

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



**COMPARACIÓN DE COSTOS Y RENDIMIENTOS DE
EXCAVACIÓN DE ZANJAS CON ZANJADORA TRENCOR
1260 Y CON VOLADURA
CONTROLADA**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

MARCIO ANDRÉ BRA VO RODRÍGUEZ

LIMA – PERÚ

2014

| ÍNDICE | Página |
|---|-----------|
| RESUMEN | 4 |
| LISTA DE CUADROS | 5 |
| LISTA DE FIGURAS | 7 |
| LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS | 9 |
| INTRODUCCIÓN | 11 |
| CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE CONSTRUCCIÓN | 12 |
| 1.1 INFORMACIÓN DEL OBJETO DE CONSTRUCCIÓN | 12 |
| 1.2 EXCAVACIÓN CON VOLADURA CONTROLADA | 15 |
| 1.2.1 Equipos de perforación y explosivos | 24 |
| 1.3 EXCAVACIÓN CON ZANJADORA TRENCOR 1260 | 26 |
| 1.3.1 Descripción de la Zanjadora TRENCOR 1260 | 27 |
| CAPÍTULO II: ANÁLISIS DE COSTOS Y RENDIMIENTOS DE LA VOLADURA CONTROLADA | 31 |
| 2.1 RECURSOS UTILIZADOS | 31 |
| 2.1.1 Equipos | 31 |
| 2.1.2 Personal de obra | 32 |
| 2.1.3 Materiales | 32 |
| 2.2 CÁLCULO DE RENDIMIENTOS DEL PROCESO DE VOLADURA | 35 |
| 2.2.1 Reportes y cálculos de rendimiento de perforación equipo JUN JIN | 35 |
| 2.2.2 Reportes y cálculos de rendimiento de perforación equipo SOOSAN | 38 |
| 2.2.3 Reportes y cálculo de rendimiento del proceso de voladura | 40 |
| 2.3 COSTO DEL PROCESO DE VOLADURA | 43 |
| 2.3.1 Precios | 43 |
| 2.3.2 Costos reales del proceso | 44 |
| 2.3.3 Costo unitario real del proceso | 45 |
| 2.3.4 Análisis de costo unitario teórico | 45 |

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE COSTOS Y RENDIMIENTO DE EXCAVACIÓN CON LA ZANJADORA TRENCOR 1260 | 48 |
| 3.1 RECURSOS UTILIZADOS | 48 |
| 3.2 REPORTES DE PROCESO DE EXCAVACIÓN CON ZANJADORA TRENCOR 1260 | 48 |
| 3.2.1 Cálculo de rendimientos del proceso de excavación con equipo Trencor 1260 por hora máquina y por día | 49 |
| 3.3 COSTO DEL PROCESO DE EXCAVACIÓN CON ZANJADORA DE ACUERDO A SUBCONTRATO | 52 |
| 3.3.1 Precio | 52 |
| 3.4 CÁLCULO DEL COSTO HORA – MÁQUINA DE EQUIPO ZANJADORA TRENCOR 1260 | 54 |
| 3.4.1 Información técnica económica de la Zanjadora | 54 |
| 3.4.2 Información complementaria | 55 |
| 3.4.3 Valores y cálculos previos | 55 |
| 3.4.4 Determinación de los costos fijos | 57 |
| 3.4.5 Determinación de los costos variables | 57 |
| 3.4.6 Determinación del costo total | 58 |
| 3.5 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE LA ACTIVIDAD: EXCAVACIÓN CON EQUIPO ZANJADORA TRENCOR 1260 | 59 |
| CAPÍTULO IV: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA VOLADURA Y LA ZANJADORA TRENCOR 1260 | 61 |
| 4.1 RENDIMIENTOS DEL PROCESO | 61 |
| 4.1.1 Rendimiento del proceso por el método de voladura controlada | 61 |
| 4.1.2 Rendimiento del proceso por el método de excavación con Zanjadora Trencor 1260 | 61 |
| 4.2 COSTOS DE LOS PROCESOS | 62 |
| 4.2.1 Costo unitario de excavación de zanja con voladura controlada | 62 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2.2 Costo unitario de excavación de zanja con Zanjadora Trencor 1260 | 62 |
| 4.3 ASPECTOS IMPORTANTES QUE SE PRESENTARON DURANTE LOS TRABAJOS | 63 |
| CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 65 |
| 5.1 CONCLUSIONES | 65 |
| 5.2 RECOMENDACIONES | 66 |
| BIBLIOGRAFÍA | 67 |

RESUMEN:

En la construcción e instalación de línea de gas se afronta el proceso de excavación de zanjas con mucha dificultad en ciertos tramos. Siendo la excavación un proceso fundamental por el impacto de este en los costos y la programación.

El presente informe se centra en la comparación de dos métodos constructivos para la realización de zanjas en terrenos difíciles, los cuales son clasificados de acuerdo al grado de dificultad para excavar. Dependiendo del grado de dificultad se recomiendan distintos métodos de excavación; en el caso de los terrenos más difíciles se recomienda la voladura.

El problema surge cuando las actividades de excavación se retrasan, lo cual origina que se deba excavar teniendo la tubería soldada a un costado de la zanja; lo cual es un problema para el proceso de excavación con voladura, puesto que los restos de roca que salen proyectados durante la explosión dañan la tubería del gasoducto. Por ello se toman en consideración medidas preventivas que ocasionan mayores tiempos para la ejecución de la voladura. En virtud a este problema se propone el uso de la Zanjadora Trencor 1260.

En el primer capítulo, "Descripción del objeto de construcción", se indican los procesos a estudiar. Se describen las actividades componentes de cada proceso de nuestro objeto de estudio; es decir se detallan las actividades del proceso de excavación con voladura y la excavación con Zanjadora Trencor 1260.

En el segundo capítulo, "Análisis de costos y rendimientos de la voladura" se analizan los rendimientos y luego los costos de los procesos de excavación con voladura controlada.

En el tercer capítulo, "Análisis de costos y rendimientos de excavación con Zanjadora Trencor 1260" se analizan los rendimientos y costos asociados al proceso indicado.

En el cuarto capítulo, "Análisis comparativo de la voladura y la Zanjadora Trencor 1260" se comparan los resultados obtenidos en los capítulos anteriores y adicional a ello se listan una serie de factores que nos permiten formar una idea clara de las ventajas y desventajas de ambos procesos en aplicación estricta del trabajo estudiado.

| LISTA DE CUADROS: | | Página |
|--------------------------|--|---------------|
| Cuadro N°1: | Tipos de suelo identificados a lo largo del ramal principal | 13 |
| Cuadro N°2: | Reporte de incidencia y longitud total según el tipo de suelo a excavar. | 14 |
| Cuadro N°3: | Secuencia de proceso de excavación con voladura controlada. | 24 |
| Cuadro N°4: | Equipos utilizados en el proceso de voladura. | 30 |
| Cuadro N°5: | Personal de obra en el proceso de voladura. | 31 |
| Cuadro N°6: | Reporte de perforación con equipo JUN JIN. | 34 |
| Cuadro N°7: | Longitud de zanja perforada por día con equipo JUN JIN. | 37 |
| Cuadro N°8: | Reporte de perforación con equipo SOOSAN. | 37 |
| Cuadro N°9: | Cálculo de longitud de zanja perforada por día con equipo SOOSAN. | 38 |
| Cuadro N°10: | Reporte de voladura por día. | 39 |
| Cuadro N°11: | Longitud de zanja detonada en total. | 40 |
| Cuadro N°12: | Área de sección típica de zanja. | 41 |
| Cuadro N° 13: | Longitud de zanja detonada por día. | 42 |
| Cuadro N°14: | Costos del subcontrato de perforación y voladura. | 42 |
| Cuadro N°15: | Costos de excavación de zanja con voladura controlada. | 43 |
| Cuadro N°16: | Precios unitarios de zanja con voladura controlada | 44 |
| Cuadro N°17: | Análisis de precios unitarios de la partida de excavación con voladura controlada para terrenos de difícil excavación. | 46 |
| Cuadro N°18: | Reporte diario de excavación con zanjadora Trencor 1260. | 47 |
| Cuadro N°19: | Longitud de zanja excavada por hora – máquina y por día. | 48 |
| Cuadro N°20: | Área de sección típica de zanja excavada por equipo Trencor 1260. | 50 |
| Cuadro N°21: | Volumen de terreno excavado por unidad de tiempo. | 50 |

| | | |
|--------------|---|----|
| Cuadro N°22: | Precios unitarios del subcontrato de excavación de zanja con zanjadora Trencor 1260 | 51 |
| Cuadro N°23: | Cantidad de horas máquina trabajadas por equipo Trencor 1260 | 52 |
| Cuadro N°24: | Monto total ejecutado en excavación de zanja con zanjadora Trencor 1260. | 52 |
| Cuadro N°25: | Gastos de importación, desaduanaje, transporte y otros del equipo Zanjadora Trencor 1260. | 55 |
| Cuadro N°26: | Análisis de precios unitarios: Excavación de zanja con equipo Zanjadora Trencor 1260. | 59 |
| Cuadro N°27: | Cuadro comparativo de rendimientos reales por procesos de excavación. | 60 |
| Cuadro N°28: | Cuadro resumen de costos unitarios por M3 excavado. | 62 |

| LISTA DE FIGURAS: | Página |
|--|---------------|
| Figura N°1: Localización general del Proyecto | 12 |
| Figura N°2: Diagrama de secuencia de actividades del proceso de excavación de zanja con voladura controlada. | 15 |
| Figura N°3: Malla de perforación y secuencia de salida. | 15 |
| Figura N°4: Diseño de carga espaciada. | 16 |
| Figura N°5: Ubicación de puntos para perforación. | 17 |
| Figura N°6: Cálculo de los parámetros de voladura. | 18 |
| Figura N°7: Carguío de taladros en el PK 115+700. | 18 |
| Figura N°8: Esquema de amarre de taladros con fanel con conector mini dual. | 19 |
| Figura N°9: Amarre de taladros en el PK 115+700. | 19 |
| Figura N°10: Protección de zanja con arena húmeda y con mantas de HDPE sobre la tubería. | 20 |
| Figura N°11: Fragmentación de rocas luego de la detonación. | 21 |
| Figura N°12: Retiro de material detonado. | 22 |
| Figura N°13: Presentación final de zanja. | 22 |
| Figura N°14: Perforadoras JUN JIN y SOOSAN (Rockdrill) | 23 |
| Figura N°15: Perforadora JUN JIN en trabajo. | 24 |
| Figura N°16: Ficha técnica de perforadora JUN JIN SD 1300E. | 25 |
| Figura N°17: Plano con dimensiones de equipo Zanjadora Trencor 1260. | 27 |
| Figura N°18: Ficha técnica de la Zanjadora Trencor 1260. | 29 |
| Figura N°19 Zanjadora Trencor 1260. | 30 |
| Figura N°20: Barrenos y acero de perforación. | 32 |
| Figura N°21: Explosivos Emulnor. | 32 |
| Figura N°22: Emulsión dispuestos en campo. | 33 |
| Figura N°23: Sección típica de zanja. | 41 |

| | | |
|--------------|---|----|
| Figura N°24: | Excavación de zanja con Zanjadora Trencor 1260. | 49 |
| Figura N°25: | Zanja y restos de materiales rocosos. | 49 |
| Figura N°26: | Pared de zanja excavada por equipo Trencor 1260. | 50 |
| Figura N°27: | Tubería a instalar en zanja excavada por equipo Trencor 1260. | 51 |

LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS

| | |
|---------|---|
| PK: | Progresiva en kilómetros. |
| M: | Metros. |
| ML: | Metro lineal. |
| Kg: | Kilogramos. |
| M2: | Metros cuadrados. |
| M3: | Metros cúbicos. |
| pulg: | Pulgadas. |
| BCM: | Volumen roto. |
| HDPE: | Polietileno de alta densidad: |
| KW: | Kilowatts. |
| HP: | Horse power. |
| Gal: | Galones. |
| USD: | Dólares americanos. |
| S/: | Nuevos soles |
| Glb: | Global. |
| HM: | Hora – máquina. |
| %: | Porcentaje. |
| CIF: | Costo, seguro y flete. |
| VR: | Valor residual. |
| Pp: | Precio del petróleo. |
| Pac: | Precio del aceite. |
| Pgr: | Precio de la grasa. |
| R1: | Tasa de costo capital invertido en dólares. |
| R2: | Tasa de costo capital invertido en soles. |
| VMN: -- | Derechos de importación y otros. |
| VA: | Valor de adquisición. |

| | |
|-------|--------------------------------------|
| n: | Vida útil. |
| CR: | Costo de reposición o depreciación. |
| CI: | Costo de inversión. |
| K: | Factor K. |
| CMR: | Costo de mantenimiento y reparación. |
| CS: | Costo de seguros. |
| CG: | Costo de guardianía. |
| Cimp: | Costo de impuestos. |
| CFT: | Costo fijo total. |
| Cc: | Costo de combustibles. |
| PM: | Potencia total de la máquina. |
| Cac: | Costo de aceites. |
| Cgr: | Costo de grasas. |
| Cf: | Costo de filtros. |
| CII: | Costo de mantenimiento de orugas. |
| Cj: | Costo de operador especializado. |
| CVT: | Costo variable total. |
| CT: | Costo total. |
| R: | Rendimiento del proceso evaluado. |
| MO: | Mano de obra. |
| Cp: | Costo de picas |

INTRODUCCIÓN

Dentro de la construcción y habilitación de redes enterradas (tubería de agua, desagüe, conductora de gas, etc.) se llevan a cabo diversas actividades propias del proceso constructivo como lo es la excavación de zanjas. Dichas redes atraviesan diversos tipos de terreno, desde suelos fácilmente excavables hasta rocas ígneas de alta dureza difícilmente excavables.

Para el proyecto de construcción de la red de gas del departamento de Ica, se determina en principio el uso de explosivos para los terrenos de moderada y difícil excavabilidad.

Dentro del proceso de voladura se presentan diversos problemas, y por la necesidad de aperturar nuevos frentes y no afectar el cronograma de obra, se opta por la ZANJADORA TRENCOR 1260. Teniendo dos procesos diferentes para la excavación en terreno complicado, se realiza el análisis de costos y rendimientos para ambos procesos.

Finalmente se analizarán y compararán los resultados obtenidos para ambos procesos de excavación evaluados en función a costos y rendimientos.

Cabe señalar que para ambas opciones se opta por el subcontrato.

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE CONSTRUCCIÓN

1.1.- INFORMACIÓN DEL OBJETO DE CONSTRUCCIÓN:

El proyecto que vamos a analizar se lleva a cabo en el departamento de Ica, donde se desarrolla la construcción de la red principal del gasoducto de dicho departamento. El gasoducto de Ica nace en el Distrito de Humay, en este lugar se conecta con la red principal proveniente de Camisea. El gasoducto del Departamento de Ica consta de 200 Km de red de tubería de acero enterrada; dentro de esos 200 Km encontramos diversos tipos de suelo indicados en el desarrollo del presente informe.

El proceso en el cual nos enfocamos es la excavación de zanja en roca fija, sobre la cual estudiaremos los rendimientos y costos asociados a los métodos que en este informe se estudian. Es así que luego de identificado nuestro objeto de construcción, analizamos e identificamos los parámetros de producción y particularmente nos enfocamos en el proceso de producción.



Figura N°1: Localización general del Proyecto (Departamento de Ica)

De las actividades que componen el proceso constructivo nos enfocaremos en la excavación de zanja para tubería enterrada. La excavación a lo largo del ramal principal se realizará sobre diferentes tipos de suelo. El estudio de ingeniería a lo largo del ramal principal muestra diferentes tipos de composición del suelo (ver cuadro N°1)

Cuadro N° 1: Tipos de suelo identificados a lo largo del ramal principal.

| TIPO | DESCRIPCIÓN | MÉTODO DE EXCAVACIÓN |
|------|---|--|
| I | Arenas eólicas originadas a partir de meteorización de rocas ígneas. Material fácilmente excavable, alto movimiento de tierras | Uso de excavadora con alto rendimiento |
| II | Depósitos aluviales cubiertos con arenas eólicas. Material fácilmente excavable, bajo movimiento de tierras | Uso de excavadora con rendimiento bajo |
| III | Rocas sedimentarias de origen marino, representadas por arenas calcáreas, margas, yeso y evaporitas, cubiertas con arena eólicas. Material de excavabilidad moderada. | Uso de excavadora con rendimiento bajo. Se requiere martillo en ocasiones. |
| IV | Rocas de edad precámbrica, representadas por granitos. Material de excavabilidad moderada a difícil. | Es probable que se requiera el uso de compresor, martillo o explosivos. |
| V | Rocas de origen ígneo de alta dureza. Material de difícil excavabilidad. | Requiere el uso de explosivos |

Fuente: Estudios de Ingeniería básica Proyecto de Red de Gas para el Departamento de Ica.

El estudio de ingeniería indica que se pueden encontrar los tipos de suelos descritos en el cuadro N°1 a lo largo de toda la traza en diferentes tramos. Como tramo control para el análisis escogeremos el comprendido entre la progresiva PK 44+700 y la PK 198+250. Se realiza un cuadro identificando y relacionando tramos de la traza con tipos de suelo. A continuación mostramos la información obtenida:

Cuadro N° 2: Reporte de incidencia y longitud total según el tipo de suelo a excavar.

| REPORTE FINAL | | PK Inicio | PK FIN |
|----------------------|--|---------------------|-----------------------|
| | | 44+700 | 198+250 |
| Tipo de Suelo | Descripción | Longitud (m) | Incidencia (%) |
| TIPO V | Rocas ígneas de alta dureza, difícil excavabilidad | 42,961.00 | 27.99% |
| TIPO IV | Rocas tipo Caliche, excavabilidad moderada a difícil | 24,789.00 | 16.14% |
| TIPO III | Rocas sedimentarias de excavabilidad moderada | 9,680.00 | 6.30% |
| TIPO II | Depósitos aluviales cubiertos con arenas eólicas | 400.00 | 0.26% |
| TIPO I | Material fácilmente excavable | 75,720.00 | 49.31% |
| TOTAL | | 153,550.00 | 100% |

Del cuadro N°2 se puede apreciar que el 45% del terreno a excavar es de un suelo que comprenden materiales cuya excavación resulta dificultosa. Ahora bien, frente a esta situación en principio se opta por el uso de explosivos y luego por el uso de la ZANJADORA TRENCOR 1260.

1.2.- EXCAVACIÓN CON VOLADURA CONTROLADA:

Para afrontar la excavación de zanja en terrenos clasificados como Tipo IV y V se opta por la voladura controlada.

La excavación en roca con voladura se desarrolla en diferentes fases o etapas. En la primera fase o etapa se efectúa la perforación con equipo Rockdrill (taladro para roca), la cual es una perforadora hidráulica montada sobre orugas que tiene la compresora incluida, este equipo tiene un alto rendimiento en la rotación debido al fuerte desarrollo de los equipos hidráulicos con martillo en cabeza y está indicado para los trabajos de perforación con diámetros superiores a los 150 mm.

Luego de la perforación se colocan los taladros y se realiza el carguío de taladros, siendo el primer paso el primado de cebos que se realiza con un iniciador encartuchado como una emulsión o dinamita. Se continúa con la colocación de los explosivos indicados según diseño.

Luego de colocados los explosivos y los detonantes se procede a colocar la cobertura o protección, por lo general esta cobertura es una malla.

Tomando las medidas de seguridad necesarias se procede a realizar la detonación. Luego de ello se retira el material dinamitado que quedó dentro de la zanja mediante el uso de una excavadora.

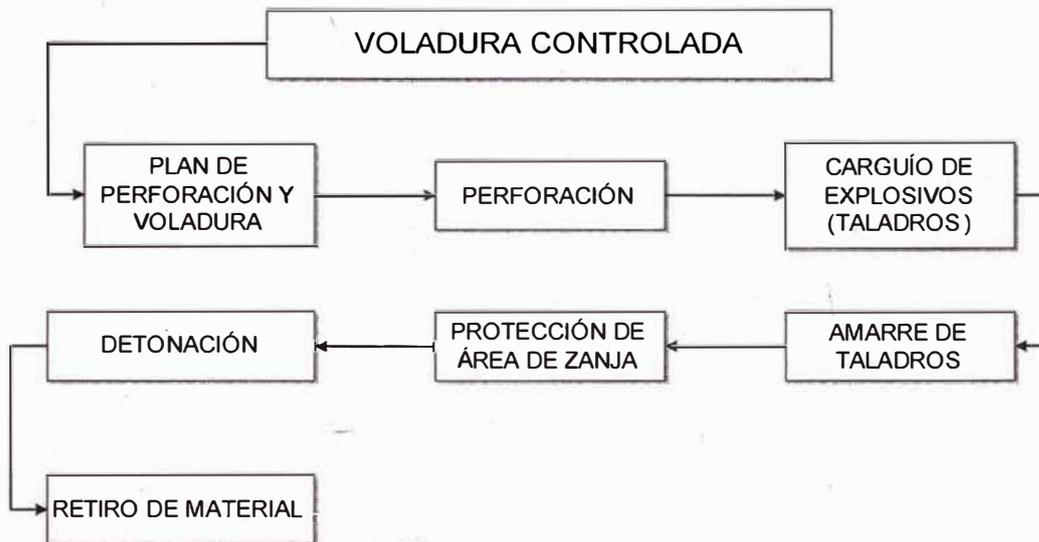


Figura N° 2: Diagrama de secuencia de actividades del proceso de excavación de zanja con voladura controlada.

- **PLAN DE PERFORACIÓN Y VOLADURA:** Como primer paso se desarrolla el plan de perforación, en el cual se establece la separación entre las perforaciones así como el diseño de carga (profundidades y distribución de carga en las perforaciones).

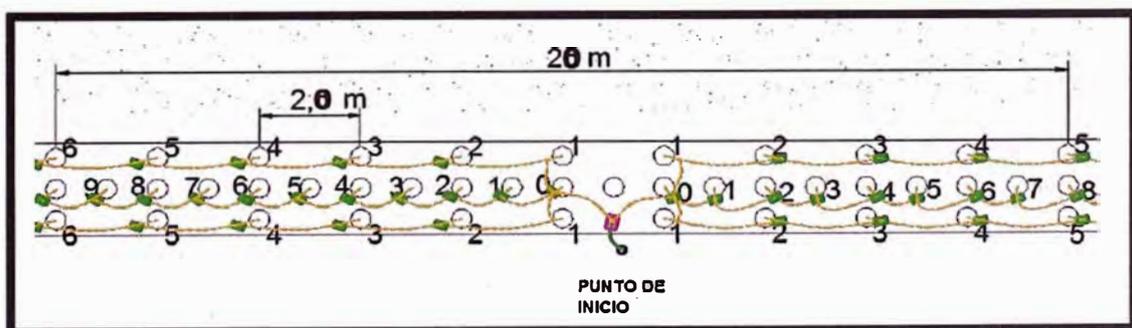


Figura N° 3: Malla de perforación y secuencia de salida

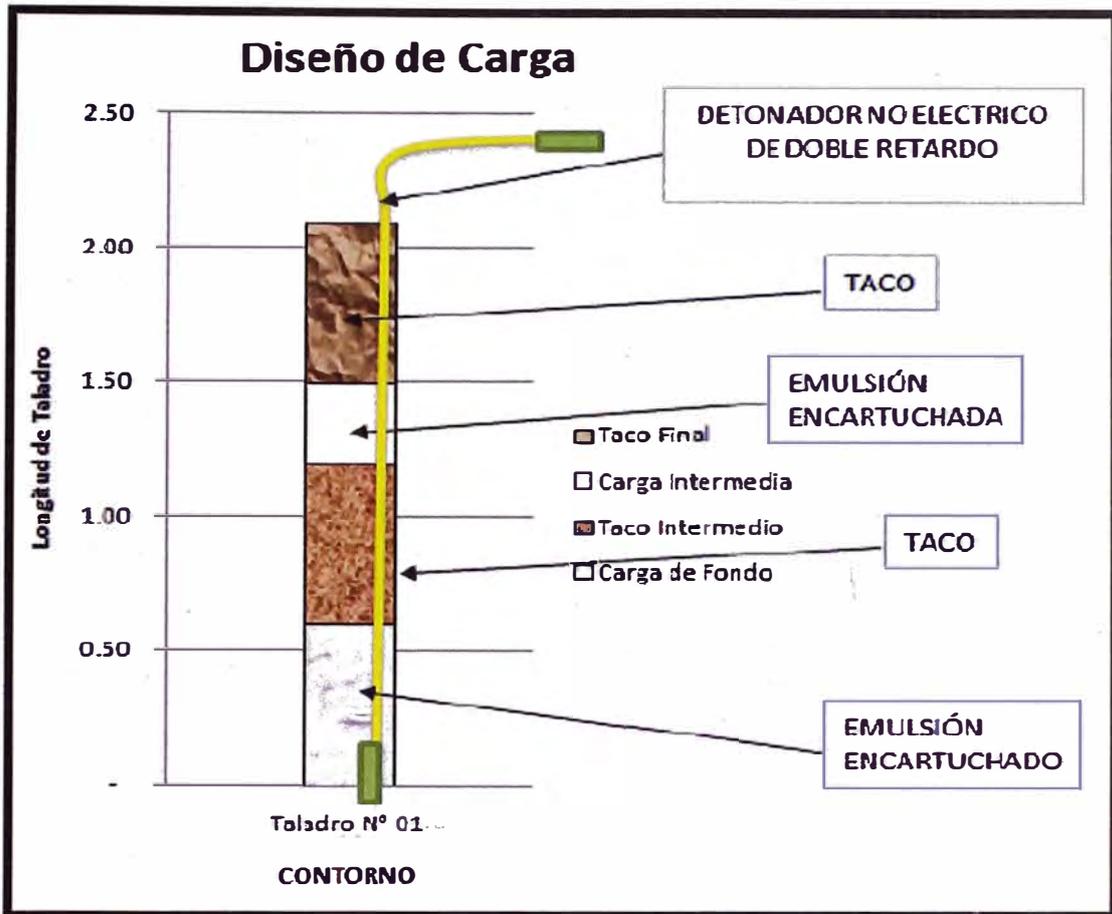


Figura N° 4: Diseño de carga espaciada.

- **PERFORACIÓN:** La siguiente actividad del proceso es la perforación de taladros en los cuales se colocarán las cargas. Se demarcan los puntos para la perforación y se da inicio a las perforaciones. En la Figura N° 4 se aprecia la sección de una perforación típica, así como la distribución de las cargas dentro de la perforación. En la Figura N° 5 observamos al equipo JUN JIN antes de iniciar las perforaciones.



Figura N° 5: Ubicación de puntos para perforación.

- **CARGUÍO DE EXPLOSIVOS (CARGUÍO DE TALADROS):** Luego de realizadas las perforaciones de acuerdo al plan (diseño) de las perforaciones, se prosigue con la colocación de las cargas. Se calculan los parámetros de voladura como el factor de carga; por ejemplo si el factor de carga es de 1.2 Kg/m³, es decir, un cartucho de emulsión de 2" de diámetro por 16" (0.40 m) de largo por cada metro de perforación, entonces, para los taladros de 2.1 m. de profundidad se tiene 0.80 m. de carga explosiva en el fondo y 1.30 m. de taco, para el caso de estratos superficiales la distribución cambia, teniéndose así carga de fondo de un cartucho y medio, luego un tramo de arena de 0.60 m. (taco), después medio cartucho de emulsión y taco de 0.60 m. Ver en Figura N° 6 el cálculo de parámetros de voladura para determinada longitud de zanja a detonar. En la Figura N° 7 se observa el proceso de carguío en un tramo del proyecto.

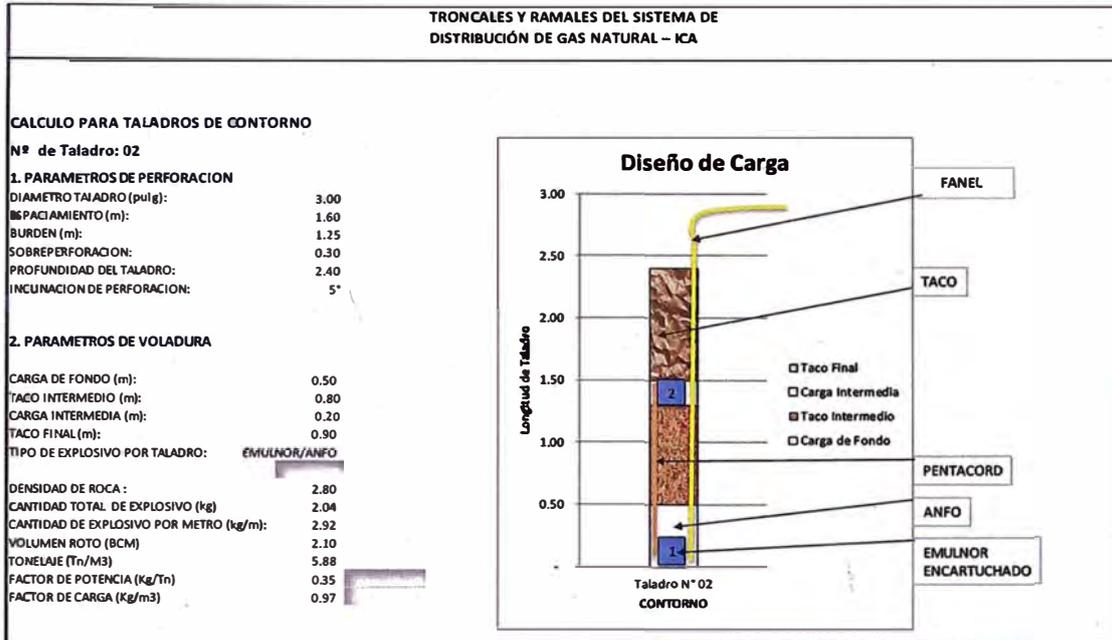


Figura N°6: Cálculo de los parámetros de voladura



Figura N°7: Carguío de taladros en el PK 115+700

- **AMARRE DE TALADROS:** Luego de efectuado el carguío de explosivos, se procede con el amarre de taladros, esto se realiza con el Fanel con conector mini dual que permite amarrar taladro a taladro. Ver Figuras N° 8 y 9 donde

se puede apreciar el esquema de amarre de taladros y una imagen de campo donde se aprecia la actividad.

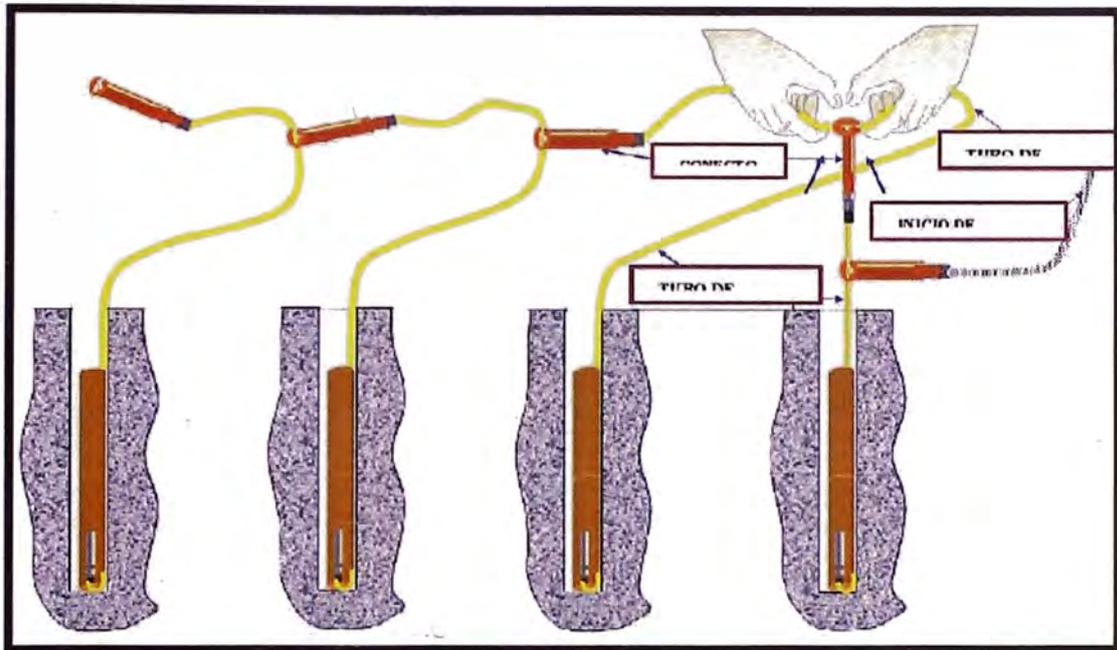


Figura N°8: Esquema de amarre de taladros con fanel con conector mini dual



Figura N°9: Amarre de taladros en el PK 115+700

- **PROTECCIÓN DE ÁREA DE ZANJA:** Luego de efectuado el carguío de explosivos, se protege el área superficial de la zanja con arena húmeda y a la vez se protege la tubería con una manta de HDPE. La arena húmeda evita la proyección de partículas rocosas producto de la detonación. La manta de HDPE mitiga cualquier eventual colisión de cualquier proyectil lanzado desde la zanja debido a la detonación.



Figura N°10: Protección de zanja con arena húmeda y con mantas de HDPE sobre la tubería.

- **DETONACIÓN:** Luego de verificar el correcto amarre de los taladros se toman todas las medidas de seguridad necesarias. Finalmente se procede a la detonación de acuerdo a la secuencia establecida. En la Figura N° 11 se aprecia terreno luego de la detonación.

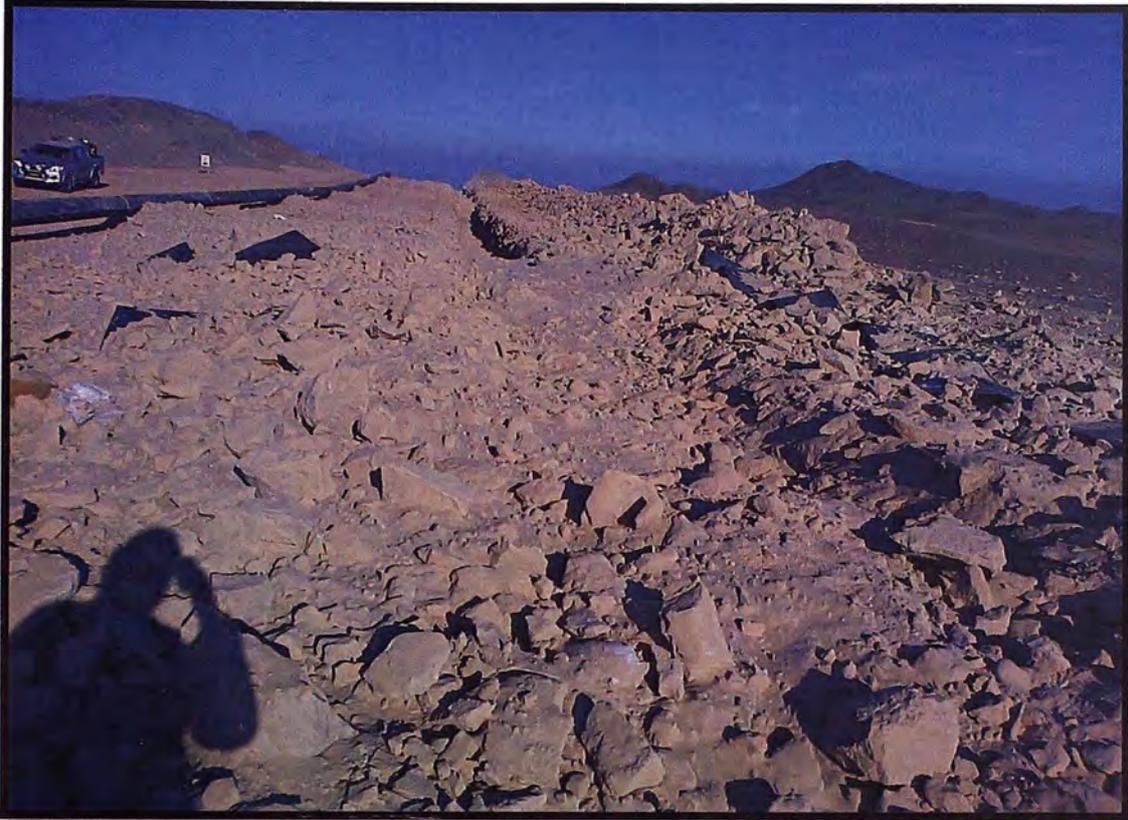


Figura N° 11: Fragmentación de rocas luego de la detonación.

- **RETIRO DE MATERIAL:** Una vez efectuada la detonación, se verifica que todo el sistema funcionó correctamente, detonando todas las cargas. Luego se realiza una inspección antes de autorizar el ingreso de la maquinaria para el retiro del material detonado. Esta actividad la realizamos con una excavadora. En la Figura N° 12 se puede apreciar a la excavadora retirando el material fragmentado y en la Figura N° 13 se aprecia la zanja liberada para el siguiente proceso en el tren de trabajo que es la bajada de tubería.



Figura N° 12: Retiro de material detonado.

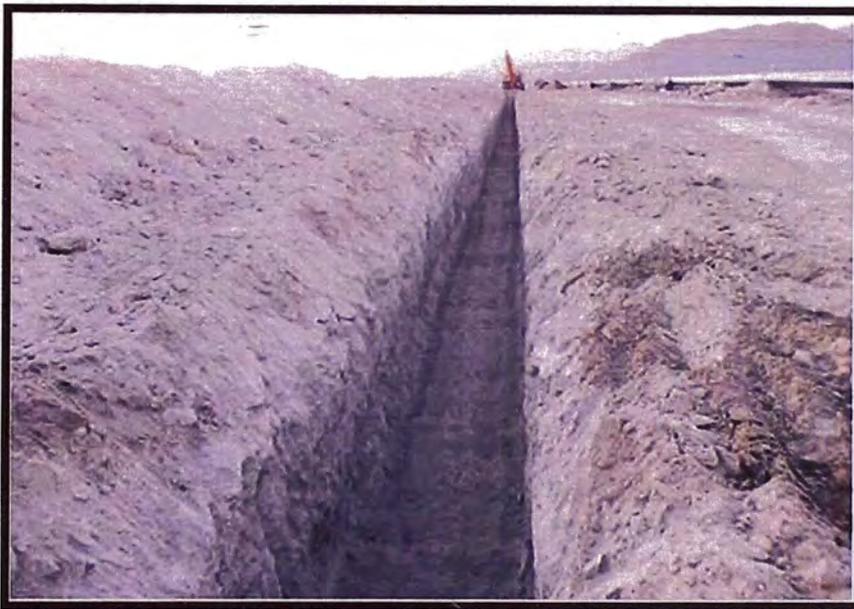


Figura N° 13: Presentación final de zanja.

Luego para proseguir con el proceso de excavación se debe remover el material fracturado que aún se aloja en la zanja luego de la voladura. Estos materiales se retiran con una excavadora.

Las actividades a tomar en cuenta para el cálculo de costos y rendimientos son la perforación, la voladura propiamente dicha, y el retiro del material detonado dentro de la zanja.

Las actividades de apoyo para la perforación como el transporte de explosivos no se toman en cuenta para el análisis comparativo a realizar.

1.2.1 EQUIPOS DE PERFORACIÓN Y EXPLOSIVOS

Los equipos de perforación utilizados en la voladura son las perforadoras Trackdrill Hidráulicas SOOSAN SD 1000E 2 ½" – 4" (119 KW – 160 HP) y JUN JIN JD-1300E3 ½" – 4 ½". (153 KW – 205 HP)



Figura N°14: Perforadoras JUN JIN y SOOSAN (Rock Drill)

Luego que se tiene los taladros cargados y atascados se procede con el amarre usando faneles con retardos según diseño y cordón detonante para finalmente realizar el disparo para la detonación de explosivos.

Después de la detonación se verifica que todas las cargas detonaron, una vez verificado esto se procede con la remoción del material detonado, dejando la zanja lista para el relleno y bajada de tubería.

La secuencia de trabajo descrita se presenta en el siguiente esquema:

Cuadro N° 3: Secuencia de proceso de excavación de zanja con voladura controlada

| SECUENCIA DE EXCAVACIÓN DE ZANJA CON VOLDAURA CONTROLADA | |
|--|---------------------------------|
| 1.0 | PERFORACIÓN |
| 2.0 | UBICACIÓN Y CARGUÍO DE TALADROS |
| 3.0 | COBERTURA O PROTECCIÓN |
| 4.0 | DETONACIÓN Y VERIFICACIÓN FINAL |
| 5.0 | REMOCIÓN DE MATERIAL |



Duración del proceso de excavación con voladura controlada

En este proceso es importante indicar que las actividades de ubicación y carguío de taladros empiezan un tiempo después que la perforación haya iniciado, para poder realizar las detonaciones sin esperar a que la perforación termine. Pues las velocidades de ejecución de las actividades 2.0, 3.0 y 4.0 son mayores a la de la perforación (tomado en consideración los recursos que tenemos, tales como las perforadoras). De esta forma no se tendrían tiempos muertos debido a esperas de actividad predecesora.



Figura N°15: Perforadora JUN JIN en trabajo.

En la siguiente imagen se presenta la ficha técnica del equipo de perforación JUN JIN SD1300E:

| TECHNICAL DATA 9D-1300E WITH JET-9(JUNJIN) | | |
|--|----------------------|---------------|
| Specification | SD-1300E(JET-9) | |
| | Metric | US |
| General Specification | | |
| Weight(excl. Optional equipment) | 14,000kg | 30,900 lbs |
| Overall Width | 2490mm | 8' 2" |
| Overall Length | 9400mm | 30'10" |
| Overall Height | 2960mm | 9' 8" |
| Performance | | |
| Hole Range | 75 - 115mm | 3" - 4 1/2" |
| Drilling Depth | 25m(T45, T51) | 82'(T45, T51) |
| Gradeability | 30° | |
| Tramming Speed, Max | 0 - 3.6km/hr | 0 - 2.4mph |
| Engine | | |
| Model | CTAA8.3-C(CUMMINS) | |
| Rating Output at 2200rpm | 153kw | 205hp |
| Emission control level | Stage II | Tier II |
| Air Compressor | | |
| Working Pressure, max. | 10.5bar | 152 psi |
| Free Air Delivery | 82 l/s(0.8m³/min) | 240 cfm |
| Tank Capacity | 0.035m³ | |
| Drifter | | |
| Model | JET-9 | |
| Impact Power, Max. | 10kw | 25hp |
| Rotation | Max. 190rpm | |
| Torque | 562Nm | 636lb.ft |
| Fuel Tank | | |
| Capacity | 380L | 100 US gal. |
| Boom | | |
| Type | Extension | |
| Extension | 1100mm | 3' 7" |
| Overall Length | 3000mm | 10' |
| Lift Angle | Up : 5° / Down : 15° | |
| Swing Angle | L : 10° / R : 15° | |
| Guide Shell | | |
| Overall Length | 7240mm | 23'9" |
| Slide Length | 1200mm | 4' |
| Feed Length | 4300mm | 14' 1" |
| Swing Angle | L : 90° / R : 10° | |
| Tilt Angle | 12° | |
| Tramming | | |
| Traction Force | 82kN | 18459lbf |
| Length of Tumbler | 2480mm | 8' 2" |
| Shoe Width | 330mm | 1' |
| Ground Clearance | 540mm | 1'8" |

Standard equipment

- Rops & Fops Cabin
- Auto Rod Changer(3,660mm x 7 rods)
- Extension Boom
- Track Oscillation(± 10°)
- Dust Collector with 4 filters
- Air Pre Cleaner for Engine
- Air Pre Cleaner for Compressor
- Pre Cleaner for Dust Collector(cyclone)
- Sliding and Side Opening Type Dust Hood
- Anti Jamming System
- Collaring System
- Cabin Heating & Air Conditioning System
- Safety shutdown device on (compressor, engine)
- Thread greasing device, touch type
- Percussion Pressure Control
- Low level indicator for fuel
- Level Gauge of Fuel and Hydraulic Oil
- N2 Gas charging equipment (for drifter)
- Standard tool kit
- Rock Drill hour meter
- Back Mirror
- Work Lights
- Back Up Alarm
- Warning Horn

Optional equipment

- Auto Rod Changer(3,660mm x 6 rods) for T51 rods
- Engine Pre-heating device
- Rear Bumper
- Digital Angle Indicator
- Water Flushing System
- Hydraulic Oil(Fuel) Charging Hand Pump

Figura N°16: Ficha técnica de perforadora JUN JIN SD1300E

1.3.- EXCAVACIÓN CON ZANJADORA TENCOR 1260

La excavación con la zanjadora TENCOR 1260 se desarrolla teniendo en cuenta las siguientes etapas: la delimitación del lugar de trabajo, el trazo de la

zanja a excavar y finalmente la excavación y colocación del material a un lado de la zanja.

Desde el punto de vista de complejidad de proceso es mucho más simple que la voladura controlada. Pero desde el punto de vista del mantenimiento, el uso de la zanjadora llega a resultar un tanto más complejo.

1.3.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZANJADORA TRENCOR 1260:

La zanjadora TRENCOR 1260 es un equipo diseñado para la excavación lineal de zanjas a nivel de superficie. Este equipo disgrega el material excavado y lo elimina a un costado de la zanja excavada. A diferencia de la voladura con el uso de la zanjadora no se requiere de excavadora para la remoción de material.

En el plano adjunto se muestran las dimensiones de la zanjadora:

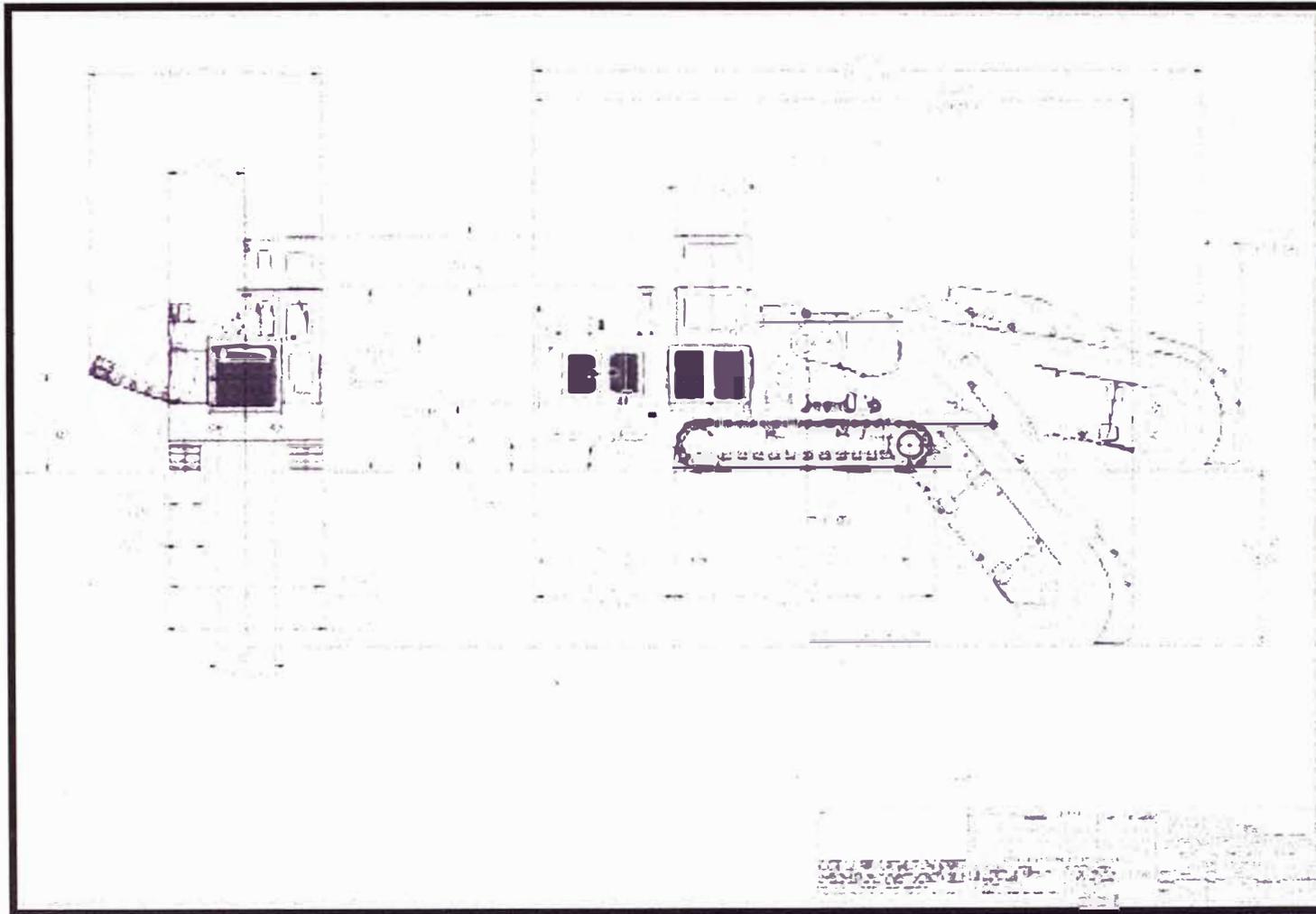


Figura N°17: Plano con dimensiones de equipo Zanjadora Trencor 1260.

Como información importante de la zanjadora se tiene:

Potencia 440 HP

Velocidad de avance promedio: 3.2 Kph.

Ancho de zanja excavada: 2' – 6'.

Profundidad máxima de zanja 10' - 4".

Capacidad de tanque de combustible: 250 Gal.

Tiempo máximo de operación: 11 horas a la máxima potencia.

La ficha técnica del equipo se aprecia en la siguiente imagen:

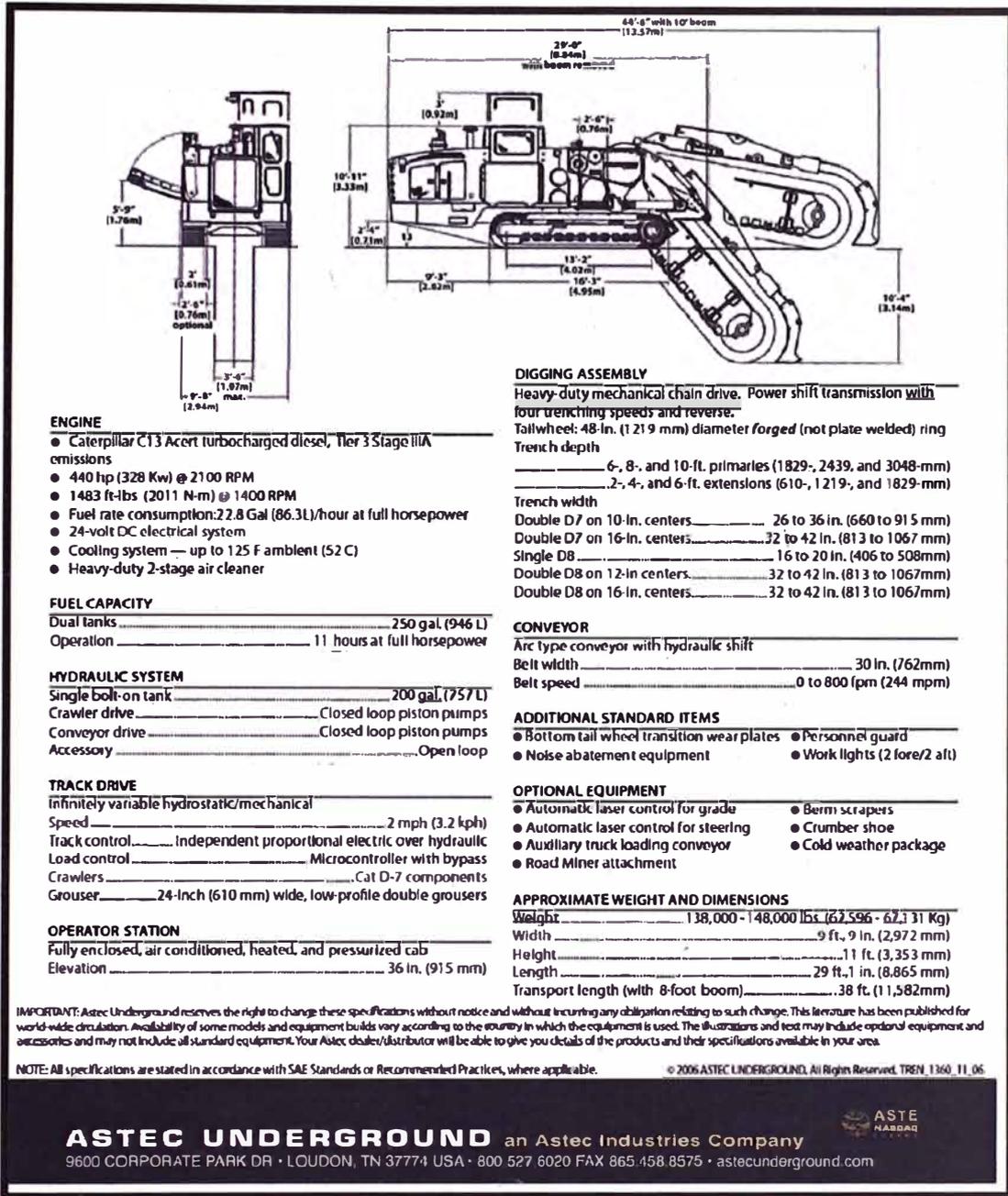


Figura N°18: Ficha técnica de la zanjadora Trencor 1260.



Figura N°19: Zanjadora Trencor 1260.

CAPÍTULO II: ANÁLISIS DE COSTOS Y RENDIMIENTOS DE LA VOLADURA CONTROLADA.

2.1.- RECURSOS UTILIZADOS:

2.1.1 EQUIPOS: Los equipos utilizados para la excavación de zanjas a través de la voladura controlada son:

Cuadro N° 4: Equipos utilizados en el proceso de voladura.

| EQUIPOS | DESCRIPCIÓN | CANT. |
|----------|------------------------------------|-------|
| PESADOS | Perforadora Trackdrill Hidráulica | 2 |
| | Compresora 375 pcm. | 1 |
| | Perforadora neumática manual | 2 |
| LIVIANOS | Unidad de transporte de explosivos | 2 |
| | Unidad de transporte de personal | 1 |
| | Unidad de supervisión | 1 |

2.1.2 PERSONAL DE OBRA: El personal de obra para la excavación de zanjas se muestra en el cuadro N°5:

Cuadro N° 5: Personal de obra en el proceso de voladura.

| PERSONAL | DESCRIPCIÓN | CANT. |
|-----------|------------------------------------|-------|
| DIRECTO | Operador de Trackdrill | 4 |
| | Operador de Compresora | 1 |
| | Operador de perforadora manual | 3 |
| | Ayudantes Perforadora TDH | 4 |
| | Ayudantes Perforadora manual | 3 |
| | Cargadores de explosivos | 8 |
| INDIRECTO | Residente de Obra | 1 |
| | Jefe de perforación y voladura | 1 |
| | Jefe de Seguridad / Medio Ambiente | 1 |
| | Supervisor de Seguridad | 1 |
| | Supervisor de campo | 1 |
| | Mantenimiento de Equipos | 2 |
| DE APOYO | Jefe de Oficina Técnica | 1 |
| | Asistente de Oficina Técnica | 1 |
| | Administrador de Obra | 1 |
| | Supervisor de Logística | 1 |
| | Conductores | 4 |

2.1.3 MATERIALES: Los materiales utilizados para la excavación de zanjas a través de la voladura controlada son:

- Barrenos
- Aceros de perforación
- Lubricantes
- Explosivos
- Accesorios de voladura
- Herramientas manuales.
- Arena húmeda
- HDPE
- Paneles, conos, banderolas y elementos de señalización en general.



Figura N°22: Emulsión dispuestos en campo.

| FECHA | LONGITUD PERFORADA (m) | TIPO DE SUELO PERFORADO |
|--------|------------------------|-------------------------|
| 10-mar | 315.00 | IV y V |
| 11-mar | 235.00 | IV y V |
| 12-mar | 160.00 | IV y V |
| 13-mar | 300.00 | IV y V |
| 14-mar | 180.00 | IV y V |
| 15-mar | 180.00 | IV y V |
| 16-mar | 170.00 | IV y V |
| 17-mar | 150.00 | IV y V |
| 18-mar | 90.00 | IV y V |
| 19-mar | 300.00 | IV y V |
| 20-mar | 180.00 | IV y V |
| 21-mar | 255.00 | IV y V |
| 22-mar | 87.00 | IV y V |
| 23-mar | 150.00 | IV y V |
| 24-mar | 150.00 | IV y V |
| 25-mar | 365.00 | IV y V |
| 26-mar | 80.00 | IV y V |
| 27-mar | 65.00 | IV y V |
| 28-mar | 130.00 | IV y V |
| 01-abr | 60.00 | IV y V |
| 02-abr | 116.00 | IV y V |
| 03-abr | 20.00 | IV y V |
| 04-abr | 230.00 | IV y V |
| 05-abr | 90.00 | IV y V |
| 06-abr | 223.00 | IV y V |
| 07-abr | 185.00 | IV y V |
| 08-abr | 435.00 | IV y V |
| 09-abr | 170.00 | IV y V |
| 10-abr | 190.00 | IV y V |
| 11-abr | 253.00 | IV y V |
| 13-abr | 25.00 | IV y V |
| 14-abr | 245.00 | IV y V |
| 15-abr | 25.00 | IV y V |
| 16-abr | 275.00 | IV y V |
| 17-abr | 325.00 | IV y V |
| 18-abr | 150.00 | IV y V |
| 19-abr | 108.00 | IV y V |
| 20-abr | 212.00 | IV y V |
| 21-abr | 291.00 | IV y V |
| 22-abr | 167.00 | IV y V |
| 23-abr | 127.00 | IV y V |

| FECHA | LONGITUD PERFORADA (m) | TIPO DE SUELO PERFORADO |
|--------|------------------------|-------------------------|
| 24-abr | 230.00 | IV y V |
| 25-abr | 290.00 | IV y V |
| 26-abr | 280.00 | IV y V |
| 27-abr | 290.00 | IV y V |
| 28-abr | 45.00 | IV y V |
| 29-abr | 150.00 | IV y V |
| 30-abr | 170.00 | IV y V |
| 02-may | 70.00 | IV y V |
| 03-may | 70.00 | IV y V |
| 04-may | 310.00 | IV y V |
| 05-may | 90.00 | IV y V |
| 06-may | 60.00 | IV y V |
| 07-may | 60.00 | IV y V |
| 04-jun | 190.00 | IV y V |
| 05-jun | 260.00 | IV y V |
| 06-jun | 400.00 | IV y V |
| 07-jun | 90.00 | IV y V |
| 08-jun | 160.00 | IV y V |
| 09-jun | 40.00 | IV y V |
| 10-jun | 150.00 | IV y V |
| 11-jun | 60.00 | IV y V |
| 12-jun | 150.00 | IV y V |
| 13-jun | 150.00 | IV y V |
| 14-jun | 50.00 | IV y V |
| 15-jun | 80.00 | IV y V |
| 19-jun | 35.00 | IV y V |
| 20-jun | 70.00 | IV y V |
| 21-jun | 75.00 | IV y V |
| 22-jun | 80.00 | IV y V |
| 23-jun | 80.00 | IV y V |
| 24-jun | 40.00 | IV y V |
| 01-jul | 20.00 | IV y V |
| 02-jul | 50.00 | IV y V |
| 04-jul | 210.00 | IV y V |
| 09-jul | 5.00 | IV y V |
| 10-jul | 225.00 | IV y V |
| 11-jul | 110.00 | IV y V |
| 12-jul | 90.00 | IV y V |
| 13-jul | 175.00 | IV y V |
| 16-jul | 125.00 | IV y V |
| 17-jul | 100.00 | IV y V |

Para el cálculo del rendimiento del proceso de excavación de zanja con voladura controlada se tendrá como parámetro la longitud de zanja detonada por día, es por ello que la perforación también debe ser evaluada en esa dimensión, es decir en longitud de zanja perforada por día.

Para facilitar el cálculo, se han omitido datos que por su naturaleza distorsionan el parámetro buscado como por ejemplo los reportes en los que se indique que por motivos ajenos a la actividad se haya tenido una paralización de las actividades (falta de suministros, paralizaciones del tipo laboral, etc.)

Cuadro N° 7: Longitud de zanja perforada por día con equipo JUN JIN

| CÁLCULO DE LONGITUD DE ZANJA PERFORADA POR DÍA CON EQUIPO JUN JIN (Potencia: 25 Hp) | | |
|---|-----------|--------|
| LONGITUD DE ZANJA PERFORADA JUN JIN | 20,447.00 | ML |
| TIEMPO EQUIPO JUN JIN | 116 | DÍAS |
| RENDIMIENTO JUN JIN | 176.27 | ML/DÍA |

2.2.2 REPORTES Y CÁLCULOS DE RENDIMIENTO DE PERFORACIÓN EQUIPO SOOSAN:

Cuadro N° 8: Reporte de perforación con equipo SOOSAN.

| REPORTE DE PERFORACIÓN CON EQUIPO SOOSAN | | |
|--|------------------------|-------------------------|
| FECHA | LONGITUD PERFORADA (m) | TIPO DE SUELO PERFORADO |
| 19-feb | 10.00 | IV y V |
| 20-feb | 30.00 | IV y V |
| 21-feb | 150.00 | IV y V |
| 22-feb | 200.00 | IV y V |
| 23-feb | 426.00 | IV y V |
| 24-feb | 122.00 | IV y V |
| 09-mar | 50.00 | IV y V |
| 10-mar | 0.00 | IV y V |
| 11-mar | 0.00 | IV y V |
| 12-mar | 110.00 | IV y V |
| 13-mar | 50.00 | IV y V |
| 14-mar | 70.00 | IV y V |
| 15-mar | 77.00 | IV y V |
| 16-mar | 177.00 | IV y V |
| 17-mar | 120.00 | IV y V |

| FECHA | LONGITUD PERFORADA (m) | TIPO DE SUELO PERFORADO |
|--------|------------------------|-------------------------|
| 18-mar | 170.00 | IV y V |
| 19-mar | 220.00 | IV y V |
| 20-mar | 155.00 | IV y V |
| 21-mar | 160.00 | IV y V |
| 22-mar | 175.00 | IV y V |
| 23-mar | 230.00 | IV y V |
| 25-mar | 300.00 | IV y V |
| 26-mar | 150.00 | IV y V |
| 27-mar | 120.00 | IV y V |
| 01-abr | 30.00 | IV y V |
| 02-abr | 20.00 | IV y V |
| 03-abr | 100.00 | IV y V |
| 04-abr | 80.00 | IV y V |
| 13-jun | 150.00 | IV y V |
| 14-jun | 20.00 | IV y V |
| 24-jun | 85.00 | IV y V |
| 25-jun | 160.00 | IV y V |
| 26-jun | 245.00 | IV y V |
| 03-jul | 50.00 | IV y V |
| 04-jul | 20.00 | IV y V |
| 05-jul | 10.00 | IV y V |
| 06-jul | 30.00 | IV y V |
| 09-jul | 50.00 | IV y V |
| 11-jul | 160.00 | IV y V |
| 12-jul | 20.00 | IV y V |
| 13-jul | 130.00 | IV y V |
| 17-jul | 50.00 | IV y V |

Luego, consolidamos la información de los reportes diarios y calculamos la longitud de zanja perforada por día con el quipo SOOSAN.

Cuadro N° 9: Cálculo de longitud de zanja perforada por día con equipo SOOSAN.

| CÁLCULO DE LONGITUD DE ZANJA PERFORADA POR DÍA CON EQUIPO SOOSAN (Potencia 20.10 Hp) | | |
|--|---------------|--------|
| LONGITUD DE ZANJA PERFORADA SOOSAN | 4,682.00 | ML |
| TIEMPO EQUIPO SOOSAN | 42 | DÍAS |
| RENDIMIENTO SOOSAN | 111.48 | ML/DÍA |

Concluimos determinando el avance diario de la actividad de perforación considerando los dos equipos de perforación. Este avance es el que nos indica

en qué momento se debe empezar la voladura de tal forma que esta sea continua y no existan tiempos de espera.

2.2.3 REPORTES Y CÁLCULO DE RENDIMIENTO DEL PROCESO DE VOLADURA

Contractualmente se debe detonar 50'000,000.00 m³ en un plazo de 90 días, lo cual nos da un rendimiento de:

$$\text{Rendimiento} = \frac{50'000,000.00 \text{ m}^3}{90 \text{ días}} = 555.56 \text{ m}^3/\text{día}$$

Los reportes de avance diarios de voladura se consolidan en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 10: Reporte de voladura por día.

| REPORTE DE VOLADURA POR DÍA | | |
|-----------------------------|---------------------------------|------------------------|
| FECHA | LONGITUD DE ZANJA DETONADA (ML) | TIPO DE SUELO DETONADO |
| 10-abr | 500.00 | IV y V |
| 11-abr | 500.00 | IV y V |
| 12-abr | 500.00 | IV y V |
| 13-abr | 500.00 | IV y V |
| 15-abr | 500.00 | IV y V |
| 16-abr | 600.00 | IV y V |
| 17-abr | 500.00 | IV y V |
| 18-abr | 300.00 | IV y V |
| 25-abr | 500.00 | IV y V |
| 26-abr | 500.00 | IV y V |
| 27-abr | 350.00 | IV y V |
| 29-abr | 640.00 | IV y V |
| 30-abr | 100.00 | IV y V |
| 02-may | 600.00 | IV y V |
| 17-may | 200.00 | IV y V |
| 21-may | 60.00 | IV y V |
| 28-may | 300.00 | IV y V |
| 30-may | 440.00 | IV y V |
| 31-may | 500.00 | IV y V |
| 01-jun | 300.00 | IV y V |

| FECHA | LONGITUD DE ZANJA DETONADA (ML) | TIPO DE SUELO DETONADO |
|--------|---------------------------------|------------------------|
| 03-jun | 400.00 | IV y V |
| 08-jun | 250.00 | IV y V |
| 10-jun | 300.00 | IV y V |
| 11-jun | 150.00 | IV y V |
| 12-jun | 300.00 | IV y V |
| 14-jun | 210.00 | IV y V |
| 18-jun | 225.00 | IV y V |
| 19-jun | 150.00 | IV y V |
| 24-jun | 100.00 | IV y V |
| 26-jun | 170.00 | IV y V |
| 27-jun | 170.00 | IV y V |
| 28-jun | 160.00 | IV y V |
| 29-jun | 30.00 | IV y V |
| 02-jul | 90.00 | IV y V |
| 05-jul | 690.00 | IV y V |

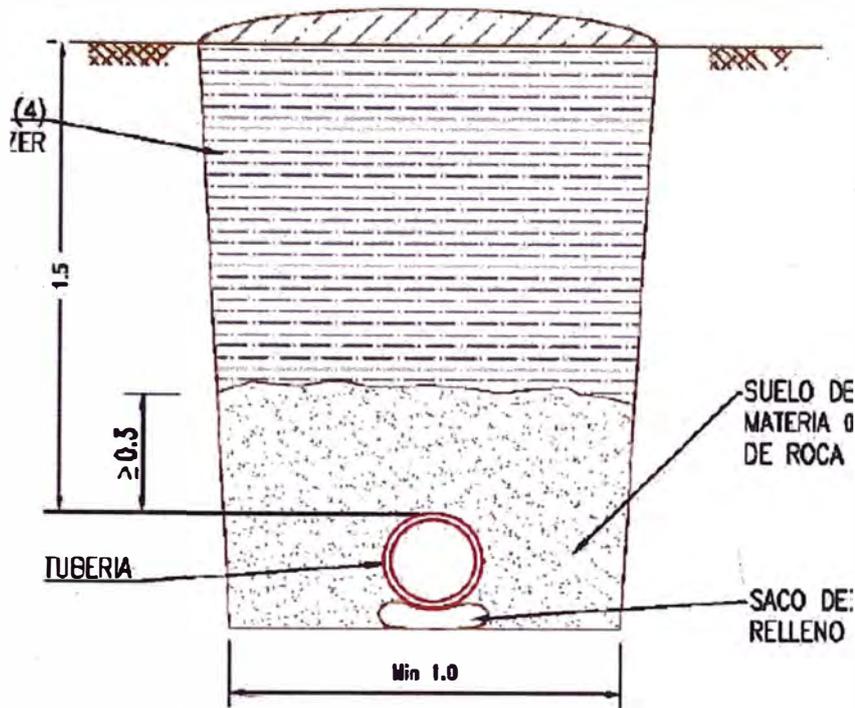
Del consolidado de reportes diarios de voladura se obtiene el avance total de la voladura en metros lineales clasificados de acuerdo al tipo de suelo:

Cuadro N° 11: Longitud de zanja detonada en total.

| TIPO DE SUELO | LONGITUD DE ZANJA DETONADA (ML) |
|---------------|---------------------------------|
| TIPO IV y V | 11,785.00 |

Cálculo de terreno detonado por día:

La sección típica a excavar para la instalación de tubería es:



TAPADO DE ZANJA EN LINEA REGULAR

Figura N° 23: Sección típica de zanja.

De la Figura N° 23 se calcula el área de la sección típica de excavación, la cual es 3.66 m².

Cuadro N° 12: Área de sección típica de zanja.

| CÁLCULO DE ÁREA DE SECCIÓN TÍPICA DE ZANJA | | |
|--|------|----|
| ANCHO INFERIOR | 1.70 | ML |
| ANCHO SUPERIOR | 1.70 | ML |
| PROFUNDIDAD | 2.15 | ML |
| SECCIÓN TÍPICA | 3.66 | M2 |

Ahora calcularemos la longitud de zanja detonada por día y el volumen detonado por día, como lo que buscamos es el rendimiento del proceso, debemos tomar en cuenta como inicio del proceso el día que inició la perforación, es por ello que a los 40 días de detonación se le agrega los 66 días que transcurren desde el inicio de la perforación hasta el inicio de las detonaciones:

Cuadro N° 13: Longitud de zanja detonada por día

| CÁLCULO DE LONGITUD DE ZANJA DETONADA Y EXCAVADA POR DÍA | | |
|--|---------------|--------|
| LONGITUD DE ZANJA EXCAVADA | 13,325.00 | ML |
| VOLUMEN EXCAVADO | 48,702.88 | M3 |
| TIEMPO | 111 | DÍAS |
| LONGITUD DE ZANJA EXCAVADA POR DÍA | 120.05 | ML/DÍA |
| VOLUMEN DE TERRENO DETONADO POR DÍA | 438.76 | M3/DÍA |

Luego que se ha detonado la zanja, la siguiente actividad en el proceso es la remoción de material, para ello se hace uso de la excavadora

2.3.- COSTO DEL PROCESO DE VOLADURA:

2.3.1 PRECIOS:

El proceso de perforación y voladura se subcontratará en la modalidad de precios unitarios, estando incluidos los costos directos, indirectos, gastos generales y utilidad. Para la realización del presupuesto se toma como metrado referencial la cantidad de 50'000.000 (cincuenta mil) metros cúbicos de material volado.

Los precios a aplicar son los siguientes:

Cuadro N° 14: Costos del subcontrato de perforación y voladura.

| ITEM | DESCRIPCIÓN | UND | CANTIDAD | PU (USD) | MONTO (USD) |
|--------------------------|---|-----|----------|------------|-------------------|
| 1.00 | OBRAS PRELIMINARES | | | | |
| 1.01 | Movilización de equipos | Glb | 1 | 6,700.00 | 6,700.00 |
| 1.02 | Desmovilización de equipos | Glb | 1 | 6,700.00 | 6,700.00 |
| 1.03 | Administración del Abastecimiento de Explosivos | Mes | 3 | 4,846.15 | 14,538.45 |
| 2.00 | PERFORACIÓN Y VOLADURA EN ZANJAS | | | | |
| 2.01 | Costo directo, perforación y voladura en zanjas | m3 | 50000 | 8.19 | 409,517.27 |
| 2.02 | Gastos Generales fijos | Glb | 1 | 7,615.80 | 7,615.80 |
| 2.03 | Gastos Generales variables | Mes | 3 | 78,320.32 | 234,960.96 |
| 2.04 | Utilidad | Mes | 3 | 25,000.00 | 75,000.00 |
| TOTAL PRESUPUESTO | | | | USD | 755,032.48 |

Dentro de los precios indicados, no se toma en consideración el alojamiento, alimentación, combustible (petróleo diésel N°2) para los equipos pesados y livianos, movimiento de tierra (excavación del material volado), limpieza de

material suelto, trazo, replanteo y control de diseño y avance de obra. Todo lo demás se encuentra incluido en los precios unitarios arriba descritos.

Dado que a nosotros nos interesa netamente el costo del proceso de excavación propiamente dicho, tomaremos en cuenta los siguientes ítems:

2.3.2 COSTOS REALES DEL PROCESO:

Cuadro N° 15: Costos de excavación de zanja con voladura controlada.

| COSTOS DE EXCAVACIÓN DE ZANJA CON VOLADURA CONTROLADA | | | | | |
|---|---|-----|-----------|----------|-------------|
| ITEM | DESCRIPCIÓN | UND | CANTIDAD | PU (USD) | MONTO (USD) |
| 1.00 | PERFORACIÓN Y VOLADURA EN ZANJAS | | | | |
| 1.01 | Costo directo, perforación y voladura en zanjaz. | m3 | 48,702.88 | 8.19 | 398,893.37 |
| 2.00 | COMBUSTILE | | | | |
| 2.01 | Combustible suministrado a equipos. | Gln | 27,866.40 | 4.49 | 125,192.38 |
| 3.00 | RETIRO DE MATERIAL CON EXCAVADORA (0.90 m3) | | | | |
| 3.01 | Retiro de material con excavadora (incluye picotón y operario). | HM | 1,312.50 | 105.56 | 144,243.75 |
| | | | TOTAL | | 668,329.50 |

Dado que el subcontrato de perforación y voladura no incluye el combustible suministrado a los equipos empleados, se elabora un histograma de equipos en el cual se indican los días y horas de trabajo de los equipos utilizados. Con ayuda de este histograma y el consumo promedio de combustible por hora – máquina de funcionamiento se calcula el consumo total de combustible. En forma similar se calcula el combustible utilizado para la excavadora. El número de excavadoras encargadas de la remoción del material detonado fue de 2 excavadoras y una cuando la producción de la voladura era baja.

Las excavadoras usadas para la remoción de material son alquiladas, cuyo precio de alquiler corresponde a 109.90 USD (67: alquiler de excavadora, 33: por picotón, 5.56: operador de excavadora y 4.34: ayudante)

Por tanto, el costo total de excavación de zanja para un volumen de 48,702.88 m³ es de 668,329.50 USD.

2.3.3 COSTO UNITARIO REAL DEL PROCESO:

El costo de excavación de un m³ de zanja con voladura controlada es:

$$\frac{668,329.50 \text{ USD}}{48,702.88 \text{ m}^3} = 13.72 \text{ USD/m}^3$$

En el cuadro siguiente se detallan los precios unitarios de la actividad de excavación de zanja con voladura controlada:

Cuadro N° 16: Precios unitarios de excavación de zanja con voladura controlada

| ITEM | DESCRIPCIÓN | UND | CANTIDAD | PU (USD) | PU (S/.) |
|------|--|-----|----------|----------|----------|
| 1.01 | Precio unitario de excavación de zanja con voladura controlada | M3 | 1.00 | 13.72 | 37.05 |

2.3.4 ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO TEÓRICO:

Para la elaboración del presupuesto de un proyecto antes de su iniciación se analizan los precios unitarios de las partidas que conforman el proyecto. Por tanto si queremos analizar la partida de excavación de zanjas con voladura para tendido de redes, pueda ser gasoducto, agua potable, desagüe, etc. hacemos el análisis de costos unitarios.

Ahora bien, en base al rendimiento obtenido anteriormente (Ver cuadro N° 13), los recursos y los materiales descritos en el capítulo 2, podemos efectuar el análisis de costos unitarios.

Los precios a aplicar son los encontrados en el medio (revistas, indicado por proveedores, etc.)

De lo indicado anteriormente se obtiene el siguiente cuadro de análisis de costo unitario para la partida de excavación de zanja con voladura controlada para los tipos de terreno indicados anteriormente.

Cuadro N° 17: Análisis de precios unitarios de la partida de excavación con voladura controlada para terrenos de difícil excavación.

| EXCAVACIÓN DE MATERIAL ROGOSO CON PERFORACIÓN Y VOLADURA | | | | | | | |
|---|------------------------|--------|-------------------------------|---------------------|------------|------------------|-----|
| Proyecto: Construcción de gasoducto del Departamento de Ica | | | | | | | |
| Fecha: | 30-08-2013 | | Ubicación: | Departamento de Ica | | Elaborado por: | MBR |
| Rendimiento | m3/Día | 351.01 | Costo unitario directo por m3 | | | S/. 35.40 | |
| Código | Descripción Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Parcial S/. | |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| 1.0000 | CAPATAZ* | hh | 1.0000 | 0.0228 | 30.01 | 0.68 | |
| 2.0000 | CARGADORES EXPLOSIVOS* | hh | 8.0000 | 0.1823 | 13.01 | 2.37 | |
| 3.0000 | AYUDANTES* | hh | 4.0000 | 0.0912 | 11.73 | 1.07 | |
| | | | | | | 4.13 | |
| Materiales | | | | | | | |
| 1.0000 | DINAMITA ENCARTUCHADA* | Kg | | 0.7600 | 10.36 | 7.87 | |
| 2.0000 | FULMINANTE N°8** | und | | 0.0020 | 0.6 | 0.00 | |
| 3.0000 | CORDÓN DETONANTE** | ml | | 1.3500 | 0.75 | 1.01 | |
| 4.0000 | BARRENO** | und | | 0.0033 | 340 | 1.12 | |
| | | | | | | 10.01 | |
| Equipos | | | | | | | |
| 4.0000 | TRACKDRILL*** | hm | 2.0000 | 0.0456 | 253.80 | 11.57 | |
| 5.0000 | EXCAVADORA*** | hm | 2.0000 | 0.0456 | 296.73 | 13.53 | |
| 6.0000 | HERRAMIENTAS MANUALES | %mo | | 0.0300 | 10.01 | 0.30 | |
| | | | | | | 25.39 | |

* Los precios son los indicados por las tarifas del proyecto.

** Los materiales son puestos en obra y los precios corresponden a las tarifas del proyecto.

*** Los precios de los equipos incluyen el costo del operador, combustible y mantenimiento.

De acuerdo al cuadro N° 17 vemos que el costo unitario teórico de la voladura controlada, tomando en consideración el rendimiento real, es de S/. 35.40 ó 13.11 USD.

CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE COSTOS Y RENDIMIENTO DE EXCAVACIÓN CON LA ZANJADORA TRENCOR 1260

3.1 RECURSOS UTILIZADOS:

Como únicos recursos directos para la excavación de zanja con equipo Trencor 1260 son el operador del equipo y ayudante. Se toma en consideración que para el inicio de la actividad, ya se realizaron las obras de topografía (trazo de eje de zanja).

3.2 REPORTES DE PROCESO DE EXCAVACIÓN CON ZANJADORA TRENCOR:

En el cuadro N° 18 se detalla la longitud de zanja aperturada con el equipo Trencor 1260 por día de trabajo y por cantidad de horas – máquina correspondientes al día.

Cuadro N° 18: Reporte diario de excavación con zanjadora Trencor 1260.

| REPORTE DIARIO DE EXCAVACIÓN CON ZANJADORA TRENCOR 1260 | | | |
|---|---------------|---------------------------------|---------------------------|
| FECHA | HORAS MÁQUINA | LONGITUD DE ZANJA EXCAVADA (ML) | TIPO DE SUELO INTERVENIDO |
| 31-may | 12.00 | 410.00 | TIPO IV y V |
| 01-jun | 12.00 | 250.00 | TIPO IV y V |
| 02-jun | 12.00 | 300.00 | TIPO IV y V |
| 03-jun | 15.00 | 320.00 | TIPO IV y V |
| 04-jun | 12.00 | 180.00 | TIPO IV y V |
| 05-jun | 16.00 | 350.00 | TIPO IV y V |
| 07-jun | 10.00 | 170.00 | TIPO IV y V |
| 08-jun | 13.00 | 80.00 | TIPO IV y V |
| 11-jun | 7.00 | 50.00 | TIPO IV y V |
| 11-jun | 7.00 | 50.00 | TIPO IV y V |
| 12-jun | 6.00 | 90.00 | TIPO IV y V |
| 28-jun | 3.00 | 5.00 | TIPO IV y V |
| 28-jun | 11.50 | 350.00 | TIPO IV y V |
| 28-jun | 10.00 | 165.00 | TIPO IV y V |
| 29-jun | 12.00 | 430.00 | TIPO IV y V |
| 30-jun | 3.00 | 50.00 | TIPO IV y V |

| REPORTE DIARIO DE EXCAVACIÓN CON ZANJADORA TRENCOR 1260 | | | |
|--|----------------------|--|----------------------------------|
| FECHA | HORAS MÁQUINA | LONGITUD DE ZANJA EXCAVADA (ML) | TIPO DE SUELO INTERVENIDO |
| 01-jul | 12.00 | 240.00 | TIPO IV y V |
| 02-jul | 1.00 | 30.00 | TIPO IV y V |
| 02-jul | 6.00 | 170.00 | TIPO IV y V |
| 03-jul | 12.00 | 110.00 | TIPO IV y V |
| 03-jul | 12.00 | 90.00 | TIPO IV y V |
| 04-jul | 11.50 | 80.00 | TIPO IV y V |
| 04-jul | 3.00 | 50.00 | TIPO IV y V |
| 05-jul | 8.00 | 50.00 | TIPO IV y V |
| 05-jul | 8.00 | 95.00 | TIPO IV y V |

3.2.1 CÁLCULO DE RENDIMIENTO DEL PROCESO DE EXCAVACIÓN CON EQUIPO TRENCOR 1260 POR HORA MÁQUINA Y POR DÍA:

De los reportes diarios indicados en el cuadro N° 18 se determina la longitud total de zanja excavada de 4,165.00 ML en un número total de 235 horas - máquina trabajadas. Con estos dos parámetros se puede determinar la longitud de zanja excavada por hora máquina.

Para la transformación de horas máquina a día se toma en cuenta que en un día de labor transcurren 10 horas de trabajo efectivo.

Cuadro N° 19: Longitud de zanja excavada por hora – máquina y por día.

| CÁLCULO DE LONGITUD DE ZANJA EXCAVADA POR HORA MÁQUINA Y POR DÍA | | |
|---|----------|--------|
| LONGITUD TOTAL DE ZANJA EXCAVADA | 4,165.00 | ML |
| TOTAL DE HORAS MÁQUINA TRABAJADA | 235.00 | HM |
| LONGITUD EXCAVADA POR HORA MÁQUINA | 17.72 | ML/HM |
| LONGITUD EXCAVADA POR DÍA | 177.23 | ML/DÍA |

El equipo Trencor 1260 excava una zanja de 1.10 m. de ancho. La profundidad requerida para poder instalar la tubería de acero (gasoducto) es de 2.15 m. Tomando en consideración estos valores, en el cuadro N° 20 se determina el área de la sección de zanja excavada para luego calcular el volumen excavado por hora máquina y por día.



Figura N°24: Excavación de zanja con zanjadora Trencor 1260

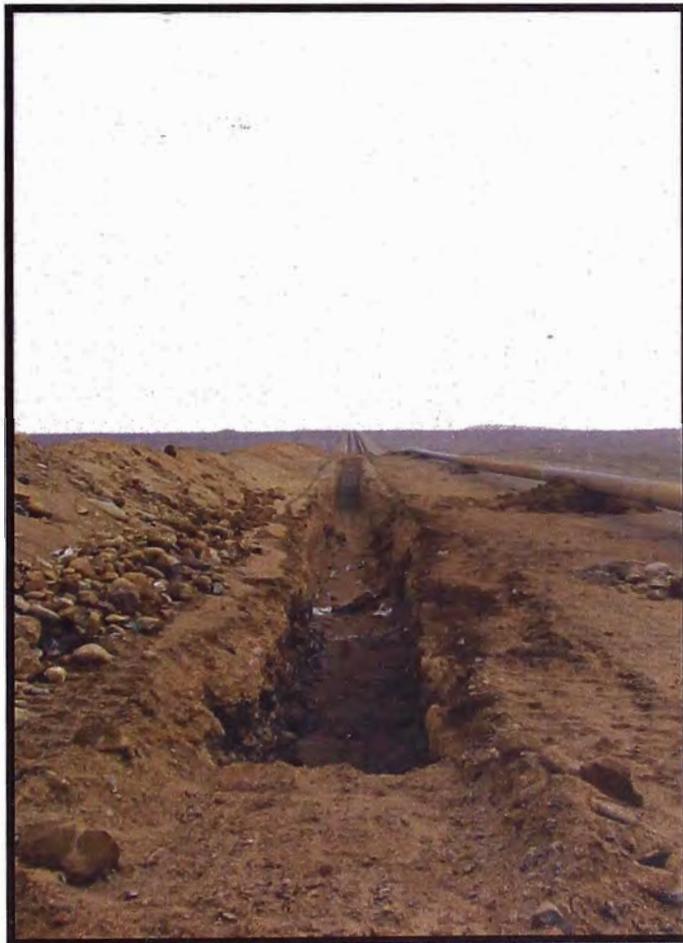


Figura N°25: Zanja y restos de materiales rocosos.



Figura N°26: Pared de zanja excavada con quipo Trencor 1260.

Cuadro N° 20: Área de sección típica de zanja excavada por equipo Trencor 1260.

| CÁLCULO DE ÁREA DE SECCIÓN TÍPICA DE ZANJA | | | |
|--|------|----|--|
| ANCHO INFERIOR | 1.10 | ML | |
| ANCHO SUPERIOR | 1.10 | ML | |
| PROFUNDIDAD | 2.15 | ML | |
| SECCIÓN TÍPICA | 2.37 | M2 | |

Teniendo el área de la sección de zanja, podemos determinar el volumen de terreno excavado (este parámetro sirve para determinar el volumen a eliminar o a reconformar luego de efectuado el relleno). En el cuadro N° 21 se obtiene el volumen de terreno excavado por día de trabajo.

Cuadro N° 21: Volumen de terreno excavado por unidad de tiempo

| CÁLCULO DE VOLUMEN DE TERRENO EXCAVADO POR HORA MÁQUINA Y POR DÍA | | | |
|---|--------|--------|--|
| SECCIÓN TÍPICA | 2.37 | M2 | |
| LONGITUD EXCAVADA POR HORA MÁQUINA | 17.72 | ML/HM | |
| VOLUMEN EXCAVADO POR HORA MÁQUINA | 41.92 | M3/HM | |
| LONGITUD EXCAVADA POR DÍA | 177.23 | ML/DÍA | |
| VOLUMEN EXCAVADO POR DÍA | 419.16 | M3/DÍA | |



Figura N°27: Tubería a instalar en zanja excavada por equipo Trencor 1260.

3.3.- COSTO DEL PROCESO DE EXCAVACIÓN CON ZANJADORA DE ACUERDO A SUBCONTRATO:

3.3.1 PRECIO:

El proceso de excavación con la Zanjadora Trencor 1260 se subcontrata en la modalidad de precios unitarios estando en ello incluidos los costos directos e indirectos, gastos generales y utilidades para la ejecución de la excavación.

Cuadro N° 22: Precios unitarios del subcontrato de excavación de zanja con zanjadora Trencor 1260.

| ITEM | DESCRIPCIÓN DEL SERVICIO | UNIDAD | PRECIO UNITARIO (USD) |
|------|--------------------------|--------|-----------------------|
| 1.00 | Excavación hasta 24000 m | m3 | 8.00 |
| 2.00 | Excavación hasta 12000 m | m3 | 10.00 |
| 3.00 | Excavación hasta 5000 m | m3 | 14.00 |

Los consumibles, así como el combustible también está incluido en los precios arriba listados.

Una de las condiciones para la selección de las tarifas mostradas fue que la subcontrata deberá trabajar con un rendimiento de 110 ml/turno y 250 HM/mes mínima por turno y cumpliendo una meta mensual de 6000 ml de zanja

excavada. En base a los reportes diarios verificamos si se cumple con estos valores. Por tanto de los valores diarios del Cuadro N° 18 obtenemos la cantidad de horas máquina trabajadas por la Zanjadora Trencor 1260:

Cuadro N° 23: Cantidad de horas máquina trabajadas por equipo Trencor 1260.

| CANTIDAD DE HORAS MÁQUINA TRABAJADAS | | |
|---|--------|--------|
| HORAS MÁQUINA TOTAL | 235.00 | HM |
| CANTIDAD DE DÍAS TRABAJADOS | 18.00 | ML/HM |
| CANTIDAD DE HORAS MÁQUINA TRABAJADAS AL MES | 391.67 | HM/Mes |

Con respecto al rendimiento de excavación por turno, la condición para la selección de las tarifas es de que la excavación tenga un rendimiento mínimo de 110 ml/turno, como cada turno es de 10 horas tenemos un rendimiento de 11 ml/HM. Ahora bien, de los reportes de campo se obtuvo una longitud excavada de 17.72 ml/HM trabajada.

Otra de las condiciones de selección de tarifa es que la Zanjadora Trencor 1260 opere como mínimo 250 horas al mes. De los reportes diarios se determina que en 18 días de trabajo efectivo (por lo menos una hora máquina trabajada). Sin embargo estos 18 días no fueron continuados, fueron en un lapso de 35 días.

La meta mensual establecida de 6000 ml no se cumplió, pues en un periodo de 35 días sólo se excavó 4165 ml (como se muestra en el cuadro 19).

Por tanto el costo por ml de la excavación deberá ser ajustado, para efectuar el ajuste se calcula el costo total (incluye penalización por no cumplir con las metas establecidas en el contrato). Para ello, calculamos el volumen excavado total, al cual le corresponde el menor precio unitario del cuadro N°22, sobre el monto total se le aplica el 2% de penalidad (acuerdo de contrato):

Cuadro N° 24: Monto total ejecutado en excavación de zanja con zanjadora Trencor 1260.

| MONTO TOTAL EJECUTADO DE LA EXCAVACIÓN CON ZANJADORA TRENCOR 1260 | | |
|--|-----------|--------|
| LONGITUD TOTAL DE ZANJA EXCAVADA | 4,165.00 | ML |
| SECCIÓN TÍPICA | 2.37 | M2 |
| VOLUMEN EXCAVADO TOTAL | 9,850.23 | M3 |
| PRECIO UNITARIO DE EXCAVACION | 8.00 | USD/M3 |
| MONTO TOTAL EJECUTADO (-2%) | 77,225.76 | USD |

Del cuadro N° 24 determinamos el precio unitario de la excavación de zanja con Zanjadora Trencor 1260:

$$\frac{77,225.76 \text{ USD}}{9,850.23 \text{ m}^3} = 7.84 \text{ USD/m}^3$$

Entonces el precio unitario de la excavación de zanja con zanjadora Trencor 1260 (de acuerdo a los precios de la subcontrata) es de 7.84 USD/m³. Pero qué tan confiable resulta este valor. Para analizar con mayor detalle, calcularemos el costo de la hora – máquina de la zanjadora Trencor 1260 y realizaremos un análisis de precio unitario de la actividad: “excavación de zanja con zanjadora Trencor 1260”.

3.4.- CÁLCULO DEL COSTO HORA – MÁQUINA DE EQUIPO ZANJADORA TRENCOR 1260:

Para efectuar el cálculo del costo hora – máquina de la zanjadora se tiene la siguiente información:

3.4.1: INFORMACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA DE LA ZANJADORA:

- Potencia: 440 HP
- Ancho de zanja excavada: 2' – 6'
- Profundidad máquina de zanja: 10'-4"
- Vida económica útil (VEU): 10 años <> 20,000.00 Horas

Se considera que en un año la máquina opera 10 meses de 25 días a 8 horas por día.

- Valor CIF: 525,186.80 USD
- Importación, desaduanaje, transporte, etc.: 149,813.20 USD
- Valor residual (VR): 100,000.00 USD
- Precio del petróleo (Pp): 4.49 USD/Gln.
- Precio del aceite (Pac): 18.70 USD/Gln.
- Precio de la grasa (Pgr): 5.60 USD/Lb.
- Consumo de combustible: 4% de Potencia.

| | |
|--------------------|-----------------|
| Consumo de aceite: | 0.2 Gal / Hora. |
| Consumo de grasas: | 0.15 Lb / Hora. |

3.4.2: INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA:

| | |
|---|-----------------------|
| Tasa costo capital invertido en dólares (R1): | 10% |
| Tasa costo capital invertido en soles (R2): | 24% |
| Costo de filtros: lubricantes. | 20% de combustibles y |
| Costo de mantenimiento de trenes de orugas: | |
| Jornal de operador: | S/. 120 |
| Tipo de cambio: | S/. 2.70 / USD |

3.4.3: VALORES Y CÁLCULOS PREVIOS:

| | |
|--|------------------|
| Valor CIF (Costo, seguro y flete): | S/. 1'418,004.36 |
| Derechos importación, desaduanaje, transp. y otros (VMN): S/. 404,495.64 (Ver cuadro N° 25) | |
| Valor de adquisición VA = CIF + VMN: | S/: 1'822,500.00 |
| Valor residual (VR): | S/. 270,000.00 |
| Número de años de vida económica útil (n): | 10 |
| Factor $K = (n+1) / 2n$: | 0.55 |
| Valor medio de inversión VMI = $K \times VA$: | S/. 1'002,375.00 |

Cuadro N° 25: Gastos de importación, desaduanaje, transporte y otros del equipo zanjadora Trencor 1260.

| CUADRO DE GASTOS DE IMPORTACIÓN | | | | | | |
|---------------------------------|-----------------|------|-----------------------------|-------------------|----------------------------------|----------------|
| EQUIPO | MARCA | ITEM | EMP. TRAMITADORA | TÍTULOS | CONCEPTO | MONTO |
| ZANJADORA | TRENCOR 1260 | 1 | CHOICE | CARTA COBRANZA | DERECHOS ADUANEROS | SI. 43,905.23 |
| | | 2 | CHOICE | CARTA COBRANZA | SERVICIO DE DESCARGAS | SI. 5,847.20 |
| | | 3 | CHOICE | CARTA COBRANZA | GASTOS ADMINISTRATIVOS, OTROS | SI. 6,166.50 |
| | | 4 | CHOICE | FACTURA | COMISIÓN DE AGENCIA | SI. 1,080.00 |
| | | 5 | COMBINED TRANSPORT | FACTURA | ACCESORIOS DE ZANJADORA | SI. 12,014.63 |
| | | 6 | TRAMAR | FACTURA | PORTE DE GÓNDOLA | SI. 15,187.50 |
| | | 7 | TRANSBIAGA | FACTURA | TRANSPORTE AL PUERTO | SI. 12,825.00 |
| | | 8 | INTERAMERICAN SERVICE CO | NOTA CONTABLE | DESCARGA | SI. 2,754.30 |
| | | 9 | INTERAMERICAN SERVICE CO | NOTA CONTABLE | DERECHOS DE ADUANA | SI. 8,889.46 |
| | | 10 | CHOICE | FACTURA | ADMINISTRATIVOS | SI. 217.81 |
| | | 11 | CHOICE | CARTA COBRANZA | USO DE ÁREA RODANTE | SI. 36,702.72 |
| | | 12 | CHOICE | FACTURA | ACCESORIOS DE ZANJADORA | SI. 157,011.82 |
| | | 13 | COMBINED TRANSPORT | FACTURA | TRANSPORTE BARCO ZANJADORA | SI. 101,893.48 |
| | | | | TOTAL | SI. 404,495.64 | |

3.4.4: DETERMINACIÓN DE LOS COSTOS FIJOS:

Reposición o depreciación $CR = (VA - VR) / n$:

$$CR = (1'822,500.00 - 270,000.00) / (10 \times 2000)$$

$$CR = S/. 77.63 / \text{Hora.}$$

Inversión $CI = R1 K(CIF) + R2 K(VMN)$:

$$CI = 10\% 0.55 (1'418,004.36) + 24\% (404,495.64)$$

$$CI = S/. 65.69 / \text{Hora}$$

Mantenimiento y reparación $CMR = \%MR (VA/n)$, $\%MR=80$:

$$CMR = 80\% 1'822,500.00 / 20,000.00$$

$$CMR = S/. 72.90 / \text{Hora}$$

Seguros $CS = 2.5\% K(VA)$:

$$CS = 2.5\% 0.55 (1'822,500.00)$$

$$CS = S/. 12.53 / \text{Hora}$$

Guardianía $CG = 1.0\% K(VA)$:

$$CS = 1.0\% 0.55 (1'822,500.00)$$

$$CS = S/. 5.01 / \text{Hora}$$

Impuestos $Cimp = 2.0\% K(VA)$:

$$CS = 2.0\% 0.55 (1'822,500.00)$$

$$CS = S/. 10.02 / \text{Hora}$$

Costo fijo total: $CFT = CR + CI + CMR + CS + CG + Cimp$

$$CFT = 77.63 + 65.69 + 72.90 + 12.53 + 5.01 + 10.02$$

$$CS = S/. 243.78 / \text{Hora.}$$

3.4.5: DETERMINACIÓN DE LOS COSTOS VARIABLES:

Combustibles: $Cc = 4\% (0.67 \text{ PM}) Pp$

$$Cc = 4.0\% 0.67 \times 440 \times 4.49 \times 2.70$$

$$Cc = S/. 142.95 / \text{Hora.}$$

- Aceites: $Cac = Consumo \times Pac$,
 - $Cac = 0.2 \times 18.70 \times 2.70$
 - $Cac = S/. 10.10 / Hora.$

- Grasas: Consumo \times Pgr
 - $Cgr = 0.15 \times 5.60 \times 2.70$
 - $Cac = S/.2.27 / Hora.$

- Filtros: $Cf = 0.2 \times (Cc+Cac+Cgr)$
 - $Cf = 0.2 \times (142.95 + 10.10 + 2.27)$
 - $Cf = S/.31.06 / Hora.$

- Mantenimiento de orugas: $CII = 0.15 \times (Cc+Cac+Cgr)$
 - $CII = 0.15 \times (142.95 + 10.10 + 2.27)$
 - $Cf = S/.23.30 / Hora.$

- Operador: $Cj=1.5 \times HH$
 - $CII = 1.5 \times (120 / 8)$
 - $Cf = S/.22.50 / Hora.$

- Costo de picas: $Cp=S/. 1.54 / Hora$ (este valor se obtiene de los datos reales de consumo de picas por hora máquina trabajada)

- Costo variable total: $CVT = Cc + Cac + Cgr + Cf + CII + Cj+ Cp$
 - $CVT = 142.95 + 10.10 + 2.27 + 31.06 + 23.30 + 22.50 + 1.54$
 - $CS = S/. 233.72 / Hora.$

3.4.6: DETERMINACIÓN DEL COSTO TOTAL:

- Costo total: $CT = CFT + CVT$
 - $CT = 243.78 + 233.72$
 - $CT = S/. 477.50 / Hora.$

3.5.- ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE LA ACTIVIDAD: EXCAVACIÓN DE ZANJA CON EQUIPO ZANJADORA TRENCOR 1260

Ahora se puede determinar el precio unitario de la actividad de excavación de zanja con en equipo zanjadora Trencor 1260, para ello se tiene los siguientes datos:

Cuadrilla típica: 0.25 Capataz + 1 Operador especializado (incluido en el costo H - M del equipo) + 1 peón.

Rendimiento real calculado (ver cuadro N° 21):

○ R = 419.16 m³ / día (día de 10 horas). Entonces:

R = 335.33 m³ / día (día de 8 horas).

Costo Hora – máquina de equipo zanjadora Trencor 1260:

○ CT = S/. 477.50 / Hora.

Herramientas manuales: 5% de la mano de obra.

En el siguiente cuadro se aprecia el análisis de precio unitario para la partida de excavación de zanja con zanjadora Trencor 1260:

Cuadro N° 26: Análisis de precios unitarios: Excavación de zanja con equipo Zanjadora Trencor 1260

| EXCAVACIÓN DE MATERIAL ROCOSO CON ZANJADORA TRENCOR 1260 | | | | | | |
|---|--------------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------|--------------------|------------------|
| Proyecto: Construcción de gasoducto del Departamento de Ica | | | | | | |
| Fecha: 30-08-2013 | | Ubicación: Departamento de Ica | | | Elaborado por: MBR | |
| Rendimiento | m3/Día | 335.33 | Costo unitario directo por m3 | | | S/. 11.87 |
| Código | Descripción Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Parcial S/. |
| Mano de Obra | | | | | | |
| 1.0000 | CAPATAZ* | hh | 0.2500 | 0.0060 | 30.01 | 0.18 |
| 2.0000 | PEON* | hh | 1.0000 | 0.0239 | 11.73 | 0.28 |
| | | | | | | 0.46 |
| Equipos | | | | | | |
| 3.0000 | ZANJADORA TRENCOR 1260** | hm | 1.0000 | 0.0239 | 477.50 | 11.39 |
| 4.0000 | HERRAMIENTAS MANUALES | %mo | | 0.0500 | 0.46 | 0.02 |
| | | | | | | 11.41 |

* Los precios son los indicados por las tarifas del proyecto.

** El precio de la zanjadora incluye el costo del operador, combustible y mantenimiento.

Como se puede apreciar en el cuadro N° 26, el costo de excavación de un metro cúbico de zanja (para las condiciones dadas inicialmente) es de S/. 11.84 ó 4.38 USD.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA VOLADURA Y LA ZANJADORA TRENCOR 1260

4.1 RENDIMIENTOS DEL PROCESO:

Luego de analizar los dos métodos de ejecución del proceso de excavación de zanja para instalación de gasoducto, es decir la voladura controlada y el uso de equipo zanjadora Trencor 1260, se obtienen los siguientes resultados:

4.1.1 RENDIMIENTO DEL PROCESO POR EL MÉTODO DE VOLADURA CONTROLADA:

El rendimiento real del proceso de excavación de zanja en terrenos del Tipo IV y V mediante el método de la voladura controlada es:

- Longitud de zanja excavada: 120.05 ML/DÍA.
- Volumen excavado por día: 438.76 M3/DÍA.

4.1.2 RENDIMIENTO DEL PROCESO POR EL MÉTODO DE EXCAVACIÓN CON ZANJADORA TRENCOR 1260:

El rendimiento real del proceso de excavación de zanja en terrenos del Tipo IV y V mediante el uso del equipo zanjadora Trencor 1260 es:

- Longitud de zanja excavada: 177.23 ML/DÍA.
- Volumen excavado por día: 419.16 M3/DÍA

Cuadro N° 27: Cuadro comparativo de rendimientos reales por procesos de excavación

| DESCRIPCIÓN | RENDIMIENTO REAL | |
|---|---------------------------|--------------------------|
| | Longitud excavada por día | Volumen excavado por día |
| Excavación de zanja con voladura controlada | 120.05 ML/DÍA | 438.76 M3/DÍA |
| Excavación de zanja mediante uso de zanjadora | 177.23 ML/DÍA | 419.16 M3/DÍA |

4.2 COSTOS DE LOS PROCESOS:

El análisis de costos efectuado para los métodos de excavación de zanja con voladura controlada y el uso de la zanjadora Trencor 1260, tomó en cuenta tanto los costos de contrato como los costos de mercado o revista.

4.2.1 COSTO UNITARIO DE EXCAVACIÓN DE ZANJA CON VOLADURA CONTROLADA:

- **Costo unitario real del proyecto:**

Llamamos costo unitario real de proyecto al obtenido por el análisis de rendimiento y los costos de los subcontratos, alquileres y demás costos del proyecto.

En este análisis se calcula el costo directo total para determinado volumen excavado (de acuerdo a lo ejecutado en campo). Es así que se determina el costo por unidad de medida de excavación.

El costo real de proyecto para la excavación de zanja con voladura controlada es de 13.72 USD/m³ o S/. 37.05.

- **Costo unitario teórico:**

Este costo es resultado del análisis de costo unitario tomado en consideración el rendimiento real del proceso; materiales, equipos y mano de obra con cantidades, precios y rendimientos de revistas, proveedores y/o de mercado.

El costo unitario teórico se obtiene haciendo el análisis de precios unitarios, es decir considerando una cuadrilla de instalación, un rendimiento (real), cantidades de materiales, mano de obra y equipos.

El costo unitario teórico de la excavación de zanja con voladura controlada es 13.11 USD/m³ o S/. 35.40.

4.2.2 COSTO UNITARIO DE EXCAVACIÓN DE ZANJA CON ZANJADORA TRENCOR 1260

- **Costo unitario real del proyecto:**

En este análisis se calcula el costo directo total para determinado volumen excavado (de acuerdo a lo ejecutado en campo). Es así que se determina el costo por unidad de medida de excavación.

El costo real de proyecto para la excavación de zanja usando la zanjadora Trencor 1260 es de 7.84 USD/m³ o S/. 21.17.

- **Costo unitario teórico:**

Este costo es resultado del análisis de costo unitario tomado en consideración el rendimiento real del proceso; el equipo y mano de obra con cantidades, precios y rendimientos de revista.

El costo unitario teórico se obtiene del análisis de precios unitarios, para lo cual se consideran cantidades y precios de la mano de obra y del equipo, así como el rendimiento real del proceso de excavación de zanja usando la zanjadora Trencor 1260.

El costo unitario teórico de la excavación de zanja con equipo zanjadora Trencor 1260 es 4.40 USD/m³ o S/. 11.87.

Cuadro N° 28: Cuadro resumen de costos unitarios por M3 excavado.

| DESCRIPCIÓN | COSTO REAL DE PROYECTO | | COSTO UNITARIO TEÓRICO | |
|---|------------------------|-------|------------------------|-------|
| | USD | S/. | USD | S/. |
| Costo unitario de excavación de zanja con voladura controlada | 13.72 | 37.05 | 13.11 | 35.40 |
| Costo unitario de excavación de zanja mediante uso de zanjadora | 7.84 | 21.17 | 4.40 | 11.87 |

4.3 ASPECTOS IMPORTANTES QUE SE PRESENTARON DURANTE LOS TRABAJOS:

Respecto a los métodos de excavación y a los rendimientos encontrados se tienen las siguientes apreciaciones:

- La voladura controlada es un proceso complejo y delicado. La detonación en sí requiere de permisos y verificaciones por parte de los organismos supervisores. Durante este periodo de tiempo parte del personal directo

genera tiempos improductivos de hasta dos horas o más, dependiendo de la producción alcanzada para la detonación.

Para la excavación de zanja mediante el uso de la zanjadora Trencor 1260 sólo se necesita un personal en tierra para el trabajo (a parte del operador del equipo).

Dentro del proceso de excavación de zanja con voladura controlada, la actividad crítica es la perforación. Dentro del cronograma, se da un espacio de tiempo para el ingreso de los cargadores de explosivos, pues las actividades de carguío y detonación requieren de un menor tiempo que la perforación del tramo a detonar.

Entre los métodos analizados, el uso de la zanjadora da un mayor rendimiento que la voladura controlada, pero se debe tener en cuenta que la zanjadora tuvo un tiempo de paralización de 18 días en un lapso de tiempo de 36 días, luego de esto se decidió dar por culminado el trabajo con el equipo pues presentaba problemas mecánicos constantemente.

Los principales problemas de la zanjadora Trencor 1260 son la rotura o daños del material de desgaste, averías en cardan de bomba hidráulica y la rotura de las tejas de la cadena de corte.

El principal material de desgaste de la zanjadora son las picas, las cuales se tiene que ir reemplazando a mediada que estas se van rompiendo debido al trabajo que desarrolla la zanjadora. A medida que las picas se van desgastando y rompiendo el rendimiento del equipo va disminuyendo hasta llegar un punto en que el equipo ya no avanza más.

El proyecto de construcción del gasoducto del Departamento de Ica es un contrato entregado en la modalidad de llave en mano cuyo presupuesto se establece como una suma alzada. Por tal motivo cabe señalar que los costos reales de las diferentes partidas no se establecen por un cálculo exacto, sino que estos costos se van armando y ajustando con el transcurrir del proyecto.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES:

- Luego de la descripción del objeto de construcción concluimos que el proceso de excavación de zanja con la Zanjadora Trencor 1260 es menos complejo que la excavación de zanja con la voladura controlada.
- Efectuado el análisis de costos y rendimientos del proceso de excavación de zanja con voladura controlada encontramos que la actividad que marca mejor el rendimiento del proceso es la perforación. En cuanto al costo, no se tiene algún monto predominante asociado a alguna de las actividades pues el costo de perforación es comparable al de la voladura propiamente dicha e inclusive a la actividad de retiro de material post voladura.
- Al efectuar el análisis de costos y rendimientos de excavación de zanja con la Zanjadora Trencor 1260 podemos concluir que el proceso, al poseer sólo una actividad, el rendimiento es definido por el equipo. Por el lado de los costos sucede lo mismo que para el rendimiento, es decir que el alquiler del equipo tiene el mayor impacto en los costos del proceso.
- De acuerdo al análisis comparativo efectuado entre los procesos de excavación de zanja con voladura controlada y el uso de la Zanjadora Trencor 1260, la zanjadora resulta una buena opción tanto en rendimiento como en costo, sin embargo tendría que garantizarse el servicio de este durante el periodo establecido de trabajo. Para nuestro caso, las constantes paradas del equipo no garantizan el cumplimiento del cronograma de trabajo en la medida que la actividad de zanjado se encuentre dentro de la ruta crítica (como lo es en la instalación del gasoducto del Departamento de Ica).
- Entre el costo unitario teórico y real de la excavación de zanja con la Zanjadora Trencor 1260 existe una diferencia del 78% con respecto al costo teórico. Esto en buena cuenta nos dice que al no conocer el equipo, se aceptó un costo elevado, que en un inicio, visto en macro, era menor al costo de la voladura controlada y por tanto representaba un buen precio.

5.2 RECOMENDACIONES:

- Cuando las condiciones del terreno sean duras (presencia de rocas), y donde se requiera desarrollar altos rendimientos en el proceso de excavación de zanjas en tramos lineales de largo aliento, y además las pendientes del terreno a excavar sean menores a 15° ; recomendamos el uso de la Zanjadora Trencor 1260, tanto desde el punto de vista de rendimientos como de costos.
- A la hora de analizar y decidirse por un método de excavación, se debe tomar en cuenta que la voladura controlada tiene asociado un costo indirecto, el cual es necesario para la formulación de un presupuesto.
- En el caso de adquirir la zanjadora Trencor 1260, se debería evaluar el tiempo de vida útil para re-definir la tarifa de hora – máquina del equipo, pues el tiempo de vida útil estipulado por el propietario para nuestro caso es de 10 años.
- El costo de mantenimiento real de la zanjadora debería ser tomado en cuenta para re – definir una eventual tarifa de alquiler del equipo.

BIBLIOGRAFÍA

- **SALINAS**, Miguel. Costos y Presupuestos de Obra. Edición N° 7. Fondo Editorial ICG. Lima. Perú 2010.
- **EXSA**, Manual práctico de voladura. Edición N° 4. Fondo Editorial del Departamento Técnico EXSA S.A. Lima. Perú 2010.
- **CAPECO**, "Costo de equipo de construcción y herramientas", Costos y Presupuestos en Edificación. Edición N° 8. Fondo Editorial CAPECO. Lima. Perú 2003. 92-95.
- Rock drills USA, 25 de julio de 2013, 22.00 h, <<http://www.rockdrillsusa.com>>
- Soosan Latinoamerica, 25 de julio de 2013, 23.00 h, <<http://www.soosanlatinoamerica.com>>
- Equipo de perforación, 25 de julio de 2013, 21.00 h, <<http://www.pevoex.com.pe>>
- Accesorios de voladura para minería, construcción civil y movimiento de tierras, 04 de agosto de 2013, 22.00 h, <http://famesa.com.pe/Prod_Accesorios.asp?tipo=1>