banqueos)

Inicio: 28/11/2010 24 días

Finaliza: 21/12/2010

$$103,26 \text{ [m}^3\text{/día]} = 0,52 \text{ [%/día]}$$

Según la información mostrada anteriormente se puede sacar las siguientes conclusiones:

- El rendimiento más alto se presentó en la Etapa I.
- El rendimiento en la Etapa II es bajo debido a que el canal central se encontraba inactivo por estar esperando a que los otros dos contrafuertes se adelantaran, además por estar en la bóveda los volúmenes extraídos eran pequeños.
- El rendimiento en la Etapa IV fue el menor durante la excavación de caverna de transformadores por la instalación de unos pernos adicionales de 10m de longitud. Es notorio el impacto que generó la instalación de los pernos en el rendimiento.
- Cuando se le dice a una etapa inactiva se refiere a que no hubo avance, eso no quiere decir que no se estuviera haciendo actividades.

Con el fin de hacer un análisis que sirva para la ejecución de próximos proyectos, se calculó el porcentaje de rendimiento diario (% del volumen total de la caverna que se excava diariamente), la gráfica anterior se encuentra en el anexo 23. Con esos datos se calculó el histograma del anexo 2

Para hacer el histograma del anexo 24 solo se tuvo en cuenta los días en donde hubo avance, cuando se dice que hay avance es cuando ocurrió voladura. Es normal que existan días sin avance por lo que para generar la voladura es necesario algunos preparativos y realizar el soporte de la superficie excavada anteriormente. La media es 0.72% con una desviación estándar de 0.4%, quiere decir que el rango de valores normales en donde debe estar el porcentaje de rendimiento diario está entre 0.3% y 1.11%. La desviación estándar es muy alta debido a los requisitos sobre la secuencia general de las excavaciones de la central subterránea (numerales 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3 y 6.3) y por las diferentes condiciones y necesidades que se presentaron en cada etapa de la excavación. El Q1 es el percentil 1, el 25% de los datos está por debajo de 0.4%, la mediana es el percentil 2, el 50% de los datos está por debajo de 0.63% y el percentil 3, el 75% de los datos está por debajo de 0.9%.

En el anexo 25 se encuentra la gráfica del volumen excavado acumulado que hubo por frentes. Se puede observar que el contrafuerte central obtuvo un rendimiento de 39.97 [m³/día], mayor que los otros dos contrafuertes; la razón es porque en el central solo era necesario el tratamiento superficial en las culatas (superficies perpendiculares al piso de la caverna) y en la bóveda, permitiendo un avance más rápido. El rendimiento en los contrafuertes derecho e izquierdo fue muy similar, 29.04 [m³/día] y 24.52 [m³/día] respectivamente, esto se debe a que tienen condiciones muy parecidas. En el central hay una inactividad significativa, esta se generó por la espera de los otros dos contrafuertes para poder avanzar al siguiente nivel y por qué hubo un desprendimiento de rocas en la parte superior, lo que hizo aumentar la inactividad.

7.3.2 Actividades del ciclo de excavación

Las actividades del ciclo de excavación son las nombradas en el numeral 5.1.1, 5.1.2, 5.1.3 y 5.1.4. En este análisis ya se tuvo en cuentas las actividades relacionadas en el tratamiento o soporte de las superficies de excavación.

En la gráfica del anexo 26 se muestra el porcentaje que tiene cada actividad con respecto a la duración de las actividades mencionadas, y no con el tiempo de excavación de la caverna de transformadores. En la gráfica del anexo 27 se muestra el porcentaje de cada actividad y para cada contrafuerte, las tortas del contrafuerte derecho e izquierdo presentan un comportamiento muy parecido; en donde los pernos, la perforación y la rezaga son las actividades de mayor influencia, mientras que en el central lo son la rezaga y la perforación. En el central solo eran necesarios los pernos en las culatas y en la bóveda, por eso el porcentaje disminuye.

Según las gráficas de los anexos 26 y 27, las actividades de mayor participación son las de perforación, rezaga y pernos, es por ello que se analizaron de forma independiente.

Los histogramas de frecuencias y las gráficas del tiempo de perforación Vs tiempo cronológico para cada contrafuerte están en el anexo 28. La media de la perforación en el canal central es de 4.01 [hrs/día], para el derecho de 2.35 [hrs/día] y para el izquierdo de 2.26 [hrs/día], el tiempo de perforación es mayor en el central por que se utilizó equipo de perforación vertical (Rockdrill, Tamrock), que tiene menor rendimiento que los jumbos usados en el contrafuerte derecho e izquierdo. La desviación en el tiempo de perforación para el canal central fue de 2.96 [hrs/día], de 1.99 [hrs/día] y de 2.05 [hrs/día] para el canal derecho e izquierdo respectivamente, el rango de valores aceptables para el contrafuerte

central está entre 1.05 y 6.97 [hrs/día], en el derecho entre 0.36 y 4.34 [hrs/día] y en el izquierdo entre 0.21 y 4.31 [hrs/día].

En la gráfica del anexo 29 se muestra los tiempos de rezaga en los tres contrafuertes, el comportamiento mostrado en la perforación es similar a la rezaga, siendo el central, el canal con los mayores tiempos de duración en sus actividades. El volumen excavado en el central es mayor que los laterales. En la rezaga, la media en el canal central es de 3.68 [hrs/día], para el derecho 2.47 [hrs/día] y para el izquierdo 2.09 hrs, con unas desviaciones estándar de 2.94 [hrs/día], 1.36 [hrs/día] y 1.68 [hrs/día] respectivamente. El rango de valores aceptables para el contrafuerte central está entre 0.74 y 6.62 [hrs/día], en el derecho entre 1.11 y 3.83 [hrs/día] y en el izquierdo entre 0.41 y 3.7 [hrs/día].

En la gráfica del anexo 30 se muestra los tiempos de pernos en los contrafuertes derecho e izquierdo. La media en el canal derecho es de 3.57 [hrs/día] y para el izquierdo 3.73 [hrs/día], con unas desviaciones estándar de 3.04 [hrs/día] y 3.26 [hrs/día] respectivamente. El rango de valores aceptables para el contrafuerte derecho está entre 0.53 y 6.61 [hrs/día] y para el izquierdo entre 0.47 y 6.99 [hrs/día].

7.3.3 Maquinaria utilizada durante las excavaciones.

Para efecto de conocer y evaluar el impacto que tiene el equipo utilizado en el avance, se contabilizaron las horas trabajadas por cada maquinaria. En la gráfica del anexo 31 se puede evidenciar cuales son las máquinas que tienen mayor influencia en el avance. Los equipos de mayor participación, es decir los que requirieron más horas de trabajo para obtener un determinado volumen de excavación son el jumbo, las volquetas y el elevador. Es importante tener en cuenta que el tiempo en las ordenadas de la gráfica del anexo 31 no corresponde al tiempo cronológico si no a las horas acumuladas

Para obtener un mejor análisis sobre la relación que existe entre el avance y la maquinaria, se graficó el avance presentado Vs el equipo (horas trabajadas) para cada máquina utilizada.

En las gráficas del anexo 32 están cada uno de los equipos que influyeron de forma directa en el avance. Se dividieron (líneas verticales) según las etapas de excavación creadas en el numeral 7.2.1 y no las definidas en la figura 11. Esto se realizó con el fin de conectar o unir toda la información, sabiendo que si el rendimiento cambió durante la excavación de la caverna es porque los recursos utilizados también lo hicieron.

El objetivo es calcular los equipos y horas de trabajo necesarias para obtener 1 m^3 de material excavado por cada etapa de excavación (creadas según la gráfica de avance del numeral 7.2.1), esto se realizó mediante la implementación de una regresión lineal por cada tramo, la pendiente de esa línea representa una medida de la rapidez o tasa de cambio de la variable “volumen excavado acumulado” cuando cambia “horas acumuladas trabajadas del equipo”, en otras palabras esa pendiente me da el número de horas necesarias para obtener un determinado volumen de excavación.

7.3.4 Personal utilizado durante las excavaciones.

En la gráfica del anexo 33 se muestra el volumen excavado acumulado Vs el personal utilizado acumulado, así mismo como se hizo en máquinas, de separar las gráficas con respecto a las etapas encontradas en la gráfica de avance para analizar como fue el comportamiento de la variable estudiada con respecto al volumen excavado, de igual manera se realizó con el personal. En cada etapa se realizó una regresión lineal, siendo la pendiente muy útil en el cálculo del número de personas necesarias para obtener un determinado volumen de excavación

Durante las excavaciones se necesitaron personal con diferentes tipos de cargo, como lo son un ingeniero, un asistente, un capataz, un machinero o perforista, un operador, un electricista, un mecánico etc. Por tal motivo, se calculó del total de personas que se requirieron para las excavaciones, el porcentaje que se necesitó para cada cargo. En la gráfica del anexo 34 se muestra lo mencionado anteriormente, se puede observar que la mayoría de personas que trabajaron durante las excavaciones pertenecían a los cargos de machinero o perforista, ayudantes y operadores.

7.3.5 Consolidación de la información perteneciente a la excavación de caverna de transformadores.

El objetivo principal de este trabajo es conocer la cantidad de recursos necesarios que obtener un determinado volumen de excavación, lo anterior se realizó para cada etapa de excavación porque cada una tiene diferentes condiciones.

En el anexo 35 se muestran unas tablas en donde se resume el tipo de equipo y la duración (de cada uno) que fueron necesarias para obtener el rendimiento de la etapa, el R2 es una medida de la bondad del ajuste del modelo lineal, entre más cercano sea ese valor a 1, mejor es la relación. Con el personal se realizó el mismo procedimiento, se calculó el número de personas necesarias para obtener el rendimiento de cada etapa y el porcentaje que se necesitó de cada cargo. Cabe enunciar que el cálculo de los recursos necesarios para determinado rendimiento se hizo con base en la información encontrada en los informes diarios de interventoría, es decir teniendo en cuenta la forma en que se manejaron los recursos durante las excavaciones.

Algunas conclusiones que se pueden hacer del análisis anterior son las siguientes:

- La etapa de mayor rendimiento fue la correspondiente a la zona de la bóveda (etapa I), después la zona de los banqueos hasta los pernos de 10 m de longitud (etapa III), sigue la zona del final, llegando al nivel del piso de la caverna (etapa V) y por último la zona de transición (etapa II).
- A pesar de que la etapa II tuvo un bajo rendimiento, el número de horas de trabajo requeridas por parte de los equipos fue significativamente alta, eso se debe a que en esa parte de la excavación se estaba enfocado en el tratamiento secundario y no en la voladura.
- A pesar de que la etapa III no fue la de mayor rendimiento, obtuvo el mayor número de horas de trabajo por parte de los equipos. Eso indica que en la etapa I (en donde ocurrió el mejor rendimiento) hubo mejor manejo de los recursos que en la III

Figura 16. Etapas con mayor participación de los equipos de excavación en caverna de transformadores.

Equipo	Máximo # de horas invertidas en una etapa	Etapa en donde ocurrió el máximo
Jumbo	8,93	Etapa III
Bomba	5,28	Etapa III
Volquetas	5,09	Etapa II
Elevador	8,02	Etapa III
Cargador	5,09	Etapa III
Perforadora	2,40	Etapa IV
Retroexcavadora	2,54	Etapa III
Retromartillo	1,14	Etapa III

Fuente: Autor.

- En la etapa IV se estaba en la instalación de pernos adicionales de 10 de longitud, por ello es la etapa en donde más se necesitó de la perforadora.

- A partir de la Etapa III se implementó el uso de perforadoras tipo rockdrill, tamrock y atlas copco, una de las razones fue porque los jumbos utilizados presentaban deficiencias grandes que impedían un rendimiento más rápido.
- En general los R2 no fueron tan buenos como en caverna de máquinas, eso es debido a que había deficiencia de información en varios informes y cuando las etapas tienen poca duración y por lo tanto pocos datos, no hay un buen ajuste

7.4 Caverna de oscilación

7.4.1 Cálculo del rendimiento del volumen excavado

La gráfica del anexo 36 se realizó con el porcentaje del volumen excavado acumulado Vs el tiempo de duración de la excavación. Es interesante ver que durante la excavación el rendimiento trato de mantenerse constante, es decir los datos se ajustaron muy bien a una línea con pendiente 0.26, quiere decir que en promedio por día se excavó 0.26% del volumen total de la caverna.

Para entender, definir y analizar las diferentes etapas de la excavación se dividió en partes la gráfica del anexo 37, (diferentes a las del numeral 5.2 Etapas de excavación) se realizó de acuerdo a la tendencia de los datos. Después se calculó el rendimiento, que sería la pendiente de la regresión lineal realizada y se extrajo las fechas de iniciación y finalización de cada una de las etapas, con esos datos, se consultó en los informes diarios en que parte de la excavación se estaba. Las etapas creadas según la gráfica de avance acumulado son las siguientes:

- **Etapa I** (Ensanche)

Inicio: 01/06/2010	42 días
Finaliza: 12/07/2010	1,4 meses

$$76,81 \text{ [m}^3\text{/día]} = 0,1159 \text{ [%/día]}$$

Todas las excavaciones de las cavernas se iniciaron desde una galería de construcción en la parte superior, normalmente esa galería se encuentra en la parte central, pero en oscilación esta se localiza en la parte izquierda de la caverna, por ello fue necesario realizar un ensanche; es decir una ampliación del contrafuerte derecho e izquierdo para poder comenzar con la excavación de la caverna desde el central.

- **Etapa II** (Desde el ensanche en la bóveda hasta el segundo banqueo)

Inicio: 12/07/2010 164 días

Finaliza: 23/12/2010 5.46 meses

$$198,49 \text{ [m}^3\text{/día]} = 0,299 \text{ [%/día]}$$

- **Inactividad 1** (Inactivo por Diciembre)

Inicio: 23/12/2010 12 días

Finaliza: 03/01/2011

- **Etapa III** (Banqueos)

Inicio: 03/01/2011 17 días

Finaliza: 19/01/2011

$$145,144 \text{ [m}^3\text{/día]} = 0,219 \text{ [%/día]}$$

- **Inactividad 2** (Construcción de una plataforma para acceder a la bóveda y realizar tratamiento secundario por el fisuramiento de la superficie)

Inicio: 19/01/2011 24 días

Finaliza: 11/02/2011

- **Etapa IV** (Últimos Banqueos)

Inicio: 11/02/2011 130 días

Finaliza: 21/06/2011 4,33 meses

$$231 \text{ [m}^3\text{/día]} = 0,349 \text{ [%/día]}$$

Según la información mostrada anteriormente se puede sacar las siguientes conclusiones:

- El rendimiento más alto se presentó en los últimos banqueos (etapa IV).
- Cuando se le dice a una etapa inactiva se refiere a que no hubo avance, eso no quiere decir que no se estuviera haciendo actividades.
- En la inactividad 2 se estaba realizando la construcción de una plataforma para poder acceder a la superficie de la bóveda e instalar pernos adicionales por el fisuramiento del tratamiento. Por ello esta fase no se cuenta dentro de las etapas del rendimiento de la caverna.

Con el fin de hacer un análisis que sirva para la ejecución de próximos proyectos, se calculó el porcentaje de rendimiento diario (porcentaje del volumen total de la caverna que se excava diariamente), la gráfica de la que se habla anteriormente se encuentra en el anexo 38. Con esos datos se calculó el histograma del anexo 39.

Para hacer el histograma del anexo 39 solo se tuvo en cuenta los días en donde hubo avance, cuando se dice que hay avance es cuando ocurrió voladura. Es normal que existan días sin avance por lo que para generar la voladura es

necesario algunos preparativos y realizar el soporte de la superficie excavada anteriormente. La media es 0.42% con una desviación estándar de 0.257%, quiere decir que el rango de valores normales en donde debe estar el porcentaje de rendimiento diario está entre 0.163% y 0.677%. La desviación estándar es muy alta debido a los requisitos sobre la secuencia general de las excavaciones de la central subterránea (numerales 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3 y 6.3) y por las diferentes condiciones y necesidades que se presentaron en cada etapa de la excavación. El Q1 es el percentil 1, el 25% de los datos está por debajo de 0.225%, la mediana es el percentil 2, el 50% de los datos está por debajo de 0.33% y el percentil 3, el 75% de los datos está por debajo de 0.49%.

En la gráfica del anexo 40 se puede observar que el contrafuerte central obtuvo un rendimiento de 67.32 [m³/día], mayor que los otros dos contrafuertes; la razón es porque en el central solo era necesario el tratamiento superficial en las culatas (superficies perpendiculares al piso de la caverna) y en la bóveda, permitiendo un avance más rápido. El rendimiento en los contrafuertes derecho e izquierdo fue muy similar, 51.92 [m³/día] y 54.79 [m³/día] respectivamente, esto se debe a que tienen condiciones muy parecidas.

7.4.2 Actividades del ciclo de excavación

Las actividades del ciclo de excavación son las nombradas en el numeral 5.1.1, 5.1.2, 5.1.3 y 5.1.4. En este análisis se tuvo en cuentas las actividades relacionadas en el tratamiento o soporte de las superficies de excavación.

En la gráfica del anexo 41 se muestra el porcentaje que tiene cada actividad con respecto a la duración de las actividades mencionadas, y no con el tiempo de excavación de la caverna de oscilación. En la gráfica del anexo 42 se muestra el porcentaje de cada actividad y para cada contrafuerte, las tortas del contrafuerte derecho e izquierdo presentan un comportamiento muy parecido; en donde los

pernos, la perforación y la rezaga son las actividades de mayor influencia, mientras que en el central lo son la rezaga y la perforación. En el central solo eran necesarios los pernos en las culatas y en la bóveda, por eso el porcentaje disminuye.

Según las gráficas de los anexos 41 y 42, las actividades de mayor participación son las de perforación, rezaga y pernos, es por ello que se analizaron de forma independiente.

La gráfica del anexo 43 muestra los histogramas de frecuencia y las gráficas del tiempo de perforación Vs tiempo cronológico. La media de la perforación en el canal central es de 4.65 [hrs/día], para el derecho de 2.9 [hrs/día] y para el izquierdo de 3.61 [hrs/día], el tiempo de perforación es mayor en el central por que se utilizó equipo de perforación vertical (Rockdrill, Tamrock), que tiene menor rendimiento que los jumbos usados en el contrafuerte derecho e izquierdo. La desviación en el tiempo de perforación para el canal central fue de 3.06 [hrs/día], de 2.19 [hrs/día] y de 3.02 [hrs/día] para el canal derecho e izquierdo respectivamente, el rango de valores aceptables para el contrafuerte central está entre 1.59 y 7.71 [hrs/día], en el derecho entre 0.7 y 5.09 [hrs/día] y en el izquierdo entre 0.58 y 6.63 [hrs/día].

En la gráfica del anexo 44 se muestra los tiempos de rezaga en los tres contrafuertes. En la rezaga, la media en el canal central es de 3.84 [hrs/día], para el derecho 3.38 [hrs/día] y para el izquierdo 3.82 hrs, con unas desviaciones estándar de 2.91 [hrs/día], 2.98 [hrs/día] y 3.014 [hrs/día] respectivamente. El rango de valores aceptables para el contrafuerte central está entre 0.93 y 6.76 [hrs/día], en el derecho entre 0.397 y 6.371 [hrs/día] y en el izquierdo entre 0.81 y 6.838 [hrs/día].

En la gráfica del anexo 45 se muestra los tiempos de instalación de pernos en los contrafuertes derecho e izquierdo. La media en el canal derecho es de 4.78 [hrs/día] y para el izquierdo 5.36 [hrs/día], con unas desviaciones estándar de 3.93 [hrs/día] y 3.46 [hrs/día] respectivamente. El rango de valores aceptables para el contrafuerte derecho está entre 0.85 y 8.71 [hrs/día] y para el izquierdo entre 1.9 y 8.82 [hrs/día].

7.4.3 Maquinaria utilizada durante las excavaciones.

En la gráfica del anexo 46 se puede evidenciar cuales son las máquinas que tienen mayor influencia en el avance. Los equipos de mayor participación, es decir los que requirieron más horas de trabajo para obtener un determinado volumen de excavación son el jumbo, las volquetas y el elevador. Es importante tener en cuenta que el tiempo en las ordenadas no corresponde al tiempo cronológico si no a las horas acumuladas.

Para obtener un mejor análisis sobre la relación que existe entre el avance y la maquinaria, se graficó el avance presentado Vs el equipo (horas trabajadas) para cada máquina utilizada.

En el anexo 47 se muestran las gráficas para cada uno de los equipos que influyeron de forma directa en el avance; estas se dividieron (líneas verticales) según las etapas de excavación creadas en el numeral 7.2.1 y no las definidas en la figura 11. Esto se realizó con el fin de conectar o unir toda la información, sabiendo que si el rendimiento cambió durante la excavación de la caverna es porque los recursos utilizados también lo hicieron.

El objetivo es calcular los equipos y horas de trabajo necesarias para obtener 1 m³ de material excavado por cada de etapa de excavación (creadas según la gráfica de avance del numeral 7.2.1), esto se realizó mediante la implementación de una

regresión lineal por cada tramo, la pendiente de esa línea representa una medida de la rapidez o tasa de cambio de la variable “volumen excavado acumulado” cuando cambia “horas acumuladas trabajadas del equipo”, en otras palabras esa pendiente me da el número de horas necesarias para obtener un determinado volumen de excavación.

7.4.4 Personal utilizado durante las excavaciones.

En la gráfica del anexo 48 se muestra el volumen excavado acumulado Vs el personal utilizado acumulado, así mismo como se hizo en máquinas y transformadores, de separar las gráficas con respecto a las etapas encontradas en la gráfica de avance para analizar como fue el comportamiento de la variable estudiada con respecto al volumen excavado, de igual manera se realizó con el personal. En cada etapa se realizó una regresión lineal, siendo la pendiente muy útil en el cálculo del número de personas necesarias para obtener un determinado volumen de excavación.

Durante las excavaciones se necesitaron personal con diferentes tipos de cargo, como lo son un ingeniero, un asistente, un capataz, un machinero o perforista, un operador, un electricista, un mecánico etc... Por tal motivo, se calculó del total de personas que se requirieron para las excavaciones, el % que se necesitó para cada cargo. La gráfica del anexo 49 muestra lo mencionado anteriormente, se puede observar que la mayoría de personas que trabajaron durante las excavaciones pertenecían a los cargos de machinero o perforista, ayudantes y operadores.

7.4.5 Consolidación de la información perteneciente a la excavación de caverna de oscilación.

El objetivo principal de este trabajo es conocer la cantidad de recursos necesarios para obtener un determinado volumen de excavación, lo anterior se realizó para cada etapa de excavación porque cada una tiene diferentes condiciones.

En el anexo 50 se muestran unas tablas en donde se resume el tipo de equipo y la duración (de cada uno) que fueron necesarias para obtener el rendimiento de la etapa, el R2 es una medida de la bondad del ajuste del modelo lineal, entre más cercano sea ese valor a 1, mejor es la relación. Con el personal se realizó el mismo procedimiento, se calculó el número de personas necesarias para obtener el rendimiento de cada etapa y el porcentaje que se necesitó de cada cargo. Cabe enunciar que el cálculo de los recursos necesarios para determinado rendimiento se hizo con base en la información encontrada en los informes diarios de interventoría, es decir teniendo en cuenta la forma en que se manejaron los recursos durante las excavaciones.

Algunas conclusiones que se pueden hacer del análisis anterior son las siguientes:

- La etapa de mayor rendimiento fue la correspondiente a la zona de los banqueros, desde el III hasta el IV (etapa IV), después la bóveda desde el ensanche hasta el banqueo II (etapa II), sigue la zona del banqueo II, donde se estaba construyendo una rampa para poder acceder a la bóveda y realizar tratamiento secundario (etapa III) y por último la zona del ensanche (etapa I).
- En la etapa III se enfocó en la construcción de una rampa para poder acceder a la bóveda y realizar la instalación de unos pernos adicionales por el fisuramiento de la superficie, por lo tanto los equipos fueron utilizados para la actividad mencionada y no para el avance en la excavación (voladura).

- Es normal observar en las gráficas de los recursos usados (equipos y personal) en la parte de la etapa III, que la pendiente de la recta es baja, demostrando una poca relación entre el avance y los recursos, es normal porque en esa parte se estaba enfocado en la construcción de la rampa.

Figura 17. Etapas con mayor participación de los equipos de excavación en caverna de oscilación.

Equipo	Máximo # de horas invertidas en una etapa	Etapa donde ocurrió el máximo
Jumbo	10,73	Etapa III
<u>Retromartillo</u>	1,46	Etapa IV
Bomba	3,00	Etapa IV
Volquetas	9,92	Etapa III
Elevador	10,10	Etapa III
Cargador	11,84	Etapa III
Perforadora	8,50	Etapa III
Retroexcavadora	5,54	Etapa III

Fuente: Autor.

- A partir de la Etapa II se implementó el uso de perforadoras tipo rockdrill, tamrock y atlas copco, una de las razones fue porque los jumbos utilizados presentaban deficiencias grandes que impedían un rendimiento más rápido.
- En la etapa III hay R2 menores que 0.9, indicando que el ajuste de los datos a la recta de la regresión es malo, una de las razones es porque la etapa tuvo poca duración y por lo tanto hay pocos datos.

CONCLUSIONES

Por cada caverna se realizó un análisis; el cual consiste en el estudio del rendimiento, de las actividades del ciclo de excavación, del manejo de la maquinaria y del personal. Para cada análisis y para cada caso se hicieron las conclusiones respectivas, las siguientes son las generales.

- Los requisitos sobre la secuencia general de las excavaciones subterráneas para la central se definieron de acuerdo a las características geotécnicas del suelo de la región, estas fueron una de las principales causas por las que no se obtuvo un rendimiento óptimo, por no poder avanzar debido al no cumplimiento de las especificaciones.
- Durante la recolección de la información se observó que algunos informes presentaban deficiencias en la información, cuando se hizo el procesamiento fue notorio por los valores de los coeficientes de relación. Es importante que la interventoría haga un buen trabajo en la realización de los informes diarios, ya que estos son la historia de las excavaciones. Los informes con mayores falencias fueron los de cavernas de transformadores y oscilación.
- Los rendimientos más altos y el mayor uso de recursos se presenta en casa de máquinas, que es la caverna con prioridad en la construcción.
- El aporte más importante de este trabajo es la obtención del personal y de los equipos necesarios para obtener un rendimiento de excavación determinado, esto con el fin de que sea útil en la toma de decisiones en la ejecución de próximos proyectos. En la siguiente tabla se muestra un resumen de la información.

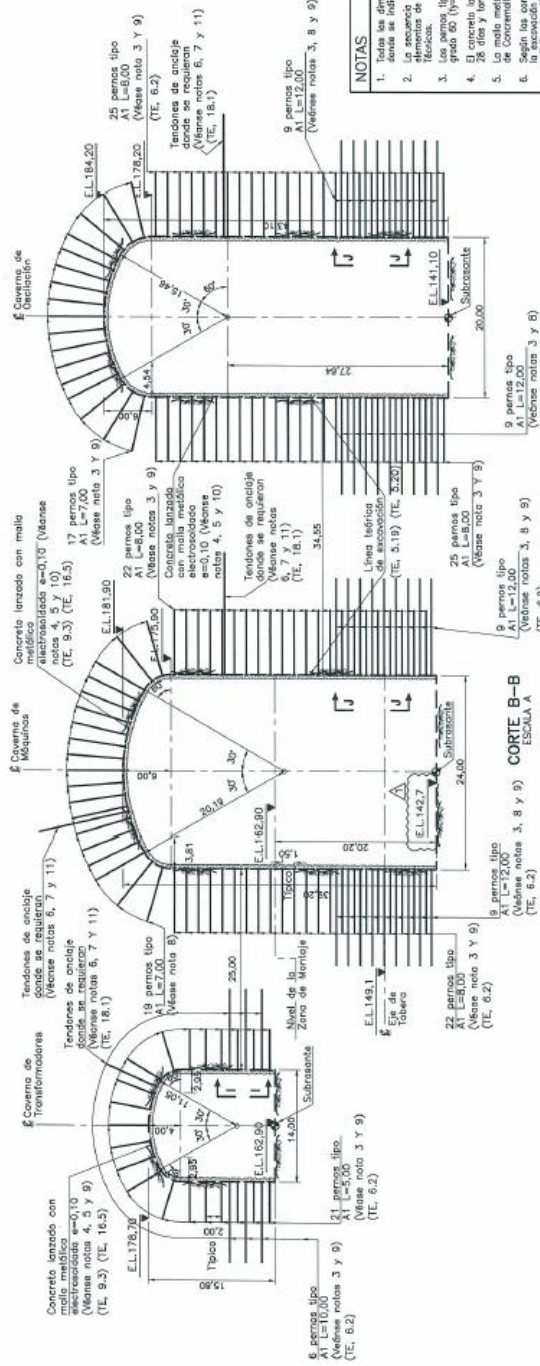
		Caverna de maquinas				Caverna de transformadores				Caverna de oscilación			
		Bóveda y zona de transición	Banqueos hasta zona de montajes	Banqueos de la zona de unidades	Banqueos de los fosos y del tanque de sentina	Bóveda	Zona de transición	Etapas III Banqueos	Banqueos - Instalación de pernos de 10 m de longitud	Etapas III Banqueos	Ensanche	Desde el ensanche hasta el II Banqueo (Bóveda y II Banqueo)	Banqueos
RENDIMIENTO [m3/día]		249,76	355,024	239,71	76,48	133,39	96	111,04	39,57	103,26	76,81	198,49	231
EQUIPOS [Hrs/día]	Jumbo	12,29	10,31	6,9	2,2	5,7	7,72	8,93	3,3	7,39	5,16	7,53	6,1
	Retromartillo	1,56	1,27	2,98	0,58	1,66		1,14	0,37	1,09	1,09	0,98	1,46
	Bomba	5,17	2,74	2,4	1,28	1,34	4,56	5,28	0,77	2,8	1,37	2,29	3
	Volquetas	21,46	23,70	29,16	21,7	5,27	8,64	10,92	6,11	11,77	5,58	14,43	19,62
	Elevador	5,77	10,14	6,85	2,18	3,27	6,94	8,02	1,75	4,51	2,49	6,43	5,99
	Cargador	5,52	2,89	3		4	4,4	5,09	0,96	2,3	2,18	3,02	3,19
	Perforadora		5,23	10,76	5,27			2,33	2,4	2,02		2,54	8,37
Retroexcavadora		4,24	6,67	2,17			2,54	1,59	1,99		2,72	5,29	
PERSONAL [# personas/día]	Ingeniero	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Asistente	3	3	2	1	2	3	2	2	2	1	1	1
	Capataz	4	3	2	1	2	3	2	2	2	1	1	1
	Machinero	10	8	6	2	6	9	6	6	6	3	3	3
	Ayudante	10	9	7	2	6	9	6	6	6	4	4	4
	Electricista	2	2	2	0	1	2	1	1	1	1	1	1
	Operador	14	11	8	3	7	11	7	7	7	4	4	4
	Conductor	3	3	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
	Perforista	4	3	2	1	0	3	2	2	2	0	0	0
	Lanzador	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	1	1
	Mecánico	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0

La mayoría de los valores de las horas de trabajo de la volqueta dan mayor a 24 hrs, esto es debido a que es necesario mas de un equipo en el momento de la excavación; por lo general las volquetas trabajaban el mismo tiempo que el equipo encargado de la rezaga (cargador o retroexcavadora), entonces para calcular el número de volquetas se divide el tiempo de las volquetas sobre el tiempo del cargador o retroexcavadora.

- El realizar mi práctica empresarial como auxiliar de ingeniería en el proyecto hidroeléctrico Sogamoso, me permitió crecer profesionalmente dentro del campo de la Ingeniería Civil, permitiéndome el desarrollo de las distintas actividades relacionadas en la ejecución del proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- INTERVENTORIA, Consorcio Integral VQ. Información de Reportes Diarios del proceso de Excavación de las Cavernas de la Central Subterránea del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso.
- ISAGEN S.A E.S.P. Descripción general del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Pliego de Condiciones – Parte I. Licitación Pública No. 5/415. Anexo No.4, 2009.
- ISAGEN S.A. E.S.P. Energía productiva. Nuestra empresa, misión y visión. [Citado el 16 de Enero 2012]. Disponible en: http://www.isagen.com.co/metalnst.jsp?rsc=infoIn_informacionInst&tituloPag=ISAGEN
- ISAGEN S.A E.S.P. Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Especificaciones técnicas, pliego de condiciones – parte II, licitación pública No.5/415 Contrato II, Cap 5. Excavaciones subterráneas.
- NORMA TECNICA COLOMBIANA, Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación, Sexta actualización. Bogotá: Instituto colombiano de normas técnicas y certificación (ICONTEC), 2008.
- RODRÍGUEZ, Madeleidy. Práctica empresarial en el análisis de la información técnica relacionada con los tiempos de ejecución y recursos utilizados en la excavación de los túneles de desviación del proyecto hidroeléctrico Sogamoso que adelanta la empresa Isagen S.A E.S.P... Bucaramanga, 2012, 111 p. Trabajo de grado (Ingeniero Civil), modalidad: práctica empresarial. Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil.



- NOTAS**
1. Todas las dimensiones están dadas en metros, excepto donde se indique otra unidad.
 2. La acropocia con la cual se indican las diferentes alturas de soporte se indica en las Especificaciones Técnicas.
 3. Los pernos tipo A1 deberán ser de $e=25$ mm y acero grado 60 ($f_y=420$ MPa).
 4. El concreto laminado deberá ser de $f_c=29$ MPa o los 28 días y tendrá un nivel del agregado $e=13$ mm.
 5. Los tendones de acero inoxidable deberán ser tipo Q-4 de Comercial o similar.
6. Según las condiciones de la roca excavada durante la ejecución de las cocheras, SAGSA podrá autorizar el uso de tendones de acero inoxidable.
 7. Para la verificación de la calidad del concreto, se deberá seguir la especificación ASTM A118 (E-7) hincado uno.
 8. Pernos colocados desde la cota de subrasante hasta el tazo de la altura de la respectiva cochera.
 9. El número de pernos indicado, podrá variar en las zonas donde se encuentren intersecciones de las cocheras con otros trabajos.
 10. El número de pernos indicados, deberá ser el suficiente para garantizar la estabilidad del concreto laminado y la fijación de los tendones de acero inoxidable.
 11. Los tendones de acero inoxidable deberán ser de tipo 304 o 316, con un espesor mínimo de 3 mm, y deberán ser certificados por SAGSA en el sitio según comportamiento medido con instrumentación durante la ejecución.

PLANOS DE REFERENCIA

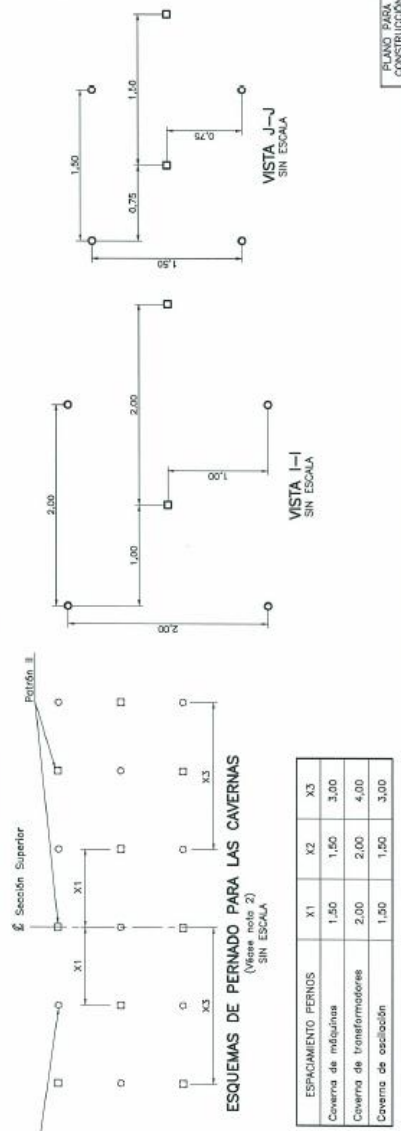
E3-L13.2-GEO-027
Cubierta de Máquinas,
Cubierta de Transformadores,
Cubierta de Ondulación 1.

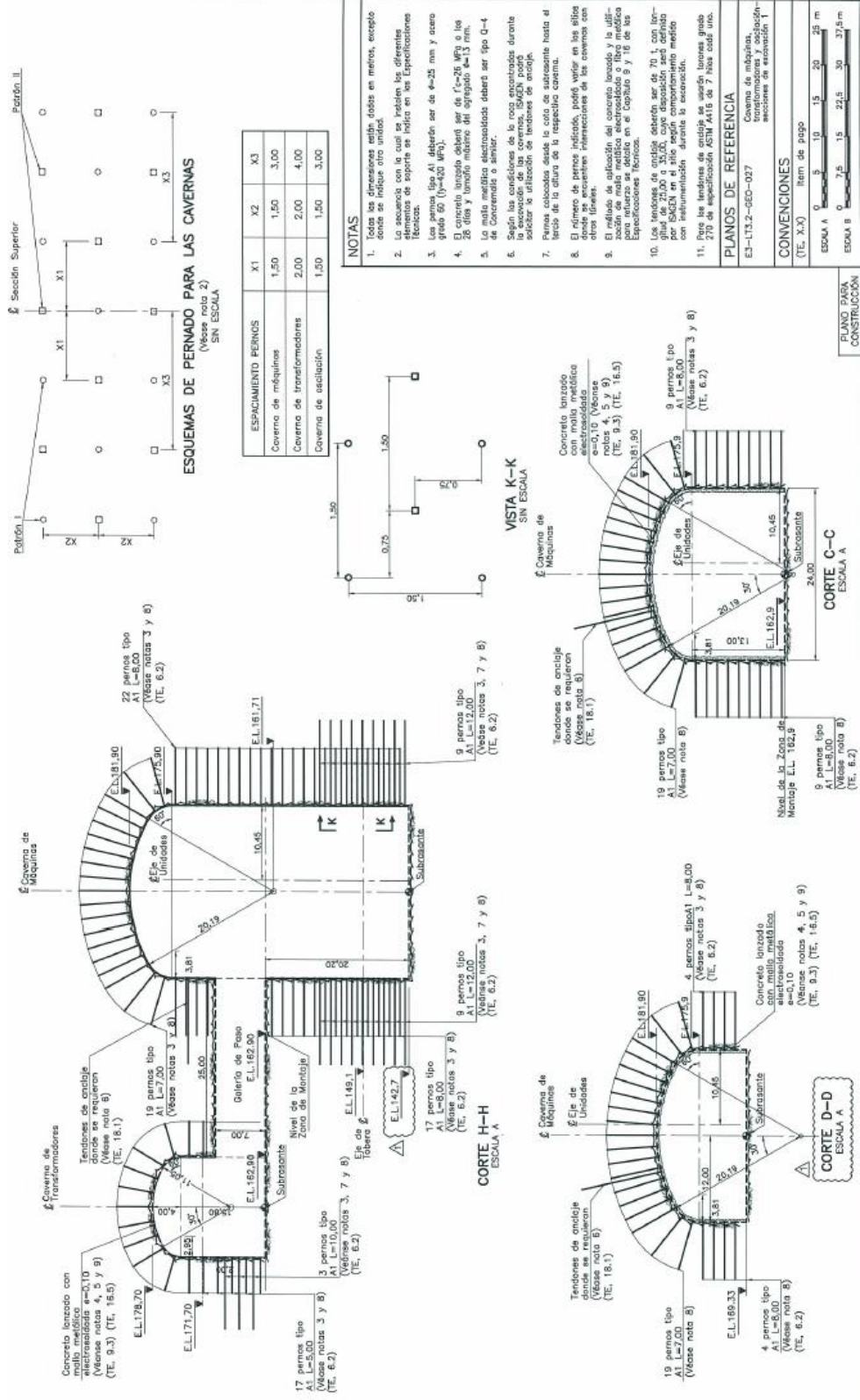
CONVENCIONES

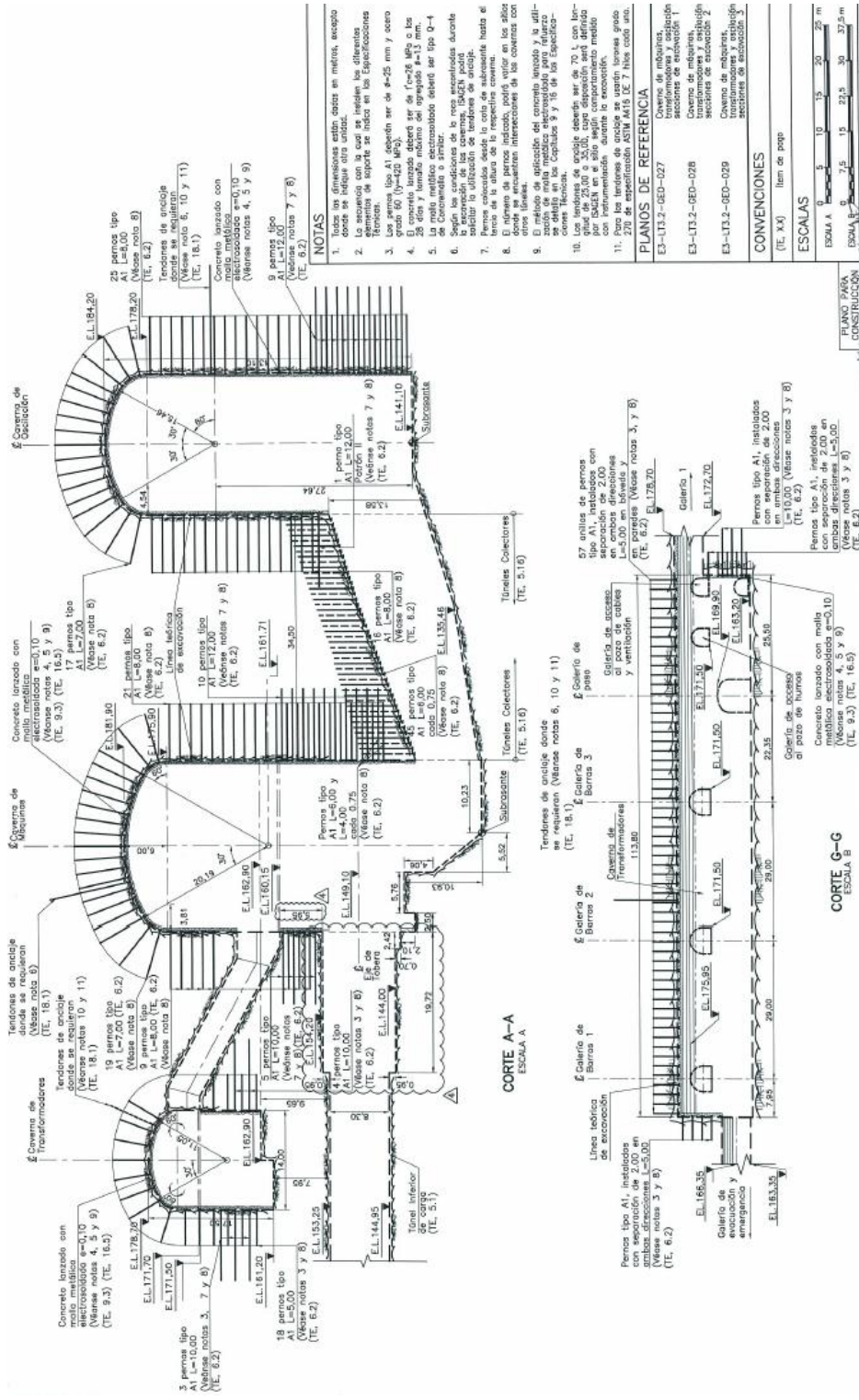
(TE. X.X) Item de pago

ESCALAS

ESCALA A 0 5 10 15 20 25 m







- NOTAS**
1. Las dimensiones están dadas en metros, excepto donde se indique otra unidad.
 2. La estructura con la cual se lesionen las diferentes formas de soporte se indica en las Clasificaciones de los Materiales.
 3. Los pernos tipo A1 deberán ser de $\phi=25$ mm y acero grado 60 (fy=420 MPa).
 4. Los pernos tipo A2 deberán ser de $\phi=28$ MPa y los pernos tipo A3 deberán ser de $\phi=32$ MPa.
 5. La malla metálica electrozincada deberá ser tipo Q-4 de Comandada o similar. La malla seccionada deberá ser tipo Q-4 de Comandada o similar.
 6. El número de pernos indicados, podrá variar en los sitios donde se encuentren intersecciones de las cavaemas con las cavaemas de las cavaemas.
 7. El número de pernos indicados, podrá variar en los sitios donde se encuentren intersecciones de las cavaemas con las cavaemas de las cavaemas.
 8. El número de pernos indicados, podrá variar en los sitios donde se encuentren intersecciones de las cavaemas con las cavaemas de las cavaemas.
 9. El método de aplicación del concreto lanzado y la utilización de malla metálica electrozincada para reforzar las cavaemas, deberá ser de acuerdo a las especificaciones de los planos de referencia.
 10. Los pernos de anclaje deberán ser de 70.1 con longitud de 2.00 m y separación de 2.00 m entre ellos. Los pernos de anclaje deberán ser de 70.1 con longitud de 2.00 m y separación de 2.00 m entre ellos.

PLANOS DE REFERENCIA

EX-113.2-02D-027	Planos de subestación transformadora y estación seccionada de elevación 1
EX-113.2-02D-028	Planos de subestación transformadora y estación seccionada de elevación 2
EX-113.2-02D-029	Planos de subestación transformadora y estación seccionada de elevación 3

CONVENCIONES

(TE, X)	Item de pago
---------	--------------

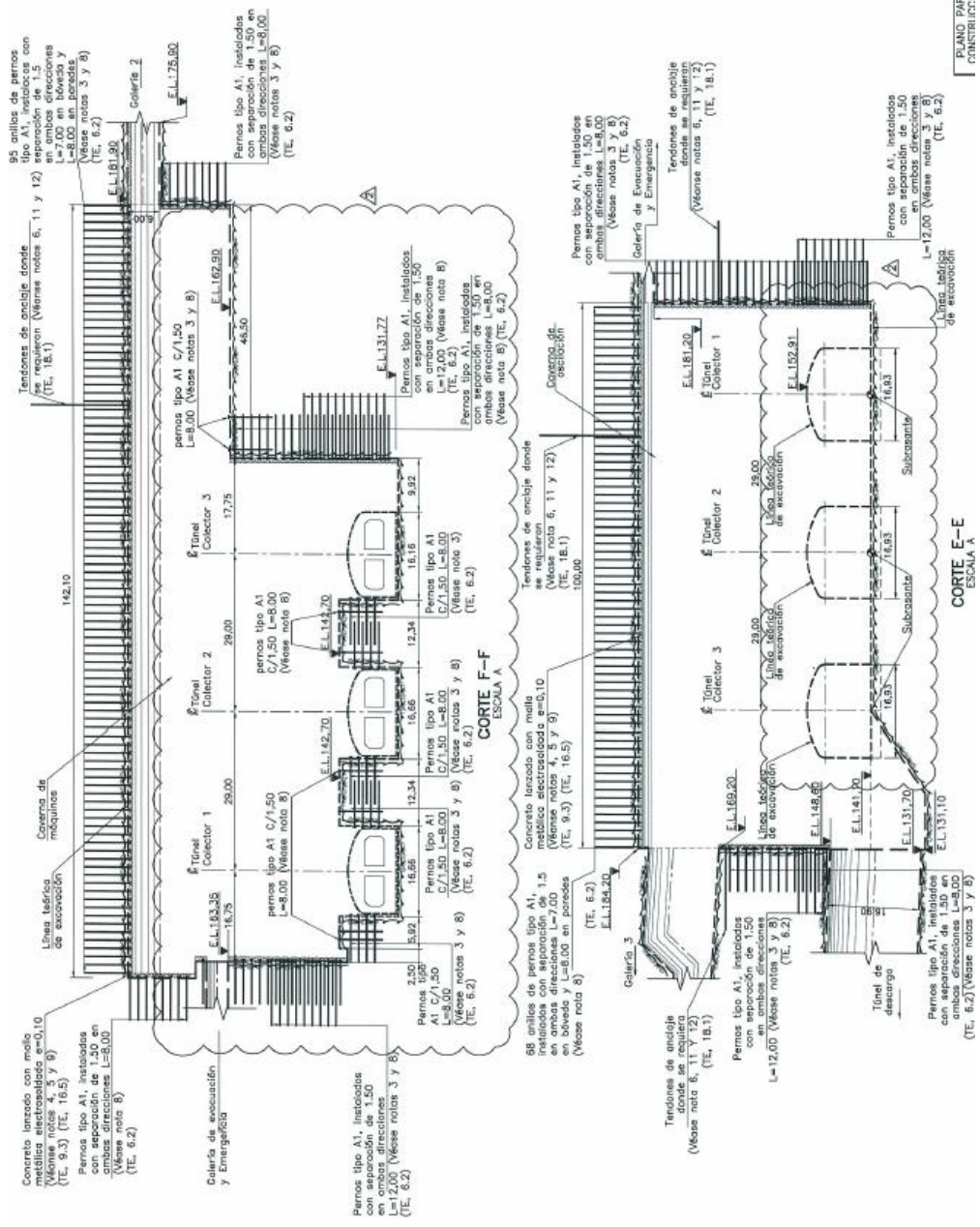
ESCALAS

ESCALA A	0	5	10	15	20	25	m
ESCALA B	0	5	10	15	20	25	m

PLANO PARA CONSTRUCCIÓN

CORTE A-A
ESCALA A

CORTE G-G
ESCALA B




- NOTAS**
1. Todas las dimensiones están dadas en metros, excepto donde se indique otro unidad.
 2. La ejecución con la cual se inclinan las diferentes elementos de soporte se indica en las Especificaciones Técnicas.
 3. Los pernos tipo A1 deberán ser de $\phi=25$ mm y como grado 88 ($f_y=83$ MPa).
 4. El concreto lanzado deberá ser de $f_c=25$ MPa a los 28 días y tendrá un nivel del agua de 170 mm.
 5. La mala mezcla electrosoldada deberá ser tipo O-4.
 6. Según las normas de la zona, se prohibirá durante la ejecución de las columnas BAJEN podrá solicitar la utilización de tendones de anclaje.
 7. Pernos colocados desde la cota de subrasante hasta el nivel de la obra de la respectiva cavena.
 8. El número de pernos indicado, podrá variar en los sitios donde se encuentren intersecciones de las cavenas con otras lanchas.
 9. El método de aplicación del concreto lanzado y la utilización de mala electrosoldada se indica en las Especificaciones Técnicas.
 10. El nivel de acceso y las galerías 1, 2 y 3 serán ejecutadas por otros.
 11. El número de pernos tipo A1, deberá ser de 70 y los otros de 25,00 a 35,00, cuya disposición será definido por ISAGEN en el sitio según comportamiento medido con instrumentación durante la ejecución.
 12. Para los tendones de anclaje se usará, como grado 270 de especificación ASTM A193 de 7 hilos como m.

PLANOS DE REFERENCIA	
EJ-132-050-029	Cavena de estribos, transformadores y celdas de sección de emergencia 3
CONVENCIONES	
(TE. XX)	Ítem de pozo
ESCALA	
ESCALA 0	7.5 15 22.5 30 37.5 m

PLANO PARA CONSTRUCCIÓN

CORTE E-E
ESCALA A

Anexo 2 Formato de los informes diarios de excavaciones de la central subterránea

	FE_2071_1 INFORME DIARIO DE EXCAVACIONES SUBTERRANEAS
---	--

Túnel EN VENTA Fecha 14/07/19 Inspector CELSO A. SANTIAGO V. Ciclo 03 OTELACION. 40+100.60 40+100.60
 Turno 05/19 Absc Inicial _____ Absc Final _____ Avance _____ m Acumulado _____ m
 Tipo de Terreno _____ Abscisas Desde _____ Hasta _____



ESQUEMA DE BARRENACIÓN Y ENCENDIDO				CARACTERÍSTICAS DE LA VOLADURA							
Localización	Retardos		Indugel		Explosivo utilizado			Anfo		Cordón	
	No	Cant	Tacos	Kg	Emulsión Bombeada	Emulsión Encart.	Kg	Tacos	Kg	Kg/perf.	Kg
Cuña											
Ayudantes cuña											
Piso											
Ayudante piso											
Clave											
Ayudantes clave											
Hastiales costura											
Ayudantes costura											
Total											
Peso Total Eq. DIN60%											

Area teórica _____ m² Volumen teórico _____ m³ Peso Total Explosivo _____ Kg
 Factor de carga neto _____ Kg/m³ Peso Eq. Total DIN60% _____ Kg
 Factor de carga Eq. DIN60% _____ Kg/m³
 Cantidad de huecos _____ Und. Long. Perforación _____ m Total Perforación _____ m
 Factor de Barrenación _____ ml/m³

CICLOS DE EXCAVACIÓN Y TRATAMIENTOS									
A. Excavación	Hora Inicial	Hora Final	Total (min)	Concreto Neumático			Hora inicial:		
				Capa	Abs Inicial	Abs. Final	Volumen (m ³)	Fibra (S/N)	Aditivo
Preparativos									
Perforación									
Cargue									
Retiro equi - Vol									
Ventilación									
Rezaga				Malla Electrosoldada	H. Inic:	H. Fin:	Marcos Acero	H. Inic:	H. Fin:
Desabombe				Tipo	Abs Inicial	Abs. Final	Cant. (m ²)	Tipo	Abscisa
Rezaga desabombe									
No Perforadoras									
<input checked="" type="checkbox"/> Tiempo perforadoras									
PERNOS TIPO	Hora Inic	Hora Fin	Total min	Cant. (Un)	Abscisa	Z H	Resina Rápida	Resina Lenta	Lechada

INSTRUMENTACION

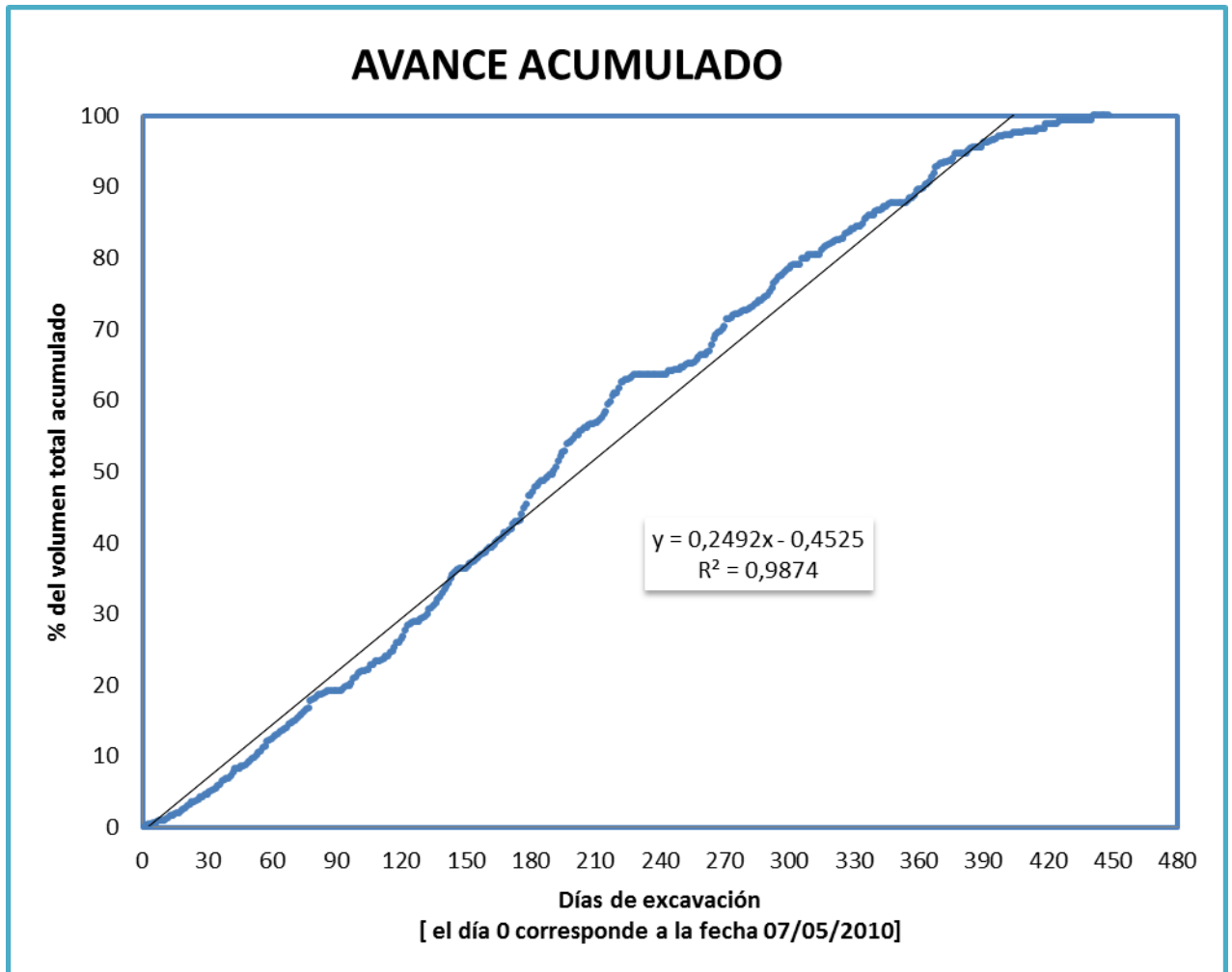
OBSERVACIONES DEL CONTRATO, NO PROSEGUIMOS ACTIVIDADES EN ESTE FRENTES. EL PERIODO FUE RETIRO A 67001 FRENTES DE TRABAJO, DEL PROYECTO.

 Inspector
  Ingeniero Auxiliar
 _____ Residente

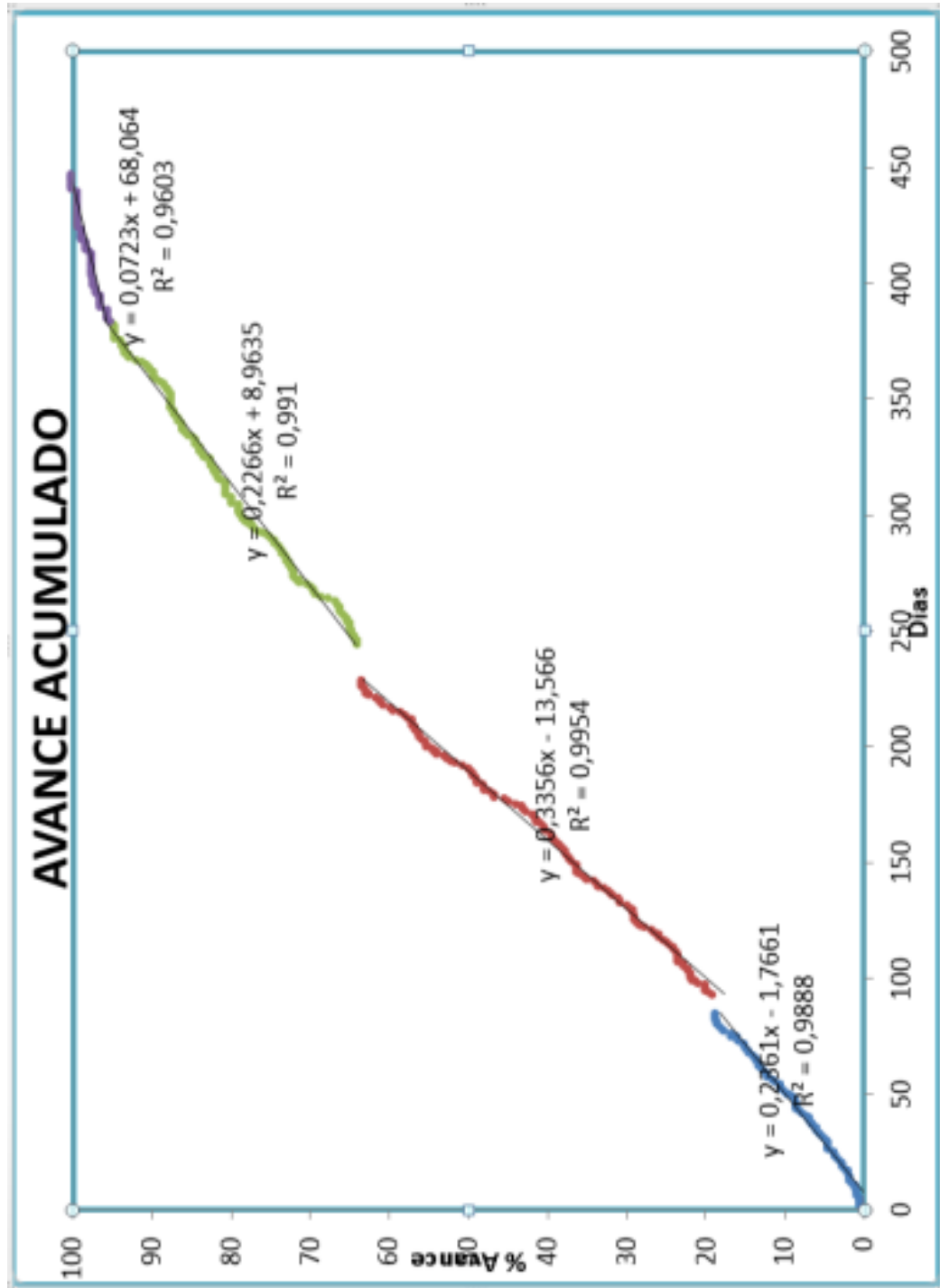
Anexo 3 Forma en que se organizó los volúmenes excavados diariamente.

GALERIA CENTRAL		C. Derecho		C. Izquierdo		Tanque sentina		Canal perimetral		Avance general total		Volumen Acumulado	
Fecha	Turno	Volúmenes [m ³]	acumulados [m ³]	Volúmenes [m ³]	acumulados [m ³]	Volúmenes [m ³]	acumulados [m ³]	Volúmenes [m ³]	acumulados [m ³]	Area, Tiempo	Revol. Largo	Revol. Ancho	Revol. Diagonal
07/05/2016	Nocturno	112,42	0	0	0	0	0	0	0	0	0,10269192	0,10269192	112,42
08/05/2016	Nocturno	112,42	0	0	0	0	0	0	0	0	0,10269192	0,10269192	112,42
09/05/2016	Nocturno	112,42	0	0	0	0	0	0	0	0	0,10269192	0,10269192	112,42
09/05/2016	Diurno	109,71	222,13	0	0	0	0	0	0	0,10707964	0,26021066	222,13	
10/05/2016	Nocturno	190,75	412,88	0	0	0	0	0	0	0,18691354	0,39200198	300,46	
10/05/2016	Diurno	412,88	825,76	0	0	0	0	0	0	0	0,39200198	0,39200198	300,46
11/05/2016	Nocturno	589,7	1415,56	0	0	0	0	0	0	0	0,55745889	0,55745889	176,82
11/05/2016	Nocturno	589,7	1415,56	0	0	0	0	0	0	0	0,55745889	0,55745889	176,82
12/05/2016	Nocturno	589,7	1415,56	0	0	0	0	0	0	0	0,55745889	0,55745889	176,82
13/05/2016	Nocturno	177	766,7	0	0	0	0	0	0	0,169215843	0,17115843	177	
13/05/2016	Nocturno	177	766,7	0	0	0	0	0	0	0	0,169215843	0,17115843	177
14/05/2016	Nocturno	943,7	943,7	0	0	0	0	0	0	0,165151843	0,17115843	943,7	
14/05/2016	Nocturno	943,7	943,7	0	0	0	0	0	0	0	0,165151843	0,17115843	943,7
15/05/2016	Nocturno	943,7	943,7	0	0	0	0	0	0	0	0,165151843	0,17115843	943,7
16/05/2016	Nocturno	943,7	943,7	0	0	0	0	0	0	0	0,165151843	0,17115843	943,7
17/05/2016	Nocturno	1247,7	1247,7	0	0	0	0	0	0	0	0,16715843	0,17115843	1247,7
17/05/2016	Nocturno	1247,7	1247,7	0	0	0	0	0	0	0	0,16715843	0,17115843	1247,7
18/05/2016	Nocturno	84,7	1442,4	0	0	0	0	0	0	0,018407427	0,18947427	1442,4	
19/05/2016	Nocturno	200,6	1643	0	0	0	0	0	0	0,018924622	0,18624622	1643	
20/05/2016	Nocturno	1643	1643	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1643	1643
21/05/2016	Nocturno	1643	1643	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1643	1643
21/05/2016	Nocturno	206,5	1849,5	0	0	0	0	0	0	0,019201816	0,18201816	1849,5	
22/05/2016	Nocturno	1849,5	1849,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,18495	1849,5
22/05/2016	Nocturno	171,1	2020,6	0	0	0	0	0	0	0,016573868	0,16173868	2020,6	
23/05/2016	Nocturno	2020,6	2020,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0,20206	2020,6
24/05/2016	Nocturno	130	2150,6	0	0	0	0	0	0	0,011343447	0,11343447	2150,6	
24/05/2016	Nocturno	130	2150,6	0	0	0	0	0	0	0	0,011343447	0,11343447	2150,6
24/05/2016	Nocturno	112	2262,6	0	0	0	0	0	0	0	0,027015364	0,2715364	2262,6
25/05/2016	Nocturno	234,39	2497,0	0	0	0	0	0	0	0,027015364	0,2715364	2497,0	
25/05/2016	Nocturno	177	2674,39	0	0	0	0	0	0	0	0,027188014	0,27188014	2674,39
26/05/2016	Nocturno	2497,0	2497,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,24970	2497,0
27/05/2016	Nocturno	84,1	2581,1	0	0	0	0	0	0	0,017402732	0,17402732	2581,1	
28/05/2016	Nocturno	212,4	2793,5	0	0	0	0	0	0	0	0,020079011	0,20079011	2793,5
29/05/2016	Nocturno	308,69	3102,19	0	0	0	0	0	0	0,025830951	0,37427916	3102,19	
29/05/2016	Nocturno	177	3279,19	0	0	0	0	0	0	0,025830951	0,37427916	3279,19	
29/05/2016	Nocturno	188,61	3467,8	0	0	0	0	0	0	0,02702028	0,37119465	3467,8	
29/05/2016	Nocturno	188,61	3467,8	0	0	0	0	0	0	0,02702028	0,37119465	3467,8	
30/05/2016	Nocturno	323,5	3791,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3235	3791,3
30/05/2016	Nocturno	323,5	3791,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3235	3791,3
31/05/2016	Nocturno	3401	3401	0	0	0	0	0	0	0,013942869	0,13942869	3401	
31/05/2016	Nocturno	3401	3401	0	0	0	0	0	0	0	0	0,013942869	3401
01/06/2016	Nocturno	47,5	3448,5	0	0	0	0	0	0	0,013942869	0,13942869	3448,5	
02/06/2016	Nocturno	386	3830,5	0	0	0	0	0	0	0,010507091	0,3497386	3830,5	
02/06/2016	Nocturno	117,5	3948,0	0	0	0	0	0	0	0,013942869	0,3497386	3948,0	
03/06/2016	Nocturno	3848,5	3848,5	0	0	0	0	0	0	0,01447736	0,364216	3848,5	
03/06/2016	Nocturno	0	3848,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01447736	3848,5
04/06/2016	Nocturno	177	4026,2	0	0	0	0	0	0	0,00954821	0,2289264	4026,2	
04/06/2016	Nocturno	177	4026,2	0	0	0	0	0	0	0,00954821	0,2289264	4026,2	
05/06/2016	Nocturno	4026,2	4026,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,40262	4026,2
06/06/2016	Nocturno	177	4203,2	0	0	0	0	0	0	0,0169215843	0,169215843	4203,2	
06/06/2016	Nocturno	177	4203,2	0	0	0	0	0	0	0	0,0169215843	0,169215843	4203,2
06/06/2016	Nocturno	110,53	4313,73	0	0	0	0	0	0	0,027179842	0,27179842	4313,73	
06/06/2016	Nocturno	0	4313,73	0	0	0	0	0	0	0	0,027179842	0,27179842	4313,73

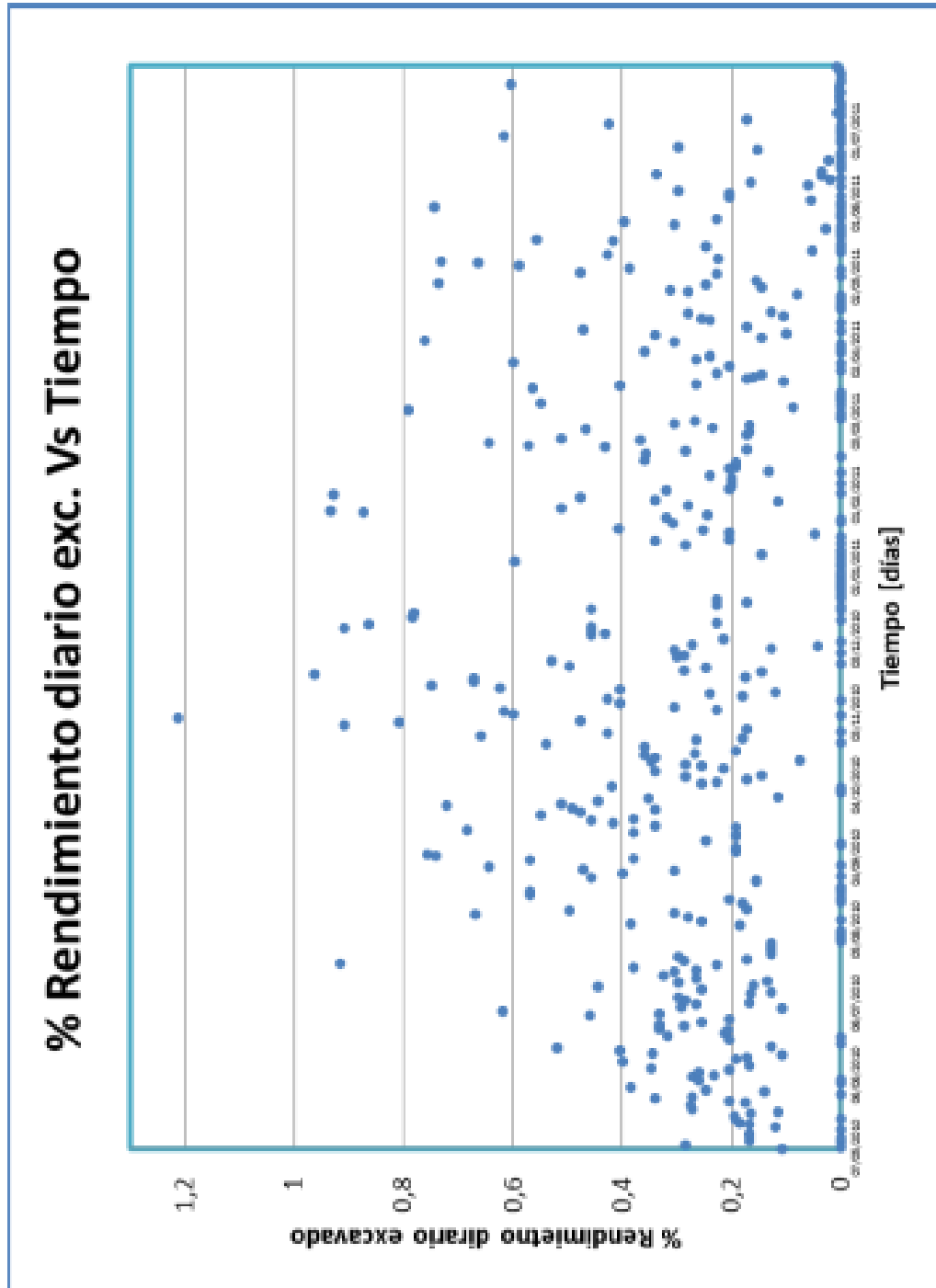
Anexo 4 Gráfica del avance acumulado de caverna de máquinas



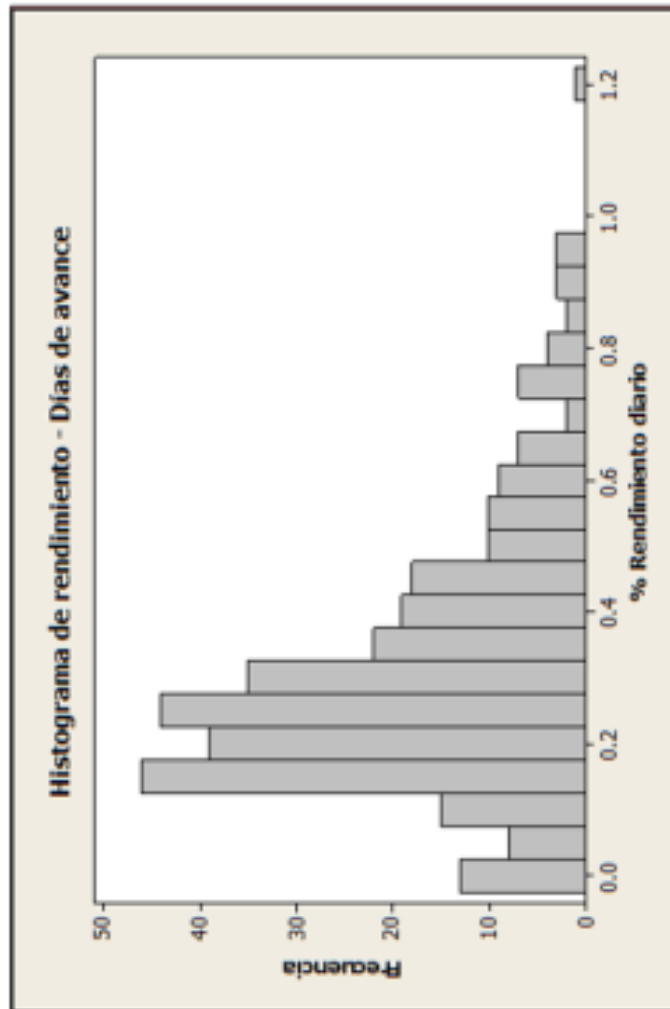
Anexo 5 Gráfica del avance acumulado de caverna de máquinas por tramos



Anexo 6 Gráfica del % del rendimiento diario excavado Vs Tiempo en caverna de máquinas

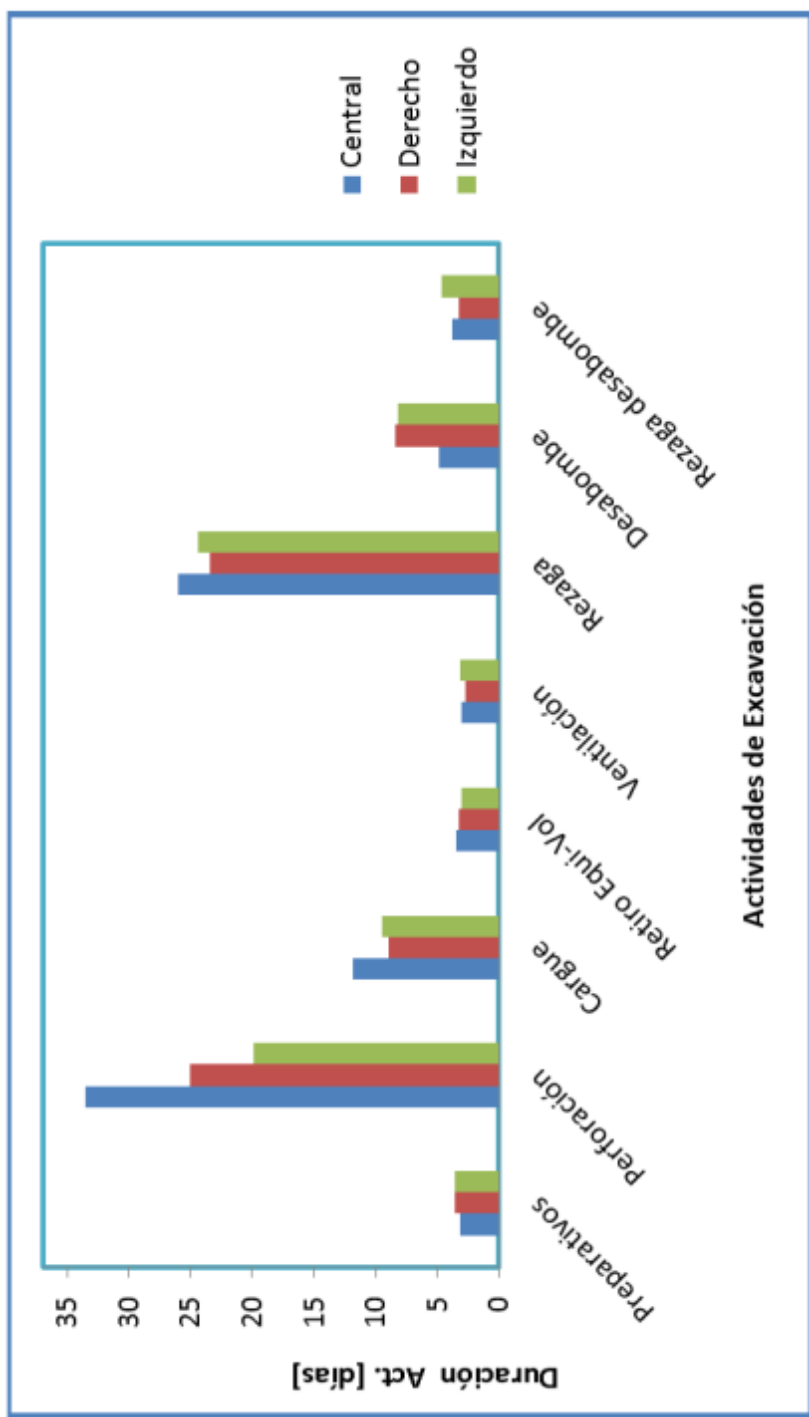


Anexo 7 Histograma de frecuencias del % de rendimiento diario en caverna de máquinas

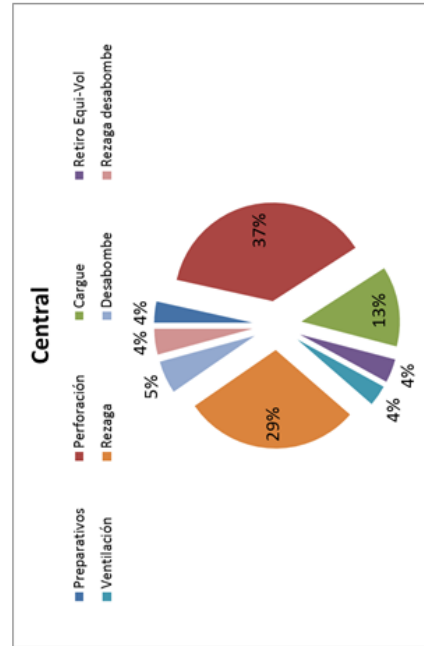
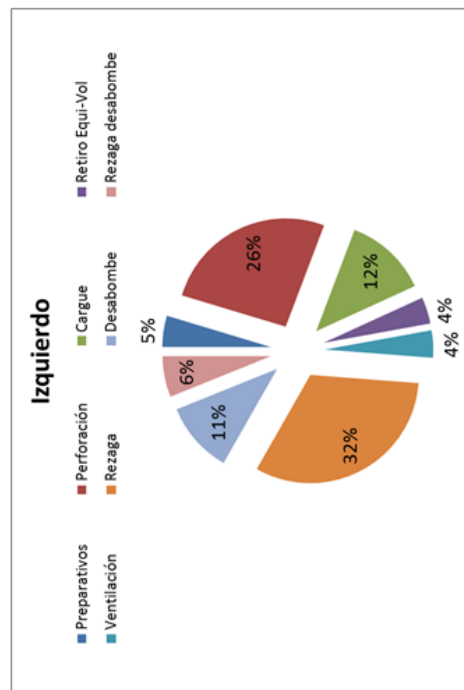
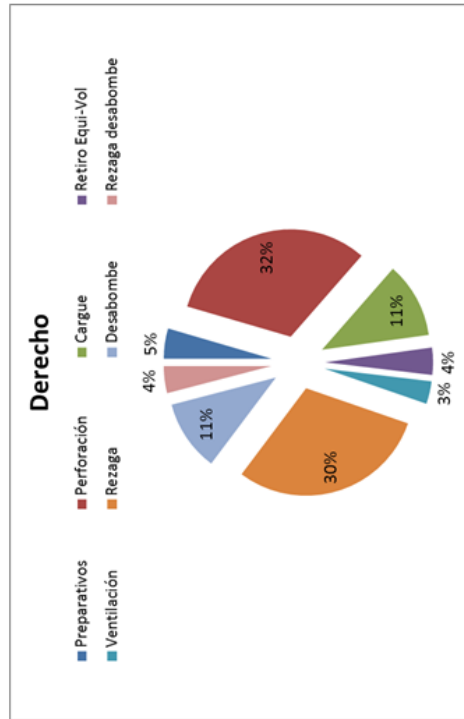


N : 317
Media : 0,312
Desv. Est : 0,2073
Q1: 0,175
Mediana : 0,2647
Q3 : 0,415
Máximo : 1,2098
 $\sigma + \bar{X} - \sigma$
0,104 % - 0,519 %

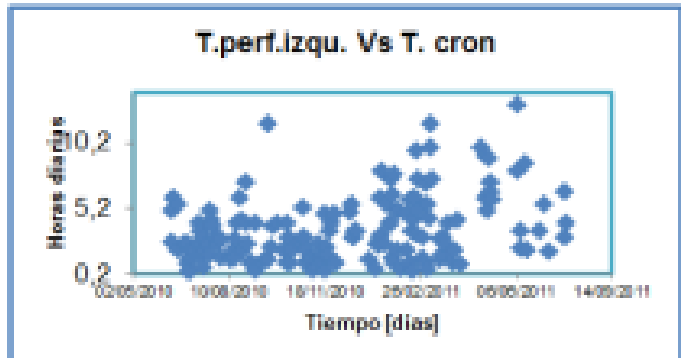
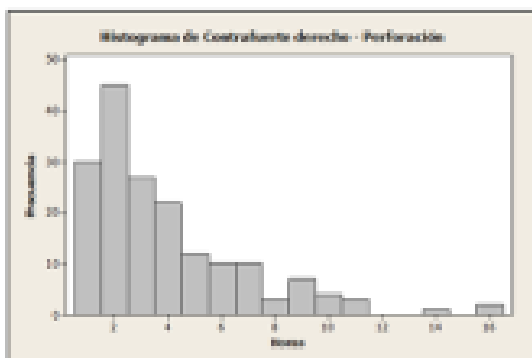
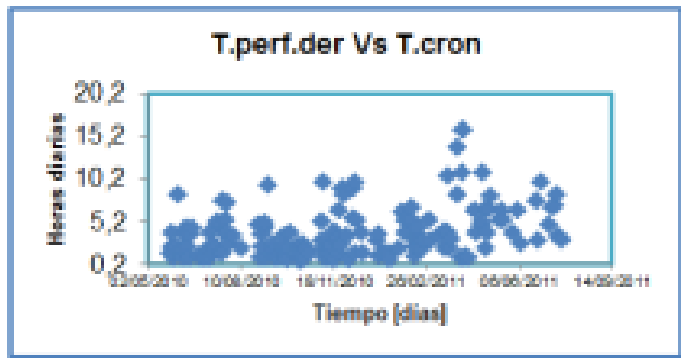
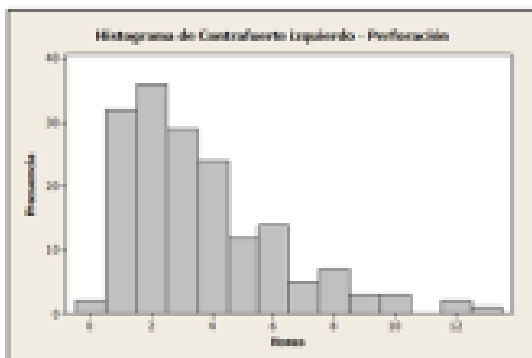
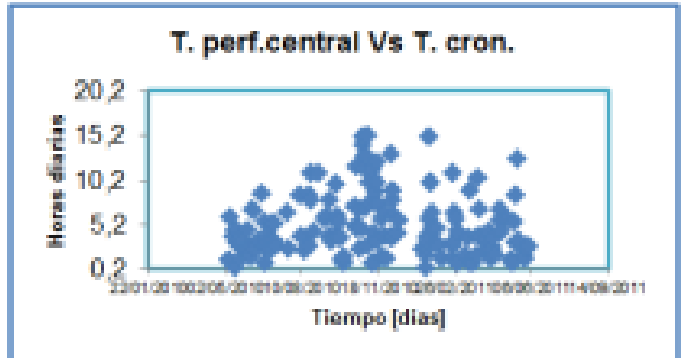
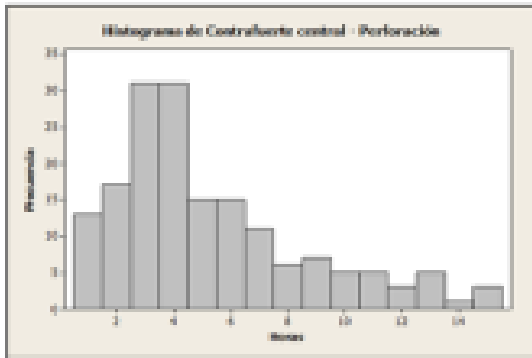
Anexo 10 Gráfica de duración de actividades del ciclo de excavación en caverna de máquinas



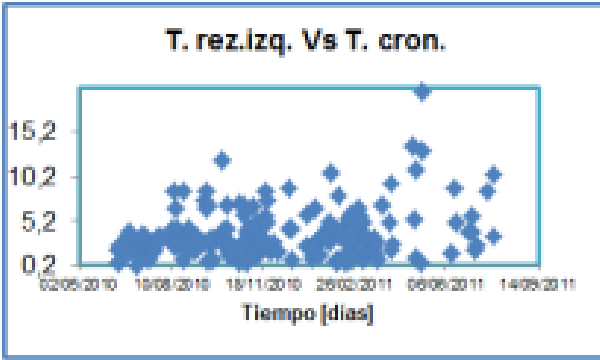
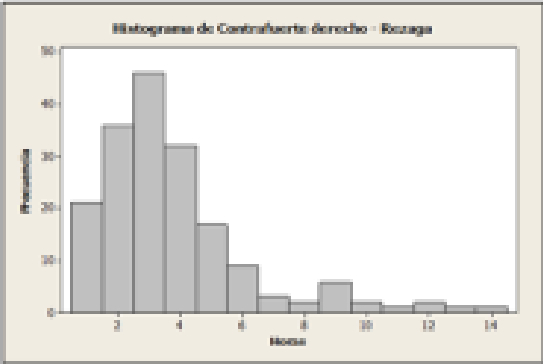
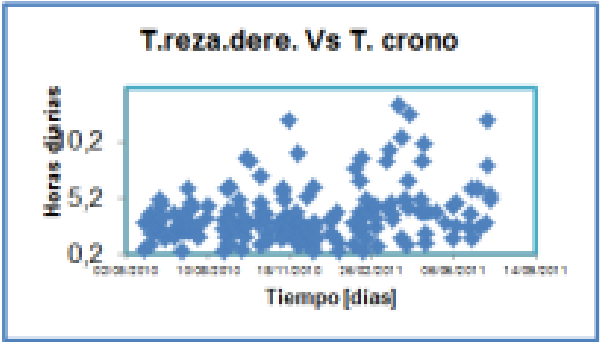
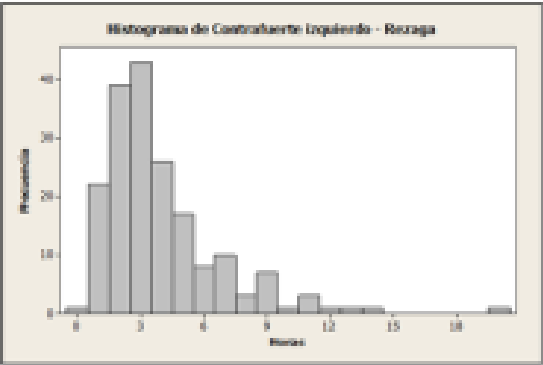
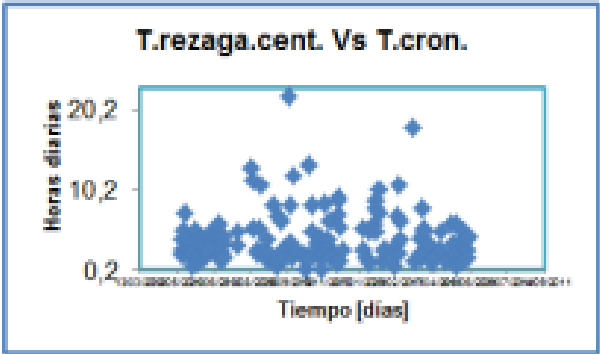
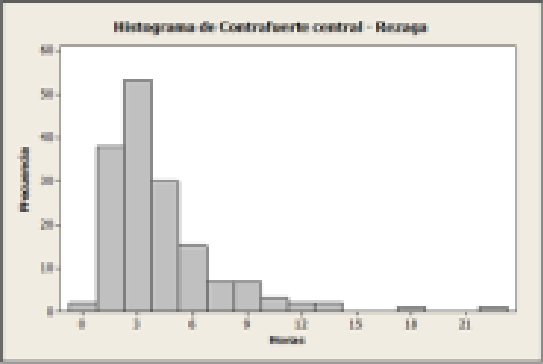
Anexo 11 Duración de cada actividad del ciclo de excavación por contrafuertes.



Anexo 12 Histogramas de frecuencias y gráficas del tiempo de perforación Vs tiempo cronológico para cada contrafuerte.



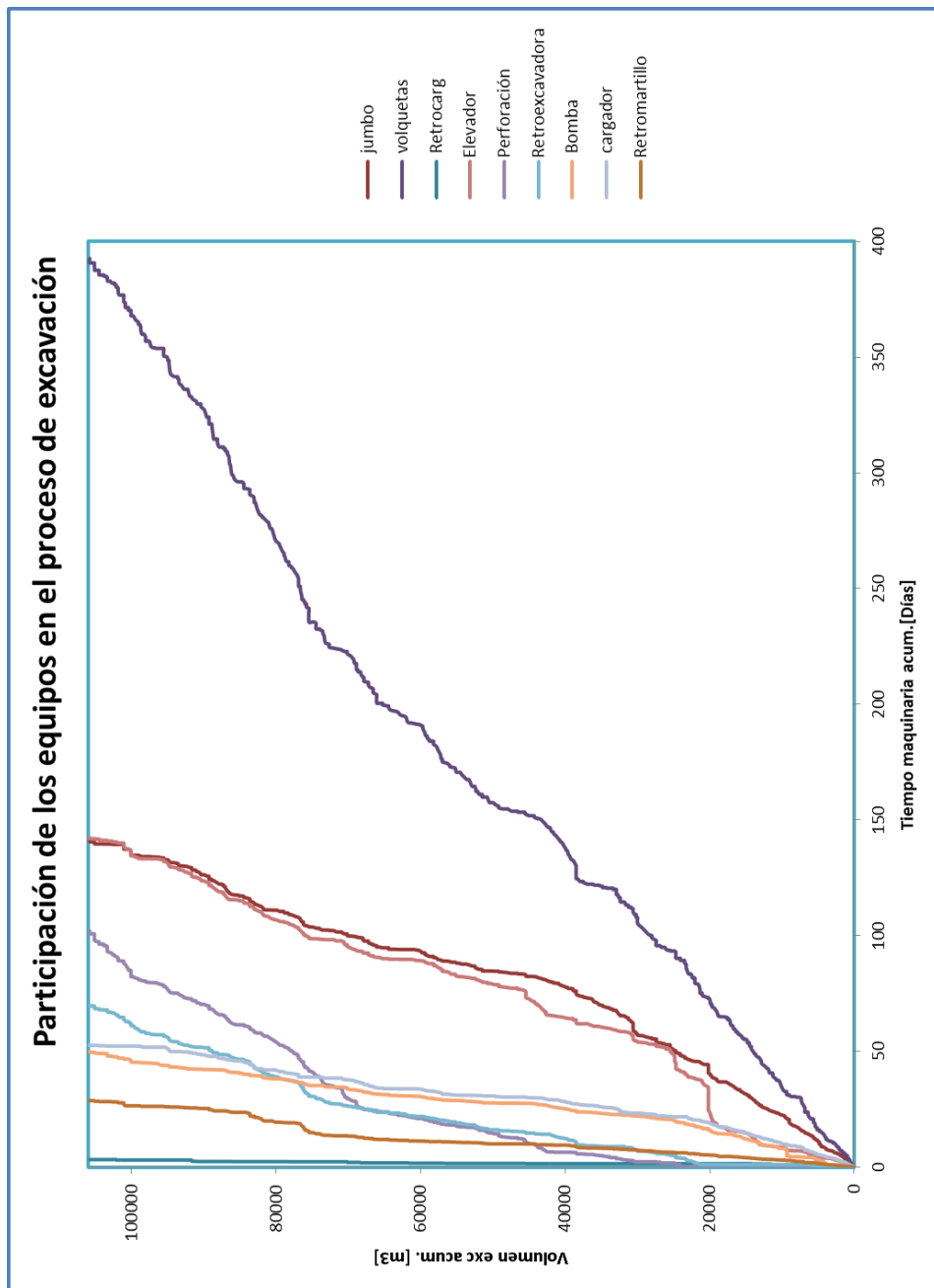
Anexo 13 Histogramas de frecuencias y gráficas del tiempo de rezaga Vs tiempo cronológico para cada contrafuerte.



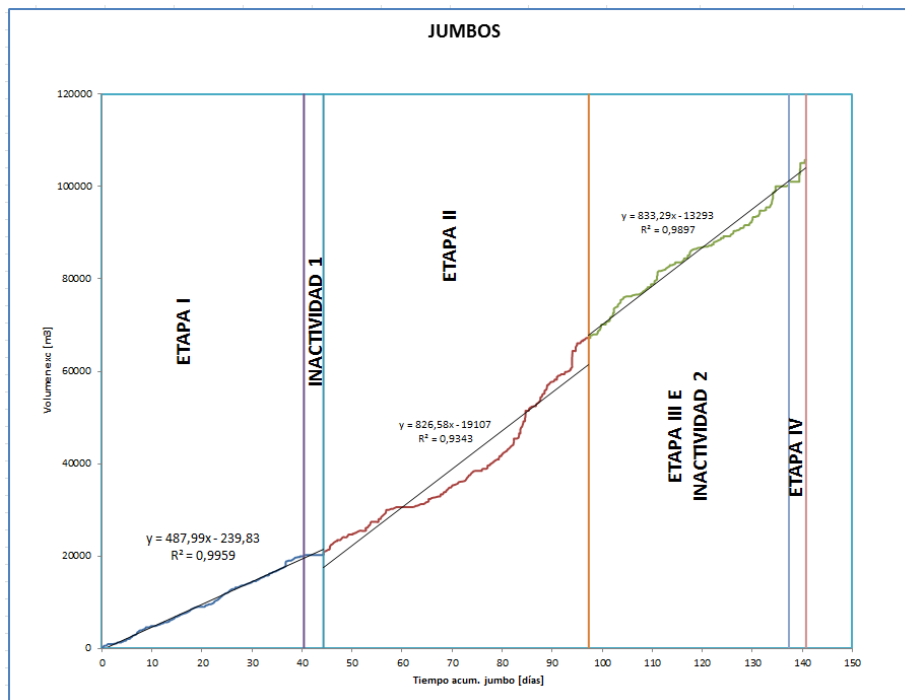
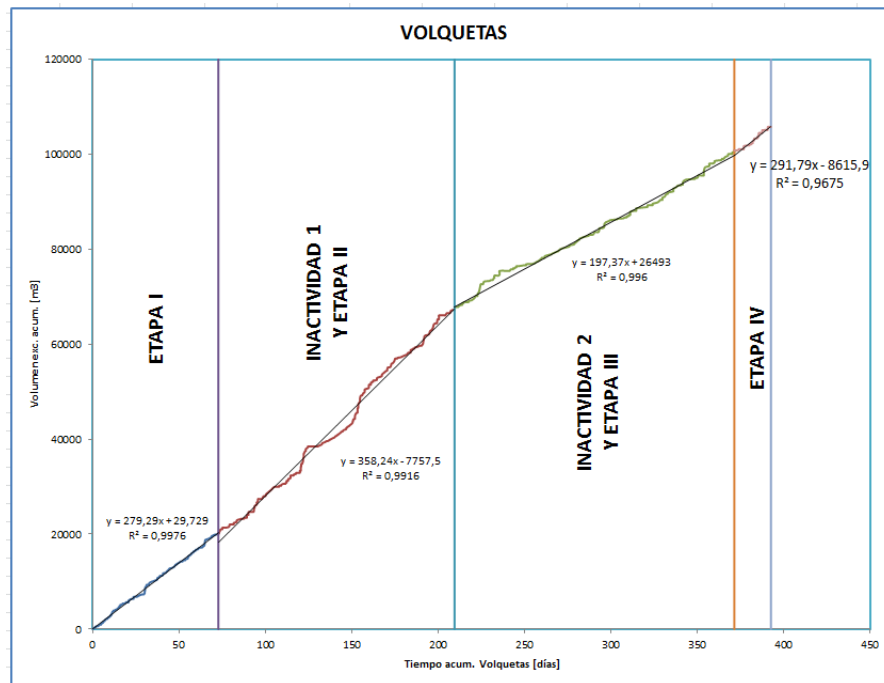
Anexo 14 Hoja de cálculo con el registro de la maquinaria utilizada y el número de horas trabajadas.

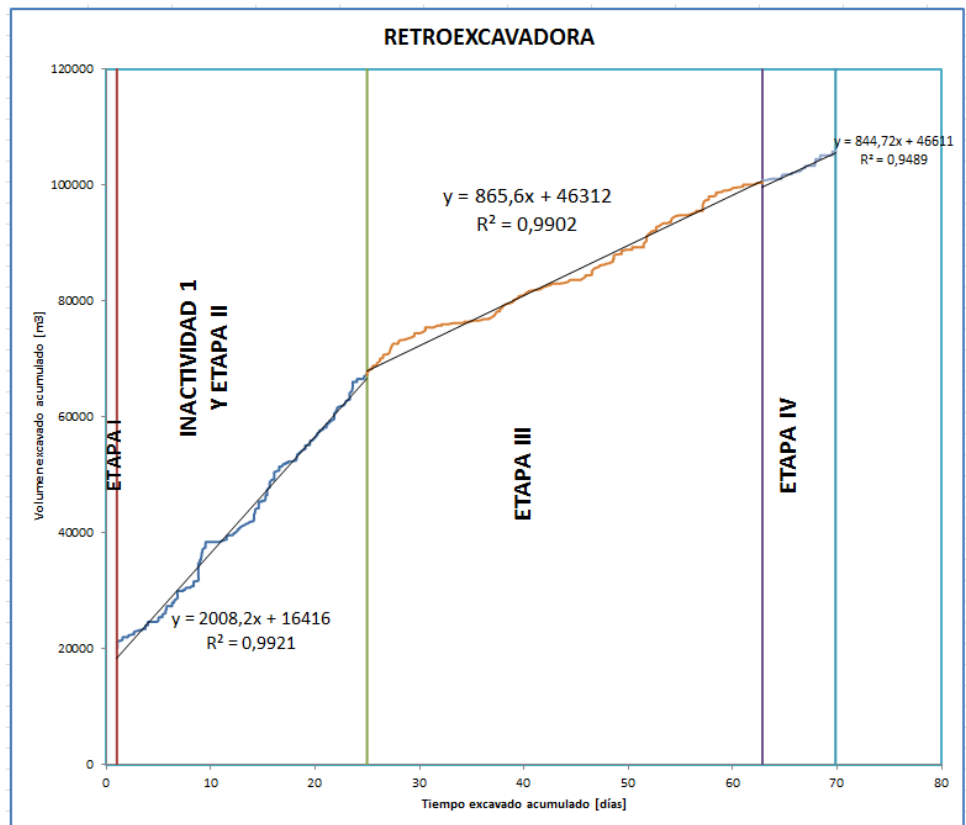
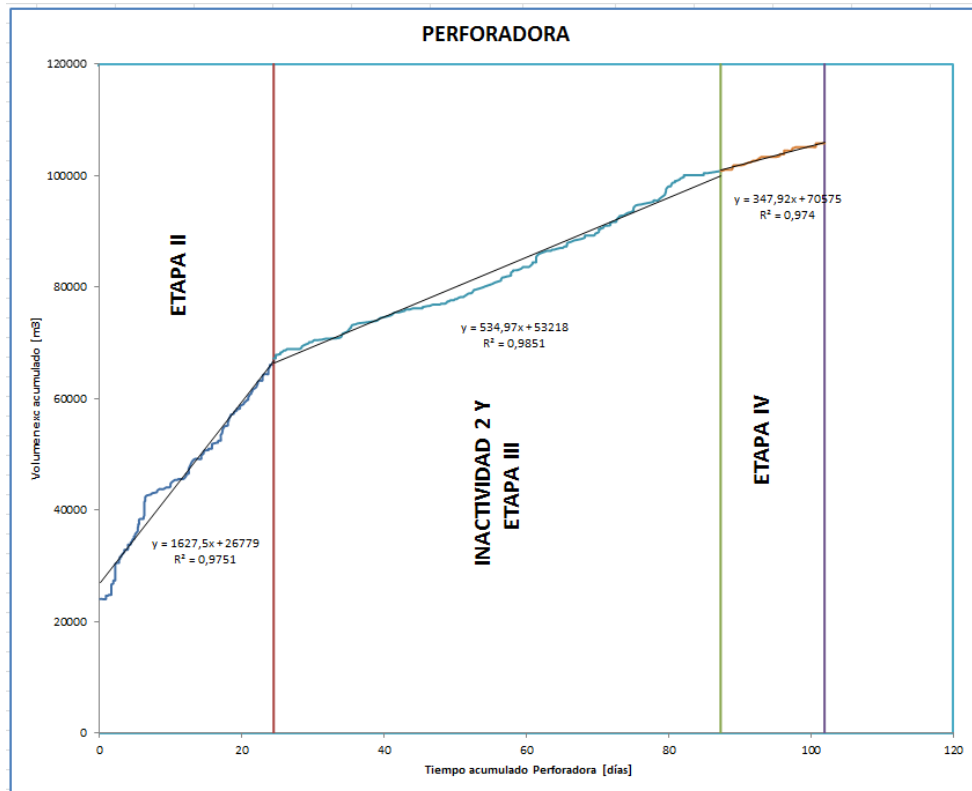
The image shows a large grid for recording machinery usage and hours worked. The grid is divided into four horizontal sections by three thick black lines. On the left side, there is a vertical column with a blue background containing the following text, repeated in each section: **Equipo**. The grid is otherwise empty, with only some faint, illegible markings in the bottom right corner of the bottom-most section.

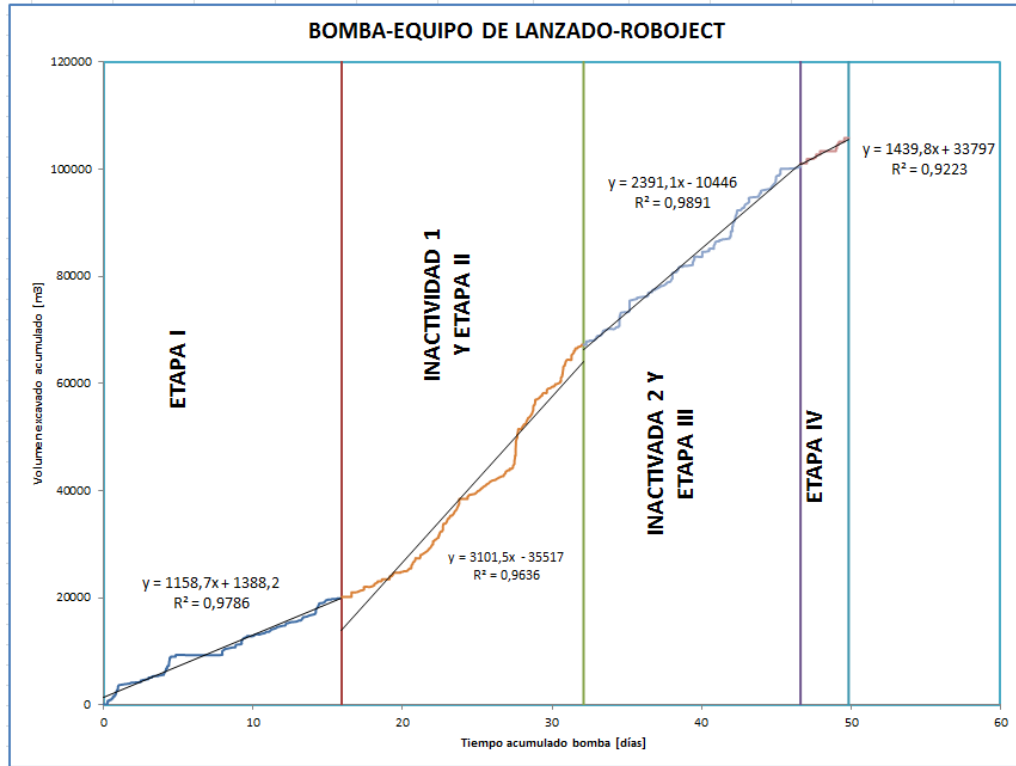
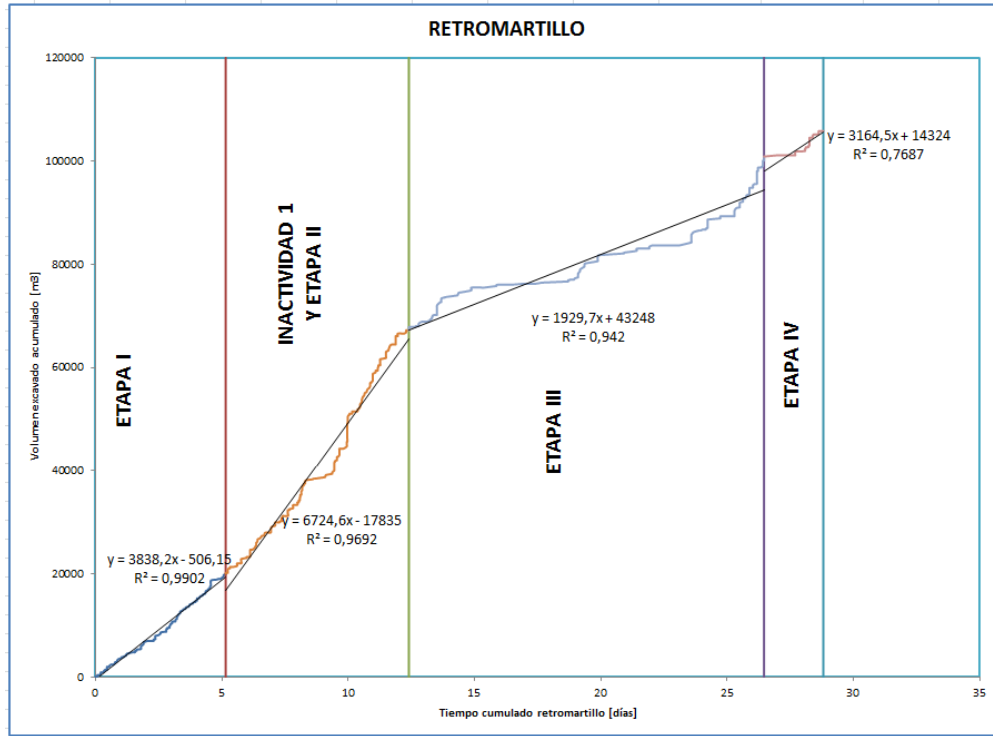
Anexo 15 Participación de los equipos en el proceso de excavación.

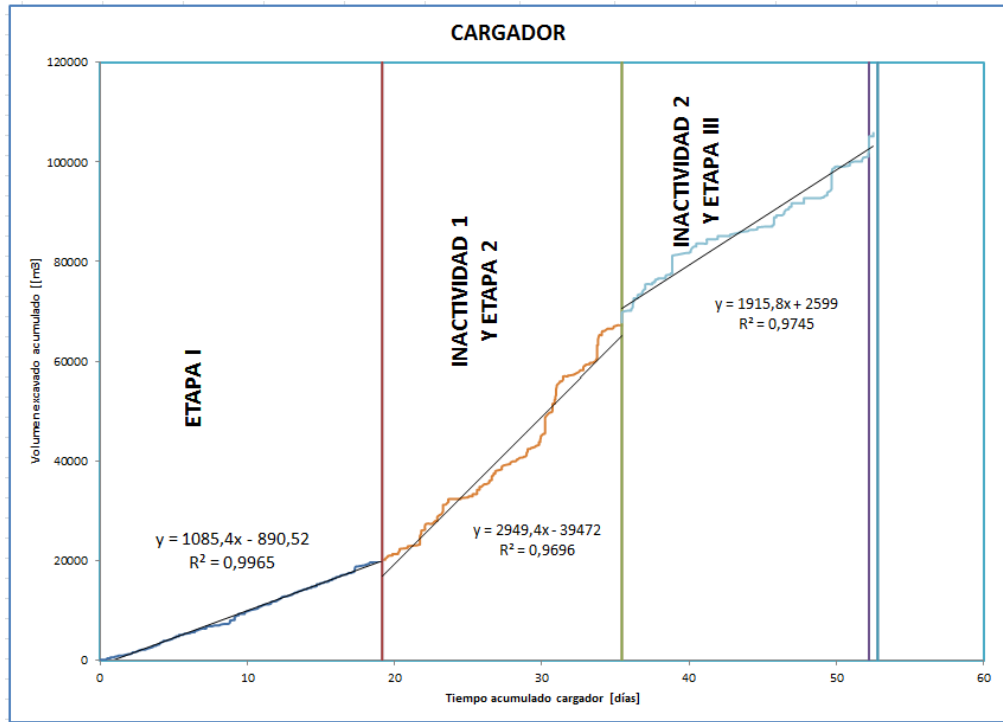
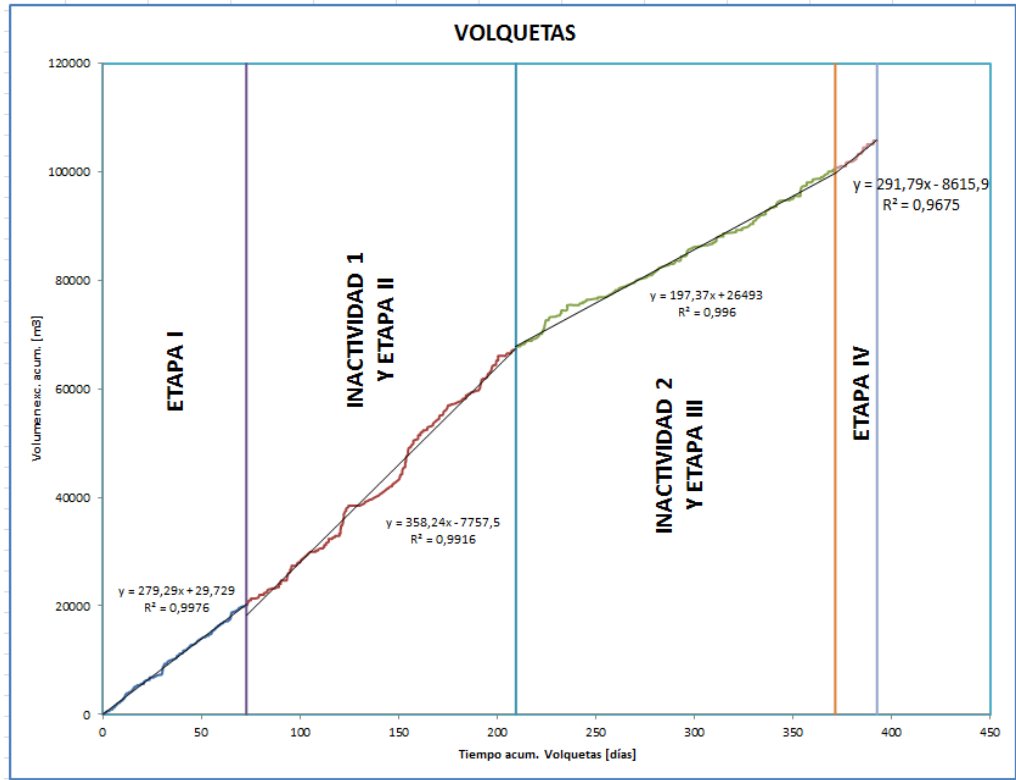


Anexo 16 Gráficas del volumen excavado acumulado Vs tiempo acumulado de la maquinaria para todos los equipos.





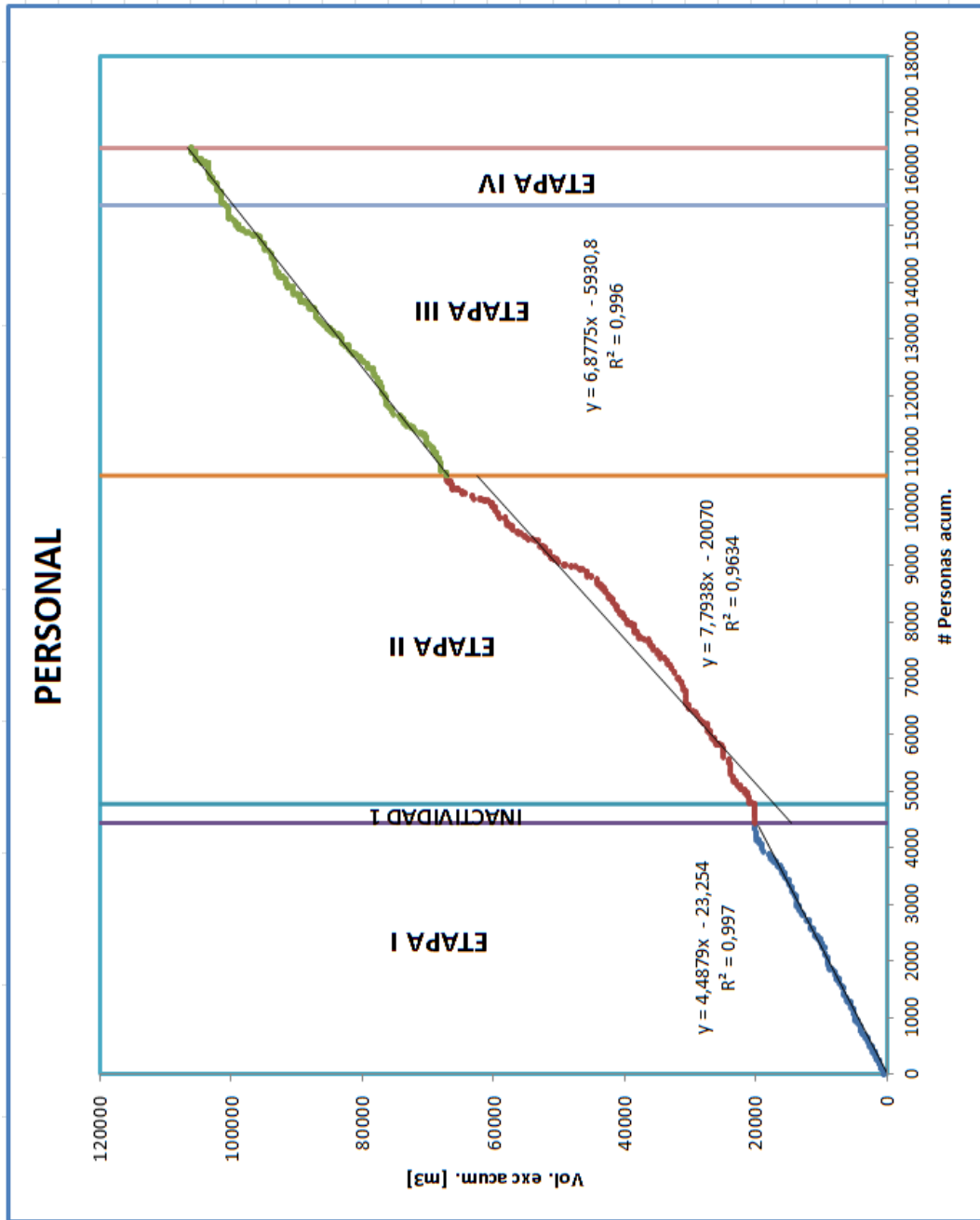




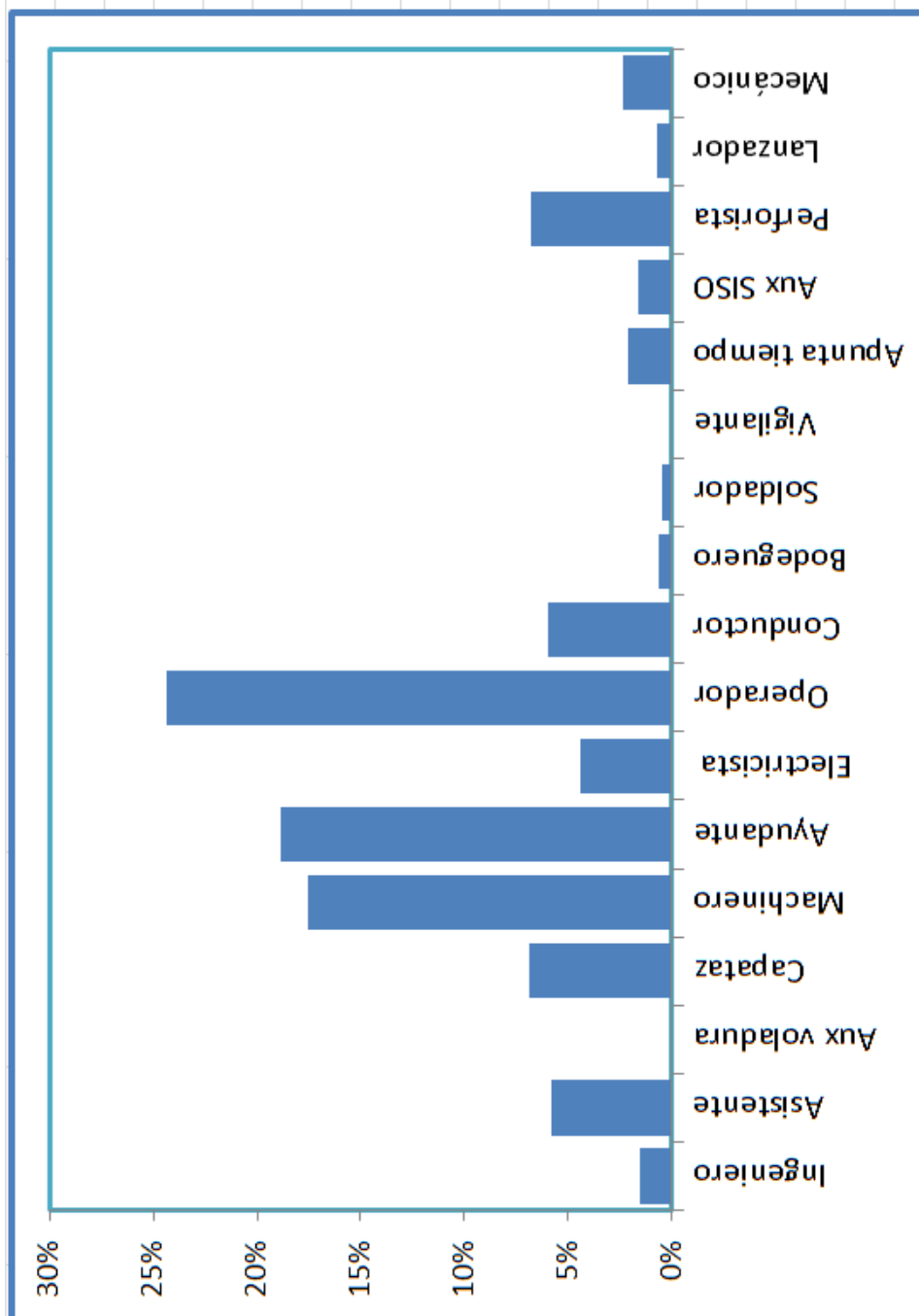
Anexo 17 Hoja de cálculo con el registro del personal utilizado durante la excavación de caverna de máquinas.

The image shows a large, empty spreadsheet grid. The grid is mostly blank, with some faint text visible in the lower half. The grid is divided into several horizontal sections by light green lines. A blue vertical bar is on the left side, and a yellow vertical bar is in the middle. The grid is mostly empty, with some faint text visible in the lower half.

Anexo 18 Volumen excavado acumulado Vs Número de personas utilizadas acumuladas



Anexo 19 % de personas necesarias de cada cargo durante la excavación de caverna de máquinas.



Anexo 20 Tablas de los rendimientos de cada etapa con los recursos utilizados en caverna de máquinas.

ETAPA I

Bóveda y zona de transición

Rendimiento:	249,76	[m3/día]
Rendimiento:	0,236	[%/día]

Equipo	Cantidad	R2	1 m3		249,76 m3	
			Día de trabajo	Hrs de trabajo	Día de trabajo	Hrs de trabajo [c/una]
Jumbo	1	0,99	2,05E-03	0,0492	0,512	12,29
Retromartillo	1	0,99	2,61E-04	0,006264	0,065	1,56
Bomba	1	0,978	8,63E-04	0,020712	0,216	5,17
Volquetas	4	0,99	3,58E-03	0,08592	0,894	5,52
Elevador	1	0,97	9,63E-04	0,023112	0,241	5,77
Cargador	1	0,99	9,21E-04	0,022104	0,230	5,52

	R2	1 m3	249,76 m3
Personal	0,99	0,222821364	55,6518639

Personal	% de participación	249,76 m3	
Ingeniero	2%	0,86	1
Asistente	6%	3,22	3
Aux voladura	0%	0,01	0
Capataz	7%	3,84	4
Machinero	18%	9,78	10
Ayudante	19%	10,49	10
Electricista	4%	2,44	2
Operador	24%	13,54	14
Conductor	6%	3,30	3
Bodeguero	1%	0,35	0
Soldador	0%	0,25	0
Vigilante	0%	0,00	0
Apunta tiempo	2%	1,18	1
Aux SISO	2%	1,18	1
Perforista	7%	3,76	4
Lanzador	1%	0,41	0
Mecánico	2%	1,18	1

ETAPA II

Banqueos hasta zona de montaje

Rendimiento:	355,024	[m3/día]
Rendimiento:	0,33	[%/día]

Equipo	Cantidad	R2	1 m3		355,024 m3	
			Día de trabajo	Hrs de trabajo	Día de trabajo	Hrs de trabajo [c/una]
Jumbo	1	0,93	1,21E-03	0,02904	0,430	10,31
Perforadora	1	0,97	6,14E-04	0,014736	0,218	5,23
Retromartillo	1	0,96	1,49E-04	0,003576	0,053	1,27
Bomba	1	0,96	3,22E-04	0,007728	0,114	2,74
Volquetas	6	0,99	2,79E-03	0,06696	0,991	4,24
Elevador	1	0,99	1,19E-03	0,02856	0,422	10,14
Cargador	1	0,96	3,39E-04	0,008136	0,120	2,89
Retroexcavadora	1	0,99	4,98E-04	0,011952	0,177	4,24

	R2	1 m3	355,024 m3
Personal	0,963	0,128307116	45,55210552

Personal	% de participación	355,024 m3	
Ingeniero	2%	0,701272563	1
Asistente	6%	2,635337768	3
Aux voladura	0%	0,005565655	0
Capataz	7%	3,13902957	3
Machinero	18%	8,006195099	8
Ayudante	19%	8,585023247	9
Electricista	4%	2,000853068	2
Operador	24%	11,08400246	11
Conductor	6%	2,704908459	3
Bodeguero	1%	0,283848419	0
Soldador	0%	0,208712072	0
Vigilante	0%	0,002782828	0
Apunta tiempo	2%	0,965641189	1
Aux SISO	2%	0,965641189	1
Perforista	7%	3,080590189	3
Lanzador	1%	0,333999316	0
Mecánico	2%	0,965641189	1

ETAPA III

Excavación zona de unidades

Rendimiento:	239,71	[m3/día]
Rendimiento:	0,226	[%/día]

Equipo	Cantidad	R2	1m3		239,71m3	
			Día de trabajo	Hrs de trabajo	Día de trabajo	Hrs de trabajo [c/una]
Jumbo	1	0,969	1,20E-03	0,0288	0,288	6,90
Perforadora	1	0,98	1,87E-03	0,04488	0,448	10,76
Retromartillo	1	0,94	5,18E-04	0,012432	0,124	2,98
Bomba	1	0,98	4,18E-04	0,010032	0,100	2,40
Volquetas	5	0,99	1,16E-03	0,02784	0,278	6,67
Elevador	1	0,99	1,19E-03	0,02856	0,285	6,85
Cargador	1	0,97	5,22E-04	0,012528	0,125	3,00
Retroexcavadora	1	0,99	1,16E-03	0,02784	0,278	6,67

R2	1m3	249,76 m3
Personal	0,996	0,145560408
		34,8922853

Personal	% de participación	239,71m3	
Ingeniero	2%	0,537165123	1
Asistente	6%	2,018632426	2
Aux voladura	0%	0,004263215	0
Capataz	7%	2,404453407	2
Machinero	18%	6,132635152	6
Ayudante	19%	6,576009539	7
Electricista	4%	1,532625886	2
Operador	24%	8,490193191	8
Conductor	6%	2,071922617	2
Bodeguero	1%	0,217423978	0
Soldador	0%	0,159870572	0
Vigilante	0%	0,002131608	0
Apunta tiempo	2%	0,739667848	1
Aux SISO	2%	0,739667848	1
Perforista	7%	2,359689647	2
Lanzador	1%	0,255792916	0
Mecánico	2%	0,739667848	1

ETAPA IV

Excavación fosos y tanque de sentina

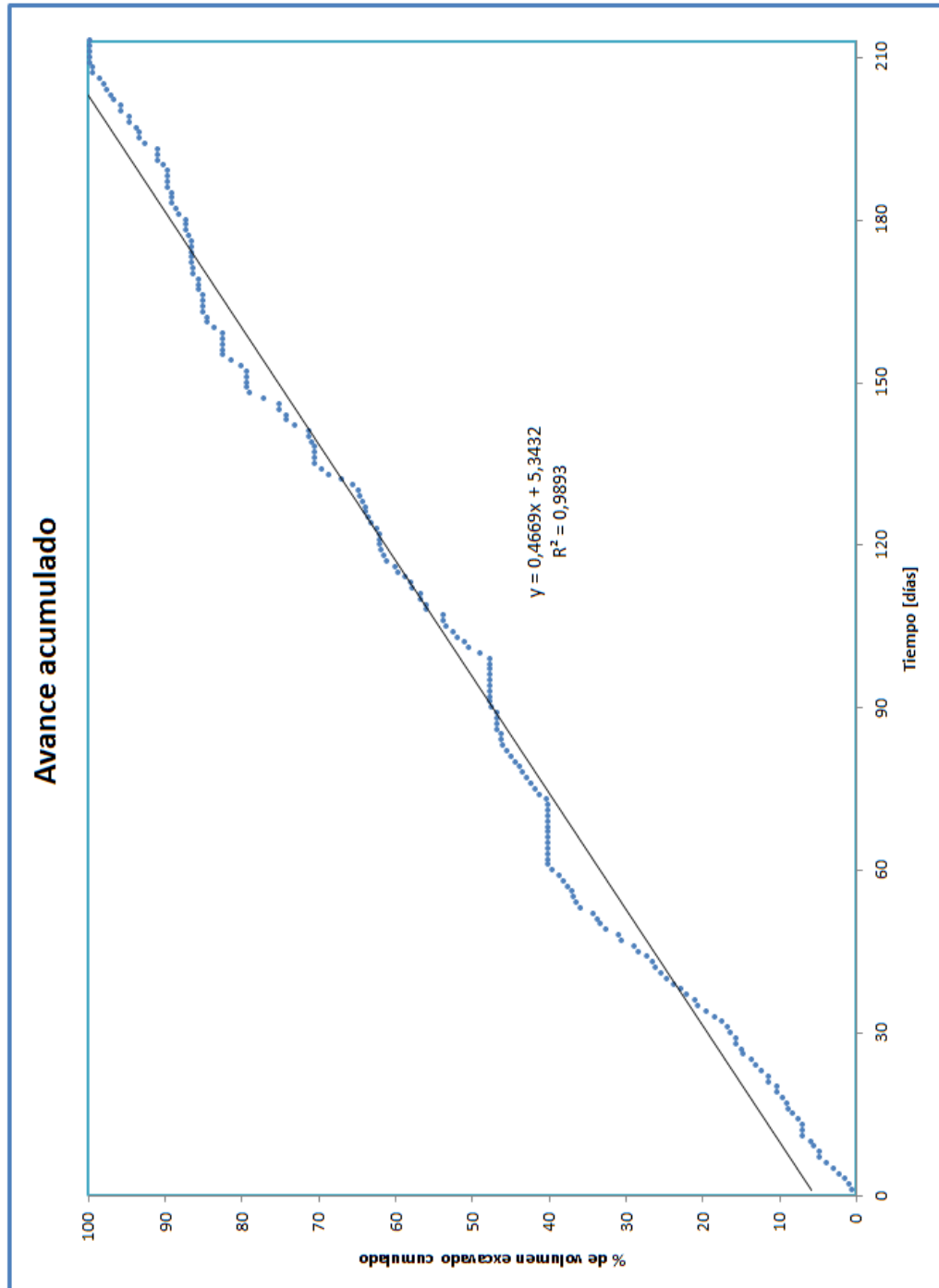
Rendimiento:	76,48	[m3/día]
Rendimiento:	0,0723	[%/día]

Equipo	Cantidad	R2	1m3		76,48 m3	
			Día de trabajo	Hrs de trabajo	Día de trabajo	Hrs de trabajo [c/una]
Jumbo	1	0,969	1,20E-03	0,0288	0,092	2,20
Perforadora	1	0,97	2,87E-03	0,06888	0,219	5,27
Retromartillo	1	0,76	3,16E-04	0,007584	0,024	0,58
Bomba	1	0,92	6,95E-04	0,01668	0,053	1,28
Volquetas	3	0,967	1,18E-03	0,02832	0,090	2,17
Elevador	1	0,99	1,19E-03	0,02856	0,091	2,18
Retroexcavadora	1	0,948	1,16E-03	0,02832	0,090	2,17

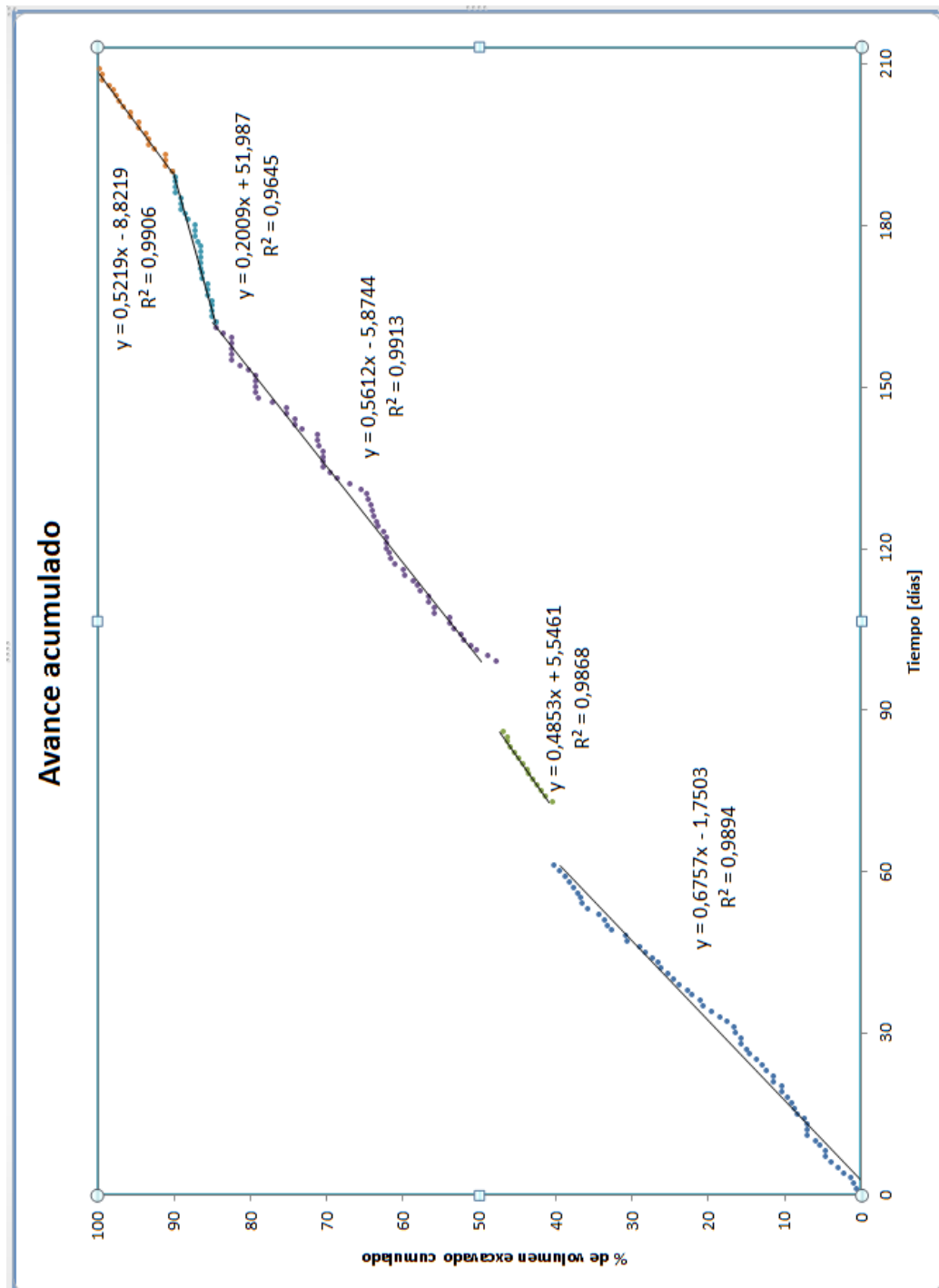
R2	1m3	76,48 m3
Personal	0,996	0,145560408
		11,13245997

Personal	% de participación	76,48 m3	
Ingeniero	2%	0,171383708	0
Asistente	6%	0,644049092	1
Aux voladura	0%	0,001360188	0
Capataz	7%	0,767146121	1
Machinero	18%	1,956630664	2
Ayudante	19%	2,098090232	2
Electricista	4%	0,488987642	0
Operador	24%	2,708814715	3
Conductor	6%	0,661051444	1
Bodeguero	1%	0,069369596	0
Soldador	0%	0,051007056	0
Vigilante	0%	0,000680094	0
Apunta tiempo	2%	0,235992645	0
Aux SISO	2%	0,235992645	0
Perforista	7%	0,752864145	1
Lanzador	1%	0,081611289	0
Mecánico	2%	0,235992645	0

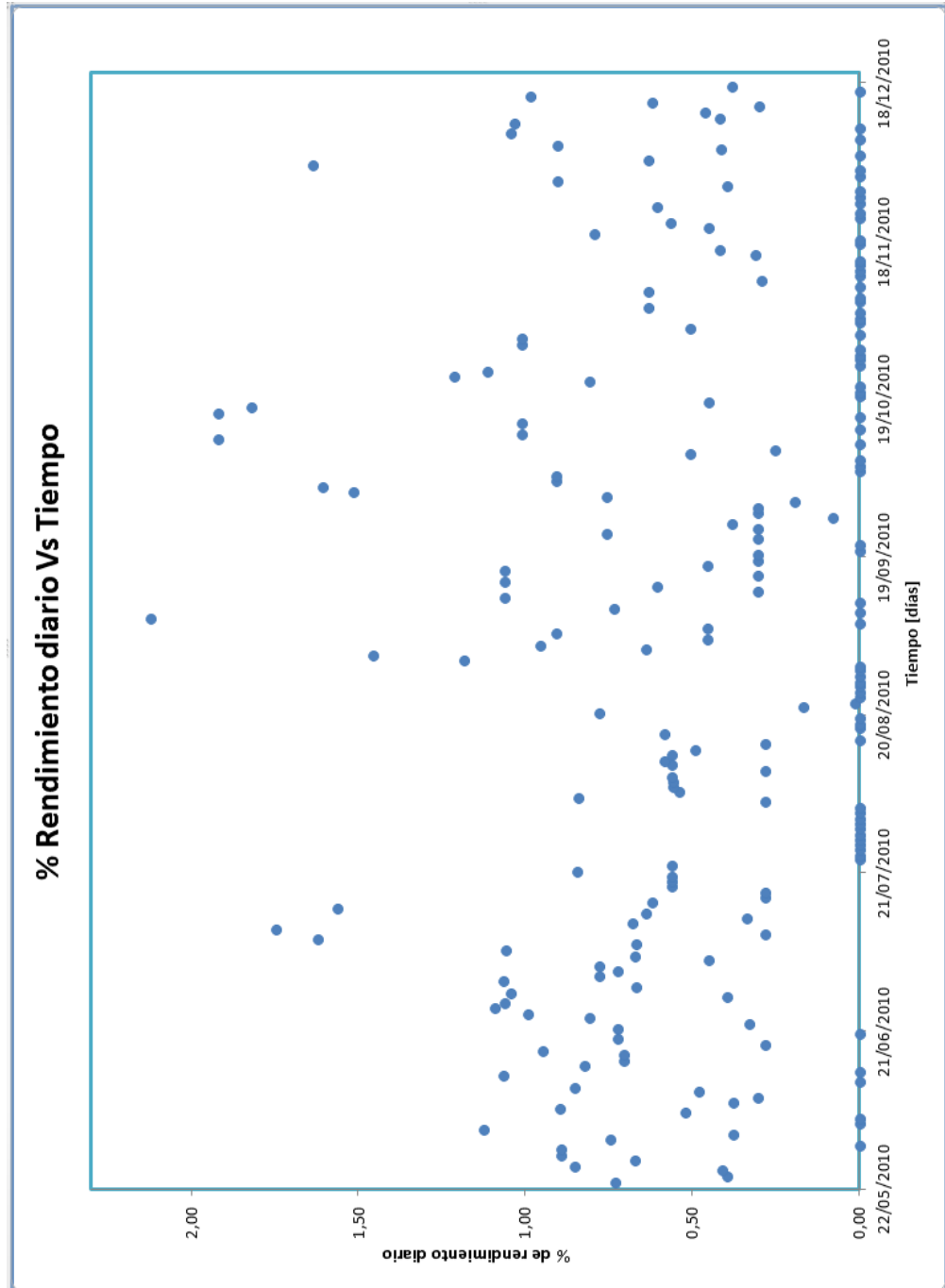
Anexo 21 Avance acumulado caverna de transformadores.



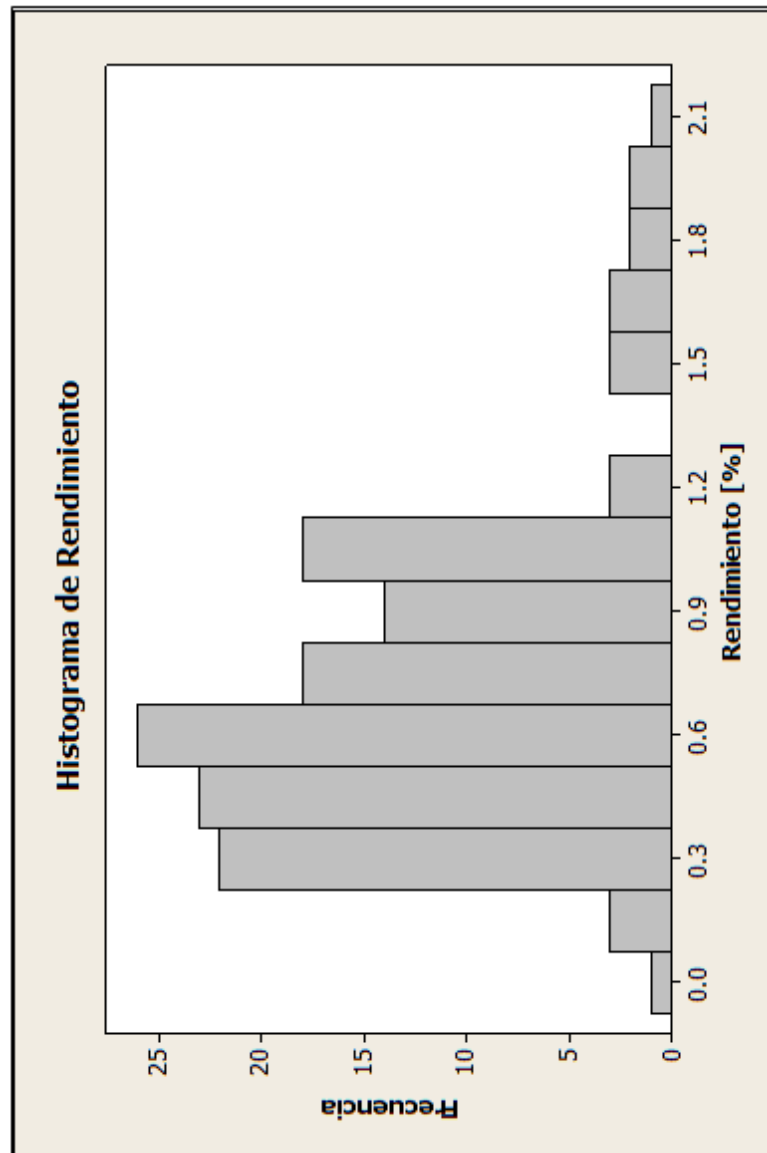
Anexo 22 Avance acumulado por tramos caverna de transformadores.



Anexo 23 % de Rendimiento diario excavado en caverna de transformadores.

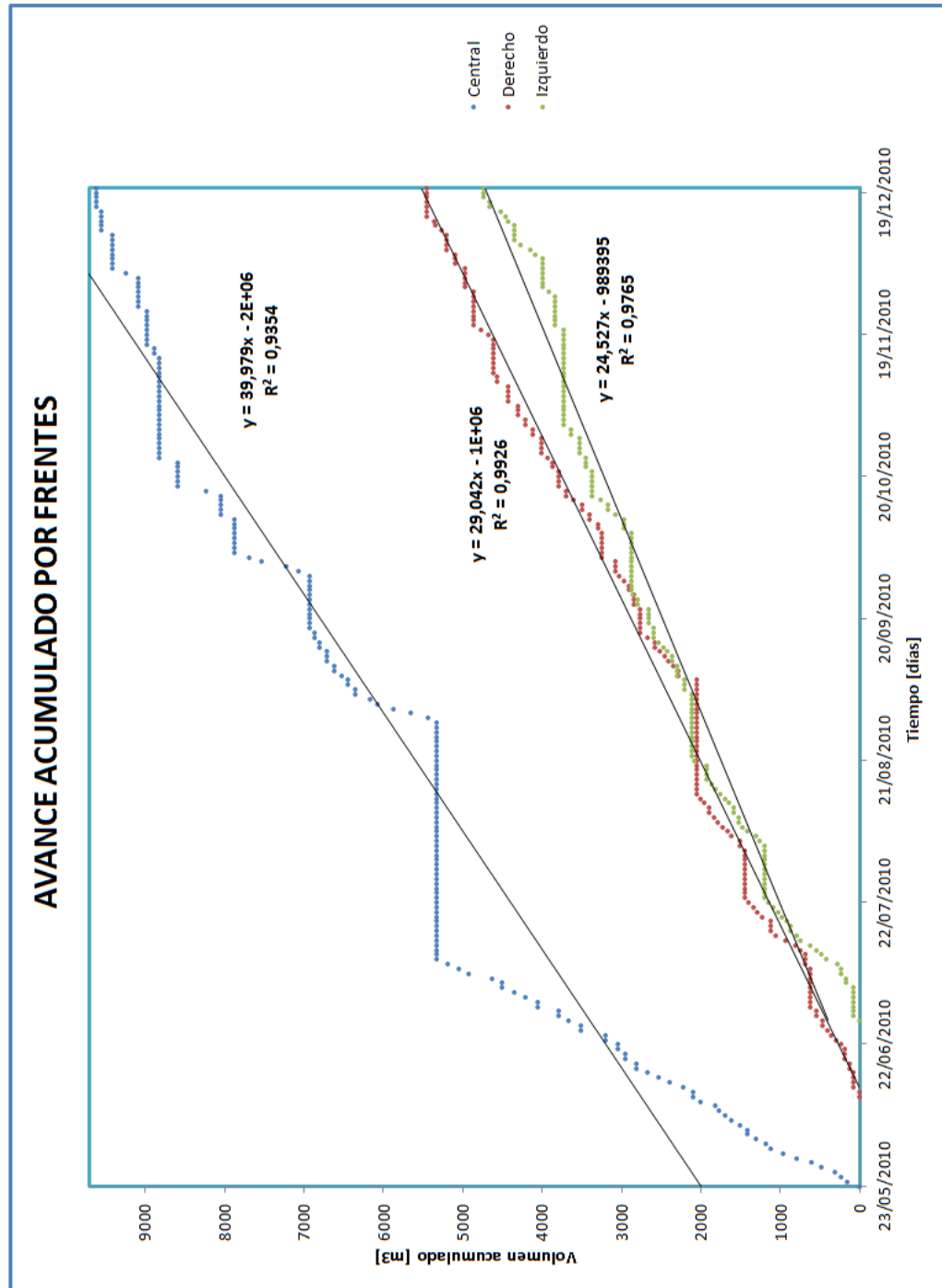


Anexo 24 Histograma de frecuencias de los % de rendimiento diario.

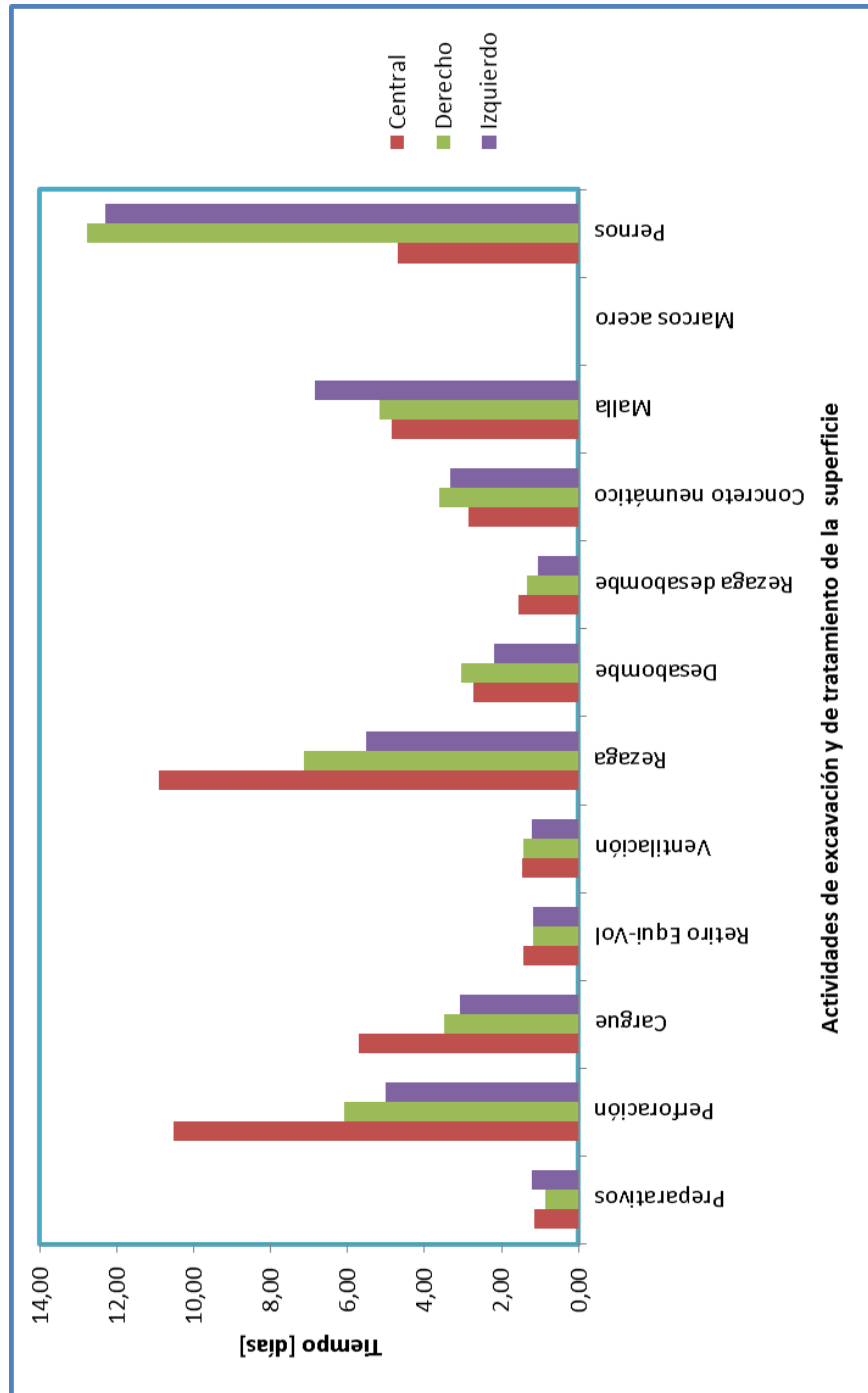


N : 139
Media : 0,719
Desv. Est : 0,4
Q1 : 0,401
Mediana : 0,636
Q3 : 0,909
Máximo : 2,122
 $\sigma - \bar{X} + \sigma$
0,31% - 1,119%

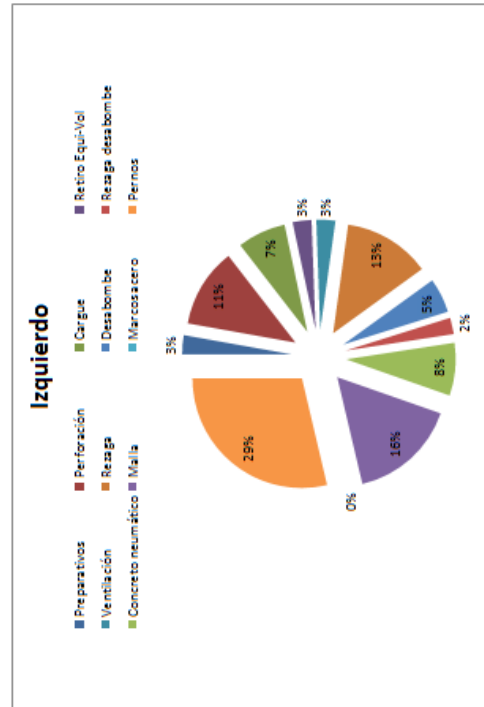
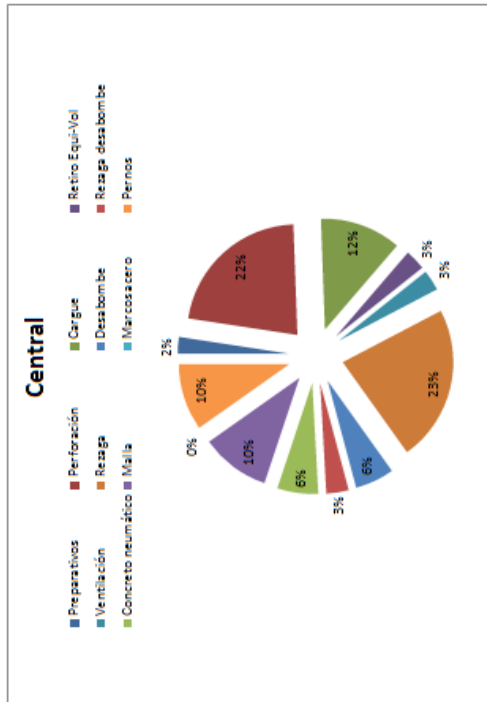
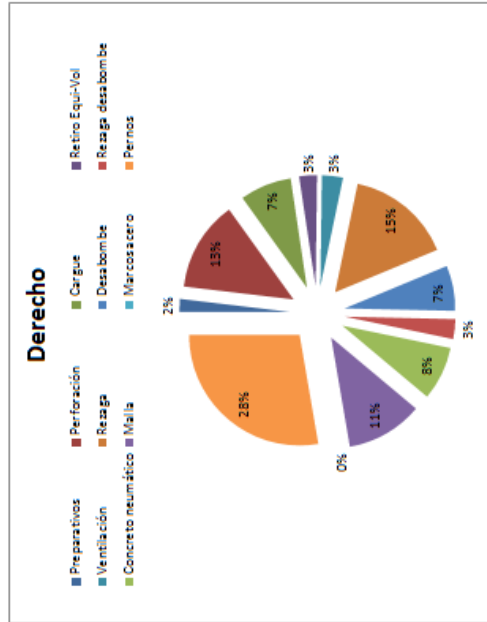
Anexo 25 Volumen excavado acumulado por contrafuertes.



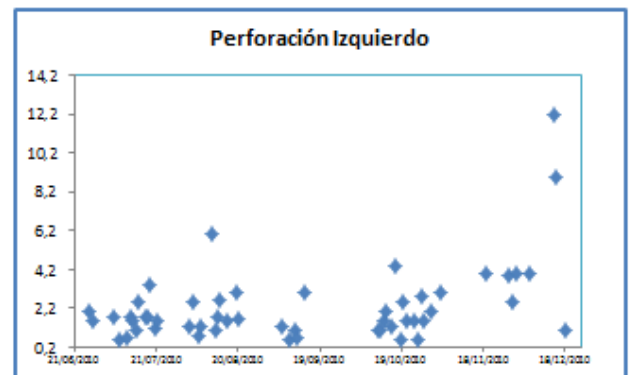
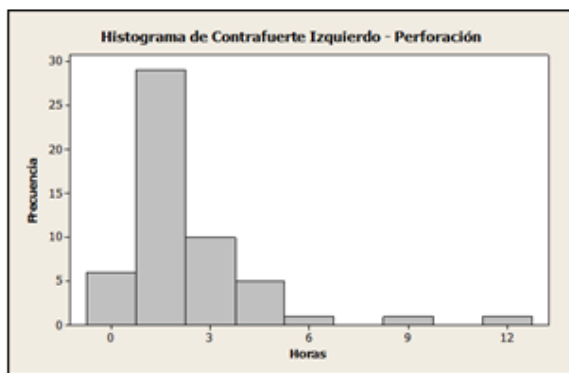
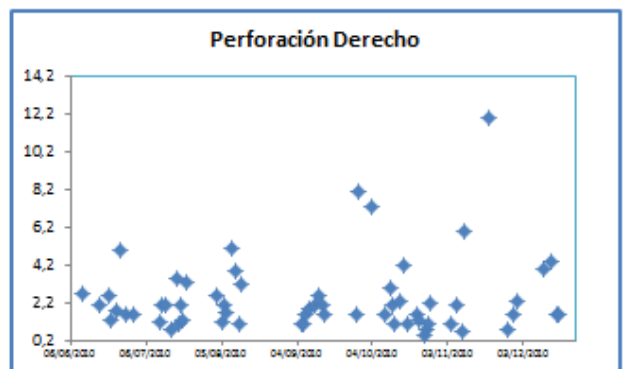
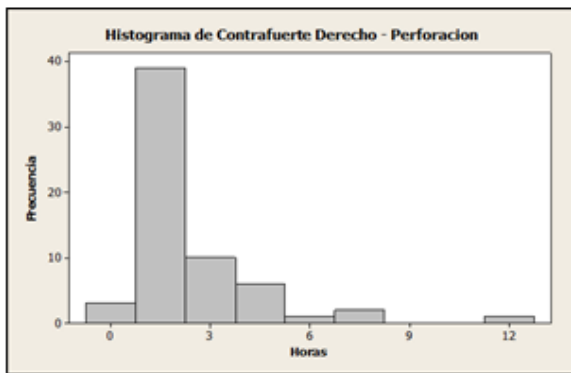
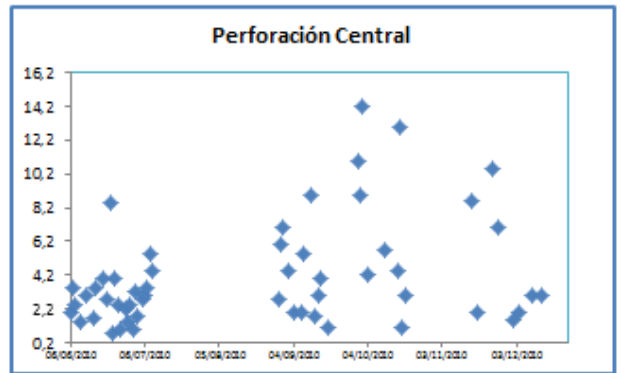
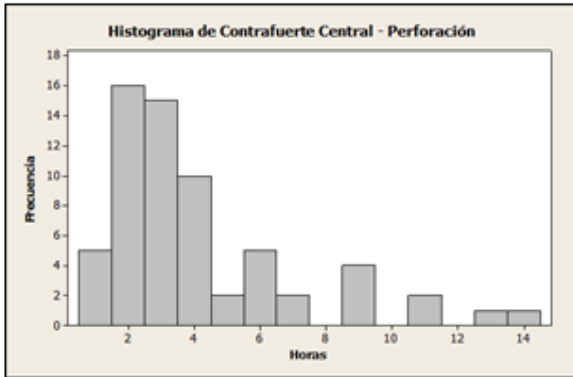
Anexo 26 Duración de cada actividad del ciclo de excavación y tratamiento superficial.



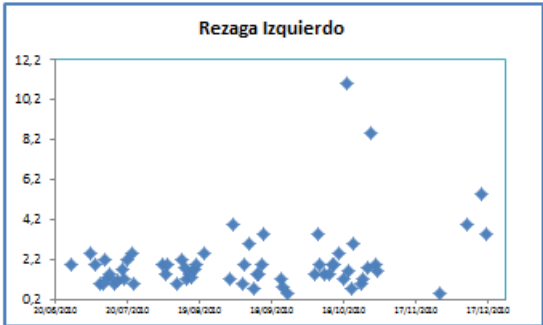
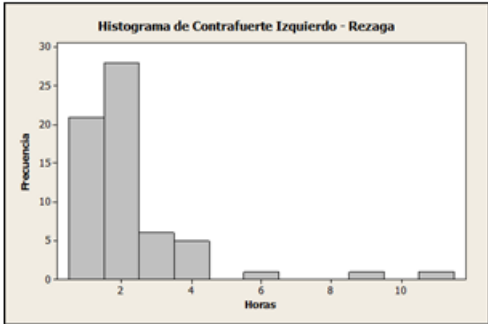
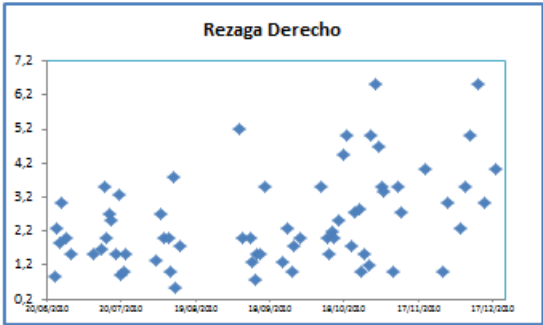
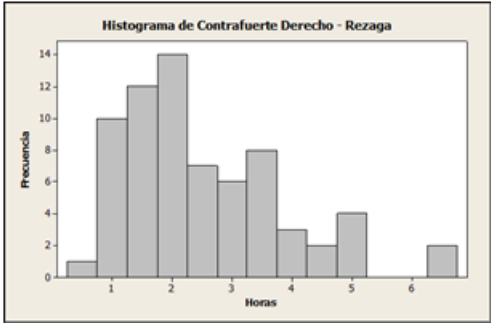
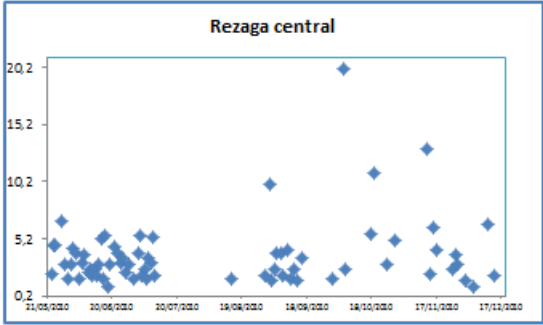
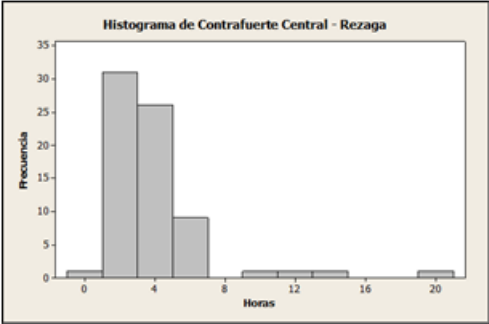
Anexo 27 Duración de cada actividad del ciclo de excavación y tratamiento superficial por contrafuertes.



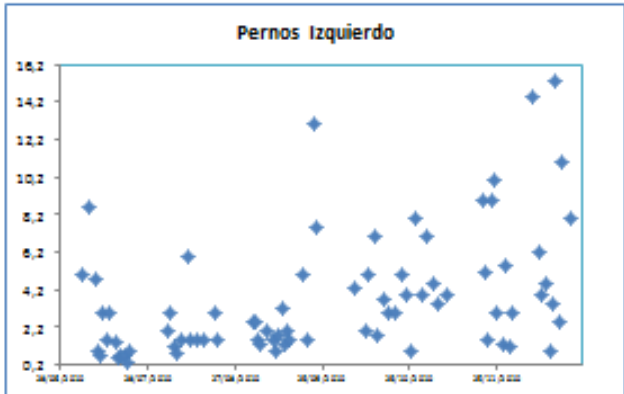
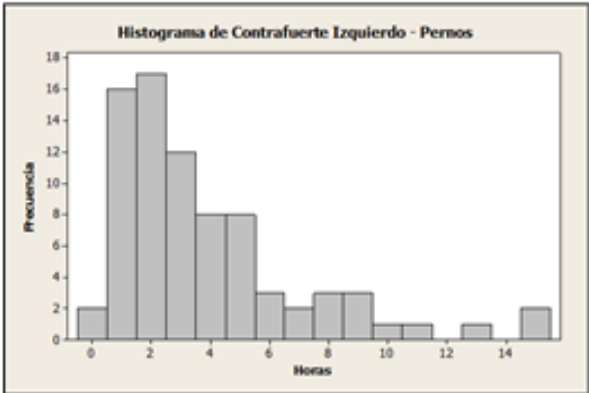
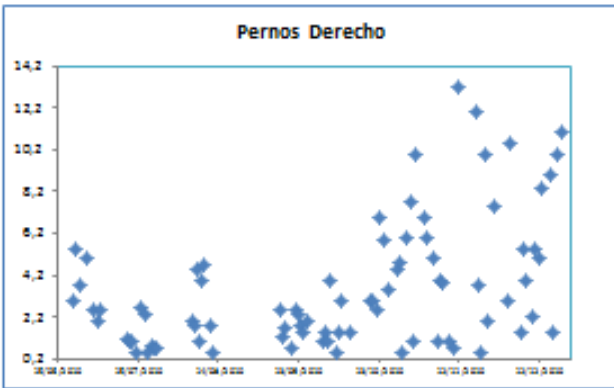
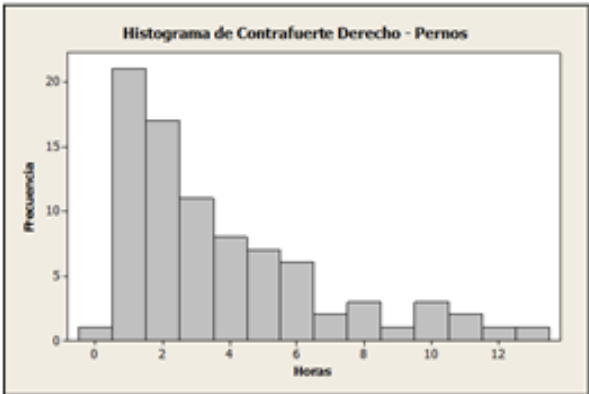
Anexo 28 Histogramas de frecuencias y gráficas del tiempo de perforación Vs tiempo cronológico para cada contrafuerte.



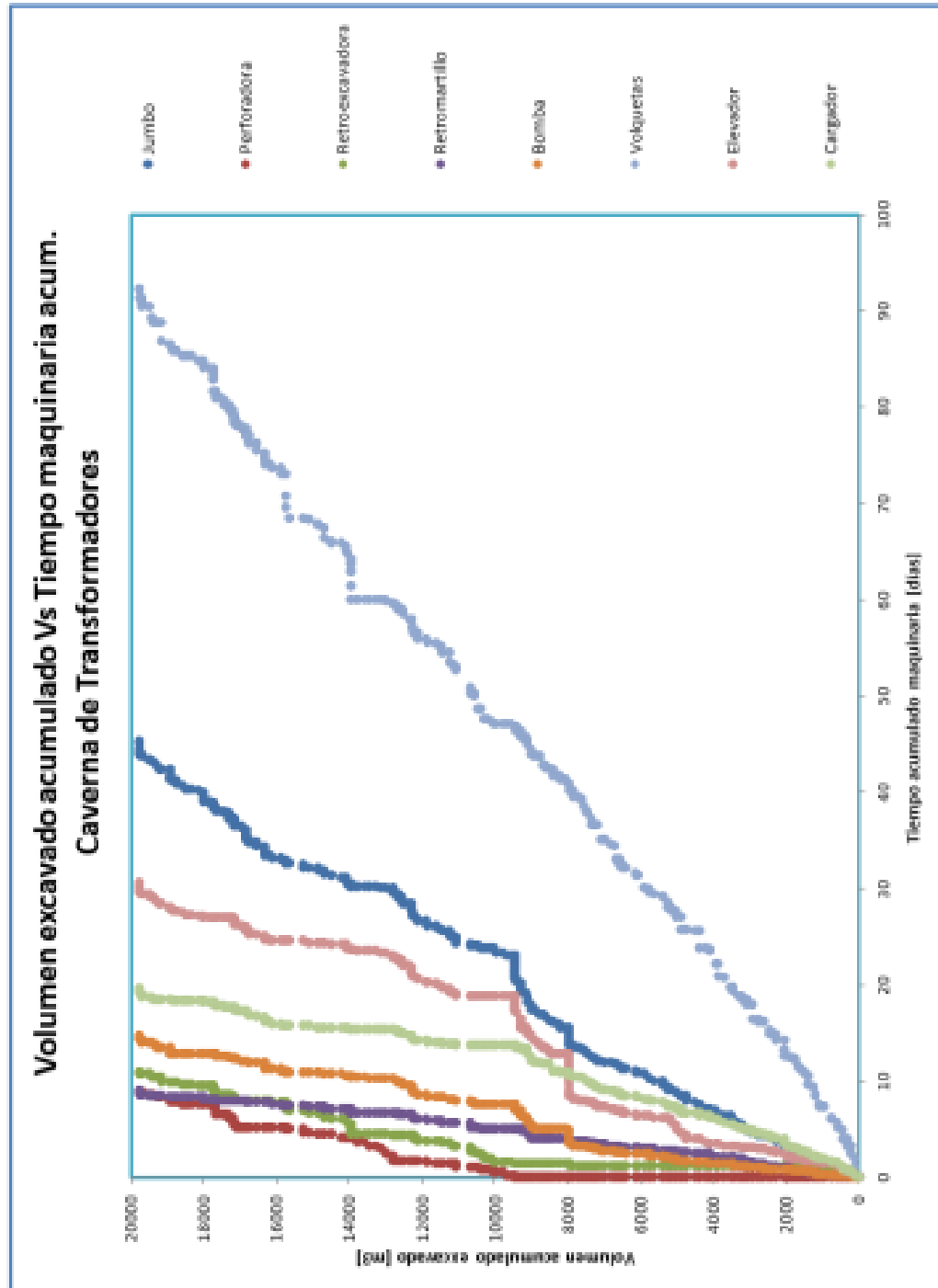
Anexo 29 Histogramas de frecuencias y gráficas del tiempo de rezaga Vs tiempo cronológico para cada contrafuerte.



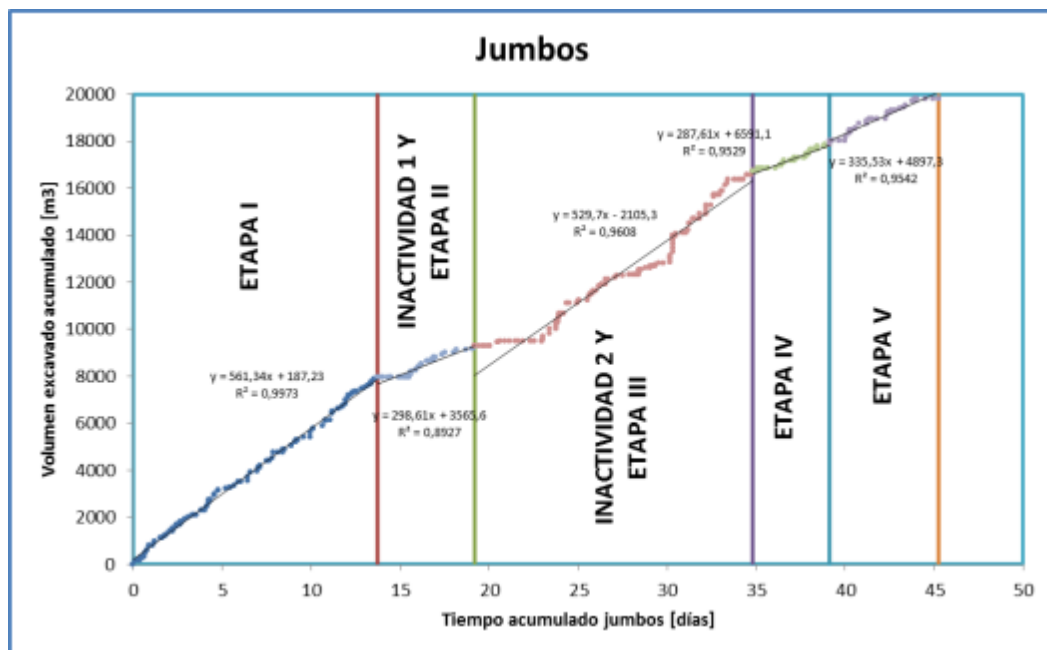
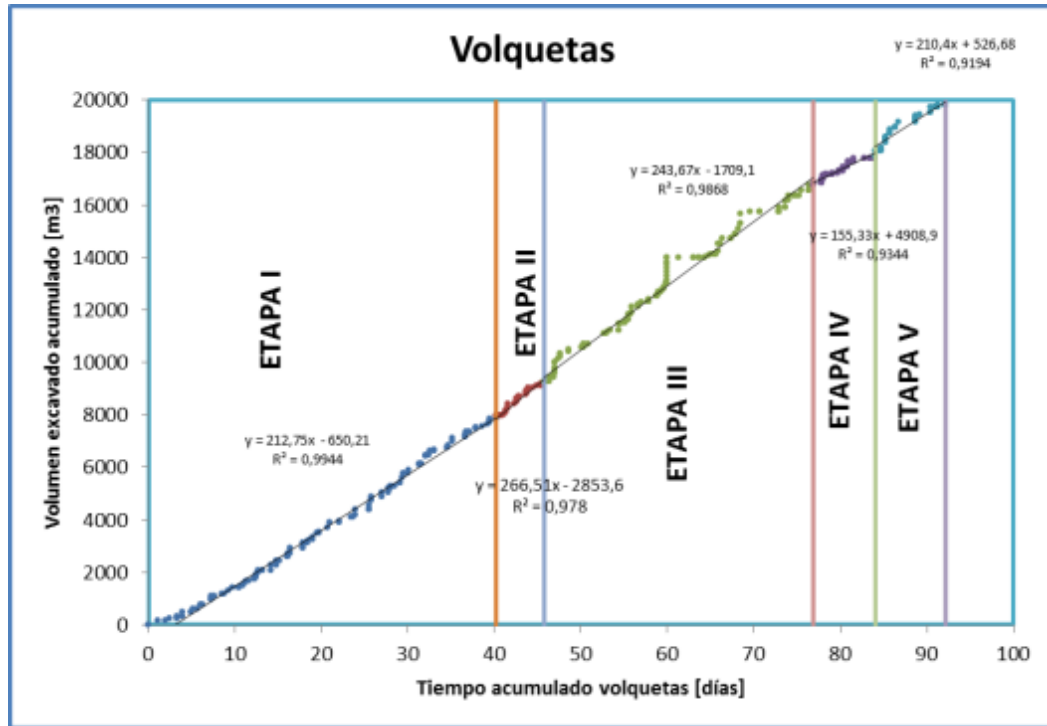
Anexo 30 Histogramas de frecuencias y gráficas del tiempo de pernos Vs tiempo cronológico para cada contrafuerte.

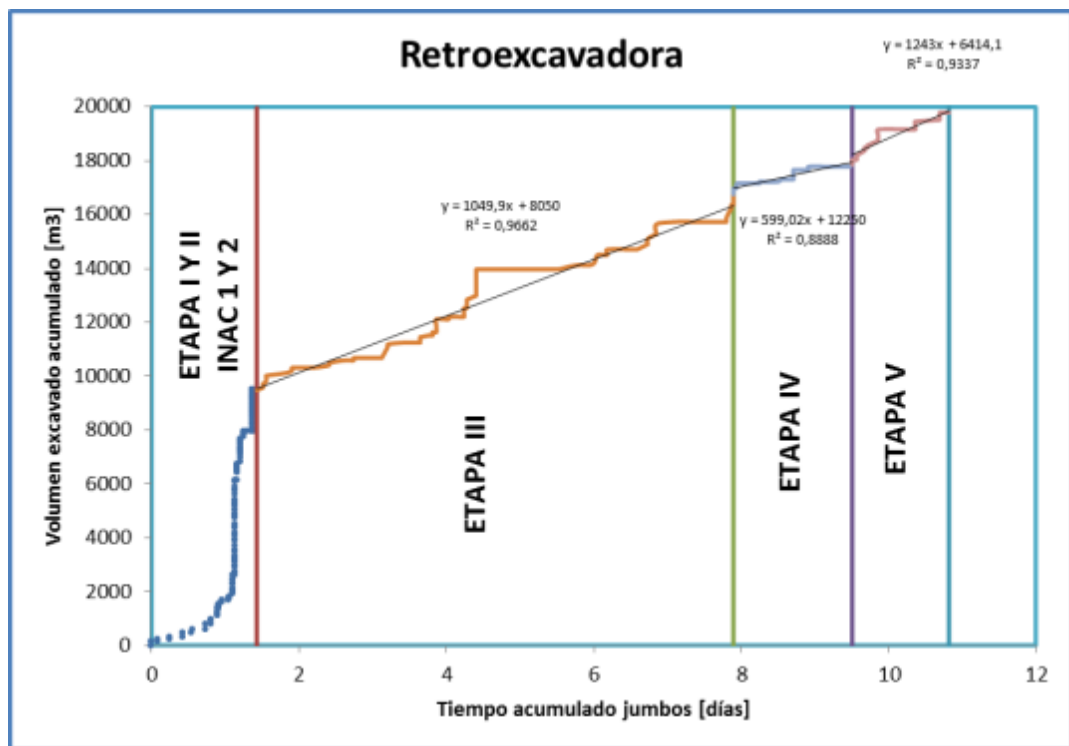
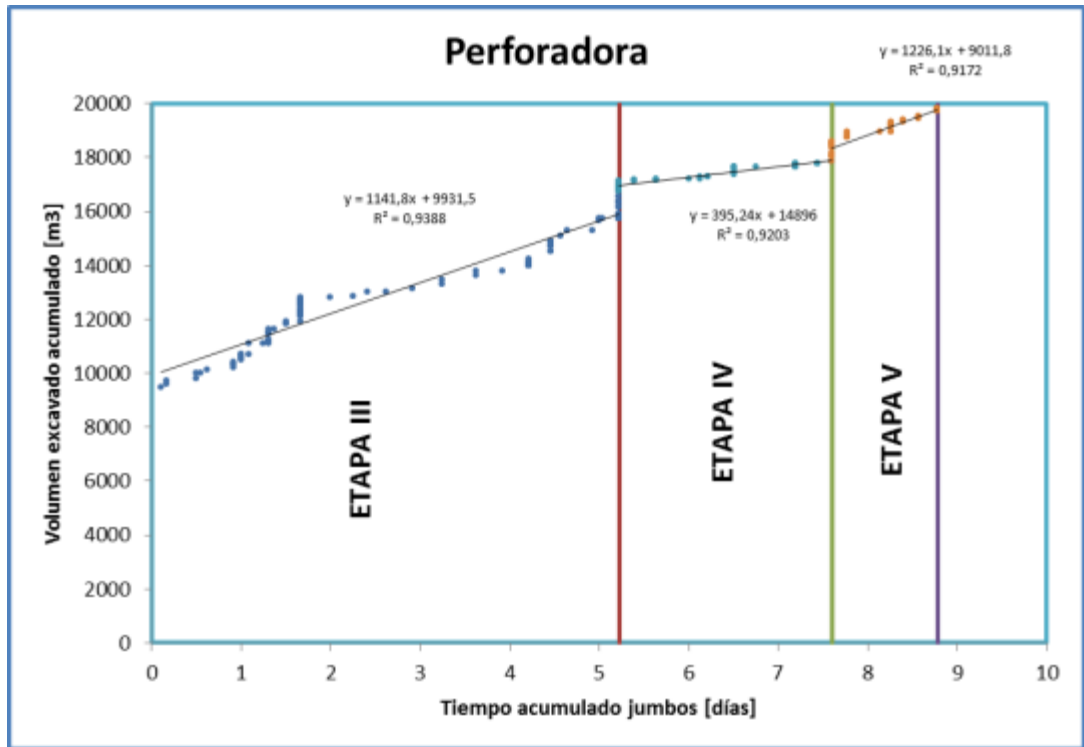


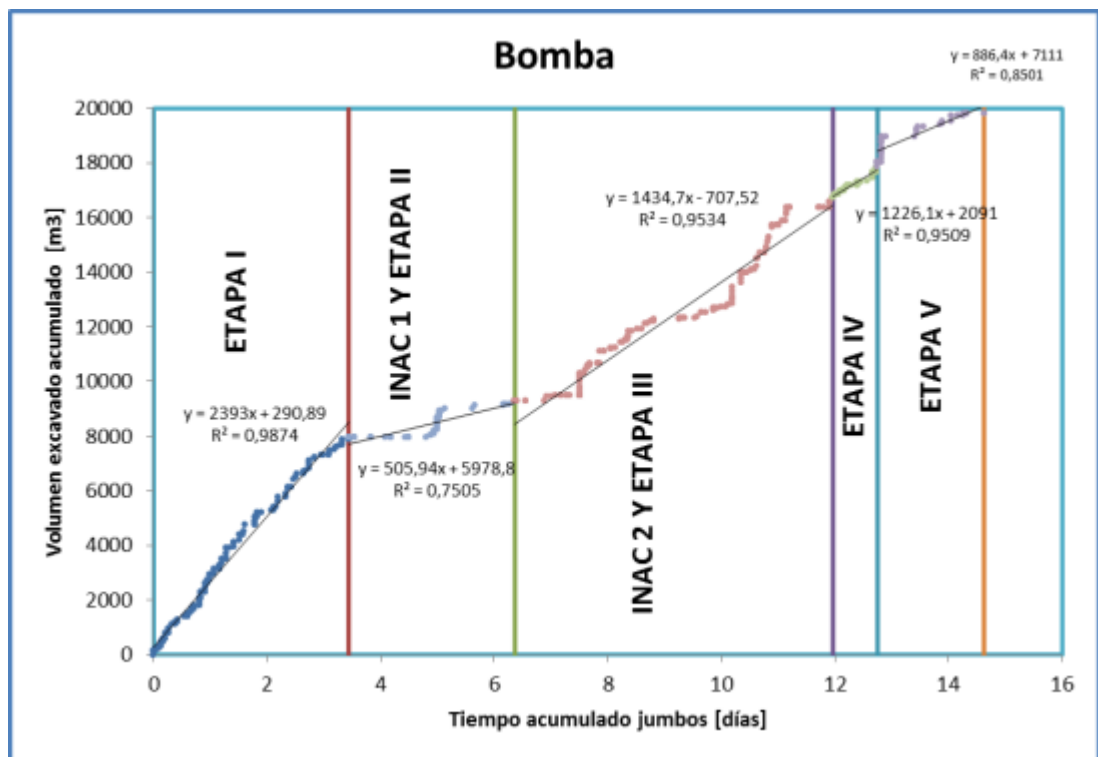
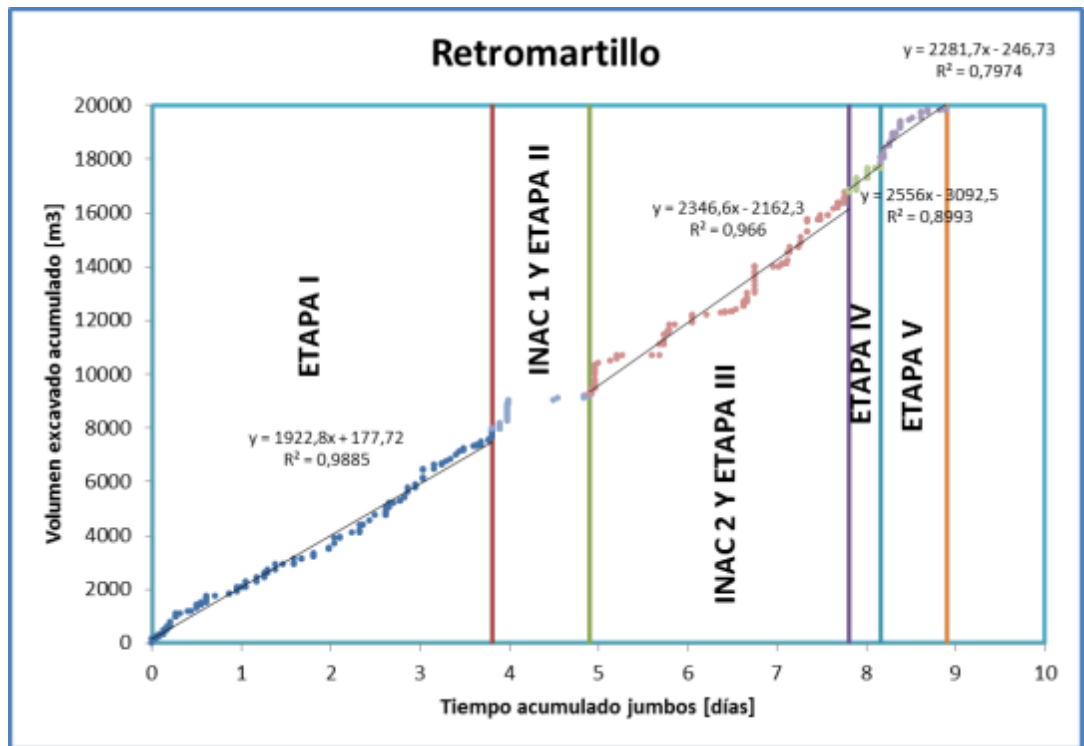
Anexo 31 Participación de los equipos en el proceso de excavación.

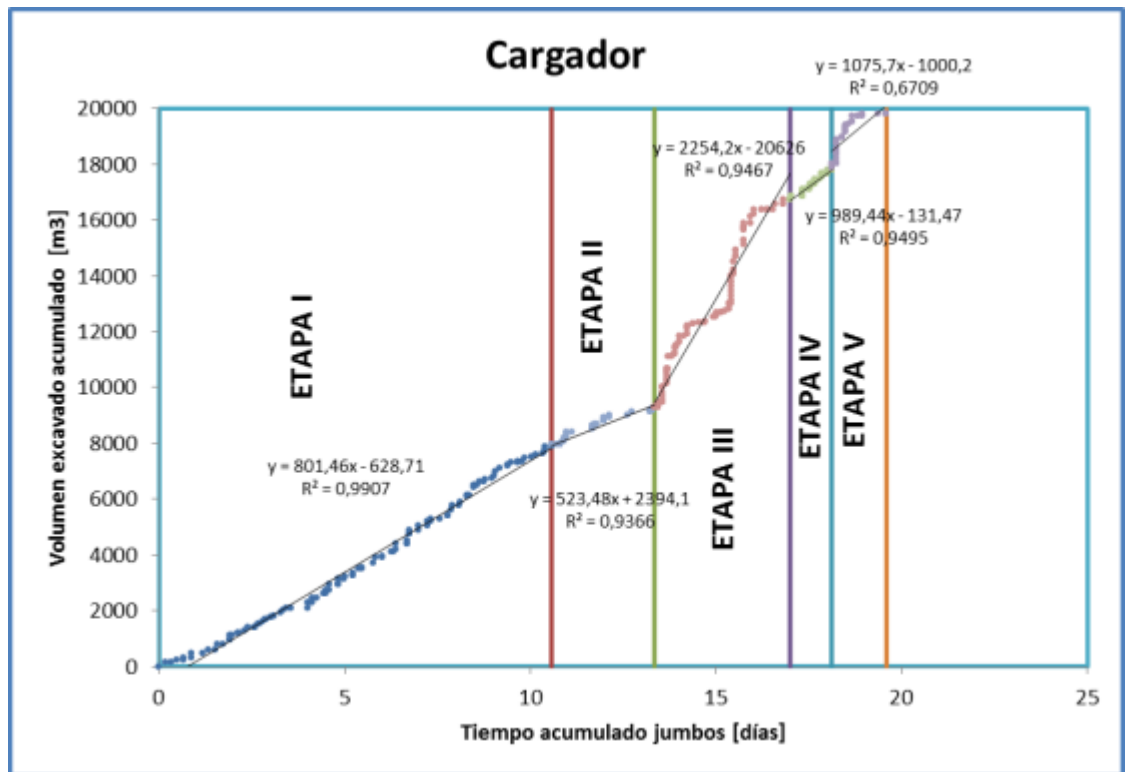
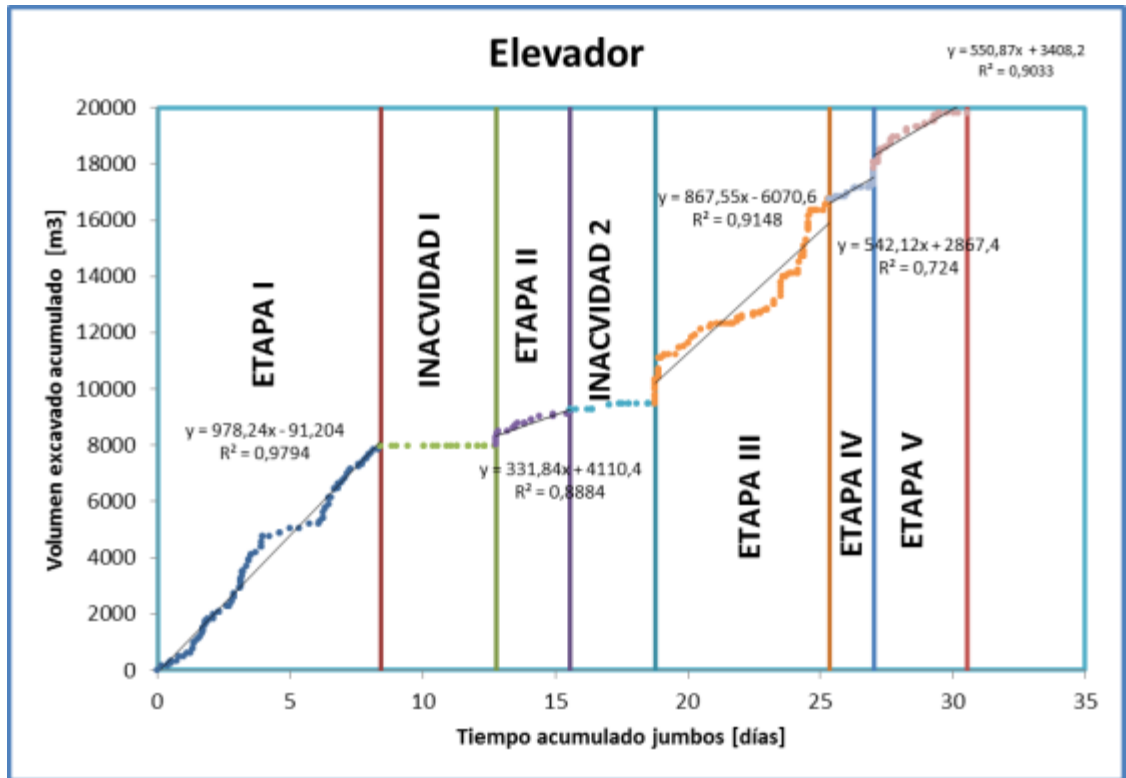


Anexo 32 Volumen excavado acumulado Vs Horas trabajadas volquetas

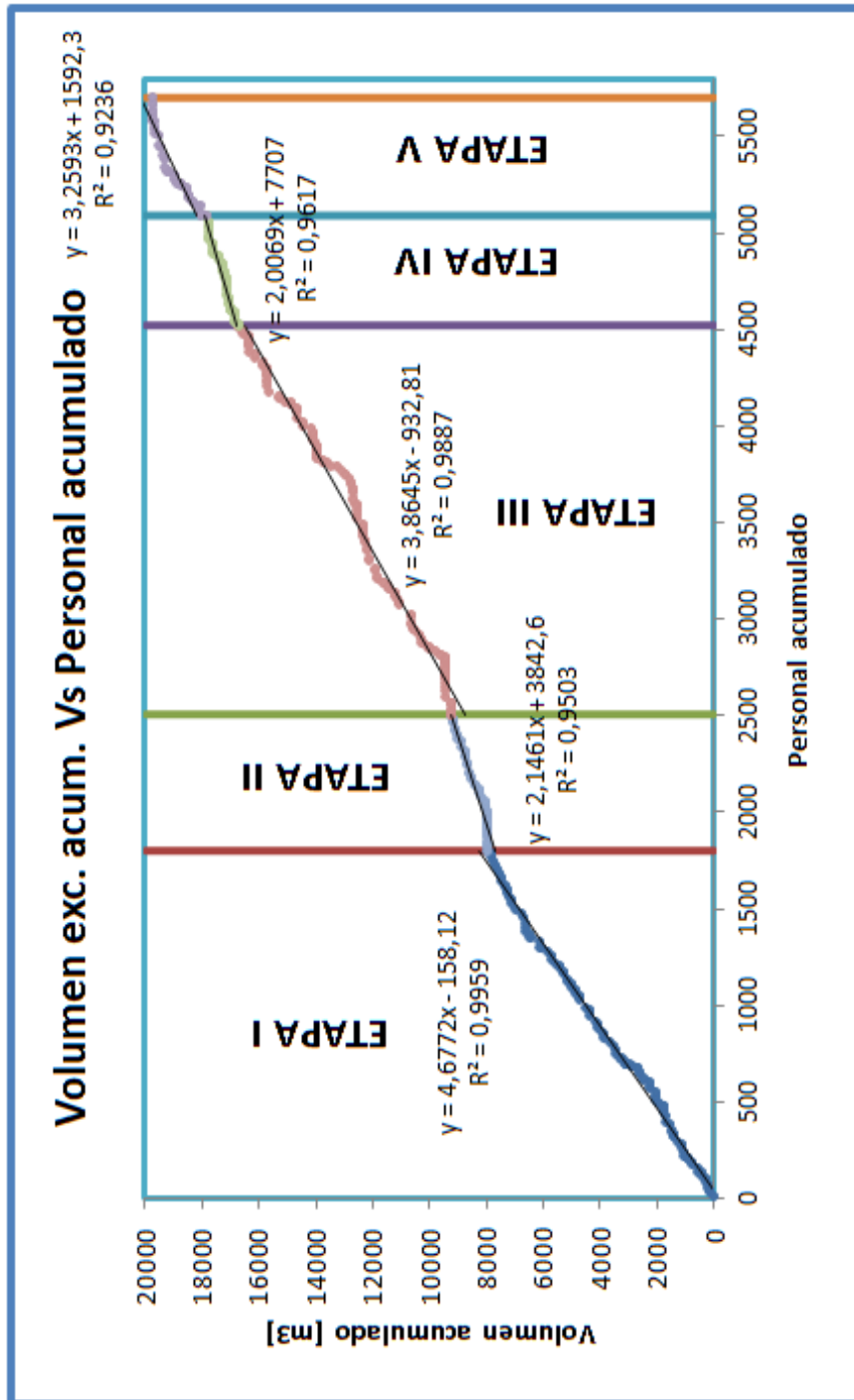




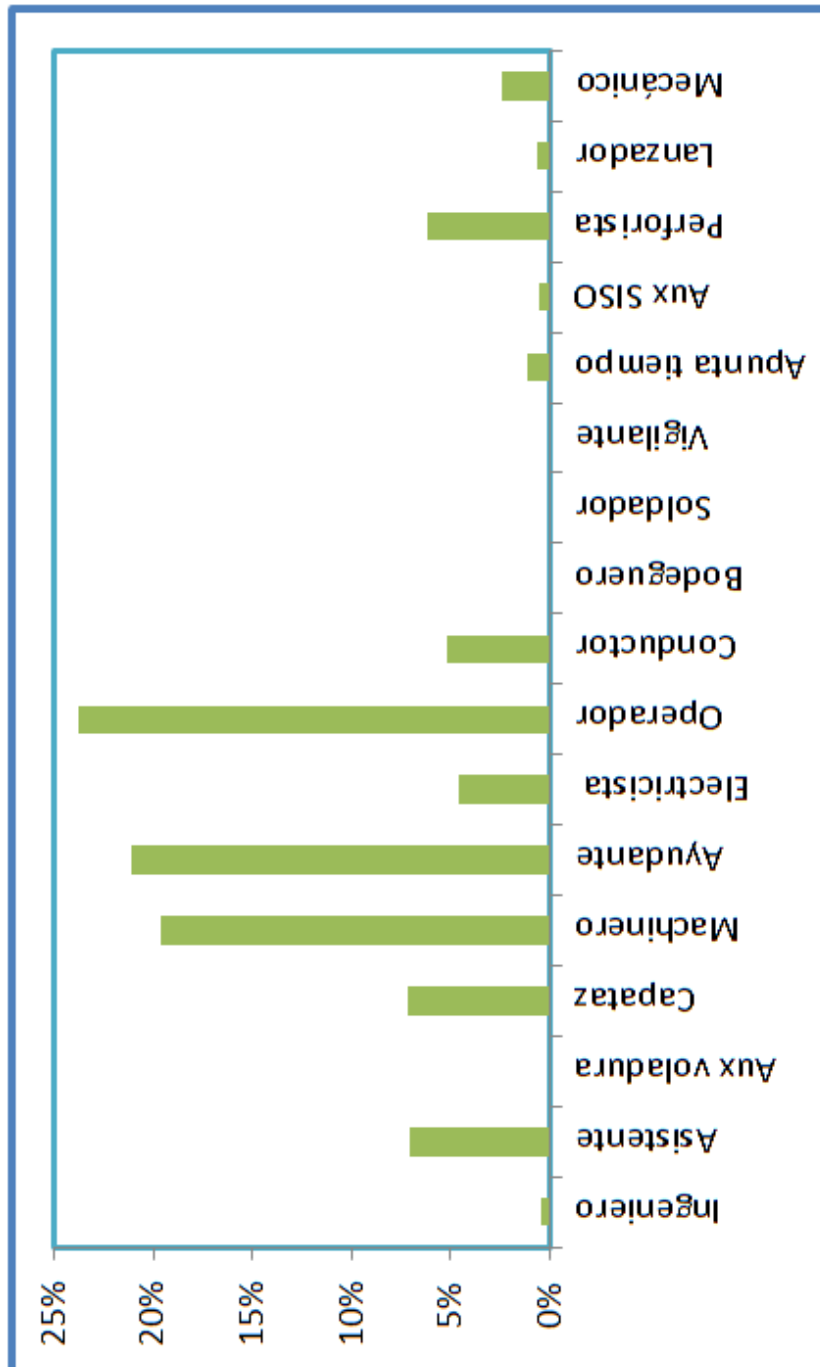




Anexo 33 Volumen excavado acumulado Vs Número de personas utilizadas acumuladas



Anexo 34 % de personas necesarias de cada cargo durante la excavación de caverna de máquinas.



Anexo 35 Tablas de los rendimientos de cada etapa con los recursos utilizados en caverna de transformadores.

ETAPA I

Bóveda

Rendimiento:	133,39	[m3/día]
Rendimiento:	0,67	[%/día]

Equipo	Cantidad	R2	1 m3		133,39 m3	
			Día de trabajo	Hrs de trabajo	Día de trabajo	Hrs de trabajo [c/una]
Jumbo	1	0,99	1,78E-03	0,04272	0,237	5,70
Retromartillo	1	0,98	5,20E-04	0,01248	0,069	1,66
Bomba	1	0,98	4,18E-04	0,010032	0,056	1,34
Volquetas	4	0,99	1,25E-03	0,03	0,167	4,00
Elevador	1	0,97	1,02E-03	0,02448	0,136	3,27
Cargador	1	0,99	1,25E-03	0,03	0,167	4,00

R2	1 m3	133,39 m3	
Personal	0,99	0,213	28,41207

Personal	% de participación	249,76 m3	
Ingeniero	0,42%	0,12	0
Asistente	7,11%	2,02	2
Aux voladura	0,00%	0,00	0
Capataz	7,18%	2,04	2
Machinero	19,66%	5,59	6
Ayudante	21,13%	6,00	6
Electricista	4,58%	1,30	1
Operador	23,73%	6,74	7
Conductor	5,21%	1,48	1
Bodeguero	0,04%	0,01	0
Soldador	0,05%	0,01	0
Vigilante	0,00%	0,00	0
Apunta tiempo	1,12%	0,32	0
Aux SISO	0,56%	0,32	0
Perforista	6,18%	0,16	0
Lanzador	0,61%	1,76	2
Mecánico	2,42%	0,17	0

ETAPA II

Zona de transición

Rendimiento:	96	[m3/día]
Rendimiento:	0,48	[%/día]

Equipo	Cantidad	R2	1 m3		96 m3	
			Día de trabajo	Hrs de trabajo	Día de trabajo	Hrs de trabajo [c/una]
Jumbo	1	0,89	3,35E-03	0,0804	0,322	7,72
Bomba	1	0,7	1,98E-03	0,04752	0,190	4,56
Volquetas	6	0,97	3,75E-03	0,09	0,360	8,64
Elevador	1	0,8	3,01E-03	0,07224	0,289	6,94
Cargador	1	0,93	1,91E-03	0,04584	0,183	4,40

R2	1 m3	96m3
0,963	0,465	44,64

Personal	% de participación	96 m3	
Ingeniero	0,42%	0,187488	0
Asistente	7,11%	3,173904	3
Aux voladura	0,00%	0	0
Capataz	7,18%	3,205152	3
Machinero	19,66%	8,776224	9
Ayudante	21,13%	9,432432	9
Electricista	4,58%	2,044512	2
Operador	23,73%	10,593072	11
Conductor	5,21%	2,325744	2
Bodeguero	0,04%	0,017856	0
Soldador	0,05%	0,02232	0
Vigilante	0,00%	0	0
Apunta tiempo	1,12%	0,499968	0
Aux SISO	0,56%	0,249984	0
Perforista	6,18%	2,758752	3
Lanzador	0,61%	0,272304	0
Mecánico	2,42%	1,080288	1

ETAPA III

Etapa III banqueros

Rendimiento:	111,04	[m3/día]
Rendimiento:	0,56	[%/día]

Equipo	Cantidad	R2	1 m3		111,04 m3	
			Día de trabajo	Hrs de trabajo	Día de trabajo	Hrs de trabajo [c/una]
Jumbo	1	0,89	3,35E-03	0,0804	0,372	8,93
Bomba	1	0,7	1,98E-03	0,04752	0,220	5,28
Volquetas	2	0,97	1,91E-03	0,04584	0,212	5,09
Elevador	1	0,8	3,01E-03	0,07224	0,334	8,02
Cargador	1	0,93	1,91E-03	0,04584	0,212	5,09
Perforadora	1	0,93	8,76E-04	0,021024	0,097	2,33
Retroexcavadora	1	0,96	9,52E-04	0,022848	0,106	2,54
Retromartillo	1	0,96	4,26E-04	0,010224	0,047	1,14

Personal	R2	1 m3	111,04 m3
	0,98	0,258	28,64832

Personal	% de participación	96 m3	
Ingeniero	0,42%	0,120322944	0
Asistente	7,11%	2,036895552	2
Aux voladura	0,00%	0	0
Capataz	7,18%	2,056949376	2
Machinero	19,66%	5,632259712	6
Ayudante	21,13%	6,053390016	6
Electricista	4,58%	1,312093056	1
Operador	23,73%	6,798246336	7
Conductor	5,21%	1,492577472	1
Bodeguero	0,04%	0,011459328	0
Soldador	0,05%	0,01432416	0
Vigilante	0,00%	0	0
Apunta tiempo	1,12%	0,320861184	0
Aux SISO	0,56%	0,160430592	0
Perforista	6,18%	1,770466176	2
Lanzador	0,61%	0,174754752	0
Mecánico	2,42%	0,693289344	1

ETAPA IV

Etapa III banqueros - Instalación de pernos de 10 m de longitud

Rendimiento:	39,57	[m3/día]
Rendimiento:	0,2	[%/día]

Equipo	Cantidad	R2	1 m3		111,04 m3	
			Día de trabajo	Hrs de trabajo	Día de trabajo	Hrs de trabajo [c/una]
Jumbo	1	0,95	3,48E-03	0,08352	0,138	3,30
Bomba	1	0,95	8,16E-04	0,019584	0,032	0,77
Volquetas	4	0,93	1,67E-03	0,02424	0,040	0,96
Elevador	1	0,72	1,84E-03	0,04416	0,073	1,75
Cargador	1	0,94	1,01E-03	0,02424	0,040	0,96
Perforadora	1	0,92	2,53E-03	0,06072	0,100	2,40
Retroexcavadora	1	0,88	1,67E-03	0,04008	0,066	1,59
Retromartillo	1	0,89	3,91E-04	0,009384	0,015	0,37

Personal	R2	1 m3	111,04 m3
	0,96	0,5	19,785

Personal	% de participación	39,57 m3	
Ingeniero	0,42%	0,120322944	0
Asistente	7,11%	2,036895552	2
Aux voladura	0,00%	0	0
Capataz	7,18%	2,056949376	2
Machinero	19,66%	5,632259712	6
Ayudante	21,13%	6,053390016	6
Electricista	4,58%	1,312093056	1
Operador	23,73%	6,798246336	7
Conductor	5,21%	1,492577472	1
Bodeguero	0,04%	0,011459328	0
Soldador	0,05%	0,01432416	0
Vigilante	0,00%	0	0
Apunta tiempo	1,12%	0,320861184	0
Aux SISO	0,56%	0,160430592	0
Perforista	6,18%	1,770466176	2
Lanzador	0,61%	0,174754752	0
Mecánico	2,42%	0,693289344	1

ETAPA V

Etapa III banqueros

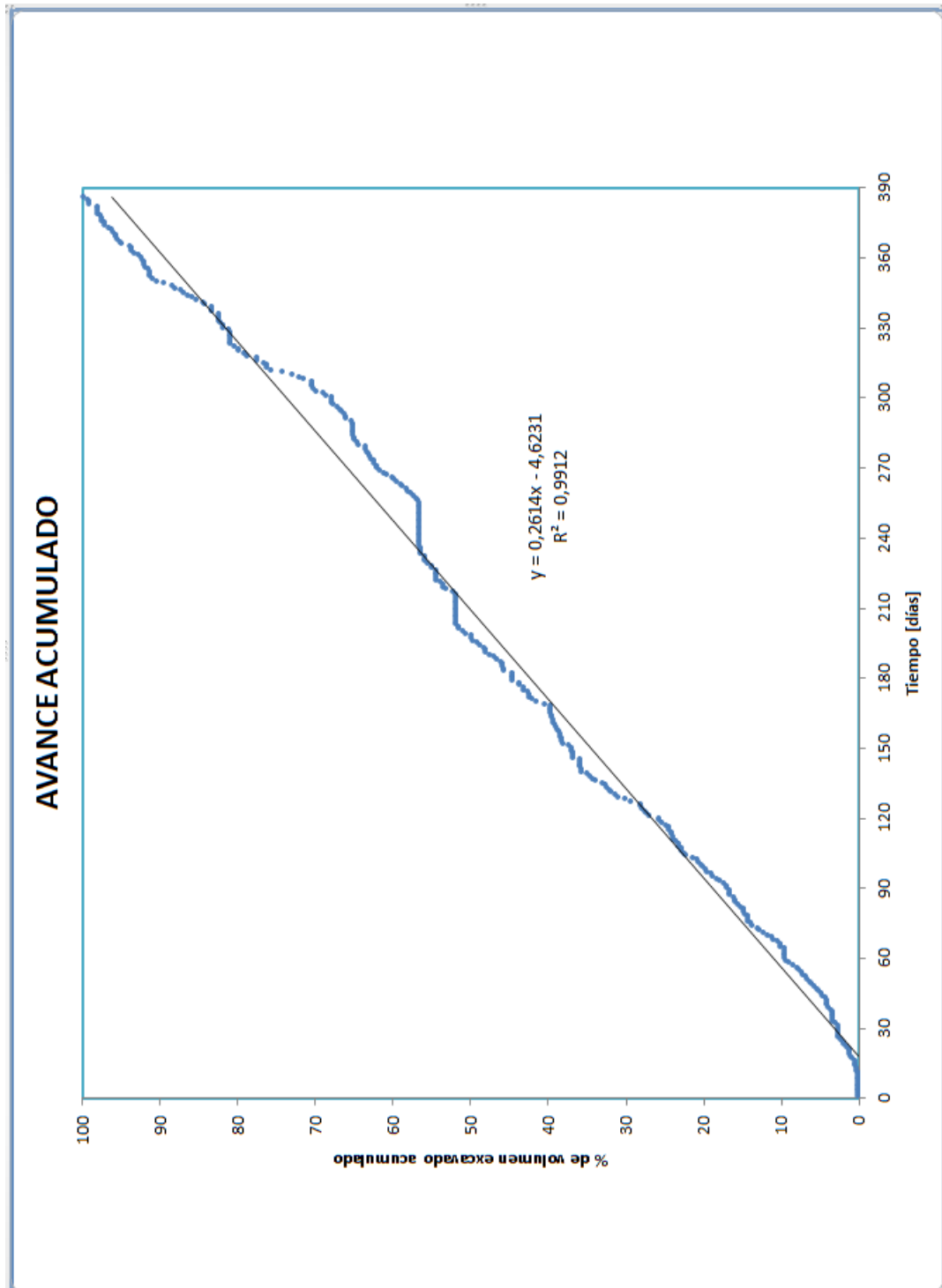
Rendimiento:	103,26	[m3/día]
Rendimiento:	0,52	[%/día]

Equipo	Cantidad	R2	1 m3		111,04 m3	
			Día de trabajo	Hrs de trabajo	Día de trabajo	Hrs de trabajo (c/una)
Jumbo	1	0,95	2,98E-03	0,07152	0,308	7,39
Bomba	1	0,85	1,13E-03	0,02712	0,117	2,80
Volquetas	6	0,92	9,30E-04	0,02232	0,096	2,30
Elevador	1	0,9	1,82E-03	0,04368	0,188	4,51
Cargador	1	0,67	9,30E-04	0,02232	0,096	2,30
Perforadora	1	0,91	8,16E-04	0,019584	0,084	2,02
Retroexcavadora	1	0,93	8,05E-04	0,01932	0,083	1,99
Retromartillo	1	0,79	4,38E-04	0,010512	0,045	1,09

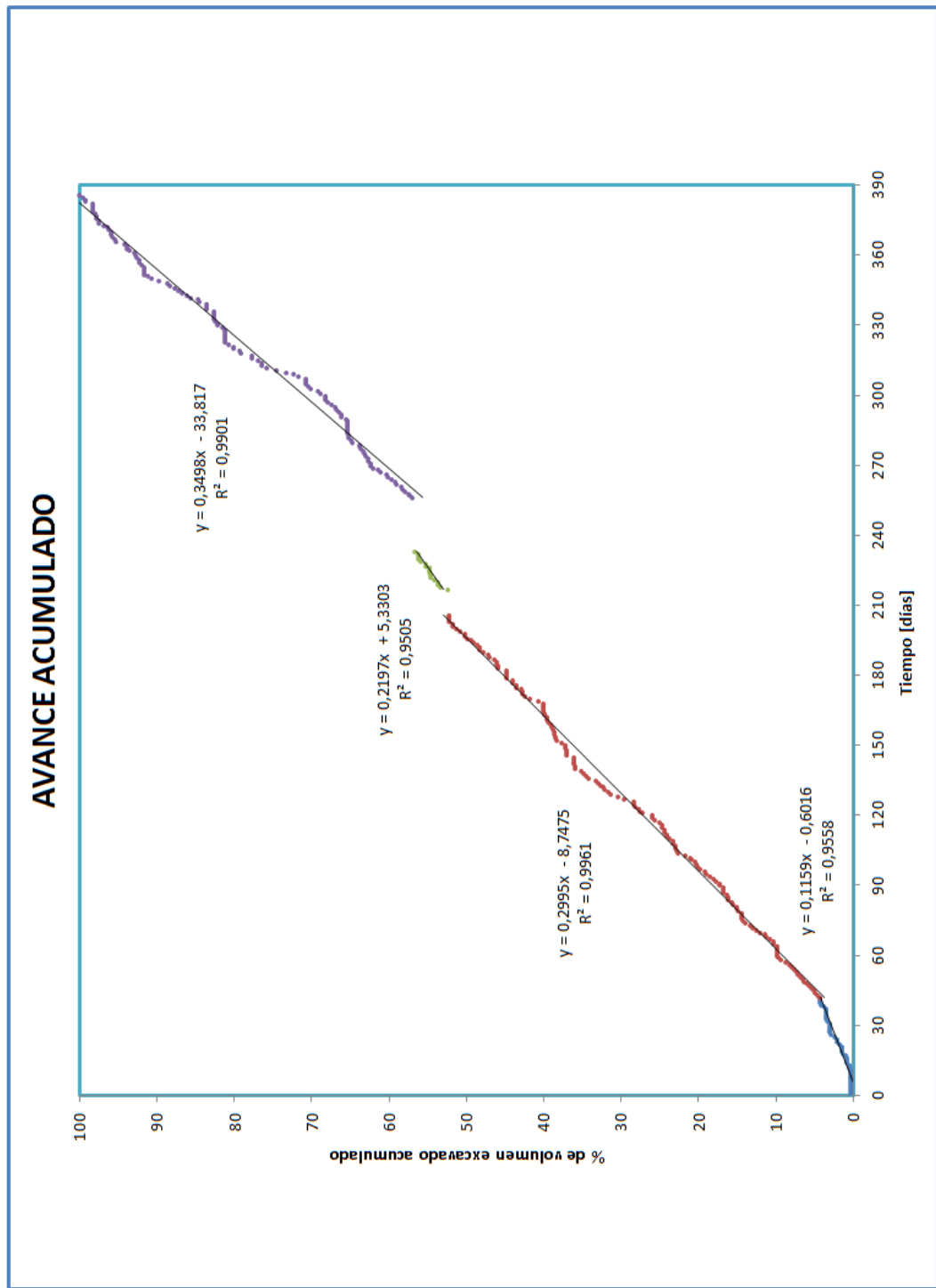
R2	1 m3	103,26 m3
0,92	0,3068	31,680168

Personal	% de participación	96 m3	
Ingeniero	0,42%	0,120322944	0
Asistente	7,11%	2,036895552	2
Aux voladura	0,00%	0	0
Capataz	7,18%	2,056949376	2
Machinero	19,66%	5,632259712	6
Ayudante	21,13%	6,053390016	6
Electricista	4,58%	1,312093056	1
Operador	23,73%	6,798246336	7
Conductor	5,21%	1,492577472	1
Bodeguero	0,04%	0,011459328	0
Soldador	0,05%	0,01432416	0
Vigilante	0,00%	0	0
Apunta tiempo	1,12%	0,320861184	0
Aux SISO	0,56%	0,160430592	0
Perforista	6,18%	1,770466176	2
Lanzador	0,61%	0,174754752	0
Mecánico	2,42%	0,693289344	1

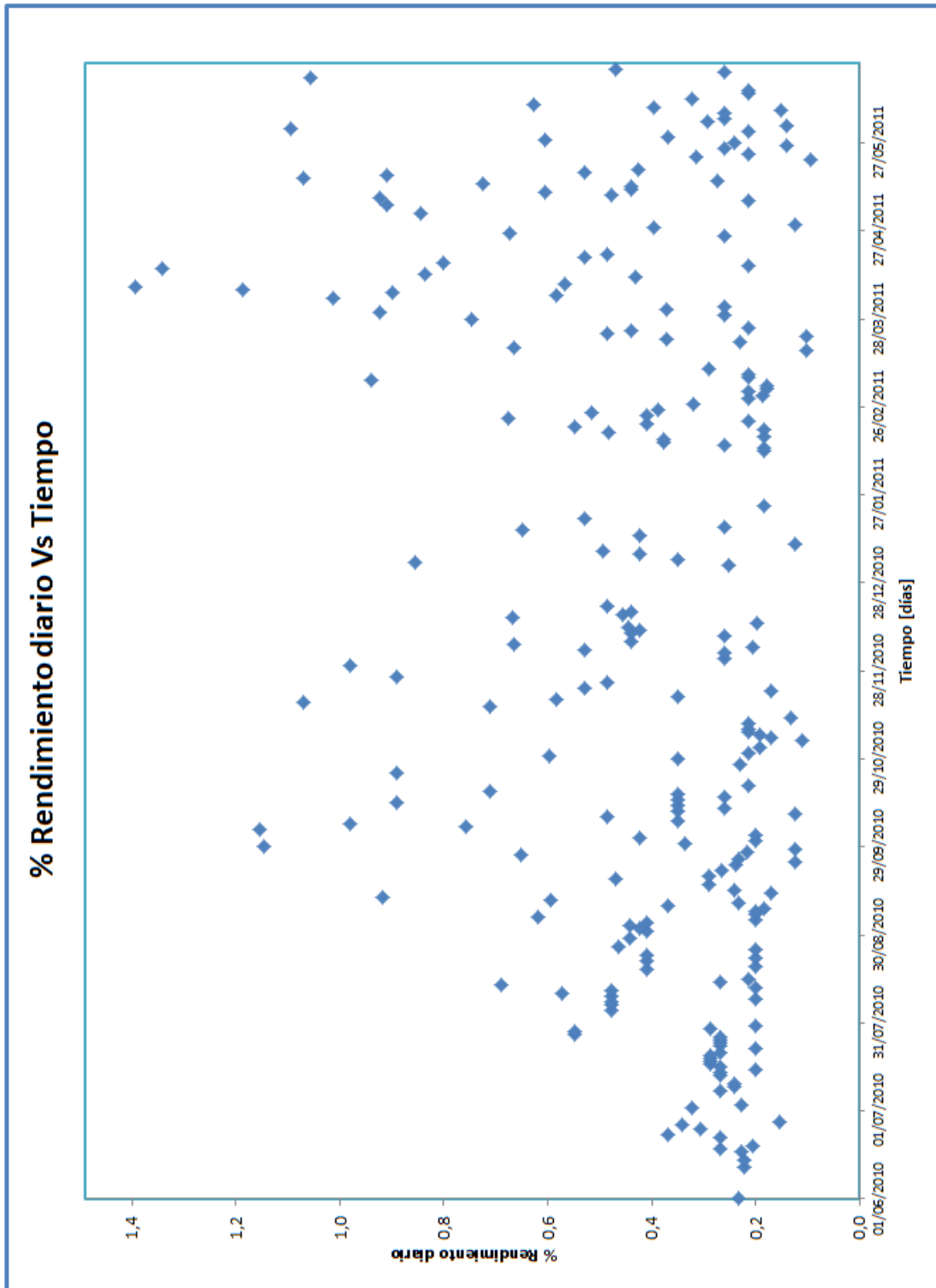
Anexo 36 Avance acumulado caverna de oscilación.



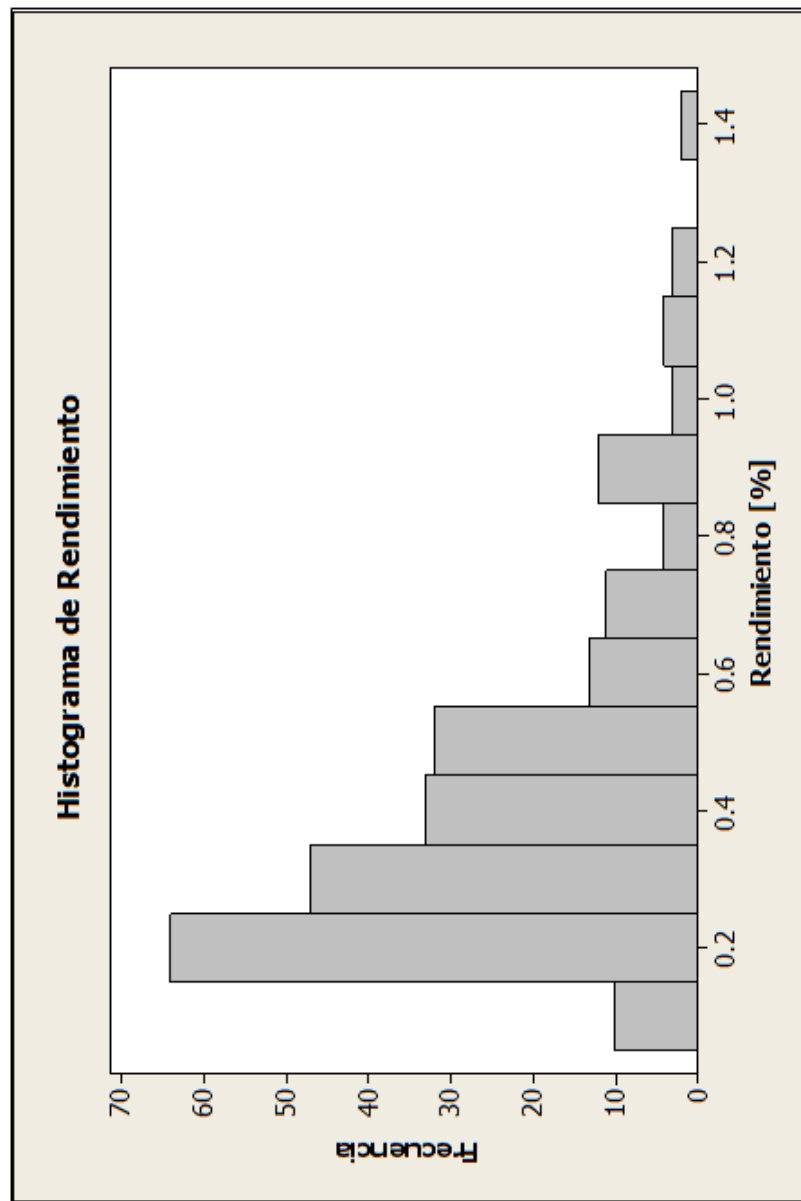
Anexo 37 Avance acumulado por tramos en caverna de oscilación.



Anexo 38 % de Rendimiento diario excavado.

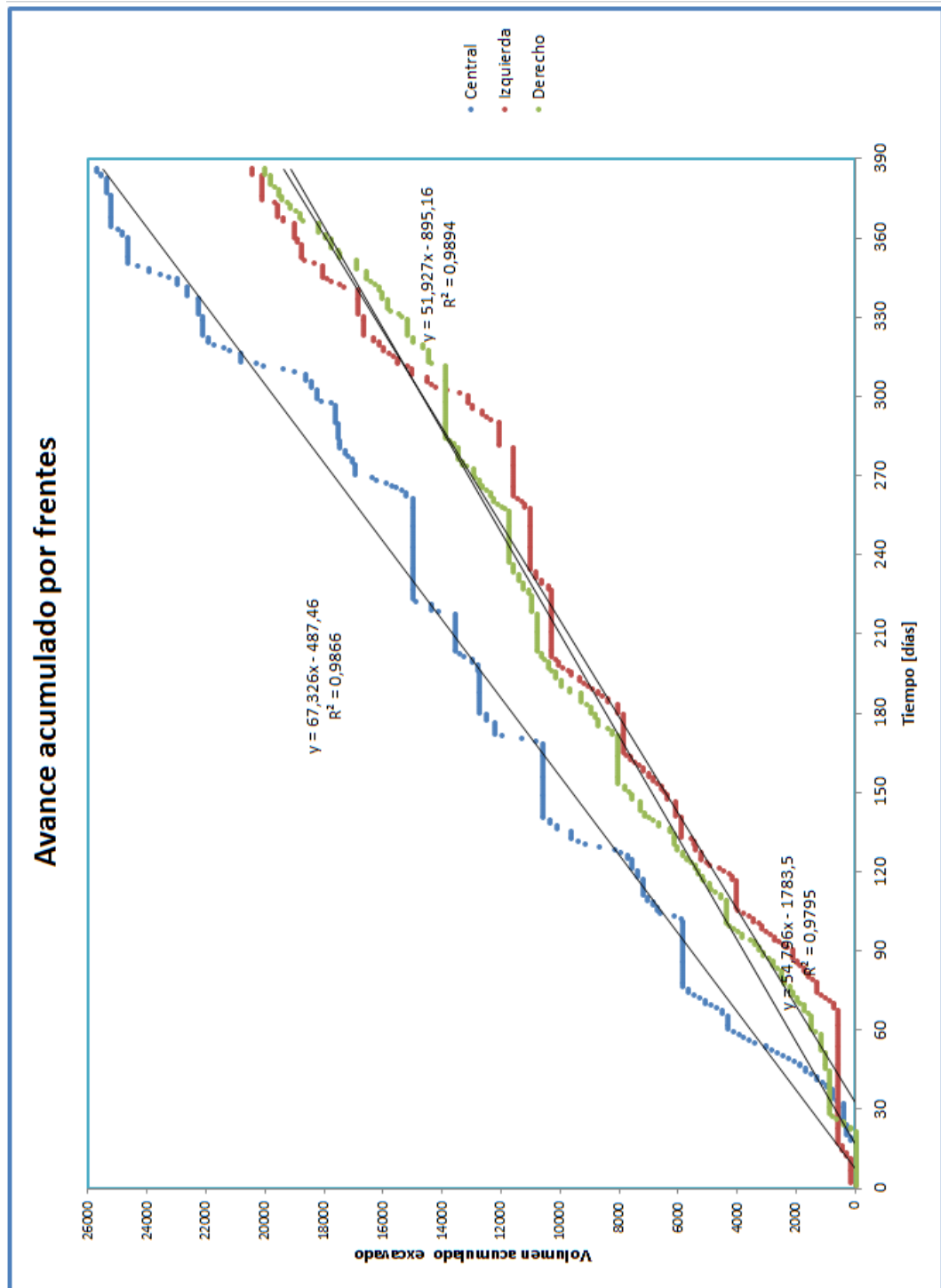


Anexo 39 Histograma de frecuencias de los % de rendimiento diario.

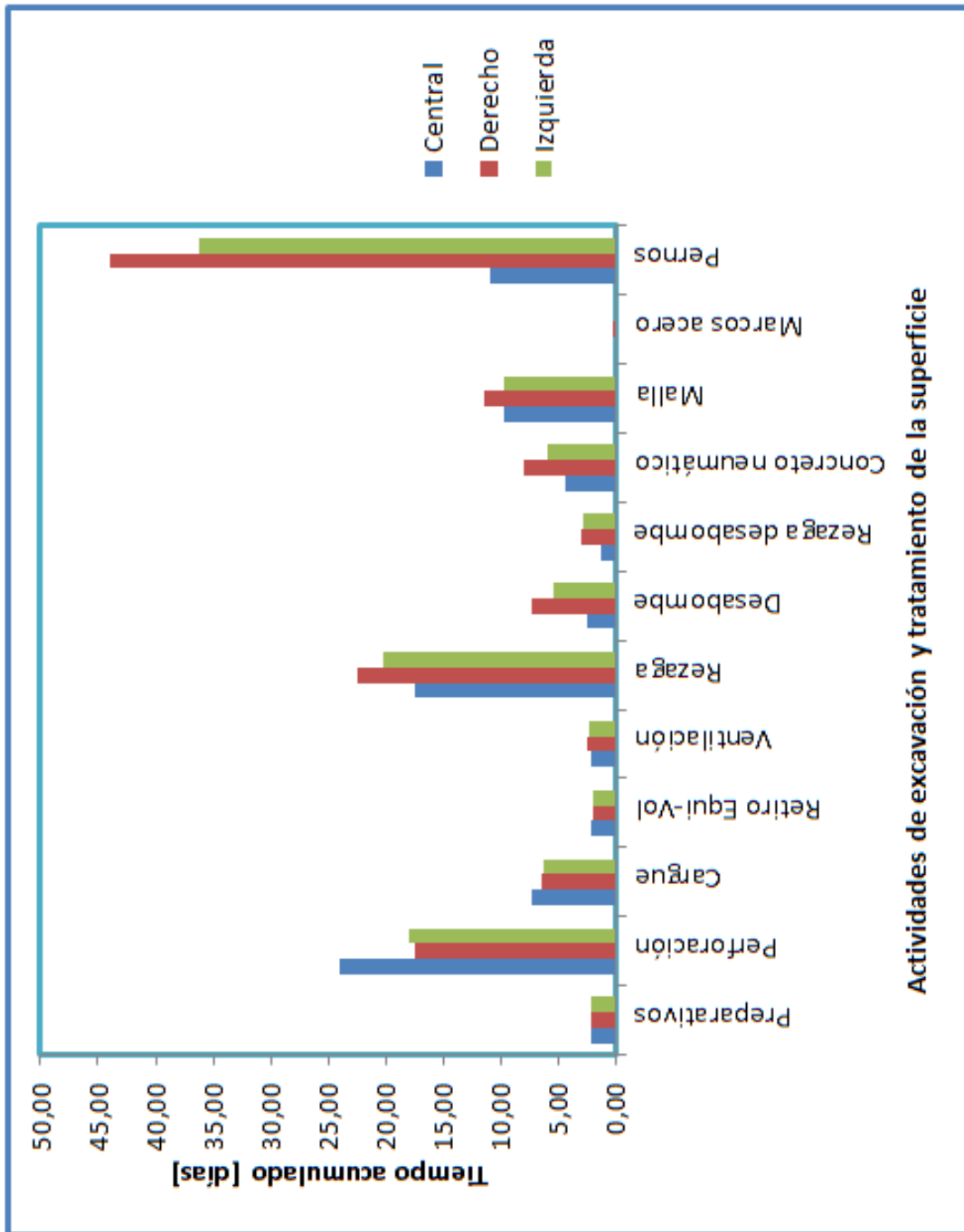


N : 238
Media : 0,42
Desv. Est : 0,257
Q1 : 0,225
Mediana : 0,33
Q3 : 0,49
Máximo : 1,4
 $\sigma - \bar{X} + \sigma$
0,163% - 0,677%

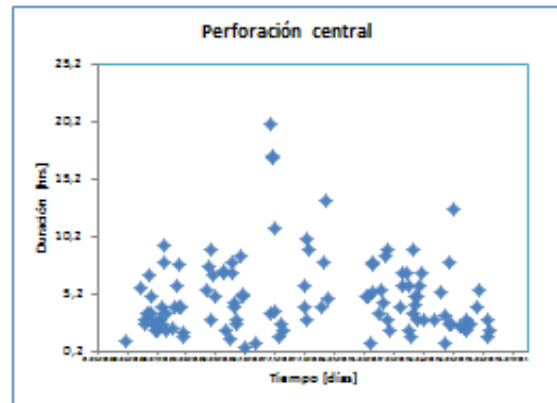
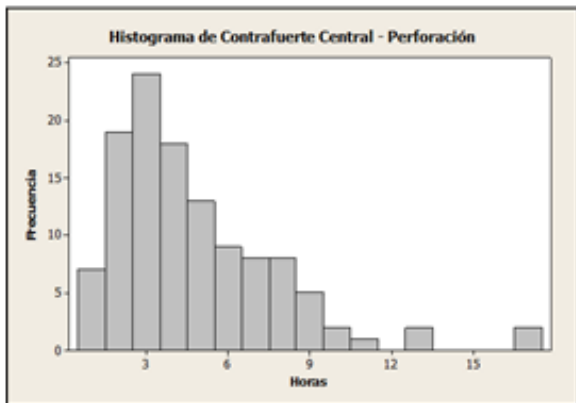
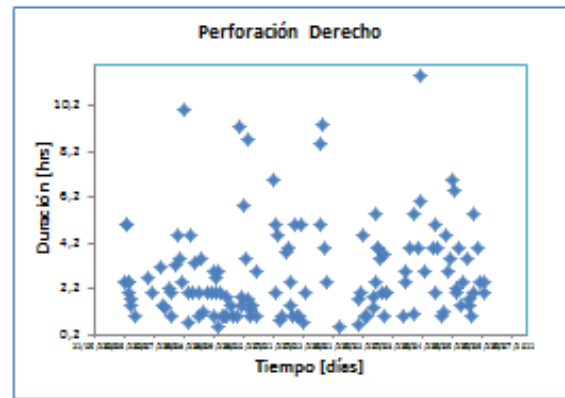
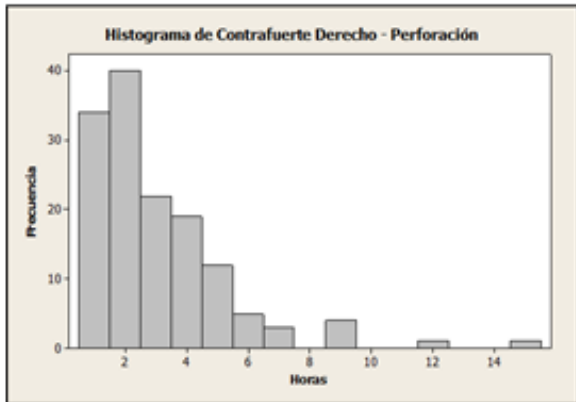
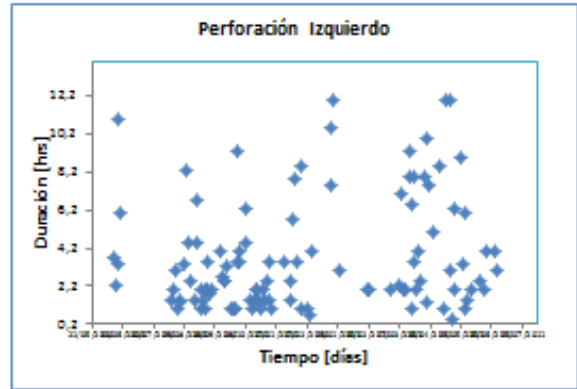
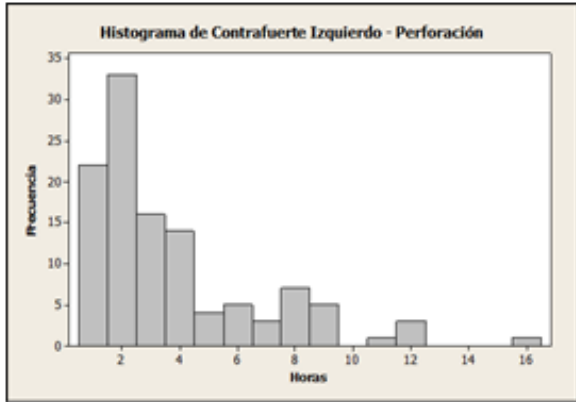
Anexo 40 Volumen excavado acumulado por contrafuertes.



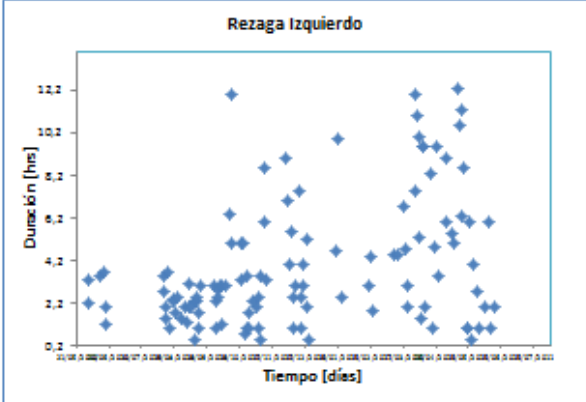
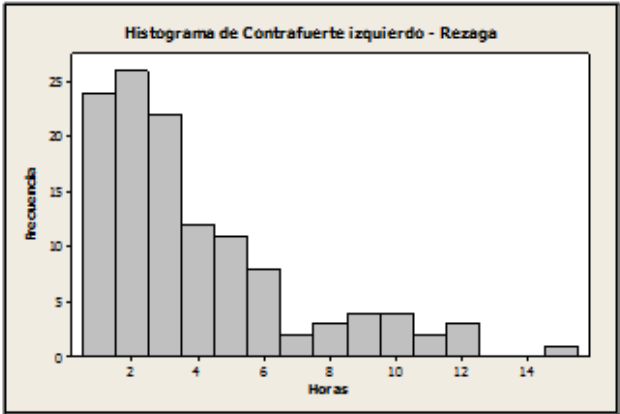
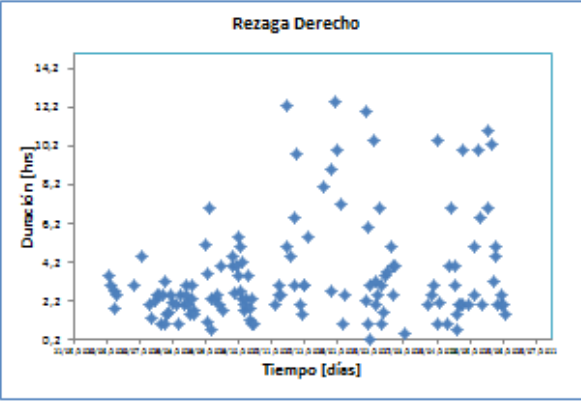
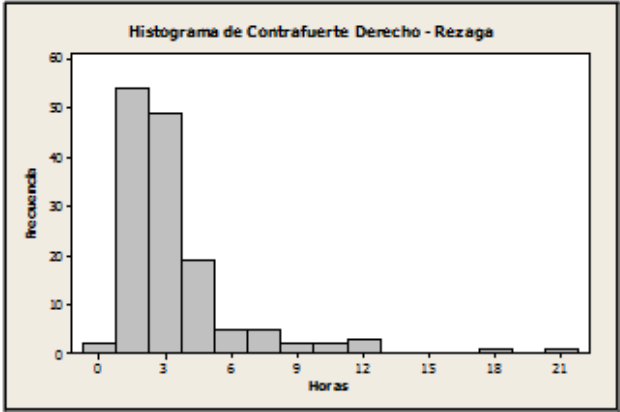
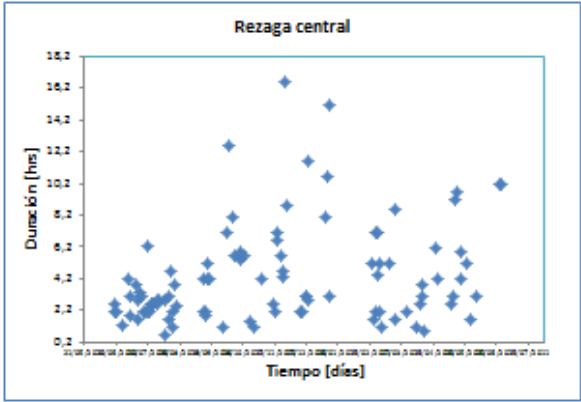
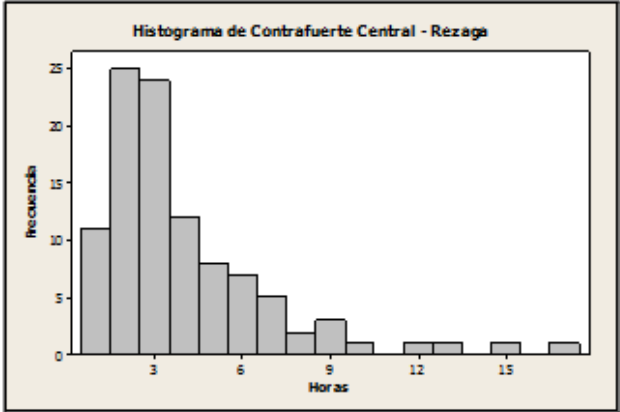
Anexo 41 Duración de cada actividad del ciclo de excavación.



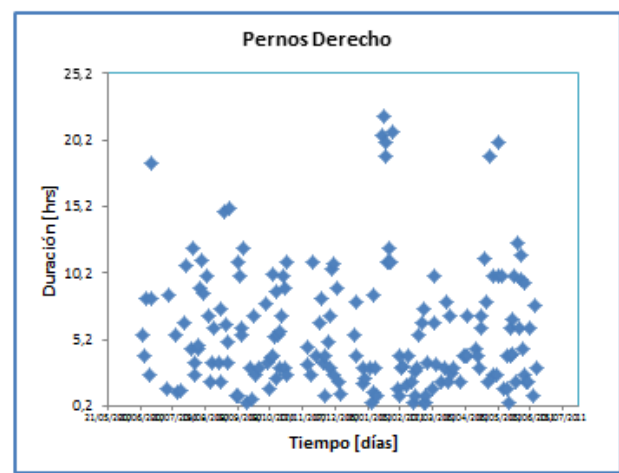
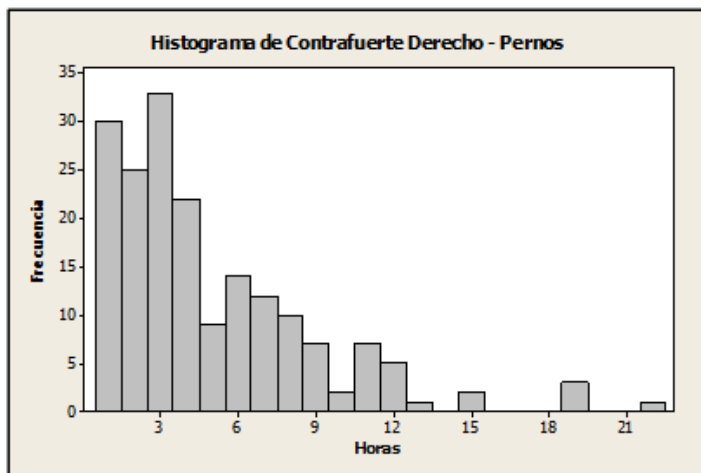
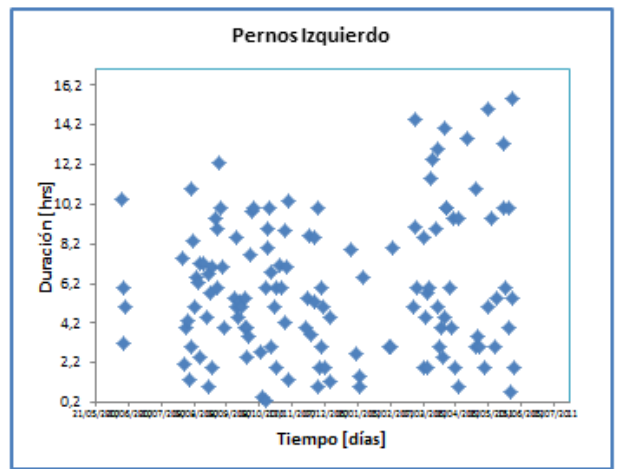
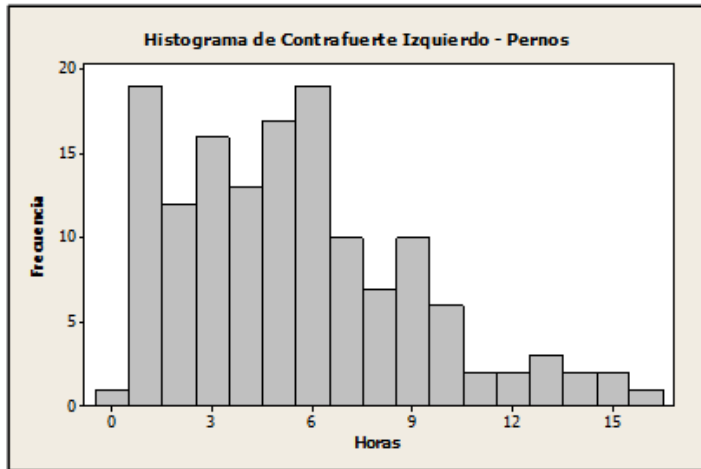
Anexo 43 Histogramas de frecuencias y gráficas del tiempo de perforación Vs tiempo cronológico para cada contrafuerte.



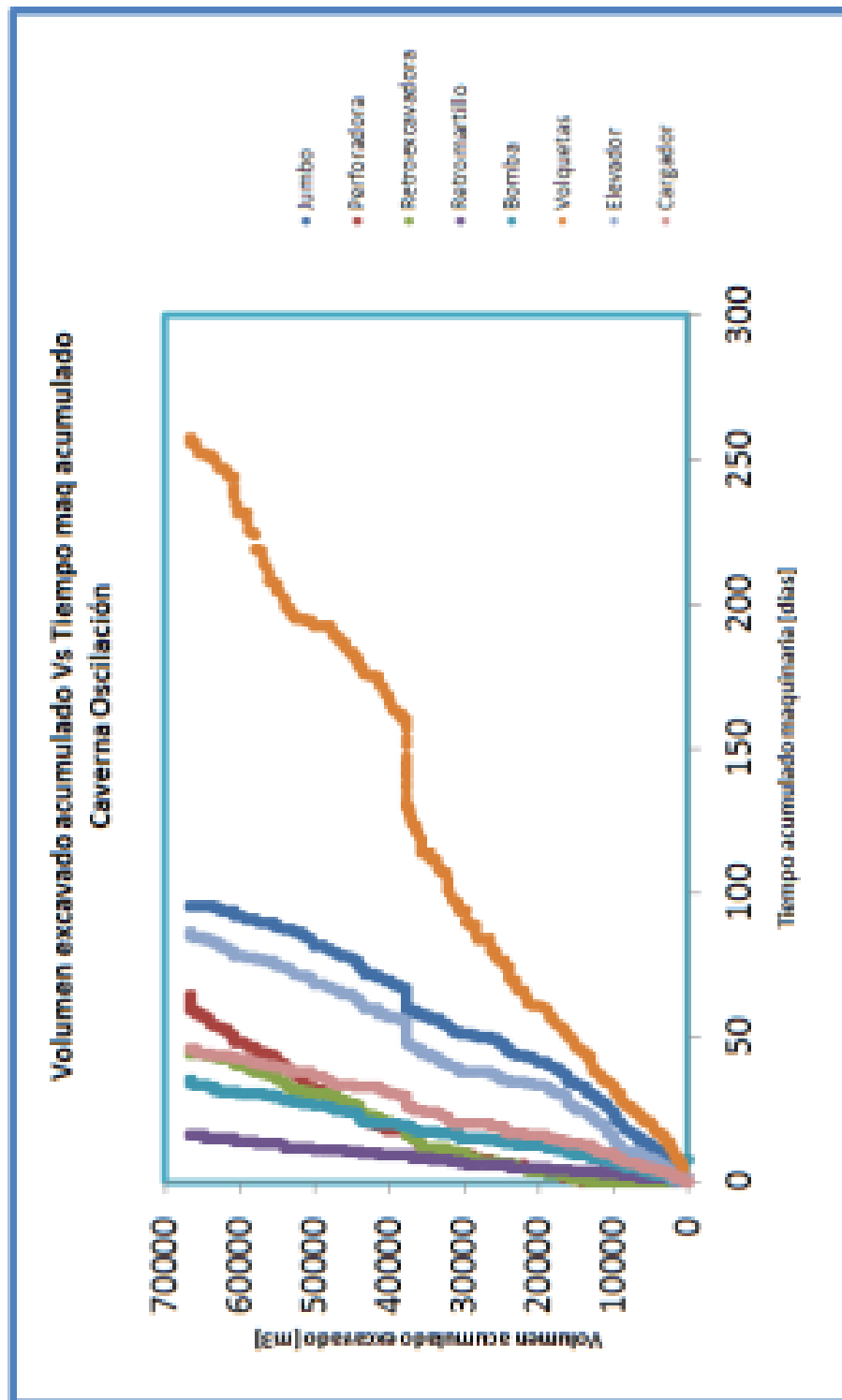
Anexo 44 Histogramas de frecuencias y gráficas del tiempo de rezaga Vs tiempo cronológico para cada contrafuerte.



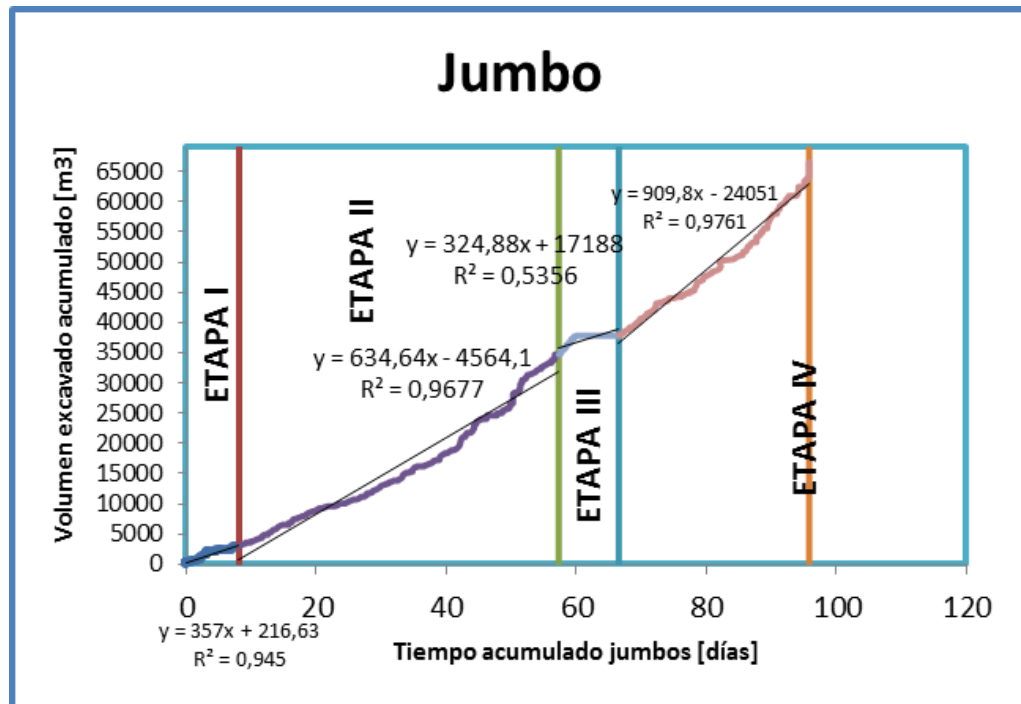
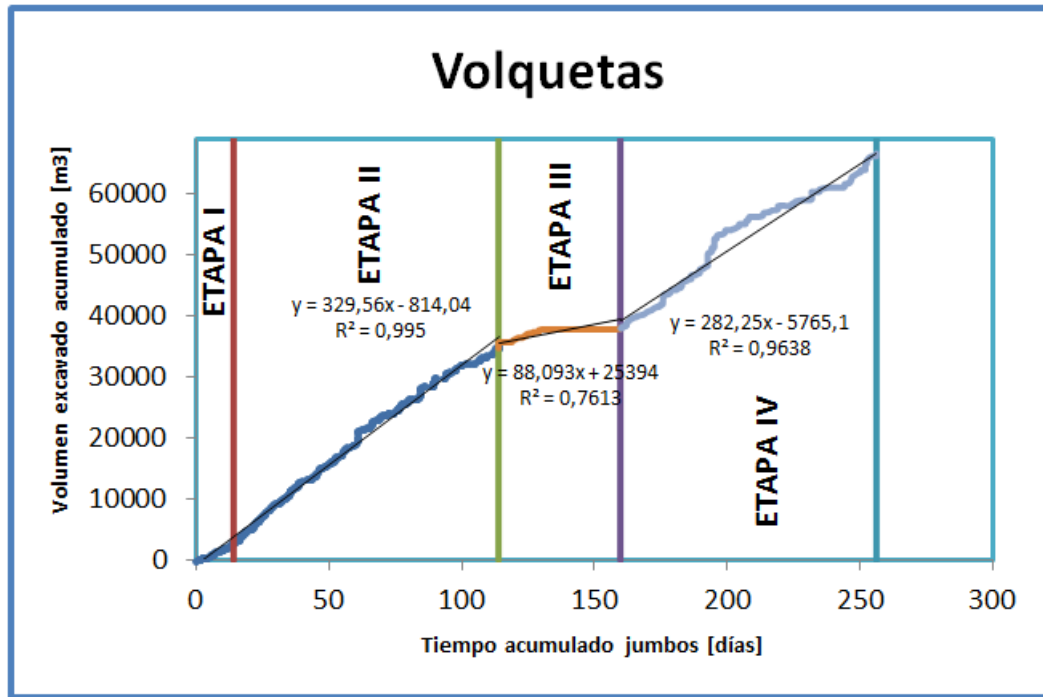
Anexo 45 Histogramas de frecuencias y gráficas del tiempo de pernos Vs tiempo cronológico para cada contrafuerte.



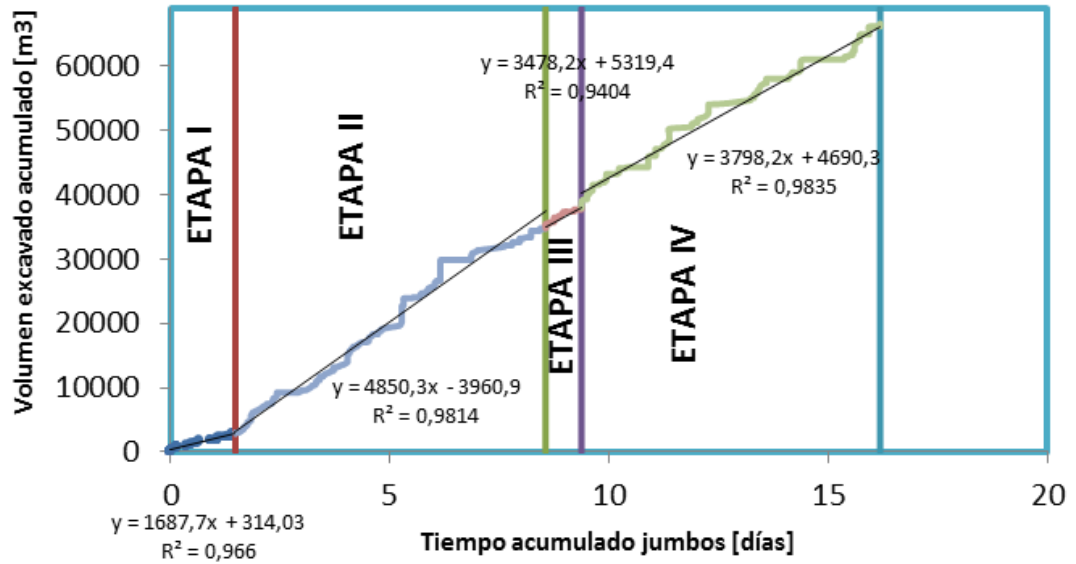
Anexo 46 Participación de los equipos en el proceso de excavación.



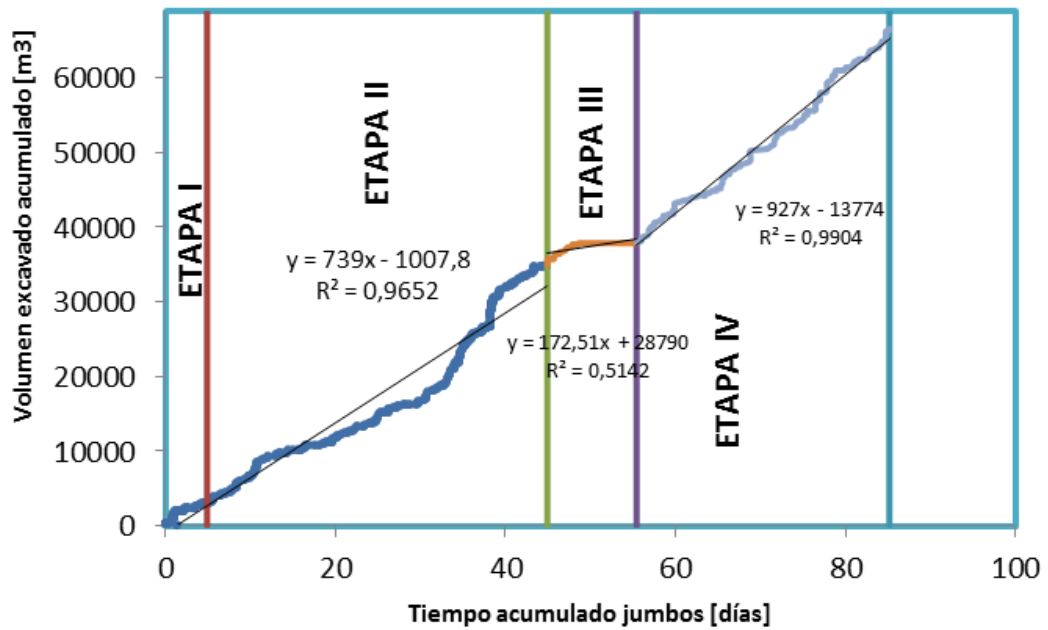
Anexo 47 Volumen excavado acumulado Vs Horas trabajadas volquetas

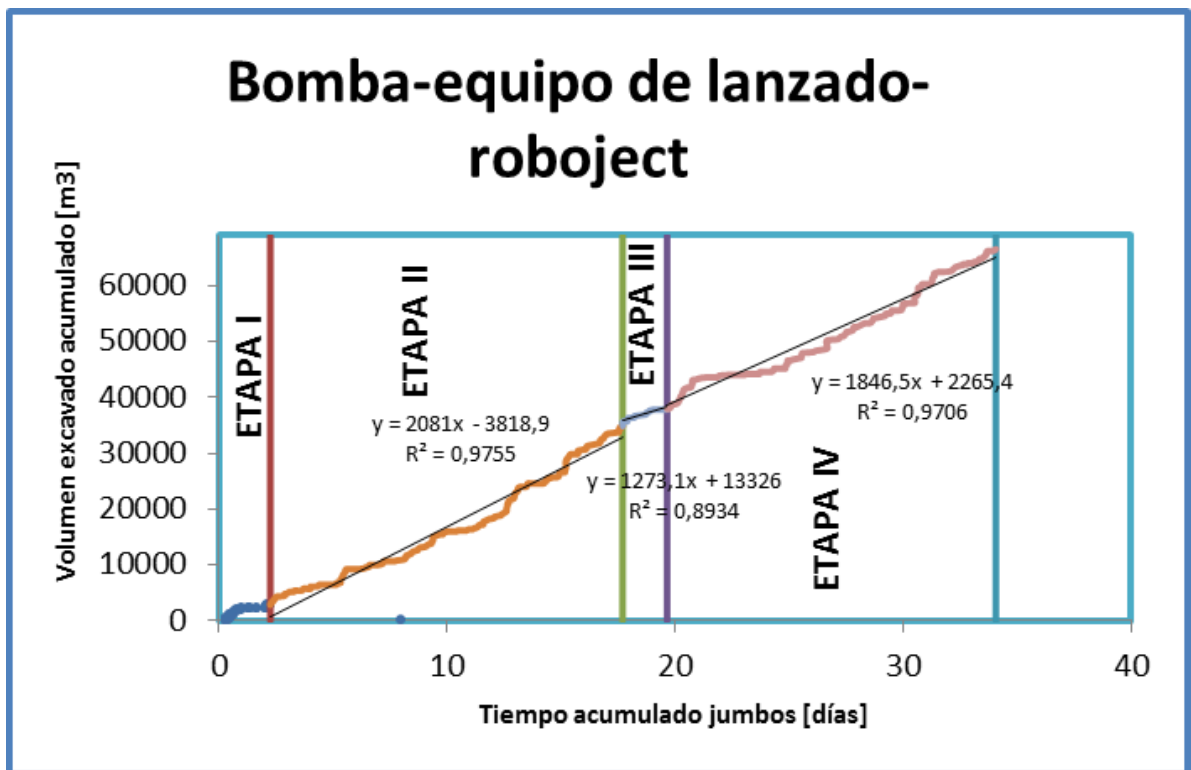
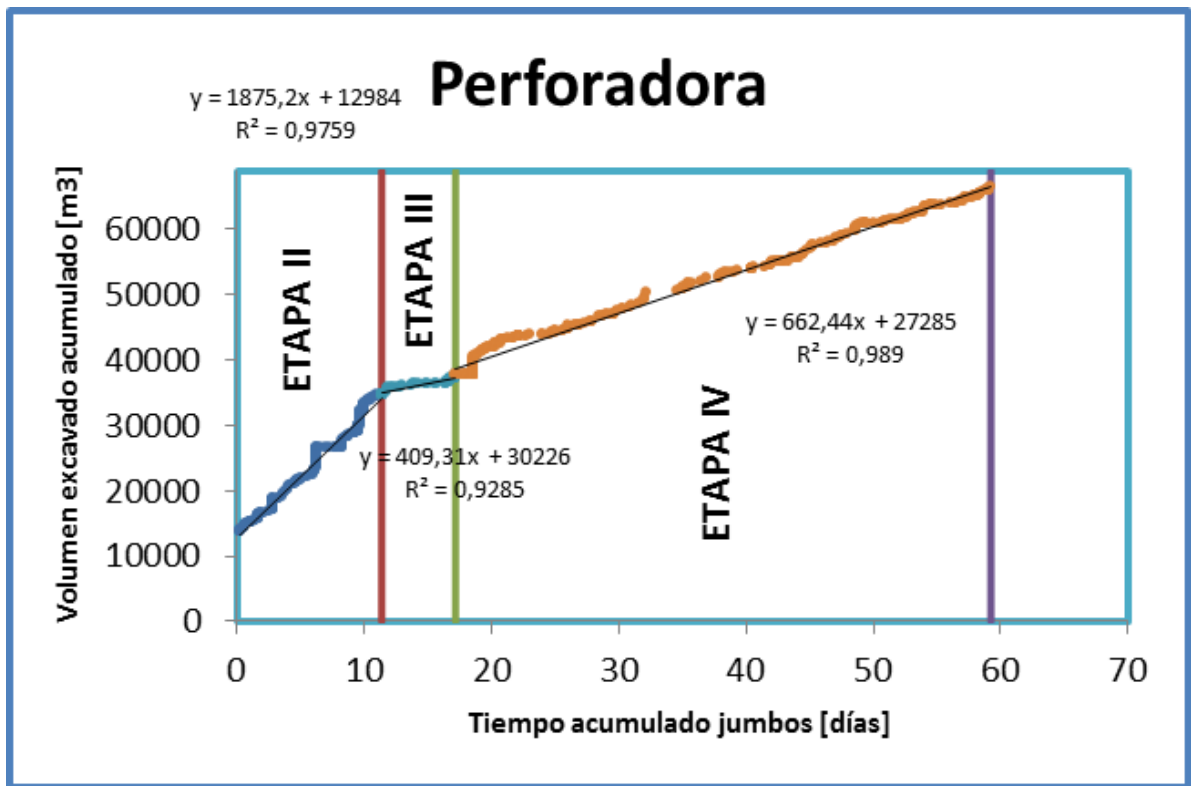


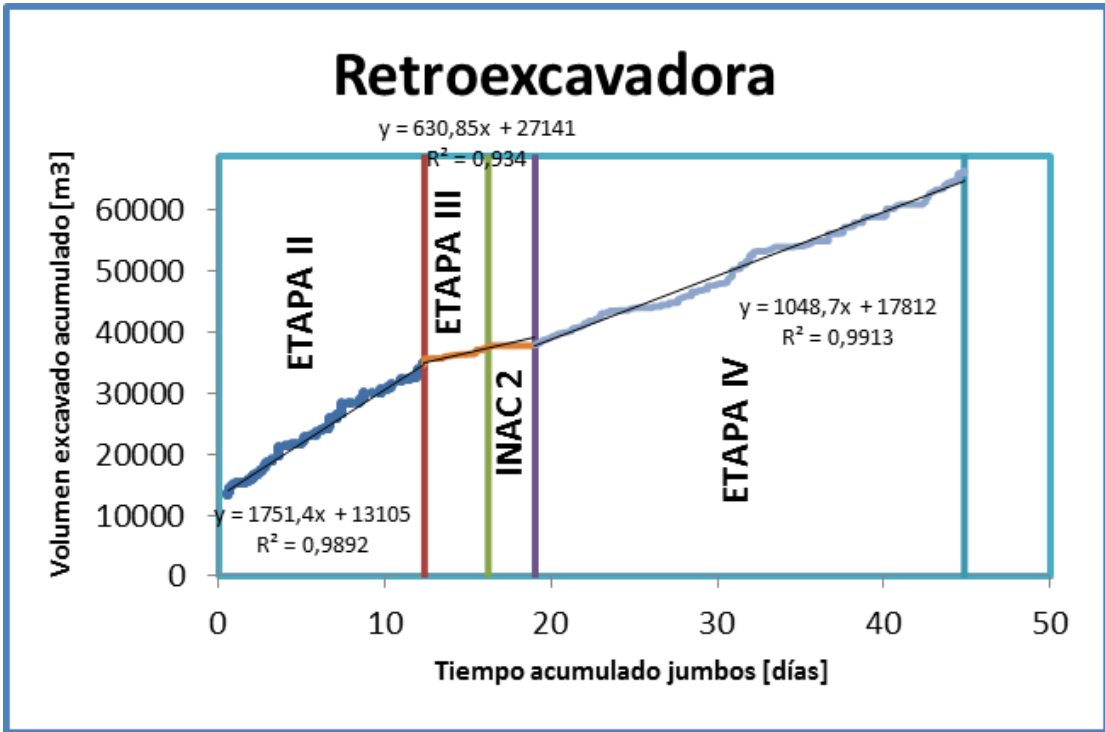
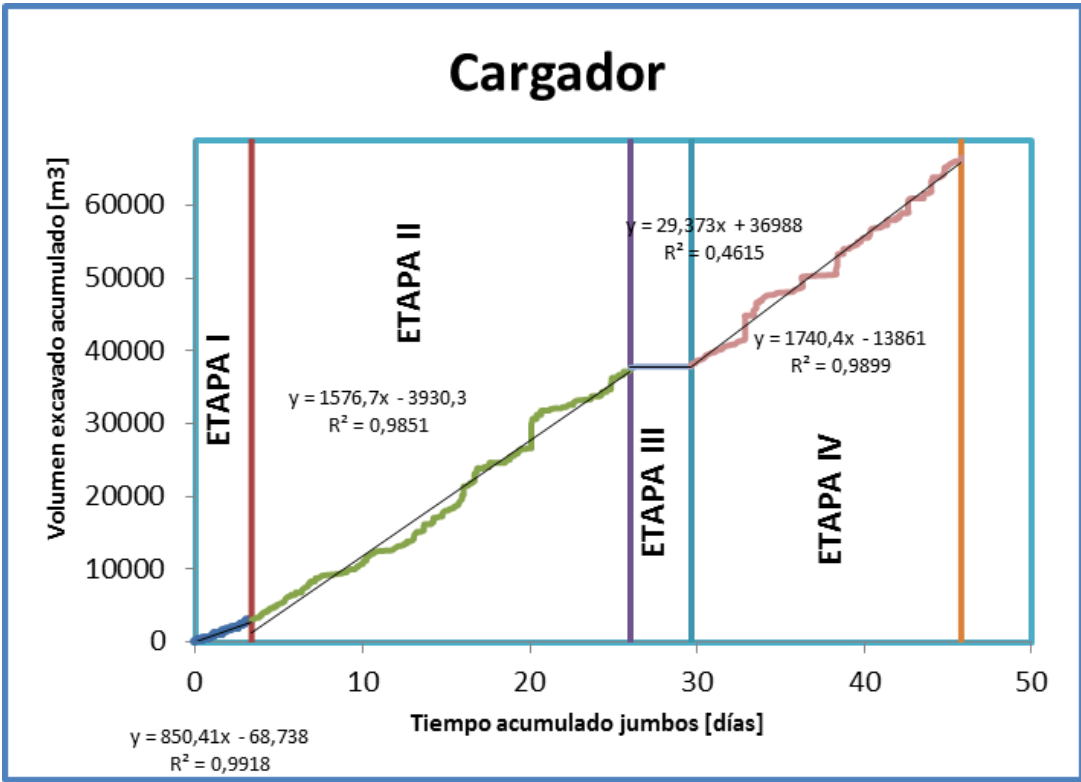
Retromartillo



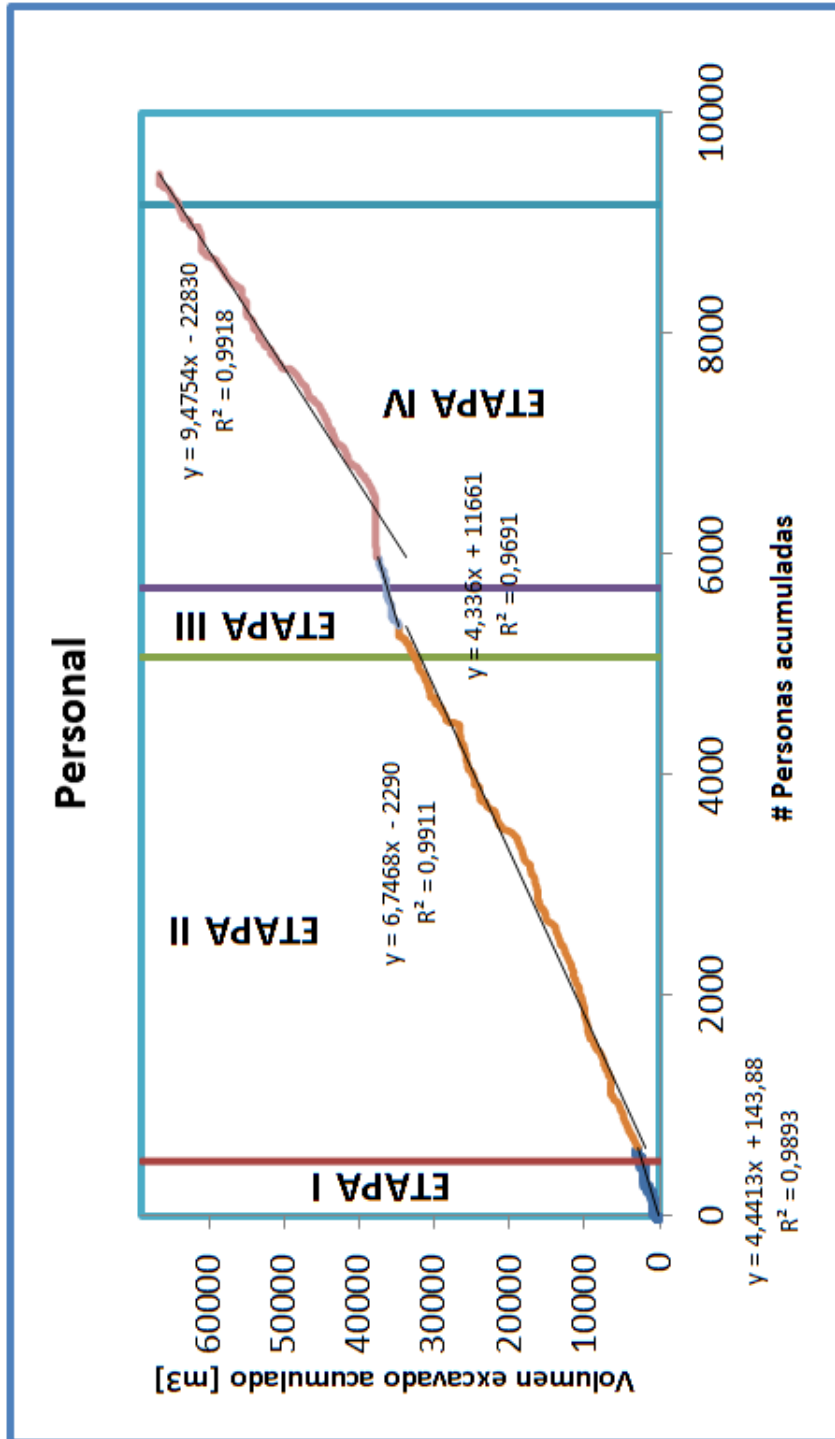
Elevador



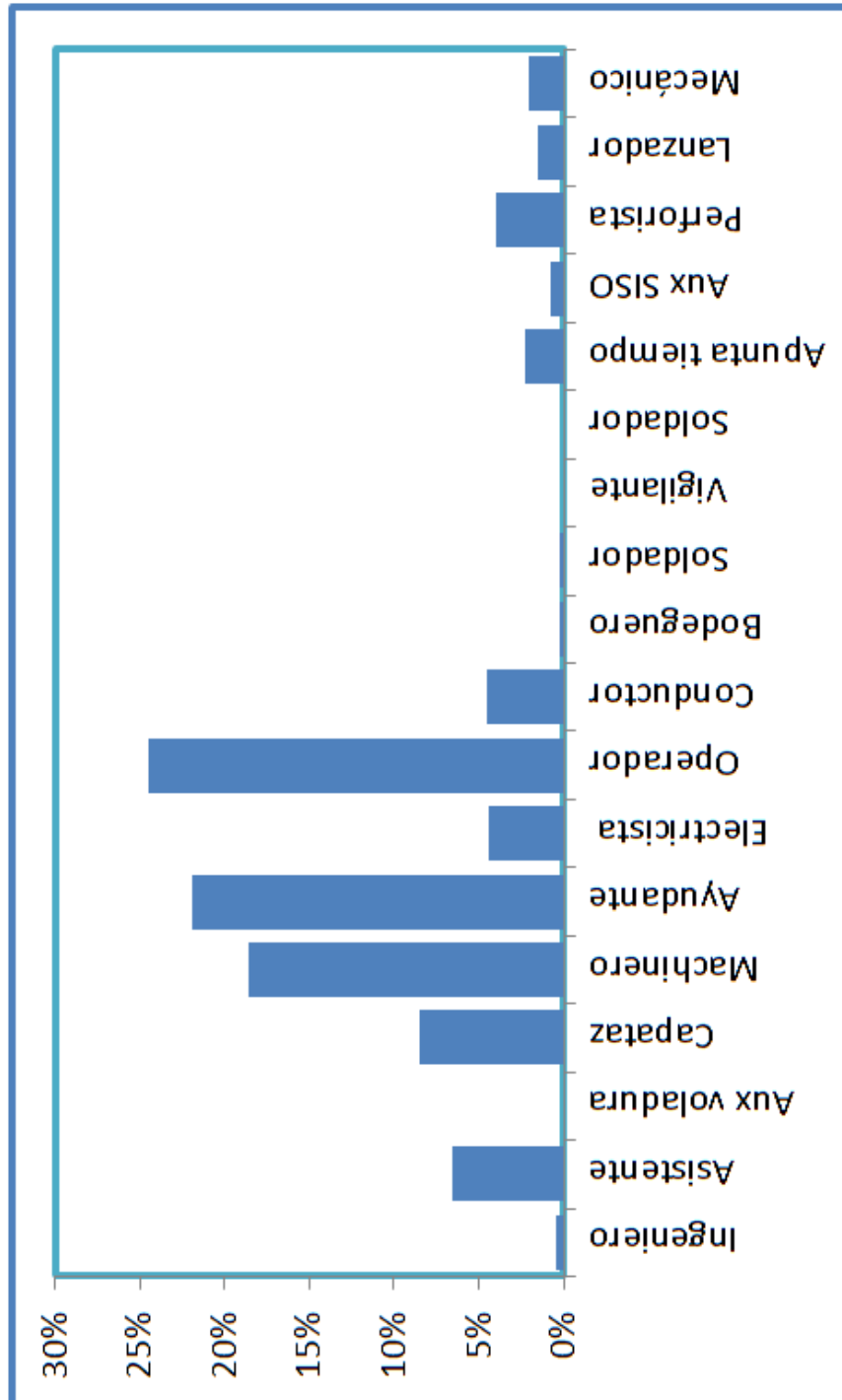




Anexo 48 Volumen excavado acumulado Vs Número de personas utilizadas acumuladas



Anexo 49 % de personas necesarias de cada cargo durante la excavación de caverna de máquinas.



Anexo 50 Tablas de los rendimientos de cada etapa con los recursos utilizados caverna de oscilación.

ETAPA I

Ensanche

Rendimiento:	76,81	[m3/día]
Rendimiento:	0,1159	[%/día]

80%

Equipo	Cantidad	R2	1 m3		76,81 m3	
			Día de trabajo	Hrs de trabajo	Día de trabajo	Hrs de trabajo (c/una)
Jumbo	1	0,945	2,80E-03	0,0672	0,215	5,16
Retromartillo	1	0,96	5,93E-04	0,014232	0,046	1,09
Bomba	1	0,81	7,42E-04	0,017808	0,057	1,37
Volquetas	3	0,99	1,18E-03	0,02832	0,091	2,18
Elevador	1	0,96	1,35E-03	0,0324	0,104	2,49
Cargador	1	0,99	1,18E-03	0,02832	0,091	2,18

	R2	1 m3	76,81 m3
Personal	0,99	0,2251	17,289931

Personal	% de participación	76,81 m3	
Ingeniero	0,43%	0,07	0
Asistente	6,58%	1,14	1
Aux voladura	0,00%	0,00	0
Capataz	8,44%	1,46	1
Machinero	18,61%	3,22	3
Ayudante	21,93%	3,79	4
Electricista	4,39%	0,76	1
Operador	24,53%	4,24	4
Conductor	4,53%	0,78	1
Bodeguero	0,06%	0,01	0
Soldador	0,00%	0,00	0
Vigilante	0,00%	0,00	0
Apunta tiempo	2,25%	0,39	0
Aux SISO	0,72%	0,39	0
Perforista	3,94%	0,12	0
Lanzador	1,55%	0,68	1
Mecánico	2,00%	0,27	0

ETAPA II

Desde la bóveda hasta el II
banqueo

Rendimiento:	198,49	[m3/día]
Rendimiento:	0,2995	[%/día]

Equipo	Cantidad	R2	1 m3		198,49 m3	
			Día de trabajo	Hrs de trabajo	Día de trabajo	Hrs de trabajo (c/una)
Jumbo	1	0,96	1,58E-03	0,03792	0,314	7,53
Retromartillo	1	0,98	2,06E-04	0,004944	0,041	0,98
Bomba	1	0,975	4,81E-04	0,011544	0,095	2,29
Volquetas	5	0,99	6,34E-04	0,015216	0,126	3,02
Elevador	1	0,96	1,35E-03	0,0324	0,268	6,43
Cargador	1	0,98	6,34E-04	0,015216	0,126	3,02
Perforadora	1	0,975	5,33E-04	0,012792	0,106	2,54
Retroexcavadora	1	0,98	5,71E-04	0,013704	0,113	2,72

	R2	1 m3	198,49 m3
Personal	0,99	0,1482	29,416218

Personal	% de participación	198,49 m3	
Ingeniero	0,43%	0,07	0
Asistente	6,58%	1,14	1
Aux voladura	0,00%	0,00	0
Capataz	8,44%	1,46	1
Machinero	18,61%	3,22	3
Ayudante	21,93%	3,79	4
Electricista	4,39%	0,76	1
Operador	24,53%	4,24	4
Conductor	4,53%	0,78	1
Bodeguero	0,06%	0,01	0
Soldador	0,00%	0,00	0
Vigilante	0,00%	0,00	0
Apunta tiempo	2,25%	0,39	0
Aux SISO	0,72%	0,39	0
Perforista	3,94%	0,12	0
Lanzador	1,55%	0,68	1
Mecánico	2,00%	0,27	0

ETAPA IV

Banqueos

Rendimiento:	231	[m3/día]
Rendimiento:	0,3498	[%/día]

Equipo	Cantidad	R2	1 m3		231 m3	
			Día de trabajo	Hrs de trabajo	Día de trabajo	Hrs de trabajo [c/una]
Jumbo	1	0,97	1,10E-03	0,0264	0,254	6,10
Retromartillo	1	0,98	2,63E-04	0,006312	0,061	1,46
Bomba	1	0,97	5,42E-04	0,013008	0,125	3,00
Volquetas	7	0,96	5,75E-04	0,0138	0,133	3,19
Elevador	1	0,99	1,08E-03	0,02592	0,249	5,99
Cargador	1	0,98	5,75E-04	0,0138	0,133	3,19
Perforadora	1	0,98	1,51E-03	0,03624	0,349	8,37
Retroexcavadora	1	0,99	9,54E-04	0,022896	0,220	5,29

	R2	1 m3	231 m3
Personal	0,99	0,1055	24,3705

Personal	% de participación	231 m3	
Ingeniero	0,43%	0,07	0
Asistente	6,58%	1,14	1
Aux voladura	0,00%	0,00	0
Capataz	8,44%	1,46	1
Machinero	18,61%	3,22	3
Ayudante	21,93%	3,79	4
Electricista	4,39%	0,76	1
Operador	24,53%	4,24	4
Conductor	4,53%	0,78	1
Bodeguero	0,06%	0,01	0
Soldador	0,00%	0,00	0
Vigilante	0,00%	0,00	0
Apunta tiempo	2,25%	0,39	0
Aux SISO	0,72%	0,39	0
Perforista	3,94%	0,12	0
Lanzador	1,55%	0,68	1
Mecánico	2,00%	0,27	0

ETAPA III

Actividades para la construcción de la rampa

Rendimiento:	145,144	[m3/día]
Rendimiento:	0,219	[%/día]

Equipo	Cantidad	R2	1 m3		145,144 m3	
			Día de trabajo	Hrs de trabajo	Día de trabajo	Hrs de trabajo [c/una]
Jumbo	1	0,53	3,08E-03	0,07392	0,447	10,73
Retromartillo	1	0,94	2,88E-04	0,006912	0,042	1,00
Bomba	1	0,89	7,85E-04	0,01884	0,114	2,73
Volquetas	4	0,76	1,14E-02	0,2736	1,655	9,92
Elevador	2	0,51	5,80E-03	0,1392	0,842	10,10
Cargador	10	0,46	3,40E-02	0,816	4,935	11,84
Perforadora	1	0,92	2,44E-03	0,05856	0,354	8,50
Retroexcavadora	1	0,93	1,59E-03	0,03816	0,231	5,54

	R2	1 m3	145,144 m3
Personal	0,96	0,2306	33,4702064

Personal	% de participación	145,144 m3	
Ingeniero	0,43%	0,07	0
Asistente	6,58%	1,14	1
Aux voladura	0,00%	0,00	0
Capataz	8,44%	1,46	1
Machinero	18,61%	3,22	3
Ayudante	21,93%	3,79	4
Electricista	4,39%	0,76	1
Operador	24,53%	4,24	4
Conductor	4,53%	0,78	1
Bodeguero	0,06%	0,01	0
Soldador	0,00%	0,00	0
Vigilante	0,00%	0,00	0
Apunta tiempo	2,25%	0,39	0
Aux SISO	0,72%	0,39	0
Perforista	3,94%	0,12	0
Lanzador	1,55%	0,68	1
Mecánico	2,00%	0,27	0

